

学校的理想装备

电子图书·学校专集

校园网上的最佳资源

共同走向科学：

百名院士科技系列报告集

(中)



“863”计划缘起、发展及展望

王大珩

中国科学院

王大珩 光学科学家。1915年2月26日生，江苏苏州人。1936年毕业于清华大学。1938年获伦敦大学帝国学院技术光学专业硕士学位。1955年被选聘为中国科学院院士(学部委员)；1994年5月被选聘为中国工程院院士。曾任中国科学院长春光学精密机械研究所研究员、所长，中国科学院长春分院院长，中国光学学会理事长，中国科协副主席。现任中国科学院应用研究发展局高级顾问。我国应用光学事业奠基人之一。为发展我国尖端科技研制了多种光学设备，开我国自行设计研制大型光学工程任务的先河。

缘起

1983年美国里根总统的SDI倡议(战略防御倡议)，除了为两霸争雄显示威慑力量之外，是对美国发展高技术的一次冲击，也是对世界各国高技术及国力发展的一次挑战。

各工业先进国家纷纷提出相应的计划：欧共体的尤里卡计划，日本的科技计划，前苏联的对策计划……

我国不能置之不理，我国有关部门曾对此组织座谈，提出采取对策的设想。

SDI的实质，在现实性上比较渺茫，但是从威慑目的出发，提出了战略性方向，从而对一系列前沿技术展开了论证及可行性研究，不拘最终目标能否达到，但在高技术的各个方面，肯定会有新的突破出现，这就发展了一个国家高技术的实力。

我国当时的环境是“两弹一星”已建立起了高技术的初步基础，积累了一定的经验。

1983年党和国家开始考虑迎接新技术革命的对策。同年11月，国务院经济技术研究中心组织全国上千名专家进行为发展新技术的研究，提出了长达150万字的“中国迎接世界新技术革命浪潮挑战和机会对策的研究”。

鉴于当时的情况，陈芳允同志与我商量，向最高领导写个“发展我国的战略性高技术”的建议，由我起草，并与杨家墀、王淦昌商量定稿。建议于1986年3月2日送上，3月5日就得到小平同志的批示：“此事宜速作决断，不可拖延”。

经国务院组织专家们进行再三的周密论证，1986年11月18日，国务院发出“高技术发展计划纲要”的通知。“高技术发展计划纲要”，即“863计划”，于1987年2月正式组织实施。称为“863计划”，正是因为建议的提出和小平同志的批示是在1986年3月作出的。

基本精神

在建议中所提出的主要精神有：1. 事关国际上的国力竞争，我们不能置

之不理。2.在关系到国力的高技术方面，首先要争取一个“有”字，有与没有大不一样。3.鉴于我国的经济情况，从事高技术的规划与范围无法与工业发达国家相比，因此，必须“突出重点，有限目标”，强调储备与带动性。4.积极跟踪国际先进水平，要能进入所涉领域的国际俱乐部，占有一席之地。5.发挥现有高技术骨干的作用，通过实践，培养人才，为下个世纪的发展作好准备。6.时不可待，要有紧迫感，发展高技术是需要时间的，抓晚了就等于甘居落后，难于再起。

计划的实质：1.战略性的，影响国力的，有迫切需求的。2.预研先导性的，面向21世纪的高技术化生产。3.有限项目，目标明确，但是要有带动作用。4.按照小平指示“军民结合，以民为主”。

在措施上：1.排除部门所有制的弊端，以专家组的形式落实实施，包括课题的论证，开题承担单位的择优，基础设施的建立，以及经费的分配，专家组通过科学化与民主化，具有实权。2.由财政部设置专款，时限到2000年。3.在“863计划领导小组”的领导下，根据军民需求，各有侧重，分别由国家科委与国防科工委组织实施并监督执行。4.计划与人具有滚动性（分届调整）。5.建立必要的实验中心。

在风格上：提倡“公正，献身，求实，创新，协作”。

七个高技术领域及有关主题项目

现在实施的高技术发展计划，包括7个高技术领域，15个主题项目主要内容如下：

1.生物技术：高产、优质、抗害动植物新品种；新型药物，疫苗及其治疗技术；蛋白质工程。2.航天技术：面向下一个世纪的空间技术发展的预研工作，如发射运载手段、空间技术应用等等。3.信息技术：智能计算机系统；光电器件及集成技术；信息获取与处理；先进通信技术。4.激光技术：强激光领域及有关的问题。5.自动化技术：计算机集成制造体系（CIMS）；智能机器人。6.新能源技术：燃煤磁流体发电；先进核反应堆。7.新材料：光电信息材料；耐腐蚀、重量轻的结构材料；特种功能材料；耐高温、高韧性、高强度复合材料；特种工艺（说明：微电子技术未列入，因为另有经费安排）。

从这些领域的内容，我们可以这样理解，正如国际上一般理解的那样，是现代科学技术的前沿，对发展国民经济和国力有较大影响，有明确的应用目标，是多种技术综合集成的技术领域。因此，由于前沿技术在不断更新，也是有时间性的，当某项高技术被普遍地用于正常生产时，就不再“高”了，而新的“高”又出现了。

进展情况

“863计划”实施至今已10年了。经过“七五”入轨，“八五”攻坚，已卓见成效。参加“863计划”总人数近2万人。

为了积极开展工作，除利用已有基础外，已新建立了8个研究发展中心，它们是（民用方面）：（1）计算机集成制造系统实验工程中心；（2）智能计算机系统研究开发中心；（3）机器人研究开发中心；（4）光电子工艺中

心；(5) 基因工程疫苗中心；(6) 基因工程药物中心；(7) 基因工程生物制品中心；(8) 新储能材料工程开发中心。

10 年安排课题 2800 多个，到 1995 年底已鉴定成果 1398 项，其中 550 项达到国际先进水平，已应用 475 项，占 38.2%；已形成产品 133 项，占 10.7%。在国内外重要刊物和学术会议上发表论文 2 万余篇。

已取得的主要成就有：

1. 生物技术：两系杂交稻，已推广 300 余万亩，平均单产提高 10% 以上，最高单产达 730 公斤；玉米与大豆固氮、抗虫棉花等，将开始大面积推广；基因工程生物疫苗有突破性进展；治疗恶性肿瘤药物，乙型肝炎的生物药物、疫苗已在不同程度上投产。部分项目已处于国际领先的地位，基因治疗达到国际领先水平。

2. 信息技术：曙光 1 号与曙光 1000 高性能计算机达 90 年代国际水平，正在投产；中文智能接口，有国内外市场；大功率激光器，高速光通讯系统，有重要进展；合成孔径雷达，完成型号预研，实现了计算机图像显示；2.16 米望远镜红外自适应系统，已初见实效，提高了地面观测星体的分辨本领；航空遥感实时传输系统，已应用于防灾；半导体量子阱激光器件，技术过关。

3. 自动化技术：CIMS 获国际奖，已用于 18 家不同产业，有成效；6000 米水下机器人深海实验成功；机器人装配线已用于某厂电扇电机装配，并进一步推广至汽车行业；核工业机器人、六维机器人、爬壁机器人等做出了示范样机。

4. 新能源：高温气冷核反应堆已开工；快中子堆已立项。

5. 新材料：人工非线性晶体及激光晶体，高温超导材料均属国际先进并有所领先；为高技术研究及军工配套材料达国际水平，如航天隔热材料、高性能固体推进燃料、耐高温高强度材料等。

6. 其他领域：大型“神光”激光器系统，使我国成为少数具有聚变实验装备的国家之一，由此产生的 X 光激光研究处于国际先进或领先水平。利用航天环境进行半导体材料制备，取得了国际瞩目的结果，对植物种子进行搭载实验，对青椒、西红柿、稻种取得明显增产的效果。

总之，“863 计划”，实施至今成绩卓著。总结经验，初步看来，有以下几点：

(1) 在指导思想和措施以及计划内容上，是经过慎重考虑的，是正确的，因此在实施上未出现有大转弯等现象。(2) 在一些领域，提高了国际声望，缩短了差距，并开始在国际上占有一席之地。(3) 提高了高技术研究水平，在一定程度上增强了国家的科技实力，从而更加确立了我国自主开发高技术的能力和信心。(4) 开始带动了相关领域和行业的技术发展。(5) 培养了青年人（45 岁以下的青年人及研究生千余人，培养了决策层次的专家数百人，提高了专业管理水平。有数十人被选为科学院或工程院院士）。

新的形势及展望

成果的涌现，使转化为生产力成为迫切的任务，小平同志及时提出了“发展高科技，实现产业化”的号召。

经过一段时期，“863 计划”的实施和锻炼提高了科研能力。除了必要的跟踪之外，已有条件更加强调创新工作，加上知识产权问题，说明只有创

新在市场上才有竞争力。

国际上正迅速在“信息高速公路”上发展，促使着经济与社会的进步，我国正面临着信息设施的技术挑战，这是在我国发展高技术中必须考虑的问题。

海湾战争启示我们，高技术应用于军事仍然是发展高技术的推动力，我们不能掉以轻心，落后就要挨打。

改革开放，技术引进，在一定程度上，促进了我国科技和生产力的进步。但也要看到外商把我国看做他们的技术市场阵地（包括一般的高技术，真正的高技术是买不到的），我们必须在高技术上努力使技术上保持自主权，这是提高我国国力所必须的。

我国总的科研水平，特别是高技术，较之先进国家还有较大的差距，我们必须有效地贯彻科教兴国及可持续发展的国策，在高技术应用于关键领域方面加速赶上去，加快产业化的步伐。

根据近些年来发展趋势，不同领域的发展情况有了变化，我们应对计划作适当的滚动与调整。

我们了解，领导方面正制订“863计划”的“九五”规划，并且看到发展高技术并非一时之计，因为国际上正在飞速发展，我们稍一懈怠，就有滑下去的危险。因此也正在考虑下世纪的高技术发展的问題。深信由于党和国家贯彻科教兴国和可持续发展的正确国策，在这世纪之交，我国的高技术科研及其产业化将会继续不断地取得辉煌的成就。

中学理科教育中的创新教育问题

王夔

北京医科大学

王夔 无机化学家。1928年5月7日生于天津。1949年毕业于燕京大学。燕京大学及北京大学化学系研究生肄业。历任北京医学院副教授、教授、药学系主任、北京医科大学药学院院长。1987—1992年任天然药物及仿生药物国家重点实验室主任。曾任中国化学会理事长。现任国家自然科学基金委员会化学科学部主任。1991年当选为中国科学院院士。主要从事生物无机化学研究，取得了多方面的成果。

一、在科技领域中未来向过去的继承和批判

人类进步依赖科技进步，科技进步依赖创新。创新包括三方面：发现存在的和曾经存在过的事物，创造不存在的和从未存在的事物以及把存在的事物革新成为新事物。这三者都是在已有的认识基础上实现的。因此，继承与创新是人类文化发展的根本，是人类战胜客观困难得以存在和进步的根本，也是培育人才的根本。要使学生学会继承和创新，才能使人尽其才。

一个民族的兴衰要看它的人民是否向往未来新事物和新世界。“一个民族可以牺牲一切以达到目标，就这一点精神造就了世界的知识分子、科学家和音乐家。一个民族如果除去到处游荡什么事情也不想做，从来也不想今天以后的事，他们那里就一直是一片沙漠。[S.K.Wolf, Mackinnon's Machine]。我们需要历史，需要继承，但是更重要的是创造未来，创造历史。这可能是我们教育者的最主要的职责，因为我们的学生能否担负起他们的历史使命，要看我们能否教育他们继往开来。

20世纪科技进步的确创造了辉煌的人类现代文明。化学之所以被看作是核心科学，就是因为它创造了不可胜数的物质和材料，从分子水平打开了认识和控制许许多多变化过程（如生命过程）的途径，今后它还将在这些方面为人类进步作出贡献。科技必然要进步，人类也必然要进步，但是从个别情况来说，并非科技进步必然推动人类进步。当我们展望21世纪之时，我们应当从正反两方面来回顾20世纪的进步。20世纪的确有推动人类进步的几方面的成就。在科学哲学方面，从唯心论和形而上学到唯物论辩证法，到现代科学思想，如系统论、控制论、灾变论等等。在科学界，建立了统治20世纪科学界，指导科技发展的大理论，如牛顿力学、达尔文学说、热力学和量子力学等等，它们也会继续推动下一个世纪的科技进步。此外，推动20世纪科技发展的还有一系列科学方法：如理想化和模型化处理，动态过程的静态处理，非线性关系的线性化分析等处理方法，使我们得以在当时那个条件下对复杂事物进行近似的局部的研究。另外，还不能忽视20世纪技术进步对科学的推动，如现代测试观察仪器、高效计算机技术以及仿真、模拟等等。在20世纪以前，科学研究大部分是在科学家本人兴趣推动下进行的，而在工业化之后，大规模生产促进了资本的集中和大量增值。另外，现代国家机器的形成与发展越来越依赖科学与技术。于是国家利益和各种来源的资本成为科学

技术的强大后盾，来自国家和企业的科研基金与资助，国家下达的和企业委托的科研任务向科学研究提供大量经费，出现了大批专业研究人员，并且为了提高科研人员的工作效率，建立了研究所制度。这是 20 世纪科学研究繁荣的主要原因。也是在这期间，人类能够克服粮食、能源、资源短缺，克服疾病威胁，减少各种天灾而发展进步的原因。这是人所共知的。

但是不能忽视上述几种推动力也可成为科学进步的障碍和限制。我们从科研工作中所走的弯路、所付出的代价以及科研的浪费中，一方面可以看到那些在知识的新陈代谢中由于理性认识的退化和方法学的错误与不足所起的副作用。它们往往限制了创新。另一方面还应看到在资本和市场的国际化和全球竞争激烈之时，庞大的资本推动力有时会使科研被推向偏离实际需要的方向，有时被逼入歧途。科技好像进步了，但是人类未必由此进步。我们可以从未来科技对现代化学的挑战和希望中看出未来科技对 20 世纪科技的批判。首先，科技进步并不一定能推动人类进步。因为科技成果的评价应该是全面的，包括它对现在和未来，局部和全球的人文、环境、经济和人类的持续发展的作用。因此今后的化学工作者面对的责任和过去有根本的不同。我们在设计一项研究或工程时，需要自始至终考虑以下几方面问题：

1. 节能、节约和洁净生产；
2. 缩短研究周期；
3. 缩短研究结果的“库存量”和“库存期”；
4. 减少投入，提高研究的命中率。

以节能、节约和洁净的化学合成为例，我们的化学品的确为人类生存与进步做出了极大贡献，但是为什么公众对化学心怀疑虑？因为化工生产中有许多浪费能源和资源，并且给人类带来对环境和生态平衡影响的近忧和远虑。因此必须彻底改造化学品的选择、使用和生产方法，这必将引起一个大变革。例如，我们正处于传统合成化学向绿色合成化学转化的时期，未来的化学合成必须向以下几个方向发展：

1. 提高原子利用率；
2. 提高转化率；
3. 提高合成精度，减少副产物；
4. 避免把本来固定在岩石圈里的元素活动化；
5. 避免把化学惰性物质变成活性物质；
6. 少使用有机溶剂；
7. 减少使用和排放有毒的和对生态环境有影响的物质；
8. 避免高温及深冷，尤其是高温与深冷的连续操作；
9. 尽量使过程可循环，可再生；
10. 减少步骤。

达到这些目的，必须从根本上创新。例如一个好几步的合成路线，浪费资源和能源，污染环境，但是改用酶法合成就变成一个洁净节约的工艺。这就要搞合成化学的人重新定下自己的坐标，重新整理自己的知识。我们好像突然发现不是我们过去所教的和所学的内容不对，而是考虑问题的基础要转变，传统的观点要改变，一二百年以来解决问题的惯用途径要改变。那么，我们现在教学生什么，培养成什么样的人才才能使他们适应未来的这种要求呢？

二、要求积极创新的科技与传统中学理科教育的矛盾

我们的有机合成路线，不论在课堂中教的还是从书本上学的，大都是由那些历史上的传统反应组成的。在工作中设计一个合成路线时，也用了一些在学生时期学到的反应。而实际上这些反应以及组合反应的思路不少是数十年上百年前纯学术研究的结果，它们不计较成本，不考虑浪费，更不想环境，不想未来。要想根本改变就必须开创新路。所以，要使学生具有解决这些问题的愿望、素质和能力，而其中主要是创新。

为此，我们的教育者要认识科技进步与传统理科教育之间的矛盾。

1. 科技进步要求创新，而传统教育是以知识积累为主的。

2. 科技进步要求多样化，而传统教育教给学生的和要求学生接收的是单一的，而且是统一的观点和理论。

3. 科技进步日益依赖多学科多方面多途径的综合研究，而传统理科教育体系导致学习领域狭窄，从中学到研究生到博士后越来越变成一个专门家，并只在弹丸之地打洞。

4. 科学进步要求动态思维和适应不断变化的问题和不断更新的工作方法，而传统教育强调巩固的、万无一失的常规方法。

5. 计算机存储加工信息的能力猛增，使以记忆为主的描述性知识教育失去它的大部分作用。

6. 高效计算机技术加上人工智能能够代替人进行大部分的程序性的思维，使得以推导、演绎、标准方法训练为主的理科教育失去意义。

这些矛盾是知识与智慧的内容和它们之间关系不断改变的表现。人要有知识，更需要有智慧，随着科技进步，过去的智慧变成今天的知识；过去的尖端科研变成今天的常规。例如，DNA 合成、X 射线晶体结构分析、蛋白质测序等都已自动化，或者说“傻瓜化”，而不再需要多少智慧来完成了。因此，培养学生的创新精神和能力才能使他们成为走在科技进步前头的人。要培养创新的心态、素质和能力，必须而且能够从中学教学开始。如前面讨论的，我们在教育学生时要时刻注意培养他们以下几个素质：

1. 多样性；

2. 综合性；

3. 相对性；

4. 想象力；

5. 动态思考；

6. 比较和批判。

若以这几方面的素质教育为目标来看当前化学教育，就会看出许多问题。学生把反应、性质、定义、计算方法当作唯一的绝对的东西背下来，甚至有的教师要求学生从文字上吃透化学反应的精神，遵循课本的文字叙述回答问题，按照例题计算问题。中学这样考，大学入学考试也这样考，学生丧失了他原先还有的想象力和怀疑精神。这样培养出的人很难有创新的要求、意愿和素质。

三、正确处理理性认识间的相互作用是在中学教学中培育创新素质的最重要步骤

我们强调从中学开始培养上述素质是必要的。因为一个人从中学开始他越来越多地通过学习掌握理性认识，并且越来越多地依赖理性认识去进一步观察、解释和认识事物。以指数速度增加理论和概念可以成为他们创新的基础，但是理性认识之间的相互作用既有促进也有排斥。把理论和概念绝对化，把解决一个问题的方法唯一化，使他们拒绝接收新理论新方法，便丧失了创新的和进步的前提，反而限制创新和进步。所以我今天首先就理性认识的相互作用来谈一谈为什么和如何在中学化学教育中培养创新精神和能力。有人觉得创造力是伟大科学家所具有的天赋素质，事实上，决非如此。人从小就有创造活动能力，如果这种初始的创造力一直不被抑制，而不断发展，会有许许多多科学家、工程师出现，当然也有画家、医生出现，他们也要创新。可惜的是，在许多情况下，学习所得本应完全成为创造的基础，却被不恰当的教育变成限制创造力发展的框框，例如把一个一个定义、定律、关系式绝对化，把本来依附于化学问题的数学手段变成化学问题的实质，把由部分事实推想出来的假设、假说、模型当成客观存在等等。

先入为主和绝对化会给人们设置极限或界限，使人们不敢超越，也不想思考某个极限或界限本身的条件以及本质。举深海潜水为例，在公元前3世纪，靠常压潜钟，可以下潜到20—30米，但由于空气耗竭只能维持很短的时间。1691年，发明了连续输气的潜函，只解决了空气供应问题，极限还在20—30米。后来认识到不能再下潜的原因是静压过高以后，19世纪时，发明了加压潜水服把极限下推很多，但又不能再下潜更深了，原因是减压症。20世纪初，发明了高压舱解决了减压症，又把极限推到56米。后来发现这个新极限是由于稀有气体麻醉造成，到1939年，采用氦加氧气代替空气以减少稀有气体在细胞膜上的溶解，一下子，又把极限推到200米这个新极限。但是再下潜就出现高压神经综合症。后来，发现了产生的原因，改用氮+氧+氦三联气，并且分级慢加压，再把极限推到700米，再深又出现类神经紊乱。目前正在研究其机理，一旦明了，或许又可以推进一大步。回顾这些事实，可以看出如果人们把极限看成是绝对的，不敢越雷池一步，这样的进步是不可能的。

我们在中学化学教学中教给学生的内容有许多是把复杂问题做简单化处理后的结果。例如把一个过程简单化为一个化学反应，忽略副反应，忽略在全过程中发生的其它事件。例如铝片在稀硝酸中发生了什么？一般只讲一个反应，实际上是好几个事件组成的过程。牛顿力学的精粹之一就在于把复杂问题简单化。过去百年间物理学的辉煌使人认为数学和物理是解释一切的终极依据，就是因为它的简化处理。电子被当作点电荷，小分子也当作点。一切物质从单质到蛋白质，到细胞，到人体，其中一切活动都可以用数学和物理来描述和表达。但是复杂问题简单化仅仅是一种认识问题的方法，甚至是一时的方法。在我们教给学生一个反应、一个概念、一个理论、一个方法时，非常需要教他们知道这是一种方法，是简化的方法，由它得到的结论是相对正确的。要逐渐教学生知道不能把简化处理得到的结果绝对化，因为无论如何我们对复杂事物的认识还是要向探索其复杂性上发展。以理想化处理为例，在化学里讲了一些理想状态：理想气体、理想溶液等等，如果没让学生明白这些只适用于那些并不存在的、分子间没有一点相互作用的体系，他们就会把它绝对化。后来的发展说明理想气体状态方程式所描述的只是理想的气体状态，它与真实气体有不同程度的距离，由 van der Waal 方程到认

识分子间力，再由分子间力去解释胶束和膜，才有可能在后来认识到弱相互作用以及其在分子组装中的作用，其后出现的冠醚穴醚又把弱相互作用提高到主客体化学来认识。直到最近，Lehn 得了 Nobel 化学奖，研究由分子间弱相互作用构筑的超分子的化学才成为当前一个热点。如果不突破理想气体方程式的框框，就发现不了分子间力，如果不能突破只有强相互作用才会形成结构，就发现不了也解释不了自然界许多现象，特别是生物学现象，就不会出现超分子化学以及有关的概念：自组装、分子识别、高级有序结构等等。

我们在中学化学里讲了一些本来只是某种模型的概念，它们仅仅是理论研究的推理结果。为了描述和表达看不见、测不了的事物，科学家在头脑中可以构成概念模型，推出数学模型，甚至用木头或塑料做成看得见摸得着的形态模型。它们在一定范围内可以成为认识事物的拐棍，但是它们不是客观实际。例如，量子力学推理结果使我们接受了一系列概念：电子云，波函数，轨道等等。如果教师在用一个哑铃给学生讲解电子云而不教学生知道这仅仅是那些量子化学家打个比方所展示出来的模型，学生就会把它当成真有什么电子云。我们把分子或原子当成刚性球，讲述碰撞理论，解释反应动力学表现，如果学生从此把分子当成刚性球，撞在一起会弹开，怎样解释一个小分子和一个大分子相撞时这么快的找到特定的作用位点？由量子力学推出的另一个概念模型是共振论，它把苯的结构描述为两个或几个共振结构的总和。经典化学家常常用经典热力学思路把变化中的体系用始态和终态来描述，事实上，从始态到终态变化过程中有多少状态？这种变化是跳跃的吗？多少年来，在教学中，我们常常把它绝对化了。在大学化学中会认识反应机理中有一种或一两种中间态。再后，或许还能进一步了解从始态到终态有若干条途径，催化剂的神奇就在于用它的魔杖引导反应沿着某一条快捷的途径达到终态。但是为什么不能同时叫学生去想象那些从始态到终态的连续改变过程呢？甚至叫学生去想象在诸如生物体系中有何始态又有何终态呢？我们不该叫学生建立一个非此即彼的思考方法，有时它是创造性地解决实际问题的障碍。

我举以上各例不是说不能教给学生那些简化的概念模型，相反，对于中学生，只能学习这些概念和理论的基本思想。而且我们仍然使用这些方法，或许永远要使用这些方法。问题在于我们不能把这些东西极端化、绝对化，那样会使学生把这样学来的东西死死记住，成为排斥新概念的障碍。

举两个例子来说明先入为主的影响。先“掌握”的概念会排除异己，于人会使他面对新概念表现出傲慢与偏见。例如对于配合物的认识，在 18 世纪人们就制备了亚铁氰化钾，但是无法兼顾矛盾的事实：虽然写成复盐， $\text{Fe}(\text{CN})_2 \cdot 4\text{KCN} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 符合价键理论，但不能解释为什么溶液中很少 CN^- 离子。后来合成出越来越多的类似化合物，如 $\text{CoCl}_3 \cdot 6\text{NH}_3$ ，都不能用价键理论解释。就在 100 年中人们想出许多办法去“补台”，教材中教的是不能自圆其说的东西，可是学生把它当绝对正确，从来也不去问问那些说不清的地方。如此者，直到 19 世纪末，Werner 提出配位理论才算了此公案，前后经历了 100 多年。另一个例子是有关惰性气体是不是惰性的问题。18 世纪 90 年代连续发现五种惰性气体，当时的研究表明它们不与任何物质作用，所以称为惰性气体。恰好那时刚刚提出八隅律，认为价电子层有 8 个电子时最稳定，由此“圆满”地解释了惰性气体的惰性，反过来又以事实论证了八隅律的正确。

尤其是 Ramsay 把氦的样品送给发现氟的 Moissan，请他用当时认为最活泼的氟试试惰性气体的惰性，结果不出意料，氦没有与氟化合。于是八隅律和惰性气体十分完善地相互支持，达到普遍公认，写入教材。直到 1933 年出了个 Pauling，他预测惰性气体并非惰性，虽然当时有人试图合成惰性气体化合物，但都失败了，这一企图的失败更证明八隅律的正确和惰性气体的惰性，如此者又 30 年，Bartlett 在 1963 年终于合成了个别惰性气体的氟化物，13 年后，才证明八隅律只适用于 C, N, O, F 和 Ne。若干年后，惰性气体不得不改名稀有气体。从 1864 年八隅律的提出到 1963 年 Bartlett 的成功，又是整整经过 100 年，在这 100 年中不知有多少学生被培养成为化学家，但是他们中很少有人问过一些破绽。例如，Moissan 当年只做了 Ramsay 送给他的氦的实验，为什么由此就认为惰性气体都不能与氟作用呢？为什么就不去试试其它？尤其是 Pauling 预计原子量越大越容易作用之后，虽然开始有人失败，但是为什么不去研究实验方法上的问题，而只是反过来死守八隅律呢？由此我们应该获得一个教训，继承与创新是矛盾双方对立的统一，只有在教学生具体知识的同时培养他们的批判和怀疑的态度，才能培养他们创新精神。

在中学和大学低年级的化学教学中，习惯于教给学生解决某种问题的一种方法、一种思路，甚至连溶解度都只能用一种单位、一种表示方法。慢慢地，这些学生只知道一种方法，不去想改变它。固然多数人反对照猫画虎，但是未必有人反对举一反三。按照原有思路或别人走了一大步，我们走一小步成为我们研究工作中的一个极大浪费。为什么不能离开主流另立门户？近年来异军突起的组合化学可以说给传统合成化学当头一棒。传统合成化学一向是以取得一定目标物纯品为目的，上百年来新药筛选就依赖合成若干化合物，进行药理筛选的。由于筛选命中率仅有万或十万分之几，传统合成化学拖了新药研究的后腿。组合化学方法一反传统，它不以取得单一化合物为目的，而以建立包含所有可能化合物的“库”为目的。这个库可以包含数以万计，或十万计的结构相关的化合物，但是所得的是混合物。例如，可以在几个月之中，合成 3,200,000 种由五种氨基酸组成的所有五肽，每份样品只有一滴但含有成千上万的化合物。他们发展了特殊的方法从中“钓”出有活性的化合物。这不仅是方法革新，在概念上提出诸如缓和条件下合成、同条件合成、同步合成、等摩尔合成等新问题，并且促进合成子合成的发展。我们应该从这一例子看出培养学生的替换思维和反向思维是十分重要的，而我们的中学化学教育恰恰缺少这方面的要求。

四、培养创新心态和想象力

能否创新，是否愿意并敢于创新在很大程度上依赖于人的心态。无论是科学研究，还是一般科技工作，都要求创新，但是有很多人不愿、不敢、不能创新。他们不是能力问题而是心理状态问题，我愿在这里引用 Nobel 物理奖获得者 Esaki 的一段有益的话。他说，你想得 Nobel 奖吗？有 5 条规律；第一，不要让你被自己过去的经验所束缚；第二，不要过分追随你的领域中的任何一个权威；第三，不要抱着你不需要的东西不放，要严格地筛选信息；第四，不要回避对抗，如果有合理的观点，就去辩论；第五，不要忘记童年时的好奇精神，它是想象所表现的。但是我们的学生在学习期间缺少这种心

态和精神的培育，我们的各级教育都不能使学生有这种精神。

第一，我们习惯于模仿。沉湎于前人的光辉之中，总是以前人为规范，例如中药必须尊古炮制，为什么我们的合成药物有 97% 是仿制的？为什么我们的科学研究总是按照人家的思路走？为什么我们自己的传统的教外国人接过去，改造了又打到国内来？我们从小就让学生学会模仿，使他们认为模仿是最有效、最保险、最省事的办法。为什么习题有标准答案？为什么教学生题路？为什么教学生背诵若干解题模式？我们在上课时讲例题，课后教学生做类似的习题，考试时考同样类型的题。大多数的习题是有规范程序的，而且有标准答案的。我们在上课时教给学生的是固定的解释和解决问题方法，学生没有机会去提出他自己的方法，更没有机会去试一试他们的想法。如果学生经常按照一定规范去做题，他们做的习题越多，越熟练，就越失去独立思考的能力，在题海里培养出的“熟练”最多可以成为技巧但不能创新，甚至妨碍创新。

第二，要引导学生敢于冒险去摆脱惯性的束缚。我们的工作，甚至研究工作有不少是由惯性所推动的。它们——

- 采用传统思路和方法，缺少根本改变，
- 跟踪世界潮流和热点，而缺少自己的创见，
- 采用刻板的方法做大同小异的事，
- 也有一些工作是被市场上不断出现的新仪器新设备所推动的。

放眼周围事物，你会发现这不是科学界所特有的。吃饭穿衣，画画唱歌，引进技术等等都有这种现象。总的来说，许多人甘心被惯性所推动，主要是缺少创新心态，缺少冒险精神。相当一部分人无论在做任何工作时，都愿意做目标明确，方法清楚，可行性强，成功率高的工作，而不愿冒风险去做前景模糊不清的和太复杂的事情。这种心态是从小受教育养成的，鼓励学生提出问题，提出教员甚至专业科学家解决不了的问题是非常必要的，这并不是要求过高，而是我们没能在他们面前打开这扇门。

第三，要使学生有机会发挥科学想象力。科学想象不是胡思乱想，它也是一种素质。现代科学重大成就中有不少是先头脑中形成一种观念、一种结构、一种联系，甚至是一种从来没有的东西，然后再通过实验来证明它，制备它，寻找它。例如生物医学中的各种因子和受体，数学中猜想出的关系，天文学中的黑洞等等。化学中的想象成分远远低于生物学、天文学、原子物理学，或许因为化学掌握的是拿得到，看得见，测的出的这个层次物质，而细胞中的个别分子、天体和粒子则是看不见、拿不到的东西，这样的情况培养了生物学家，天文学家，理论物理学家丰富的想象力。而化学则转而求之于实物的获得，可能因此想象力逐渐退化。实际上，化学现象中需要想象加以研究的地方很多，我们用谱学方法推测蛋白质在溶液中的构象和构象变化就是实验技术与想象的结合。在中学教学中就应该培养学生的科学想象力，近来有人提出培养中学生心理成像的素质，例如一个分子的三维结构在书本上画成平面的，要教学生能在心里把它变成三维结构；再如物体经过旋转 (rotation)，反射 (reflection) 和反转 (inversion) 等操作后变成什么样子？

第四，要联系学生能接触的实际问题。美国化学会理事长 Breslow 在 1996 年新年祝词中说：“有人说化学教育应该集中教化学中的核心 (core) 部分，可是吃苹果的人 (用户) 并不认为苹果核是最好的部位。自然，核也是重要

的，核里包着种子，种子携带着过去的基因记忆，它是未来的基础。但是，在我们的教学中，化学教师必须叫学生不只了解和掌握传统的核心，还要了解和掌握现代核心中的广泛的科学与技术。”

最后，我必须说明我不是中学化学教师，我不知道大家的难处，不免说了许多虚无飘渺的话，但是有一点是确切的，从我们历届奥林匹克化学竞赛的选拔，培训和参赛过程中，我们深深体会到，一方面中学生有潜在的创新能力，有想象力，有独立思考的能力；但另一方面很多中学生受传统教育束缚，他们的创造力，想象力和独立思考能力没有机会得到充分发挥。我们的责任就在于如何从各个方面改变这种状态。我们国家和全人类的几个重大问题，如粮食、能源、环境等等的解决要求的是富于创造性的各行各业的人才。

当代新产业革命与文化发展牵引经济的未来社会

罗沛霖

电子工业部

罗沛霖 中国电子学与信息学专家。1913年12月30日生于天津市,1935年上海交通大学毕业。1952年美国加州理工学院授于特荣誉级哲学博士。历任电子工业部科技司副司长,电子工业部科学技术委员会首届副主任,中国计量与测试学会及中国标准化协会副理事长。1980年当选为中国科学院院士。1994年被选聘为中国工程院院士。对我国电子科学技术发展以及工业建设做出了重要贡献。

一、人类漫长历史中的几件大事

人类的历史是从使用工具开始的,开始是旧石器时代,经历了300万年上下。他们用语言相互沟通,出现原始的社会交往。火的利用也是这时开始的,也有了矛和弓箭以及药针等。

然后是新石器时代。人不仅会做磨制成的石器,也出现了陶器,纺织。植物、动物的驯化开辟了农业发展的时代。这个时代大约开始于10000年前。

再就是青铜时代,这在中国是殷商时代,约在3000年前,在两河流域和埃及则更早些。商业兴盛起来,出现了城市文明。大体说,它是史前时代的结束,也就是文字出现的时代。殷商的甲骨文和两河流域的楔形文字是突出的例子。

西方自文艺复兴时起,资本主义从文化方面开始,启动了一系列的社会运动,直到实现了资本主义政权,又在18世纪开始的产业革命推动下达到发展的全盛。产业革命是以机械化为标志的一场技术革命所推动的,从而出现了工业化社会。和这场大变革共生的有印刷机的出现,把原来手工操作的作坊印刷业转化为迅速发展壮大的产业。

把以上综括一下,社会——生产结构,从人类的蒙昧期起,社会生产已出现了三个里程碑:与人类出现同时开始的采集型(狩猎、捕鱼、摘蔬果)生产转向农牧型生产是第一个里程碑。商业和城市文明的出现是第二个里程碑。工业化是第三个里程碑。与这三个里程碑并行的是在信息和文化运作方面,也出现了三个相对应的里程碑:语言从出现到完备是第一个。文字的形成系统是第二个。印刷机和印刷业的出现和兴起是第三个。印刷机的出现开始了一场信息运作与文化运作领域的产业革命。它成为资产阶级革命时期一系列社会运动发生和发展的触媒和强大的促进剂。我们可以列举这些:文艺复兴、宗教改革、科学革命、英国革命、启蒙运动,法国革命,产业革命。至今人类还在享受它带来的巨大的利益。共产主义思想的传播也同样得到益处。

时到当代,人类又处在从工业时代转入信息时代的过程中。生产将进一步加速发展,文化运作也将进一步发展。这是第四个伟大里程碑,将比以前三个更为伟大。现在它已在空前蓬勃地展开,将来它还要带我们进入文化发展牵引经济发展的伟大的远景时代。应当说明,信息时代中,工、农、商业

不会衰退，而会更发展强大。

二、信息化——电子时代的特征

第四个里程碑对应于向我们走来的新产业革命。当代新产业革命的旗帜是信息化，一切社会运作的信息化，它的旗手是以电子技术为代表的电、电子、光电子技术，所有的社会运作都将由于超高性能的电子-信息运作新手段插入而大大地提高效能。具体说：

1. 经济与社会运作信息化：一切系统运作采用通信与计算机辅助作业，走向无纸的或少纸的作业。从信息采集开始，归纳、综合、推衍、分析、研究论证、决策、指令、实施、反馈……一切纵向、横向、斜向、顺向、逆向的信息交流，都靠电子信息运作手段帮助实现，举例如电子数据交换(EDI)，决策支持系统(EDI)……

2. 生产自动化：离散生产如制造业，有数控机床，机器人，加工中心，柔性生产(FMS)，计算机集成制造(CIMS)(信息流、物流、管理……电子-信息化和生产作业自动化综合的系统)。连续的过程性生产如化工、冶金等全过程中用信息控制的集中自动化。

3. 文化艺术创造利用计算机、通信、电视、电子仪表、电子自动控制的辅助作业。在艺术与文学方面，文字处理已广泛采用。另更进一步如音乐、舞蹈、美术、造象、雕塑、戏剧等，都可用计算机辅助创作，定了再改，改了再定，直到创造者本人满意。演出也可先用电子技术设计，显现，预演，不断修改定稿。电影电视的创作更可用电子动画技术产生逼真的幻像或表现为实际所不存在而使人信以为真的情节、人、物。在科学技术方面，科学观察与实验中大量使用电子仪表仪器，电子实验装置，电子自动控制。工程技术方面则可用电子信息技术辅助设计，用电子计算机技术仿真代替实验验证等。举例如波音777飞机的产生，没有用一张图纸。

4. 文化、艺术及生活的享用。通过用户的终端，将来不但可以收到一般的广播电视，还可以在任何时间点索或安排：一类是远程图书馆，博物馆、展览会、画廊、剧院……再一种是电视旅游、电视购物、电视逛商场……第三类是远程教育，将来比现在要灵活得多，课目非常丰富，可任选教材，甚至任选教师，任选课时等，还可与教师交流。将来的教育不仅是常规的，还有成人的和继续教育。将来的学习将不仅是为了提高工作能力，也是满足人生乐趣。也不能忽视电子游戏和远程游戏，不仅是个人的，也可进行远程的棋赛等，有如当面。

三、电子的基本功能

电子技术，更确切说是电、电子和光电子所以成为伟大的产业革命因素，也就是它比起印刷机远为强大的缘故，就是因为它在信息运作的所有的方面，都有强大的功能。现在分述如下：

1. 信息的摄取和采集——对声、图、像(活动图像)，和光、电、热、力以及化学各种量，都可经过电子敏感元件或传感器为电或电子量而由电子技术给以运作。它是人的五官等的延伸，而远为快速、灵敏、准确、多种类，超越距离，有高度适应能力。

2. 信息的传输——超越距离和一般障碍，高速度，大量的传输，远胜于过去声、光、烽烟、驿道的功能。

3. 录存——极大容量，高密度，存取极快，一张光盘可存几十本书。

4. 再现——用屏幕、音响、印出等表现。

5. 信道换接——在大量的用户和信息源之间，按照不断改变的需求，快速地建立联系，拆断联系，改换连接。

6. 信号变换——加密、解密、选择、区分、去除干扰、压缩、解压……

7. 数值计算——一般说是计算机、器的功能，极大极小数值，极复杂算法，极高的速度（每秒以亿次计以至数万亿次）高度准确。是对初级脑力劳动的极大幅度的延伸。

8. 逻辑推演——从数值计算功能推展开，以极高速度做极复杂的推演。

9. 计算机仿真——凡已知其规律的过程，可以是包含大量的参数，极复杂的过程，都可以仿效而对过程解剖，或用声、光、像、热、力等表现出来。后者可以表现为一个“环境”，使人置身于中，如在现实中或幻境中，则称为虚拟现实技术。

10. 控制利用——如上所述各种功能组合起来。就可执行复杂的过程控制。

电子也能用于对能和物质的作业，如太阳能发电，半导体致冷，高频加热，超声加工，电能由直流到交流的互变，电压与频率改变，功率因数补偿，电能控制，计算机辅助节能等都是。但是这仅是对能与物质作业所需的功能的一部分。而正是因为电子技术具有在信息运作的 10 个功能方面全具有极优越的作用力，使它成为信息——文化领域新产业革命的决定性因子。

四、进一步探讨文化领域的技术飞跃

在我国当前，生产——经济的信息化要求是迫切的。在发达国家，当前在这方面的实践已很广泛。然而，从长远看，文化运作的电子化将是非常非常重要的，而且现在也已经发挥了巨大作用。至于在科学技术方面，它的作用更不须特别强调说明。因此，在这里要特别对文化运作给以阐明。

首先是从思想和概念方面说，文化是联系于精神文明的，是重要的半边天下，而且文化是人类进步的首要标志，是综合国力中重要的，具决定意义的部分，是人类永恒的追求。文化信息在所有的信息中是精华。

其次，文化电子在实践中已表现出其强大的作用。我国的广播和电视的拥有量已属世界第一。它们不但给广大人民提供了娱乐与休闲，而且在传播信息与政令，教育人民，提高人民素质上所起的作用是非常巨大的。

再次，对经济方面，在我国全部产出值中，文化产出值已占到 15% 以上。将来还要增长，从长远看，最后，它将占全部产出的最大部分，将要成为社会经济的主体，而且进入文化发展牵引经济的时代。

五、电子运作信息的演化经历 ——走向全能信息——文化总系统的历程

这个历程开始于电报，被运作的信息媒体是文字和符号，以早期摩尔斯码形式运作。在 1840 前后就商业化了，是电——电子进入信息运作领域的先

驱因子。1876年发明了电话，进入了第二个媒体，即语声及音响的运作。在1920年之后，发明于1843年的传真技术实际使用，是运作图像媒体的开始，然而仅是1939年黑白电视开播，活动图像得到成功的运作，才可说是电子技术覆盖了第三种信息媒体——图像。到1946年，最早的电子计算机出现，可说是进入了数值的时代，第四种媒体即数字被覆盖了。以后电子数字计算机被应用于逻辑推演，又扩大到第五种媒体，可称为逻辑元素的运作。附带说一下，电视从50年代开始了彩色化。

在这个各媒体运作走向完备的同时，信息界出现了通信、电视（无线的和有线的）与电声、电子计算机应用，数据库与信息库服务，电子书刊与声像出版发行五个行业。从计算机兴起的交互网络实际是电子计算机界进入了电信的领域。又由于电子计算机在不断向个人推广，这就从计算机界首先提出“多媒体”技术方向。引起了其他几个行业的高度热忱。而正在走向五个行业的大融汇。而且，正是迎接这个客观形成的热潮，美国政府在1993年提出了“国家信息基础结构”，俗称“信息高速公路”，就是五种媒体，特别是文字、声音、图像，相互结合而把五个电子信息行业融合在一起的大系统。为了更有利于表达它的内容，我称之为先进的全能文化——信息总系统，或略去文化二字。

六、总系统——信息高速公路的构成

先进的全能信息总系统还不是已经建成的系统，但是在技术上却是已经具有相当充足的基础，其中有些复杂的环节正在实验之中。因此，我们还是可以设想一下它的宏观构成的。

1. 系统的共用部分，或说中枢，是一个超大容量的“网络”，它实际由一个个信道换接的设备和大量大规模的传输线网络构成的，和现在交互网络相比，因为要增加传输大量的电视信号，带宽要宽许多倍，就是说其数据率要比数字电话还要高几百上千倍。信道换接的用户对象成亿数，而且数据率也很高。多芯光缆可以满足传输要求。信道换接方面，ATM是一个备用方案，但还要通过实验和实践才能作结论，可能要多种方式并举。

2. 大量的用户终端：复杂的应是如多媒体计算机那样，要增加电视的交互功能，简单的如现在的“随身听”或“随身看”。完整的应有摄像、录像、印成等功能。一定会是多种多样的，要成亿生产。

3. 专业终端和一次信息源。数量恐怕也要以百万计，如播放室、摄录棚、作家与美术艺术家的作业室、剧院、图书馆……还有试验室、研究室、设计室、观测站等，一直到记者采访用的录像机。

4. 信息库与信息服务站：可以说是二次信息源。世界上现有的信息库已经上万，但提供的服务还很有限。特别是在将来，还要有大量的影视节目储藏在那里备用，如果要使任何一个用户在任何时间调看任何节目，那将是非常大规模的和极复杂的。

5. 声、像、文字或任何组合的出版发行：这也是一种二次信息源。产品可以是盘、卡、带等，也可以出版纸页书刊，可以邮递、专送、在商店零售，也可通过网络传给用户自己录印。

七、先进全能信息总系统的当前状态

世界上现在还没有一个能称为总系统的系统。然而经过许多中间的步骤，逐步会向它接近。

当前有一个交互网络（Internet）提供各种服务。它起源于美国，现在全球已经有几千万用户用上了它。我国近年才加入，用户可能达到 1000 家。它原是作为计算机网络设计的，至 1996 年止，还只有计算机用户终端机入网。它可提供电子邮政，电子公告，调阅文字与图画，电子竞赛，电子游戏，调入软件……已经有许多图书资料报刊可供调阅。英国将把其千多所博物馆的馆藏输入交互网络。还有的公司提供点索服务，即类似我国电话局 168 服务，但范围更广而内容丰富。然而，如果用普通电话线路接入则数据率至多 144kb/s，一般只有几十 kb/s。如果接入专门的数据电路，可到 2mb/s，但需要专接，费用相应地要增加。

现在出现若干比用个人计算机节约的方案。如所谓网络计算机，只需个人计算机几分之一价格，但大量地要依赖网络和公用的服务器。另一种是用电视机变型，叫网络电视，能收电视广播，也能在交互网络上通信和调阅信息。还有降低计算性能从而降低价格，可称为基本个人机的方案。为了迎接近年来交互网络大发展（接入户每年翻几番），类似的方案风起云涌，可能在 1997 年可有一定结论。

若只从其速率看，现在的交互网络可以胜任通话，但只能是单向的，因从发到收有相当的延迟。若用以传送电视，则其数据也远不够用。若要达到“总系统”的要求，恐怕只有另起炉灶。现在在美国最积极的是有线电视行业。美国已有 2/3 人家接入有线电视，而且有线电视业者已拥有可传输数百路数字电视的同轴网络以及光纤传输，并在美国普及到 2/3 的人家，但要实现点索电视，即电视会见，并达到广播电视的质量还要上第二个大台阶。若进一步提高到高清晰度要求，那还有一个台阶要上。

第一个台阶：举例如仅是电影一项，西方的就有几十万部。仅选其 2%，也要一万部。一定要有极大的数据库和灵活的调度系统。点索要求可以用电话或其他上达。回答，即播送，要用高速率通道，而且能输入用户的电路，并能容纳大量用户。这并不是一个简单的技术问题。

第二个台阶，要求由用户接出和接入的电路都是高数据率的，即对称的。这样，原有的有线电视传输系统还有大部分要改造。

第三个台阶则要求 10 倍的数据率，这是又一个难题。

但是我们还有一个过渡的解决办法，例如直接用卫星广播，在美国已可从几百个节目中任选一个。可以设想，可能同时播送上千节目供选择，这也就是很接近于任意点节目了。

八、文化应用的巨大份量

以上曾提到总系统可以说是先进全能信息——文化总系统，或不用文化两个字。其实也可称之为先进全能文化信息总系统。这是因为，在总系统实现以后，在系统中占据比特空间的绝大部分的信息是文化及生活信息，占到 99% 以上。

九、文化发展牵引经济的社会远景

若从历史中考察，可看到文化在人类社会生活时空中所占的比例是与日俱增的。

蒙昧时代——人类的文化生活微不足道。

奴隶社会——开始有了专业的文化业者。

封建时代——有了太学、书院、书塾、职业的知识界，印刷作坊、雕版、手工艺者。

近代——印刷出版发行业出现，近代的学校制度。专业知识界大为扩大。科学、技术、文学、艺术、美术、音乐、戏剧、电影、电视、广播……

当代——在经济、生产、社会运作之中，所直接、间接创造与消费的价值中，可列分为文化类别的可达 15—25%。

在人类总的生活的时空中，文化所占份额可估计如下：a.全寿命中仅 40—50 年是在职业工作之中，其余在文化、教育、休闲中。b.在职业生活中，又有 15%是文化、教育、科学、技术等专业文化工作。c.在职业工作期间：双休中一日在休闲与文化中；在工作日每日两小时在文化与休闲中。这样，总的计算一下，当代人可能有 60%至 80%的生活时空消耗在文化之中。

消费是决定生产的因素。非消费生产也是间接为消费品生产。在信息化产业革命期间，信息化生产占的份额在不断增长。文化消费生产（直接加间接）占生产总额中的份额也在增长。这个份额或早或晚将超过 50%。那时文化事业将成为社会经济中的主要部分，文化发展将牵引社会经济的发展。这是一个真正伟大的变化。

十、我国如何迎接这个信息基础结构建设的潮流

应当保持有条不紊的思路。当代的信息基础结构的建设既是一个先进技术的问题，也是一个经济的问题。我国一方面要在技术上争取迅速突破，也要有条不紊地安排建设。美国虽然提出这个任务，但迄今也没有一个比较完整、成熟的技术与建设方案。他们的总方针是解除对厂商们的部分束缚，让厂商们在竞争中突破技术-经济的界限。这说明美国已具备了突破的技术与经济条件。

考虑到我们所具备的条件还有很大差距，而我们又必须适应周围世界的进程，并用以牵引我国追求世界水平的尽快进展。为此作一轮廓的建议如下：

1.应当坚持加速在正在进行中的工作的进度，包括电信、广播电视、电子计算机以及声、像、文字光盘出版发行；经济信息化；各种信息库和在线信息服务的建立；国际交互网络联接的扩大；汉字交互网络的建设……

要密切注视发达国家的进展，适时布署我们的对应方案。

同时从实际情况出发，切实安排广播，电视的数字技术和卫星广播以及 VCD、DVD 制作。

2.作为向先进全能信息总系统建设进入的第一步，先建设多节目“辐射型”广播，例如数十频道至数百频道的数字卫星广播系统。

3.第二步解决小范围、小规模点播节目系统。何时推广，视经济发展形势决定。

4.第三步解决交互电视的任务。窄带可视电话是否适合我国情况，可能是需要慎重研究的问题。可能是宁可晚推广，而一步走向宽带交互。

5. 与各阶段相呼应配合, 进行有关的科学技术基本专题的研究。
6. 相应地进行有关电子工业的建设, 尤其是元器件与材料以及专用生产设备和逐步提高水平扩大品种的测试仪器。

十一、若干问题的讨论

围绕着当代新产业革命和先进全能信息总系统的逐步展开, 有若干问题, 为以上的叙述中没有很好说明, 或需要多少深探一下。

(一) 先进全能信息总系统, 是当代新产业革命的一个最集中的代表, 但并不是全部。还有许多其他的重要事物——如巨型计算机。很快就要达到每秒几亿次, 将为科学技术发展提供强大作用力。也许要联网, 但更重要的是独立地提供计算能力。又如一些单纯的通信业务, 例如蜂窝式移动通信和全球个人通信系统, 肯定是要入网的, 然而并不一定提供所有的服务项目。还有生产自动化系统也是有一定的独立性的。电子信息技术还有数不尽的应用, 不可能用一种系统就能覆盖一切。

(二) “全球一个网”, 似乎现在的交互以及普通电话网络已经做到了一定程度, 是不是总系统也是如此? 像美国在 1993 年就提出 NII (国家信息基础结构是网的网, 或说是若干网上之网)。交互网络 (Internet) 虽远不是全能的, 却已做到了许多局域网 (LAN) 都可接进去。现在又出现了新热门: “内联网 (In-tranet)” 或称企业网, 实际上是专用网, 只限于一个企业、事业或部门范围内使用, 但也和公用的交互网络联在一起, 可说是网下之网。总系统一定也会是这样的, 共用与专用相结合, 从上到下分为层次的。

(三) 文化是联系于精神文明的。信息是与物质并列的。但是物质 (包括能) 是第一性的。文化、信息都要依存于物质。信息生活丰富了, 精神文明提高了, 又要反作用于物质和物质文明。电子信息技术通过提供物质生产的自动化运作而增添了人操作机器和工具的能力, 而电子文化信息作业提高人的精神文明素质, 又一次增添人自身的能力。这个双重的倍增作用是当代新产业革命的伟大之处。然而尽管电子信息技术提供先进的文化运作系统, 但是要发挥其作用, 却决定于文化内容是否健康和先进, 这是不容混淆的问题。

(四) 人们说信息技术将使全球缩成一个村落。又说由于人们将不用出门就可办公、购物、旅游、参观、获得巨量信息……因而人会产生孤独的倾向。这些提法既矛盾又局限。当今世界上还存在着国家界线, 存在着民族差异, 存在着许多矛盾。如果这些问题存在的根本因素在走向消除, 那信息运作技术会从技术获得益处, 否则不可能从技术得到原动力的。有人说交互网络就有能力使一切全球化, 其实谁依靠谁是很难说的。交互网络“全球化”是否意味着“英语全球化”? 我国现进入交互网的用户还不多。如果多了, 语言就是问题, 势必要建设汉语的“巨型内联网络”。然而, 虽然如此, 交互网和总系统都是起密切人们的联接和交往的, 物理的孤立和信息的密连是并存的。再说电视会见并不能代替握手、拥抱、触摸。电视旅游虽好, 然而“百闻不如一见, 百见不如一到”可能更引起亲自一到的愿望。

(五) 有人说新产业革命后生产要改变, 工业时代的大生产将为分散的个别生产代替。工业时代的分工和标准化会大大地削弱。不错, 制成品会更加多种多样, 然而生产经济和规模的关联仍然存在。当代的分工已不同于早

年，很多是由于专业技术与装备的差别，用户不可能具备多种的生产知识，而生产的适当的分散化更需要标准化。

不但如此，人类进化中的多次变革是怎样的？过去的渔猎、农牧、商业并没有消灭，而是生产更进步了，规模更大了。进入信息化时代以后，农、工、商业都不会消灭，而是生产效率更高。纸张会大量节约，但不会消灭。

（六）计算机的应用带来许多问题。计算机应用进入网络时代，又带来更多的问題。例如盗窃机密，播送病毒、涂改电子档案、破坏电子档案、搅扰计算机和网络正常工作等等。所谓的电子计算和网络的“黑客（HACKER）”几乎是防不胜防。这种危害有时会很严重的。

要看到，在社会上、历史中善与恶原就存在的，斗争是长期的。在计算机网络广用之后，斗争的形态变了，应当保持高度的警惕，发展和采取斗争的措施和策略。有矛就有盾。

（七）何时何地能建成总系统。实现“信息高速公路”，是技术问题，也更是经济问题。技术问题解决之后，还必须高度发展的经济，才有足够的用户使用，才能保证建设和保持运作，当然一切总有个开端，小的开端很重要，有由小到大的发展过程。

对 21 世纪科学技术的展望

何祚庠

中国科学院理论物理研究所

何祚庠 粒子物理、理论物理学家。1927 年 8 月 28 日生于上海市，1951 年毕业于清华大学，1959 年至 1961 年在苏联杜布纳联合原子核研究所工作，其后相继在中科院原子能所、高能物理所、理论物理所从事科学研究。1978 年起曾任理论物理所副所长。1980 年当选为中国科学院院士（学部委员）。主要从事理论物理学、粒子物理等方面的科学研究并取得多项重要成果，为我国物理学研究和科技事业的发展作出了重要贡献，曾获国家自然科学奖二等奖等多种奖励。

要展望未来科学技术的发展，首先应把握科技发展趋势的六大特点。

一、科学技术为市场服务是为人民服务的表现

科学技术为人民服务，是科技工作者的服务宗旨。党的十四大提出，我国经济体制改革的目标，是建立社会主义市场经济。因此，可以说科学技术为人民服务的具体表现是为市场服务。目前，国际与国内市场经济有其相同的地方，也有不同的地方。分析一下国际市场的情况，现在是南北贫富差距正在扩大。从市场的占有额看：由于贫困阶层和富裕阶层的需求不同，其占有额就不同，富裕阶层的需求大于贫困阶层的需求。可见占有额与人口比重并不是成正比增长的。科技工作者应该看到这一点，并在观念上加以转变。看到不同阶层的需求，并不是否定科技首先为工农兵服务。对于国内市场来说，中国人民正在富裕起来，中国也正在摆脱贫困。所以，通过对国际市场占有额的分析，来占领市场，也就是丰富国家实力，正是对人民的最大贡献。举个例子如现代医疗技术，CT 分层分析，核磁共振等医疗器械，目前在中国广泛普及是不可能的，除对部分老同志和富裕阶层外，对贫困阶层来讲确是难以普遍满足的。但从国际市场来看，这种需求却很大。拿美国来讲，每年医疗费用占美国 GNP 值的 12%，其中大部分费用是用在医疗器械上。这是一个非常大的市场。目前，我们还没有能力进入这个市场，更谈不上占领这个市场。但是中国熟练劳动力特别便宜，因而在这种高技术领域内，完全有可能有所突破。但如果拘泥于传统观念，就会轻视这点科技工作。总之，观察 21 世纪科技发展，需要科技工作者树立市场观念。

二、生产力的社会化，是生产力发展的客观规律

什么是社会化呢？过去由于认识上的局限性，往往将社会化简单的理解为是大工业、大企业、大生产。企业规模越大，生产力的社会化程度越高。随着人们对生产力认识的不断深化，有了新的认识：社会化是整个社会有组织的大生产；大生产固然是社会化，高度密集的组织起来的小规模生产，也是社会化；而且社会化的概念已经超出了地区的范围，行业的范围，甚至超出了民族的范围。举例说明，“文化大革命”期间，对上海宝钢从澳大利亚

进口铁矿石，许多人提出了质疑，认为有损于民族工业体系，是一种浪费，并担心一旦国际形势发生变化，宝钢就会成为“死钢”。实际上，这种担心是不必要的，因为铁矿石和羊毛的出口是澳大利亚的经济支柱，他们力求扩大出口。断绝铁矿石的供应，首先是澳大利亚蒙受巨大损失。澳大利亚铁矿是富矿，运到上海完全是运输成本低廉的水运，所以今天的宝钢，其经济效益是十分显著的。前些时候，中国科学院技术科学部许多院士联名推广宝钢经验，在沿海地区发展钢铁工业等建议。我认为是可行的。随着社会的发展，人们进一步向海洋要资源，向空间要资源是大势所趋。为此，联合国制定了《海洋公约》、《空间公约》。日本是能源最为短缺的国家，它有个通产省计划到月球去开采 He^3 。 He^3 是一种特殊的同位素，通过受控热核反应进行发电。据估算每年开采40吨 He^3 ，就可供全世界全年的耗电量！所以，社会化的含义，将来还可能要扩展到月球！生产力的社会化，必然引起物质、能量和信息的交流，所以，能源、交通和通讯就成为实现社会化大生产最必要的手段。

三、科学技术不仅为物质生产服务，还要为精神生产服务

过去，人们十分看重科技为物质生产服务，却忽视了为精神生产服务。人们的需求是多方面的，在生存需要得到满足的情况下，更需要满足精神的需求。所以，人的消费有两方面：物质消费和精神消费。随着人类的进步，精神产品将会占越来越大的比重，这是科技工作所面临的新形势。我曾多次呼吁搞高清晰度电视。其实它不完全是一个广播问题。在国家安全、医药卫生、企业生产、科学研究，以及教育等领域，也有极为广泛的用途。高清晰度电视的实质是数字通讯，可以完全摆脱噪声的干扰。它既能传播图像和声音，也能传播文字。是文字、声音、图像三位一体的产品。图书将来要变成电子图书，现在科技文献的贮存和调用已经使用电子计算机来进行，如调一篇文献，可从电子邮件中调到。理论物理研究所已通过高能物理所与国际现代电子邮件网络联网，查阅科技文献十分便捷。总之，精神产品生产是一个很大的市场，随着科学与技术的进步，这个市场会更加兴旺发达。

四、环境污染问题越来越突出，成为制约人类进一步发展的重要因素

目前，人类面临六大问题：1.环境污染；2.资源枯竭；3.生态破坏；4.能源危机；5.气候反常；6.人口爆炸。这六大问题有所改进，或有所缓和，都是当代科技工作的重大贡献。我们在搞军工、民用等产业时，凡属于有利于环境保护的行业，就会得到广泛的社会支持。凡重污染行业则会受到限制和舆论的谴责。所以防止环境污染是当代科技工作的一件大事。

我国是发展中国家，我国的工业带来的污染问题是比较严重的，这是经济落后国家在一定阶段所不可避免的特点。为此，国外有些人攻击我国将会成为新的污染大国，等等。对这个问题我们应该从两个方面去认识。一方面，我们应尽量减少污染，不能搞“先污染后治理”，这将“得不偿失”，甚至可能造成永久性的危害，所以，全民要提高对防止污染问题的重要性的认识。另一方面，就世界范围的污染问题来看，我们应搞清两个概念：一是历史积累的污染量。环境污染是一个历史的问题，谁也不能割断历史来看今天的污

染。世界上一些发达工业国，由于其工业化速度快、程度高、历史长久，而我们的工业化才只有四十余年，相比而言，他们对人类生存环境的污染量要远远大于我们发展中国家；二是人均污染量。污染量与人口增长并不是成正比例的，而是与其工业化发展速度有关。美国是人均污染量最大的国家，其人均污染量 15 倍于我国的人均污染量。我们既要历史地看到现存的污染问题，又要积极研究和探索，充分利用科技手段来防治污染。

五、自然科学和社会科学相结合的趋势越来越突出

自然科学和社会科学相结合，包含着两层意思：其一，自然科学的发展要受到社会科学发展的制约。我们有许多科技工作者对这个问题的认识是不够的。发展科学技术要满足中国人的需求，这就给科技工作者提出了一个尖锐的问题：什么是中国人的生活方式？有人将美国人的生活方式概括为：小汽车+口香糖+每人一支枪。现在美国手枪市场很大，但是在中国决不能搞什么人均手枪一支。我觉得中国的社会科学家应积极关注中国生活方式问题，我们应提倡什么样的生活方式，能不能输入美国的生活方式？这个问题事实上早已存在了。已有相当数量的口香糖输入中国市场，现在还有人竭力提倡中国也要走向小汽车文明。对此，我要打上一个大大的问号？我国的汽油、道路、住房、停车场等即城市生存空间，是否能够支持这种“文明”。因此，我呼吁社会科学家和自然科学家合作研究一下中国生活方式的问题。这些事情涉及中国的精神文明建设和物质文明建设，也影响我们的科教发展方向。当然，这只是一个例子，科技的发展不能不受到社会发展的制约。

其二，很多社会问题的解决要靠自然科学。这里举一例子：最近，朱镕基副总理倡议搞“三金”工程，即金桥、金关和金卡工程。我认为这是经济建设很重要的三大问题。比如说金融问题，如果银行系统不实现计算机管理就会带来巨大的浪费。就拿“在途”资金来讲，从登记到投入使用，最快也要两周时间，在这两周时间内，资金在哪里，谁也搞不清楚、谁也无权动用。每年在途资金高达几千亿之多，若按 10% 计息，则年损失几百亿元。如果我们实现了计算机管理，就立即产生效益。金卡工程实际上是为了减少现钞流通，解决偷税漏税问题、走私问题以及提高资金利用率。现在偷税漏税问题很严重，如果从社会科学角度看，这里有体制问题、法制问题、管理问题，等等，甚至还可以不排除搞运动。

我们还可以举出有关科技将推动历史唯物主义理论的发展的一个例子：在我国大学里的历史唯物主义教科书里，往往说三大差别的消灭要到共产主义社会。然而我们从国外考察和我国农村的发展形势，可以得出：现在由于科学技术的发展，三大差别在科学技术发达的国家已在大幅度消失，与其说这有赖于共产主义的实现，不如说这是科学发达导致的后果。马克思时代，没有电视、电话、广播，现代化的意识的传播受到极大的障碍。如今，现代化意识通过现代化传输手段冲击着农村人的意识，加速了观念的转变。农村向城市看齐，历来是历史发展的趋势，因此，这种差别必然会逐渐缩小。

综上所述，许多社会问题的有效解决，不仅要靠社会科学学者，还需要有自然科学家，因此社会科学和自然科学的合流是当代科学技术的一个重要特点。

六、中国科学技术问题，正成为世界科学技术的一部分

我强烈呼吁中国科学技术的发展要看到中国的特点。中国的资源、地理环境、社会经济、历史文化等等特殊条件，都会影响中国的科技发展。在我与青年人接触中，有一些青年人热心关注“世界”科技的“大”问题，他们有志成为世界学者、国际学者，而对中国问题却不予注意。其实，中国的问题正成为世界性的头等重要的问题。如中国长江三峡工程，这么大的水利资源要开发，在世界水利史上是少有的。为此，世界上许多水利学家都想插一手，以便留芳百世。这项对中国人民有极大利益的项目出生时，却遭到了美国的尖锐反对。理由是所谓“破坏生态平衡”。而现在美国朝野都纷纷改调，否则他们将难以介入这项历史性工程。有关中国水利资源开发的问题还不仅限于长江三峡工程，更大的问题是中国西南地区的水能开发问题，第一，它占全部水力资源的50—70%。西南地区水力资源集中在澜沧江、金沙江、怒江等横断山脉地区。其特点是落差极大，往往落差达1000米，因而所蕴藏的水能也极大。它的开发需要研制高落差的水轮机。目前，这项技术在世界上还没有得到很好的解决。尤其是这一水力资源的开发，是在崇山峻岭之中，人烟绝迹之地。怎样能进去，物资又怎样运进去，这也是世界上未解决的问题，现在有人提出发展飞艇或索道运输来解决人员、物资、给养问题的设想。

英法隧道的修建是影响世界的重大问题，有人称为世界性工程，其实中国也有这种世纪性工程。最近有人提出，要设法将雅鲁藏布江的水调到大西北，以彻底解决大西北的干旱问题。如果这一设想得以实现，当然这也是世纪性的工程。如果一旦实现，其经济效益之大是难以估量的。但这一问题的解决不是21世纪上半叶就可以完成的。可能这是正个21世纪的事情。

经济的大发展，必然带来科技的大发展。最近，江泽民同志提出：科学技术要有一个新的解放和大的发展。毫无疑问，中国科技界将满怀热忱地、积极地迎接这一新的解放和发展的大潮。

现代工程技术的发展态势与我们的对策

杨叔子

华中理工大学

杨叔子 机械工程专家。1933年9月5日生于江西省湖口县。1956年毕业于华中工学院，现任华中理工大学校长，中国机械工程学会常务理事，中国振动工程学会、中国人工智能学会理事长。1991年当选为中国科学院院士。

主要从事机械工程和有关新兴学科的交叉研究，着重于机械工程中的信息技术与智能技术。

我国一些新闻单位联合评选出的1995年世界十大新闻中，2条与计算机有关，3条直接与信息技术有关；3条与生物有关；2条与物理有关；1条与天文有关。看得很清楚，计算机技术、生物技术、信息技术在现代工程技术中起着很大的作用，没有哪一项能离开信息技术，在这10条中，没有哪一条能离开先进设备，而没有先进制造技术来制造先进设备，就没有哪一项能做得出来。

下面我从五个方面讲述。

一、现代工程技术发展的特点

1995年，朱光亚同志在全国科学技术大会的报告《当代工程技术的发展态势》很精彩，他一开始就讲述了当代工程技术发展的五大特点，我很赞同。这五大特点分别为：

1. 信息技术革命在科技成果产业化过程中的作用日益增长，方兴未艾。信息技术发展对于第一产业农业、第二产业工业和第三产业都起到了极大的改变作用。

前段时间，美国组织评估了一千年来（1001—2000年）各项领域中领先第一的技术。在技术领域里，印刷术是第一，佼佼者。因为只有印刷术解决了，才能很快地传播各项信息，因而，它是非常关键的技术。

在这里我想讲一个“龙舌兰”的故事。美国一位科学家偶尔对这种植物进行了一次实验，将传感器装在龙舌兰上，首先在龙舌兰旁边放两颗蔬菜，这位科学家让他5位学生中的一位杀死蔬菜，然后再与5位学生列队从龙舌兰跟前走过，科学家发现，当那位杀死蔬菜的学生走过龙舌兰时，传感器测得的信号发生很大的波动，龙舌兰吓得“发抖”。植物也具有与动物一样的灵性。

因此，信息是无处没有的，整个宇宙都充满了信息。社会要发展，人类要进步，信息处于关键地位。

2. 微观尺度生产领域制造技术的演进与革命方兴未艾。微观尺度指微米级、毫微米级数量级。前面讲述了信息的重要性，但用于这些技术设备的元器件需要制造，比如说芯片。因此，没有制造技术就生产不出芯片，就制造不出计算机以及现代装备，例如，就生产不了先进的武器装备。海湾战争中使用的先进武器，它们重要的元件的制造误差在微米、零点几微米级甚至更

小，没有先进制造技术就不可能制造出先进的武器装备。

3. 材料技术成为不同工程领域中的共性关键技术。材料技术是现在和将来工业中不可避免的一个基本技术。在人类社会发展中，有石器时期、青铜器时期，它们是人类社会发展的转折点。如果没有放射性元素的发现，就不可能有原子能工业；没有半导体的发现，就不可能有现代的计算机工业。而现在正在向各种仿生材料发展，没有材料技术的发展，科学技术很难进一步发展，它是基础性技术。

4. 生物技术为农业、医药、化工、环保的发展带来重大变革。生物技术不仅对环保、农业、医学是基础性技术，很多生物技术已用于其它方面，包括加工行业。很多人讲，如果 20 世纪是物理学的世纪，那么 21 世纪将是生物技术的世纪。生物技术是我们必须面临和很好重视的技术。武汉市在这方面已做了非常多的工作，这是完全正确的。

5. 系统集成在工程技术最终转化为现实生产力过程中发挥着关键的作用。什么都好，但还要能很好地融合。“三个和尚没水吃”，“三个臭皮匠赛过诸葛亮”。不是所有好东西集在一起就是好东西，也不是平庸的东西集合在一起就很差劲，集合的最终效果，还要看集中元素与元素的关系。因此，系统的观念极为重要。

在科学技术大会上，李鹏总理在工业生产与建设中的关键技术一节中谈到四个关键技术，就是：1. 电子信息技术；2. 先进制造技术；3. 节能降耗技术；4. 环保技术。仔细分析，李鹏总理与朱光亚同志讲法是一致的。

再来看一看国外对当前科技发展的看法。

美国总统克林顿讲了面向 21 世纪的四个优先发展领域：1. 信息领域；2. 先进制造技术领域；3. 材料领域；4. 生命与环境领域。朱光亚的讲话与此一致，他们都看到了这几个优先发展领域。在美国，作为总统批准，政府直接投入的项目有：1983 年生物工程技术；1992 年先进计算机技术；1994 年先进制造技术，政府投入 14 亿美元。

日本经济计划厅（相当于我国的计划委员会），1992 年组织专家进行各项论证后出了一本书，名为《推动经济的 2010 年的技术预测 101 项》，分布情况是这样的：运输交通 16 项；电子信息 15 项；材料 14 项；空间利用 13 项；生命 9 项；通信 9 项；自动化 9 项；环境保护 8 项；能源 7 项；食品 1 项。综合起来看，信息占 25%，材料占 25%，生命与环境占 20%，制造技术占大多数，多数项目与之有关。

韩国的“G—7 计划”（高级先进技术国家计划），相当于我国的“863”计划，1991 年年底提出了 7 项：1. 大规模集成电路；2. 综合数字业务网（ISDN）；3. 高清晰度电视（HDTV）；4. 电气车辆；5. 智能计算机；6. 医学与农业试剂；7. 先进制造系统（10 年投入约 6 亿美元）。同样是信息、材料、制造、生命与环境这几大类关键技术。

欧洲的“罗马俱乐部”1972 年在《增长的极限》一书中有个预测：工业增长，最迟在下一世纪停止，因为 GNP 与能耗平行增长。但由于技术的发展，事实并非如此，例如，1980 年至 1990 年，日、美、西欧 GNP 年均增长率约 8.5%、3%、1%，而能耗年均增约为其 1/6。这表明，由于科学的进步、技术的发展，能耗、材料使用就更加合理，科学技术是巨大的生产力。

讲到这里，顺便看一看我国的能源消耗情况，1990 年我国万元产值综合能耗为 1.41 吨标准煤，而 1980 年日本则仅为 0.20 吨标准煤。人均 GNP，日

本 80 年代初突破 1 万美元，90 年代初达 3.5 万美元；新加坡 1989 年突破 1 万美元；韩国 1996 年将突破 1 万美元；香港 1997 年将突破 3.5 万美元，我国现在很低，如果不节能降耗，随着 GNP 增长，能源与材料的消耗还受得了吗？更不要谈由此而导致的环境污染问题了。

二、微电子技术、计算机技术、信息技术是发展的关键

说到信息技术，朱光亚同志有一段很精彩的讲话：“信息技术是现代文明的技术基础，是科学研究与技术开发中的不可缺少的手段，是高技术中的关键技术。它以微电子技术为基础，以计算机技术和通信技术为主体，并渗透到各种传统技术中，又形成了许多边缘学科。”“计算机技术是信息社会、信息产业的核心技术，它带动了一次世界性的新技术革命，并仍在继续推进国民经济和社会生活各领域的进步和变革。”

比如说，计算机网络建设，它是现代文明社会的象征，可以极大地加快信息的交流，节省大量人力、财力和时间。有了计算机网络，一些资料就可以直接在终端上获得，“多、快、好、省”。没有网络，我认为就是现代科技发展下的“聋子、瞎子、哑子、跛子”。因此，1994 年国家准备建立“中国教育科研计算机网”，并与国际上的 Internet 联网。在全国 10 所大学，8 个地区（北京、东北、上海、华东、华南、华中、西北、西南），建立地区网点，全国中心网点建在清华大学。我们当时就下了决心，争取成为整个计算机网上的华中网点。现在，我校的华中网点与校园计算网已经初步建立起来了，全国网点与各地区网点都建立起来了，两年的工作一年就完成了，速度快，质量好，国家抓得紧，大家干得欢。现在，检索资料、发电子邮件等等相当方便。

1994 年，美国加州建立了一所大学，没有设图书馆，每位学生床头有三个插头，很多资料、书籍全部可以通过网络查到，资源共享。

信息技术的发展已经渗透到人类文明社会的每一个角落，从家用电器到机电一体化设备，从宇宙飞船到随身听，无处不在。大的方面不谈，举几个小例子说明一下。比如，用眼睛去自动开门和关门；用眼睛去摄像，看一眼就通过自动化系统将景物摄下；用眼睛去自动打字，看一眼打字机就能打出想打的文字；这些已不是神话。日本有一位 55 岁瘫痪又不能讲话的妇女写了一部小说，《我想说话，我想走路》，208 页。她不能说又不能写，靠什么写小说呢，靠计算机，靠信息技术！

1996 年是第一台计算机诞生 40 周年。1956 年 2 月第一代 ENIAC 计算机，在美国宾夕法尼亚大学莫尔工学院，在无人喝彩中登场。这台计算机每秒可进行 5000 次加法运算，是手摇机械式计算机的 1000 倍，为人工计算的 20 万倍，重 30 吨，占地 170m²，用了 18000 只电子管、7000 只电阻、10000 只电容，耗电 150kW，平均 7 分钟就爆毁 1 个电子管，100 多位工程师手拿电子管围着它维修。然而，在当时，这台计算机虽貌不惊人，却从此开创了信息技术新时代，带来了信息革命。

我们再看看当今计算机发展状况。我国银河 Ⅱ 型计算机运算能力 10 亿次/秒，曙光 1000 型并行计算机运算能力 25 亿次/秒。1994 年 12 月，美国 Inter 公司生产的超级计算机，运算能力为 3280 亿次/秒，为第一台的 6600 万倍，1 秒种的运算需 1 个人不停地算 1 万多年；而体积、重量不知降低了多少倍，

可靠性、功能又不知增加了多少倍！以往，所有对计算机发展的预测都错了，都太保守了。所以，有人说：“计算机不可预测，不知道今后发展成什么样子。”

计算机的发展可以分为三次浪潮：

第一次浪潮是计算机用于科学研究与军事领域，关键的作用是由于信息处理。

第二次浪潮是个人计算机（PC）用于各行各业，关键的作用是由于信息获取。1959 年半导体元件计算机问世，1970 年集成电路计算机问世，1972 年 8 位 PC 机问世，1978 年 16 位 PC 机问世，1981 年 32 位 PC 机问世。而目前计算机的目标是 3T，即 1 万亿次浮点运算能力，1 万亿字节的存贮量，1 万亿次/秒的 CPU 与存贮器之间的交换能力。

第三次浪潮是计算机网络。如 Internet 网已覆盖 150 个国家和地区，有 4000 万用户，每年交换 1 万亿字信息，而目前约有 500 万亿字的信息需要交换。国内，“金”字工程已上马，并逐步建立了各种用途的网络。

网络的建设给我们带来了很大的便利，是必须发展的。但它也给我们带来了一些新问题，比如，不健康的、黄色的、反政府的、人权的信息上网，带来了一些网络上的无用信息和“垃圾”，因此，网络建立的同时应该加强网络的管理，加强网络信息的管理。

计算机发展，主要是集成芯片，特别是大规模集成芯片（LSI）。这些芯片发展的特征则是从 70 年代以来，芯片特征线宽每 3—4 年缩小 30% 左右，芯片集成度每 3—4 年翻两番。80 年代，线宽达 0.4 - 0.6 μm ，动态存贮器（DRAM）容量 16 - 64M；90 年代末，线宽将达 0.1 - 0.2 μm ，DRAM 芯片将达 1000M。1995 年 12 月韩国三星集团完成 100MDRAM 芯片设计（0.16 μm 线宽）。而我国正在投产的是 1.5 μm 线宽芯片，相差可谓甚远。

未来，若超导成功，将有兆芯片产生，预计约在 2030 年。因此，有人称现在是新石器时代（由于石头的主要成分是硅）。在这个时代里，微电子大国是美、日、法、英、韩。微电子的核心是半导体，而半导体的核心是集成电路和大功率器件。

1990 年一些国家和地区的电子工业占经济总产值分别为：韩国 11.9%，台湾 11.6%，香港 11.4%，新加坡 41.8%，中国内地 2%。

随着计算机的发展，各种形式的计算机技术得到不同程度的发展，如超并行计算机、光子计算机、神经计算机、超导计算机、生物计算机等。

超导计算机装置与 VLS 比较，消耗的电力与开关时间的乘积为 VLS 的 10^{-3} - 10^{-7} ，它是以电子效果为基础的。

生物计算机中开发的立方体生物芯片，是有低阻抗、低能耗、非热性等特点。聚赖氨酸立体生物芯片 1mm^3 内有 10 亿个门电路，可存 110 亿比特信息。生物计算机可望在 2020 年应用。1995 年 4 月，在美国普林斯顿大学召开了一个生物计算机大会，世界上 200 多位数学家、分子生物学家、化学家、计算机专家汇集一堂，认为：DNA 计算机几天的运算量可为目前世界上所有计算机问世以来的总运算量； 1m^3 DNA 溶液可贮 1 万亿亿位数据；1 台 DNA 计算机消耗能量只及 1 台普通计算机的十亿分之一。有趣的是，英国电信公司预测，2020 年开始研究电脑芯片植入人脑，这真是“人机交互，各扬其长。”

神经网络的发展也非常迅速。人有 10^{11} 个神经元，每个神经元有 10^3 个

树突，形成 10^3 个突轴，若每个神经元发放速率为 10^2 次/秒，则人处理信息的速度为 $10^{11} \times 10^3 \times 10^2 = 10^{16}$ 次/秒，这个数目是相当惊人的。苍蝇的处理信息的速度为 109 次/秒，是普通计算机所不及的。

目前光只用于传送，如用于处理信息，则可将现行光通讯设备的 100 千兆（10 亿）字节的通信能力提高到 1000 千兆（太）字节的通信能力，即所谓的太位级通讯设备。

因此，我们讲微电子技术、计算机技术、信息技术是当代科学技术发展的关键，是不为过份的。

三、制造技术是发展的基础

微电子技术、计算机技术、信息技术的发展靠什么？仔细一想，是靠制造技术，靠先进制造技术。没有制造，哪有这一切，当然，制造技术的发展，先进制造技术的实现，又得依靠电子技术、计算机技术、信息技术。它们是相互支持，相互促进的。

当今制造技术已能够实现纳米加工（毫微米加工），一个纳米是 10^{-9} 米，而原子与原子间间隔为 0.4—0.6nm，因此，当今制造技术操作单个原子的梦想已成为现实。这一技术实现的关键技术之一是扫描隧道显微镜（STM），它不仅使原子可见，而且它进一步使原子可操作。1990 年 IBM 实验室用 STM 将 35 个氩原子加以移动，拼写了“IBM”商标。由此发展出多种显微镜，如原子间力显微镜（AFM）、磁力显微镜（MFM）、光子扫描隧道显微镜（PSTM）等。

利用原子操纵技术，在超薄膜上覆盖分子形成 0.5—1nm 隆起，用隆起和凹下表示数据处理技术中的“1”和“0”。这样，我们就可用它们来记录数据， 1cm^2 等于 100 万亿个 nm^2 ，因此，一个分子存贮器相当于 100 万张光盘。进一步，当我们直接操作原子，通过原子的拔出或重叠两状态表示“0”或“1”，那么制成的原子存贮器，1 个原子存贮器就可存人类的全部知识。由于加工技术的发展，使得许多原来不可想象的事情逐步成为了现实，科学技术不是第一生产力又是什么？邓小平同志的看法极为深刻。

宋健同志在 1995 年 4 月由国家计委、国家科委、机械工业部、国家自然科学基金委员会、机械工程学会在北京举办的“先进制造技术战略研讨会”上有这样一段讲话：“先进制造技术是一个国家、一个民族赖以繁荣昌盛的重要手段。如果制造技术不发达，这个国家、这个民族就不可能富裕。”

因此，制造工业不是“夕阳工业”。高技术要变为实用产品要通过制造，谁掌握制造技术，谁就掌握了商品，也就掌握了市场。“东芝事件”，前苏联由于采用了日本制造的数控铣床，一下子就将它与美国之间核潜艇技术缩短了十年！导弹，由于制造精度的提高，命中误差也达到了几十米或更小。由此，我们清楚地看出制造技术产生的巨大影响。

马克思讲过：“大工业必须掌握它特有的生产资料，即机器的本身，必须用机器生产机器。这样，大工业才建立起与自己相应的技术基础，才得以自立。”这是十分正确的，也说明了制造工业的重要性。工业发达国家的社会财富 60% 由制造业产生（美国的社会财富 68% 来自制造业），国民经济收入的 45% 来自制造业。1950 年，世界机械工业产值占工业比重 1/5；1980 年，占工业比重 1/3 以上；目前则大体保持这一水平。

1984年美国制造业中27个属高技术，其中17个属机械工业，占63%，它们中有：发动机，汽轮机，工业专用机械，办公与计算机械，发电设备，输变电设备，商业机械，科学仪器，测量与控制仪表，光学仪器，医疗器械，武器。

美国70年代开始，鼓吹“后工业化社会”，力图将经济发展的中心由制造业转向以服务业为主的第三产业，吃了一次亏，产生了严重的后果：机床，日本产值1982年居世界首位，而美国产值由1981年的40亿美元降到1987年17亿美元。目前美国有一半机床依靠进口，这其中日本就占了52.3%；机器人，1990年全世界共46万台，日本27.4万台，美国仅有4.1万台，美国可以说无机器人制造厂；录像机，由美国发明，而被日本垄断；汽车，美国亦无多大优势。

看一看制造业的发展。

(1)制造精度，超精密级的误差随时代发展不断变化，1910年为 $10\mu\text{m}$ ，1930年为 $1\mu\text{m}$ ，1950年为 $0.1\mu\text{m}$ ，1970年为 $0.01\mu\text{m}$ ，而目前则达到 $0.001\mu\text{m}$ (1nm)。电子元件的制造误差，晶体管 $50\mu\text{m}$ ，磁盘 $5\mu\text{m}$ ，磁头磁鼓 $0.5\mu\text{m}$ ，集成电路 $0.05\mu\text{m}$ ，大规模集成电路 $0.005\mu\text{m}$ ，合成半导体小于1nm。

(2)自动化程度。1870—1980年这110年间，制造过程效率提高20倍，生产管理效率提高1.8—2.2倍；产品设计效率提高1.2倍。这表明，体力劳动极大地得到解放，自动化程度高，而脑力劳动自动化程度很低。再例如，1984年美国的Fort公司、GM公司、Chrysler公司机械产品设计中采用CAD设计的分别占40%、34%、67%。前几年，在发达国家采用CAD的占60%甚至更多，国内则仅占5%；近年来，NC设备发达国家大致已普及，而我国仅占0.7%；净产值劳动生产率，1990年我国约为美国的1/130，我国的机械产品1994年进出口逆差为236.9亿美元。

制造技术与微电子、计算机等技术结合最紧密的是机电一体化技术，这一技术带来了制造业的巨大变化：行业内涵改变，跨学科内容增多。机械已变成了机械加上微电子技术、光、磁、控制论、信息论、系统论等等。产品的结构和功能发生质变。过去自动化要解决体力劳动问题，现在则要解决脑力劳动问题，甚至是抽象思维能力和非数据处理能力以及智能化等问题。产品类型急剧增加，应用范围极广，几乎无所不包，无所不用。生产方式走向柔性化和集成化，以求对市场变化能作出快速高质的响应。

机电一体化的共性关键技术在六个方面：(1)检测传感技术。(2)信息处理技术。(3)自动控制技术。(4)伺服传动技术。(5)精密机械技术。(6)系统总体技术。

先进制造技术包括面向制造的设计技术、制造工艺技术、支撑技术、制造基础设施(制造技术环境)四个方面。它的生产规模先由小批量向少品种大批量发展，而最终实现多品种变批量。生产方式先由劳动密集型向设备密集发展，最终达到信息密集和知识密集。制造也先由手工向机械化、单机自动化、刚性流水自动化最终向柔性自动化以及智能自动化发展。

先进制造技术的发展趋势有这样5个方面：常规制造工艺优化；特种加工方法发展；专业学科交叉融合，界限淡化、消失；工艺由“经验”走向“定量分析”；高新技术与传统工艺紧密结合。

先进制造技术的发展前沿在这12个方面：净成形技术；纳米技术与微机械；计算机辅助技术(CAX)；快速成形(RPM)；新材料的成型

与加工技术； 极限条件下成形技术； 并行工程； 计算机集成制造系统（CIMS）； 智能制造系统（IMS）； 洁净生产技术；（11）智能 MIS；（12）精益生产方式。

谈机械制造不能不谈一下汽车，这是湖北省武汉市的支柱产业。汽车的研究和生产应该注重新型汽车。下一代一般汽车的发展表现在四个方面：革新汽车制造技术；采用高级微电子技术；确保汽车的安全、经济、适用、舒适。

由于燃烧汽油的汽车产生很大的污染，如美国某些大城市 60% 的污染由汽车产生，莫斯科为 92%—95%。汽车排放的尾气产生了全球的温室效应。因此，新型、少污染汽车的研制是汽车工业发展方向。例如，电动汽车，包括采用蓄电池的电动汽车、采用燃料电池的电力汽车等。电动汽车的研制关键是动力电池，这些电池有锂、钠、钠硫、镍锌、镍铁、燃料电池等。其中燃料电池中氧和氢结合变成水，产生能量，从而转为电。这种电池发电效率为 40—60%，如利用余热，则可达 70—80%。含氢合金也是值得注意的一个材料关键。

美国 Chrysler 公司研制的电动小面包车，一次行驶 320km，从 0 加速到 95 千米/小时需 5 分钟；日本日产汽车公司研制的电动汽车，15 分钟可充电完毕，电池体积只有常规电池的一半；德国 BMW 公司研制的电动汽车时速 109 千米/小时，充电后一次可行驶 430 千米。

四、材料技术是发展的先导

材料技术是发展高新技术的先导，新材料的出现将带动许多领域和产业的迅速发展。没有材料的发展，就没有社会的发展，就没有科学技术的发展。例如，功能材料，结构材料，生物材料，能源材料，隐形材料等，都有十分值得研究与探索的领域。人们还应努力去仿造蜘蛛丝、仿造贝壳和甲壳虫表皮生产出高性能的仿生材料，而这些是目前人造材料无法比拟的。新材料的开发与研究，我再略举几种材料来讲：

（1）超导材料。这一材料如付诸实用，技术与生产、生活又将发生一次根本性变化。

（2）含氢合金。可吸氢，也可释放出氢气，0.1 大气压时每克含氢合金可吸一牛奶瓶氢气。

（3）光化学空穴“燃烧”存贮器，这种存贮器为光盘记录密度的 1000 倍，可望在 2020 年实用。

（4）高性能碳/碳合成材料。可在 1800 时或更高温度时使用。

另外，与上述各项密切相关的还有能源特别是新能源的开发利用。

（1）生物能。通过植物的光合作用产生氢气或通过光（或光学）合成细菌，高效地产生氢气。

（2）太阳能。地球表面每平方米的能量有 1 千瓦，能将这些能量利用起来十分了不起，关键在于太阳能电池，提高转换效率，也就在于材料及其它相关技术的发展。日本通产省的“太阳光计划”以每度 20—30 日元为目标，利用太阳能发电，预计 2000 年达到每度 100—200 日元，可望在 2010 年左右实现一般电力价格水平。

（3）煤。例如，露天开采的大型设备、计算机监控系统、新的开采工艺、

机电一体化成套开采技术等，另外还有洁净煤技术、先进选煤技术、水煤浆、先进燃烧器、流化床燃烧、煤气化联合循环发电、煤炭液化和气化、烟道气净化等一系列技术，它们都与先进制造技术、微电子技术紧密相关。

(4) 石油开采的装备与测井技术，以及水、火力发电、核能利用中的有关技术，都同信息技术、先进制造技术密切相关。

在这里，我没有多谈生物技术、生命科学。这是一个极其重要的了不起的领域，从前面讲的技术中已可知一二。我愿意再重复讲一次，21 世纪是生物技术世纪是十分有道理的。

五、我们的看法

1995 年的科学技术大会上提出了“科教兴国”的口号，这是很正确的，是很了不起的战略。教育出人才，人才掌握科技。有人讲，“今天的教育，明天的科技，后天的经济”，这种说法是对的，但不全面！为什么这样说呢？举两个例子说明。

1995 年 9 月 18 日，香港的一位知名的爱国企业家刘永龄先生，在我校设立了“纪念抗日战争胜利奖学金”，每年 5 万港币，他说奖学金为什么要给港币，就是要学生记住香港还在受着殖民统治！有学生问刘先生说：“刘先生，您很了不起，作为一位中国人，竟然能在欧洲买一个万多人的大企业，靠的是什么呢？”刘先生讲：“靠的是德才兼备的人才。”刘先生认为德比才重要。有德，才差一点，问题不大，可以找一个很好的位置来工作；如若有才而缺德，就很麻烦了。学生问刘先生讲的德是何德，刘说：“至少是职业道德和社会公德吧。不少大陆学生到香港去，到我的公司工作，其中不少人不但信守签定的合同，而且工作中途将公司借给他的东西席卷而走，逃之夭夭。这样的人才有好还是没有好呢？”这是一个很尖锐的问题！有所高校有位教授推荐一位学生到新加坡某大学攻读博士，这位学生拿了别人的钱后，工作不到一年，没有跟他的导师打任何招呼就跑了，无影无踪，新加坡某大学的教授打了很多次电话问我国该校的这位教授，询问那位学生的下落，造成了很坏的国际影响，这样的事情也不仅仅是一两个例子！这些学生不但没有国格，这连最起码的人格都没有了，能够振兴中国经济吗？

1982 年我到美国进修的时候，好几位美国华人教授跟我讲，中国内地的教育有缺陷，“到美国来的留学生 ABC 很好（英语很好）、XYZ 很好（数学很好），也懂得美元和英镑（会打小算盘），但就是不了解中国的长江、黄河，不了解文天祥、史可法，不知道《史记》、《四书》，这种不了解自己国家、民族、历史、传统文化的人怎么为国家与民族服务？”一个不能够为自己的国家、民族服务，不能站在时代潮流前面正确引导时代潮流前进，而专门追求个人私利的人，有才比没有才还糟糕！世界上所做的一切是为人而去的，同时世界所做的一切又是人去的。人是世界上第一个重要的因素。

陈毅同志早在 60 年代一个报告中讲过，我们希望飞机驾驶员能够驾驶飞机，否则就不能为国家服务；同样，飞机驾驶员技术本领再高，驾机逃到敌人那里去，那岂不是更糟！因此，不应该只讲“今天的教育，明天的科技，后天的经济”，还应该讲，“今天的教育，明天的文化，后天的精神！”科教兴国，关键在人才，必须培养德才兼备的人才！只看到科技的作用，而看不到掌握科技的人用科技去为谁服务，忽视了人，在人才上出了问题，再好

的科技也兴不了国。

对省、市的“九五”计划，我非常拥护。在这里我想谈几点建议。

1.要掌握基础技术。荆楚大地是老子的故乡。《老子》第六十四章有一段话“合抱之木，生于毫末；九层之台，起于累土；千里之行，始于足下；为者败之，执着失之”。现代工程技术中，最基础的技术，如材料、元件、数控、CAD等不掌握是不行的。

2.分工要专业化，联合要集团化。不能一轰而起，一轰而散，要充分利用我们社会主义制度优势，组织“大兵团作战”，寻求规模效应。

3.高起点，大投入。要做一些起点高，投入大的项目，在几个关键点上投资，那么很快就能带动一片。我国的台湾与香港地区，地方小，事情好办些，我们内地大，潜力也大，困难也多，担子也重，任务也更光荣，我们这样的大国，应该统一步调，全国一盘棋，集中力量办大事情，集中财力搞些最先进的项目，否则，很难搞好，搞上去。

4.正确引进，认真消化。

5.切合实际，突出重点。

6.充分开发人力资源。湖北省、武汉市的最大优势，不是其他，而是有着巨大的人力资源，大校、大所、大厂集中，人才既全面又集中。人才是湖北省、武汉市最大的优势，要打破条块分割的体制，充分发挥人才的巨大优势。

7.科学管理，严格要求。

8.制定政策，依法办事。

能源与环境

李德平

中国辐射防护研究院

李德平 辐射物理、辐射防护与核安全学家。1926年11月4日生于北京市，1948年毕业于清华大学，其后相继在中科院近代物理所、中国辐射防护研究院工作（曾任院长，现为名誉院长）。现任中国核安全专家委员会副主席、国家环保局顾问与核环境专家委员会副主任。1991年当选为中国科学院院士（学部委员）。主要从事辐射防护等方面的研究。

地球上的各类能源

有用的能必须是可控的，招之即来，挥之即去，令行禁止。能源指能提供这种可控能量的各种资源。各种不同形式能量间可以转变。人类活动所“消耗”的机械能大部分是转变成了热能（物体分子无规则运动的动能）。例如摩擦生热。而热能只能有一部分转变为机械（或电）能，余下的热能要传给温度低于热源的物体。温度差异大热机的效率高，一般约为60—25%。转变中能量的总量是不变的。因而不同能源可以相加，总量结算中对一次能源电力有时是按所节省下的煤计算的。

这里先考察一下全球各种主要能源及其份额。

地球上的能量绝大部分来自太阳的光辐射，而太阳的能量则来自聚变核能，约为四亿亿千瓦 3.8×10^{24} kW。地球处的日照功率为 1.35 kW/m^2 。地球影子面积为球面面积的 $1/4$ ，合 $1.27 \times 10^{14} \text{ m}^2$ 。射到大气层表面的功率为 1.72×10^{14} kW。其中大气（如云）反射掉27%，大气吸收18%（包括有害的短波长紫外线），散射离开地球的占7%，直接射到地面的41%，散射到地面的7%，合计48%。功率为 8.25×10^{13} kW，（也有部分要反射出去），见图1。地球表面不同纬度处每平方米水平面积上的周年（四季昼夜）平均功率如图中的虚线所示；沿选定的纬度由球心画到虚线的连线的长度正比于此功率。由于地轴倾斜所以两极平均功率也相当可观。整个地球地面平均每平方米地面为162W。

图2按每年的能量画出各项能量的大小：左方大方框为地球大气层外的日照能量；此外地球自转动能传给潮汐而使自身减速的能量和陆地散出的地热能，放大了200倍绘于框边。日照能量扣除大气反射散出后绘做虚线框，再扣除大气吸收后到达地面的绘于第3方框。其中相当部分用于蒸发陆上与海中的水，形成风雨雷电等气象现象。这部分能量绘作第4方框。其中很少一部分成为水力资源。下角第5小方框是每年植物用光合作用吸收太阳能制出初级生物质的能量，它只占到达地面能量的千分之一。

图右方把左方第5方框表示的生物圈能量放大2000倍，因为初级生物质要养活所有生物，人类所需食物能量只占左下角的很小的方框。人类用的生物燃料（薪柴、秸草、牛粪）能量绘于大框内右下角的直框。大框外的3

个直框表示把在地下埋藏了几亿年的煤，石油，天然气取出烧掉而得到的能量，这是吃老本。还有多少老本后面再讲。最外直框是一次能源电力（水力，风力，地热，核能等）。而用化石燃料发出的电能则画为横框，为此耗用的化石燃料的能量用横虚线表示。它在化石能源消耗中占相当可观的份额。

生物圈能量

植物叶子中有叶绿素，它可以用日光的能量把空气中的二氧化碳和根部输来的水分及少量其它养分合成碳水化合物或其它形式的生物质并放出氧气，这叫光合作用。在没有日光时，植物也有少量呼吸，呼二氧化碳吸氧。光合作用的效率并不高，如果日光被百分之百地利用，那叶子就看不见了。生物质产量的多少取决于阳光，温度，水，土壤的性质、所含养分及与其他生物间的生态关系。哪一项的欠缺都能成为限制产量的瓶颈。图 3 画的是不同地带的初级生物质的净产量（干重）。水平方向是产地面积，各个矩形框的总面积就是图 2 右方的大方框。也是动植物赖以生存繁衍所需能量的根本来源，我们称之为初级生物质。以后草食动物吃植物，肉食动物吃草食动物，一层吃一层形成复杂的食物链。动物消化食物吸氧呼出二氧化碳以得到生长及活动所需的物质与能量。还出现了寄生生物及自己无叶绿素依靠土壤中已有生物质生长的植物。死亡的生物，植物落叶，动物的粪便等又可通过细菌分解成为二氧化碳或甲烷。

古代死去的生物，间或也有被埋在地下，经数亿年的生物与地质作用而成煤，成油，成天然气。当然，这样储存的能量只占当时到达地面的太阳能的很小的一部分。这些生物活动总体上长期地维持了生物圈中氧碳氮等元素的循环与平衡。人类从生物圈中取得食物、衣服、木材、纸张和燃料。这主要通过种植，在图中栽植地（5）的小框中还画出人类必需食物所占份额，考虑了肉食还要占用较多的份额。但湖海草原森林也提供部分食物。在框 5 中还用短横线画出了亩产千斤粮（按粮秸各半计）的情况。沙漠（1）不缺阳光而缺水（瓶颈）产量极低。而采用节水农业，据报道有达每平方米（6kg/年）者，图中 1 区短线是按十分之一画的。务请注意，节水农业并不是非全自动化与计算机管理不可。较简单的设备辅以精心管理也能做到不同程度的节水。我国历来和现在也有几种节水技术，可惜开发推广都不够。

农业发展在于因地制宜，选用合适的作物与品种，科学地打破瓶颈限制。如只管增加水源而不能灌排配套，不善合理用水，反可能导致土壤盐碱化。按理说生物质增产尚有潜力，也非增不可。但要花大气力，下较大本钱，要善用科学。此外也要注意不要在一个行政区中只推行一个品种，这种把鸡蛋都放在一个篮子中的办法，万一遇到不利的自然条件或某种病虫害就会全军覆没。

还有多少老本可吃？

当前主要是用矿物燃料，特别是化石燃料。把大量宝贵的化工原料烧掉是可惜的，也是难以持久的。图 4 画出了储量，当前年消耗量，与两者间的

比值。除煤可维持二三百外，其他，包括核能的铀，也都只剩下五六十年的用量。这就迫使人们不得不开发新的能源与提高利用效率。例如快中子增殖堆还可以利用铀-238，可望使每吨天然铀释出的能量增大六七十倍。用现有储量产生现用全部电能也可达千年。其实天然铀到处都有，就是富矿有限。如其使用价值剧增，可采储量也将剧增。如受控核聚变发电成功，则燃料也不成问题。

随勘探技术的进步探明储量还会增加，而开采技术的进步与经济上的变化也会增加可采储量。但需求增加更快！现在化石能源与低效核能，只给人类提供一个开发更丰富高效的能源和多种再生资源的喘息时间！

我们讲喘息时间，是因为在此后能源格局势必面临较大的变化。而可以大量推广的技术只能是由经受了考验的技术构成的。一种新能源方案，可能原理上无懈可击的，试运行也很成功，总还要（至少部分技术环节还要）接受实际运行考验，并要反馈运行经验去改进技术。按这个时间标尺，余下的时间就很短了。所幸有些工作已经开始，但还须加强加速。

再生能源简述

可再生能源中，水力用得最多。过去水力用于提水、碾米、磨面，今用于发电。世界装机容量 654GW（1992 年）。我国小水电 4.8GW，水电站 45GW。我国可开发水力资源为 379GW。

风力可用于帆船，排灌，磨坊等。世界风力发电总容量 5GW。我国风力提水灌地 13km²。牧区微型风力发电机共 17.3MW，并网风机 14.6MW。据估计我国风力资源约 253GW。

地热：温泉早已利用，我国也有用于种植与养殖者。低温利用约 9PJ/年。地热电站容量 28.6MW。世界地热利用为 1×10^{17} J/年，地热电站容量 4.5GW。

太阳能低温利用如温室大棚和太阳能热水器。太阳灶可用作辅助炊事能源，天好就用，以节省薪柴。太阳能发电可用聚光热机再用机械能发电或用太阳能电池。已知世界发电容量大于 254MW。

潮汐发电利用潮水涨落，世界已有电站容量 16GW。

农民生活燃料中一部分为生物质燃料，此种燃料原为可再生能源，如能产出与消耗平衡则不会增加二氧化碳。但如消耗过量而毁林与耗竭可返还土壤的有机物，就会破坏产耗平衡。用生物质在沼气池中产生沼气供炊事照明用，残渣还是良好的有机肥。我国小型沼气池共约供气 3.8×10^6 m³。用生物质制造乙醇甲醇可用作汽车燃料，巴西 1988 年已达 1.6×10^{10} 升/年。

能源与环境

能源的全球效应：气候与臭氧层

射向地球的太阳功率（除动用了一些过去的储存与暂存了一些外），大部还是最终转化为热能，以热辐射的形式散发到宇宙空间。热体辐射功率正比于绝对温度的 4 次方，而且发出辐射的能力与吸收辐射的能力也成正比。如果两者相等，因球面表面积是阴影面积的 4 倍，地表散发的功率平均为 $1350/4 = 337.5$ W/m²。相应的平均地面温度为 278K 合 5 摄氏度，这只是约值，

因为各地反射能力的差别与大气层的复杂影响尚未仔细分析。太阳光主要是波长在 $0.5\ \mu\text{m}$ 附近的可见光，而 278K 热体主要发射的是 $10.4\ \mu\text{m}$ 附近的红外线。吸收与发射能力未必相同。特别是当大气层中含有容易吸收红外线的气体时，地面辐射会部分被大气吸收又部分辐射回来，即使返回的热功率只占 1%，也可使地面平均温度上升 0.7K 。这很像玻璃温室，可见光容易进来而红外线却不易透出玻璃，成为温室增温的一个原因（农业气象学家认为温室还有挡风与减少气流散热的作用），故称为温室效应。而增加这种效应的气体如 CO_2 、 CH_4 及氟烃化合物等则称为温室气体。工业革命以来人们把数亿年前积存的煤与油大量烧掉，加之毁林与沙漠化减少了光合作用，增加了大气中的 CO_2 、 CH_4 与 NO_x 。如不加控制地增长就会使地球变暖，其影响不容忽视。单以两极冰帽而论，如果融化 1.2% 即可使海平面上升 1m。图 5

所示的是几种能源全过程释出的 CO_2 中的碳量的范围，图 7 是与另一估计的比较，它们是基本一致的。化石燃料远高于其它能源是显而易见的，核能则是最底的。范围宽的表示随具体情况而异（如水库）或尚有颇大的改进余地。宇宙射线和太阳发出的带电粒子在大气高空产生臭氧 O_3 ，形成一个臭氧层，它是能吸收易于引起皮肤癌的短波紫外线的保护人类的功臣。温室气体如升到高空，就能破坏臭氧层，其中氟烃化合物（用于电冰箱，塑料发泡，电子器件清洗，有的用于灭火等）破坏能力最大（图 5 附表）。别的温室气体也很讨厌。

当前地球升温与臭氧层保护已成为国际首脑间的重要话题。

各种能源的其它环境影响

就以燃煤而论，开采时要挖出相当多的废碎石，还有矸石，我国约占采煤量的 10%，已占地 1300km^2 。矸石中的硫化物缓慢氧化发热，如散热不良或未隔绝空气就会自燃，目前有 9% 的矸石堆正在自燃，释出二氧化碳、二氧化硫及其它有害物质。为防止矿井中“瓦斯”积累爆炸，就要排风，排出大量甲烷（瓦斯）及氡。近代已有先从煤层中抽出甲烷加以利用的技术，我国的利用率约 7%，现在排瓦斯 4m^3 每吨煤（总量占天然气产量的 $1/3$ ）。坑采多须抽水，约 1.5 吨水每吨煤。矿井水多受到矸石煤及其中杂质的污染。挖出的煤与石也能污染地面水。此外采空区还会塌陷（平原区为 2m^2 每吨煤）。我国约人均（直接或间接）年耗煤 1 吨，所以五口之家所需煤如采自平原就每年塌陷 1 平方米。至今在产煤区土建施工时还会遇到不知何朝何代挖开的小坑道，需要填埋补救。

以上除甲烷与自燃外，其它采掘业也有类似问题，但为产生同等的能量铀的采掘量就小得多，不过其尾矿释氡需作专门处理。

煤矿可能伴生硫砷铬镉铅汞磷氟氯碘钼镉锰镍及镭铀钍等元素与苯并芘之类的有机物。燃烧中进入气灰或渣，有的部分分解。排气中主要是二氧化碳也有些一氧化碳，燃料中的硫大部分化作二氧化硫，对酸雨作出贡献。还有氮、氧化物，除氧化了燃料中的氮化物外还氧化了空气中的氮，炉温愈高，氮氧化物愈多。每吨煤 13kg 的烟尘，还有氡也随气体排出。有些场合如炼焦还会排出苯并芘。由于烧去了碳，灰渣中杂质的浓度将增高很多倍，经过煅

烧与粉碎，有害物质可能变为更容易进入水或空气的形态。按“老规矩”任意堆放或弃入水体，也增加了环境的负担，以至火电站释出的放射性物质都比核电站多。

缓解的办法，二氧化碳只能靠提高利用效率与节能；其它有害物质在燃烧前可采用洁净煤技术，先去掉无用有害杂质杂物，不把它们输来运去又烧又炼。燃烧中例如用沸腾床加石灰以固定硫，选用适当炉温以减少氮氧化物。家用亦以型煤为宜，燃烧后应设高效气体净化系统并精心保持其效能。我国电站过去气体净化能力较差。灰渣应予合理利用或处置，关键在于按成份与含量区分对待，有的可用作民用建材，有的只限于特定场合，有的必须专门处置。

采油，尤其是注水采油，也会影响地面升降。所注水可能在地下受到污染，有时甚至有少量放射性物质聚集在采油管道的某些部位。采炼中为了安全，“放天灯”烧掉废气，有的还有浓烟，有一定环境影响。储运中的燃爆与泄漏可引起严重环境污染，几次海上漏油事故不仅污染海滩还危及海洋生物。油罐车损坏，油流入下水道引起多处火警的事也发生过。燃烧中产生的二氧化碳比煤略少，氮氧化物与煤相似。二氧化硫为主要排放物，特别是高硫油。

我国车用油约占石油的一半多（世界为 40%），汽油约四分之一。在内燃机中，压缩汽油空气混合气阶段如果气体提前燃爆，就将妨碍飞轮顺转，引起震爆（噎），通常在油中掺入少量剧毒的乙基铅来提高抗噎性能，称为加铅汽油。汽车排气除前述燃气产物外还有铅污染。近代炼油技术已能产出足够的无铅汽油。同时还要严格限制排气中的有害气体。目前我国尚未推行无铅汽油。

天然气除燃烧产物外，还有使用与传输中甲烷的损失与泄漏。其中还有一些氦随之进入室内。

生物质燃料原属再生能源，金属元素很少，但在较差的炉灶中燃烧，易生一氧化碳、烟及有机化合物。如果烟囱排烟能力差或处于严寒地带室内换气不良，室内有害物质可达很高浓度。从图 7 可见，发展中国家农舍中远高于世界卫生组织导规，而发达国家居室中浓度就低得多。使用沼气不仅方便，而且可制造农家肥，比较有利。

各种能源中电力是控制方便易于传输的。用燃料或核能经热机发电，热效率是有限的，总有相当发电量的一倍到两倍多的热能就地耗散，可用冷却塔或传给水体。冬季可能利用余热，夏季就会成为热污染。水体的温升应严格限制以防发生有害生态影响。输电效率高，但也要防止使人受到过强的电磁场，电晕放电产生离子也会有不良效应。配送电用的电力电容器含多氯联苯，包裹蒸汽管道用的石棉，退役不用时如不妥善处置也会造成严重污染。

让水力能源白白流失是很可惜的，水力发电效率高，产生的少量热能影响很小。但为较充分的利用发电容量，就得建水库，就得考查其寿命与安全。尽管筑坝应该是成熟的技术，但也发生过若干次惨重的溃坝或溢水事故。如果上游水土保持不佳，水库被淤积，不能发挥应有效益的亏我们也吃过。我们受过盲目围湖造田带来的生态灾害，而改林地耕地草地为湖，也须认真分析其生态后果，尽管淡水中可达相当高的初级生物生产力，但水力水库恐难于达到，养鱼也需投饲。如果生产力低于原有陆地，则相当于排放二氧化碳。经济得失也要算账，是否影响鱼类洄游繁殖，对某些寄生虫疫区增减，对航

运的影响，均有待分析。回答这些问题恐怕比计算发出的电量要难得多。

太阳能热水器、太阳灶等低级利用，作为节约生活燃料的辅助手段，是很有效的。集热热机发电，主要技术是成熟的，除需排出余热与占地面积较大外，未见重要环境问题。太阳能电池，制造中会有一些有害物质，使用时似无特殊困难。在人造地球卫星上业已成功使用。在地面上主要是造价与寿命的问题。还需储能设备配套。目前初级生物生产力只占到达地面太阳能的千分之一。高级农业林业仅达全年日照的百分之一上下。哪怕太阳能发电的效率仅百分之几，也将比燃烧生物质（或用乙醇）再发电效率高出 10 倍。沙漠荒滩野岛均可利用，应予以重视，加速开发。

帆船早已利用了风力。在风力条件好的地区风力提水，也是节省燃料的补充能源。风力发电也很有前途。联入供电网或配以储能装置可降低风力不稳的影响。此类设备应有小风能发电，大风吹不坏的自控能力。

地热利用中，温泉水中会溶有岩石中的有害物质，特别是高温温泉流出后，随温度与成分的变化，可能集聚在水流或系统的某些部位。氡是其中一项，有的温泉浴室确实氡浓度偏高。地热发电目前效率不高，而且特殊地点才适用，它也会带出地下有害物质，如循环注水当可缓减此弊。

其它可再生能源，尚在开发中，有的已知环境影响不大，有的因地制宜，有的尚待研究，兹不列举。

关于废物

人类的活动，对环境的影响，很多来自废物。物本来是用之为宝弃之可以成害的。人们对待有害物质，为了控制与管理，对环境介质如空气、水、土壤中的有害物质的浓度多规定了管理限值。因为天然的绝对纯的介质也是罕见的。有些微量元素是生物所必需的，但多了还是有害的。在浓度限值下不应引起对人的急性损伤，有害的远后效应也应轻微（证明绝对无害是很费力的）到人们不足介意。有时就只能分出优中劣等几个浓度水平。传统的办法一是消毒解毒，用化学变化（包括燃烧）把有毒物质分解为确实无害的物质，焚烧某些塑料还会产生有毒气体。灭菌是对细菌的无害化手段。二是排入环境介质指望有害物质在环境条件下“自净”。有些物质确实能无害分解，而 DDT、塑料就不易分解而成害。另一招是用清洁的介质来稀释，但介质是有限的，地面地下淡水资源只占地球上水的千分之六（见图 8）。循环入海的淡水为每年十万分之三，不加限制地你排一些我排一些，加在一起浓度就很可观了，结果是释而不稀。海水量最大，而地面径流带着污染物不断排入海中，由海面蒸发的却是纯水，日积月累，海洋生物也将受不了。人类虽不喝海水但吃海产品吃海盐，归根结底还要受害。

有害物质进入了环境其命运就由不得你了。排出毒性较低的甘汞不能保证它不转化为升汞，而且已知在环境中，细菌可把汞转化为毒性最大的有机汞。稀释可降低浓度，但某些生物活动，可能浓集有害物质并可能使之进入食物链。

随着有害物的增加，对固体废弃物堆放填埋等传统办法就会不够有效，不能防止它们转移到其它环境介质特别是水体中去。这些废物的处置已成为困难迫切而受到严重关注的问题。有的国家想把有害废物用船运到发展中国家去，对方发觉了不允许入境，结果这条船天地不容，在地中海转了好多天，最后只好得到允许返回本国。我国也遇到过“洋垃圾”企图入境的事，多数

是发觉了勒令返回。

另一个途径是浓缩，如果还是废物，也要把它置于人类的有效控制下与生物界严密隔绝。可以把它制成不易散失的形态，装入密封的容器，保存在多重的可靠的工程设施内。最长远的办法是选用经受过地质年代考验的地质构造或盐矿，在其深处构筑牢固的工程设施，再把有害物质做得和玻璃或岩石一样坚固。可以设计得即使其中几道屏障失效有害物质仍不会逸出。所以对有害废物不是束手无策，而是如何做得更牢固耐久更经济有效。

图9画出了煤电与核电所需燃料与所生废物的量。由于比例尺不同，煤灰中有害物质约略等于核电低放废物的量。由于废物量本来较少，而作为先进技术核能又首当其冲地面临高毒废物的有效处置问题。而且对寿命较短的放射性物质浓缩保管更有优点。（更积极的办法是分离出长寿命放射性物质，费点事使之变为短寿命并尽量使之释出能量以缩短保管时间不留遗患。这种方法按当前技术水平还是现实的）将来核能在这方面的经验也会在不同程度上用于其它高毒物质。正像约40年前核工业首先用气象学于环保，后来得到普遍推广一样。

处理这类问题务求周密慎重。从道义上讲，我们无权借口将来总会有办法解决，而把困难与灾害留给后代，也不能吃尽用光，让我们的后代只能在博物馆见到煤和原油。但也不必把他们设想成能力那样强而又那样愚蠢，干出我们已通过种种方法和文档告诫他们万万不要作的蠢事。总之，高毒物质处置并不是核能独有的，也不会成为核能发展的颠覆性障碍。

我们需要更好地发展与利用能源，来提高生产效率与生活质量，但如不注意限制与缓减与之伴随的气候与环境的影响，则将造成损失与降低生活质量。所以需要深谋远虑的筹划与周密考虑。古代人影响自然的能力弱，所以苏轼讲“唯江上之清风与山间之明月，……取之无禁用之不竭，是造物者之无尽藏也”，而近代人类的无远虑的活动却可使有风不清有月不明，必须认真对待。

结语

人类，特别是发展中国家，需要增加能源以保证生存和发展，但增加是有限度的，开源之外更要立足于节流。以往一些工业化国家的能源浪费是既不可取亦不可行的。

各种能源都是太阳辐射的很小的份额，凡能利用者，均宜予以一定程度的利用，再让它耗为热能，辐射出去。每一种能源的不同方案对环境的不利影响亦轻重不同，应采用环境影响小的方案，有通盘优化。

燃用化石燃料是吃老本，而它们更是宝贵的化工资源。对化石燃料的依赖不可能持续下去。温室效应需要认真对待，再生能源与先进核能应及早开发。

有效的能量储存技术是开发不稳定能源与扩大可移动能源的重要环节。

对能源的功效与环境的影响要考察其全过程（如核燃料循环），包括建造与退役所需的资源与能量，在达到稳定的平衡的市场价格前，其当前费用未必能反映所需人力物力的价值，更不能反映其环境危害，特别是“外部”代

价。目前对不同能源的分析的深度也不同，对待环境问题的“习惯”也不一样，比较时应当心中有数。

人类活动对气候的影响已受到关注。目前人类利用的能源只占太阳辐射能的很小的份额，等到人类掌握了大量的方便的“无害”的能源，也还要合理节能。因为过量热污染也会影响气候（增加额外热功率 1%地面均温约增 0.7 摄氏度）。

与能源有关的各种后果的研究有待加强。除追踪污染的来踪去迹，分析考察生态变化外；还有些方面也要开展研究，例如如何根据微小的变化排除其他因素的影响作出可靠的预测，局部的微小变化能否诱发较大的激烈变化（如暴雨台风等），弄清楚这类问题将有助于防止数以亿万元计或无可挽回的损失，也可防止在不必要的地方浪费资源。

能源发展的通盘规划与大型能源建设项目，是涉及许多方面的高度综合性的问题，而不仅是买卖两方的事，不能以为只有那些直接参与工程建设的才是内行，别人全是“外行”。关于这个问题前苏联科普作家伊林早在 40 年代就已讲得很清楚。

我们只有一个地球（至少目前如此）！要学会慎重地对待它。

数学就是力量

林群

中国科学院系统科学研究所

林群 计算数学家。1935年7月15日生于福建连江，1956年毕业于厦门大学并进入中科院数学所工作，1991年起任中国科学院系统科学所副所长至今。1993年当选为中国科学院院士（学部委员）。主要从事计算数学方面的研究，在最优剖分和最优形函数研究中取得突出成果，在工程计算的“超收敛”问题、迭代校正和外推等研究中获多项重要成果，既有系统的理论又对实际计算有指导性，被国际同行誉为开创性工作。曾获1989年度中国科学院自然科学奖一等奖。

数学的力量诸如：将科学技术问题化成数学来解决，主要运用推理、计算的方法，不必直接去做那些实际难以做到或不安全的实验，所以数学对科学与工程影响重大。不仅如此，数学的价值还在于它的思维方法和想象力，提供了科学发现的钥匙，纠正了由一般经验、常识所产生的偏见，而且所有人也都可用来处理日常问题。正是这种非物质的理性，持续不断地帮助人们创造出新产品、新生活和新认识。

数学是什么？数学的对象是

数和形

它们有简易的数字运算和图形性质，由这些简易的前提，可用逻辑推理

的方法，推出全部结论。

但是，数和形的范围随时代在不断扩大，新观念、新工具、新分支也随之派生。

追踪线索，按时空范围来划分两个时代：宏观、宇观或微观。17世纪前，人类意识处于当时已知的测量范围之内（宏观时代），便形成以“定数”（确定、有限）以及“平直”（平面、直线……）观念为主的数学（即中学代数、几何）；当超出已知的测量范围（宇空越变越大或微观越变越小），便有变数（变化、极限）以及弯曲空间这些新观念和相应的新工具（如大学解析几何、微积分）。

所以，数学是时代的产物，由确定走向变动，由有限走向无限，由平直走向弯曲。

下面就分中学代数、几何以及大学解析几何、微积分等方面做描述。

一、代数：由现实走向抽象

数学原指数目的科学，代数方法是用数作运算来发现结论。要使运算变得简易，要加进零；要使运算通行，还要加进分数、负数、无理数、虚数。顾名思义，虚数不是实物，观察不到，纯属虚构。可是，不添设这一个虚数，方程可能没有答案或者答案不全。恰好靠这一个虚构的数，方程才有完全的答案（这好像问你几辆自行车，你回答共有5辆交通工具，这总比没有答案要好）。无理数靠观察或实验也找不出，是无尽小数，但数学可以思想无

穷。

虚数、无理数先有构思，后来把无理数变成直线上的点（这是17世纪新数学的基石），虚数变成圆上的点（并在微分方程中出现），它们又看得见。

以上是历史事件，近代又加进“实变函数”或“广义函数”。

所以，数的范围、概念（和用到的工具）在不断扩大。

应用题的解答用到未知数表示：它并非变数，要满足某个方程，解出这个方程也就解决了相应的应用题。所以数学要解方程。

解方程还用到对称概念，数学上通过群来表达。但群有普遍性，被物理学家用来统一各种守恒定律，后者正是反映世界的对称性，基本粒子的基本问题就是问它反映了哪个对称群。基于对称性的考虑，发现了电子运动方程，并发生增根，这预示着存在一个正电子，实验终于找到它，今天被用在医学扫描上。所以抽象的结果还是回到现实。详见格里菲斯的演讲。

二、几何：由平直走向弯动

（一）平直几何的收集和数学方法论

几何如何收集和整理？欧几里得《几何原本》采用了前所未有的整理方式。他不去形式分类但去找出因果关系：首先观察特例，找出它们之间共同的性质，把这些共同的性质编织成一套最经济的公理系统，然后按逻辑推理，由这些公理推出全部几何结论（如三角形内角和等于180度）。这里，公理是“因”（已经退到头、无法再被进一步追究），结论是“果”，推理是过程。这种演绎法比归纳法更可靠，使数学走上严格化道路并区别于实验科学，应成为一切严格科学的典范。大科学家如阿基米德、哥白尼、伽利略、笛卡尔，特别是牛顿，都采用了《几何原本》编写方式（阿基米德从“相等重物在和支点等距离处于平衡”这样的公理，而不通过实验，推出杠杆定理；牛顿称三定律为公理，万有引力、行星运动为定理……）。这是典型数学路线：从观察进入公理（或定律）再引出新结论。

其实，人人都可共享公理化或因果性的数学精神。人们就以数学的历史和现状为依据，预测它的未来；只是这里使用的推理方法（推理过程）不像数学那么严密，或者叫做归纳、外推内插。语言体系也跟整数体系一样，以最少几个基本术语来组成整个语言。所以数学蕴含着普遍的概念和方法。已被接受的结论也可视为公理，据它再引出新结论。

当我们读一本大书，首先要观察小例，即个别最简最浅的源头例子（水落石出），它有整体的复杂性，可从中发现大书中共同的性质或原则（像发现公理）：大书的各部分重复着同一原则，就是这个小例里的原则指导管着一本大书。这才是经济的思维，才能明白、记住、留下印象。反之，太多太繁不经济，记不住，留不下。所以，必须挑出这样的小例，作为这本大书的“公理模型”。这也就是华罗庚说的“由厚变薄”。

值得一读笛卡尔的《方法论》：第一规则，是绝不把任何事物当作真的加以接受，除非我认识到它是显然如此的；第二规则，是把我遇到的每一种困难的事物尽可能地划分成许多部分，每一部分都较容易解答……这种思维规则，提供了科学发现的钥匙，人人都可以用来处理日常问题（例如分工的思想）。

（二）弯（宇观）的几何

平行性公理怎么验证？或者，三角形内角和一定等于 180 度吗？两千多年屡证屡败，使三位有想象力的数学家（19 世纪）怀疑这条公理（或三角形内角和）的不可动摇性。他们在球面或双曲面上想象直线、三角形和几何学，结果发现了非平直的空间结构，这违背了所有人从小形成的空间观念（平直的）：直线可以是弯的，时空可以弯曲起来，三角形内角和既可大于也可小于 180 度。这纠正了由生活常识、一般经验所产生的偏见，也动摇了数学的确定性。那么，究竟哪一种几何正确呢？原来，平直的观念只是在当时已知测量范围之内（宏观）的几何学，如超出此范围（宇观）或到更细层次范围之内（微观），则有不同观念的几何学。究竟时空的结构什么样？平直的或是什么样的弯曲？会不会是其它种的几何？需靠物理天文发展的结果来验证。

所以，几何为世界图景提供一组不同的模型。

数学确定性的动摇导致数学的反省。

（三）动的几何

在形中引进动（如射影变换、连续形变）……各种几何被统一为研究空间在变换群之下的不变性质。对应每一个作用于空间的变换群，就有一门几何学，几何的概念又扩大了，详见陈省身文选。

三、解析几何：把数引入形

几何已找到最少最简最浅的五条公理，由它们推导出全部结论，但这个推导费事，一题一证，无通用解法（如画辅助线），而且原则上已不能对平面几何添加新东西。数学家淹没在题海之中不能自拔，只有哲学家笛卡尔、莱布尼茨等居高临下，向数学界抛出救生圈，将几何用坐标研究：把平面变成一对数，几何变成代数。坐标是一个有普遍性的数学工具，不仅使千变万化的几何证明变成机械的规范的代数证明，而且由于把数引入形之中，可借助代数工具对形（弯的）进行微观的局部性研究，便产生了分析学（即微积分）。

坐标把传统的数形间隔打通，使代数（或分析）进入几何。反之，几何又使代数、分析形象化（如各种代数（或分析）方程表现为不同的几何图形；若干代数、分析结果变成平面三角）。这三大主流（代数、几何、分析）相互作用，产生许多数学分支，被称为数学的转折点。

四、微积分：由有限走向无限

17 世纪主题是动（运动和变化，增长或衰减，宇空越变越大或微现越变越小），数学上用函数来表示它，并采用无限的数学运算，即现在的微积分工具，来研究它。数学从此由定数进入变数的时代。这种无限的数学（大学）比有限的数学（中学）简单明确、算得更快（杀鸡得用牛刀）且普遍适用。取极限，即在数中引进动，使数学简单明确。

微积分的做法可跟中学做法对比一下：设有直角三角形，底边摆在地上。那么，可利用斜边在地上起点处的斜率，计算斜边端点的高度。现在将斜边变成曲的，那又怎样呢？微观（局部）看曲边的一个个小段可利用每一段起

点处的切线斜率，计算出这一段端点处的高度增量，最后将所有高度增量叠加到一起，便得曲边端点的高度。微积分则将每一段的长度趋于零，利用起点的切线斜率来计算一无穷小段端点的高度增量（叫微分），以及下一个、再下一个连续不断的一个个无穷小段的端点高度增量或微分，将这些小增量或微分积累起来，叫积分，便是曲边端点的高度。此即微积分基本定理。

特别由曲线的切线可以找出这个曲线本身，由量的变化速度可以找出这个量本身。牛顿正是靠微积分的语言来表示在重力作用下物体的运动，包括行星运动规律，从而奠定了天文学和力学（宏观）的基础。所以，科学界公认将微积分发现的那一年（1666）作为近代物理学的开始。

在牛顿后，微积分（或分析学）至今还是数学主题，不过本世纪重在多变数。

解析几何（图形）-微积分（函数）的诞生被认为是数学的转折点，之后是其延续和推广，但也有飞跃。

五、由确定走向不确定

随机、混沌、模糊

牛顿、爱因斯坦借数学建立世界秩序的确定性模型。如知道开始，便确定未来。

除了上述确定性现象，还有偶然性（随机）现象，它只能用概率（可能性）来表示。要了解这种系统的规律（偶然性中的确定性），人们采用有限次抽样的或统计观察、实验。统计工具在物理、工业、微观经济学、生物学、社会学都有广泛应用。

但是，除了确定性和偶然性的数学以外，最近发现另一种不确定性，它介于确定性和偶然性之间：一方面在确定的系统（如二次方程）中出现混沌现象，另一方面又在一些偶然性的系统中出现特定的结构。周光召在 1995 年全国科技大会报告中描述了这种现象，这是非线性、复杂系统（一个小变化产生大效果，如少量油加水会产生复杂图案）。认为它比牛顿、爱因斯坦的模式更接近真实的世界。钱学森（《科学报》1996.2.26）对此也有他的看法。

二次方程这个简单初浅的例子含有复杂高深的现象（动的、迭代的）。中学“后方”（如开方法）跟“前沿”（如混沌迭代）仅有一步之差。

还有一种不确定性叫模糊性。

六、由人脑走向电脑

计算机时代的特点之一就是部分脑力劳动逐步机械化（如吴文俊的机器证明）。17 世纪以来数学是以无限、连续概念为主导思想和工具，但是由于计算机研制和应用需要，有限、离散的数学以及构造性、计算性和误差分析受到重视。例如，微积分基本定理又退回前页的中学做法（所以解运动方程不再通过积分，而由有限近似的公式来表达）。机械化、程序化、通用化、初浅化的傻瓜数学受到了欢迎。复杂、高深不常用（如单纯形和卡玛卡算法）。

计算机还广泛应用数学实验，以演绎法为主导的传统数学已难抵挡计算机实验法的引诱——通过实验使抽象理论获得现实感（即使正规的推理，也

会有漏洞)。

所以，数学面临计算机挑战：下一代更愿接受构造方法、实验方法以及傻瓜数学。但是无论如何，数学好比是计算机躯体的心智和灵魂。

七、由菲尔兹奖走向诺贝尔奖

诺贝尔奖本不授给数学，但是已有两次诺贝尔经济学奖发给了纯粹数学家，表彰他们的发明——线性规划、对策论（竞争学）。二战军事、大工业管理、经济都需要解决具体问题，刚好用了两个有普遍性的数学工具。他们有运气。

特别是，它们并不深难（如线性规划不过是一次函数的极值在边界取），一旦社会需求，其效应跟半导体的发现可比，所以，数学就是力量。

深难并不是好的数学唯一标准。数学需要方向，要看发展趋势和社会需求。应用数学（包括工业、经济、物理、生物学、社会学……）和计算数学，基于数学建模和计算方法，由于计算能力增强有了巨大贡献的机会（例如，使不安全的核试验停止）。

同步辐射应用和 21 世纪科技发展

冼鼎昌

中国科学院高能物理研究所

冼鼎昌 理论物理、同步辐射应用学家。1935 年 8 月 15 日生于广东广州，1956 年毕业于北京大学，曾在苏联杜布纳联合原子核研究所和丹麦尼·破尔研究所进行科学研究，曾任中科院高能物理所同步辐射实验室主任。1991 年当选为中国科学院院士（学部委员）。在领导建成我国第一个同步辐射实验室过程中对其科学规划等作出了正确决策并解决了建设中一系列问题；在粒子物理理论等研究方面取得多项重要成果。曾获国家科技进步奖特等奖等多种奖励。

一、同步辐射的性质及其早期的应用研究

1947 年，在美国纽约州 Schenectady 市的通用电器公司实验室里的一台 70MeV（兆电子伏）的同步加速器上，首次在可见光的范围内观察到了强烈的辐射，从此这种辐射便被称为“同步辐射”。同步辐射是速度接近光速的带电粒子在磁场中作变速运动时放出的电磁辐射，一些理论物理学家早些时候曾预言过这种辐射的存在。

同步加速器的出现，开创了从 50 年代开始的粒子物理的黄金时代。在世界各地建成了一个又一个高能加速器，能量也越来越高。但是长期以来，同步辐射却是不受高能物理学家欢迎的东西，因为它损耗了加速器的能量，阻碍粒子能量的提高。然而几位有远见的物理学家则提出把电子同步加速器中的同步辐射利用到非核物理的领域中去，虽然在当时大多数的高能物理学家都没有看到这个建议的重要性。

同步辐射应用的可行性研究工作是 60 年代初期开始的，在华盛顿的国家标准局的 180MeV 电子同步加速器、东京的原子核研究所的电子同步加速器以及汉堡大学的电子同步加速器上，差不多都在同一个时期内进行了研究。其结果是极为令人鼓舞的。人们很快便了解到同步辐射具有下列杰出性能：

（1）具有从远红外到 X 光范围内的连续光谱。光谱由一个叫做特征能量的参量 E_c 所表征。总辐射功率的一半由能量大于 E_c 的光子所贡献。在实用单位下， E_c 的定义为：

$$E_c [\text{Kev}] = 2.218 \times E_c [\text{GeV}] / \rho [\text{m}]$$

其中 E 为电子的能量，KeV 及 GeV 分别为千电子伏及十亿电子伏， ρ 为电子的弯转半径。

（2）高强度。沿着长度为 L 的弯转磁铁放出的同步辐射功率 P_{total} 为

$$P_{\text{total}} [\text{kW}] = 14.12 \times E^4 [\text{GeV}] I [\text{A}] L [\text{m}] / \rho^2 [\text{m}]$$

其中 I 为储存环中的电子电流，A 及 kW 分别为安培及千瓦单位。

（3）高度的准直性。在每一瞬时同步辐射的发射呈一个很窄的锥状，锥轴与电子轨道相切，能量为 E_c 的辐射光锥的张角（以毫弧度 mrad 为单位）与电子的能量 E 成反比：

$$\psi [\text{mrad}] \sim 0.511/E [\text{GeV}]$$

(4) 高度的极化性。在电子轨道平面上放出的同步辐射是完全线极化的，而离开电子轨道平面方向发射的同步辐射是椭圆极化的。

(5) 由于在储存环里的电子是束团状的，同步辐射是脉冲光源，脉冲的宽度为 100 皮秒量级，脉冲间隔为微秒或亚微米量级。这种强脉冲光源十分有利于对一些特定过程（例如化学反应、生命过程、材料结构的变化过程等）的研究。

(6) 精确的可预知的特性，可以用作各种波长的标准光源。

(7) 绝对洁净。因为它是在超高真空中产生，而且没有任何（如阳极、阴极和窗带来的）污染。

(8) 性能极高的光源。设计精良的储存环使电子束在环中只有很小的截面和很小的发散角，插入件的使用还可使之更小。

从此，人们改变了对同步辐射的最初看法。虽然在最初，作为高能物理研究的副产品，同步辐射应用研究只在很小的规模上开始，但到后来，在几乎所有的高能电子加速器上，都建造了同步辐射光束线及各种应用同步光的实验装置。特别是在 1965 年，随着世界上第一个电子储存环在意大利弗拉斯卡蒂（Frascati）建成，人们立即看到它可以作为一种强大的同步辐射光源的前景。从 70 年代开始，同步辐射应用便步入了它的现代阶段。至今，同步辐射装置的建造及在其上的研究、应用，经历了三代人的发展。

二、第一代同步辐射装置及其上的研究、应用

第一代同步辐射光源是在那些为高能物理研究建造的储存环和加速器上“寄生地”运行的，如美国斯坦福的 SPEAR 储存环、康奈尔大学的电子同步加速器、德国汉堡的 DORIS 储存环、意大利弗拉斯卡蒂的 ADONE 储存环等等。中科院高能所的北京同步辐射光源，在兼用模式下属于第一代同步光源。

虽然第一代同步光源不是为同步辐射应用而专门特殊设计的，但是它的高强度与从远红外到硬 X 射线的宽阔的光谱已经使它具有了无与伦比的能力：很短的数据采集时间、可连续选择的波长变化和高的能量分辨率等等，从而开创了许多新的研究领域。例如：在固体和液体中确定某些特定元素的近邻环境的研究，微电子学中的深亚微米软 X 光光刻技术，甚至对那些已经成熟的方法，如 X 光晶体学分析、利用光与物质相互作用后的二次发射进行谱学分析的方法等，都因同步光源的出现带来了新的机遇和新的活力。

很快地，不仅物理学家，而且化学家、生物学家、冶金学家、材料科学家、医学家和几乎所有的学科的基础研究及应用研究的专家，都从这个新出现的光源看到巨大的机会，它使许多研究者长久以来所追求的梦想变成现实。而且，在这些第一代光源上还展示了一些非常重要的工业及社会应用的可行性，如使用同步辐射 X 光的亚微米光刻、非插入性的心血管造影等，到了 70 年代的中期，第一代同步辐射装置的数目迅速增加。然而，在对储存环性能的要求上，同步辐射的用户与高能物理学家的观点是矛盾的，它使同步辐射的用户们完全有正当的理由不满足于第一代同步光源，要求建造不是作为高能物理的“寄生”应用，而是专门为同步辐射应用设计的第二代同步光源。在美国，这种强烈的要求反映在 1976 年美国国家科学院的一个正式的报告里。在欧洲和日本，建造新一代同步光源的潮流也是差不多在这个时期

开始的。

三、第二代同步辐射装置及其上的研究、应用

第二代同步光源是专门为同步辐射的应用而设计的。为改进所产生的同步辐射的质量，需要将储存环的结构作最优化的设计。在储存环中运动的电子，并不是都沿同一的轨道运动的，事实上，它们的运动轨道大都偏离理想的轨道，这就使得电子束团有一定的横截面和发散角。在加速器物理学中，在每一方向上这二者的乘积称为在这个方向的“发射度”，它的单位是 [纳米·弧度] ([nm·rad])。在相同的电子能量和电子电流的条件下，储存环的发射度越小，放射出的同步辐射的亮度也就越高。在同步辐射的应用中，许多尖端的实验要求高的亮度，这就要求作为光源的储存环的发射度小。一般说来，高能对撞物理用的储存环的发射度都较大，通常都达几百 nm·rad (见表 1)。也就是说，高能物理与同步辐射应用对储存环的要求是矛盾的。虽然自 1975 年，法国 Orsay 的正、负电子对撞机 ACO 在它的高能物理研究计划结束之后被转用为一台专用的同步光源，从而开始了将退役高能物理加速器转变为专用同步辐射光源的第一个记录，但是同步辐射的用户很清楚，这种第一代光源是不能满足他们越来越高的要求的，必须从设计开始就考虑到他们的要求。

为了减小发射度以提高同步辐射光源的亮度，美国 Brookhaven 实验室的两位加速器物理学家却斯曼 (R.Chasman) 与格林 (K.Green) 发明了一种把加速器上的各种使电子发生弯转、聚焦、散焦等作用的磁铁按特殊的序列组装的方法。这种组装序列后来被称为却斯曼-格林阵列 (Chasman-Green lattice)，此设备以及后来受此设备启发而提出的各种改进方案，不但是第二代同步光源的基础，也是更新的第三代同步光源的基础。以却斯曼-格林阵列的采用作为第二代同步光源的标志是合适的。合肥的同步辐射光源属于第二代光源。

大部分第二代同步辐射源如英国 Daresbury 的 SRS，美国 Brookhaven 的 NSLS 以及日本筑波的光子工厂 (PF)，都是在 80 年代前后建成的。它们的发射度大约为 100nm·mrad (见表一)。随着第二代同步辐射源的投入使用，出现了在一个实验设施上聚集着来自极为众多的学科的科技人员川流不息地工作的空前景象。

表 1 三代同步辐射源的主要参数

代号	装置名称	E(GeV)	E _c (KeV)	发射度(nm · rad)	典型亮度 (ph/s/mm ² /mrad ² /0.1%BW)
	SPEAR(美)	3	4.7	450	10 ¹²
	ADONE(意)	1.5	1.5	200	
	DORIS(德)	3.7-5.5	9.2-23	270/560	
	BEPC(中)	1.6-2.8	0.88-4.7	660-76	
	NSLS(美)	2.5	5.0	100	10 ¹⁴
	PF(日)	2.5	4.1	130	
	SRS(英)	2.0	3.2	110	
	HEVSL(中)	0.8		170	
	ESRF(西欧)	6	14	7	10 ¹⁶ -10 ¹⁹
	ELEKTRA(意)	2	3.2	7.1	
	SPRING-8(日)	8	28.3	5.6	

在科学上，同步辐射的应用主要是通过对物质中原子的位置（物质的原子结构）和原子中的电子所处的状态（物质的电子结构）的研究以弄清物质的力学的、热学的、电学的、磁学的、光学的、生物学的，及其他等等方面的性质。反过来，弄清楚这些性质与结构的关系，便有可能通过对上述两类结构的控制与改变来设计有着预期性能的新材料，从而为技术科学与工业应用开拓广阔的新前景。

在方法上，第二代同步辐射装置上的科学实验大致可以分成两类：

（1）弹性散射。例如，物理学中历史悠久的 X 光衍射法便属于此类。由这类实验可以确定物质中原子及分子的空间位置。在上述的例子中，虽然从衍射图样中各个光斑的空间分布及强度来推定各原子、分子在物质中的位置是自 1912 年劳埃的开创性工作以来物理学的传统手段，但是同步辐射的高亮度与波长的可调性，使得不但使用散射时的振幅，而且利用其位相成为可能，这就为这种方法打开了新的局面，提供了前所未有的可能性。

（2）谱学研究。例如，吸收谱、发射谱、荧光谱、光电子谱等。由这类实验可以确定物质的电子结构，包括化学键。这方面的研究也给出一些物质的原子结构的信息，例如广延 X 光吸收谱的精细结构（EXAFS）的研究。

除了基础研究和应用研究方面的活动，在第二代同步辐射装置上的工业应用也增多到令人瞩目的程度。据一份最近的报告，在真空紫外（VUV）能区的装置上与工业应用有关的份额，日本达 33%；美国的 BNL 更高，达 55%；欧洲比较落后，为 10%。新发展起来的同步辐射软 X 光微机械加工的 LIGA 技术、同步辐射 X 光精密加工技术等均具有很重要的价值，前者已经走出实验室，成为一门新的产业。同步辐射装置已经成为化学工业、石油工业、制药工业、新材料合成等工业应用的强有力的手段。

四、第三代同步辐射装置及其上的研究、应用

第二代同步辐射装置对科技研究与工业应用的巨大推动，促使世界各国政府支持建造新一代具有更高亮度的同步辐射光源，这就是目前在许多国

家中正在建造的第三代同步辐射光源。

推动建造第三代同步光源的动力是科技上要求有更好的空间分辨、更好的时间分辨、更好的动量分辨、更好的能量分辨的手段。保证这些“更好”必须以更高的光源亮度为前提。

如果说第二代同步光源以专为同步辐射应用考虑的却斯曼-格林磁铁阵列为标志的话，第三代同步光源则以大量的插入件的应用为标志。

插入件的概念是苏联物理学家 V.Ginzburg 早在 1947 年就提出来的。而这种器件的应用则是美国人 H.Motz 第一次实现的。插入件用于同步辐射的产生是在 70 年代末 80 年代初。

插入件是一系列周期地排列的磁铁，其周期数为 N ，周期长度为 λ_0 ，它插入在储存环两个弯转磁铁组件之间的直线段，所以得到插入件的名称。当电子经过插入件时，在磁场的作用下，电子将沿一条近似为正弦曲线的轨道运动，在插入件中摆动的次数刚好是 $2N$ ，摆动的曲率半径反比于磁场峰值 B_0 。插入件的性能由偏转参数 K 描述， K 的定义为：

$$K = eB_0 \lambda_0 / 2m c^2$$

在实用单位（磁场强度以忒斯拉 T 表达）下有

$$K = 0.934 \lambda_0 [\text{cm}] B_0 [\text{T}]$$

当 $K > 10$ 时的插入件叫做扭摆器，当 $K < 1$ 时叫做波荡器。一般的扭摆器是强磁场与较长周期的插入件，由于较高的磁场会使扭摆发生较大的形变，运动轨道的曲率半径 变小，由于同步辐射光谱的特征能量 E_c 反比于 λ_0 ，这样，通过在储存环上安装高磁场的扭摆器，可以使同步光谱向高能方向移动，而且同步光的强度也将增强 $2N$ 倍。

在 1980 年试验成功的、利用当时新出现的稀土合金永磁体磁铁制成的波荡器，是插入件发展史中的一件大事。永磁体磁铁的采用可以将插入件磁铁周期缩短到几个厘米，从而大大地增加在给定的直线段中磁铁的周期数。这种插入件的磁场决定于永磁体磁铁间的磁隙。在低磁场、大周期数的情况下，电子在穿过这种插入件时，其轨道只作轻微起伏，因而得到了“波荡器”这样的名称。由于电子在波荡器中运动轨道的曲率半径很大，一般地，波荡器是不能使同步光谱向高能方向移动的，但由于电子的偏转角小，从波荡器中不同的磁极上发射出来的光子在很大的程度上相干地叠加，干涉效应使得同步光谱中出现一系列尖峰。也就是说，波荡器给出一系列近乎单色的同步光，而且在这些波长上的同步光的亮度要增强 N^2 倍以上。在波荡器中产生的同步光的发射角是很小的，近似地说，只有弯转磁铁上产生的同步光的发射角的 $1/\sqrt{N}$ 。目前使用精心设计的波荡器可以把同步光的亮度增加 5 个数量级以上。

第三代同步光源的特征是为大量使用插入件而设计的低发射度储存环。这些环的发射度一般都小于 $10\text{nm} \cdot \text{rad}$ （见表 1）。它们所发出的同步光的亮度比最亮的第二代光源至少高 100 倍，比通常实验室用的最好的 X 光源要亮一亿倍以上！

从 1994 年开始，世界上已经有五个第三代同步光源投入运行。有为数更多的第三代光源在建造中（见表 2）。

在第三代同步辐射装置上的科学实验的类型，比在第二代装置上的增加了一种，就是非弹性散射。以非弹性 X 光散射为例，目前已经能够做到

能量分辨达几个 meV

传递动量分辨 $q/q \sim 0.03$ 更为重要的是，研究手段从过去的静态的、较大范围里平均的手段扩展为空间分辨的与时间分辨的手段。

表 2 世界上的第三代同步辐射光源

装置	电子能量 E(GeV)	发射度 (nm · rad)	可用直线 段数目	典型亮度 (ph/s/mm ² / mrad ² /0.1%BW)	目前状况
ESRF(欧)	6	7	29	2×10^{18}	运行
APS(美)	7	8	34		建造
SPring - 8(日)	8	5.6	38	3×10^{18}	建造
ALS(美)	1.5	3.4	11		运行
ELETTRA(意)	2.1	4.0/7.1	11		运行
BESSY (德)	1.7	6.1	16		建造
MAX (瑞典)	1.5	8.8	8	2×10^{18}	建造
SuperACO(法)	0.8	37	8		运行
SRRC(台湾)	1.5	19.2	6		运行
LNLS(巴西)	1.15	33.9	6		建造
PLS(韩)	2	12.1	10	5×10^{17}	运行
SLS(西)	1.3	15	12		批准
NANOHANA(日)	1.5/2.5				批准
SLS(瑞士)	1.5	1.6	6	2×10^{20}	设计
SIBERIA(俄)	2.5	76.5	4		建造
INDUS (印)	1.4				批准
DIAMOND(英)	3	10-15	12	3×10^{17}	设计

1. 空间分辨型实验带来的新机遇

对于大多数的第一及第二代光源上的实验，由于亮度的限制，同步辐射光斑不能太小，照射到样品的面积也就较大，因此所得到的信息实际上是在这个面积范围内的平均信息。但是，科学技术的发展要求的不是这种平均的信息而是范围越来越小的局域的信息。

例如，微电子学的发展使得线宽为 $0.1 \mu\text{m}$ (100nm) 的芯片问世在望，这方面的技术进展要求对芯片的结构分析与成份分析局域化，这可以通过用空间分辨小于此线宽尺度的扫描 X 光显微分析或扫描谱学分析来达到。在亚细胞水平的生物学和医学研究、高强度合金、陶瓷材料、聚合物等许多方面的研究中，都需要有纳米水平的结构、成份、化学键等等方面的信息，这些都要求空间分辨型的实验。

随着科学的发展，许多学科都需要对在某些极端条件下(如极高的温度、极大的压力、极高的电场和磁场等等)的物性进行研究，而在实验室中，这种极端条件只能在一个极小的区域中才能实现，这就要求待研究的样品被限制在一个很小的尺度内。地质学家感兴趣的地球内层，是由在压力为 360GPa 与温度为 6000K 的固态铁-镍合金构成的；而天体物理学家感兴趣的一些星体上的物态，例如木星和土星的内层，则要研究处在更极端的条件下的氢-氦混

合物。目前由于高压物理实验手段的发展，这个水平的条件在实验室中是有可能达到的，但是只限于很小的体积内，一般小于 $100 \mu\text{m}^3$ 。如果研究在 100GPa 下的固态氢，由于它极好的压缩性，样品的体积更小，只有几个 μm^3 。最好的第二代同步光源所能研究的最微小的样品约为 $300 \mu\text{m}^3$ ，这就是为什么只有应用第三代同步光源才能研究一些极端条件下的物性的道理。

高亮度的微米束 X 光，在很多领域中有非常广泛的应用，例如微区荧光分析、非破坏性应力的三维分布研究、非破坏性元素的三维分布研究等等。

第三代同步光源对许多蛋白质晶体的研究大有裨助，因为在许多情况下，制备大尺寸的蛋白晶体是非常困难的。使用第三代同步光源，蛋白晶体样品的尺寸可以减小到 $\sim 20 \mu\text{m}$ ，而在使用第二代同步辐射光源的情况下，这是不可能做到的。

2. 时间分辨型实验带来的新机遇

同步光源是一种脉冲光源，脉冲宽度约为 100ps ，脉冲间隔约为 $0.01\text{-}1 \mu\text{s}$ （取决于储存环的周径与运行的电子束团数目）。这种光源对很大一片科技领域内的动态研究是十分有用的（图 1），然而，由于亮度的原因，这种脉冲性质在第一及第二代光源上基本上没能得到充分应用，而在第三代光源上，这方面的工作将会占越来越重要的地位。

以生命科学研究为例，了解生物大分子的结构只是进入分子生物学的第一步，第三代同步光源的出现使得通过结构的实时改变来了解许多生命过程成为可能，从结构研究进入到功能研究的领域。作为例子，蛋白质动力学的不少领域的时间尺度是落在这个时间分辨领域中的，如：分子间振动（ $\text{fs-}\mu\text{s}$ ）、有序-无序转变（ $\text{ns-}\mu\text{s}$ ）、酶作用（ ms ）、蛋白质-蛋白质相互作用（ $\text{ps-}\mu\text{s}$ ）、质子/电子迁移反应（ $\text{ps-}\mu\text{s}$ ）、金属-配合基（ligand）结合（ $\text{ps-}\mu\text{s}$ ）等等。正是由于这个新机遇，无怪乎在新落成的欧洲同步辐射中心（ESRF），有 45% 的实验申请来自生命科学家。

在第一与第二代光源上，由于信噪比差，同步辐射时间分辨谱学研究几乎可以说是没有得到开展，对于第三代光源来说，情况有根本的改变，原则上这类实验的时间分辨可以降到纳秒以下，这是一个牵涉到许多学科领域的大事。

五、同步辐射应用的发展趋势及其在我国下一世纪高科技发展中的重要作用

1. 作为多学科共同应用中心的同步辐射装置

在当代的科技发展中，学科交叉与科学-技术在新的层次上的结合占有越来越重要的地位，导致了许多重大的突破和新的科研领域的诞生。前者可以生物-医学科学的一些重要发展（如 DNA 的双螺旋结构）为例，而扫描隧道显微镜则是后者的一个很好的例子。可以预期，学科间高度的交叉与融合将是下一个世纪科技发展的特征。如果对此没有充分的认识，那将会严重影响我国下一世纪的科技发展。以下我将以同步辐射在生物-医学科学中的应用作为例子来说明这点。

在世界上过去二十多年中发展起来的同步辐射中心提供了一个多学科交

叉与科学-技术结合的自然场合。例如，在这里，生物-医学科学家已经成功地开辟了许多新的领域：生物分子及蛋白晶体的结构分析、活的生物体在器官、细胞、细胞核以及分子水平上的结构分析、药物筛选、非插入的双色数字减除心血管造影，在活的细胞中化学元素的三维拓扑构像等。这些都是生物-医学家和物理学家、化学家、计算机科学家与工程师紧密合作的成果。目前世界各国正在大力发展的第三代同步辐射光源的出现，使得这些领域从基本上是静态的、结构的研究开拓到动态的、功能性的研究成为可能。而这些方面将会是下一个世纪的生物-医学科学的研究重心。这样就出现了一个在以前难以想象的现象，就是在一些结构生物学研究中心里，非生物背景的研究人员的数目不下于有着生物背景的。在一些新建成的同步辐射中心里，来自生物界的研究申请占首位，但是在最初，生物-医学科学家却是不习惯于离开他们自己的实验室到像同步辐射中心那样的多学科交叉的环境中工作的。这种中心的先进的工作条件及其独特的工作环境的重要性，将在下一世纪的科技发展中会越来越明显地为人们所认识。

2. 同步辐射在工业生产领域中带来的一巨大的新机遇

同步辐射在工业生产领域中带来了一个巨大的新机遇：微机械的大规模的加工技术——LIGA 技术。

高科技的发展，已经把微机械加工提到日程上。例如，光纤光缆通讯技术的发展，要求能够由工业大批量生产具有微结构的光纤芯耦合器，以取代目前手工或半手工的操作。这种工业就属于微机械加工业。

现代的微机械加工是指宽度为几个到几十个微米、高度为几十到几百微米的机件的加工，它的第一个主要特征是高宽比 (aspect ratio) 大，为几十以上；它的第二个主要特征是有着生产集光、机、电性能于一体的微系统的潜力。微机械产品正在被应用到越来越广泛的领域中，例如，微马达和微照明灯具已被应用于非剖开性的人体内部外科手术，微米结构的同位素分离喷嘴已被用于核燃料铀的富集生产中。目前，微机械加工是一门正在成长的、具有巨大前景的新工业，将会成为下一世纪的一门主要的工业，应当引起我国的高度注意。

当前正在发展的微机械加工技术有多种，但就大规模生产与高度的适应性而言，80 年代中在德国发展起来的 LIGA 技术，在国际上被认为是微机械加工的一个最有前景的新方向。

LIGA 是德文 Lithographie (光刻)、Galvanoformung (电铸成型) 和 Abformung (塑铸成型) 三个字的字头，它由深层同步辐射光刻、电铸成型及塑铸成型这三个工艺过程组成。所以准确的名称为微机械加工的同步辐射深层光刻、电铸成型与塑铸成型技术，简称为 LIGA 技术。在原理上 LIGA 技术与全息记录的大规模复制 (例如，激光唱片生产) 有点相仿，第一步是用光刻的方法在光刻胶上刻出微机械或微器件的三维结构，第二步是通过电铸从光刻胶三维结构上产生金属母模，第三步是用母模通过电铸或塑铸方法复制许多金属的或其它材料的生产用模，最后一步是用生产用模作大规模复制。

LIGA 技术中的光刻工艺与微电子工业所用的光刻工艺是很不相同的。微米级微电子器件的刻蚀深度不大于几千埃，刻出的结构的高宽比小于 1，所以也称为平面的光刻，所使用的光源的波长在可见光到紫外光的范围便已足够。与之对比，LIGA 技术中的光刻的深度要到千倍以上，故此也称为立体的光刻。要增加刻蚀深度，必须使用波长比紫外光短得多的 X 光。如果要做几

十到几百微米深度的光刻，所使用的光应是波长在 2-10 埃之间的 X 光。

对于深层光刻所使用的 X 光源的性质，除了波长之外，还有两个重要的因素，就是光的功率密度和准直性。它应当有足够大的光功率密度和足够好的准直性，前者是为了曝光的需要，后者是为了保证制作出来的微机械结构的垂直面具有优异的平行度。目前的软 X 光光源，有用轻元素为靶的常规 X 光源，聚焦激光打靶形成的等离子体产生的软 X 光以及同步辐射光源。第一种光源功率小，第二种光源目前达到的波长在 100 埃以上。两种光源都属于点光源，光的准直性都不好，而且两种光源的功率密度都不足以在合适的时间内使厚的光刻胶层曝光。最适合于深层光刻的光源是同步辐射光源。

目前国际上普遍认为，LIGA 技术是大规模微机械加工的一个极重要的方向，有着巨大的发展前景。最新的报道为用 LIGA 技术生产出可植入人体的微型电机，其直径只约为 1mm，厚度为 1.9mm，重量为 0.1g，转速为 10 万转，直径细如发丝的齿轮的精度达微米的量级。这是一个说明科学与新技术结合给工业带来的巨大的新机遇的例子，通过它可以看到下一个世纪科学技术发展的特征，这就是学科间高度的交叉与融合。对此，不但科学家，而且产业界和规划人员必须予以高度重视，否则我国科技界将与许多新发明和新发现失之交臂，也无法实现在我国建立起一个有着世界上领先水平的产业界的局面。

3. 同步辐射中心作为一种特殊模式的大科学设施

20 世纪科学发展的一个重要特征是大科学的出现，而且，大科学设施的规模与建造的投资有越来越大的趋向，绝大多数的大科学设施的建造与运行是由国家支持的。为了得到公众的支持，一个必须回答的问题是：进行基础研究的大科学设施，它们对于生产力的发展有何影响？对于多数大科学来说，可以用图 2 的线性模式来说明它们的影响，即，在大科学设施上进行的基础科学研究支持应用基础的发展，应用基础的发展最终在工业中的应用将影响生产力的发展。经验告诉我们，这种影响常常是一个漫长的过程。

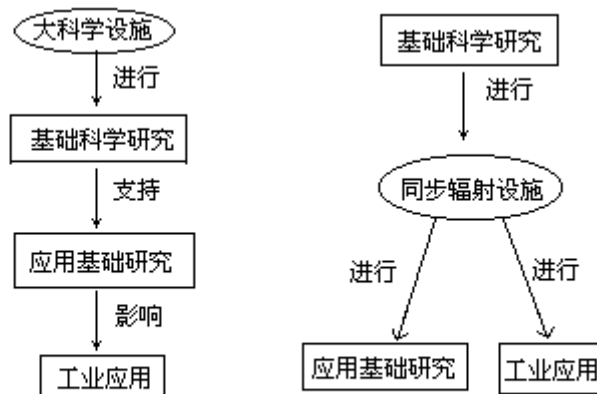


图2 一般大科学设施与基础研究、应用以及工业应用的关系 图3 同步辐射设施与基础研究、应用以及工业应用的关系

如果按计算机的术语说，上面的线性模式是串行输出的模式的话，相反地，在同步辐射设施上这三类活动是同时进行的，亦即作为大科学装置的同步辐射设施对基础科学、应用基础与工业应用的关系如图 3 所示，是并行输出的。正是由于这个特点，在世界上有条件的国家中，同步辐射设施的建造都得到优先的支持。

4. 我国是否应当和是否能够建造第三代同步辐射光源？

我国是否应当建造第三代同步辐射装置？

在读了上面的介绍后，回答是当然的：是！因为它是促进下一个世纪科技发展的一个十分重要的手段。

我国是否能够建造第三代同步辐射装置？

第三代同步光源对工程技术的要求是苛刻的。以美国伯克莱的 ALS 为例，在其波荡器里的电子束的截面是椭圆形的，水平方向的长度是 $335\ \mu\text{m}$ ，而垂直方向的长度仅 $65\ \mu\text{m}$ ，相当于一根头发的直径。实验上要求电子束流有很高的稳定性，稳定到其截面尺度的十分之一。反映在安装精度上，这就要求在安装在周长近 200 米的近 200 个各类的二极、四极等磁铁的中心对设计位置的偏离小于 $150\ \mu\text{m}$ ；对于波荡器的要求更高：在其 5 米的长度上，每个磁极的位置安装精度好于 $20\ \mu\text{m}$ ，而且这个精度在 40 吨的磁力作用下仍能保持！其他对磁铁的加工精度、电源的稳定度、地基的抗振能力、磁场分布的精度等等的要求，同样都是相当苛刻的。在这些精度都达到后，还需要有巧妙的电子束流监控系统，随时监测电子束流的位置并给以必要的校正，以保证束流位置的稳定。

虽然这些技术都是当前的尖端技术，但是都属于成熟的技术，只要有精密机械加工的保证和在设计、测试、安装等方面的严格把关，这些苛刻的指标都是能够达到的。所有已经投入运行的 5 个装置的建造经验都证明了这点。我国在建造北京和合肥两个同步辐射装置中已经有了一支有实践经验的科技队伍，只要领导得当，有足够的支持，是完全能够胜任的。

同步辐射是对科技发展起十分重要作用的一种先进手段，同步辐射中心是独一无二的为最众多学科服务的研究中心，是一个各学科交叉、融合的天然场合，其重要性已为世界上广大的科技界所认识，并得到各国政府的大力支持。改进及提高我国已建成的同步辐射设施的效能，并建造一个最先进的同步辐射中心，将对下一世纪我国高科技发展起关键性的推动作用。

高性能无机材料的现状与展望

严东生

中国科学院

严东生 材料化学家。1918年2月10日生于上海。1939年毕业于燕京大学。1949年获美国伊利诺大学博士学位。历任中国科学院冶金陶瓷研究所研究员、上海硅酸盐研究所所长，中国科学院副院长。曾任中国硅酸盐学会理事长、荣誉理事长，中国宇航学会副理事长以及亚洲各国科学院联合会主席。现任中国科学院特邀顾问、中国化学会理事长等职。1980年当选为中国科学院院士(学部委员)。1985年当选美国纽约科学院院士。1986年获美国伊利诺大学和法国波尔多大学、1993年获香港理工大学荣誉科学博士，1988年当选国际陶瓷科学院创始院士。1991年当选第三世界科学院院士。是我国无机材料科学奠基人之一。

日本通产省曾对高性能无机材料从80年代到90年代初的生产发展的实际情况，以及从90年代初到2000年发展预测，得到的结果是在这15年间将增长4-6倍。在金属、有机高分子、无机这三大类新材料中，不论增长速度或绝对产值均占首位。并预计在2000年的产值将超过文字处理机、工业机器人等产业。美国在1990年高性能陶瓷的总产值为25.3亿美元，其中功能陶瓷占有75%的市场，结构陶瓷占25%。美国商业部预测到2000年总产值将增加一倍多，达59亿美元，其中功能陶瓷将占60%，而结构陶瓷将占40%的市场。日本无机新材料的产值远高于美国，1985年为67亿美元，1990年已达120亿美元，预计到2000年将达250-400亿美元，是美国的4-6倍。

一、高性能无机材料高速发展的推动力

1. 高性能无机材料具有如此高速、持续的发展势头，主要特征和动力来自于以下几个方面。首先是应用需求牵引，成为最重要的动力。例如信息技术的发展，从电子信息处理，发展到光电子信息处理，以至于光子信息处理，需要一系列材料作为基础。包括：光-电子材料，非线性光学材料，光波导纤维、薄膜与器件等等。又如能源工程技术的发展，要求能耐受更高温度、高可靠性、寿命可预测的结构材料，以提高效率，改善环境；也要求更好的耐磨损、耐腐蚀、耐高温的材料等等。再如随着人类社会的进步，人体修复的需求将会日益增长，必将带动各类生物医用材料的发展。

2. 其次是多学科交叉的推动。材料科学本身就具有多学科交叉渗透的特征，包括丰富的内涵。例如材料的组分(分子)设计与合成，涉及许多化学学科的分支，如高温过程的热力学、动力学以至在温和条件下的仿生合成等。当研究与了解材料的微观结构与性能的关系时，就要涉及到物理学，特别是凝聚态物理；以及力学，特别是非连续介质微观力学诸学科。当联系到材料在各种条件下的使用效能时，就将涉及到众多的工程科学学科。

3. 再有一个值得重视的趋势，就是材料、器件、系统一体化日益明显，以发挥更有效的功能。这在功能材料领域表现得尤为突出。即使是结构材料，也更多地从系统的效率、经济性、使用寿命的延长与减少环境污染等角度来

考虑。

以上各点都推动着新材料、包括无机新材料的加速发展。

二、高性能无机材料在功能领域的应用

高性能无机材料具有电、光、磁、半导、化学等多方面的功能特性，从而在广泛的应用领域中占有重要地位，并有广阔的开拓前景。简述如下：

（一）电性陶瓷——可分别归纳为几大类

1. 介质材料。许多陶瓷材料具有高的介电常数，称为介质材料。按其结构与性能，可分为以下几类。

（1）绝缘陶瓷。其典型代表有 Al_2O_3 、 AlN 及 BeO 等。 Al_2O_3 陶瓷已广泛用作半导体集成电路的基片与高性能的封装材料。 AlN 具有更高的导热系数，有利于在日益增长集成度条件下热量的散失，是继 Al_2O_3 之后，下一代的基片材料。 BeO 同样具有高的导热系数，但由于铍的毒性，而且价格昂贵，限制了它的应用。

（2）铁电陶瓷。这是一大类功能陶瓷，具有铁电性，以 $Ba-TiO_3$ 、 $SrTiO_3$ 等为代表，有宽广的应用性，其中电容性陶瓷的产量及销售额占有最大的比重。

（3）压电陶瓷。铁电陶瓷经过极化处理，在大多数情况下可使其电畴转向、排列，从而具有压电性，以钛酸钡、锆钛酸铅等为其主要代表。用它们制成的器件，在水声、电声、超声、滤波、引燃、引爆等方面，有甚为广泛的应用。最近，微位移器的发展，压电陶瓷及电致伸缩陶瓷发挥了很大作用。著名的 Huber 望远镜在外层空间的位置的微小而精确的调整，就是用这种微位移器实现的。

2. 半导体陶瓷——不少类无机物质具有半导性，被利用为在不同环境下的敏感材料，发展成为传感器。

（1）湿敏材料、器件。

（2）温度敏感材料与器件——典型的有被广泛使用的 PTC、NTC 器件。

（3）气氛敏感材料与器件。

（4）变阻器（Varister）—— SiC 、 ZnO 等。吸收高电压、脉冲电流，作为避雷器等。

3. 离子导体。其中以掺杂 CaO 或 Y_2O_3 的四方稳定 ZrO_2 作为氧离子导体，以及 Al_2O_3 和 $NaSiCON$ 作为钠离子导体最有代表性。前者作为在各种环境下，包括高温窑炉、烟道气、汽车尾气和钢水中测定氧的浓度等，已发展成相应的器件，获得广泛的应用。在近年来发展中的氧化物燃料电池（SOFC），氧离子导体是整个系统中构成传导氧离子的电介质部件，起到核心的作用。而钠离子导体材料则是多年来引起材料界与电化学界重视的钠-硫电池的关键材料。

（二）磁性陶瓷

1. 软磁材料。以铁氧体为代表的软磁材料，人们经过多年的工作，开发了几代材料，为磁记录介质的应用与发展做出贡献。它的优点之一，是更适于在高频下使用。

2. 硬磁材料。另外一大类铁氧体陶瓷构成铁磁体材料，也适用于高频，

同样获得广泛的应用。

(三) 光性陶瓷

陶瓷材料做到透明，从而可利用其光性，是陶瓷材料制备科学的一大进步。其关键是要在烧结致密化过程中，排除其中几乎所有的闭口气孔。否则，由于存在着许多与可见光波长相似的气孔，射入光因强烈的散射作用，不能透过，使陶瓷材料失透。

1. 透明氧化铝。一般 Al_2O_3 陶瓷是不透明的，利用其耐高温、高硬度、耐磨损，高强度以及电绝缘等特性。但当人们掌握了在制备 Al_2O_3 陶瓷时，排除其中的全部气孔，即成为透明氧化铝。现在的水平，已可制出透过 95% 可见光的管子，用做高压钠蒸气灯。在灯管内，温度可达 1400℃，同时钠蒸气有强烈的腐蚀作用，透明氧化铝成为理想的灯管材料，现已是一巨大的产业。

2. 透明 MgO 、 ZnS 等。是红外及特殊的窗口材料。在工业、高温实验室及国防上均有重要应用。

3. 透明掺镧的锆钛酸铅 (PLZT) 陶瓷，是一种有广泛应用价值的功能陶瓷。由于可制备得到透明的材料，在光阀、光调制、光存储、显示等领域获得应用，成为光信息处理技术中的重要材料和器件。

(四) 化学陶瓷

即利用其化学及电化学性能的一类材料。

1. 气敏材料与器件，如 ZnO 、 Fe_2O_3 、 SnO_2 等。已用于气氛检测器、漏气报警及自动换气风扇等。

2. 催化剂载体及催化剂——沸石、氧化铝、尖晶石以及相应的纳米材料是很好或已获得广泛应用的催化剂载体，有些经过修饰就具有很好的催化剂功能。

3. 电极材料。用于诸多的电解工业，主要是碳化物、硼化物等。

(五) 热性陶瓷

主要利用陶瓷，特别是涂层材料在适当的高温下具有高效率的红外辐射特性。例如以 ZrO_2 及 TiO_2 为基的涂层，在食品、化工、医药等许多行业中获得应用。

三、高性能无机材料在结构领域的应用

在结构领域应用的高性能无机材料，它的优势主要在于能够耐受更高的温度，具有高的强度、耐磨损、耐腐蚀等性能。这方面涉及到的材料也是很多的，主要包括氮化物系统材料，碳化物系统材料，氧化物系统材料，以及陶瓷基复合材料等四大类。本文因限于篇幅，拟以氮化物系统材料为例，作一些简要介绍。

高性能氮化物材料是一大类具有发展和应用前景的材料。一方面依据热力学原则，对多元氮化物系统的相关关系研究，提高了按性能要求加强材料设计的能力。另一方面，以制备科学为指导，通过对微观结构的调控，可在材料设计的基础上，调节与提高材料的性能。

近十几年来，我们以及国外几个重要的实验室通过大量工作，对氮化硅材料的分子与晶相设计，以及制备条件-显微结构-性能之间的关系，已得到

了相当深的认识，掌握了若干条重要的规律。例如 α - Si_3N_4 和以它为基础的固溶体可以发育成呈长板条状的微观形貌，从而赋予整体以高的强度及断裂韧性；而以 β - Si_3N_4 为基的固溶体，可以“清除”晶界中某些不利组元，同时本身具有很高的硬度；其它各相可分别发育为各自的特征形貌，对材料整体性能起到不同的作用。因此通过设计及对材料制备因素的掌握，可以在相当程度上调控材料的性能，以适应材料的使用目标。

在这里，还应当强调晶界的组分及相组成对材料性能影响的重要性。利用已掌握的知识，晶界的组分及相组成也是可以设计的，并使之与材料的主要晶相相辅相成。

但同样应当明确的是，对复杂的氮化物体系的材料，不清楚或知之不深的因素还很多，这里仍然是一块值得进一步开垦的园地，从中必然可以得到新的、重要的收获。由于氮化物及其他高效能结构陶瓷所可能具有的优异性能，人们预期在 21 世纪初叶，若干关键问题可望得到突破，从而大大扩大它们的应用范围。其中一个典型的例子是在地面燃气轮机上获得应用，日本为此而拟定的性能目标和研究内容可简述如下：

（一）高温高强材料

1. 性能目标：1200-1300℃，寿命 10^3 - 10^4 小时，拉伸强度 30Kg/mm²，韦伯模数 $m = 20$ 。

2. 研究内容：高温高强材料的设计与表征，获得高疲劳强度的有关问题，获得高可靠性的有关问题。

（二）高温耐腐蚀材料

1. 性能目标：1200-1400℃，寿命 10^3 - 10^4 小时，拉伸强度 20Kg/mm²， $m = 20$ 。

2. 研究内容：材料的选择、设计与表征大型复杂部件的制备，高温耐腐蚀性研究。

（三）高精度、耐磨、耐腐蚀材料

1. 性能目标：500-800℃， 10^3 — 10^4 小时寿命，抗折强度 50Kg/mm²， $m = 22$ 。

2. 研究内容：材料的选择、设计与表征；表面光洁度研究；耐磨与耐腐蚀性能研究。

四、生物医用材料

高分子材料、无机材料及金属材料均已在生物医学领域被应用，作为人体修复材料。但从生物相容性的特性分析，则高分子材料与无机材料有着更大的应用前景。美国于 1996 年对人工骨与各类关节的市场需求量预测为约 200 万件，中国骨折病人约 10 倍于此。是一项重大的社会福利问题。

无机生物医用材料可分为三大类，即惰性材料、表面活性材料及可吸收材料。属于惰性材料类的有氧化物陶瓷、非氧化物陶瓷、生物微晶玻璃、复合材料及涂层材料。属于表面活性材料类的有生物活性玻璃、生物活性微晶玻璃、磷灰石类材料、复合及涂层材料。属于可吸收材料类的主要是羟基磷灰石及可吸收的磷酸钙材料。

本文拟对涂层材料稍加介绍。其制备方法是以上述三类材料中的任何一

种为对象，一般以钛合金为基底，用等离子喷涂方法将它们在基底材料上形成一层结合牢固的涂层。这类涂层材料具有若干优点，首先可使具有生物相容性好的材料直接与生物体相接触；其次可以利用钛合金基底的强度与韧性；另外涂层材料含有许多微孔，又与被植入体周围的生物体相容，在动物中大量、长期试验证明，生物组织可以长入到微孔中，亲合性好，形成紧密的结合体。因此是比较理想的植入体。现已有肘关节、膝关节及髋关节产品，可供医生选用。在上海一地已有二百多病例。根据对植入髋关节病人的实例统计，在未植入前，有 $\frac{2}{3}$ 的病人在没有手杖时，就完全不能行走；而在植入后则有 90% 的病人借助手杖即可长距离行走，其中 $\frac{3}{4}$ 的病人可脱开手杖行走，效果相当明显。

以上谈了四点不求全面，但已看出高性能无机材料可具有多种优异的性能，因而获得了广泛的应用，并有着巨大的发展潜力和美好的前景。新材料和材料科学与工程本身就是高技术的重要组成部分；而且其他众多高技术领域的发展，都离不开新材料作为它们的基础与支撑。因此展望高性能无机材料的未来，将是一幅十分诱人的图画。

化学（物质）污染与可持续发展

徐晓白

中国科学院生态环境研究中心

徐晓白 女，环境化学、无机化学家。1927年5月生于江苏苏州。1948年上海交通大学毕业，现为中国科学院生态环境研究中心研究员、博士生导师，中国诱变剂学会理事，全国环境监测委员会委员。1995年当选为中国科学院院士。主要从事典型污染物的环境分析化学及污染化学研究。

一、概述

环境问题与国民经济可持续发展休戚相关。全球性十大环境问题：（1）大气污染；（2）臭氧层耗损；（3）全球变暖；（4）海洋污染；（5）淡水资源紧缺和污染；（6）土地退化和沙漠化；（7）森林锐减；（8）生物多样性减少；（9）环境公害；（10）有毒化学品和危险废物。其中至少有七个直接与化学物质污染有关（1, 2, 3, 4, 5, 9, 10, ）。

我们正生活在一个化学品充斥的世界里面，在过去的40年，全球化学品的种类与年产量均以指数关系急剧增长，到1993年已近4亿吨。现在大约每隔不到10年产量就翻一番，而人类普遍使用的化学品大约有8万种之多，它们对提高人类的生活水平起了（还正在继续起着）不可磨灭的作用，产生了巨大的效益。但遗憾的是它们之中不乏有毒有害的化学品，例如：汞、农药、氯乙烯、多氯联苯等。在化学品的生产、运输和使用过程中，曾发生过多起严重的污染事故，造成巨大的生命和财产损失。印度博帕尔的农药厂毒气（异氰酸甲脂）泄漏、俄罗斯切尔诺贝利核电站爆炸等，是这类事故的典型；而更为大量存在的是微量化学品的暴露和对人类生存环境和人体健康的潜在的污染影响。

在化学品的生产和使用过程中，有毒有害废物问题更为严重。据估计，国际合作与发展组织成员国每年产生的有害废物达3-8亿吨。发达国家走过“先污染，后治理”的弯路，化学品真正经过安全性评价的不足10%，因此大量化学品要重新评价。而传统上采用的填埋、地面堆存以及深井注入等处理废物的手段，已证明是有很大的问题的。仅美国就大约有数万个地下填埋场是不符合标准的，其中列入EPA重点名单的有近万个（1987年），而清理这些处理场大约需要230-1000亿美元。许多填埋场地成为重大的污染源，其造成的地下水污染和对公众健康的危害十分严重。因此，有毒有害废物的控制和安全处置已成为当今环境保护的焦点之一。这在21世纪议程和我国白皮书中都有详细的论述。就全球环境而言，除全球气候变暖、臭氧层耗竭、酸雨等已成为众目睽睽的焦点外，人类普遍关心的化学污染的热点为：化工产品的污染（塑料、农药、医药、造币、橡胶、钢铁、炼焦、有色金属采选、冶炼、皮革与皮毛、染料、基本化工原料、试剂）、大气污染、农业活动产生的污染（农药、肥料以外还有农业废物）、富营养化（磷、氮）、油污染及固废处理（城市垃圾及有毒有害废物）。

二、我国环境情况

我国化学品的生产和使用呈迅速发展之势。生产品种已超过三万种。目前全国贮存的固体废弃物数十亿吨，占地达 5 亿多平方米（约 10% 的农田）。全国每年因固体废弃物污染所造成的损失约百亿元。随着经济的不断增长，预计到 2000 年全国固体废弃物产量将比 1990 年翻一番，工业固体废弃物的产量将达到 10 亿吨（其中约 10% 有害）。

水污染方面，按近几年环境年报介绍，我国在环保方面已颁布了不少控制法令或条例，各有关方面都有所改进。在国民经济年增长近于或大于 10% 的迅猛发展形势下，废气、废水总排放量等基本上能稳定在一个水平上（北京的烟囱基本上能不冒黑烟），这也是不易做到的。但是应指出的是，在水环境方面除了湖泊减少、地下水位下降，不少的地区缺水或饮水困难外，工业污染继续加剧，110 条重点河流污染日趋严重，部分地区废水逆流影响水产养殖及沿岸渔业，有的河段两岸居民疾病频发。

70 年代，华北地区某化工厂无控排放农药生产废水，一次就造成数万亩小麦颗粒不收，引起农民要求关闭工厂，后查明系中间产物三氯乙醛造成，之后在南方又发生多起有关事故，进一步查明其在田间的降解产物三氯乙酸危害更大。此外，调查还表明，农药污染造成的死亡人数大大超过交通事故。

最近淮河流域的问题已达到不能不解决的程度。还需要强调的是最近十几年来对排水或水系中的汞、镉、砷、铬等重金属污染、氰化物和个别有机污染物如苯酚、DDT、六六六等加强了控制管理，所以局部地区环境有所改善，但对其他潜在的毒物（大多隐匿在年 620-700 万吨 COD 值中）放任自流，以致有的地区已明显影响养殖业的发展，有的地方严重污染饮用水源，导致居民许多疾病发生。国外在 70 年代中就已开始对水中百余种有机污染物加以控制，而我国酝酿已久的数十种优先监测污染物黑名单（其中不少是致癌、致畸、致变三致物质），由于种种原因，至今尚未正式作为排控对象。

三、大气污染方面

目前除对酸沉降 pH 值比较注意外，重点关注的是颗粒物（工业烟尘、粉尘）与二氧化硫。我国现行标准值高于 WHO 的标准。即便如此，不少城市大气仍不能达到国家二级标准；另外要指出的是在大气污染中，我们对于不少三致物质也未予足够的重视，例如对多环芳烃等，其代表物苯并（a）芘（俗称：3,4-苯并芘）是明确的致癌物。根据一些研究结果表明，我国不少城市（尤其是北方城市冬季取暖期间）大气中苯并（a）芘的含量仍很高。联系到近几年环境公报披露我国城市人口死亡率中癌症已占首位，农村人口癌症的死亡率也逐渐上升至第二位，不能不引起我们的深思。虽然癌症的病因复杂，其中不乏与家族因素、遗传因子等有关，但一般公认环境因素是极为重要的。

大气污染在相当程度上与能源消耗及能源结构密切相关。一般说来，就产生的单位能量而言，煤的污染最为严重。我国燃煤约占能源结构的 3/4，而且在相当长的时间内不可能改变，因此燃煤引起的污染、健康及生态影响

COD 值（化学耗氧量）：水体中能被氧化的物质，在规定条件下进行氧化过程中所消耗氧化剂的量，以每升水体消耗氧的毫克数表示（相当于 ppm 级），一般主要反映水体受有机物污染总的程度。

也是可持续发展中重要制约因素。

工农业和城市发展后机动车增加引起的污染（包括 CO，NO_x 及碳氢化合物 HCs 以及由之而引起的光化学烟雾，以及三致物质等）同样也是不能忽视的。

四、乡镇企业问题

在国民经济中近年来占显著地位、发展迅猛的我国乡镇企业方面，由于对环保重视不够，污染呈加重的趋势。据有关部门测算，全国乡镇工业废水排放量、工业固废产生量均达到全国的六分之一左右，工业粉尘排放量几为全国的 50%，与 1989 年相比其增长率为 23-65%。

兹举某地经营拆卸电器的乡镇企业为例，其中有一部分为以多氯联苯为介电质的国产电力电容器，其经济目的主要为利用其中废钢材、铜材及废铝箔，有的制作玻璃台架或用以回收、甚至可能用于糖果包装，而在拆卸过程中，不少介质油流失在周围场地。据估计，自 1985 年开始被拆卸的电容器已有 2-3 千台（每台约有数公斤多氯联苯）。报载，按照国际惯例，每损失 7 公斤多氯联苯液体，即为特大环境污染案件，该地如此剧毒品的特大案件，虽然经过多方努力，似乎取得了解决方案，并得到了一定的焚烧处理，但事实上不少多氯联苯的流失已造成了附近农田河流生物的持久性污染，我们前一阶段初步调查得到的结果是，堆放电容器的附近河流中仍有明显的多氯联苯污染（当地居民饮用水源），有的河道中鱼体内多氯联苯含量已超过某些国家安全食品标准（国内尚无有关指标），附近家禽蛋类中也含多氯联苯，实际上已构成对人体直接污染。

五、雌性化问题（国际研究热点）

上述多氯联苯是一类全球性的典型持久性污染，多氯联苯对动物的肝脏、免疫系统、神经系统、皮肤及生殖系统均可造成危害。它们共有 209 个异构体或同种物，毒性差别很大，且由于它们有时与剧毒二噁英化合物共存，而结构与毒性也有类似之处，所以常作为并行研究对象。美国最近耗时 3 年以上，耗资数千万重新研究了二噁英类的毒性影响，现正在讨论对策。其它研究也发现，这些污染物（还包括一些有机氯农药等，甚至某些日用品的降解物）通过食物链（或其它途径）进入生物体（包括人体）后，除可能导致癌症外，还能起到类似于雌激素的作用（因此被命名为环境类雌激素），其与性腺细胞雌激素受体分子结合，影响或甚至破坏内分泌系统。国外学者将其与野生动物、鸟、爬行动物等雄性生殖器变化，特别是性别变态、雌性化、繁殖能力降低等联系起来，有的科学家还联系人类生殖系统癌症的增加及男性退化，甚至做出似乎是危言耸听的预言，认为若干年后，某污染地区一半男子将没有生育能力，这不仅涉及人口素质，而且似乎危及人类生存。中科院生态环境研究中心多年来研究发现，某化工厂的废渣中含有较高二噁英类化合物杂质，其年产量相当可观，而多年应用于木材防腐及血吸虫病疫区灭钉螺施药的五氯酚钠中也含有相当高的二噁英类化合物杂质，它们进入环境从疫区人血中都检出有相当含量。我国某地区矿区最近公布的流行病学调查也有相类似事例，这都是非常值得重视的。

六、不能走“先污染，后治理”的老路

前些时 科学报报道我国学者访日见闻中曾较详细地介绍了 1956 年发生于日本九州水俣市（熊本县 1953 年就发现）的人间悲剧——水俣病，患者服用附近海鱼及海产品而得病。当时由于技术条件分析不出原因，故以地域命名，直到 1968 年才确认该病由于工厂向海洋排放富含甲基汞的废水（无机汞进入水体、沉积后也能被细菌转化为甲基汞），而甲基汞通过食物链富集，使当地渔民成为水俣病的受害者。甲基汞进入人体后主要损害神经系统，先出现头痛、疲乏、健忘、情绪异常等一般症状，随后出现感觉异常、语言障碍、运动失调、视野缩小、听力障碍等中毒症状。尤其严重的是甚至接触少量甲基汞，未出现中毒现象的妇女也可能通过胎盘影响胎儿大脑发育，进而导致流产、死产和婴儿患先天性痴呆或畸形，有的终生智力停留在两三岁水平，有的不能行走、不会讲话、失明，长大后生活仍不能自理，有的患者 30 多年来病情还会发展（例如由尚能步行发展为瘫痪）。日本政府对确认的水俣病患者（也有不少死亡者）曾给予赔偿。单熊本、新泻两个县就有 2946 人（每人 2400 万日元），1995 年还对受害较轻的又进行了最后一次赔偿（每人 260 万元），总计直接经济损失已大于 2000 亿日元（相当于 170 亿人民币）。由此一例也可见，无控排入污染环境的代价是沉重的。

发达国家经历了“先污染，后治理”的弯路，第二次世界大战后的工业发展是在人们没有认识到环境问题的情况下进行的。人们对进入环境的绝大部分化学物质（特别是有毒有害物质）及其环境行为（光解、水解、微生物降解、甲基化、吸附、淋溶、挥发、生物富集等）及可能产生的危害，知之甚微或迄今尚无所知，以致相当长一段时期以来流传一种错误的传统观念，认为“经济和环境只有一种选择”，因此污染上升，灾难性后果严重事故不断增加，而数以千计的危废废弃物堆放点引起的严重后果又是新发现的一类严重问题。“污染影响的广泛性、积累性、持久性，其程度远超过认识水平”，以致污染问题已构成经济持续发展的一个制约因素。1987 年世界环境与发展委员会出版的《我们共同的未来》一书中提出“将环境保护与可持续发展统一起来”的新概念和战略认识。中共中央十四届五中全会也提出“必须把可持续发展作为一个重大战略”，“使经济建设与资源相协调，实现良性循环”。我们必须吸取发达国家的经验教训，避免付出先污染后治理的昂贵代价。以处理城市及工业废物为例，要清理过去的错误措施所费的代价要比实行正确的措施昂贵得多（例如在美国清理费用大概要高 10-100 倍，拉芙运河就是突出的例子），何况有的损失还根本无法补偿。

江泽民同志在第四次全国环保会讲话中指出“环境意识和环境质量如何，是衡量一个国家和民族的文明程度的一个重要标志”，以国家、民族乃至全球全局长远利益为基点，不贪图眼前的局部利益、不危害他人、不危害子孙后代，保护环境，持续发展，这实际是精神文明和物质文明的统一。以这种新的指导思想为前提，我们除了要密切注意发达国家的有关动态及研究进展，引以为鉴或洋为中用外，不能让发达国家以任何方式将污染危害转嫁给我们，不能让中国成为洋垃圾、禁用品的倾销地。最近有人在报上指出国内外资企业中污染密集型的已由 1991 年的 29% 上升到 1995 年的 39%，而有的地区竟高达 47%，这是需要各方面重视的。我们应建立自己的研究体系，

促进有关控制法令管理体系的建立和健全、以及正确实施，并建立环境保护人人有责的思想和新风尚，吸取和发展各种现代化科技知识，减少污染，为可持续发展做出贡献。

生命科学与结构分析

唐有祺

北京大学化学系

唐有祺 物理化学家。1929年7月11日出生于上海。1942年毕业于同济大学化学系。1946年去美国加州理工学院深造，1950年获该校博士学位。历任清华大学，北京大学副教授、教授，物理化学研究所所长，国家教委科学技术委员会副主任、主任，国务院学位委员会化学学科评议组组长，中国化学会常务理事、理事长，全国政协常务委员等。1980年当选为中国科学院院士（学部委员）。长期从事晶体结构分析研究，取得多项重要成果。

学部通过联合办公室向我征求意见，要我有机会时讲一讲这个题目。我认为生命科学发展到了分子水平，而且正方兴未艾，如能让更多的人了解一下这个发展与结构分析，实际上也是与化学的渊源关系，一定是很有意义的。

一、生物化学的崛起

生命一直是带有浓厚的神秘色彩的课题。谁都说不清楚它的全部奥秘。一些方面有点清楚了，其他方面又出现了新的问题，真是无尽的知识长河呀！其实有哪个重大而深远的课题不是这样的。只是生命这个课题，除了突出的科学意义之外，对社会的关系也特别重大，再加它奥妙无穷，难怪神秘色彩应运而生，而且层出不穷了。

生命科学应该是从现象到本质研究生命的学科。它的核心是生物学，包括农学和医学等与生命活动密切相关的学科。生物学在19世纪后半期中接连出现了C.R.达尔文的进化论（1859）、G.H.孟德尔1865年发现后又被H.M.德符里斯等1900年从新发现的遗传定律和R.C.魏尔啸的细胞学说（1860）等突破性的重大发现，他们抓住了生命及其有关现象中最有特征意义的事物，从而为生物学的学科框架奠定了基础。生物学要在此基础上进一步发展，特别是要更多地揭示生命的共性和本质，极大地消除其神秘色彩以及解决农业和医药方面的问题，就必须从化学方面来研究生命和生物体，并将认识的层次从细胞深入到分子。正好化学从19世纪初起创立了原子-分子学说，经过半个多世纪的实践，学科水平发展很快，已能在分析和合成以及研究分子的结构等方面相当得心应手，足以担当这个方面的研究任务。这样就开辟了生物化学研究方向，并逐渐形成了生物化学学科。

一个多世纪以来，生物化学用了前半个世纪明确了很多关于生命和生物体的重大问题。它几乎把当时化学的全部招数都用上了。首先要提到的是关于蛋白质化学本质的认识。它们都是由多种L型-氨基酸缩合而成的多肽（E.费希尔，1907），而且进入蛋白质分子的L型-氨基酸共有20种。同时只知其然地掌握了多种蛋白质的功能。其中有一大类是酶。生物体内进行的生命过程都靠酶来催化和定向。还有几类对生命活动很重要的蛋白质如激素、抗体以及作为氧分子载体的血红和肌红蛋白等。

生物遗传功能的载体也受到极大的关注。孟德尔遗传定律重新发现后将原来的遗传因子改称基因，认为基因寓于染色体中，并深入联系果蝇等生物

的形貌与染色体各个部分的关系，促成了遗传学的奠立和发展。作为基因载体的染色体实际上是去氧核糖核酸（DNA）分子，而不是蛋白分子。但这一点直到 1944 年才被 O.T. 艾弗里所确证。

化学曾多次宁可接受环形分子，而对长链分子感到陌生，从而造成失误。这样的失误在天然和合成高分子的工作中都出现过。H. 施陶丁格尔曾对此有所澄清（1926），但并未能对核酸问题起到作用。到了 30 年代蛋白质已经确认为多肽链分子了，但 DNA 仍然被设想为四聚环形分子。

1944 年 A.J.P. 马丁和 R.L.M. 辛格发展出滤纸色层分析技术，使分离蛋白质的 20 种氨基酸和核酸的 4 种核苷体成为可能，从而使蛋白质和核酸组成的定量分析工作前进了一大步。E. 夏尔加夫用了这种技术得出酸中胸腺嘧啶（A）与腺嘌呤（T）和胞嘧啶（C）与鸟嘌呤（G）的等分子数关系。这个结果后来成为 J.D. 沃森和 F.H.C. 克里克 DNA 双螺旋模型的重要依据。这种分析技术也使测定蛋白质中氨基酸定量组成成为可能，从而得以进一步测定其中氨基酸的顺序或蛋白质分子的一级结构（F. 桑格，1953）。

归纳起来，生物化学研究了动物、植物以及微生物等各种生命形态的化学特征，发现了形形色色的生物具有令人惊异的共性：它们含有相仿的化合物，具有相仿的组成，并由类似化合物执行相仿的功能。生物体的基本单位是细胞。构成生命的不同形态的细胞具有相仿的设计：细胞膜由磷脂分子双层形成，遗传信息的载体是 DNA 和 RNA（核糖核酸）分子，为生命执行各种使命的是蛋白质分子，还含有糖、类脂、氨基酸、核苷体以及它们的代谢物等等。水对于生命是不可缺少的。细胞中水的含量约为 70%，按分子数计算，高达 99%，细胞还含有少量无机盐类。

二、分子生物学的前夜

本世纪 40 年代是处在生物学带动生命科学进入分子水平的前夜。当时科学界有几个与此有关值得重视的情况和动向。

（一）

生物化学的研究已经带动生命科学走向分子水平，而当务之急是对蛋白质和核酸这两种生物大分子的立体结构或所谓高级结构进行分析，取得突破，使关于生命过程以及生物大分子的功能的认识从知其然向也知其所以然发展，从而来推动生命科学进入分子水平，并使分子生物学得以确立。

这里不言而喻：直接决定一般物质性能的不是分子的化学组成，而是其结构，即原子在空间结合成分子的方式；生物大分子的功能也是直接在其立体结构或高级结构的基础上发挥出来的，从而化学组成以及一级结构并不直接决定其功能。

分子水平也确实给予了生命科学不可限量的活力和前景。生命的本质问题，到了原子-分子水平，当能从化学和物理的规律中迎刃而解。在沃森等所著《基因的分子生物学》书中曾有一个章节阐述“细胞遵循化学定律”。确切的结构知识，能让我们看到，蛋白质分子在执行其在生命活动中的任务时，几乎是万无一失的，俨然如一架分子机器。对生命过程的深入理解带来了高技术如：基因工程、蛋白工程以及 PCR 等，它们都具有令人瞩目的应用前景。生命的神秘色彩几乎消失殆尽。生命当今已与化学过程认同。

（二）

X 射线晶体学和结构化学到了 40 年代，水平已经发展到足以对付生物大分子的结构分析问题了。这里先从晶体结构分析谈起。

19 世纪后期，有机化学已经发展到立体化学的水平，并为有机分子提供了确定结构的方法，曾在有机化学的发展上起过重大作用。但化学之能全面发展到今天这样的水平，饮水思源，当归功于上个世纪末 W.K. 伦琴发现 X 射线（1895）和 M.F. 劳厄发现了晶体对 X 射线的衍射（1912）。1913 年 W.H. 和 W.L. 布喇格父子测定了氯化钠和金刚石等的晶体结构。从此以后，X 射线晶体结构分析成为测定晶体和分子结构的主要方法。比起立体化学或其他任何方法，它具有无可比拟的优势。

这个方法利用了晶体中原子或分子在空间分布中具有三维周期性，而且周期很短。一般说，晶体结构是三维点阵结构，点阵点所代表的一个单位，称为单胞。不难推算，晶体例如金刚石中相邻原子间的距离当以 $1/10\text{nm}$ 或 \AA 这样的单位来计算。伦琴发现的 X 射线的波长也是以 \AA 计的。当 X 射线入射晶体时，其中所含原子中的全部电子就会跟着电磁波的电场振动，成为次生 X 射线的波源，并继承入射波的波长和周相，从而产生衍射。晶体以 \AA 计的周期能使次生 X 射线只在一系列由晶体的周期决定的方向上周相一致而互相加强，形成衍射线。各个衍射线按其方向和强度收集在衍射图上成为位置和黑度确定的一系列衍射点，总称衍射谱。衍射点的位置可以给出晶体中原子分布的周期性或单胞的形状和大小，而它们的强度是由晶体中各个原子的位置决定的。换言之，如各个原子的种类和在单胞中的位置已知，亦即晶体结构已知，推算各个衍射点的强度倒并不困难，但从强度倒推结构还欠缺各衍射线的周相角数据。由于 X 射线在各种介质中的折光率几乎没有变化，极接近于 1，从而不可能找到能使衍射线直接聚合成像的透镜材料，而衍射波录下的只是衍射线的方向和强度，已经失掉了它们的周相角数据，为结构分析工作产生了一个周相问题，如不克服，也难于利用数学方法合成成像。

对于结构比较简单或单胞中原子数较小的晶体来说，周相问题可以用试差法，即根据某些线索提出试用结构，并不断根据衍射强度数据来检验和修正试用结构的办法用以克服周相问题。其实，衍射强度谱也隐含着某种周相关系（J. 卡勒和 H. 霍普特曼，1950）。现在小分子晶体结构都应用基于这个原理的直接法来求解了。1953 年 M.F. 佩鲁茨发现，将重原子引入蛋白晶体制成两种或更多同晶型置换晶体就可以解决周相问题，从而在蛋白质晶体结构分析工作中出现了可喜的突破。他和 J.C. 肯德鲁在 1960 年完成了肌红和血红蛋白晶体结构分析工作，人们得以首次看到蛋白质分子的结构图像。

（三）

结构和结构分析一直是化学学科发展中最为活跃的基本因素之一。晶体结构分析从氯化钠、金刚石等简单结构开始，设备不断改进，克服周相问题的办法层出不穷。到了 20 年代末，比较复杂的硅酸盐的结构分析已经成功，理顺了硅酸盐的组成与性能之间的关系，并经 L.C. 鲍林在 1928 年总结出离子晶体以电价规则为代表的五个规则，对于矿物学和无机合成化学的发展起到了重大的推动作用。

在 30 年代，鲍林将化学键本质的基础研究转向独树一帜的化学生物学领

域，1932 年就根据共振论提出了多肽中肽键 C-N 当具有双键成分，继而从多年积累起来的氨基酸和小肽的晶体结构数据中总结出伸展的多肽在肽键周围的标准键长数据以及氢键的成键条件和结构特征，并根据多肽链折叠后的长度约为伸展时的一半，考虑了折叠后的结构问题，最后得出了 α -螺旋模型（1950）。不久， α -螺旋在 X 射线纤维图上证实（M.F.佩鲁茨，1951），后来又在佩鲁茨和肯德鲁的两种红蛋白结构中找到它的含量高达 75%。鲍林还提出了第二种二级结构，称为 β -折叠片（1951），也在后来测定的蛋白质结构中得到确证。

从化学学科的发展来看，结构分析不该为结构而结构，而是为了总结关于结构的规律并联系其性能，最后把关于结构以及结构与性能联系的规律，反馈到化学中去，使学科水平有所提高，并为结构分析提供更高的新起点。

在生命科学进入分子水平的前夜，鲍林在化学生物学领域中有很多重要贡献，例如在关于抗体结构（1940）和酶催化原理（1948）的工作中都一再强调结构互补原理。他对氢键在生命过程中的重要作用也始终是体验最深的先知者。

三、生物大分子结构分析的先驱工作

直接将生命科学引入分子水平的结构分析工作是完成于 1951-1967 年间的下列五项工作：

1. 蛋白质 α -螺旋模型（L.C.鲍林和 R.科雷，1951）
2. DNA 双螺旋模型（J.D.沃森和 F.H.C.克里克，1953）
3. 肌红和血红蛋白晶体结构（M.F.佩鲁茨和 J.C.肯德鲁，1960）
4. 溶菌酶晶体结构（D.菲利普斯，1965）
5. 羧肽酶 A 晶体结构（W.N.李普斯科姆，1967）

鲍林考虑纤维蛋白既在折叠的过程中缩短一半，设想它是通过分子内氢键形成了一个螺旋体，并依据肽键周围的共面性以及形成氢键的几何条件等制约因素，最后得出了一个每周含有 3.7 个残基的 α -螺旋。

沃森是个年轻的生物化学博士，有志于研究 DNA 携带遗传信息的机制。当他知道鲍林运用基于结构化学原理的模型法已经成功地得出了 α -螺旋模型时，认为研究 DNA 结构的时机已经成熟。他与克里克合作进行研究，终于取得了成功。这个工作还得力于两个重要信息。R.富兰克林在 M.威尔金斯实验室中取得了 DNA 的 X 射线纤维图，并从中得知 DNA 是双螺旋体，而且磷酸根位于螺旋的外侧。此外，夏尔加夫早已得出四种有机碱中 A 与 T 和 C 与 G 的等分子关系。DNA 双螺旋模型最重要的特征是有机碱 A 只能与 T，C 只能与 G 通过氢键在双螺旋内侧形成结构互补成对的共面碱基，这对生物的遗传机制作出了最有力的启示，并对生命科学的发展提供了无限的活力和前景。

两个红蛋白和两个酶的晶体结构都是根据佩鲁茨发展的重原子同晶置换法求解得出的，难度和工作量都很大。这些结果都极大地加深了对生命过程的理解，相当确切地掌握了这些具有特殊功能的蛋白质在生命活动中作为分子机器的工作情况。

DNA 双螺旋模型提出后不久，克里克又提出所谓中心法则，设想一种 DNA 表达基因的机制。一般来说，DNA 先下达信息来合成 RNA，然后让 RNA 再去合成一个酶或是其它蛋白质分子的指令。这个两步构成的过程简称基因表达。

人们的认识循此发展下去，生命蓝图的轮廓已可昭然若揭。生命科学首先是从这里在认识上得到了突破，分子遗传学、基因工程和蛋白质工程等新学科和新技术就相继应运而生了。

解出的两种红蛋白结构正好说明：生物大分子在为生命执行其特殊功能时，俨然是一架精心设计的灵巧的机器。

肌红蛋白为 153 肽，结构系由占有 121 肽的 8 段 α -螺旋组成。分子的活性部位是称为血红素的含铁辅基，二价的 Fe(II) 坐在辅基中央，与四个 N 原子配位。在它的 6 个配位中，第 5 个配位与肌红蛋白中的第 93 位上称为近侧组氨酸残基的 N 原子结合，而第 6 个配位是为氧分子准备的，在其附近有第 64 位称为远侧残基的组氨酸影响着进入第 6 个配位的分子。远侧组氨酸残基的作用在于使 CO 相对于氧在第 6 个配位上结合的优势降到 1% 以下。这里顺便说一下，64 和 93 位在多肽链上隔得很远，但在高级结构中却会合在一起。这说明高级结构信息的重要性，而一级结构并不能直接说明功能问题。

在生物演化过程中，生命立足于从无氧到有氧的过渡是十分重要的。葡萄糖在这两种不同条件下释放的能量要上升到 8 倍。脊椎动物发展出红蛋白分子来载氧，以克服氧在水中难溶所引起的传质问题。另外，为了不使血液变成难于流动的浓溶液，还将血红蛋白放在饼形红血球中输送。血红蛋白还兼管 CO₂ 和 H⁺ 的输送。肌红蛋白储备在肌肉中，以利在肌肉中供氧。血红蛋白要从肺泡中取氧，然后输送给肌红蛋白和其它需氧的细胞或部位。

血红蛋白是四个与肌红蛋白相仿的分子作为亚基组成的。四个亚基之间是由盐桥等连成一个整体。肌红和血红蛋白之间不同的作用可以通过它们双曲线和 S 形的释氧曲线来反映。释氧曲线为以饱和度 Y 和氧分压 pO₂ 作为纵坐标和横坐标描出的曲线。肌红蛋白的双曲线形曲线指明，肌红蛋白即使在相当低的 pO₂ 下仍维持很高的饱和度，直到 pO₂ 足够小时才能释氧。这种释氧特性是与肌红蛋白的作用相称的。而血红蛋白的释氧特性是：在很大的 pO₂ 范围内，S 形曲线使得饱和度在不同的 pO₂ 下可有较大差值。这种特性和 S 形曲线都启示，提高血红蛋白输氧效率的是血红蛋白分子的 4 个亚基间的协同效应。这种协同效应的结构基础在于血红蛋白是由 4 个亚基组成，而且它们在氧合或脱氧过程中可以通过构象变化来互通信息，其结果是：若对第一分子开了路，随后的分子就会比较顺利。

如果联系晶体结构分析中得出的分子结构，前面提到的两种酶的分子也同样会形象地显示分子机器的特点。

溶菌酶是一个 129 肽，通过 4 个二硫桥形成一个蛋形分子。球蛋白分子中一般都是疏水性残基向内，而亲水性者都在分子表面上。分子既有 α -螺旋，也有 β -折叠片。分子有一条沟形的活性部位，可以接受合适的底物。溶菌酶可在这个活性部位中将 N-乙酰葡萄糖胺-1,4 多糖形成的细菌壁通过切断 C-O 键来瓦解多糖分子，从而来溶解细菌。

羧肽酶 A 是一个从羧端切断肽键割下最后一个残基的酶。蛋白分子的氨基端和羧基端分别为它的头和尾。若蛋白质或多肽的最后一个残基含有芳香侧链时，就特别容易切割下来。这个酶分子是具有一个二硫桥的 307 肽，并含有一个 Zn 原子。它是一个 $52 \times 44 \times 40 \text{ \AA}$ 的近似球形的分子。Zn 原子坐在分子表面上一个低陷处，为活性部位所在之处。当多肽作为底物进入这个活性

部位时，羧端的芳香性侧链正好可以被套进酶分子结构中内在的疏水包内，然后可以看到底物的羧端残基的羧基以及两个相邻残基之间的肽键 N-C 被酶分子的 145 位精氨酸残基以及 248 位的酪氨酸、270 位的谷氨酸等残基和 Zn 原子所牵缚，从而使肽键削弱，以便让一个 H₂O 分子为之水解。这个酶的作用很像一个屠宰牲口的生产线，先将牲口的头和脚等捆住，然后在它头颈上切割一刀。

四、展望

进入分子水平以来，生命科学在最近 30 年中发展迅速；水平提高了，登高望远，因而认为 21 世纪是生物学世纪等等的说法就会甚嚣尘上。生命科学中很多分支学科都已成为分子学科。作为一个传统的分子学科，化学仍将大力参与生命科学的发展，并发挥重要作用。这也是为了化学本身发展的需要。我国在这个方面还需加强力度。

近年来，蛋白质、核酸以及它们之间的相互作用也从结构方面多所阐述。在生命活动中，分子识别作为一个因素，正如结构互补以及糖作为一类生物大分子，正如蛋白质和核酸，都已受到极大的关注。由于单糖之间的结合方式多样，糖是容量极大的信息载体。

在生物大分子的结构分析方面，核磁共振方法经过发展后，其作用也已有所发挥。蛋白质晶体结构分析的数据已有相当充分的积累，结构预测和分子设计的前景也不可等闲视之。计算机和同步辐射的技术因素都已在结构的分析和预测以及结构变化的追踪中发挥越来越大的作用。

有朝一日，如果波长为 1 Å 的激光器研制成功，包括生物大分子在内的细胞构件都将成为具有原子分辨率的全息照相的对象。届时，生命科学当可进入一个更高一级的分子水平了。

现代农业和农业科技产业

石元春

中国农业大学

石元春 土壤学家。1931年2月18日生于湖北武汉。1956年毕业于北京农业大学。现任中国农业大学教授，八届全国政协委员、中国科协副主席、中国农学会副理事长、国家教委科技委员会副主任。曾任北京农业大学校长。1991年当选为中国科学院院士(学部委员)，1994年当选为中国工程院院士。长期从事土壤地理、盐渍土发生和改良研究工作。

一、回顾和前瞻

从本世纪初到1950年，世界粮食亩产由62公斤提高到67公斤，平均年增长0.1公斤，粮食总产的增加主要依靠扩大耕地面积，农业尚处在低生产率、低发展速度和低科技水平的资源农业时期。1950年到1980年，世界粮食单产由67公斤提高到153公斤，平均年增长2.8公斤，是前半世纪的28倍。我国粮食亩产也由78公斤增长到252公斤，年均增长5.8公斤，比世界年均增长量高出一倍。帕维里斯在总结这一时期农业高速发展时提出，科技对提高土地生产率的贡献率为81%，对提高劳动生产率上的贡献率是73%。对这时期农业增产作出贡献的主要技术是：良种、化学物质（化肥和农药）和灌溉，所占份额分别为3、4和2。这不得不使人们想到，上世纪后半叶，达尔文杂种优势理论和摩尔遗传学理论及其推动下的现代育种方法和种子产业、德国化学家李比希的植物矿质营养学说及其推动下蓬勃发展的化肥工业以及本世纪30年代缪勒开创的有机合成农药及农药工业。

科学和理论上的突破，必将开拓出一片新的技术领域和产业，带来一次新的生产上的飞跃。马克思将达尔文学说作为19世纪的三大发现之一；认为李比希的新农业化学“比所有经济学家加起来还重要”；把科学看成是“历史的有力杠杆”和“最高意义上的革命力量”。邓小平同志说，“马克思说过，科技是生产力，事实证明，这话讲得很对，依我看，科技是第一生产力”。一个世纪来的农业和农业科技发展的历史证明了这个真理

遗传育种理论、植物矿质营养学说和农药的有机化合成，经过半个多世纪才发展为比较完善的良种、化肥和农药的技术系统和产业体系，成为推动农业生产发展的强大力量。到本世纪的后半叶，这个进程大大地缩短了。50年代以来，一些重大的科学发现和技术突破，掀起了阵阵的新技术革命浪潮。1953年发现遗传物质——脱氧核糖核酸的双螺旋结构和1973年DNA重组技术的诞生，使生物科技和以生物为生产和研究对象的农业科技进入了一个崭新的时代。进入80年代，细胞工程、基因工程、发酵工程和酶工程等生物技术开始在农业上应用和取得可喜进展，展现了诱人前景。50年代发展起来的计算机和信息技术，60年代开始崭露头角，80年代大发展，90年代形成高潮，对包括农业和农业科技在内的各个学科和各种传统产业的改造产生着越来越广泛和深刻的影响。新材料与新能源、航空与航天以及自控等现代技术也加速在农业上的应用。在以生物科技和信息技术为主体的新技术革命浪潮

的冲击下，农业和农业科技将进入一个新的，更高的发展时期。这个新时期的序幕已经拉开。

二、现代农业

现代农业是在三个要素驱动下逐渐形成的。一是如上所述的新技术革命浪潮的冲击；二是随着现代技术的大量注入，人口压力和土地开发强度骤增而带来资源和环境的严重破坏和引起人们的极大忧虑，农业可持续发展的观念和相应的技术体系开始受到重视和逐渐成为现代农业的重要内容和特征；三是社会需求不仅是满足数量上的日益增长的需要，而且追求质量上乘、品种多样、营养保健、绿色安全。

现代农业的特征和走势可概述如下。

第一、强大的技术支撑和驱动。生物技术与常规育种技术的结合，开始和将在全新的基础上培育出过去和现在难以达到的高产、优质和高抗的动植物新品种，“超级稻”、“超级猪”、“抗虫棉”、“抗腐烂番茄”等将不断出现；新型生物性农兽药、动植物营养物质和调节生长发育物质等将取得更好的效果和不断扩大对化学物质的替代。肥料向复合、专用和缓释、长效；灌溉向精细节水和微灌方向发展。计算机和信息技术使经验性和分散性的农业技术趋于定量化、规范化和集成化；信息网络将克服农业分散性和区域性强的弱点而使信息资源得到有效利用。新材料、先进制造和自控技术将使农业机械和设施达到前所未有的水平。航空和航天遥感技术将有效地为资源环境监测保护和减灾提供有力支持。现代技术加速对农业的全面武装和不断提高技术含量和装备水平是现代农业的重要特征和必然趋势。

第二、生产领域的拓展。传统农业是以植物性和动物性产品为其生产对象的。在先进技术和市场意识的支持和驱动下，现代农业由动植物产品向微生物产品；由陆地农业向海洋农业；由初级生物性产品向食品、生物化工、医药、能源产品等方向拓展，传统的工农业界线渐趋模糊。单细胞蛋白、生物农药和肥料等的微生物发酵产品的生产、海洋农牧场、生物能源、生物反应器生产多肽药物以及农产品加工业等开始崭露头角，引起了人们的很大兴趣和关注。

第三、高生产率和高效益。发达国家农业从业人口仅占从业总人口的 5% 以下。法美农民人均产粮分别为 45 吨和 110 吨，产肉 56 吨和 101 吨，一个美国农民可供养 80 个人。近 30 年，美国农业投入的产出率指数由 72 上升到 135，1990 年的投入产出比为 1 : 1.55。仅有 1500 万人口和人均耕地 0.66 公顷的荷兰，农产品出口总值仅次于美国，居世界第二位；从 1985 年到 1990 年，人均净创汇由 1.8 万美元上升到 5.7 万美元，而美国同期仅由 2310 美元上升到 6301 美元。农业生产条件很差的以色列 1991 年出口创汇 6 亿美元，占出口总额的 5.6%。在当代市场竞争日趋激烈的形势下，现代农业的高生产率和高效益越来越引起企业家们的兴趣。

第四、生产组织的规模化、管理的企业化和生产的专业/区域化。以农户和家庭农场为基本生产单位的规模在逐渐扩大。40 年来，美国的家庭农场由 650 万个集中成 260 万个，场均耕地面积由 60 多公顷扩大到 170 公顷。这个发展趋势仍在加速进行。农户、家庭农场及其相应的组织机构向着企业化管理，生产向着专业化和区域化的方向发展，可以大大降低成本和提高产品的

市场竞争能力。

第五、农业的可持续发展。农业的可持续性原则是为保持人与自然的协调发展，保持人的需求与生态环境良性循环的一致性。其主要内容，一是保证区域性水、土、林等资源的科学和综合的开发利用，在满足社会发展需求的同时，改善资源状况，保持生态环境的良性循环；二是寻求最佳的物质/能源投入产出模式和资源利用模式；三是减少和防止对环境和生态的污染和破坏。

三、我国农业的现代化

新中国建立以来，我国粮食保持着 7% 的年增长速度，是世界平均年增长率的一倍；以世界耕地的 7% 生产了 24% 的粮食，养活了 22% 的人口，这是举世公认的伟大成就。但是，我国人口多，农业底子薄，与现代农业的差距甚远。我国农业的从业人口占总从业人口的 56%，是发达国家的十多倍；基层生产组织的规模是美国的 1/300，法国的 1/60；人均产粮产肉只是美国的 1/100，法国的 1/50。

实现我国农业的现代化是一个十分艰巨的任务和漫长的过程。其核心和具有实质性意义的问题，是如何增强农业的自我发展能力和科技的支持力度。

我国农业的自我发展能力很差。其内部条件是生产规模小、生产者和基层管理人员素质低以及缺乏有力的组织形式和扩大再生产的能力。

外部环境也很不利，如农业投入少，工农业剪刀差和农业生产资料价格居高不下以及农业的比较效益低和农民负担重等。改善农业自我发展能力的外部条件具有重要意义，党和政府已经和正在作出这方面的努力。内部条件中具有关键意义的是生产规模和组织形式的改进，一直是关注的焦点之一。

农业的基本生产组织形式是个实际问题，也是个理论问题，只有符合客观经济规律和国情农情的基本生产组织形式才会充满活力和最大限度地调动生产者的积极性。对此，我国曾经历了一段曲折坎坷的道路。50 年代初的土地改革，以后的合作化运动和随之而来的三级所有队为基础的人民公社，直到十一届三中全会确立的家庭联产承包责任制，才再次解放和迸发出中国农民的生产积极性。欧美日澳等农业发达国家也始终以农户或家庭农场为其基本生产组织。美国在讨论 21 世纪美国的农业基本生产组织时，更多的专家认为，家庭农场仍将是主要的形式。农业生产的自身特点，决定了劳动者与劳动对象和生产资料的不可分割性，即农民与土地的不可分割性。保持生产者与土地使用者的一致性至今仍是现代农业的基础。

随着社会和经济的发展，在激烈的市场竞争中，分散的农户和家庭农场暴露了他们的弱势和缺乏竞争能力。因而在生产和经济活动的实践中，产生了适应各国各地的农户间的经济组织，如日本、欧洲国家的“基层劳动者组合”、“跨行业专业组织”、“市场指导/协调组织”、“农业经济委员会”等，美国的家庭农场也有州和全国的“农场主联合会”。我国农户十分分散、生产规模很小、农民文化科学素质不高，都与社会主义市场经济的发展和现代化农业的建设极不相适应。80 年代后期，党中央提出了双层结构经营和适度生产规模，为之指出了发展的途径。

近年来，我国一直在探索适应我国国情农情的组织形式和扩大生产规

模，如合作制、股份合作制、集体农场（如北京顺义县）等。而广西的糖、云南的烟、山东的菜等，以公司加农户组成农工贸联合体可能是具有普遍意义的一种好形式。其实质是以市场为导向，以产品为龙头，以农户为基础，以公司或合作经济组织、科技协会、专业市场等能适应当地的多种形式，把分散的个体农户组织为农工贸一体化的联合组织。对此，我们可以称之为“农户+X”的农工贸一体化模式。这种形式多样的经济组织，可以扩大农业的资金来源；可以使农产品多次增值；可以增强应用科技的能力；可以引导农民进入市场和提高其竞争能力；可以大大提高农产品的经济效益和农业的自我发展能力；可以组织专业化和区域化的现代化农业的生产。这种形式多样的经济组织，可大可小，可密可松，可高可低，可集可散，在向社会主义市场经济体制转变过程中，具有很强的适应能力和应变能力。

四、农业科技产业

我国农业现代化的重点支柱是科技，关键是提高科技的贡献率，而“瓶颈”则说明科技成果转化率低。要实现农业增长方式的转变，其重要内容是提高科技成果的转化率和贡献率。

区域性和分散性的特点，决定了农业必须有一个强大的技术推广体系。研究院所和高校创造的技术成果，需要通过推广的环节，作区域性适应操作才能有效地转移到生产者手中，这是科技流向生产者的一条重要通道。在市场经济发达的国家，农业科技产业起着更加重要的作用。我们往往只注意到，美国农民只占从业人员总数的2%，而忽略了还有17%，近2000万人，以大大小小的公司形式为农户提供农业科技产品，支撑着仅占2%的农民。农业科技产业是美国现代农业的重要组成力量，是发达国家科技成果转化率达到70%以上的主要因素。如果将前者比作“地方部队”，后者可称得上最具战斗力的“野战军”。

目前世界上的化肥和农药品种繁多，针对性、质量和效率日佳。1960年到1990年的30年间，世界化肥生产量增长了4.5倍，农药销售额增长了28倍，世界粮食产量的40%，约8亿吨得益于化肥和农药。世界十大农药公司内部年科研经费达15亿美元以上，他们拥有强大的科技力量和先进的技术。美国先锋种子公司的杂交玉米种子占有美国市场的42%，世界玉米种植面积的22%种的是该公司的种子，1993年的销售额达10亿美元以上。泰国正大集团以种子业起步，已发展成为以养殖业为主体的强大农牧业产业，在我国投资额达170亿元，曾占有我国饲料业市场的30%以上。目前世界较大的生物技术公司300多家，生物农兽药、肥料、农田灌排、农业设施、农业信息、绿色环保等各类农业科技公司在发达国家已经相当普遍。这些公司集科技-生产-销售于一体，资金雄厚，产品技术先进，机制灵活，营销手段强大，市场反应快速，是一支充满活力的，科技成果转化的强大推动器。

我国自50年代开始，在全国建立了以种子站、土肥站、植保站、畜牧兽医站和农机站为主体的四级（国家、省、地、县）农业技术推广网，对促进我国农业技术推广和农业生产发展曾发挥了重要作用。在经济体制转换期间，四级农技推广网“线断，网破，人散”，而“社会化服务体系”尚在建设中。目前，建设思路尚不明朗，问题困难甚多，需要有个相当长的过程。此外，由于长期实行计划经济，我国的农业科技产业一直很不发达。也就是

说，目前，科技成果转化的两条主渠道都不通畅，“野战军”和“地方部队”都没有战斗力，要提高科技成果转化率和贡献率，谈何容易。当前，在向社会主义市场经济转变的过程中，及时和大力促进农业科技产业的发展，无疑是识时务，把握时代机遇的一项重大战略选择。遗憾的是，这支科技成果转化的强大的“野战军”的建设至今未能得到应有的重视。

农业是直接从事生物性生产的产业，农业科技产业是为农业产业提供科技产品服务的产业。也就是将先进的遗传育种、栽培饲养、培肥改土、施肥灌溉、植保兽医、农业机械和设施等技术，使之规范、集成、固化和形成产品，进入市场。当今，起着主导作用的传统农业科技产业是我国农业科技产业发展的重点。这些传统农业科技产业也在大力引入现代的高新技术，以不断提高产品的技术水平和竞争能力。近年来，以现代高新技术为主的农业高技术产业发展迅速，将成为推动现代农业发展的最具竞争力的一支新生力量。

农业高技术产业中，最活跃的是生物技术产品，植物基因工程育种，特别是抗性育种成为技术开发的战略重点。利用苏云金杆菌 Bt 毒蛋白基因和蛋白酶抑制剂基因获得的转基因植物已进入田间实验阶段；通过导入病毒外壳蛋白 CP 基因获得的抗病毒植株已有数十例。美国孟山都公司的抗虫棉已进入商业阶段；加州遗传公司的抗腐烂、耐储运、风味好的番茄，是美国政府批准的第一个可进入生产的转基因植物新品种。我国的抗虫棉已进入田间实验，抗虫玉米通过了鉴定。家畜胚胎工程技术取得突出进展，胚胎分割、核移植、性别控制、试管家畜等技术均已用于商业。美加英德等国家建立了牛胚胎移植公司，胚胎移植牛 30 多万头。这些技术在我国也已开始用于生产和进入商业化。转基因动物研究进展迅速，已得多例多代转基因羊、猪、兔等。超级猪、超级牛、动物生物反应器等是竞争的热点，吸引着许多的企业家，并将之称为“朝阳行业”。微生物发酵工程产品是另一个热点，AVERMECTINS、IVERMECTINS、MONENSIN、ZEAR-ALANOL 等生物农兽药、生长调节物质产品已广泛用于农业生产和取得了重大效益，并将扩大对化学物的取代程度和减少农业的环境污染。

我国是养猪（存栏数占世界的 50%）和喜食猪肉（占肉类的 75%）的大国，但出栏率、屠宰活重、死亡率和料肉比均低于世界平均水平。反而言之，在猪的生产上，我国具有很大的潜力。如能在加强常规育种和饲养基础上，采用上述的高技术产品，如常规育种与遗传标记选育结合、基因工程猪选育、重组猪生长激素、AVERMECTINS、基因工程疫苗、猪生物反应器等，我国猪的生产定将取得重大突破和带来巨大的社会效益。

在提高水肥利用效率方面，如高浓、长效、缓释、复混肥料产品和微灌、增温保墒剂、抑制蒸腾剂产品；在农业设施或农业环控方面，对温度、湿度、射线具有良好调控能力的新型材料、栽培/饲养过程的自控和半自控、设施条件下的特种作物畜禽品种等都可以形式农业高技术产业和产品。

农业信息产业对传统农业的现代化改造具有特殊的意义。发达国家的农业信息技术已进入实用化和商业化，我国尚处起步阶段。目前，网络建设发展很快，而农业信息服务和软件产品启动慢而艰难，农业信息产业的发展必将有效推动农业信息化进程。

全球性新技术革命和农业/农业科技进入了一个新的发展时期以及实现我国经济建设的两个战略转变，都为我国农业的发展提供了一个难得的历史

机遇。我们要对现代农业的特征和我国如何才能实现农业现代化；什么是适合我国国情农情的生产/经济组织和生产规模以及如何才能促进科技成果转化的问题上有个清醒的认识。如能在理论和认识，方针和政策，措施和资金上得到落实，我国农业是可以摆脱困境和取得重大进展的。

影像学综合诊断优选应用及其对心血管疾病的评价

刘玉清

中国医学科学院协和医科大学阜外医院

刘玉清 放射-医学影像专家。1923年3月14日出生。天津市宁河县人。1951年北京协和医学院研究生毕业。曾任中国医学科学院阜外医院副院长、心血管病研究所教授及副所长。现任中华医学会常务理事。1994年被选聘为中国工程院院士。是我国心血管放射影像学主要创建人。

一、影像学综合诊断优先应用概论

1895年X线的发现为X线诊断学、放射学的形成和发展奠定了基石。70年代初期以来CT的开发和应用,使医学成像进入了一个以电子计算机和体层成像相结合,以图像重建为基础的新阶段。其后超声体层成像,放射性核素体层成像,MR体层成像(MRI)以及数字减影血管造影(DSA)和CR(计算机X线摄影)等数字式成像逐步兴起。这些影像学新技术与传统的普通X线诊断包括各种X线造影技术共同构成了现代医学影像诊断学。

影像诊断新技术的应用,尤其以无创、少创技术大大丰富和提高了影像诊断的内容和水平,使诊断进程发生了革命性的变化。但普通X线诊断是影像诊断的基础。与此同时,近年来新的治疗方法不断涌现。概括地说内科、外科、放疗和介入等主要治疗及其配合运用,又对影像诊断提出了更高的要求,影像学应按各系统不同疾病或病变和同类疾病的不同病期提供全面,适宜的诊断信息,包括显示准确的解剖形态变化、功能、血流动态和代谢异常等,以及对负荷试验的反应、疗效的验证评价等,以满足临床和病人诊治的需要。

但一个时期以来,社会“流行”一种看法或倾向,不问病情如何,动辄要求“最新”的影像检查如MRI,超高速CT(如心血管病)等,认为新技术能诊“百病”,更有甚者同一病例要求做多种检查,认为只有这样才能得到更全面的诊断。甚至部分医务人员,由于对不断开发应用的某些影像新技术的效用和限度不甚了解,也时时提出,或按病人要求申请不够合理的或多种检查。实际上,这样做不仅常常是不必要的,而且还会对病人和国家增加额外的身心和经济负担。实践证明,迄今还没有哪一种影像技术,能提供上述的全面的诊断信息。因此,临床和影像学医师面临综合分析众多的影像技术(包括新技术和普通X线检查)的诊断性能,按病人诊治的实际需要从中优选出合理的检查技术,向病人提供优质的影像诊断服务,以最少的代价取得最大的诊治效益。

几年前我曾提出开展影像学综合诊断优选应用研究的意见,其后又专题论述了心脏大血管疾病的综合诊断优选应用问题。现在看来,对影像学的不同专业进一步开展这方面的研究,更有其重要性和现实意义。例如:

——颅脑和脊髓疾患,如急性脑血管疾患CT应为首选,而后颅凹和脊髓病变MRI具有独特的优越性。一般,CT可满足多数脑内病变诊断要求;

——腹部实质性脏器,如肝胆胰肿瘤等多种疾病CT为首选诊断技术,应

用螺旋型 CT 的体积扫描可提高诊断效率。MRI 密度分辨率高对某些情况可补充 CT 的不足。超声检查简便，易行为有效的筛选及诊断技术。肾脏情况也基本相似。

——胃肠道，如胃、食管癌的诊断等钡剂双对比造影仍为主要技术。CT、MRI 按病情需要可检测管壁增厚，淋巴肿大等有助于病期诊断分析；

——胸肺疾患，X 线平片仍为常规应用的有效技术。但 CT（必要时高分辨 CT）对肺间质病变，肺气肿和小结节灶等肺内微细结构的观察分析效果优良，对纵隔非血管与血管结构的鉴别 MRI 为首选而无需对比增强；

——心脏大血管疾患，（详见第二部分）。

——骨骼系统，对大多数骨创伤和病变 X 线平片仍为常用的有效技术。但 CT（必要时高分辨率 CT）有助于显示五官如颞骨的微细解剖结构。对关节病变的诊断如膝、肩关节的软骨、半月板损伤等 MRI 为首选诊断技术，对软组织疾患及骨肿瘤的软组织侵犯等 MRI 都具有优良的效用。

我国是一个发展中的大国，幅员辽阔，人口众多，各地区各单位的专业、学术水平的发展颇不平衡，设备条件也有相当的差异。根据 WHO 提出的“2000 年人人享有卫生保健”，我国政府已经承诺的这一全球性战略目标，这里当然包括向广大城乡居民提供有效而优质的影像学服务。以上举出的仅为几个例证但不难看出，影像新技术诊断效用将会不断提高，但普通 X 线检查仍是影像诊断的基础，在某些方面如胃肠道，骨骼和胸肺疾患则占有主导和重要地位。多年来，X 线设备在我国镇乡卫生单位已基本普及。

因此，如能提高与普及并重，针对影像学不同专业组织、开展多中心的“影像学综合诊断优选应用研究”，制订出适当的“规范”，对减少不必要的高昂或重复的检查，提高诊断效用和效率，直接造福人民群众尤其广大乡镇居民是十分必要的。为完成此项工作，提高实际效用，加强教育和培训工作，不断提高专业人员（尤其基层专业人员）的素质，是至关重要的基本环节。

二、心血管病的影像学综合诊断优选应用

近 20 年来心脏大血管的诊断和治疗技术均有长足进步。自 70 年代初、中期以来上述影像学技术，如二维超声（US）含多普勒技术，DSA、MRI、CT 尤其超高速（UF）CT、放射性核素成像如单光子和电子断层显像（SPECT 和 PET）等影像学新技术的开发和应用，显著地改变了多年来以 X 线平片和心血管造影为主体的普通心血管放射学的面貌，尤其以无、少创技术使诊断进程和诊断水平发生了革命性变化。

自 70 年代中期发展起来并逐步成熟的介入治疗，与传统的内、外科治疗构成心脏病的三大治疗方法。这些方法及其配合运用，又对各种影像学技术的合理应用提出了新的不同要求。因此，按临床病例的实际需要，如何作好影像学结合诊断和优选、合理应用，已成为现时心脏病诊治的一个重要课题。

影像学诊断应适应治疗的要求

当前，现代影像学的发展，对疑有和患有心脏病的患者，临床和影像学医师有众多的影像学技术可供选择，而上述三大治疗方法及配合运用，则要求影像学提供全面而适宜的诊断信息，而某些重要信息反过来又可指导临床医师修正治疗方针，选择不同的治疗方法。

全面的影像学诊断信息应包括：(1) 显示心脏大血管形态变化包括冠状动脉(冠脉)分支的解剖情况；(2) 心脏功能，主要是心室、瓣膜功能和心血管的血流动态；(3) 心肌灌注、代谢及其对负荷试验的反应；(4) 心脏结构的组织特征(Tissue Characterization)，如心肌异质浸润，纤维置换等。

但从临床实际出发，不同疾病及同一疾病不同病期治疗，对影像学诊断又有不同的要求。例如复杂先心病外科治疗，要求精确、全面的形态诊断；不同类型冠心病如心绞痛、心肌梗塞等，放射性核素成像则为主要方法；显示心室壁瘤，腔内血栓和组织特征，MRI 和 UFCT 均有帮助；冠心病的手术和介入治疗适应症的选择等则仍依靠冠脉造影；心脏瓣膜病、先心病的诊断 US 起主要作用；主动脉瘤，夹层等大血管病，DSA、MRI 和 CT 等为首选或确诊方法。

心脏大血管病的影像学诊断

1. 先天性心脏病

X 线平片与临床心电图相结合的是基本的无创性方法。对单纯或有典型 X 线征象的复杂畸形，如房、室间隔缺损，动脉导管未闭，肺动脉瓣狭窄和法鲁四联症等 70%-80% 病例可提供诊断和鉴别信息。US 和多普勒技术已经成为先心病包括复杂畸形的无创性影像学诊断的主要方法，不仅能实时显示畸形的形态变化，还能观察心脏功能和血流动态。但 US 空间分辨率低，不能有效地显示冠脉分支和肺循环状态，在一定程度上受患者体型，操作者技术经验等影响为其限度。

普通心血管造影(X 线电影)，时间及空间分辨率高，目前的是显示复杂畸形解剖细节最可靠方法。结合心导管检查还能测量心腔各部压力、血氧的具体数值。但作为有创性技术，本法主要用于复杂和疑难先心病手术前确诊和作为介入治疗的组成部分，有针对性地选择应用。DSA，由于硬、软件的改进，空间分辨率(如矩阵 1024×1024) 和时间分辨率(30~60 帧/秒) 均有明显提高，已能有效地用于先心病的诊断。但从临床实际效果分析，现时仍不如心血管造影电影技术。

MRI，自旋回波(SE)与梯度回波(GRE)的快速成像技术相结合，CT(UFCT) 作为无创性技术，对先心病复杂畸形如法鲁四联症，大动脉错位，三尖瓣闭锁等具有优良的效用和发展潜力。UFCT 的时间及空间分辨率优于 MRI，但基本上是横断面成像，需对比增强，而 MRI 不仅对比分辨率高，直接多体位成像，一般无需对比增强等，总的诊断效用优于 UFCT。根据国外经验，复杂先心病矫治手术后的复查和疗效验证，MRI 收到优良效果。由于设备条件限制，MRI，尤其 UFCT 在国内尚远未普及。

从诊断效率和效果价格比等全面衡量，对先心病包括复杂畸形的诊断，仍以 US 为首选。其他技术如 MRI，心血管造影等有针对性地选择应用。

2. 后得性心脏病

常见的心脏瓣膜病、肺心病和心肌病等，US 或并用多普勒技术，X 线平片密切结合临床和心电图检查多可提供诊断性和重要信息。对心脏瓣膜病的诊断，如观察瓣膜的形态和运动，则主要依靠 US。补充前者的不足，X 线有助于显示心脏整体大小和肺循环状态，如肺静，动脉高压等。心肌病，对显示心壁和肌部间肥厚及其测量等，US 简便为首选，MRI 更为全面、准确，UFCT 则需对比增强。对继发于肺胸疾患的肺心病，X 线平片“心肺兼顾”，简便

而具有诊断价值。如为观察肺间质改变和肺气肿细节和后者的类型，则需 CT 包括高分辨率 CT。冠心病的诊断，X 线平片无任何帮助。对心肌缺血及其与梗塞的鉴别，放射性核素扫描含负荷试验则为主要依据。近年来，SPECT 尤其 PET 对晕厥/冬眠心肌和梗塞后存活心肌的检测和心肌代谢分析的意义 愈来愈受到重视。冠心病外科或介入治疗适应症的选择，冠脉含左室造影是不可缺少的。

MRI 和 CT，尤其 MRI 对多种后得性心脏病同样具有优良的诊断效用。对比和空间分辨率均优于 US 和核素成像。对心包疾患如积液、缩窄，心脏（心腔和肌壁）肿瘤的诊断及其与心旁肿块的鉴别，US 为首选，MRI 全面。心脏瓣膜关闭不全的诊断和定量，US 和 MRI 均实用。CT，尤其 UFCT 对冠脉钙化的检出及定量分析，对冠心病的筛选诊断，尤其对高危人群具有重要意义。

3. 大血管病

当前，US（结合经胸和经食管技术，TTE+TEE），MRI，CT 和 DSA 为各类主动脉疾患和畸形可供选择而且有诊断价值的影像学技术。X 线平片仍为普遍应用的筛选和初步诊断方法。普通血管造影已逐步为 DSA 所取代。主动脉瘤和不同类型的主动脉夹层的诊断，应根据不同病情，优选适宜的方法。如急性主动脉夹层，尤其 DeBAKEYI 和 Ⅱ 型，或濒临破裂的主动脉瘤等具有紧急情况，动脉 DSA 应为首选，为应急外科处理争取时间，US 可用于床旁检查，有其优点。无紧急情况的主动脉瘤和慢性主动脉夹层，尤其 Ⅰ 型者，MRI 和 US（TTE+TEE）均可满足诊断要求。两者的诊断率均达 95% 左右。US 和 MRI 对显示主动脉分支均有一定限度，根据治疗处理的需要，可有针对性地进行 DSA 检查。对先天性主动脉缩窄及其他主动脉弓畸形，MRI 能直接多体位成像，有助于显示畸形的解剖细节，MR 血管成像可显示主动脉缩窄的侧支循环。

大动脉炎是我国最常见的血管病。US（TTE+TEE）MRI 和 CT 均有助于主动脉本身狭窄、阻塞和扩张等诊断，但显示主动脉和肺动脉分支病变对本病的全面诊断仍需血管造影，而静、动脉法 DSA 的配合应用为首选技术。

综合诊断和优选应用原则

应从患者诊治的实际和具体要求出发，由无创、少创到有创技术次第考虑。参照上述各种方法的价值和限度，并应衡量各种技术的效用价格比，以最少的检查收到最大的诊治效益为优选应用的原则。当然，亦应结合单位的具体条件，技术经验，全面分析，作出适宜的选择和安排。

施肥与农业和环境

朱兆良

中国科学院南京土壤研究所

朱兆良 土壤学家。1932年8月21日生于山东青岛（原籍浙江奉化）。1953年毕业于山东大学化学系。历任中国科学院南京土壤研究所副研究员、研究员。1993年当选为中国科学院院士。对土壤氮素转化及管理进行了长期研究。

我国人多地少，对农业生产的压力很大。增加肥料投入是提高单位面积产量和发展农业生产的重要途径之一。自70年代以来，我国化肥的消费量迅速增加，这对提高农作物产量起到了很大的作用，但是，化肥的增产效用并未得到充分发挥，而且，农田中氮肥的损失较多，在一些地区已出现了水污染等问题。因此，合理施肥的目标应是既保证农业的持续发展，又避免引起环境污染。

一、肥料结构

1. 总施肥量及化肥、有机肥的贡献

1949年，我国农业中施用的氮肥，折合纯氮（N）只有6000吨，且尚无磷肥和钾肥的施用。农业生产几乎完全依赖有机肥料。自50年代、特别是70年代以来，随着化肥工业的迅速发展，我国化肥的施用量有了很大的增加。到1994年，以化肥形式施用的氮（N）、磷（ P_2O_5 ）和钾（ K_2O ）量已分别达到2062万吨、925万吨和331万吨，合计3318万吨。氮肥和磷肥的总施用量都已为全球之冠。

有机肥料是一项重要的养分资源，其量随着化肥施用量的增加和农产品产量的增多而增加。这是因为，有机肥料是农业中养分的再利用部分，即随农作物收获从农田取走的养分在通过不同循环途径后有一部分又重新用于农业。据估算，1990年，我国农业中由有机肥料提供的氮、磷和钾量分别约为513.6万吨、289.1万吨和716.1万吨，合计约为1536.8万吨。

化肥与有机肥合计，1990年我国农业中施入的氮、磷、钾养分总量约为4127.1万吨，其中化肥和有机肥分别约占养分总施用量的62.8%和37.2%。化肥已是农业中投入养分的主体。但是，不同养分的情况有所不同。在施入的2272.5万吨肥料氮中，化肥约占76.6%，有机肥仅占23.4%；在施入的约935.9万吨肥料磷中，化肥约占69.1%，有机肥仅占30.9%；而在施入的918.7万吨肥料钾中，化肥却仅占22.1%，有机肥则占77.9%。这表明，对投入的氮和磷来说，化肥已是主体，而对钾来说，则仍以有机肥为主。

2. 有机肥料的构成

对有机肥料的构成进行分析的结果表明，无论是对氮、磷或钾来说，有机肥料的主体都是人粪尿和牲畜粪尿，特别是人粪尿、猪粪尿、牛粪尿和羊粪尿。例如，以1990年为例，人、畜粪尿提供的氮、磷、钾量分别占有机肥氮、磷、钾总量的约80.7%、82.7%和53.0%。其次是秸秆（包括秸秆灰），其所提供的氮、磷、钾量分别占有机肥氮、磷、钾总量的约13.4%、14.1

%和 43.8%。而绿肥提供的氮、磷、钾量却分别仅占有机肥氮、磷、钾总量的约 5.8%、3.2%和 3.2%。

人粪尿和牲畜粪尿是一项重要的养分资源，但是，如果不加以充分利用，则进入水体后又会引起环境污染，导致富营养化。因此，充分利用人、畜粪尿具有重要的经济意义和环境效益。至于秸秆直接或间接还田，目前各地大多已给与了较多的注意，这有利于缓和缺钾问题；还应提倡“过腹还田”，提高其经济价值。关于绿肥，应当指出，习惯上在强调有机肥料时，往往着重于扩大绿肥的种植面积，但是，由于存在着与农作物争地的矛盾，在实施中常有困难。实际上，从绿肥提供的氮、磷、钾量来看，它并不是有机肥料的重要组成部分，因而没有必要过分局予以强调。看来，今后绿肥的发展应与饲用等相结合。

二、产量与化肥施用量

在一定的土壤、气候和栽培技术条件下，由于存在着一个或几个限制因子，作物的产量有一个所能达到的最高限。这一高限产量受到最低因子律的制约。随着这些限制因子限制程度的减弱或消除，产量得以提高到新的最高限。此时又会出现新的限制因子，影响着产量的进一步提高。因此，又需要找出新的限制因子并加以消除，以使产量再提高一步。农业生产中作物产量的不断提高就是这样逐步实现的。

施肥是通过减弱或消除养分限制因子而获得增产的。但是，在产量与施肥量之间并不是呈直线关系的。在施肥量较低时，单位施肥量的增产量较高，随着施肥量的增加和单位面积产量的提高，单位施肥量的增产量即逐渐降低，即通常所说的报酬递减律。此时，如果能找出新出现的限制因子并加以消除，例如，当存在着品种的增产潜力低、栽培技术不合理、干旱、其它养分不足等限制因子时，则需通过培育新的高产品种、改进栽培技术、合理灌排和平衡施肥等消除这些限制因子，然后才可能通过进一步增加施肥量以获取更高的作物产量。

对 1981 年至 1994 年全国粮食总产与化肥施用量关系的统计分析表明，随着施肥量的增加，粮食总产也趋于增高，二者存在着明显的正相关关系。但是，单位施肥量的增产量却逐渐降低。例如，1981 年至 1985 年，化肥的总施用量由 1334.9 万吨（以 $N+P_2O_5+K_2O$ 计，下同）增至 1775.8 万吨，粮食（包括大豆，下同）总产由 32502.0 万吨，增加到 37910.8 万吨，平均每增施 1 公斤养分增产粮食 12.3 公斤；从 1985 年至 1990 年，化肥总施用量由 1775.8 万吨增加到 2589.6 万吨，粮食总产由 37910.8 万吨增加到 45184.1 万吨，平均每增施 1 公斤养分增产粮食 8.9 公斤，仅为 1981 年至 1985 年间化肥增产效果的 72.4%；在 1993 年化肥总施用量又增至 3150.1 万吨，而粮食总产仅增加到 45648.8 万吨，平均每增施 1 公斤养分仅增产 0.83 公斤，尽管仍表现出一定的增产作用，但仅为 80 年代初期增产效果的 6.7%。这一现象一方面反映出报酬递减律的必然性，但是，也意味着在我国农业生产中还存在着其它限制因子有待于消除。例如，据统计，一些施肥量和产量相对较低的地区，增施化肥的增产效果仍较大，而在一些施肥量和产量都已较高的地区，或在施肥量和产量虽然较低、但存在着其他限制因子（如干旱等）的地区，则增产效果较低。在后两类地区，努力找出这些限制因子，并加以消

除，是充分发挥化肥增产效用和提高产量水平的前提。

三、养分收支和土壤肥力的变化

农田的养分收支情况直接影响到农田土壤肥力的变化。对我国农田养分收支平衡进行的估算表明，80年代初以来，氮的收入（包括化肥、有机肥等）一直大于支出（包括作物收获、氮素损失）而有盈余，且盈余量趋于增多。按20亿亩耕地计算（下同），1990年的盈余量每亩已达到约0.5公斤N（未计入肥料以外的收入）。这一部分盈余的氮或积累在土壤中从而提高了土壤的氮素肥力。或进一步损失而进入大气和水体，引起环境污染。磷的情况与氮相似，也是收入大于支出而有盈余，且盈余量也趋于增多，1990年每亩耕地的盈余量已达约1.9公斤 P_2O_5 （未扣除损失）。这一部分磷积累在土壤中，从而使土壤的磷素肥力趋于增高，因此我国农田土壤的缺磷面积正趋于减少。与此相反，钾一直是严重亏缺的，1990年每亩播种面积的亏缺量已达到约2.3公斤 K_2O 。因此，我国农田土壤的钾素肥力正趋于下降，缺钾的面积趋于扩大，这可能成为今后农业发展中的主要限制因子之一。

四、施肥与环境

农田的养分损失对环境的影响主要涉及氮和磷两个元素。磷对环境的影响主要限于水体的富营养化，氮则还影响到大气。

1. 大气污染

氧化亚氮（ N_2O ）作为一种温室气体，促进全球的气候变暖，不仅如此，它还破坏臭氧层，增加紫外线辐射，引发皮肤癌。因此，农田向大气排放氧化亚氮问题受到了广泛的关注。

据估计，全球氧化亚氮的年排放总量约为1400万吨（以N计），其中，来自化肥氮的量究竟有多少，是人们所关心的一个重要问题。从统计资料来看，近些年来，全世界化肥氮的总消费量已增至约7300~7900万吨。据报道，不同氮肥品种在不同条件下氧化亚氮的排放率有很大的差异，低的只有0.04%（硝态氮），高的可达5%（无水氨）。如果平均以2%计算，则每年全球因施用化肥氮所排放的氧化亚氮量约为150万吨，约占全球氧化亚氮排放总量的10%。这仅是化肥氮直接排放的氧化亚氮量。为了评价化肥氮对大气氧化亚氮的总贡献，还应考虑因增施氮肥所增加的作物吸收氮以及由农田进入水体的化肥氮在此后的循环中又将释放多少？对此目前还难以作出估计。

施入农田的能形成氨或铵的氮肥，可通过挥发作用向大气释放一部分氨。进入大气的氨中，一部分以干湿沉降而返回地面，还可进入平流层后通过光化学反应产生氮氧化物。因此，农田中氮肥的氨挥发损失，不仅降低了肥效，而且也影响了环境。据观测，我国水稻田中氮肥的氨挥发损失约占施氮量的10—40%。

2. 水污染

按照一般标准，每升饮用水中硝酸态氮的含量不应超过10毫克，水中无机氮总量和磷酸态磷（P）的含量分别超过每升0.2和0.015毫克时即可发生藻华。目前，我国一些产量高、施肥量大的地区，已经出现了地表水和地下

水的污染问题。部分饮用水中硝酸态氮的含量已超过卫生标准，部分湖泊和水库水中氮、磷的含量已达到中-富营养化水平，藻华频发，影响了工业和生活的用水，而且有趋于严重之势。

根据 1987 和 1988 两年的田间原位观测，苏南太湖地区每年由农田进入水体的氮素净量（差额负荷量）约为 1.76 万吨，其中，每亩水田的差额负荷量为 1.6 公斤、旱地为 0.8 公斤。因此，农田中的氮随径流和渗漏而进入水体已是引起水体污染的重要原因之一。但是，由农田进入水体的磷素差额负荷量尚为负值，因此，它不是水体中含磷量增高的原因。

此外，与农业有关的、引起水体中氮、磷含量增加的另一重要原因是，人、畜粪尿（特别是前者）未能充分利用，而是大量地直接排入水体，这一现象在城镇尤为突出。以江苏苏锡常地区为例，据粗略的估计，每年城镇人口排泄的粪尿中所含的氮、磷总量分别可达 6000~8000 吨和 2400~2800 吨。如果其中大部分排入水体，将会严重污染水体。因此，尽可能充分地将人粪尿用作肥料，减少其直接排入水体的数量，将是一项既有利于农业、又有利于环境保护的好事。

五、协调农业发展与环境保护的肥料管理

协调农业发展与环境保护是农业中肥料管理的总原则。无论是化肥的合理施用或是有机肥料的充分利用，都要既着眼于农业发展和作物高产，又要考虑到环境保护。当前，我国一些地区有机肥料的利用有所减少，这不仅造成资源的浪费，而且也不利于环境保护。因此，继续强调施用有机肥料是完全必要的。而就化肥来说，当前最重要的可能是合理施用氮肥。

根据国内各地在田间进行的试验结果，氮肥的利用率虽然变幅很大，但其平均值却只有 28%~41%，损失率则大多在 30%~70%之间，利用率与损失率之间常有一定的互补关系。因此，减少氮肥损失是提高其利用率和减少环境污染的共同基础。当前，在氮肥合理施用中似应考虑以下几点。

1. 氮肥施用量的控制与作物高产

将氮肥的施用量控制在适当水平，是充分发挥其增产效用、减少环境污染的主要措施之一。

众所周知，产量~施氮量的反应曲线在超过某一施氮量后产量即不再随施氮量的增加而增高，甚至下降。因此，过量施用氮肥并不一定能获得最高产量，却反而增加了氮肥的损失量。氮素营养水平过高时，植株易遭病虫害危害，因而常需更多地施用农药。因此，过量施用氮肥并不一定能获得最高产量，而且还增加了成本、污染了环境。

目前，各种预测适宜施氮量的方法都只能达到半定量的水平。而“平均适宜施氮量法”，由于不需要进行土壤测试，符合我国农村当前缺乏测试条件的具体情况，因而简便易行、不误农时，易于在大面积上应用。所谓平均适宜施氮量是指，在某一地区的某一作物上，由多点进行的氮肥用量试验网中各田块上该作物的最适施氮量计得的平均值。该法就是以这一平均值作为该地区该作物上确定适宜施氮量的基本依据，并在此基础上，根据土壤的肥力、前作上的施肥情况，以及有机肥料的施用量和质量等，作适当的增减。其理论依据主要是，在适宜施氮量附近，产量~施氮量的反应曲线已较平缓，在该用量附近，施氮量的少许增减所引起的产量增减并不大。显而易见，随

着生产条件的改善和栽培技术的提高，应当重新进行多点的氮肥用量试验，以确定新的平均适宜施氮量。

从国内一些地区在主要作物上进行了5—10年的中长期试验结果来看，无论是水稻、小麦或玉米，每亩施氮约10—12公斤（配施磷肥和钾肥），已能持续达到比较高的产量水平，更高的施氮量区作物的产量并未进一步明显增加。例如，在北京进行的小麦、夏玉米和春玉米试验中，每亩施氮9公斤时，1984—1993的10年平均亩产分别为396公斤、373公斤和527公斤；每亩施氮量提高到18公斤的产量分别也只有378公斤、398公斤和491公斤，产量与施9公斤时基本相同，在内蒙古进行的玉米试验结果与此类似，每亩施氮10公斤和20公斤的2个处理，在1986—1993年间的平均产量都是722公斤。据此，并考虑到可能存在的增产潜力，以及在大田生产中，施肥技术不一定能像小区试验中那样精细等，施氮量可略多一些。并以此作为宏观控制氮肥施用量的基本依据。至于目前的施氮量和产量都已很高的地区，看来需要结合具体生产条件和栽培技术水平，进行氮肥用量与产量的关系及其对环境影响的研究，以协调作物高产与环境保护的关系。

2. 施肥时期与早发高产

大量的研究表明，与在作物生长旺盛时期（拔节至抽穗期）施用相比，在生长初期施用（包括播种前或插秧前表施和苗期或分蘖初期表施）的氮肥，其利用率较低、损失较多。这是由于在生长初期作物的需氮量少，根系尚未充分发育、吸收能力低，加之作物地上部分的郁蔽度也低，氮肥易于损失。而在生长旺盛时期，作物的需氮量大，作物根系发育已较好、吸收能力强，加之地上部分郁蔽度高，氮肥损失受到抑制，因而利用率较高、损失率则较低。当然，为了在早期有一定的群体，以获得高产，早期适当施用一部分氮肥仍是完全必要的。但是，过分强调“早发夺高产”，在作物生长的初期就表施大量氮肥的做法则是不适当的。这不仅会造成氮肥的更多损失，而且，前期生长过旺，对高产也不一定有利。

3. 深施与早发高产

深施是目前提出的减少氮肥损失、提高氮肥利用率的各种方法中，效果最大且最稳定的一种。它能有效地减少氮肥的径流损失和气态损失。深施的方法有多种。从原则上来说，“力求减少施肥后留存于田面水中的氮量”应是稻田中氮肥合理施用的一个重要原则。在此原则指导下，可以因地制宜采取各种施用方法，例如，粒肥深施、犁沟条施、穴深施，以及“稻田的无水层混施”、“以水带氮（尿素）”等，其中以粒肥深施的效果为最好。在实际运用时，需要考虑到深施的适宜深度和适当减少氮肥的施用量。施肥过深，将不利于早发。

4. 平衡施肥

在缺磷或磷钾的土壤上，配施磷肥或磷钾肥，可以促进作物生长、提高其吸收能力，从而能明显地降低氮肥的损失，提高氮肥利用率和作物所吸收的氮素转化成籽粒的效率，并在增产效果上表现出一定的氮磷、氮钾或氮磷钾之间的协同效应（正交互作用）。现行的配方施肥为大面积生产中实施平衡施肥作出了重要贡献。但是，当前我国钾肥短缺，开源节流尤为重要。钾肥应优先施于缺钾的土壤和对钾肥反应大的作物种类和品种上。在高产条件下，应特别注意发挥不同养分之间的协同效应。

六、结语

积极增加化肥的投入，充分利用有机肥料是促进农业发展的物质基础。但是，化肥、特别是氮肥和磷肥自农田的损失，以及有机肥料的未能充分利用而排入环境，又都会引起环境污染。因此，充分利用和发挥肥料的增产效用、减少和避免其对环境可能产生的不利影响，应是农业持续发展战略中合理施肥的总原则。围绕这一目标，还要进行很多工作。我们应当努力工作，为我国农业的持续发展作出应有的贡献。

农耕文化圈与畜牧文化圈在黄土高原上的嬗替

任继周

甘肃草原生态研究所 甘肃农大草业学院

任继周 草原学专家。1924年11月7日生于山东平原。1950年毕业于南京前中央大学。历任甘肃农业大学教授、副校长、甘肃草原生态研究所所长。并曾任中国草原学会副理事长、中国草业协会副会长等职。现任甘肃草原生态研究所名誉所长、教授。1995年当选为中国工程院院士。主要从事草原科学的教学与研究。

一、文化圈，畜牧文化圈，农耕文化圈

文化圈，也称文化景观，是在自然景观的基础上，经过人类活动所形成的可以辩识的自然-社会的空间实体。它包括有形的自然事物，如森林、草原、水体、山川等，也包括含有较多人类活动烙印的事物，如农田、房屋、道路、服饰等，还包括文化要素的语言、文字、心理状态，以至特定的生活气氛。

文化圈是在一定的自然环境中，在相对隔离的条件下，自然环境条件与人类社会活动长期同化的结果，因而它是自然因素与社会因素两者的矛盾统一体，可以把它看作自然-人文的生态系统。它的内部，存在一定的结构和功能。

作为社会物质基础的生产系统，当然是任何文化圈发生与发展的前提，也是为保持其文化特征所最有权威的一种“文化迫力”。

在这里相对隔离的条件是必要的。这种隔离，如大山、大海的自然阻隔，人种、语言、社会结构等社会活动的阻隔，以及民俗、宗教、价值观等心理习惯的阻隔。

黄土高原上存在过的畜牧文化圈与农耕文化圈，就是在这种相对隔离的状态下，通过文化圈内部各个组分相互作用，形成的结构-功能体，亦即自然-人文生态系统和与之俱来的生态系统的“序”。

“序”从本质上说，是内在的、自生的系统的构架。“序”一旦形成，它就趋向于保持自身的稳定。

“序”是任何较为确定的系统所必需具备的。否则，将不可辩识，也就不成其为系统。这种“序”的产生，往往要经过一个漫长的、不自觉的过程。

文化圈内“序”的产生，因为是不自觉的，因此，常常受到不必要的、不自觉的干扰。但这种干扰不管多么强大，多么持久，只要没有超越它能够承受的弹性阈限，系统内部所固有的“序”，仍然顽强地，有时是曲折地给以适应、修补和自生；并最终还是有所表现。因而农耕文化圈和畜牧文化圈都是稳定的实体。稳定，意味着固有的排他性。

农业文化圈，它含有农耕文化圈与畜牧文化圈，作为人类文化最初的生长点，它的稳定特征尤其明显。这是因为原始的农业生产是相对封闭的；农业生产周期较长，生产方式改变较慢，“传统”较易保持；农业生产更多的受自然环境的影响，而自然环境是相对稳定的；农业社会结构较单纯而稳定。农耕文化圈与畜牧文化圈有明显的区别（表1）。

表 1 农耕文化圈与畜牧文化圈特征之比较

农耕文化圈	畜牧文化圈
生产单位、活动地域相对狭小	生产单位、活动地域相对广阔
界面相对稳定	界面相对多变
对土地加工较多	对土地很少加工
自然植被破坏较多	自然植被保存较好
生产活动往往造成土壤侵蚀	生产活动造成的土壤侵蚀较不明显
居民以植物生产为主	居民以动物生产为主
居民以素食为主	居民多肉食
村舍城镇较发达	村舍不发达，稀见城镇
文化设施较齐全	文化设施较简陋
居民不喜搬迁	居民经常搬迁
人口增长较快	人口增长较慢
社会交易较发达	社会交易较不发达
两者交融中以文化移出为主	两者交融以文化移入为主

但是文化圈的隔离状态一旦被打破，不同的文化圈必然发生交融而出现新的组合，从而产生新的“序”。尽管文化交融主要的进程是单向的，即较高水平一方涵盖较低水平一方，但不可避免地，较低水平一方的某些成分也渗入较高水平一方。从这一意义上说，农耕文化圈与畜牧文化圈的交融，不是某一旧的文化圈的简单扩大，而是新文化圈的诞生。从生态系统的理论看来，这是两个系统，即农耕生态系统和畜牧生态系统的耦合，也就是更高级系统的诞生。

这种系统间交融的特征，可以表现于同一时代的不同地域，如同时存在的农耕区与畜牧区，我们称之为空间特征；也可以表现于同一地域的不同时代，如农业发展史中的不同历史阶段，我们称之为时间特征。

而中国的黄土高原以其悠久的农业历史，广大的空间分布和处于农耕文化圈及畜牧文化圈过渡地带这一特色，则表现出两个文化圈交融的特殊轨迹。

二、农耕文化圈与畜牧文化圈的嬗替轨迹

黄土高原是华夏文化的摇篮。其农耕文化圈与畜牧文化圈的更替颇具典型意义。

传说中，黄土高原曾经率先出现了中国农业的第一代始祖伏羲氏（相传出生于今甘肃省天水市）和以伏羲氏为象征的畜牧业及其相应的畜牧文化圈。

随后又出现了农业的第二代始祖神农氏（相传出生于今陕西省的岐山），他象征农耕文化及其相应的农耕文化圈。

这两位先哲细节的真实性也许可以商榷，但他们所昭示的历史背景却给我们以启示：黄土高原曾经出现过互相嬗替的畜牧和农耕两个文化圈。

两个文化圈之间的嬗替过程应是漫长的，大约始于 6000 年前，西安的半

坡村文化应属此类嬗替的转折点。

在两个文化圈发生时间嬗替的同时，不同的民族，以其相对封闭的文化圈，也同时存在于黄土高原及其邻近地区。随着各民族势力的消长，农耕文化圈与畜牧文化圈也发生空间的推移和交融。

从有史可考的年代算起，大约 4000 多年以来，黄土高原的农耕文化圈与畜牧文化圈在时间和空间上的嬗替极为丰富多彩（表 2）。

表 2 黄土高原畜牧文化圈与农耕文化圈之嬗替

年代	文化特征	史实
公元前 2100-1600	原始游牧时代	夏文化以前
公元前 1600-1500	种植业在黄土高原萌芽，并部分发展	夏农官后稷子不窋出亡陇东，但迫于周围畜牧部族的压力，端父率众退出陇东高原，下岐山。嬗替之一
公元前 1100-500	农耕文化圈在关中稳定发展，并向北扩张	商、周、战国时期，游牧民族在农耕文化压力下有所退让，畜牧文化圈与农耕文化圈界面北移。
公元前 500-220	畜牧文化圈在黄土高原再度扩大	战国后期到秦统一，各农耕国家疲于战乱，畜牧民族再度占据黄土高原之大部，畜牧文化圈在黄土高原居主导地位。嬗替之三
公元前 220-0	农耕文化圈稳定扩张，其文化系统趋于完善，乡村、城池、驿道等文化设施发展	秦始皇三十三年（公元前 214 年），蒙恬伐匈奴，筑长城；汉文帝十一年（公元前 169 年），晁错建议“募民徙塞下”；汉武帝元狩三年（公元前 120 年），徙民 70 余万实边；元鼎六年（公元前 111 年）又大移民。嬗替之四
1-620	畜牧文化圈在黄土高原再度扩展，但长时期在农耕文化圈濡染下也有所蜕变。部分居民趋向农耕。	从东汉到三国、南北朝，中原动乱，游牧民族控制黄土高原，并问鼎中原。汉顺帝永和五年（140 年），下诏边民内徙；汉灵帝熹平三年（174 年），鲜卑人踞黄土高原。嬗替之五
620-750	黄土高原以牧为主稳定发展，逐步走向定居，与此同时，农耕文化圈在某些地区取代畜牧文化，而另一些地区仍保留原来的畜牧文化	唐朝为农耕文化与畜牧文化交融发展时期，黄土高原广设牧场，仅陇东就有牧场 8 处，“地广千里”，开元十九年（731 年），养马 44 万匹，私有者百倍于公。嬗替之六
750-1370	畜牧文化圈政治上居优势，对农耕文化施加压力，但当时较先进的农耕文化圈仍以不可抗拒的较高文化濡化畜牧文化，对周围施加影响	从五代十国直到元朝，黄土高原主要为畜牧民族统治，以行政命令推行畜牧业，远离关中盆地黄土高原保留了畜牧文化圈的特征。嬗替之七

续表

年代	文化特征	史实
1370-1650	黄土高原为中心的农耕文化圈不断向周围畜牧文化圈渗透	农耕文化圈的生产优势逐渐为黄土高原北面的畜牧文化圈所吸收。明朝更以行政手段实行“盐引”制，强迫盐商运粮支边，盐商就地雇工种粮，开垦大盛。嬗替之八
1650-1949	黄土高原被过度开垦，农耕文化圈居绝对优势。水土流失严重	清王朝进入稳定发展阶段，人口倍增，农耕地向草原、灌丛发展，畜牧民族被迫退至半荒漠、荒漠
1949-70's	农耕文化圈空前扩张，水土流失、草原退化加速。不仅畜牧文化圈不复存在，农耕文化圈的土地资源也遭受破坏	实行“以粮为纲”的政策，强调牧区粮食自给。黄土高原专以畜为业的居民，几乎不复存在

从表 2 中 11 个阶段，8 次嬗替中，可以看出农耕文化圈在黄土高原一步一步地扩大，畜牧文化圈一步一步地缩小。经过 1000 多年的角逐、融合，直到公元 200 年左右，秦国以其强大的综合国力，才使农耕文化圈在黄土高原的东部站稳脚跟。又过了 1000 多年，从 14 世纪以后，农耕文化圈在黄土高原才取得绝对优势并稳定发展。

在农耕文化圈与畜牧文化圈两者的嬗替过程中，在两种文化圈的结合部，逐渐形成了若干具有两者烙印的结合点，这就是为大家所熟知的、分布于传统农耕区与畜牧区之间的“茶马市场”。它们较为著名的，从北往南数，有华北的张家口、陕西的榆林、甘肃的洮州、四川的西昌、云南的大理。在这里文化的交融，异化为产品的交换，而产品交换本身，具有丰富的文化内涵，如通过产品的使用会作用于生活习惯、审美观点以及形成共同的价值观等等。通过两个文化圈的物质的和文化的交流，实现着两个文化圈的渗透。

不同文化圈互相渗透，新的文化圈形成过程中，尽管较为先进的一方，看来近乎同化了较为落后的一方，但落后一方的文化烙印，已经深深地留在了这个新的复合体中。且不说汉朝的苜蓿、唐朝的胡琴、元朝的胡同、清朝的旗袍和满汉全席，都来自较不发达的文化圈，就连已经几乎被完全“消灭”了的印地安文化至今还经常出现在美国的服装、语言乃至“西部片”中。黄土高原上畜牧文化圈的淀积则表现为陇东苜蓿（关中苜蓿的前身）、早胜黄牛（关中黄牛的前身）和与之相应的生产、生活等许多方面的表现。

文化圈既是不停地发展变化的，也是具有稳定的深厚淀积的。

三、文化淀积对黄土高原农业生产的影响

不同的文化淀积，在同一地区，可以出现不同的农业生产倾向。

同是一个黄土高原，当来自畜牧文化圈的游牧民族占优势的时候，倾向于发展畜牧业；当来自农耕文化圈的习惯农耕的民族占优势的时候，则发展种植业。从上述的农耕文化圈与畜牧文化圈的嬗替轨迹，可以明显地看出这种文化淀积作用的倾向性。

由于两种文化各自保持了自己固有的倾向而少有发展，因而几千年来，黄土高原的农业生产处于质变不多的嬗替之中。这里有两方面的原因，一是科学技术停滞不前，二是商品经济发育不足，甚至某些时期还有一些倒退。

在这段漫长的历史时期中，农耕文化圈的封闭式的、古老的以植物性生产为主的农耕文化传统，越来越在黄土高原居于主导地位。

几千年来，黄土高原在人口不断增加，垦殖压力不断加重情况之下，从50年代到70年代，又执行了“以粮为纲”的政策，强调各地口粮生产自给，文化圈的内部和外部产品交换系统阻滞不畅，把视野局限于谷物种植，不但基本取消了畜牧文化圈的有用部分，也极大地伤害了农耕文化的合理内核，如不适当地扩大耕地，过分开垦了草地和林地，倒茬轮作的程序被打乱，招致土壤肥力的破坏，在造成水土流失、土地瘠贫的同时，也导致了文化圈本身停滞和贫乏。

这是一个漫长的历史时期。文化圈产品交换系统发育受阻的同时，人类赖以生存土地资源受到严重破坏。

土壤有机质由3—5%下降到不足1%，甚至不足0.5%。在当地的条件下，土壤有机质每降低一个百分点，意味着每一毫米降水量减收半公斤谷物，那就是每公顷减少了3吨到3.75吨的收成。

水土大量流失。每年16亿吨泥土流入黄河，把这些泥土培成高宽各一米的长堤，可以绕地球9.1周。这对下游造成了无穷的祸害。

随着这些土壤的流失，大约相当40万吨氮肥和大量土壤中的营养元素付诸东流。这相当1990年甘肃省全年化肥使用量的一倍多。

这样的水土流失，使平坦、肥活的陇东高原，被割切得支离破碎，沟壑吞食了70%的土地。有的地方，沟壑占去了94%，平地几乎不复存在。

原来是著名粮仓的董志塬，一度成为缺粮区，倒要从外地调入口粮。近几年抛开了“以粮为纲”的口号，尽管人口增加的压力未减，但口粮已经可以自给。

甘肃草原生态研究所在黄土高原的中心董志塬所做的实验证明，把畜牧文化与农耕文化的土地利用方式适当结合，可使光能利用效率提高40—90%，水分利用效率提高一倍，作为土壤肥力指标的有机质，三年内可以提高24%；从而在减少化肥用量70%的情况下，反而使产量提高了40%，牧业产值达到40%，纯收入提高了1.7倍，水土流失量只有原来的2—4%。这个贫困地区的人均产值，居然超出当时全国平均水平的34%。中国科学院水土保持研究所在固原上黄村，以扩大林草植被为突破口，调整土地结构，只几年时间，粮食单产提高2.1倍，总产提高97.6%，人均纯收入增长6.4倍，水土保持达50%。

从以上这些事例可以清楚地看出背离科学技术所造成的反差。

这仅仅是把两个文化圈的土地利用习惯，加以初步调整，就产生了这样明显的效果。如果进一步加以优化，使之达到两个文化圈的系统耦合，其生产潜力将是难以估量的。

四、结束语

黄土高原曾经存在两个农业文化圈，亦即农耕文化圈及畜牧文化圈。它们在黄土高原的农业发展和民族融合中都起了历史性的作用。

就黄土高原本身的农业发展来说，畜牧文化圈发生在先，农耕文化圈后起，但就黄土高原的多民族来说，两者长期并存，互有消长。数千年间经过11个阶段，8次嬗替，最后农耕文化圈稳定于黄土高原。

综观其嬗替规律，农业这一自然-社会综合系统，既受自然因素的影响，也受民族文化因素的影响，在自然背景允许的条件下，文化因素起决定作用。

黄土高原的自然环境具有广谱性，它既宜于畜牧生产，也宜于农耕生产。正是通过文化圈的作用，发生着畜牧生产系统与农耕生产系统的多次嬗替。

在黄土高原的具体情况下，由于农业耕文化系统较畜牧文化系统为先进，经过长期、反复融合，农耕文化圈终于占据了黄土高原。

但黄土高原的农耕文化圈，迄今为止，长期停留在汉民族习以为常的单纯种植业模式。它还没有能力，或没有来得及运用现代科学技术，把畜牧文化圈与农耕文化圈两者的长处结合起来，更谈不到通过较为完整的系统耦合，建立新的、更高层次的农业生态系统。目前，在“开放”的大局下，农耕文化圈所固有的超稳定性，以及由此而发生的较多的保守性和排他性已经有所松动。

希望过去那种长期处于生产水平不高，但对自然资源的破坏却日甚一日的严重状态，会逐步有所改善。人类对于黄土高原“破坏与征服的历史”应该结束了。

部分科学工作者在黄土高原初步进行的工作，亦即畜牧文化圈与农耕文化圈某些组分的初步结合，已经取得了显著成效，但这远未达到两个文化圈耦合的水平。如前所述，文化圈的形成，应以建立包含产品流通的生产系统为前提。耦合的生产系统长期发展，不断完善，直到足以建立自己特有的文化圈时，这一过程才完成。

我们翘首企望这一天的到来。

生物资源的合理开发利用和生物多样性的有效保护

吴征镒

中国科学院昆明植物研究所

吴征镒 植物学家。1916年6月13日生于江西九江。1937年毕业于清华大学，1942年清华大学研究生毕业。历任清华大学生物系讲师兼国立医药研究所研究员，中国科学院植物研究所研究员、副所长，昆明植物研究所所长、名誉所长，中国科学院昆明分院副院长、院长，《中国植物志》主编。1955年被选聘为中国科学院院士（学部委员）。长期从事植物学和生物多样性研究。

一、生物资源的利用和生物多样性保护的关系

这是需要开宗明义加以说明的重要问题。生物资源的合理开发利用和生物多样性的有效保护是相辅相成的一对矛盾。生物资源的合理开发利用要以生物多样性的有效保护为基础，否则就难以为继；生物多样性的有效保护又必须在生物资源的合理开发利用下才可能有效，两者须双管齐下，并行不悖。

问题的关键是合理和有效。简言之，有效保护是为了永续的合理利用，而合理开发利用了生物资源才能使保护生物多样性的有效措施得以逐步实现。两者之间要协调好，关键又在于长远利益与近期利益的合理调节，合理调节是使生物资源得以永续或持续利用的关键性措施，可以这么说，整个人类文明史的持续，在很大程度上取决于把生物作为一种再生资源的合理开发和有效的保护。

二、生物资源的定义、范围、特点和五个历史发展的程序

生物资源通常指植物、动物和微生物，即可资人类利用的一切生命有机体的总和。

植物包括具有颈卵器的高等植物和低等植物；动物包括脊椎动物、无脊椎动物和庞大的昆虫家族；微生物的门类则十分庞杂，包括非细胞生物中的类病毒、病毒，原核生物中的细菌、立克次氏体、支原体、衣原体、螺旋体、蓝细菌、真核生物中的单细胞藻类、酵母，霉菌以及原生动物等。

生物资源不同于其它自然资源，有其特殊的性质，因而在整个自然资源中起着桥梁的作用并占据中心的地位。下面谈的五个特点的四点是整个生物资源所普遍共有的，后一点则主要为植物的属性。

生物资源与非生物资源本质区别在于生物资源可以不断自然更新和人为繁殖扩大，而非生物资源则不能。利用生物资源的这一特性，首先必须保护生物资源本身不断更新的生产能力，从而才有可能达到长期利用的目的。

生物资源相对来说，都具有一定的地域性，即每一种生物都有其或大或小的特定的生长地理范围，而在植物里面表现得尤为突出。如巴西橡胶、可

可只能在湿热带生长；瓜尔豆、牛油树只能在干热带方能生长良好；贝母、黄连只适应高海拔地区等等。

生物具有遗传潜力的基因，存在于该种生物的种群之中，任何生物个体不能代表其种的基因库。各种危及物种生存和繁殖的因素容易引发物种世代顺序的断裂，而种群的个体数减少到一定限度时，该生物的遗传基因便有丧失的危险，最终导致物种的解体。而物种的解体也就是资源的解体，因为物种绝种之后是不可能再造的。

生物与环境之间是相互作用的，它们一方面受制于环境因素，反过来又影响这些因素。植物在这方面的作用尤为显著。组成土壤有机物质的大部分是植物的产物；植物组成的植被具有保持水土、调节气候的作用。森林植被的恒温恒湿作用、涵养水源作用和巨大的热容量，具有保护农业生产和稳定的生态环境的特殊作用。由于森林植被的破坏而造成区域气候诸要素的明显不利变化早已成为全球面临的严峻问题。

生物资源中的植物资源又有其独到之处，能直接利用太阳能，并将太阳能转换为化学能加以储存，在一定条件下释放出来或转变为热能。部分光合自养性微生物也有此功能。

在生物资源的开发利用中，以上五个属性必须得到高度的重视，才可能制定出真正合理的措施，使生物多样性在施惠于人的同时又能永恒地存在于这个星球。

人类文明的早期，原始人利用生物资源主要是为了果腹，提供能量，生存繁衍。这类生物资源可归类为食用生物资源，主要有淀粉糖料、蛋白质、油脂等各类。这类开发利用目前仍旧是人类对生物资源需求和重点研究的一个主要方面。

随着文明的发展，人们在长期与自然打交道的过程中，偶然发现了一些动、植物具有治疗某些疾病的作用，并开始了有意识的深入研究，因而利用生产资源的进程几乎同时进入了另一个阶段，所以，可以说食药同源。我国对药物的利用历史渊远流长，为世界医药作出了巨大贡献。在微生物中多种抗生素的发现，开创了这方面生物资源开发利用的新纪元。目前这一方面的发展更是日新月异。

在人类文明的一定阶段，生物资源在工业方面不同程度、不同规模地得到利用。但真正大规模集约化利用生物资源，还是近代工业革命之后的事。资本主义市场的不断扩大，对各种资源的需求也随之加剧。工业化对生物资源的利用目前已达到无以复加的地步，极大地改变了我们这个星球的面貌。对木材、造纸原料的需求就是一个很好的例证。橡胶从热带雨林中供原始部族中的小儿玩具近百年间一跃而成为工业重要原料和战略物资也是如此。而由于大量砍伐木材和毁林植胶已使热带雨林急剧萎缩，这不仅使区域气候诸要素发生显著的变化，也使全球生态系统产生不可逆转的不利变化。目前，利用集约化生物工程求得最大限度的商业利润已成为工业利用生物资源的一个崭新领域，也是解决人类迫在眉睫的资源危机的新世纪曙光。

人类在文明的成长过程中，审美意识逐渐增强，逐步懂得利用生物资源美化环境，历史悠久的名贵花木，艳丽贝壳的室内装饰就是很好的例证。懂得利用生物资源进行环境改造则是人们在长期的生产实践中逐步摸索出来的，如利用植物防风固沙、改良环境、固氮增肥、改良土壤等。真正具有环保眼光，有意识地合理利用这一套生物资源则是比较近代的事物，如利用生

物进行环境监测和抗污染等。

这是生物科学发展到一定程度后开始的利用生物资源的一个高级历史进程。根据遗传学观点，每个物种都有自己的遗传特性；不同的遗传特性均视为不同的种质。生物种质资源主要是指有用生物的种质资源。各种有用生物均隶属于相应分类等级的科、属、种，往往具有大量的近缘属种。长期栽培的植物，驯化的动物和有用微生物菌株，由于人为的定向培育皆具不同程度的特性，与其野生类型和不同区域形成的变型相比，往往具有不同程度的特性，构成了生物种质资源多样性的一个方面。

收藏、研究这些种质资源，对人类十分有益。国际上很多研究中心、机构都建立了各种相应的收藏种质资源的“种子库”或“种子银行”，“精卵库”，“细胞库”，“菌株库”乃至分子水平的“基因库”，利用不同种质进行杂交，以期获得满足人们不同需求的新品种，获得了各种成功。特别目前以 DNA 克隆、杂交、定向移植、异体表达等新技术为标志的生物基因工程的应用，在生物种质资源的收藏、研究和利用方面显示出极富魅力的前景。然而，由于植被的破坏和环境的恶化，当今世界种质的损失日趋严重，种质的消失是不能再造的。国际上十分重视生物种质的保护，成立了许多机构，提出了相应的行动纲领，在这方面，我们必须迎头赶上。

三、生物多样性的内容及意义

活的有机体本身和它们赖以生存的生态复合体的多样性和变异性，代表着生物与环境的辩证统一体。它包括数以百万计的动物、植物、微生物和它们所拥有的基因以及它们与生存环境形成的复杂的生态系统。它的本质为活的有机体的基本特征之一，是生物从非生物进化而来的过程中的自然产物和必然产物。

三至五个层次或水平，其中研究较多、意义重大的有遗传多样性（基因多样性）、物种多样性、生态系统多样性、景观多样性四个层次。而最重要的是物种多样性，它是其它的基础或载体。多样性向两极发展，宏观向生态系统多样性或景观多样性，微观向基因多样性、生物化学物质多样性。

生物资源（包括人类本身）是生物多样性的物质表现，也是人类赖以生存和发展的物质基础。

动物、植物、微生物和人类本身，连同所在环境即大气层、水和土壤是一个互相依存、互相制约的循环系统，也是一个辩证统一体。主要层次和结构如下：

植物——主要的第一性生产者。没有绿色植物（特别是高等植物），就意味着没有生命和现在的人类社会。动物——主要的消费者，也是第二、第三性的生产者。微生物——分解者，同时也可成为生产者。人类——最大的消费者，同时也能成为最大的生产者；可以成为破坏者，也可成为协调者。

各个层次之间的纯自然关系是建立在食物链的各个环节上的，本质上是靠能量流动和物质流动加以维系。它们之间的物流、能流及食物链的级次均是辩证统一的关系。

自从人类出现以后，一切生态系统无不与人类活动有关。一切生态系统都以人类活动为中心。人类只有成为“栽培者”，才能有“文化”，才能成为最大的生产者和协调者。

人类能成为前所未有的最大而最有效的食物和能量的生产者，主要是因为他们能根据自身的需要“栽培”任何一种生物资源，并使之不断再生和不断进化（如稻、麦、牛、狗、鸡、鸭、金鱼等）。

生物多样性是生命进化的产物。地球上的生物经过几十亿年发展进化成今日气象万千的生命世界，它是人类赖以生存的物质基础。如果毁于一旦，人类也不复存在。它有多重价值，现已得到人们的逐渐认识。自李鹏总理 1992 年在里约热内卢代表中国政府签署《生物多样性保护公约》之后，对生物多样性的保护就成了我们一致行动的政府行为。

生物多样性的直接价值即为人类所直接利用的生物资源。植物不单为人类提供了基本粮食、蔬菜、水果等等，也为人类蛋白质、油脂主要来源的畜禽、海产等提供了基本的食物和饲料，所以，是第一性的生产者。发展中国家 80% 的人口仍靠传统的药物进行治疗，其中，大部分是植物。此外，生物多样性还提供多种多样的工业原料如木材、纤维、橡胶、造纸原料、天然淀粉、油脂，甚至煤、石油、天然气也是生物遗骸经千百万年转化而成的。

生物多样性的间接价值，这一价值较之前者更为重要。生态系统是由很多物种所构成，完善而稳定的生态系统对调节气候、稳定水文、保护土壤作用巨大。目前没有得到利用的诸多物种在所处的生态系统中几乎都有不可替代的重要作用。因此，保护生态多样性就是保护人类舒适、美好的生态环境。此外生物多样性还有不可估量的美学、文化价值，同时也是旅游资源中极为重要的成分。

人类经常作为重要资源加以利用的生物不过 500 种，仅 150 种被大面积栽种作为食品；世界上 90% 的食物源于 20 个物种，75% 的粮食来自小麦、水稻、玉米等 7 个物种。常用的中药也不过 1000 种。即是说，绝大部分物种还是用途不明。要解决人类目前面临的几大危机除了在已利用的生物资源上深入作文章外，还有赖于在其它尚未利用的物种中寻找新的可用资源。有的可培育成新的经济种，有的可与栽培（饲养）种进行杂交，产生更有特异抗性的新品种。全世界的绝大多数物种还未被人们进行过研究，因而它们蕴藏的遗传多样性的潜在效能难以估量。

生物多样性的形成也是地球形成后特别是白垩纪以来很多自然历史事件如板块构造、造山运动、海洋进退、冰川进退等的反映。生物多样性的形成——亦即物种起源的历史进程，一直是生物学界最大最基础的研究课题。

四、云南生物资源概况及利用潜力

云南土地面积仅占全国的 1/25，然而各大类主要生物物种，几乎均占我国总量的 1/2。云南物种种类尚未完全摸清，近年来仍有许多新类群被陆续发现，尤其是昆虫和菌物类，距“基本清楚”也相差甚远。

由于云南省地史古老，优越的地理环境和气候条件，使云南的生物资源不仅十分丰富。而且独特，具体主要表现在以下三个方面：

一是区系成分复杂。以植物为例，云南既是古热带植物区系和泛北极植物区系的交汇点，也是喜马拉雅植物区系和“东亚”植物区系的交汇点，因而极大地丰富了它的植物种类，相应地也丰富了它的动物和微生物种类。云南既有与我国各大片区相同的生物种类，也拥有远至前苏联、地中海、美洲、大洋洲等地区的生物种类或相近的种类，其区系组成十分复杂。

二是特有属、种甚多。云南各类生物究竟有多少特有属、种，迄今仍无确切的统计，种子植物中有 82 属为中国特有，其中 15 属为云南特有。特有种约占总种数的 1/3 左右，动物的特有属种：鱼类有中国特有种 260 个，其中云南特有 164 个；鸟类有中国特有种 99 种，其中 7 种为云南特有；兽类有中国特有种 60 种，其中云南特有 28 种；两栖爬行动物有中国特有种 70 种，其中 25 种为云南特有。昆虫因研究程度较低，很难统计，以蝴蝶为例，中国有 2300 种，云南有 700 种，其中 60 种为云南特有。

三是珍稀濒危物种多，在国家公布的第一批保护植物中，云南有 151 种，占 42.6%，其中一级保护 4 种，二级保护 56 种，三级保护 91 种，第二批拟编入国家红皮书的有 187 种。

在合理开发利用的过程中，我们既要看到优势，同时也要注意后两点，尽管特有类群会含有一些特有的有用成分，但它们和珍稀濒危物种的种群数量往往十分有限，在未解决人工栽培或饲养问题前，尤其要搞好保护的工作。

国内已开发利用的生物资源种类中，云南占的比重很大。植物资源的内含物及类型的多样性是明显的，而以第一性生产力为生存条件的消费者——动物，分解者——微生物也会受到影响，产生出相应的多样性。

生物中 useful 物质在种间常有相似性，在其它地区已找到有价值的种类，往往在云南也可找到近缘或替代种类，其价值有时会超过“正品”。如药用植物中的马钱子，是传统的进口药，云南发现的云南马钱子，其有效成分优于进口的马钱子；人们从非洲的美登木属中提取到有抗癌疗效的美登木素，我们也从滇产同属植物中分离到该化合物并具抗癌疗效。这类事例很多。即使要引进新品种，由于云南具有从热带直到寒带的气候条件，根据气候相似性原则，易于找到引种成功的立地生境。

云南有 25 个少数民族，他们都有自己的优秀文化。众多民族在长期与自然打交道的过程中，积累了丰富的经验，都有其独特个性。这些都是值得深入发掘和研究的。结合生物资源分布的特点与民族居住的相关性，把这两方面从科学的角度加以深化，向高层次的利用水平推进，将会产生巨大的商业效益。

云南省特殊的地形地貌和生态条件，既有有利的一面，同时也使得众多的生物资源表现出很强的地域性，分布十分零散，在一定时空范围内，种群数量少，加之其它不利因素，难以形成稳定的规模化生产，成本势必增加，这就严重地制约了对生物资源的合理开发上规模、上档次。

不利因素主要表现在开发利用的基础不够，技术力量薄弱和生产方式的落后以及交通运输的严重制约等方面，这里不一一列举。

云南生物资源的利用现状及建议

从目前来看，对野生生物资源的利用普遍存在破坏大于更新这个问题。对野生生物资源的利用水平大多仍停留在野生采挖、捕猎的自然经济状态。由于人们受短期利益的驱动，超限度地加以采挖、捕猎，但很多物种的自然更新、繁殖能力难以跟上人们无限膨胀的私欲，从而使得这些物种的种群数量大大下降，进入到遗传基因库可能丧失的危险境地。这应引起我们的高度重视。

由于很多带有综合性或前期性的研究工作往往没有得到应有的重视，在经费上更难得到支持，致使在生物资源某些种类的开发利用上一轰而起，一哄而散的现象屡有发生。蚕桑、甜叶菊、长毛兔、香料、咖啡等的发展不同程度地发生过这种情况，近年的“柑桔热”、“香蕉热”也有类似的教训。

政府的宏观调控和指导有待加强。

云南省生物资源利用的现状是初级产品多、低层次开发多、单一利用明显。任何一种生物资源都有多种用途，而目前的利用往往只针对一种用途低度开发。因此，需要大力加强综合开发利用的深层次研究，提高生物资源综合利用的整体水平。

对生物资源开发利用存在着片面性，直接、快速、掠夺性开发利用的现象经常存在，特别是对某一时期的“热门”资源，这种方式的危害是更为严重的。从根本上说，是有效保护的意识还不强，也没有树立综合开发利用的观念，为了生物资源的永续利用，政策法规要跟上，科研水平也应提高。

在 1995 年云南省召开的科学技术大会上，中科院和云南省加强了联系，签署了长期合作的意向，这是值得庆幸的。18 个生物资源开发利用的项目的制定使得这种合作更加具体和明确。中科院有着综合研究、开发利用生物资源的较强实力，在云南的 4 个研究机构中，就有 3 个是涉及生物学科的。而云南丰富的生物资源和长期开发利用的一些成功经验是这种合作的坚实基础。

云南省对生物资源的开发利用有其得天独厚的优势，丰富的生物物种是开发利用的物质基础，而且，适生环境宽，以宜于作开发利用和保护山地的材料为特点。所以建议搞国际化的种苗公司，首先面向国内，有意识、高价值地推广种质资源。

我们对森林资源的利用要改变过去那种一味卖木材的坐吃山空的经营方式，注意森林的多重功能。森林生态系统既是人类的摇篮，也是早期人类的衣、食、住、行的天地，今天它仍在给予我们很多的益处。作为努力成为生态系统调节者的人类，在利用森林资源时，就应考虑到它的多种功能。在保护好防护林、水源涵养林等的前提下，合理而有限度地经营好用材林。但利用这类森林就要有综合利用的观点。除了着眼于木材之外，还要看到森林是陆地生态系统中面积最大、结构最复杂、功能最稳定、生物量最高的生态系统。在木材的经营上，一定要坚持采伐量小于生长量的原则，学习林业先进国家，提高“三剩”利用率，发展森林化工，研究树皮、树叶等的化学价值；森林中的其它生物资源的开发利用要得到应有的重视，森林内的动物、微生物、菌物类以及野生药物、水果等的价值较之单纯的木材价值还要高。因此加强森林资源的综合利用势在必行。

针对交通运输问题的一个对策，应是大力发展花卉、香科、药物等价昂、质轻、易运产品，这样，便于运输，同时产品价格不菲。另一方面，还要搞好初级产品的深加工，开展综合利用，提高产品档次，增加附加值和含金量，这更是解决运输问题的根本之所在。

橡胶引种于 1904 年，真正大发展始于 50 年代，现已遍及云南省南部 7 个地州 28 个县市。迄今，天然橡胶生产已成为继烟、糖、茶之后的又一新兴种植业。但是，我们应记取 1975—1977 年三年寒害的深刻教训。今后发展橡胶除了加强抗寒品系的培育和高地耐寒胶树的引种外，还应特别重视小环境的选择、植胶方式的配置。而胶茶混种就是一个较成功的经验。

烟草是单一用途的产品，只能用于加工卷烟和其它烟制品，其发展取决于自身的质量和卷烟工业的需求。云南烤烟和卷烟由于产品质量良好，占我国较大的烟草市场份额，尤其是名特优产品。从 1987 年开始，云南部分卷烟出口东南亚和日本，受到较好评价，有一定的市场前景。烟草一直是云南省

财政的重要源泉，外边戏称我们是“烟财政”。但是我们应该看到，从经济角度看，过分依赖单一支柱产业是危险的。另外，目前世界范围内政府行为性的禁烟运动和人们环保意识的增强，将使烟草行业逐步变得步履艰辛。因此，把云南省生物资源利用的优势产业逐渐换个顺序是势在必行。茶、糖于人是百益而无一害的“甜蜜事业”，目前云南省又有相当基础，可以替代烟草而成永久性的头等“支柱”。

如前所述，云南的动物种类也是以其丰富而享誉全国的。种类的多少固然是资源利用的基础，但并非每种动物都有利用的价值。欲构成一个可利用的资源动物，必须具备三个条件：（1）资源数量较多；（2）分布范围广；（3）利用价值大。根据这些原则，下面几项可资参考：

猴子：灵长类是人类的近亲，也是主要的实验动物。全世界每年需要大量的实验动物，而灵长类的使用是有严格限制的。全国每年需要上万只纯种猕猴作医学实验，云南省是猕猴资源最多的省区之一，且分布较广。由于近年的乱捕滥猎，云南省猕猴资源受到很大破坏。因此，很有必要扩大灵长类人工饲养、繁育基地，育成大量纯种，以扩大这些动物的纯种种群，满足生产和科研的迫切需要，同时也可成为一项极有市场前景的产业。

麂子：云南的革用兽类以麂皮最多，21年平均年产17万余张，占全国总收购量的70%以上。云南麂皮在外贸上很有名气，俗称“云贵路”，以皮张大，皮板壮实、韧性大、色泽好而著称，售价较高，加强对它的人工饲养是大有可为的。麂皮是云南省的主要出口畜产品，全国的麂皮均由云南省统一对外经销。它是光学仪器工业和制革工业的重要原料。商品皮价格很贵，但我国都以原料皮出口。原因是目前国内鞣制技术不过关。对于这样一项大宗畜产品，如果国内有关单位能承担并协作攻关，解决鞣制和精加工技术，变原料皮出口为商品皮出口，将大大提高这项产品的经济效益。

鸣禽：云南所产的传统观赏鸟类有画眉、红嘴相思鸟、银耳相思鸟、八哥、鸚鵡、朱雀、金翅、绣眼鸟等种类，多为能歌善唱的鸣禽。根据资料，1980年的广州某出口鸟雀收购站出口笼养观赏鸟149,972只，某省驻广州出口鸟雀站出口733,833只。可见笼养观赏鸟的出口量是比较大的。随着国内人民群众生活水平的提高，许多人喜欢饲养笼鸟，作为业余闲情逸致的乐趣，城市中的鸟市越来越活跃。总之，这也是一项大有可为的生物资源开发产业。云南又是多种鸟类的迁移通道，要注意许多“鸟吊山”的保护，避免借机滥捕，仅供食用。

微生物的利用范围较广，几乎涉及我们生活中的诸多领域。这里，重点讲讲对于林业和农业这两大产业的作用。主要应结合森林更新，加强林下菌物的利用和农林综合系统中的肥源问题，这方面，首推菌根资源和放线菌资源。对优良菌种予以分离和获得专利，成为商品菌种加以推广，对云南省的农业和林业极为有利。

针对生物资源开发利用中存在的诸多问题，有一点是较为明显的。即在开发利用的科研和资金投入上，主要仍然靠政府财政支持，科研经费明显不足。多数生产企业普遍缺乏依靠科技进步求发展的战略眼光。如在对潜在优势生物资源开发的中间试验环节特别薄弱，非常需要资金支持，也需要一定的周期和承担一定的风险，但普遍存在的“短期行为”阻碍了对这一投入的积极性。另一方面，对很多带有综合性、前期性的研究工作，往往难以得到应有的重视，在经费上更难得到支持。这两方面将严重阻碍生物资源深层次

的开发利用，所以急需政府的协调和支持。

一切开发利用，必须禁止竭泽而渔、杀鸡取卵、锯树捉鸦的愚蠢做法。紧接的就是回到前面开宗明义的话题上，即处理好生物资源的开发利用和生物多样性的有效保护的关系，是生物资源开发利用中应始终遵循的原则。

面向 21 世纪的生物技术

郑国锷

兰州大学

郑国锷 植物细胞学家。1914 年 3 月 30 日生于江苏常熟。1943 年毕业于国立中央大学博物系。1950 年获美国威斯康星大学博士学位。历任兰州大学生物系教授、系主任，曾任中国细胞生物学学会副理事长，中国大百科全书生物卷细胞学副主编。1980 年当选为中国科学院院士（学部委员）。主要从事植物细胞学研究和教学。

由于生物技术为在农业、医药、食品、化工、环保和能源等方面的发展带来重大变革，因此在人类社会即将进入 21 世纪的今天，世界上几乎所有国家都在制定战略计划，投入巨额资金，推动生物技术的产业化。据有关人士预测，在 2000 年到来时，全世界生物技术产业市场销售额可达 1000 至 1500 亿美元。日益发达的生物技术产业，将在世界经济的发展中产生不可估量的作用。我国也不例外，党的十四届五中全会通过的关于制定“九五”计划和“2010 年远景目标的建议”中提出了从 1997 年起的 15 年中，经济建设的重点之一是加强农业，要抓好开发与推广、发展包括生物技术在内的高技术及其产业，并加强基础性研究，使科技与经济更紧密结合。这幅跨世纪蓝图显示我党要把 21 世纪的中国建设成一个富裕的、现代化的社会主义国家。

在 21 世纪，高科技发展的热点领域之一是现代生物技术中的遗传工程。遗传工程有狭义和广义之分。狭义的遗传工程就是基因工程；广义的遗传工程是指所有能改变生物体遗传性状的技术。基因工程起始于 70 年代，首先是由分子生物学家研究并掌握了分割和拼接遗传物质脱氧核糖核酸（简称 DNA）的技术，其后应用到各个方面。已通过这种技术，使细菌产生胰岛素和人类生长激素，并能提高乳牛的奶量，还能将抗御病虫害的特殊基因注入到马铃薯、玉米、棉花等农作物中。近年来医务界已治愈了几种可能致人于死亡的酶缺乏症（几种遗传病），并且几乎每周都能发现引发某种疾病的基因。

现代生物技术的要点是，在分子或细胞水平上进行基因操作，克服自然界物种之间遗传物质不能转移交换的障碍，定向地改变生物的某些性状，因而可能大幅度提高农产品的产量与质量，以及农业资源的利用率。我国自 70 年代初生物技术开始起步，广泛开展了农业和医药生物技术的研究与应用，并取得了显著的效果，表现在下列几个方面：

1. 植物组织与细胞培养、快速繁殖

植物种苗组织培养快速繁殖，已开始商业化生产。建立了马铃薯、香蕉、甘蔗、兰花、月季、苹果、葡萄等快速繁殖技术与脱病毒技术，并已大面积推广应用，增产效果十分显著。

2. 植物细胞工程育种研究

这项研究已进入大面积示范与应用。利用花药培养育成的小麦、水稻、油菜、烟草等新品种，累计推广面积达 3000 多万亩，产生了巨大的经济效益。

3. 抗病虫害转基因植物研究

这项研究也取得了一些进展。已育成一批抗病毒的烟草和蕃茄品系，并进行了大面积试验示范。转基因抗虫杨树、棉花和玉米也在田间试验成功，

都能增加产量并保证质量。另外，还有转基因的马铃薯，既能抗细菌性青枯病，又能提高蛋白质含量，也进入田间试验。最近，我青年科学家又克隆主要粮食作物水稻白叶枯病广谱抗性基因成功，将大大推动水稻抗病育种进程。

4. 动物胚胎工程

这项新技术的成功，开辟了家畜良种繁殖的新途径。已建立绵羊、山羊、奶牛、家兔等动物胚胎分割、胚胎克隆与体外受精等新技术，并成功地建立了试管牛、羊繁育技术体系。

5. 转基因动物研究

这项研究也进展迅速。例如，通过生长激素基因的转移，已获得快速生长的猪及其后代。转基因的鲤鱼生长也很快，现已进入中试阶段。

6. 基因工程药物和疫苗研究

这项研究已显示出良好的应用前景。例如，用基因工程技术获得了干扰素、人生长激素、白细胞介素-2、人表皮生长因子等药物。又如，马传贫、口蹄疫、猪瘟、鸡新城疫等几十种单克隆抗体已研制成功，其中部分已制成单抗试剂盒，用于家畜家禽病害的鉴别和诊断。幼畜腹泻注射与口服基因工程疫苗已开发应用，痘病毒、马立克病毒等重要畜禽病毒载体与抗原基因的研究取得了显著进展。

以上所述只是刚刚开始，其中某些项目的研究水平虽居国际领先，但总的来讲，与国际上比较还有一定的差距。

国际上生物技术发展的新动向

1. 基因治疗

随着人类对基因研究的不断深入，发现许多疾病是由于基因结构与功能发生改变所引起。研究人员不仅能发现有缺陷的基因，还将开始掌握如何进行对基因诊断、修复、治疗和预防，这是生物技术发展的前沿，其成果将对人类的健康和生活带来不可估量的利益。所谓基因治疗是用基因工程的技术和方法，将正常基因转入病患者的细胞中，取代病变基因，从而表达所缺乏的产物，或者通过关闭或降低异常表达的基因等途径，达到治疗某些遗传病的目的。1990年美国进行了第一例基因治疗，对两个4岁和9岁女孩由于体内腺苷脱氨酶缺乏而患严重联合免疫缺陷症进行基因治疗获得成功。现在（1995年）这两个女孩已9岁和14岁，都在上学。这一开创性工作标志着基因治疗已经从实验研究过渡到临床试验。1991年我国复旦大学薛京伦教授主持的实验室与上海医院合作进行了国内首例B型血友病的基因治疗临床试验获得成功。血友病B的症状是鼻子出血、关节出血。鼻子一出血就要输血，一年要发生六七次自发性鼻出血。这种遗传病是由于凝血因子基因缺陷，不能分泌凝血因子蛋白所引起的。基因治疗是将人凝血因子的基因经反转录酶病毒为载体导入患者自身的成纤维细胞，随后将此经过转化的细胞，通过皮下注射入患者体内，获得了凝血因子的成功表达，使血液中的凝血因子蛋白增加到正常人的浓度，就可使症状减轻或消失。目前，已发现的遗传病有6500多种，其中由单基因缺陷引起的约有3000多种。因此，遗传病是基因治疗的主要对象。

基因治疗的最新进展是即将用基因枪技术于基因治疗。其方法是将特定

的 DNA，用改进的基因枪技术导入小鼠的肌肉、肝脏、脾、肠道和皮肤获得成功的表达。这一成功预示着未来人们可能利用基因枪传送药物到人体内的特定定位点，以取代传统的接种疫苗，将用基因枪技术来治疗遗传病。

目前，科学家们正在研究胎儿基因疗法，其治疗程序：首先将上述有“严重联合免疫缺陷症”家族病史的孕妇检测其 12 周胎儿，确证患有这种遗传病的缺陷基因后，胎儿自第 16 周后接受基因治疗，从脐带提取胎儿细胞，并用基因工程技术处理无害病毒加上健康基因“感染”这些胎儿细胞，然后把它们注入正在生成免疫系统的胎儿体内，取代缺陷基因，出生的婴儿通过检测证明，未发现“严重联合免疫缺陷症”征兆。如果这一初步试验疗效得到进一步确证，就有可能将胎儿基因疗法扩大到其他遗传病，以防止出生患遗传病的新生儿，从根本上提高后代的健康水平。

2. 基因工程药物研究

第二个值得注意的动向是基因工程药物的研究。开发的重点从蛋白类药物，如人胰岛素、人生长激素、促红细胞生成素等大分子蛋白质，转移到寻找较小分子的蛋白质药物。这是因为蛋白质分子一般都比较大大，不容易穿过细胞膜，因而影响其药理作用的发挥，而小分子药物在这方面具有明显的优越性。另一方面，对疾病的治疗思路也开阔了，从单纯用药物发展到用基因工程技术或基因本身作为治疗手段。

目前，还有一个需要引起大家十分重视的问题，就是过去被征服的许多传染病，由于病菌产生了耐药性，又卷土重来。世界卫生组织通报，全球肺结核病危机。本来即将被消灭的结核病又死灰复燃，出现了多种耐药结核病，据统计美国 1985—1992 年结核病患者增加 20%，意大利增加 27%，瑞士增加 28%，每年有 300 万人死于结核病。因此，科学家指出：在世界很多地方，细菌又兴风作浪了。在今后一段时间内，会有数以百计的感染细菌性疾病的人将无药可治；同时病毒性疾病日趋增多，防不胜防。不过与此同时，科学家们探索了对付的办法，即在人体、昆虫和植物种子中找到一些小分子的抗微生物多肽。例如，在人体血液内的一种白细胞，叫作多形核中性粒细胞内存在的人防御素，就是属于这一类小分子多肽，分子量小于 4000，仅有 30 多个氨基酸，它具有强烈的广谱杀伤病原微生物的活力，对细菌、病毒、真菌等病原微生物能产生较强的杀伤作用，有可能成为新一代的“超级抗生素”。除了用它来开发新的抗生素外，这类小分子多肽在农业上用于培育抗病作物新品种，为此，引起国内外科学工作者的关注。

近年来，我们围绕人防御素-1 基因工程，开展了以下几方面的工作：

- (1) 建立了人中性粒细胞防御素-1 的 cDNA 克隆；
- (2) 通过农杆菌介导的方法，将人防御素-1 (HNP-1) cDNA 片段导入烟草；
- (3) 初步证明了人 HNP-1 在烟草植株中的表达；
- (4) 初步证明获得的转基因烟草对烟草花叶病毒 (TMV) 侵染有一定抵抗力。

基因工程药物，往往就是这种重组 DNA 的表达产物。随着我们对人体本身的了解、不断深化以及分子生物学与其专门技术的迅速发展，基因工程药物已不仅仅局限于蛋白质这一类，广义地说，凡是在药物生产过程中涉及用基因工程的，都可称为基因工程药物，它具有十分诱人的前景。

3. 加快农作物新品种的培育

这是第三世界发展中国家发展生物技术的一个共同目标。我国农业生物技术的研究与应用，已广泛开展，并已取得显著效益，前面已经讲过。今后我国的农业生物技术，要把重点放在主要粮食作物的高产、优质、提高抗病虫害的能力等方面。植物基因工程和细胞工程在这方面比常规育种技术有明显优势和巨大潜力，应利用这些新技术加速培育粮食作物新品种，为实现我国在本世纪末新增粮食 1000 亿斤的宏伟目标而努力奋斗。

4. 分子进化工程的研究

分子进化工程是继蛋白质工程之后的第三代基因工程。它通过在试管里对以核酸为主的多分子体系施以选择压力，模拟自然中生物进化历程，以达到创造新基因、新蛋白质的目的。

实现试管里的“达尔文式分子进化”，必须通过三个步骤，即扩增、突变和选择。扩增是使所提取的遗传信息（DNA 片段）分子获得大量的拷贝；突变是在基因型水平上施加压力，使 DNA 片段上的碱基发生变异，这种变异为选择和进化提供原料；选择是在表型水平上通过适者生存，不适者淘汰的方式固定变异。这三个过程是紧密相联的，缺一不可。

近年来建立的“试管里定向进化”的方法简述如下：

- （1）用化学方法合成核苷酸顺序变异体的分子库；
- （2）给分子库施加压力，以选择其中符合实验要求的分子；
- （3）对选择出来的数量很少的片段，用 DNA 聚合酶链式反应（PCR）技术进行扩增。

现在已应用此方法，通过试管里的定向进化，获得了能抑制凝血酶活性的 DNA 分子，这类 DNA 具有抗凝血的作用，它有可能代替溶解血栓的蛋白质药物，来治疗心肌梗塞、脑血栓等疾病。

加快甘肃省生物技术发展的对策

1. 因地制宜，发挥优势，发展支柱产业

联合国教科文组织一位生物技术专家阿尔贝·萨松认为：发展中国家生物技术的优势在植物生物技术上。我国的生物技术产业化发展进程也证实了萨松的这个观点。因此，我省近期生物技术产业化发展的重点仍应放在植物细胞工程育种、植物快速繁殖和脱毒苗的生产等生物技术上，发挥我省的优势。

甘肃丘陵山地很广，利用这些地区种植木本粮油植物，生产木本粮油食物应作为优先考虑的项目。快速繁殖良种木本粮油植物，干鲜果植物，如板栗、山楂、杏、枣、银杏、橡子、榛子、核桃、文冠果、杜仲等，在甘肃省大部分山区都可种植，而且可以节约米、麦粮食，经济效益高。例如，我国每年工业用粮（米、麦）80—90 亿公斤，仅上海市纺织工业每年用粮 2000 余万公斤（相当于 10 万人一年的口粮）。在纺织工业可用橡子淀粉来代替，并可增加纱的牢度，还有防腐作用。如果本世纪末工业用粮中的 50%—60% 用橡子淀粉代替，则每年可换出粮食 50 亿公斤。出口 1 亿公斤板栗，可换回小麦 10 亿公斤，可直接增加粮食产量，因此可以引进一批良种，用植物组织培养方法，进行良种的快速繁殖。这项新技术，仅应用极少量的需要引进苗木的茎尖或芽，在较短时间内繁殖大量苗木；例如，仅需要板栗、橡子、山楂、核桃或枣树等良种的一个芽，经过一年时间可繁殖 10 万余株苗木；同时

占地也不大，在一间 10 平方米的培养室中，一年至少可繁殖 20 万株试管苗，可实现工厂化育苗。这种育苗既不受季节和外界环境条件的影响，又可选育出优良性状的苗木品种，利用这些良种，就可进行工程造林和立体栽培经营。所谓立体栽培经营是同一块林地上栽培两种或两种以上的植物，利用它们之间的不同生物学和生态学特性，组织多层次的复合植物群落，充分利用阳光能和地力，提高效益。

关于应用现代生物技术，研制医药食品方面，甘肃省也有一定的基础。例如，甘南藏族自治州农业科学研究所的《冬虫夏草人工保护培育试验研究》课题，全人工培育冬虫夏草获得成功，为我国保护利用虫草资源提出了新途径。天然冬虫夏草的“冬虫”是虫草的寄主鳞翅目蝙蝠蛾类昆虫的幼虫，生长在土壤中；“夏草”是麦角科虫草属真菌。这种真菌寄生在寄主蝙蝠蛾的幼虫体上，从幼体上生长出地面为虫草菌丝子实体即为“夏草”。其有效成分为地面部分的草而非地下的虫，与人参、鹿茸并列为三大补品。这项工作除甘肃省外，广东新会也进行，而且走在甘肃省的前面，正在从试管走向世界。他们运用现代生物技术，进行菌种分离、纯化，而后接种于试管内模拟虫体的培养基上，诱导出“夏草”（虫草子实体）。据报告，新会的虫草有效成分远高于市售的天然冬虫夏草，其虫草素含量高出天然的 61 倍，现已进行工厂化生产，产品已在日本、美国、新加坡、台湾等国家和地区试销，这表明新会虫草是具有广阔应用前景的生物技术产品。但新会虫草技术与日本开发出的培育“冬虫夏草”技术相比，又落后了一步。他们已确立了菌系培养技术，开发出的 1500 立升培养容器，进行液体发酵罐培养，产品价格便宜，药效比天然的强。目前，甘肃省的人工培育“冬虫夏草”从资源保护利用方面占有优势，但从技术上看还将采用现代化生物技术，进行工厂化生产，才能形成支柱产业，远销国内外。

2. 人才培养

发展农业生物技术需要大量优秀人才。目前甘肃省的情况是只有少量生物技术研究人员，分散在大专院校及科研机构中，广大农村缺少这方面的人才。为此建议在甘肃省有条件的单位开办生物技术研讨班，招收农村高中毕业生，学习 1—2 个学期，回乡以后，可根据当地情况，因地制宜的选择 1—2 种植物，开发生物技术产品。这在国内已有先例，一个产品就可振兴一个乡的经济，以“生物技术兴乡”是大有希望和前途的。

生物技术产品的研制开发、生产和销售，也需要实行合理分流，建立一支强有力的科技企业队伍，实行社会化的研究—开发—生产—销售一体化。这是发达国家生物技术发展的一条成功经验。

3. 成立专门研究开发生产机构

在生物技术产业化发展过程中，不仅需要各类人才，还应设立专门机构来协调解决在生物技术研究 and 成果转化为产品的开发生产中所出现的问题。为此建议在省科委下，成立省生物技术指导委员会，负责咨询、监督甘肃省“九五”生物技术规划的执行，以及各单位之间的协调和合作，并使研究与产业有效地衔接起来。

4. 大力推行科普教育

加强科普教育要与经济建设和社会发展结合，针对不同层次，把握重点。甘肃省科普教育的重点：（1）要结合农业生产实际，以广大农村干部群众普及传播推广先进、适用的生物技术和知识，用生物技术脱贫致富，为农业上

新台阶服务；（2）对各级领导干部的科普，重在提高他们的科技意识，了解科技发展趋势，进一步落实“科学技术是第一生产力”的思想，并转变为决策行为。

为了改善科普的工作条件，甘肃省财政要增加经费的投入，增加省科协的科普宣传车辆，采取有效的形式大力开展生动活泼的科技宣传。要注意发挥省级学会和农村专业研究会等基层科技组织的作用，高举科学的旗帜，清除愚昧落后，同一切反科学、伪科学现象作坚决的斗争。

从人类与自然协调共存谈害虫的自然控制

张广学

中国科学院动物研究所

张广学 昆虫学家。1921年1月31日出生于山东定陶。1946年毕业于中央大学农学系。历任农林部棉产改进处技佐、中国科学院动物研究所副研究员、研究员等职。1991年当选为中国科学院院士(学部委员)。对蚜虫分类和演化作了系统性的研究。

马克思、恩格斯早在一百多年前就强调人类与自然协调发展。1972年联合国召开的人类环境会议上提出了“我们只有一个地球”的口号,并通过了《人类环境宣言》。1992年6月联合国举办了“环境与发展”的世界首脑会议,通过了“里约环境与发展宣言”。呼吁人类携手保护地球的共同愿望,认识到包括人类在内的生物与地球的整体性和相互依存性,人类享有与自然协调共存、过健康而富有生产成果的生活的权利。走可持续发展的道路,谋求人类与自然协调共存,有着长期的战略意义。

一、发展面临的问题

随着经济的发展,人口膨胀对资源和环境造成了巨大影响,环境污染不断加剧,生态变化形势令人担忧。2000年前的中国森林覆盖率50%,现在仅有12%;丘陵裸露面积占2/3;全国水土流失面积达150多万平方公里,占全国面积的1/6;国土沙化面积达1.26亿公顷,盐化面积达0.27亿公顷。全世界约有1000万—5000万个生物物种,已知的仅有140万种,我国物种约占世界物种总数的1/10。目前物种的灭绝速度为自然条件下的1000倍以上,是地球史上的最高峰。在今后二三十年内,地球上受严重威胁的物种将占物种总数的五分之一。我国已有398种脊椎动物和1009种高等植物列入濒危物种名录。每一种生物往往与10—30种其它生物共存,所以任何一种生物灭绝都会引起连锁反应。按照我国有1009种植物濒危推算,会有1—3万多种生物的生存受到威胁。这种连锁式物种灭绝危机正在威胁着人类的生存基础。

地球上约有100多万种昆虫,有害的昆虫有8万余种,但真正造成危害的仅3千余种,在一个地区严重危害的也只有几十种。我国约有14万种昆虫,其中仅有少数是农林牧医方面的害虫;少数如家蚕、蜜蜂、紫胶虫、倍蚜、食品昆虫、药用昆虫和害虫的天敌是益虫,绝大多数是益害不显著的。近半个多世纪以来在人类防治害虫的历史里,单纯使用化学农药造成了许多不良后果。许多害虫对化学农药产生了几十倍甚至成百上千倍的抗药性,失去了敏感性;主要害虫如稻飞虱、棉蚜、麦蚜等数量急剧下降后又突然回升,造成更大危害;引起次要害虫如棉铃虫等在其天敌被杀死后突然暴发成灾;对非防治目标物种如天敌、传粉昆虫和野生动物造成有害影响;污染土壤、水域、大气和动植物产品。这是因为我国目前年生产化学农药以有效成分计达20万吨,而农药的使用通常有一半以上的剂量从使用处漂移到很远的地方,部分落在植物上或农田中,只有不到1—5%的剂量降落到害虫等被防治对象

上。环境污染非常严重，产生了害虫的危机。全国每年因病、虫、草和鼠害的损失约占粮食产量的 10—15%，棉花产量的 15—20%，水果蔬菜的 20—30%。每年的经济损失达数百亿元。

因而，人类必须谋求与自然协调共存，走可持续发展的道路。我国的 14 万种昆虫，除其中已知的 4 万种外，尚有未被认识的大量昆虫，应该加速研究，分门别类，查清这批资源，以调节互惠互利关系，使之有利于与人类协调共存。

二、人类与昆虫共存

大多数昆虫不直接危害人类，甚至也不直接危害植物和驯养的动物。即使它们取食某些植物或动物后，被取食生物常可得到补偿或超补偿，所以并非害虫。生物物种间还有一种食物链或食物网关系，是一种互相依存、互相竞争的关系。取食野生动植物的昆虫益、害通常不明显，作为当地生物群落中食物网的不可缺失的成员，作为害虫天敌的食料，它们在维持当地生态自然平衡中起着重要作用，应该被当作野生动物和生物多样性的成员受到人类的保护。反之，如果我们肆意破坏这种平衡，从表面上看，受害的是野生动物，从深层看，受害的是生物系统的食物网络成员，最终是人类自己。所以要保护生物多样性，保护人类的环境，应该促使作物和作物品种多样化，绝不滥用杀虫剂。

三、昆虫资源的合理利用

昆虫是地球上最繁荣昌盛的生物之一。且不说美国人 Erwin 曾推测世界昆虫种类有 3000 万种，英国博物馆曾推测将有 1000 万种，亦不说中国会有 100 万种昆虫，仅按中国现有已知昆虫 4 万余种，至少尚有 10 万种有待记述开发来说，除少数种类为害外，这些种类的昆虫大都是直接或间接有益于人类的昆虫资源。

天敌昆虫是害虫的克星。许多昆虫在其发源地，在它们天敌生物的克制下，并不造成危害，而作为次要害虫存在。一旦人为传播或自然传播到远方，由于其天敌生物没有跟随传播，往往失控，形成灾害。例如葡萄根瘤蚜和马铃薯甲虫从北美传到法国，麦双尾蚜、苜蓿彩斑蚜传入美国，吹绵介壳虫从澳大利亚传入美国等，都曾造成灾害，往往需要从原产地把害虫的克星——天敌引种进来，同时把抗虫作物品种引种进来，才得以免灾。因此，天敌昆虫资源的保护利用有着广泛的前景。

经济植物以虫为媒。我国蜂蜜和蜂王浆等蜂产品年总产量和出口量均居世界第一位，其中蜂王浆产量占 80%。养蜂业是农村的重要副业。蜜蜂为果树、油菜、油茶、蔬菜和西瓜授粉，使作物产量倍增。野生蜜蜂以及蜜蜂总科的许多种蜂类和许多蝶、蛾、蝇、虻等访花昆虫，都起着传粉作用。

昆虫食用。国内记载供人类食用的昆虫有蚂蚁、龙虱、蜜蜂幼虫、黄蜂幼虫、各种蚕蛹、蝉蛹、蝇蛆、各种蚱蜢、各种蝗虫、多种蝴蝶或蛾类幼虫和蛹、蟋蟀等数 10 种；此外国外另记载有甲虫、白蚁、田鳖、水螭、蟑螂、螳螂等，仅墨西哥一国即记载 370 余种为食用昆虫。昆虫作食物营养丰富，其蛋白质含量有的占干物质的 52% 以上，含有人体所需的多种氨基酸，尤其

是人类不能自行合成的赖氨酸、苏氨酸、蛋氨酸等；还含有多种酶、维生素、磷脂和微量元素等。其营养丰富，常优于鸡鸭鱼肉，是优良的滋补保健食品，常被视为美味佳肴。据记载，世界 34 目昆虫中有 22 目 500 余种已被人类食用。仅日本国 1992 年昆虫食品规模已达 2600 亿日元之巨。

昆虫药用。我国早有食药同源，寓医于食的传统。上述食用昆虫所含的多种氨基酸、酶、维生素和微量元素等生物活性物质，就有增强心脏功能、防止动脉硬化、调节肾功能、抗肿瘤、增强免疫力和抗衰老等功效。《本草纲目》中记载药用昆虫 73 种，后来增至 79 种，这些药材在中药药方配伍中尚在广泛应用。其中冬虫夏草、土鳖、蟋蟀、桑螵蛸、九香虫、蜂毒、蜂蜡、蜂巢和蚂蚁应用较广。

昆虫在工业上的应用。我国南方许多省盛产的白蜡虫、五倍子、紫胶虫都是供不应求的重要工业原料。我国 1994 年白蜡虫产量占世界 90%，紫胶生产居世界第 2~3 位。我国家蚕丝和榨蚕丝的产量在世界上占有优势。如 1990 年蚕丝产量占世界总产量的 65%，榨蚕茧产量占世界总产量的 75%，其他如天蚕、蓖麻蚕和樟蚕丝有待开发利用。野生的柞蚕、乌桕蚕、银杏大蚕及琥珀蚕等也有利用的前景，有待研究开发。

四、农林害虫的自然控制

前文业已提到昆虫是当今世界上最昌盛的动物类群之一，它们大多数有益于或无害于人类，只有极少数害虫在达到经济危害阈限后才造成经济损失。在此之前，它们的存在是作为生物群落成员、食物网的成员存在的。它们是害虫天敌不可缺少的食物来源，它们的取食甚至可以刺激植物迅速生长，使植物获得补偿或超补偿。如何保持害虫数量在经济危害阈限以下，使害虫益化，与人类协调共存，这是人类急待解决的问题，是明智之举。我们既不能有恐虫病，也不能不允许在我们环境中昆虫存在，不能设想把害虫一个不留的消灭掉，这既无现实的可能性，也没有这种必要；我们也不能陷入滥用化学杀虫剂，造成恶性循环危机，引起主要害虫加重猖獗，次要害虫上升为大害虫，非目标生物被大量毒杀，以及环境污染等不良后果。我们必须走可持续发展的道路，谋求人类与自然协调共存，走保护生物多样性，自然控制农林害虫的道路。

1. 利用植物的抗害性自然控制害虫

这是一件最根本的，也是最佳的措施。寄主抗性常是最有效和最持久的，如果是多基因抗性则使有害生物难以形成生物型来对抗植物的抗性。例如陕西关中推广“西农 6028”抗小麦吸浆虫品种，迅速将这一大害虫的为害损失率从 30%以上，压低到 2%以下。又如山荆子 67 作嫁接苹果的砧木，对检疫害虫苹果绵蚜免疫。北美葡萄作嫁接欧洲葡萄的砧木，对检疫害虫葡萄根瘤蚜有高抗性，此法曾在法国控制该蚜成灾中立过功。此外国际上还用抗性成功控制了苜蓿斑蚜、黑森瘿蚊、玉米穗夜蛾和稻螟等大害虫。我国粳稻 79122、复粳及籼稻 IR4 对二化螟有中等抗性，粳粳 89、浙丽 1 号、Pi661020、IR8608821313、IR36、密阳 54、水源 290、湘早粳 3 号、药用野稻、秀水 620、秀水 664 对褐飞虱、黑尾叶蝉、白背飞虱或稻瘟病、白叶枯病等有单抗性或多抗性。棉花抗蚜和抗棉铃虫品种选育成功；红叶芥、咸阳 74 - 1、甘油 5 号、华油 9 号、秦油 3 号及秦油 2 号等油菜品种对油菜几种蚜虫有较强的抗

耐性。还有一些其他抗虫品种和更多的抗病品种的报道。它们有的对一种或多种有害生物免疫，有高抗性或中抗性或强耐性。有的虽然只有中等抗性，但可以延缓有害生物的发育速度、降低其成活率和繁殖率，有利于与田间天敌协同作用。抗虫品种常可减少施药次数有利于保存天敌。据报道昆虫的取食可诱导植物对害虫产生植物防御素、人工提取或合成这类物质，施于田间，有望提高植物的抗虫水平。

2. 利用害虫的天敌自然控制害虫

此法便宜有效而且往往有持续效果。在世界范围内业已成功的用来控制 130 余种害虫，其中利用寄生性天敌成功的就达 115 例。在稳定的生态系统，如森林、草地、果园和公园里，生物防治一般是最有效的。在半稳定的生态系统，如苜蓿地也是有效的，而对一年生作物也有成功的机会。1980 年以来我国已从国外引进害虫的天敌 225 种次，业已取得丽蚜小蜂控制温室白粉虱、盲走螨控制苹果叶螨等显著效果。国内用生物防治农作物病虫面积已达 24 万多公顷次。防治玉米螟、松毛虫和棉铃虫等鳞翅目害虫的赤眼蜂，已建成人工寄生卵半机械化生产线，日产 4800 万头赤眼蜂，放蜂治虫面积 5 年累计达 1300 多公顷。1991 年东北三省利用赤眼蜂防止玉米螟面积达 47 万公顷。不少省县在冬闲田种绿肥、在田埂种豆类，收割麦、稻时留高茬，都有利于天敌蜘蛛及其他天敌栖息取食，以利天敌外迁。在苹果园、柑橘园中种草或留草，以提高生态系统的丰富度，有利于小花蝽、捕食螨等天敌大量繁殖，向果园不断提供天敌虫源，成功的控制了叶螨的危害。目前在稻、麦、棉、果、菜、茶田推广保护利用天敌措施防治害虫面积达 1000 万公顷。我国苏云金杆菌 *B.t.* 在十多个省建有 *B.t.* 工厂。*B.t.* 制剂年产量 1991 年已增至 4000 吨以上。全国使用面积达 100 余万公顷。防治害虫有鳞翅目、双翅目、鞘翅目等 40 多种，包括小菜蛾、菜青虫、玉米螟、稻苞虫、稻纵卷叶螟、蜡螟、大豆天蛾、松毛虫、棉铃虫、尺蠖类及刺蛾类害虫，它对其他生物无毒。非洲利用白僵菌及绿僵菌制剂防治蝗虫成功。我国白僵菌生产基本上具备工业化生产条件，研制成功的 500 亿孢子/克可湿性粉剂，1990 年在吉林和辽宁防治玉米螟示范 4660 公顷。近年对棉铃虫多角体病毒、油桐尺蠖多角体病毒、菜青虫颗粒病毒、斜纹夜蛾多角体病毒和茶毛虫多角体病毒等 10 多种昆虫病毒业已制成各种病毒制剂，防治试验应用达 6 万余公顷。利用昆虫病原线虫控制害虫。现主要用以防治栖境隐蔽的害虫。已知有 27 科线虫寄生于 16 目 3000 余种昆虫体内。以斯氏线虫属和异小杆线虫属为常见。其体内带有共生细菌，随线虫进入昆虫体内，造成昆虫败血症而死亡。线虫寄主广泛，可深入植物内部追踪杀死害虫，对人畜和天敌无害。线虫杀虫剂在欧、美和澳洲都已有注册商品。对一些甲虫类、白蚁类、蛾类和蚁类有良好防治效果。我国已引进苹果蠹蛾线虫和芜菁夜蛾线虫病源制剂，在山东、河南、广东和北京防治桃小食心虫、蔗龟、竹象、小木蠹蛾、多纹豹蠹蛾、荔枝龟背天牛及荔枝拟木蠹蛾等棘手的地栖性和钻蛀性害虫成功，其中防治苹果园桃小食心虫已超过 7000 公顷。并应用斯氏线虫试验，可侵染粘虫、甘蓝夜蛾、银纹夜蛾、向日葵螟、小菜蛾、白星金龟子和马铃薯 28 星瓢虫等重要害虫。泰山 1 号异杆线虫可使桃小食心虫及棉铃虫患败血症死亡。近来已利用病原线虫防治白蜡树、木麻黄、国槐和山楂树上占蛀性害虫木蠹蛾和多纹豹蠹蛾共 68 万株。1989—1992 年从日本引入花角蚜小蜂防治新害虫——松突圆蚧，放蜂 170 万头，覆盖控制松林面积达 25 万多公顷。

3. 利用昆虫生长调节剂和种间信息物质自然控制害虫

昆虫生长调节剂被称为第三代杀虫剂，具有选择毒性，对昆虫有效，对人畜安全。可抑制昆虫的几丁质合成，干扰昆虫的正常发育。如人工合成的抑太保、盖虫散、灭幼脲 1 号、取代基多、农梦特、优乐得、定虫隆、爱力螨克和卡死克等，有的可杀死卵、胚胎或幼虫，防治对象包括粘虫、小菜蛾、棉铃虫、海灰翅夜蛾、印度谷螟、象虫、光胸幽天牛、木薯粉虱、龟蜡蚧、日本松干蚧、致乏库蚊、家蝇和蜚蠊等，对防治棉、菜、果、观赏植物的螨、粉虱、蚜虫、叶蝉及某些鳞翅目害虫。它与生物防治、抗虫品种和农业防治相结合，保证高等动物安全，不污染环境。它也是杀白蚁的一类高效安全药物。昆虫性信息素既可以监测害虫发生，预报虫情，还可以在田间规模使用，干扰害虫的正常交配行为以达控制害虫危害的目的。国外利用性信息素在田间干扰害虫正常交配成功的例子有：棉红铃虫、二化螟、葡萄小卷蛾、苹果蠹蛾、小菜蛾、梨小食心虫及埃及棉粘虫等。目前我国已有棉红铃虫、棉铃虫、梨小食心虫、甘蔗二点螟和玉米螟等性信息素被广泛应用于虫情测报，并正在开展迷向法防治试验或示范。

种间化学信息物质的利用。植物、植食性昆虫及肉食性动物种间有化学信息物质。蚜虫分泌植物生长信息素使植物长成虫瘿，臭椿放出臭味将天敌驱走，这些称为利己素。蚜虫排出蜜露引诱天敌取食产卵，这称为利它素。松针的气味引来松蚜危害，也引来天敌取食蚜虫，棉叶中富含石竹烯可以引来棉花害虫来危害；同时引来普通草蛉来取食棉虫，这些称为协同素。番茄释放甲酮、烟释放尼古丁、马铃薯释放藜芦碱，这些物质可触杀或拒避植食性昆虫，冲击天敌，这样对植物、害虫及天敌三者都不利。从选育农作物品种角度出发，力争减少新品种对害虫的吸引力，而增加对天敌有吸引力的化学物质，可以设想通过生物技术、遗传工程技术把某些上述信息化学物质结合到植物甚至捕食者或寄生者体内，利用不同信息素的作用，干扰害虫的取食和生殖行为，达到控制病虫害，繁殖天敌的目的。

利用昆虫辐射不育技术防治害虫。继 50 年代中期，美国在西印度群岛的库拉索岛大量释放经辐射不育的螺旋蝇雄虫，彻底防治当地牲畜大害虫野螺旋蝇获得成功后，80 年代中后期，在我国贵州省惠水县一个 30 多公顷 4800 株柑橘园中经释放 15 万头辐射不育的柑橘大实蝇雄虫，使柑橘被害率从 7.5% 下降到 0.005%，显示了良好效果。有利于自然控制害虫。

4. 利用植物性杀虫剂控制害虫

历史上国内外曾经使用辣椒水、烟草水、烟茎水、烟碱、接骨木液或胡桃液或蛇麻草浸出液、除虫菊、除虫菊精、鱼藤、鱼藤粉、鱼藤精、苦楝、川楝、植物油乳剂、矿物油乳剂、松脂合剂、肥皂水、洗涤剂水和浆糊水等植物性物质或制剂防治蚜、螨、蚧、蝻等吸食口器害虫甚至某些咀嚼口器害虫。近期对苦楝油和川楝素毒杀桔全瓜蚜和菜青虫开展研究，这类植物性杀虫剂大都不杀伤天敌或对天敌杀伤力不大，对人、畜安全，不污染环境。对茶、菜、果、药和观赏植物有较高的使用价值。但由于有些产量有限，稀释倍数较低，杀虫率和持续效果比化学杀虫剂低，近来对它们的开发应用十分忽视。实际上杀虫剂的首要目的是改变益害比，留下天敌，尽可能多的杀伤害虫，留下部分害虫作为天敌的饲料，这才是好策略。所以植物性杀虫剂的合理开发利用不容忽视。

5. 利用农业技术方法防治害虫

上述利用植物抗害性、天敌、生长调节剂和种间信息物质与植物性杀虫剂等生物物质防治有害生物以外，还有很多农业方法或技术可以防治害虫。

制定农业生产规划，区域性治理飞蝗。东亚飞蝗的根治与兴修水利、治理海河和治理淮河有密切关系。50年代至70年代以来，我国通过制定农业生产规划，治理海河、淮河，疏通河道，控制湖泊水位、排涝、蓄水、灌溉，使沟渠河网化，机耕开荒，绿化造林，扩大水田和旱田种植面积，提高耕作技术，改造农业环境，使适合飞蝗天敌生活，消灭了飞蝗产卵和繁殖的适生基地和隙地。同时开展群众性和系统性侦查蝗情和综合防治，达到了大面积根治蝗害的目的。近来海南岛农业环境条件恶化，成为东亚飞蝗的新生地，现已提出根治意见：建议恢复原有森林植被、兴修水利、提高复种指数和开垦撩荒地等，以改造飞蝗产卵发生繁殖的农业环境，结合药剂防治来综合防治这一大害虫。

农作物合理布局防治棉金刚钻等害虫。50年代中后期，云南保山潞江棉区，为发展长绒棉，曾利用当地四季温暖的气候优势，四季植棉，春播、夏播、秋播、冬播棉甚至宿根棉都有栽植。于是棉花蕾铃期害虫棉金刚钻类和棉红铃虫等许多害虫因食物因素极大丰富而大量发生，严重危害。每年打药17遍，每亩只能收几公斤棉花，入不敷出。在1960—1961年，经领导与农民同意，统一改变为春播棉一季棉栽培，其他季节恢复种植粮食作物。切断了害虫的食物链，一举控制了该虫的危害。

农业大规模经营带来防治害虫的效果。1958年公社化以后，农田连片大规模集体经营，小片土地的地埂地界连同棉红蜘蛛的越冬寄主被铲除，配合其他方法综合防治而在北方棉区长期控制了棉红蜘蛛的危害。同时集中在室外冷库贮棉，改变了原先的单家独户暖室贮棉，棉红铃虫得以在华北棉区安全越冬的状况，遂使该虫发生下降。

利用植物对害虫的耐害力和补偿功能控制害虫。应充分利用植物对非种子或非铃部分受棉虫危害的耐害能力和补偿功能。害虫早期对非收获部分的危害，常常有促进植物生长的作用，在害虫防治中要注意这一特点。例如在安徽棉区摘去7月上旬左右以前的全部早蕾，可以减少棉红铃虫第一代的虫源，收到减轻或基本控制二代棉红铃虫为害的效果。在华北棉区的一般年份，第二代棉铃虫期间，只要保住生长点，棉株有耐住损失7月上旬左右以前的蕾的能力，而且有补偿功能。又如油松被害虫吃掉25%以下的叶子，不但无害，反而刺激油松的生长，马尾松被害虫吃掉50%以上的叶子，才造成树高和直径生长的损失。

利用自然控制因素控制害虫。辽宁朝阳棉区利用当地沿河靠山植物种类，包括作物种类和天敌种类较多，历年棉蚜、棉铃虫发生不严重的优势，旨在利用天敌控制害虫和利用棉株对棉虫危害的耐害性和补偿能力制定了较宽的防治指标。由乡镇领导和农民共同协商，不达防治指标决不施药防治。结果出现了上万亩棉田未施药未受棉蚜和棉铃虫危害的好局面。

稻棉轮作，能恶化单食性及寡食性有害生物的营养条件和生活条件，促进农作物的健康生长。可减轻棉田的枯萎病的发生，使棉蚜和棉红蜘蛛等危害下降。稻麦轮作，可以减轻小麦全蚀病、根腐病的发生，减轻小麦吸浆虫和多种地下害虫的危害。同理，对于在土壤中生活的其他害虫或虫期（如棉铃虫蛹期）也可采取饱和灌水法防治。

禾谷类作物与大豆轮作可以抑制蚜虫类和大豆食心虫的发生。棉麦套

作、邻作或条带间作、棉油菜间作、棉绿豆间作、棉田内分阶段衔接间作少量油菜、春玉米、夏玉米等诱集天敌的植物，可保护、繁衍天敌，减轻棉蚜的发生危害。麦收时留高茬，可为套种的棉花多留下 1—5 成天敌。

保护天敌，害虫有克星。在实行各种耕作措施时都要注意不伤害天敌，特别注意选用内吸选择性农药，尽量采用涂茎、刷顶、根际使用等隐蔽施药方法保护天敌。在间苗、整枝打杈和拾毁落果时，尽可能使天敌免遭杀害。在灯光诱杀害虫、麦田灌水、绿肥田浇水或耕翻、前茬作物收割、处理秸秆或灭茬时都有大量天敌活动或隐藏，都应妥善安排，尽可能避免杀伤天敌，并采取保护措施。鸟类、蛙类、蜥蜴、刺猬和獾等都是捕虫或鼠能手，应尽力保护。

全球变化中的陆地生态系统研究

张新时

中国科学院植物研究所

张新时 1934年6月30日出生于河南开封。1955年毕业于北京林学院。曾任新疆农学院副教授、林学系主任。1985年获美国康奈尔大学博士学位。历任中国科学院植物研究所研究员、所长，中国植物学会理事长、中国林学会副理事长，中国自然资源学会副理事长，全国政协常委。1991年当选中国科学院院士（学部委员）。长期从事植被生态研究。

刚刚过去的1995年是有记录以来最暖的一年，全球年均温较近30年平均值高出0.4℃，夏季持续高温，热浪席卷北半球，中高纬度冬季异常偏暖，欧美冬季暴风雨成灾，南美与非洲持续干旱，亚洲洪水频繁发生……（国家气象中心年气候监测公报，1995），似乎是全球增暖的综合表征，尽管对这些异常的解释形形色色，然而全球增暖、温室效应与全球变化是近年来，不仅是学术界，而且是公众和政界所极为关心的热点。这是指由于近200多年来人类活动，尤其是工业化进程的迅速发展，所排放的温室气体，如CO₂，CH₄，N₂O，O₃，CFC等造成大气温室效应而导致全球增温，从而引起全球性人类生存环境与生态系统的反应与变化。据国际气候变化理事会（IPCC）根据大气环流模型（GCMs）的评估，到21世纪中叶（2030—2050年）CO₂在大气中含量加倍（560—600ppm）时，全球年平均气温增加1.5—4.5℃，平均2.5℃，降水可能增加7%—15%，因此而有较大差异。对此，学者们争论的主要问题是它们将于何时发生，幅度的大小和地区与季节分布的格局，而政府和公众最为关心的却是这对人们的生活、农林牧业生产、资源和生存环境将产生何等影响。

当前国际上对全球变化研究的重心与焦点已经转移到生态系统对全球变化的反应与反馈及其功能与过程方面。在国际地圈-生物圈计划（IGBP）中的核心研究项目“全球变化与陆地生态系统”（GCTE），已成为最为活跃和不断扩展的项目（Steffen et al. 1992）。

它包括以下四个研究焦点：

F1：生态系统生理学

——CO₂增浓的影响

——生物地球化学（碳、氮与其它元素）的变化

——陆地生态系统中水流、能流与物流的相互作用

——综合模型

F2：生态系统结构的变化

——斑块动态：种的功能类型与生态系统动态模型

——由斑块到区域的尺度转换

——全球反馈模型：静态与动态的全球植被模型

F3：全球变化对农业与林业的影响

——作物、森林与草场

——病虫害与杂草

- 土壤
- 农业系统模型

F4：全球变化与生态复杂性

- 全球变化对生物多样性与生态复杂性的作用
- 隔离种群的生活力
- 区域性与全球的综合

本文试图把国际学术界，包括我们自己在以下几方面所作的研究作一概述，以冀促进对这一问题的深入研究。

一、气候变化与陆地生态系统

1. CO₂ 增浓对生态系统的直接作用

一般来说，大气中 CO₂ 的含量增加会加强光合作用与生产力，增加根部的碳，提高菌根的活性与增强氮素的固定，从而促进植物生长。在 CO₂ 加倍情况下，许多植物的光合作用增加 50%—75%，树木与农作物生长也相应增加 50%—75%，农作物产量可增加 30%—50%。但 CO₂ 增浓对植物生长的加强却受到土壤养分与水分供应的限制。

根据植物同化 CO₂ 的代谢途径差异可以区分为不同的功能类型 (Functional Type) ——C₃, C₄ 与 CAM 植物。C₃ 植物对于 CO₂ 增浓的反应强于 C₄ 植物，因此 C₃ 植物的光合作用明显随 CO₂ 增浓而加强，但随着时间的延长则可能降低，在养分、水分与光照充足的情况下，植物对 CO₂ 增浓的正向反应最为明显，反之则受到限制。但是 CO₂ 增暖也存在着降低或抑制光合作用的方面，这可能是由于增强的光合作用引起在叶绿体中过多的淀粉积累而妨碍细胞器的功能。其次，在大量 CO₂ 的状况下，植物产生碳水化合物的能力一旦超过其将淀粉副产品转移到活动的生长部分的能力时，则某种生物化学的反馈可能减缓光合作用。再则，涉及到传输积累的碳水化合物所必须的磷，由于磷循环或许跟不上光合作用增加的速度，从而可能降低 RUBP 羧化酶的数量与活动性。

此外，CO₂ 的增浓还会导致植物叶气孔变小与植物呼吸作用与蒸腾作用强度的降低（与气孔变小或张度降低有关），从而减少水分消耗与提高水分利用效率 (WUE)，但后者却会因气候变暖而降低。植物的叶面积，根茎比与果实的大小则随 CO₂ 增浓而加大，但如果氮素供应不相应增加就可能导致植物碳氮比 (C/N) 失调，则昆虫需要采食更多的植物以满足其养分与需求。由于 C₃ 与 C₄ 植物对 CO₂ 增浓的反应不同还会改变植物种间的竞争关系。

2. 增温的作用

增温对陆地生态系统有正负两方面的效应。其正面的作用是延长生长季节，提高光合作用效率，增加土壤养分的释放率等，从而提高植物的产量，增温的另一个显著效果是使生态系统与农林业种植的界限向北或在山地向上扩展。一般来说，全球变暖对于冷湿的北方和高寒地区有较大的好处，因为

C₃ 植物同化 CO₂ 转为 3 碳的化合物，C₄ 植物则形成 4 碳化合物，后者通常适于温暖气候，CAM 植物通常为干旱区的肉质植物，它在夜间贮存 CO₂，而在白天进行同化。

在这些地区，低温是植物生产力的限制因素。

增温对植物生长发育的负作用主要在于增加水分消耗而引起干旱，并在受到水分不足胁迫的同时易于感染病虫害，从而使农作物严重减产或阻碍森林生长与更新。尤其在植物分布的南界或山地下限，增温使植物得不到足够的低温来刺激休眠，从而不能完成其发育周期；高温还导致花、果或种子败育。此外，全球增暖所造成的暖冬将加强冬旱的危害。

Rosenzweig (1985) 对北美农作物在 $2 \times \text{CO}_2$ 气候条件下的反应的预测可作为全球变化对农业影响的例子。根据 GIS 的 $2 \times \text{CO}_2$ 图景，全球年均温度增加 4.2—4.9℃，年降水在大部分地区增加，个别区域减少。由于生长季节的延长，使冬季的种植区向北扩展，大大增加了种植面积。但由于在小麦生长季节中较高的温度则要求较为早熟和更抗干热的小麦栽培变种。对小麦产量模拟估计表明，在 $2 \times \text{CO}_2$ 条件下，美国大平原的小麦产量均有不同程度的降低，且随着纬度降低，减产幅度愈大。旱地小麦平均减产 30%，主要是由于增温缩短了一定生长发育阶段（如灌浆）的时期，小麦成熟的日期大约提前了三周。灌溉地小麦的产量在 $2 \times \text{CO}_2$ 条件下也有所减少，但减产幅度不如旱地之多，如采用较为适应的栽培变种则可能不减产或略有增产。 CO_2 的施肥效应可能减缓气候增暖对小麦产量的不利影响。这种效应在北方较明显，在南方则减弱。灌溉可增强 CO_2 的施肥效应。

3. 物种的地理迁移

通常认为植被地带在全球变暖进程中将向北方移动，但因各个种对气候变化的适应性与遗传忍耐力的不同以及它们繁殖与散布的能力差异而有很大区别。此外，土壤与基质的异质性也能强烈地长期阻滞或促进植被的变化，增加植被在空间上的复杂性。据研究，占世界森林总面积的 1/4 的北方寒温带针叶林将对全球变暖作出强烈的反应，它将在很大程度上向北迁移，进入冻原地带，而在其南部让位于冷温带的落叶阔叶树，如桦木与山杨等或在干旱地区为温带草原所代替。

山地森林与植被则随全球变暖而向上迁移。树木线上升结合、山地冰川迅速消融后退乃是全球变暖最明显的标志和先兆。然而，植物迁移的速度慢于气候变暖的速度。据估计，植物要每年向上迁移约 1 米才能适应气候的变化。但多数植物迁移的速度每 10 年不过 1 米，因此往往不足以挽救自己，或因山地高度不够而找不到避难所，许多高山植物就会因此绝灭。即使是 1℃ 的增温也足以使许多山地的高山植被带整个消失或碎裂化而仅呈岛屿状存在于局部的山头。预计在全球变化情况下，山地树线与植被带将会上升 300—500 米，但有时高山深厚的积雪和雪崩会阻碍树线的扩展。例如，美国 Oregon Cascade 山脉（北纬 $44^\circ 30'$ ）东坡在现代气候条件下与全球气候变化条件下（+2.5℃ 与 +5.0℃）的山地植被海拔高度界限及所占面积比例将会发生很大变化。其中山地铁杉林所占的面积在增温条件下将由 17% 下降为 6% 与 1%，高山植被带由 13% 减少至 3% 与 0%，而山地基部原来没有的旱生蒿类草原则由 0% 增至 51% 与 77%。

4. 全球变化对干扰的作用

全球变化最显著的特征是干扰性气候变化的频度与强度增加。在全球增温后，强风与暴风雨将更加频繁，干旱区的尘暴更为经常发生并增加强度。风暴对森林和农田会造成较大的损害。气候的极端性也会加强，夏季可能出

现酷热的天气，冬季则可能反常寒冷，从而引起农业生产的巨大摆动与不稳定性。气候的地区差异也将增强，某些地区可能特大丰收，而为另一些地区的严重减产或遭灾所抵消。洪水的强度和频度也会大大增加。干热的天气将会引起猛烈和频繁的森林、灌丛与草原火灾，不但将强烈地改变植被的种类组成和结构，还会造成碳与氮素循环的巨大变化。

全球变化会使病虫害与鼠类大量繁殖滋生，甚至达到爆炸性的程度，从而对人类健康和动、植物带来不良影响，造成生态系统或农林业生产力的下降或破坏。干热的气候将有利于杂草的发展，尤其是 C_4 杂草的竞争加剧，扩展分布，对 C_3 的作物造成胁迫。目前在美国大约有 33% 的农作物受损于昆虫、病害、线虫与杂草；因此在害虫或杂草对作物关系的微小改变都会引起严重的经济问题。然而全球增暖一般可能加重病虫害的问题，寄主植物在严酷的胁迫条件下尤其易于受到病虫的伤害。此外，在下个世纪，全球变暖会使大面积土地因风沙侵蚀而严重退化，而对农业十分不利，其总产量将下降 1/3 至 1/2，有可能导致大规模饥荒，对世界各地的社会稳定构成威胁。

5. 全球变化与生物地球化学循环

陆地生态系统与大气层之间的碳循环通过三种形式的通量实现，即：植物的光合作用，呼吸作用与特殊的呼吸作用（包括有机物的分解与生物量及化石燃料的燃烧）。如前所述， CO_2 的增浓与陆地生态系统有施肥效应，可导致 NPP 的增加，加上生物量的增加，从而使陆地生态系统可存贮更多的土壤碳素对大气中 CO_2 的迅速增加作出反应，以达到碳的平衡。但植物中过量的碳贮存提高了 C/N 比，如果没有养分的相应增加，则植物体组织与枯枝落叶中的养分含量较低。森林的单位面积含碳量比农田要多 20 至 100 倍，即森林吸收碳后将其变化为木材，还贮存大量碳于森林土壤的腐殖质中。因此森林成为重要的碳汇。采伐或毁灭森林就会使树木与土壤有机质中持有的碳通过燃烧和腐解而氧化成为 CO_2 释放到大气中，使森林由碳汇转向碳源。据估计，每年放散到大气中的 CO_2 大约有 70% 是由消耗煤、石油与天然气而来的。30% 则由毁林而来。预计到 2080 年，全球 CO_2 的年释放量可达 30—50 亿吨，如停止毁林则每年将减少 15—30 亿吨的碳的放散，而大面积的造林则每年可以从大气中收回多达 20—30 亿吨的碳。

氮素循环也有近似的情景，但固氮植物的生物学作用在循环中有特殊意义。

6. 全球变化对生物多样性的影响

在地球的地质史时期，自然的气候变化曾导致了生物物种的大规模迁移，生物群落组成的巨大变化与许多物种的绝灭。在全球变化条件下，这一过程势必以更高的速度发生和进行。尤其是气候变化与生境破坏相配合将威胁到更多物种的生存。

到下世纪中叶，增温 4 将相当于地球自 4000 万年前的始新世纪以来的最热期，但其变化速度却为 15 至 40 倍。这一变化速率将超过许多物种的适应能力。与增温相伴随的降水变化也会对生物多样性带来重大影响。在干旱的情况下，植被及其组成将受到损失。 CO_2 的增浓则可能对某些种类，如 C_3 植物更为有利，而改变了竞争的格局，造成生态系统的不稳定。全球变化带来的极端事件，如干旱、火灾、洪水、风暴及冷暖变化等更会对物种的分布与生存带来很大影响。

一般来说，增温对北方高纬度和高海拔的物种与群落造成的压力较大。物种可能向北迁移数百公里或向山地上部上升数百米。在温带区域增温 3 的情况下，至少可迁移 300 公里。据 Davis 与 Zabinski (1990) 估计一些北美树种，如糖槭 (*Acer sac-charum*) 与水青冈 (*Fagus grandifolia*)，在 $2 \times \text{CO}_2$ 条件下将向北迁移 600—2000 公里。

物种对于变化的环境的适应能力取决于它的生理适应性、繁殖、散布与迁移的特性。许多物种的完全绝灭或局部绝灭往往是由于它们的散布速度赶不上气候的变化。温度或土壤湿度变化还能影响捕食率、寄生与竞争的相互关系。气候变化可能有利于外来的侵入种而造成某些物种被竞争排除而局部绝灭。

热带森林具有最复杂的物种关系与生态系统，尤其热带雨林是生物多样性的贮存库，在地球估计 3000 万的生物种中，它占有绝大部分。增温对热带森林不是关键的因素，但降雨的季节性与干湿季时期的波动却对热带森林的生物活动影响至巨，可造成花果败育，从而对动物和分解者群落有很大作用。尤其是关键种果实的败育可能导致以果实为主的种类的局部灭绝。降雨的季节性变化还会增加热带雨林的自然或人为灾害，如火的敏感性，而使其丰富的生物多样性受到伤害。

二、全球模型的生命化

在研究全球变化时，大气物理学家们发展了大气环流模型来模拟地球的气候和预报未来的气候变化。然而在多数的 GCMs 中，地球被当作是一个死亡的、没有生命和绿色的行星。这是由于气团的运动服从于基本的物理定律，因而较易于用数学公式来表达，但是生物的活动和行为还远不能用类似的公式来描述，因此要把生物置入全球模型是特别困难的挑战。生物模型学家在构制模型时，既要保持足够的复杂性以合理地表现生物的真实世界，又要使模拟简单实用，可以在全球的尺度上运行。

目前发展了三种不同尺度上的全球变化的生态模型。三种尺度是斑块、景观和区域。其中斑块是在生态系统水平上的，影响是若干相邻的斑块构成的空间序列，区域是各景观类型的结合；后者还可联合成大陆和全球尺度的模型 (Walker 1994)。两类模型则是全球植被模型 (GVM: Global Vegetation Models) 与全球动态植被模型 (DGVM: Dynamic Global Vegetation Models)。

全球植被模型静态地反映植被单方面取决于气候的分布，如 Holdridge (1947) 的生命地带分类与 Box (1981) 的大气候与植被类型模型。前者曾被广泛用于预测未来气候变化条件下的全球植被相应变化。这类模型将地球陆地地区分为若干主要的生物群区 (Biome) 或植被类型，如：冻原、各类森林、草地、荒漠等，并根据一系列气候指标，如：温度、降水、生长季节与湿度等，以及 GCMs 提供的未来气候变化图景来预测植被分布的进展或退缩。这类模型的缺点在于它不包括变化的机制、植被的滞后效应与变化速率，当然，也不考虑变化了的植被对气候的反馈。

新一代的全球植被模型如 DOLY 与 BIOME，已经涉及到未来的植物与气候相互影响的一些信息，如增多的 CO_2 可能促进较旺盛的植物生长，使叶量提高数倍，形成多层的稠密树冠，从而降低局部气温 1-1.5 ；云量则由于更多的叶子放散水汽而增多。因此，植物生长可能对局部气候有相当大的作用。

但是这些模型毕竟是“平衡”的模型，它们所预测的潜在植被分布与一定的气候是平衡的。

然而，植被变化及迅速的环境变化，如火、暴风雨等极端天气事件，以及人类活动过程都是短暂瞬间和不平衡的，为了提供更为真实的植被变化图景，需要发展结合瞬间动态过程的全球动态植被模型(DGVM)。SIB(Simple Biosphere)模拟气候变化将如何作用于植物的新陈代谢——吸收 CO_2 ，放出水汽与氧气，及其冷却树冠、减少蒸发等对温室效应的反馈作用。TEM(Terrestrial Ecosystem Model)(Melillo et al.1993)则进一步将植物的生长、死亡与分解过程及其对碳素与氮素的吸收和释放进行数学的描述和计算，并且表现了净第一性生产力(NPP)——碳素加入到植物组织的能量库中的变化。据TEM估算， CO_2 倍增并结合以增温可能使地球的NPP增加20%-26%。尤其北方针叶林更得益于增温而加速土壤有机质的腐解与氮素的释放。在第二代的BIOME与DOLY模型中则考虑到生态系统在气候变化时的迁移，可以在模型中设定生物圈在与变化的大气圈相互作用的变化增量。

对于全球植被模型的进一步挑战在以下几方面：

——如何把全球变化引起的不稳定性与干扰或破坏性事件，如火、风暴、洪水、旱灾、病虫害等，以及人类活动，如：伐林、垦荒、疏干湿地等加入到植被模型中来？

——如何模型化真实的生态系统，即包括对气候变化反应各不相同的多种植物、动物、微生物以及土壤的复杂性集合体，而不是一个单一的植物类型？

——如何把生态系统的不同发育与演替阶段及过程，如竞争、共生、互利等设定到模型中？如果考虑到生物的进化、遗传变异及其对气候变化的适应性进程，则更大地增加了模拟的难度。

任何一个单独的模型都不可能包括上述所有的方面和解决所有这些过程。因此，许多研究者致力于另一大类的模型，即斑块、景观和区域尺度的模型。

斑块尺度的模型模拟个体生物尺度上的变化动态，如在一片森林中的树木生长、死亡、竞争演替，以及不同种类对 CO_2 增加反应的差异等。斑块模型不是设计用来针对大区域的全球变化研究，而是要解决植物与其环境之间关系的特殊问题。但是研究斑块模型可以使研究者了解到哪种生态细节是决定性的，并找到如何以简化的方式把它们放到全球模型中去，以增加模型的可靠性。现有的斑块模型不下数百个，多数用于预测生态系统的结构和功能变化。如FORET林窗模型运用植物的功能类型，可用来模拟对长期气候变化反应的森林演替过程，可以提供在数十年到数百年期间内各个种与群落对GCM所给出的气候变化的逐年反应。该模型进一步发展将与光合作用与生态系统生理过程的模型相联结。CENTURY是用以研究草地生态系统的模型，其特点为强调碳循环与土壤有机质转化的过程。

在斑块模型的基础上，有必要建立较大尺度的景观植被模型，它们具有较粗的时间精度，可以运行较长期的时间水平，从十年、百年，以至千年，并可与较长期的GCMs相作用。景观的空间尺度由数百米到数公里，适合于土地利用经营单元的通常尺度，因而具有较大的实用意义。景观尺度模型的特殊目的是要把人文与自然因素有效地联系起来以发展一种数量方法分析人为

造成的景观变化，它与土地利用有密切联系。但目前对景观尺度模型的研究还很不足。区域尺度的模型是景观的综合，对于区域的整体规划有重要意义，也是由斑块与景观尺度向全球尺度模型过渡的重要桥梁。目前的区域模型多数是“平衡型”的，或是斑块/景观模型的简单组合或直接延伸，因而迫切需要发展非平衡动态区域植被模型。

近期的全球变化模型研究前缘在以下三方面：

——全球变化对复杂的农业生态系统的影响：多种作物系统或复合农林业可提供更多的食物和纤维。物种多样性对于全球变化可以增加系统的稳定性，复杂的农业生态系统具有比单种植更稳定的内在稳定性。

——全球变化与生态复杂性：生态复杂性包括生态系统之间及内部的空间异质性，种类的数量与相对的丰富程度以及食物网的结构。研究生态复杂性与生态系统功能的关系以及全球变化将如何影响这些关系。

——全球变化与生物生产力：在所有自然生态系统的研究中，地上部分生物量对 CO_2 增加没有显著反应，但地下部分的过程却特别显著，表现为地下部分生物量的积累与周转，对于碳素循环可能是一个重要的汇。

三、中国陆地生态系统对全球变化反应的模式研究

1. 中国气候——植被关系研究

气候——植被关系 (Climate - Vegetation Interaction) 是研究生态系统对全球变化的反应与反馈的基础。植被类型及其分布可视作为环境因素的函数式。在影响植被及其分布的环境因素中温度与降水是最根本的，由这两个基本因子派生的可能蒸散率或干燥度常用作评价植被水分平衡的综合指标。地形与土壤具有再分配气候因子的间接性质，在气候——植被关系的高级单位与大尺度的模型中通常不予考虑，但在区域和景观尺度的模型中却是重要的因素。

中国科学院植物研究所植被数量生态学开放研究实验室 (LQVE) 在该所生态室对植被生态学研究多年积累的基础上，采用数量分析、模型与遥感的方法对我国的气候——植被关系进行了综合研究。在可能蒸散率或干燥度与中国植被类型及其分布关系的研究中，先后计算了 Penman, Thornthwaite, Uchijima & Seino, Holdridge, Kira 与 Emberger 等指数。Sun & Feoli (1991) 则采用多元分析方法进行了中国的植物气候分类。周广胜 (1996) 发展了以水热平衡为基础计算的蒸发指数的植被指标。

2. 中国植被对全球变化反应的模拟预测

为了预报和估测全球变化及在 $2 \times \text{CO}_2$ 情况下中国植被的反应，Holdridge 的生命地带分类系统 (1967) 被采用来进行植被对全球变化反应的模拟。未来的气候的图景是根据几个主要的大气环流模型 (GCMs) 对 $2 \times \text{CO}_2$ 模拟结果的综合，得出了平均的变化趋势，使用了三个可能的变化方案：

- (1) 年均温增加 4°C ，年降水增加 10%；
- (2) 年均温增加 4°C ，年降水不变；
- (3) 年均温增加 4°C ，年降水减少 10%。

模拟计算是在植被数量生态学开放研究实验室的生态信息系统 EIS 上实现的。模拟结果所显示的全球变化后我国各类植被的反应如下：

1) 森林植被各地带由南向北推移 3-5 个纬度, 森林面积南增北减, 但总面积减少。在三种变化方案下, 热带森林与亚热带森林面积均显著增加。热带森林增加最多, 从无到有, 面积可达 24 万 km^2 ; 亚热带森林由原估算的 75 万 km^2 增至 183 万 km^2 。表明在我国热带、亚热带地区, 水分不是限制因子, 而增温可导致森林植被类型的较大变化。北方的暖温带森林由 216 万 km^2 减少至 135 万 km^2 , 其中大部分演变为亚热带森林, 小部分演变为草原。冷温带森林由 116 万 km^2 减少至 40 万 km^2 , 其中多半演变为草原, 部分演变为暖温型森林。2.2 万 km^2 的北方寒温针叶林在 $2 \times \text{CO}_2$ 情况下全部消失, 大部演变为冷温带森林, 部分草原化; 山地寒温针叶林向山地上部退缩, 由 63 万 km^2 减少至 11 万 km^2 , 大部分变为山地草原, 部分转为冷温型山地森林。我国北方温带森林在全球变化条件下的大量草原化表明水分是主要的限制因子, 制约着我国北温带森林与草原, 以至荒漠之间的转化关系。

2) 温带草原对全球变化有最敏感的反应, 面积有所增加: 温带草原由 47 万 km^2 增至 90 万 km^2 , 大部由温带森林演变而来, 少量由荒漠演变而来, 也有小部分草原演变为森林或荒漠。温带山地草原也有所增加, 由 70 万 km^2 增至 89 万 km^2 , 其演变趋势与温带草原相似。然而, 在气候变化后, 温带草原受影响最大的不是来自增温, 而是人类活动的加剧。草原土地利用的格局将因垦殖土地的扩大而使草原受到极大的干扰与破坏。

3) 温带荒漠扩大三分之一, 荒漠化进程显著: 平原温带荒漠面积变化不大, 与草原之间互有转换。温性山地荒漠却由 157 万 km^2 增至 228 万 km^2 , 其中一部分是由温性山地草原转化而来, 另一部分则由高寒荒漠暖化而成。荒漠化进程将成为全球变化不可避免的趋势。

4) 青藏高原与我国西部高山的高寒植被在 $2 \times \text{CO}_2$ 情景下将大部消失。山地的高山草原与草甸分别向温性荒漠与草原演化, 高原上的高寒植被除少数转化为森林和草原外, 大部将变为温性荒漠。高原上的连续永冻层将局部消融, 雪线与冰川大幅度上移, 冰雪带将仅存于局部高山顶部。

3. 生态系统对全球变化反应模型研究

在静态的大陆尺度气候-植被模型的基础上, 植被数量生态学开放实验室进一步发展了在斑块(生态系统)与景观尺度上的机理性仿真模型(高琼 1994; 高琼等 1994)。

OSAS 是鄂尔多斯毛乌素沙地的草地生态系统仿真模型。该模型针对沙地地貌与基质复杂、沙地表面蒸发较少、蒸腾作用构成主要的蒸散失水的情况, 建立了土壤水分动态与多种植物竞争水分的动态系统模型。

SNMOD 是松嫩平原碱化草地生态系统的仿真模型。该模型主要强调土壤物理过程与地表植被结构动态的耦合作用, 突出了植被降低土表蒸发, 从而降低表土碱化度, 改善土壤理化性状的正向作用; 另一方面, 植被破坏则导致蒸发与碱化加强, 土壤退化的反向过程。土壤孔隙度随植被的变化成为决定这一双向过程的关键。这一模型是以实验研究为根据的。在此基础上, SN-MOD 进一步从空间异质性与景观空间格局的关系发展了景观水平的动态模型。

上述模型较成功地被用以模拟与预测群落与景观的过程与动态, 从而用作预测全球变化对系统与景观作用的重要手段与机理的阐明。

此外, CENTURY 模型也较成功地用锡林格勒草原系统的模拟与预测。在

长白山森林则在 FORET 的林窗模型基础上发展了 NEWCOP 模型,对红松针阔混交林的更新与演替过程进行了动态模拟。上述这些模型的发展是令人振奋的,并已得到了一些有意义的结果,但有必要进行实际的验证。如何将这些模型与 GCMs 相联合,进行区域性的全球变化反应的模拟与预测则是进一步需要解决的问题。

4. 中国全球变化生态样带研究

样带 (transect) 研究被认为是研究全球变化与陆地生态系统关系最有效的途径之一。

因为样带可以作为分散的站点与一定空间区域之间的桥梁以不同尺度时空模型之间耦合与转换的媒介。样带是由沿着一个主要的全球变化驱动因素,如温度、降水或土地利用强度等梯度上的一系列站点所构成。其主要研究内容有:生物地球化学过程,如痕量气体的放散、碳或氮素循环等变化,生态系统的表面能量交换,植被结构与动态,气候与植被关系与分布格局,生物多样性的变化以及土地利用性质与格局等。样带可用来发展与测试不同尺度的模型及其耦合与转换,并可作为遥感信息的地面校验带。在 1993 年的 GCTE 国际样带学术会议上,我国研究者提出的“中国东北森林——草原样带”(NECT)被列为 IGBP 的国际样带之一。在 1994 年北京 PAGES (过去全球变化)国际学术会议上,此外,作者在中国初步建议两条样带。这两条样带,一条是经向的,沿着中国东岸大陆(110-130°E)由北向南设置;另一条是纬向的,由东向西横贯中国大陆北部(40°N)。它们是决定我国最基本的陆地生态系统或植被类型与地带性,也表现了我国最主要的土地利用格局。我国东亚大陆的地带性是地球大陆最完整的森林地带系列,从热带雨林地带依次经亚热带常绿阔叶林、暖温带落叶林、温带针阔混交林,直到寒温带针叶林地带,包含着各该带的气候——植被关系与土地利用格局,可以连续和系统地研究全球变化增温对陆地生态系统的作用。在我国北温带由森林-草原-荒漠组成的序列上,不仅可以研究降水与蒸发散梯度在植被地带与土地利用上的反映,该样带还穿过两个生态过渡带,可以在生态系统对全球变化的敏感度方面进行研究。

四、今后研究展望

根据国际对全球变化的生物学研究趋势与我国的国情和特殊性,今后在全球变化与陆地生态系统关系的研究方面将集中于以下几点:

——我国各地区农林牧业生态系统对全球变化的反应及调控对策。应特别注意土地利用格局的变化与合理配置。各种形式与结构的复合农林业 (Agroforestry) 将成为适应全球变化影响的一种重要措施。

——斑块 (群落) 与景观尺度的动态模型将成为模型研究的重点。生态系统的生理过程与动态演替的参数化及其在模型中的设定以及土壤因子的加入等将是模型发展的关键。

——不同时间与空间尺度 (scale) 与平台 (level) 生态系统模型的耦合、升维与降维的研究也是全球变化模型化的关键。

——全球变化与生态系统的生物多样性和持续发展的关系将在很大程度上决定这三个重大的生态学环境问题的实质性发展。

——全球变化引起的不稳定性与干扰,如:风暴、尘暴、洪水、暖冬、

炎夏、火灾、旱灾、病虫害等对生态系统影响的定量化与预测。

——陆地生态系统通过对碳、氮循环的作用，对局地气温、降水、风速与对流、反射率与粗糙度等的影响与调节等，从而对大气圈进行反馈的定量化、参数化与模型化。

——气候——植被（生态系统）关系模型与大气环流模型（GCMs）的耦合。

上述这些问题的解决将是一系列十分复杂、困难和逐步深化的科学研究与实践过程，然而，它们的解决将给人类社会发展和地球的未来带来灿烂绚丽的曙光和美好的明天。

医学生物高技术及其产业

顾健人

上海市肿瘤研究所

顾健人 分子肿瘤学与基因治疗专家。1932年1月13日出生。江苏苏州人。1954年毕业于上海第一医学院。现任上海肿瘤研究所癌基因与相关基因国家重点实验室主任、研究员、上海医科大学教授、国家生物高技术重大关键技术项目基因治疗责任专家。1994年当选为中国工程院院士。他是我国分子肿瘤学与肿瘤基因治疗的开拓者与奠基人之一。

一、生物高技术的基本概念

1. 生物高技术是当代产业革命的重要组成部分

生物高技术是以分子遗传学的知识，应用各种现代技术，尤其是针对基因进行操作、改造和转移的技术，获得人类所需要的蛋白用以防治疾病；改造动植物的品种；用基因来防治农作物的病虫害；用基因或细胞来治疗人的疾病等。它是农业、医药工业产品的更新换代的重要技术。因此，生物高技术是当代产业革命的重要组成部分，是一次生产力解放的重要基石。

生物高技术涉及医、药和农业。本文仅就与医药相关的生物高技术作一简单介绍。

2. 什么是基因

基因是一种遗传物质。它的物质基础是脱氧核糖核酸（DNA），由两条DNA链形成双螺旋结构。DNA是由脱氧核苷酸连接而成单链。一个基因的DNA所含的核苷酸数目可多达数千至上百万。但是，核苷酸只有四种，即A、T、G、C。由于上千成万的核苷酸可由ATGC按不同的顺序排列，这种排列的顺序，叫做“序列”。虽然核苷酸仅有四种，但是长达成千上万个核苷酸所组成的DNA，可以排列出不知多少种的序列。不同的序列，组成了不同基因。

为什么基因的核苷酸序列会组成不同基因？因为基因的DNA序列，储存了“密码”：即每三个脱氧核酸决定一个氨基酸。核苷酸的序列如果是ATG，它决定的氨基酸是甲硫氨酸，ATT是异亮氨酸，ACT是苏氨酸，TAC是酪氨酸，TTT是苯丙氨酸……不同的核苷酸的序列，可以编码20种氨基酸。不同的基因，有不同的DNA序列，可编码不同序列的氨基酸所组成的多肽，这就是基因的遗传密码的奥秘。

人体应该有10万基因，理论上可以编码10万个蛋白。现在已经知道结构和功能的基因仅数千个（小于7000个），因此还不到10%。所以说，人虽然可以遨游太空，但对人本身的了解还仅仅是开始。

3. 什么叫“基因表达”

如果说，你感到基因还是一样看不到或摸不着的东西，那么它最终形成的蛋白，则是与人们生命活动密切相关而且可测可知的东西了。而且用基因制造的药物已经上市。

基因是DNA，它怎样会制造出蛋白？原来基因是两股DNA链的双螺旋结构所组成，它在行使它的功能前，先要解开，暴露出单链，其中一条是有功

能的链，叫做正链。这条 DNA 链，可以通过一群酶的作用下，按它的核苷酸（A、T、G、C）的序列，合成一条 RNA 互补链。这条 RNA 链（由 A、U、G、C）四种核苷酸所组成，它的序列恰好和 DNA 链的核苷酸序列“互补”。如果 DNA 上是 AGCTCCG.....根据核苷酸的配对原则，（A U, T A, G C, C G），RNA 上的相应序列是 UC - GAGGC.....这样，把 DNA 上包含的“信息”传递到它对应的 RNA 链上去，而且是精确无误。这个过程，正像一盘磁带用录音机录到另一盘空白磁带上，我们叫它为“转录”，唯一不同的是，母带上的信息是 DNA，子带上信息已转为 RNA，但是它携带的信息依然是正确无误。

那么，蛋白又从哪里来呢？原来 RNA 上所持有的信息，通过三个核苷酸决定一个氨基酸的原则，通过细胞质里一套“机器”可以把 RNA 的序列，翻译成按一定的氨基酸序列排列的多肽。

这样，基因（DNA），通过“转录”成 RNA，最后由 RNA“翻译”成蛋白。基因通过转录、翻译最后生产出蛋白，这个全过程称为“基因表达”。而基因表达的最终产物是蛋白。人之所以能生长发育、健康生活，正是靠多少万个基因在表达它各自的蛋白。人没有血红蛋白，就不能生存，所以，血红蛋白的基因（珠蛋白基因）先天出了毛病，就成为遗传病。现在知道，恶性肿瘤、高血压、糖尿病以至老年痴呆都是基因发生了故障，但是，有多少个基因以及是那一种基因出了故障还不清楚。可能在下个世纪初，这些基因将被全部搞清，这将标志医学历史上的一次重大革命。

4. 什么是基因工程

基因工程的道理很简单，就是把基因的编码序列放进一个“载体”中，加上启动基因表达（启动子）和增强它表达的元件（增强子）以及表达的终止元件，组成一个“重组体”。我们把它称为某个基因的表达载体。然后，把它放进细胞中去，让它生产出所要的蛋白。

根据组成这种表达载体中的元件不同，这种重组体可以在细菌如大肠杆菌中表达，也可在酵母或哺乳动物细胞中表达。

5. 什么是基因治疗

基因工程是把基因放进“体外”的系统，在细胞中表达出蛋白，经分离纯化后作为一种药物。基因治疗则是把基因直接导入人体或先导入人的细胞然后输入人体，让这种基因达到治病的目的。这虽然很诱人，但是技术上还不够成熟，目前尚在起步阶段，必须在严格控制下，经国家卫生部药政局批准后才能进行临床试验。

6. 什么是转基因动物

转基因动物，是把基因的表达载体直接注入受精卵或早期的胚胎细胞，然后植入假怀孕的母体动物，经植床后发育成胎，最后成熟分娩，产出带有该基因的动物。例如，把乙肝病毒（HBV）全基因的载体注入小鼠受精卵，可产生全部细胞带有乙肝病毒基因，并能在肝脏产生乙肝病毒的小鼠。近几年来，转基因动物已进一步发展成有目的地将某一个或某一组基因去除（Knock out）的技术。这可制造出某种基因缺陷的动物，确定该基因在机体发育和维持生命中所起的作用。

转基因动物的另一种技术，是将某种基因的表达载体（必须带有特定的启动子和增强子）注入受精卵或直接导入牛或羊的乳腺，从而让动物从乳汁中分泌我们所需要的药物。这称为“生物反应器”，代替了体外的发酵罐。这也是今后将发挥重要作用的“体内”基因工程。

近年来，英国已将特定的抑制机体排阻反应的相关基因培育转基因猪，用于器官移植，最近已进入黑猩猩体内试验。该实验若能成功，将标志脏器移植史的重要里程碑。

二、国外的主要医药生物技术产品及产业

1. 以基因工程为主体的生物技术医药产业有以下几个特点：

优点：

(1) 投资少，产值高。

(2) 生物技术产业是利用自然界的再生能源。生产钢铁必须利用铁矿。生产化学药物必须用化学品来合成和加工。生物高技术利用的是重组 DNA 和细胞（包括细菌）。重组 DNA 和细胞均可应用发酵罐无限繁殖即再生，因此不受原料限制。

(3) 生物技术的产业的环境污染远远小于传统工业。其废料（培养液）经高压灭菌后，无环境危害。

问题：

(1) 目前无专利纠纷的产品均已上市。要研制新的产品，有一定的周期，而且有一定的风险性。

(2) 对技术人员的素质要求高。

(3) 要形成一个国家自主的、有创新性的生物技术产业，必须有强大的技术储备。应用基础和基础研究的水平是能创制新的高技术产品产业的前提。

2. 国外的医药生物高技术产品：

目前美国 FDA 批准 637 种生物技术诊断试剂，其中包括 571 种单抗，53 种 DNA 探针，13 种重组 DNA 产品。在美国市场上销售的生物制剂达 27 种；生物药物公司有 270 个治疗制剂进入临床试验，还有约 2000 个产品处于早期开发阶段。在较大的制药公司中，有 70% 的项目使用了分子生物学技术；1992-1993 年美国从事生物技术制品生产的公司约 1100 家，雇员 6 万人。其中较大的生物制药公司有 225 家，工业投资达 350 亿美元，而 1983 年仅为 20 亿美元；在 1992 年红细胞生成素的世界销售量为 12.25 亿美元；乙型肝炎疫苗为 7.42 亿美元；干扰素为 6.05 亿美元；生长激素为 6.25 亿美元；集落刺激因子为 5.44 亿美元；这清楚地表明，新生物治疗制剂的开发前景是十分光明的，下世纪将面临医药工业的更新。生物技术领域的高新技术产业具有巨大的生命力，生物治疗将为人类做出重大贡献。

3. 国外的基因治疗状况：

基因治疗是美国 1989 年 FDA 批准进入临床试验的新的生物技术。到 1995 年为止，已批准进入临床试验的方案有 100 余个，接受治疗的病人数为 79 例。由于美国科学界的部分人的盲目乐观和企业系统的参与，产生了盲目性和过热现象。今年，美国国立卫生研究院组成了评估小组，对已实施的方案进行评估，目前尚在进行中。但是，可以预期这个评估的结果。对基因治疗的前景及其问题可归纳以下几点：

(1) 前景：基因治疗是高度集成的一项生物高技术，随着人基因组计划（通过破译人体 10 万个基因的全部核苷酸序列及搞清它的结构与功能）的实施和大批新基因的发现以及新技术的发展，预期在下世纪的 10-20 年内，将

会有重大突破，成为一种常规的治疗手段。

(2) 问题：目前美国的基因治疗方案存在问题，科学家的盲目性、企业的求利心切，造成了“过热”。实际上，在一些重大关键技术问题未获解决前，不能期待在旦夕间会有重大突破。事实上 100 多个已批准方案中，有肯定疗效者寥寥无几。这些有待解决的关键问题是：

有治疗价值的基因太少：基因治疗是导入外源基因以达到治病的目的。以恶性肿瘤为例，能抑制肿瘤生长的基因为数不多，遗传病的多基因疾病的基因尚不清楚。因此难以达到治疗的目的。

导入基因的手段不理想：基因治疗的基因导入手段要求是高效导入，而且能定向地导入体内某种细胞，目前已有的手段，均属低效和无导向性。因此，即使导入的基因有治病效果，但由于不能有效地导入，效果大受影响。

导入的基因缺乏可控性：要导入一个胰岛素基因在体内分泌胰岛素目前是可以做到的。但是，导入的胰岛素基因如果整天在分泌胰岛素而不受机体内血糖和激素的调控，将会造成严重后果。因此，急需解决如何对导入基因的表达，实现可控地调节。这问题尚未解决。

因此，目前的基因治疗，只可能在少数单位进行基础研究，在严格控制的条件下，进行少量的临床试验。总之，尚处于起步的阶段。

三、我国的生物高技术

自 1987 年，我国开始了国家高技术规划（即“863”计划）的实施。从“七五”至“八五”，我国生物高新技术研究与开发已有了重要发展，有了我国的生物高技术产品，而且建立了技术和理论储备，培养了一支生物高技术队伍，以下选择与医药有关的几个方面作重点介绍：

1. 基因工程疫苗：

乙肝基因工程疫苗为取代血源性疫苗的第二代疫苗。我国研制的哺乳动物细胞表达的乙肝疫苗于 1992 年已获国家批准，投放市场，技术上达到国际先进水平，已有四个国家联系技术转让事宜。

同时，已有多种基因工程疫苗进入临床试验，包括：

甲肝病毒重组痘苗病毒活疫苗，

霍乱菌苗，

福氏、宋内氏双价痢疾菌苗，

EB 病毒重组痘苗等。

此外，日本血吸虫重组疫苗的研制，已取得重要进展。

2. 基因工程多肽药物

我国已有外用人基因工程 1b 型干扰素、注射用人基因工程 1b 型干扰素、注射用基因工程 2a 型干扰素、基因工程白介素 2 及基因工程人干扰素等 5 种产品投放市场，用于治疗慢性活动性乙型肝炎、丙型肝炎、毛细胞性白血病、肾癌等恶性肿瘤、带状疱疹、类风湿性关节炎、慢性宫颈炎、疱疹性角膜炎等。

另有十多种基因工程药物已进入中试开发阶段，包括：GM-CSF，G-CSF，IL-3，IL-2/125S，IL-125 A，2b 型干扰素、新型 TNF、EPO、新型干扰素、胰岛素、尿激酶原、抗 T 细胞免疫毒素等。其中人 1b 型基因工程干扰素为我国所创制的。我国重组干扰素及重组白介素₂ 两类产品，目前的年产值已

达 1 亿元。

3. 导向药物及抗体工程

应用单克隆抗体为基本技术的导向药物已从实验室走向临床。抗人 T 细胞的免疫毒素及抗 C-ALL 免疫毒素，经国家批准进入临床试验，用于异基因骨髓移植治疗白血病的辅助治疗，对于防止和减轻排阻反应有效。同位素标记的抗肝癌单抗，已于 1995 年 4 月通过卫生部药审，已用于临床显像诊断，将进入临床治疗试验。抗胃癌及抗肺癌的显像也有效果。

4. 基因治疗：

我国遗传病基因治疗，以血友病 B 为突破口，通过实验研究，于“八五”期间已首次进入临床试验。第一批两例中，一例确有疗效。1994 年经卫生部药政局批准扩大病例，目前已进行另两例的临床试验。

-地中海贫血的基因治疗，在实验研究方面已有突破，解决了 -珠蛋白基因的体外的表达，预计在“九五”期间将会有重要进展。

恶性肿瘤的基因治疗，在应用自杀基因的治疗人恶性脑瘤方面，已完成了全部实验室研究，已获卫生部药政局批准开始临床研究。在免疫基因治疗方面，瘤苗的研制工作将在“九五”初完成实验室研究。

在解决基因治疗的关键技术方面，在导入基因的载体系统方面，有重要进展。我国已构建了由疱疹病毒、EB 病毒的新的载体系统，预期“九五”期间将应用于我国的基因治疗。

四、存在的问题和建议：

1. 加强创新：我国生物高技术的研究和开发仅有十年历史，取得的成绩是巨大的。但面临国际竞争、知识产权和入关，必须加强创新。所以首先要提高创新意识，贯彻到研究、中试开发的各个环节中去。

2. 加强应用基础研究：要创新，必须加强应用基础的研究，只有强大的技术和知识储备，才能有新基因、新载体和新的表达系统。有了这些储备，才能创制出新的药物。

3. 加强药政意识：目前不少单位，从事基因治疗和导向药物等新技术，不顾国家药政法和有关条例，未经卫生部药政局批准，擅自用于病人，这是违反国家法律的行为，必须坚决予以制止。

4. 加强国家专利部门、进口药品管理部门及卫生部门的协调，保护我国生物技术产业的发展。

自然灾害与我国的减灾系统工程

马宗晋

国家地震局地质研究所

马宗晋 地质学家。1933年1月31日生于吉林长春。原籍吉林省吉林市。1955年北京地质学院毕业。1961年中国科学院地质研究所研究生毕业。国家地震局地质研究所所长、研究员。1991年当选为中国科学院院士(学部委员)。从事地质构造、地震预报、地球动力学方面的研究工作。

一、自然灾害基本知识

1. 自然灾害的属性

自然灾害 $\left\{ \begin{array}{l} \text{自然性—致灾因素—变异强度} \\ \text{社会性—承灾实体—承灾能力} \end{array} \right\}$ 灾害损失

2. 自然灾害的分类

(1) 致灾因素的分类表

气、海变动	大气	旱、涝、洪 风、尘、雾 冻、热
	海洋	潮、浪 冰 赤潮
地壳变动	深层	地震 火山、放气 升、降
	浅表	崩、滑、流 沉陷、地裂
农林受害	病	
	动物	虫、鼠、兽
	植物	天火、人火

(2) 承灾体分类表

固定类	房屋、厂矿、交通、电讯、生命线
可动类	人、畜、渔、可动产、信息网
植被类	森林、农作、草场

(3) 社会性分类

原生——致灾因素直接造成某类承灾体的破坏与伤亡，称为原生灾害或直接灾害

次生——由某类致灾因素引起某类承灾体的破坏，如地震引起房屋倒塌，由此引起间接发生的火灾，再由火灾造成的灾损称为次生灾害或间接灾害

衍生——致灾因素破坏了社会的结构物、功能、物资流和信息流，造成

了人群和组织的伤亡和瓦解，都会直接或间接造成社会生产、经济活动的停顿，由此造成的经济损失称衍生灾害

3. 灾害等级

(1) 致灾因素的等级

灾种	强度	自然破坏度
风	XX 级	
雨	XX 毫米/日	
地震	XX 震级	XX 烈度
沉陷	XX 米沉落	沉陷面积 XX 平方米
海潮	X 米潮高	浸没面积
森林	过火程度	过火面积
农作物	受灾程度	受灾面积

(2) 承灾体受灾程度：灾度、死亡度

不同种类承灾体各有不同评估方法，如下表：

社会受灾定性分类——按社会受灾的统计总损失程度，一般定性地分重、中、轻灾。灾损度或灾度 (Z^0)——按社会承灾体的统计损失经济当量，即总损失现价绝对值，分为不同等级。

死亡度 (S^0)——人口死亡数分为不同等级，称死亡度。

人	死亡、重伤、轻伤
不动产-房屋	倒塌、部分倒塌、破坏、基本完好
可动产-仪表	流失-损坏-失效，破损可修，……

Z^0 和 S^0 的分度具有国家的政策性，目前我国可能采用的 Z^0 和 S^0 划分等级如下表：

Z^0 (亿元)	特大灾害			大灾			中灾			小灾		
	I类	类	类	I类	类	类	I类	类	类	I类	类	类
	>15	>50	>100	2.5-14.9	10-49.9	25-99	0.5-2.4	1.5-9.9	4-24.5	<0.5	<1.5	<4
S^0	死亡>1000人			死亡 250-999人			死亡 50-249			死亡<50		

注：I、类指一、二、三类地区，详细划分见后。

(3) 社会灾损度

以某一社会单元的总经济当量（或以 GNP、GDP 为代表的经济当量）与灾损总值的比例关系，用以评估该社会经济基础受灾的程度，称社会灾损度；为了更进一步估计该社会政府的财政承灾能力，还可以用灾损总值与政府财政收入总值与政府财政收入总值的比值，来评估该政府财政受灾的程度。这类社会灾损度的统计分析无疑对评估该社会与政府的承灾能力、恢复生产能力，以及比较不同省、区承灾能力和制定相应的国家级和省级的减灾对策都是很重要的数据基础。

下图是全国（不包括台湾省）各省 1978—1993 年灾损度的比较图，从中可以分出三种类型的承灾能力：经济实力弱-灾害较多-灾损度高；经济实力较强-灾害多、强-灾损度中等；经济实力强-承灾力强或灾害少、弱-

灾损程度低。

二、我国自然灾害概况

1. 致灾因素分布概况

下列图组可分别展示各主要灾种的致灾因素分布概况：旱、涝、洪、震、风、滑坡。

农、林灾害致灾因素的分布是伴随农林作物分布而变化的。

2. 灾害统计分布概况

不同灾类造成经济损失的比例图

不同灾类造成人口死亡的统计比例图

3. 最近四十余年自然灾害造成直接和间接损失的逐年变化

(1) 全灾种

按照中国自然灾害发生的情况，可以划分为两个时段：1949-1976 年和 1977-1995 年。

1949 - 1976 年为灾害直接经济损失较少的时期，灾害直接经济损失一般年份在 300 亿元人民币（1990 年不变价）以下。

在灾害直接经济损失中，气象洪水灾害损失占 57%，农业病虫草鼠害损失占 20%，森林火灾和病虫害损失两项共占 8%，地震灾害损失 6%，其他灾害损失均占不到 5%。

1949-1995 年，中国自然灾害死亡人数共计 198 万人。其中，气象洪水灾害占 26%，地震灾害占 14%，其他灾害（森林火灾、海洋灾害等）各占 1% 以下。其中最多的是灾荒，为 57%，多在 50、60 年代发生的。1960、1961 年死亡人数最多，共达 102 万人。70 年代以后，随着经济发展，中国因灾荒死亡已基本消失。

1977-1995 年为灾害直接经济损失较多的时期，灾害经济损失逐年上升，按不变价计算，年均经济损失为 9%，略高于 GDP 的增长速度。

(2) 农业

1949-1994 年，中国农业自然灾害平均每年受灾面积 3800 万公顷，其中：干旱灾害面积受灾最重，占 57.9%，洪涝灾害面积占 27.9%，风雹灾害面积占 10.0%，低温冷害面积占 4.6%，其他因素灾害占 3.3%。

三、减灾系统工程

1. 我国现行的灾害管理体制

(1) 社会生产型管理体系

	灾害管理内容	灾害管理开始时间
中国气象局	气象致灾因素的监测、预报	1952 年
农业部	农业灾害监测防治	1949 年
水利部	旱、涝、洪的防、抗工程和治理	1949 年
地质矿产部	地壳浅表灾害监测防治	1954 年
林业部	林业灾害的监测防治	1949 年
国家海洋局	海洋灾害的监测防治	1964 年
国家地震局	地震监测、防抗标准制定	1966 年
民政部	主要灾害灾后的灾民生活安置	1949 年 (内务部)
建设部	民用建筑抗灾工程规范监督	1954 年
各工业生产管理部门	相应的抗灾、防灾管理	1949 年

(2) 科研性管理现状

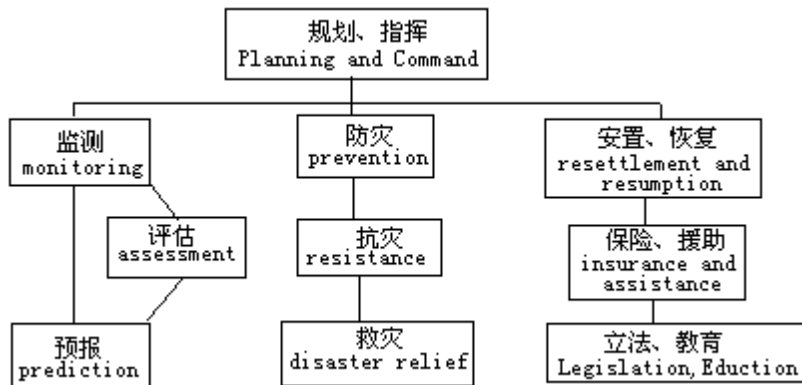
教委系统和科研系统都有设置与自然灾害成因机理、灾害史料、灾害区划、抗灾工程、灾害社会学等等方面的研究部门

2. 综合减灾系统工程的设计方案

考虑到灾前、灾时、灾后和平时各种减灾工作，可概括为由十个工作环节（或子系统）所构成的减灾系统工程模式。

3. 管理体制的改革

我国现行的灾害管理体制是行业生产型管理体制；条条管理，由中央直到地方基层，各个条条自成体系，都包含上述减灾系统工程的前几个子系统环节，这就不免有彼此的重叠，信息和经济资源得不到充分的发挥，更不利于以社会单元作为一个综合承灾体进行综合减灾规划的制定和作用的发挥。



1990 年开始十年减灾活动以来，几年的工作实践表明，上述的综合减灾系统工程模式在省里受到欢迎，并已不同程度地开始实践，但由于国家灾害

管理仍是行业生产型条式的管理所以省级还不能全面改革灾害的管理体制。我国是一个多灾种的大国，要想成立像日本那样的国家级减灾综合管理体制也有许多困难，设想主要是与多种生产行业与综合减灾体制的交叉管理的矛盾。也许加强国家政府综合部门的综合减灾调节指导功能，推进省级减灾体制的改革实验是一条可行的改革方向。

我国通过在政府、专业部门、各群众协会和各企业之间的相互配合，统一管理的全社会共同行动，以国家级、省级和城市级三级减灾管理为准则，进行全国范围内的减灾公共管理计划。

四、减灾与社会可持续发展

1. 扶贫与减灾

贫困区、贫困县甚至有些比较后进的省份有很大一部分是由于受自然灾害的困扰，特别是受灾害频发之苦。如西北的长旱区，长江中下游的多洪区，所以，扶贫要追根。近年我国西部有些地区把扶贫与减灾在领导层形成统一认识，把扶贫经费用于兴建保水、蓄水工程解决了长旱之灾，也就挖掉了穷根，形成良性循环，这是很好例证。

2. 发展与减灾

社会发展的主旋律如何推进健康和持续的社会发展？大家都知道要对国情有充分的了解，而且要对后代有饱满的责任心。抑制人口爆炸的计划生育政策和抑制环境恶化的环保政策对我国的发展都是保证对策。同样，对于我们这个多灾的大国，而且是多灾而致多贫的国家来说，提高全民减灾意识，在建设发展中充分贯彻江泽民同志“建设与减灾一起抓”的指示精神是非常重要的。

地球动力学的演化观

王鸿祯

中国地质大学

王鸿祯 地质学家，1916年11月生，山东苍山人。1939年毕业于北京大学。1947年获英国剑桥大学博士学位。历任北京大学教授、北京地质学院副院长、武汉地质学院院长、中国地质学会副理事长、中国古生物学会理事长。现为地质大学教授，国际地科联地质科学史委员会副主席，第八届全国政协常务委员。1980年当选为中国科学院院士（学部委员）。长期从事古生物学、地层学、古地理学、前寒武纪地质学、大地构造学和地质学史研究。

一、前言

地球动力学一词近年使用颇广，从历史上说，人类开始研究地球的形状和性质，并予以动力学的解释，即可称为地球动力学。近代、现代地球动力学是在研究全球构造和地球深部作用的基础上建立起来的、应用地质学、地球物理学、地球化学以及大地测量等学科，进行综合和交叉研究的重大课题。狭义的地球动力学强调地球各种现象和要素的力源性质和动力作用模式的探讨，广义的地球动力学则包括对各类地球现象进行全球性的概括，并应用地质、地球物理和地球化学等多学科的综合研究，以求达到对行星地球的整体认识，探讨和推断地球演化过程中的动力作用史，从而建立地球动力演化模型。

从时代范围说，地球动力学的研究内容可以分为两大阶段。一是从晚侏罗世（约150Ma）以来地球上洋壳海域部分保存，洋陆轮廓的主要格局基本上尚能得到反映的阶段。二是150Ma以前，洋壳海域已经消亡，洋陆轮廓，特别是其经度位置，只能间接推断的阶段。马宗晋曾分别称之为晚近期地球动力学和古远期地球动力学。两个阶段虽然难于截然分割，但研究方法和重点内容俱有差别，所以这种划分是方便可行的。本文主要论及的是古远阶段，但也必须建立在晚近地球动力学知识的基础上。古远期地球动力学只能上溯到1800Ma前（古元古代末）或2500Ma前（太古宙末）。在更早的时期，地球的层圈分异和各层圈的性状可能均有不同，古构造格局及古动力学特征就更难以认识了。

二、当前对行星地球的总体认识

研究地球动力学的重要基础是我们当前对行星地球的总体认识，主要是指对其形成、结构和演化过程的基本认识。这是我们研究的出发点和重要依据。现代地球科学对了解地球的目标要求是全面的和历史的，既要了解地球各圈层的现状、相互作用和影响，又要了解它们的形成和演化过程。前者包括地球的物质结构和分异，后者则涉及对地球起源及早期状态、太阳系起源以至天体和宇宙背景的认识。这方面的许多问题并未解决，但我们仍须采纳

和形成一个较为系统的地球知识体系，作为讨论的基础。

地球自身具有圈层构造。根据地球物理和地球化学的数据，地壳、地幔和地核之间的界面可能是物质分层的化学界面，其形成与地球早期的物质熔融事件有关。壳、幔、核内部的各界面则主要是物理界面，其形成受到地下不同深度温压条件和矿相变化的约束。但地幔界面也可能包括成分的差异。界面附近都有活跃的境界层，在动力演化中，具有重要的作用。岩石圈之下是软流圈。大陆根部特别发育时，则形成构造圈。上、下地幔之间的地幔界面（MB 670km）附近是地幔境界层，具有控制地幔对流的重要作用。核幔境界面（CMB 2900km）之上是核幔境界层，是不均一的、活跃的热境界层和化学境界层。超级幔柱和地幔对流都从这里开始和形成。这种深部作用在浅部层圈和地表都有响应，例如超级地幔柱中南太平洋和非洲热柱和西伯利亚冷的下降流，以及大地水准面异常的地面分布等。

岩石圈的横向分异是众所周知的。近年地震层析成像研究表明上地幔的分层和各层的各向异性都很显著。它们受到地幔境界层以上形成的中、小型对流和浅层涌流的控制。邓晋福等曾指出东亚和西太平洋岛弧区可能存在小尺度的对流系统。小尺度的浅层对流的存在可能是宽广而复杂的大陆边缘区的特有表征。

从层圈分布说，地球动力学包括岩石圈动力学和核幔动力学。在 P.J.Wyllie 主持编写的“固体地球科学与社会”中，这两个研究领域都得到反映。岩石圈动力学是我们研究的主体。大陆地壳蕴含着丰富的地球史纪录，是了解地球动力演化过程的信息库。马宗晋对晚近期地球动力学研究提出了系统的见解和建议。他提出的全球三大构造系统和南、北半球相对扭转的认识是全球级非均一和深部不对称组成的地表响应。对地球化学同位素组合的研究表明地幔各区是不均一的，可以根据同位素组合差异判定其源区不同，从而推定岩石圈的地球化学分区及其演化。这些研究都涉及地球起源及其早期演化问题。

对地球结构现状的研究同对地球及太阳系起源的认识密切相关。地球及太阳系起源问题至今意见分歧。总的说，人们已经放弃了关于太阳是炽热星云团，因冷却收缩，抛出圆环，再分离而成行星的假说，而认为行星地球是低温的较重物质凝聚吸积而成。但无论是施密特的太阳俘获尘埃云，因距太阳远近不同而形成内、外行星群的学说，还是霍伊尔的用星际空间磁场影响解释太阳角动量转移到圆盘，圆盘再分离形成行星的假说，都还存在困难，不能使人满意。最近我国学者张永鸿提出了涡旋体系的概念，认为太阳系是银河系中星云密布域受宇宙热射流扰动而发育的平面涡旋体系。体系内的分散质点浓缩形成多个引力中心，分别形成太阳及行星。这个假说认为中心星体太阳不在旋转中心，而在旋核边界无旋环流中，从而也解释了太阳系角动量的分布问题。

核幔动力学与岩石圈动力学是紧密联系和互不可分的。液态的外核和核幔境界层与地磁场形成及地幔深部过程有密切的关系。最近美国哥伦比亚大学宋小东等发布了地球内核以较大转速独立转动的研究成果。这个重大的发现将对地球动力学研究产生重要影响。关于地球圈层的形成和物质分异的过程也有不同认识。张永鸿认为太阳系星云物质在旋涡体系内可因运动的速度差别而发生初步分异。开始凝聚为星子时可能发生进一步的物质分异。星子在低温下凝聚吸积成为地球胎的过程中，因物质放射性，地球重力收缩和陨

石冲击都将生热，导致 Fe、Ni 原素成为液态，沉入地心而成地核。这个地核形成的短期过程（10-100Ma）得到较普遍的承认。但也有人主张地球和太阳系都是由超密物质组成，来源于中子球的多级次爆炸。壳幔分异，特别是地壳物质是否全部来自地幔的分异，引起人们的怀疑和思考。张永鸿指出了地壳形成的分熔说和不均匀凝缩说的困难，认为地壳可能部分由地球形成晚期富 Si, Al 质球粒直接凝聚而成。前述地幔不均一的分区现象曾导致学者们关于地球物质组成原始不均一和早期分异的设想。看来这是一个有益的思路。

地幔动力学的主要研究对象是幔柱构造和地幔对流。岩石圈动力学的主要研究对象是板块构造。熊泽峰夫等提出三种构造，即岩石圈的板块构造，地幔的幔柱构造和地核的生长构造，并将它们与类地行星的一般演化相联系，赋予它们以行星演化的阶段意义。熊泽峰夫等还论述了核幔边界层和地幔边界层的重要作用，指出地幔边界层对上、下地幔物质和能量的运移交换所起的阻滞作用及其后被突破和被穿透所产生的影响。他们认为这可能是地幔双层对流和地表构造过程阵发性和某些周期性的根源。

板块构造是岩石圈动力学的主要理论，也是当代地质界已建立的、库恩所称的“标准科学”（normal science）。但它的动力学，特别是力源问题尚未解决。由于壳、幔在地球自转中的速度差异，整个岩石圈相对地幔作向西的整体运动已得到普遍的承认。近期研究发现了地壳分层、莫氏面和山根及陆根的复杂形象，以及软流圈和过渡层的复杂关系。它们导致板块在地表运移的速度和方向变化呈现复杂的图景，其动力学解释也是多因素的和多解的。总的说，现代岩石圈动力学研究，一是要注意其与深部层圈的相互影响，二是要注意其整体在地球表层的运移形式，三是要注意地外因素的影响。所有这些都还必须考虑一个时间维，必须在演化过程的动态中予以研究。我们当前的工作应该从地表观察的具体现象入手，从不同学科积累的多种资料及其综合研究为依据。这是地学学科必须遵循的途径。本文在以下各节，将从演化史的角度，根据地球史中已知的节律现象，对地球动力学作一些探讨。

三、地球的节律及其动力学解释

地球动力学及其演化的研究资料纷繁，方面和层次多样，必须有一个对时空框架的基本认识，以便有所遵循，便于讨论。

我们的主导思想从时间方面说，是地球历史发展的“阶段论”，也可称为“点断前进说（punctuated progression）”。其主要依据是地质作用中普遍存在的节律（rhythm）现象。阶段论主张突变，其对立面是“均变论”，其主要特征一是阵发性（episodicity），二是周期性（periodicity），三是不可逆性或前进性（progression）。三者都符合事物发展量变质变的普遍原则，也都表现为普遍的节律现象。我们的主导思想从空间方面说是地球的全球构造活动论，主要依据是岩石圈各级块体组成的不均一及其组合格局的不断变化。实际上，地球的圈层结构纵向不均一和各圈层的横向不均一是构造活动论深层的物质依据和原因。非均一是普遍的规律，而从混沌状态通过自组织作用达到有序，再由新事件的发生导致高一级的混沌状态，也是事物发展量变质变的普遍表现，同时也把时间同空间结合起来。所以我们的学术指导思想是历史发展的阶段论与全球构造的活动论相结合的地球史观，或地球动力学演化观。

1. 时间框架-地球的节律及地球史的阶段划分

地球节律表现在生物演化的阶段性和前进性已早为人知，但其阵发性和周期性只是在近年对生物集群绝灭的大量统计和地外因素的影响研究才得到初步的共识。地球节律在构造运动方面的表现曾引起长期争论，主要争论是在低层次的运动期是否具有全球性。俄国 V. E. Khain 和 E. E. Milanovsky 对此持肯定态度，欧美学者表示怀疑，但对较长期的阶段和周期争论较少。作者于 1979 年提出了亚洲的构造阶段，于 1982 年和 1986 年提出了中国的构造阶段的见解。其后又对构造阶段与联合古陆周期作了比较。地球节律在沉积方面的表现讨论最广。作者等对层序地层级别体系提出了较系统的方案，以联合古陆周期与超级层序对应，同时试行将各级层序与不同级别的天文周期对应。史晓颖还专门讨论了 35Ma 自然周期在沉积、构造、火山活动以及古气候等方面的表现。据 Rampino 等和 Stother 的计算，太阳系穿越银道面的周期约为 31-36Ma，由于太阳系穿越银道面时的引力扰动和引潮效应以及遭受高概率星体撞击的影响，地球各圈层因而发生大致同时的灾变效应，所以各方面的耦合较好，层序地层中中层序一级的划分也较清晰。更短的周期受到地内因素的干扰较大，因而正层序（三级）以下，偏移较多。

联合古陆（Pangea）在地球史上曾几次出现，尚无定论。有人提到其出现周期约为 2.5 亿年，与银河年相当。P. Morel 等以二叠纪联合古陆为 Pangea A，向前推至前寒武纪末期为 Pangea E，350Ma 时间内五次出现，显然不合事实。Khain 将太古代末的联合古陆命名 Pangea 0，1900Ma 出现 Pangea₁，直至二叠纪出现 Pangea₂。作者近年以来研究古大陆在地球史上的聚散过程，提出了 1400Ma、1900Ma、800Ma 和 250Ma 四个联合古陆。其出现周期约为 5-6 亿年。太阳系绕银心公转一周的银河年约为 2.74 亿年。地球随太阳系在银河系涡旋星系中的公转十分复杂。大陆聚散即联合古陆周期可能相当于其双周期。地表古大陆向北和向南的漂移约相当其半周期（1.35 亿年）。张永鸿对此曾作过计算和讨论。这些周期现象究竟同何种耦合因素有关，尚需探讨。

2. 空间框架-地球的大地构造分区

空间分异是非均一普遍规律的体现。当前我们的讨论主要限于岩石圈，也涉及上地幔。大地构造分区也许是我国地质界几十年来讨论最多的问题。但过去谈分区往往只涉及类型和性质，建立的级别体系则又往往限于区域特征，流于烦琐。现代构造分区概念，一是要考虑岩石圈（主要是大陆岩石圈）的整体分异，二是要考虑深部过程和内部层圈的相互作用，也就是要将构造分区建立在岩石圈动力学的基础上。板块构造学说出现之后，不少学者认为原有构造单位名词不宜再用，这种见解是不全面的。新的理论概念出现后，对原有部分名词进行再定义和重组，继续使用，是学术继承的正常现象。作者在 1985 年提出作为一级构造单元的“构造域”概念，以晋宁期末（850Ma）和印支期末（210Ma）为准，以古大陆主体及其周缘地块相结合，将全球分为 6 个构造域，13 个主要大陆地台块体。这 6 个构造域及其周缘的地块岛群可能基本上是一个整体在地表上旋转运移的。1400Ma、800Ma 和 250Ma 三次拼合的联合古陆，除个别外，13 个主体大陆地台都保持了主体轮廓不变，变化限于边缘碎块的裂离形成岛群及其后不同形式的重新拼贴。这个过程是陆壳发展成长的重要模式。构造域（或构造域组）在地表上的整体旋转运移，构造域之间的聚散交替，形成联合古陆半球形或沿赤道环形的集中和离散，

很可能与全地幔对流系统和超级慢柱的发生和消亡相关，而大陆边缘的裂离和重新聚合则可能与上地幔对流系统或更小尺度的对流相关。值得注意的是800Ma 联合古陆成沿赤道的环形，250Ma 和 1400Ma 联合古陆则呈纵向分布，成半球形。在联合古陆图上，古生物学者一向认为古特提斯洋范围过大，与古生物资料不符。作者所作 250Ma 联合古陆再造图表示的南半球冈瓦纳古大陆与 Scotese 等的图比较，稍向东偏，这样既使南特提斯洋面积变小，又使北半球古陆相对于南半球向西扭动，与现今北半球相对于南半球的左旋扭动有相似之处。在地表古大陆聚散中，联合古陆的重复出现及其半球形的格局配置同沿赤道环形的格局配置交替出现，引人注目。J.D.A.Piper 重建的1900Ma 联合古陆也是近赤道环形格局。这种交替出现的动力学意义值得研究。

四、联合古陆周期与可能的地球有限膨胀

前节论述了地球史上 5 个联合古陆以 5-6 亿年的周期出现，两个联合大陆之间，古大陆在地表的分布格局处于不同程度的分散状态。现知 800Ma 与 250Ma 两个联合古陆之间最为分散的时期是晚寒武世（约 520Ma）。古生代的古大陆再造含有不确定因素。除古地磁数据和大陆边缘构造性质外，生物古地理和古气候也是重要的依据。许多古生物学者认为再造图上的洋壳海域过大，与生物古生态古地理不符，因而有人对地球表面积是否一直不变，提出了质疑，从而在 60-70 年代出现了地球膨胀论的思潮。从物理学的观点看，地球层圈结构，特别是地壳形成之后，大幅度的膨胀和大规模的质量、数量的增加是不可能的。H.G.Owen 认为在地球半径不变，被动大陆边缘基本无洋壳消减的情况下，所有消减都集中在太平洋和印度洋北部，显然无法平衡。他提出 200Ma 前地球半径为现值的 80%，作出的再造图中联合古陆的特提斯缺口可以弥合。这个膨胀数字显然过大，特提斯洋完全变为内海也不恰当。近年卫星激光测距计算结果，太平洋的会聚速度也小于理论数学模型的要求。60-70 年代，J.W.Wells 和 A.Pannella 发现了古生物钟现象，K.Lambeck 综合提出了地球自转减速的总趋势，在中无古代转速约为现在的一倍。

80 年代以来，Milanovsky 连续发表主张地球脉动胀缩的论文。最近他从海平面变化、古地磁极倒转、玄武岩喷发、构造运动、特别是拉伸与挤压的交替出现，论证了地球史上膨胀与收缩的脉动交替规律，指出中生代以来，特别是晚第三纪，是地球膨胀的加强期。他将地脉动（geopulsation）周期分为不同的级别，与层序地层的分级相似。他从未提及胀缩的幅度，所以他提出的是脉动论，而不是膨胀论。蒋志自 80 年代初期即提出地球脉动模型和理论地质年表，对地表能量平衡和地内核、幔差异运动均有新见，由此提出地球动力学整体制和地球脉动学说。杨槐以思辨和论争的方式提出了地球的高密度物质起源和“非球对称膨胀说”的系统理论。他提出的地球由高密度物质组成及其自外而内的连锁态变设想至少是解决了地球膨胀所需的巨大力源的问题。星系起源的超密说认为太阳系和地球都是高密物质块的爆发破碎产物。超密说对星系际和星际空间弥漫的星云质难以解释，对太阳和地球两者形成先后问题的解释也存在困难。很可能具有不同形态和特征的星系不是单一成因机制。地球核部也可能含有“原生”的高密物质块，而不完全是地球星胎部分熔融、重力集中的产物。

作者近年从事全球古大陆再造研究，也感到生物古地理的推论与现有的基于地球表面积不变的再造格局在洋壳海域的规模方面存在矛盾。由于地球有限膨胀在生物古地理和地球自转减速方面有一定的根据，也符合地球动力演化的耗散结构理论，因此作者以地球演化的“阶段论”思想为指导，考虑地质阶段和天文周期的几个重要时间界面前后发生重大突变的可能性，提出了以 15-20% 的地球半径变化为范围的地球阶段性非对称有限膨胀的设想。假定前述的 5 个联合古陆解体时均发生不对称膨胀，导致每次地球半径增长半径现值的 5%，则可推定太古代末地球半径为现值的 80%。据此，由李翔设计软件，计算出古陆在缩小了的球面上的曲度变化，按 90% 半径数值对 800Ma 联合古陆再造成图，结果使联合古陆更接近整体环状，可能更为合理。

五、结语和展望

1. 地球的节律现象，从整体和长期看，可能是地球动力学普遍规律的表现，35Ma 的周期耦合较好，更短期和更长期的周期受到地内和地外因素的干扰，会出现不同程度的偏离。今后应坚持观察测试，获取更多的资料数据，对地球节律现象进行验证，使其研究更加深入和完善。

2. 地球史的时空框架可以历史发展的阶段论（点断前进说）和构造格局的聚散周期说（即联合古陆周期说）为依据进行验证。今后可将构造域在地表的整体运移作为工作假说，结合深部过程的研究，作出全球古大陆再造的古构造格局及其古动力学解释的系列图件。

3. 在地球和太阳系起源方面，可以低温度尘埃云凝聚吸积和高密度物质爆发形成破碎块体相结合的认识为基础，以地球核部包含部分原生高密物质，因而保存充足潜能，可以供应地球有限膨胀动力源的机制作为工作假说，试行建立地球阶段性有限非对称膨胀的动力学模型，作为进一步研究的基础。

4. 为推动这项研究，可以组织包括地质、古生物、地球物理、地球化学和天文学等多学科的跨学科交叉协作，采用基础理论研究项目的形式，谋求在“九五”期间取得阶段性成果，在国际上地球科学基本理论研究方面作出我们的贡献。

中国资源特点与开发战略探讨

石玉林

中国科学院、国家计委自然资源综合考察委员会

石玉林 土地资源与区域开发专家。1936年1月2日生于福建长乐。1957年毕业于北京农业大学。历任中国科学院国家计委自然资源综合委员会常务副主任、研究员。现任中国农业资源与农业区划学会副理事长及中国自然资源学会常务副理事长。1995年当选为中国工程院院士。主要从事土地资源、区域开发等的研究。

一、自然资源特点与态势

（一）自然资源特点

资源即财富之源泉。自然资源即人类可以利用的自然形成的物质与能量。自然资源主要包括土地、水、气候、生物、矿藏资源，它们在自然界中是彼此联系、相互结合的有机整体。又是独立存在的。据我们认识，中国自然资源具有下列共同特点。

1. 资源总量大，种类齐全

中国国土 960 万平方公里，仅次于俄罗斯与加拿大，居世界第三位，海域 473 万平方公里。中国主要自然资源的总量均居世界前列。实际耕地约 20 亿亩，占世界的 6.8%，居世界第三位。森林面积 19 亿亩占世界第 5 位。草地面积约 60 亿亩居世界第二位。河川径流量 2.7 万亿立方米居世界第六位，可开发的水力资源 3.7 亿千瓦居世界第一位。矿产资源总值，居世界第三位，其中，钨、锑、钛、稀土、菱镁矿居世界第一位，煤、钒、硫居世界第二位，磷、锌、钼居世界第三位，镍居第九位，石油储藏量也居世界第九位。中国主要自然资源的总丰度与世界各国比较，仅次于俄罗斯与美国，位居世界的第三位，堪称资源大国。这个概念基本上符合社会公众的一般认识。

地大物博，资源丰富，种类齐全是中国资源的优势。一个国家的人口与经济规模的规模在很大程度上取决于该国的自然资源总量，目前除日本等少数国家外，世界上经济大国都是资源大国。自然资源总量大是中国综合国力的重要方面。

2. 人均占有资源量少，资源相对紧缺，生存空间狭小

中国人口众多，已达 12 亿，本世纪末将达到 13 亿人口。因此，按人口平均，中国则是资源小国。

中国人均国土面积仅 12 亩，为世界人均量的 29%。中国山地丘陵占 2/3；半干旱、干旱地区约占国土的 1/2。东半部半湿润、湿润地区集中了 90% 以上的人口，每平方公里 225 人，特别在沿海和平原地区，生存空间狭小。

各类资源的人均量是：人均耕地 1.65 亩，仅为世界平均数的 1/3；人均草地 5 亩，为世界平均数的 1/2；人均森林面积 1.5 亩，为世界平均数的 1/6；人均森林储积量为世界平均数的 12.2%；人均水资源是 2300 多立方米，为世界平均数的 1/4；人均可开发的水力资源装机 0.31 千瓦，所占比重最大，也仅为世界平均数的 3/4；人均矿产储量总值 1 万美元左右，至于各类矿产

资源如果按 12 亿人口平均，绝大部分均低于世界人均占有量。

人均占有资源量少是中国资源的一大劣势，一个国家居民消费水平和生活方式在很大水平上取决于该国的人均自然资源的占有量或消费量，中国人口仍将持续增长，人均占有资源量还将继续降低，这是难以改变的事实，表明中国人口对资源的压力过大。

中国资源相对紧缺，特别是决定国计民生的耕地人均量过小与淡水供应不足，成为约束性的两大稀缺资源。至下世纪 20-30 年代，中国人口将达到 15 亿，那时人均耕地面积将下降到 1.2 亩，人均占有淡水资源也下降到 1800 立方米，资源供应形势将愈来愈严重。人口多，耕地少，供水不足是中国的基本国情。

3. 资源质量相差悬殊，低劣资源比重偏大

中国不同地区与不同种类的资源质量相差悬殊，但低劣资源比重偏大。从地面资源看，草地资源质量普遍较差，中下等草地占 87%，加以季节不平衡，冬春草不足，载畜能力低，15-20 亩才能养一只绵羊单位，但天然草地质量差异也很大，东部的草甸草原质量较佳，产草量可高于荒漠草地 10 倍。中国有林地质量总的看是较好，一等林地占 65%，但现有林地的中幼龄林比重大，林场生产力普遍较低，与林地潜力很不相称，中国的耕地资源一般情况下都是在最好的土地上开垦，但质量也相差悬殊，好地即无限制的一等耕地约占 40% 左右，而有各种限制的耕地，即不同程度的水土流失、风沙、盐碱、洪涝灾害的中下等耕地与中低产田则占总耕地面积的 60% 左右，这是由于中国人口多，平原好地不足，山坡地、沙荒地、滩地、湿地开垦以及管理不善造成的，中国耕地质量总体看不算高。

矿产资源，不同矿种质量相差也很悬殊。煤炭资源总体看质量较高，品种较全，分布集中，开采条件也较好。还有一些小矿如钨、稀土等质量也较好。但相当部分矿种质量较差，表现为富矿少，贫矿多，综合组分多，单一整装矿少，开采难度大。如铁矿，贫矿占 95% 以上。铜矿中，品位低于 1% 的占 2/3。大于 30% (P_2O_5) 的富矿占全国磷矿总储量的 7.1%，而小于 12% 的贫矿却占总储量的 19%。而且中国矿产一般埋藏较深，可供露天开采的大型巨型矿产极少。这个特征大大加重了资源更新、改造、开发利用的难度，对投资和技术条件的要求较高。

4. 资源地区分布不平衡，组合错位

资源分布不平衡，各类资源按其成因和地理分异规律，分布在一定的区域内，资源分布的区域性是资源的一个共同特点。各类资源分布的差异，它的组合特点，很大程度上影响着资源开发利用与经济发展。中国各类资源匹配总体看不理想，组合错位。中国南方地区水多耕地少，水资源占全国水资源的总量 81%，而耕地只占全国耕地的 35.9%，能源资源普遍短缺。其中东部（华东、华中与华南）也是矿产资源较贫乏的地区，煤炭仅占全国的 1.0%，石油占 0.7%，铁占 18.6%。西南则水力资源占全国的 70%，铁、有色金属、磷、硫较为丰富，也有一定煤炭资源（占全国的 10.3%），但山高坡陡，耕地资源更缺，也是严重的石油短缺地区。北方地区，水少耕地多，耕地资源占全国耕地总面积 64.1%，而水资源只占全国水资源总量的 19%，能源与矿产资源丰富，煤炭资源的 90%，铁矿的 60%，石油资源几乎全部在北方。在北方地区中，华北地区耕地占 38.5%，而水资源仅占 7.5%，水土资源严重不平衡，而且矿产资源丰富，煤炭占 50%，石油占 38%，铁矿资源占

29%，水是主要限制条件；西北干旱地区，耕地占 5.8%，水资源占 4.6%，似乎基本平衡，但西北土地辽阔，土地总面积却占全国土地的 35.4%，大部分土地因干旱缺水而不能开发，西北地区是中国富能地区，煤炭资源占 28%，石油资源占 13%，而且前景看好，大有潜力，有色金属资源也很丰富，但铁矿资源只占 7%，偏少，水资源是限制西北资源开发与经济发展的约束性因素。东北地区耕地占 20%，水资源占 7%，东北石油能源丰富，占 48%，煤炭占 8.5%略少，铁占 24%，而且森林资源丰富，有林地面积占全国的 30%，木材蓄积量占全国的 42%，东北地区除辽河流域缺水严重外，总体看资源匹配较好。青藏高原，高寒、缺氧是限制条件。

从人口分布看，中国北方人口占 45.3%，土地面积占 63.6%，以黄淮海地区人口最为集中，占全国总人口的 33%，土地面积只占 15%，人口密度最大；中国南方人口占 52%，土地面积占 36%，人口密度比北方高，其中长江流域，人口占 35%，土地面积占 19%，人口密度也是全国最大地区。

再从人与资源关系的角度分析，我们可以认为，中国南方是人地矛盾，而中国北方普遍是水土矛盾，华北地区即黄淮海地区则处于水土矛盾与人地矛盾叠加的焦点，又是矿产资源丰富，经济重心地区，因此为促进华北地区经济的发展，解决水资源短缺是首要问题。

5. 资源开发强度大，后备资源普遍不足

中国人口众多，各类资源在经济技术所能及的范围内，都得到开发利用。宜农地资源的利用率达到 90%以上，后备资源不足。而且适宜开发种植农作物的后备耕地资源面积仅 1.5-2 亿亩，只可开垦净耕地 1 亿亩，为现今实际耕地的 1/20，宜农耕地资源已处于“饱和”甚至“超饱和”状态，不少地区，特别在黄土高原、风沙地带和西南山区，因平地耕地不足，而采取陡坡开荒造成大面积水土流失、土地沙化和退化。中国荒漠化地区的耕地退化达 45%左右。天然草地过牧超载 1/3，造成草地生产力普遍下降 30%-50%。中国林地资源丰富，利用率只有 50%略多，还有 17 亿亩的宜林荒山荒地，提高森林覆盖率潜力很大。但现实森林资源同样是采大于育，采育失调，木材供应赶不上需要，将有枯竭危险。华北平原地下水资源开采过度，缺乏水资源补充，普遍发生大漏斗，有些滨海地区已发生海水倒灌。东部油田，储采比降到约 10:1，大都已进入中晚期，且新油田接替不上，后续资源不足。中国的铁矿资源，由于富矿少，已部分由国外供应。因此，为了社会经济的持续发展，一方面必须坚持资源的节约利用、综合利用、持续利用，另一方面要大力寻找新的后备资源，是刻不容缓的。

（二）自然资源态势与保证程度

我们将从人口与资源关系角度探讨与国计民生关系最密切的几种资源对人口增长、经济发展的保证程度，进行趋势性的预测。

1. 耕地与淡水资源态势

根据国家统计资料，1981-1985 年期间，由于农业内部结构调整的失控与非农建设占用地的增加，耕地净减少 3689 万亩，平均年减少耕地 737 万亩。1986-1990 年由于采取保护耕地措施，耕地减少趋势有所控制。1990 年以后，由于刮起“开发区热”，耕地又遭到大量流失，1983 年全国耕地减少 484 万亩，1994 年减少约 600 万亩。预计到本世纪末实际耕地面积将下降到 19.5 亿亩，（按目前 20 亿亩计算），那时人口估计达 12.7-12.9 亿人，人均占有耕地也将下降到 1.5 亩，下世纪 20 年代，耕地面积将继续下降到 18.5 亿亩，

人口增长可能达到 15 亿，人均耕地则下降到 1.2 亩以下。因此，无论耕地绝对量还是人均占有量的减少趋势将是不可避免。

与此同时，人均占有淡水量也将下降，工农城乡需水量也将不断增加，预计到本世纪末，人均占有水资源下降到 2200 立方米，根据人口与经济发展的需要，总需水量也可能要达到 6400 多亿立方米，供水能力可能达到 6600 多亿立方米，由于地区不平衡，海河流域仍缺水 100 多亿立方米。农业是用水的大户，2000 年农田灌溉面积如增加到 8 亿亩，则灌溉用水量将达到 4800 多亿立方米，遇中等干旱年份，全国将缺水 350 亿立方米。到下世纪 20 年代，人均占有量将继续下降到 1800 立方米，水的供需矛盾将更加尖锐，供水难度更大，需要采取重大的水利措施。为保证粮食的需求，农田灌溉面积必须达到 9 亿亩以上，则农田灌溉需水量达到 5200 亿立方米，中等干旱年全国仍缺水 330 多亿立方米。

2. 能源资源的保证程度

中国能源生产与消费构成中煤炭均占 75% 左右，以煤炭为主的能源构成在较长时期内不会改变。中国煤炭资源十分丰富，按现有探明储量可供上百年利用。但中国煤炭资源分布集中，60% 左右集中在晋、陕、蒙三省区，煤炭生产受交通运输限制，“以运定产”的格局在短期之内不会发生根本改变。煤炭供应不足，缺口量仍较大。中国水力资源开发程度低，石油能源供应日趋紧张。中国的电能在能源消费中比例很低。

根据国家计委和地矿部论证，2010 年一次性能源，消费量将达到 19 亿吨标准煤，其中煤炭 18 亿吨，石油 2.5-2.7 亿吨，天然气 600-1000 亿立方米，2010 年的石油产量约 1.6-2.1 亿吨，天然气约 516-713 亿立，油气资源供需相差甚远，需进口补缺。煤炭资源则可以满足 2010 年的需求，但也存在勘探程度的储量不足，运输与环境污染问题。

3. 矿产资源的保证程度

中国目前矿产资源对国民经济发展需求基本能保证，但大宗矿产与主要矿产资源除煤以外，不足问题已经很突出。根据地矿部材料，2010 年在 45 种重要矿产中，可以保证的只有 23 种，不能保证需长期进口补缺的有石油、天然气、铁、锰、铜、镍、金、银、硼、硫铁矿等 10 种，资源短缺主要靠进口的有铬、钴、铂、钾盐、金刚石 5 种。到 2020 年，形势更加严峻，可以保证需求的仅有 6 种矿产，对 2050 年发展目标则完全没有保证，相当部分矿产资源对经济建设保证程度偏低，关键矿产资源与石油能源紧缺的状态将会走向全面严峻。

总之，我们可以预计，到下世纪中叶，中国人口将达到 15-16 亿，如何保证庞大的人口群和高速的经济社会发展对资源的需求，保持资源的可持续利用，将是中国经济社会发展过程中的一个难题，也是个严重的挑战。

二、资源开发战略探讨

人口众多，资源相对紧缺，生态环境不佳，物质基础薄弱，地区差异大，是中国的基本国情。中国必须走可持续发展的道路，协调人口-资源-环境与发展的关系，优化资源组合配置，实行资源的可持续利用战略，开放型的两种资源战略和科技推动战略。

(一) 协调人口与资源关系，优化人力资源与自然资源组合

一方面要控制人口数量，提高人口质量，大力开发人力资源，发展劳动密集型产业与技术密集产业；另一方面要开源与节流结合，建立资源节约型经济体系。

1. 大力开发人力资源，发展劳动密集型产业与技术密集产业

中国人口基数大，增长快，素质低。到下个世纪人口最高峰可达到 16-17 亿，甚至出现更大规模的人口群，这是最坏的一种可能。中国人口发展要与经济发展，资源承载，环境容量，生存空间和人口自身发展规律相协调的适度人口目标。中国资源的最大人口承载量可能在 16 亿人左右。因此，必须继续严格的实行计划生育。采取强有力的综合措施，降低人口增长率，实现适度人口目标。与此同时加大教育投入的力度，大力发展教育，提高人口素质。

在未来 30 年内中国将保持着 6-8 亿的劳动人口，占总人口 60% 左右，特别是年青劳动力多，16-29 岁人口占总人口的 27%，这是世界最丰富的劳动力资源。人力资源的特点是具有两重性（既是生产者，又是消费者）和时效性，因此必须抓住这一时期，创造更多的社会财富，出路在于大力发展劳动密集型产业。与此同时，我们还应充分利用拥有 1800 万科技人员的总量优势，发展技术密集型产业与高新技术产业，双管齐下。

2. 开源与节流结合，建立资源节约型经济体系，节约、高效、持续地利用资源

中国一方面资源紧缺，但另一方面资源浪费严重，资源的利用率、回收率、产出率低（如灌溉水的利用率仅 30%-40%，能源利用率仅 30%），滥垦、滥伐、滥收、滥捕、滥采、滥排，造成了资源的破坏、流失、污染，环境的恶化与资源的枯竭。既有其历史根源——掠夺式、粗放式的利用资源传统，又有认识上、政策上、管理上的原因。为确保资源的持续利用，中国必须实行开源与节流结合，利用与保护结合的方针，运用科学技术与科学管理，改变高消耗资源为节约、高效利用资源，改变粗放性经营为集约性经营，立足于内涵挖潜。

（1）首先要保护资源，把保护耕地、淡水与矿山资源作为基本国策。粮食问题，首先是耕地资源与水资源不足的问题。要遏制近几年的耕地递减的形势，建立基本农田保护区，把耕地年减少控制在 200 万亩之内，逐步作到消长平衡。

（2）要节约利用资源，建立资源节约型经济体系。包括建立以节地、节水为中心的资源节约型的集约化农业生产体系；建立以节能、节材为中心的资源节约的工业生产体系；建立以节省运力为中心的节约型综合运输体系；以及建立适度消费、勤俭节约为特征的生活服务体系。即在生产领域、流通领域、消费领域等各个方面都要节约资源，走出一条非传统的现代化道路。

（3）要高效利用资源，提高单位资源的产出率，即以最小的投入资源取得最高的产出。要大力开展资源的综合利用，重复利用、再生利用和废物、污染物的资源化。要提倡资源效益，把资源效益放在经济效益、生态效益、社会效益同等的地位，彻底扭转以牺牲资源、牺牲环境来换取经济发展的高消耗资源、粗放型发展经济的模式，转变为资源节约、高效、可持续利用的集约化经济发展模式。

（4）要积极开源。开源与节流是辩证的关系，开源是节流的基础，节流是开源的继续。中国水土资源的开发要立足平原，开发山区与海洋。山区的开发重点是南方亚热带、热带山地，建设为以林果为主的农业后备战略基地。

沿海滩涂与浅海要实现农牧化。调长江水向华北输送，尽早实现中线、东线南水北调，以缓解华北地区工农业缺水状况，进一步考虑长江上游与雅鲁藏布江向西北输送方案。中国的能源在相当长时期内以煤为主的格局不会改变，但要大力发展水电，重点开发西南与黄河上游丰富的水力资源，有计划地发展核电，积极开发各类新能源，逐步改善能源结构与能源布局。加大地质投入力度，加速地质勘探工作，尤其是油气资源的勘探与开发。

（二）实现地区优势互补，协调区域发展，选择重点开发区

1.打破地区经济封锁，实行产业倾斜与地区倾斜相结合，加快中西部地区的发展

地区差异大，发展不平衡是中国的基本国情之一。中国幅员辽阔，地区之间自然、经济、人口差别是全世界差异最大的大国之一。中国自然资源、人力资源、经济资源分布不平衡，组合错位，主要表现在东西部发展水平的差异，其次是南北结构性的差异。

首先要打破地区经济封锁，才能实现优势互补和地区协作。要以地区差异为依据，逐步建立全国统一市场。加强技术经济协作，提倡沿海与内地、东部与中西部之间资源、人才、科技、资金的双向流动，实现地区之间、省区之间的优势互补，提高国民经济的整体效益。

实行产业倾斜与地区倾斜相结合的区域发展政策。当前中国农产品、能源、原材料不足已成为制约国民经济发展的重要因素，影响下世纪持续发展的后劲。要加速中西部地区农业、能源与原材料资源的开发，并带动中西部地区的社会经济发展。当前，从整体来看，中部地区农业、能源、原材料资源和人力资源都较丰富，经济、技术、人才已具备较好的基础，加速中部地区发展，对支持东部，带动西部，促进全国经济的持续发展具有重要意义。

2.加快全方位开放，推进沿海、沿江、沿线、沿边轴线的开发

中国国土开发的区域布局，要以沿海、沿长江、沿黄河为主轴线，结合主要铁路干线为二级轴线，辅以环国境主要城镇和口岸建设，以构成中国国土开发与建设的总体的基本框架。从地缘经济角度，将全国划分为六大资源—经济板块（区）。即东南区，包括闽、粤、琼、台、港、澳及江西与湖南的南部。以珠江三角洲、海南岛及闽、粤沿海为前沿，联合港、澳、台组成面向东南亚、太平洋的东南经济圈；西南区包括川、滇、黔、桂、藏，以广西沿海与云、桂沿边为前沿，组成面向印支、南亚北部的西南经济圈；东北区，包括辽、吉、黑三省及内蒙古东部，以珲春、大连沿海、沿边为前沿，与朝鲜、韩国、日本、俄罗斯、蒙古等国家组成东北亚经济圈；西北区，包括新、青、甘、宁，以新疆为向西开放前沿，重建丝绸之路，与中亚、西亚各国组成伊斯兰经济圈；长江区，包括上海、苏、浙、皖、鄂及湖南与江西的北部，即长江中下游，以沿海开放城市为前沿，以上海为龙头、长江为轴线，建立北邻华北、南连东南、西接西南，面向太平洋、面向世界的经济区，并支持东南、西南区的发展；华北区，包括京、津、冀、鲁、豫、晋、陕及内蒙古中西部，以沿海开放城市为前沿，以京津唐—环渤海区为核心，建立北接东北区，西连西北区，与长江区相呼应，共同组成面向太平洋、面向世界的经济区，并支持东北、西北区的发展。

3.选择资源经济重点开发区

根据开发条件好、资源丰富，对全国和区域经济的发展具有重要意义，选择经济比较发展、对外开放的区位条件比较好，和具有全国意义的能源、

原材料资源与农业资源等 31 个重点开发区。其中分布在东部地区有 8 片，中部地区的有 12 片，西部地区的 11 片。

综合经济开发区，包括京津唐、辽中南、山东半岛、长江三角洲、闽南三角地带、珠江三角洲、海南岛、北部湾、长江中游沿岸、哈尔滨-长春，关中等 11 片。

以粮食为重点的农业资源重点开发区，计有洞庭湖平原、鄱阳湖平原、江汉平原、江淮地区、淮北平原、松嫩平原、三江平原和四川盆地等 8 片。

能源与原材料资源重点开发区，包括以山西为中心的晋陕蒙地区、以兰州为中心的黄河上游地区、乌鲁木齐-克拉玛依地区、库尔勒-阿克苏地区、河西-东疆地区、以三峡为中心的宜昌至重庆地区、乌江干流沿岸地区、攀枝花-六盘水地区、红水河沿岸地区、西南三江流域、襄腾-两淮地区、湘赣粤交界地区等 12 片。

（三）两个市场，两种资源

任何一个国家都不可能拥有自身经济发展所必须的一切自然资源，通过国际贸易出口中国具有优势的资源产品，进口中国稀缺的资源产品，实现国际间资源转换，是促进中国经济持续增长的重要途径。

随着人口的增长、经济建设规模的不断扩大和人民生活水平的提高，对资源的需求将迅速增长。尽管我们力争作到资源基本供给，但在可预见到不久的将来，中国将成为资源产品的净进口国，下世纪中国资源的净进口额将进一步扩大，因此我国积极实行国际资源转换战略就更有必要了。

应该指出，农业生产的基础资源——土地、水、气候是不能进行国际贸易的，但是农产品资源是可以进行国际交换的。在中国人口多、耕地少、资源紧缺的国情条件下，农产品更需要实行国际资源转换战略，即生产出口一些劳动密集、技术密集型的优质、附加值更高的农产品，进口那些比较效益低、国内价格已高出国际市场的农产品，在粮食基本自给的条件下，实现农产品的国际大循环，与它国分享世界丰富的自然资源。立足国内，基本自给，适度进口，调剂品种，调节丰欠，促进交换，这就是我们应该采取的方针。同样能源也要进行国际交换，根据国际市场的供求状况，调整中国能源产品的进出口政策。我们要充分利用国际石油资源，增加国内的石油供给，也有利于能源结构调整和资源的储备与安全。

（四）开发与保护结合，建立以合理利用自然资源为核心的环境保护战略

资源与环境是互为依存、互为影响的。资源本身就是人类生存环境的一个重要组成部分。人类利用资源也就利用了环境。环境恶化是资源不合理利用，资源破坏、流失、污染的结果，因此，保护环境首先要从合理利用资源着手。环境是资源生成的动力，资源环境的恶化反过来影响资源的生产力，从这个意义讲，保护好资源环境也就是保护资源生产力。

中国人口膨胀，资源消耗过多，环境压力日益加重，而整治环境的能力低下，治理赶不上破坏，环境质量总的趋势是不断下降。土壤侵蚀、水旱灾害、环境污染、物种消亡是中国现今四大环境问题，它对中华民族生存的威胁与日俱增，如不及早采取果断而有效措施，未来的恶化趋势将会更为严重。

要实施经济社会与环境保护协调发展的战略，把资源环境保护纳入国民经济和社会发展的计划与长远规划。

实行国土开发、利用、整治、保护并重的方针。在保护前提下合理地开

发利用资源，整治资源环境，实现资源的可持续利用。

整治大江大河、保持水土、防治污染、保护物种资源是中国资源环境保护的四大任务。兴修水利、绿化环境、控制污染物的排放是中国资源环境保护与建设的三大措施。

推行以预防为主防治结合、谁污染谁治理、谁开发谁保护，以及强化环境管理的三大环境政策。

（五）依靠科学技术进步，提倡资源工程研究

1. 中国人口、经济增长与资源有限性之间的矛盾，最终要依靠科学技术的进步来解决

我们应该认识到资源有限性是相对的，随着科学技术的进步，人类将不断地拓宽资源范围，新资源、新能源、新材料、新食物将不断涌现，这个趋势有如江河滚滚永不止息，从这个意义上讲，资源又是无限的。因此，面对自然，我们总要坚持谨慎乐观的态度。最大限度地发展科学技术与教育是实现下世纪战略目标的关键。

研究并建立资源与环境的动态监测、预报、预警体系。

从理论上、方法上研究资源的核算问题，建立资源价值-价格-核算体系，资源-资产-产业化体系，研究并实行资源有偿使用制度。

研究在社会主义市场经济条件下，资源的优化配置与区域开发。

研究开发新材料、新能源、新食物，寻找稀缺资源的代用品。

发展节约资本和节约资源的适用技术，重点解决农业、能源、原材料与资源综合利用以及节地、节水、节能、节材、节粮的新方法、新技术、新工艺。

重视废弃物、污染物的资源化研究，促进废弃物的再生利用。

研究提高地质勘探，尤其深部找矿的新技术、新手段，以及超大型矿床的开发与采、选、冶的新技术。

研究应用生物技术于农业生产，提高农业资源的产出率与利用率。

研究解决土地退化、水质恶化、水旱灾害、环境污染等资源环境保护整治的新技术和新方法。

重视海洋资源开发与保护的研究。

2. 积极开展资源工程学的研究

资源工程学是资源科学与技术科学结合，促进资源转变为生产力的一门边缘交叉的应用科学，它的基本任务是在资源科学原理的指导下研究利用最新的技术于资源的调查与勘探、资源的优化配置、资源的开发利用与保护以及资源的管理，以期达到快速地查明资源与高效地利用资源。

开展资源工程学的研究是资源科学发展的必然趋势，也是社会主义市场经济的需要。

资源作为一门科学进行的整体、综合、系统的研究，在中国始于 50 年代的综合考察。党的十一届三中全会后，随着国民经济的蓬勃发展，资源科学研究也取得了长足的进展。由中国自然资源学会等主持完成的“中国资源科学百科全书”与由国家计委主持即将出版的“中国自然资源丛书”，系统地总结了近半个世纪以来中国资源科学研究的理论与实践，初步建立了资源科学的理论体系，标志着资源科学的形成。资源科学研究的进一步发展，必须更有效地与国民经济建设相结合，把资源的调查与勘探、资源配置与规划、资源开发利用与保护、资源的监测与管理等形成一个完整的体系并实现工程

化，使资源得到节约、高效、持续利用。

资源工程学的主要研究内容是：

(1) 资源调查与勘探工程。包括遥感技术、全球定位系统技术、计算机技术、各类勘探与测试技术等高新技术应用于资源的调查、勘探与评价的研究。

(2) 资源优化工程。包括应用计算机技术与地理信息系统技术于资源区划、资源规划、资源计划、资源配置等的研究。

(3) 资源开发利用工程。包括水利、土壤改良、生物措施、矿产开采等技术体系与工程化的研究。

(4) 资源再生利用工程。包括化学的、物理的、生物的各种技术于废旧物的再利用率的研究。

(5) 资源保护工程。主要包括生物措施、工程措施与环保措施的组装与工程化的研究。

(6) 资源信息与管理工程。包括信息技术、监测技术、决策支持系统、专家管理系统等的研究及工程化。

当前要加强遥感、全球定位系统、地理信息系统，即所谓“3S”技术在资源调查与资源动态监测中应用的研究；区域资源优化配置技术的研究；高效利用资源的技术体系的研究；废旧物再利用技术的研究；海洋工程技术研究；资源信息系统工程的研究等。

(六) 实现资源管理现代化，强化资源的统一管理

资源管理是国家经济的一个重要方面，它受国民经济管理体制所规范。我国自然资源管理制度不健全，是造成资源浪费与环境污染问题的一个重要原因。管理制度不健全主要表现在：资源所有权与使用权界限不清；

资源综合管理制度不完善；管理技术十分落后。资源管理主要包括行政管理、法制管理、经济管理三种手段，要建立适应于社会主义市场经济的资源资产化管理的新机制。

资源的整体性与管理的分散性之间的矛盾是造成资源开发与使用上国家与地方以及地区之间、部门之间矛盾的原因，也是造成资源浪费、破坏的一个重要因素。强化资源的统一管理，健全体制的协调功能，是充分发挥有效资源潜力的前提。为此，建议在国务院下设立资源开发协调委员会，统一协调资源开发工作中部门之间、地区之间，当前利益与长远利益，以及开发与保护的关系，协调人口、资源、环境与发展的关系，强化资源管理职能。

矿山开采沉陷与环境保护

刘天泉

煤炭科学研究总院

刘天泉 采矿、开采沉陷与特殊开采技术专家。1927年11月10日生于江西萍乡。1952年湖南大学肄业。1957年毕业于波兰克拉科夫矿冶学院,1958年获波兰克拉科夫矿冶学院硕士学位。历任煤炭科学研究总院北京开采研究所研究室主任、总工程师,煤炭科学研究总院学术委员会主任。先后任中国煤炭学会常务理事,中国岩石力学与工程学会副理事长,中国矿业协会常务理事,煤矿开采损害技术鉴定委员会主任。1994年被选聘为中国工程院院士。主要从事矿山采动影响与控制工程学的理论和试验技术研究。

一、矿山开采沉陷对矿区环境的影响

我国煤炭资源十分丰富,煤田分布广泛,特别是华东、华北、东北及西南各省区,大小煤矿星罗棋布,且与城镇、道路、水系紧密相连。因此,煤矿开采引起的环境问题日益突出。正确认识与妥善处理开采沉陷与环境保护问题,是摆在煤炭工业可持续发展任务面前的一个重大课题。

地下开采时在其周围地层中产生的采动影响,正如向水或浆液中投入石子会引起水波传播一样,不同的只是采动影响是从深处向各个方向扩展的。石子的大小好比开采空间的大小,水和浆液又好比软硬不同岩性的地层。在地下开挖一个菜窖,其周围地层受到的影响甚微小;开挖一条巷道,其周围地层就受到较大的影响,其影响范围叫松动圈,尺寸不过1—2米,或更大一点;而开采一个长壁工作面,其周围地层受到的影响范围则很大。在采深小、地层岩性软的情况下,一个长壁采煤工作面推进几十米后,采动影响就可达到地表;而在采深大、地层岩性硬的情况下,一个长壁采煤工作面要推进较大长度或是要采完一个以上的工作面才会影响到地表。

上述大面积回采工作面在周围地层中产生的采动影响,一般可用包括“顶三带”、“底三带”及“边三带”在内的“三带型”采动影响描述;而在地表产生的采动影响,则用“地表下沉盆地”描述。二者总起来可统称为开采沉陷或采动影响。

采矿工程无论在地层中或在地面上引起的采动影响,对地层中的地下建筑工程和地面上的耕地、崖坡、水系及建(构)筑物会造成不同的影响。因此,研究矿山开采沉陷与环境保护,就具有十分重要的现实意义。

然而,长期的科学研究及生产实践表明,采动影响是有规律可循的和可以控制的,而且采动影响对于不同的受采动对象,其影响的程度又是有差异的。因此,研究矿山开采沉陷对环境的影响,就必须首先研究开采沉陷的规律、沉陷控制技术、受采动对象的分类及其抗采动影响的能力。只有这样,才能使二者得到合理的解决。

二、矿山采动影响的基本规律

矿山大面积开采后，发生在所采煤层上面地层内的采动影响叫“顶三带”，即冒落带、导水裂缝带和弯曲沉降带。在采用长壁陷落式采煤方法时，只要采深大于50—100米，岩性属中硬，一般都能形成“顶三带”影响。因此，“顶三带”是采煤工作面上覆岩层中采动影响最普遍的一种形式，其冒落带和导水裂缝带的最大高度与采厚及岩性有密切关系。当岩性中硬时，冒落带和导水裂缝带总高度为采厚的12—16倍。

发生在所采煤层下面地层内的采动影响叫“底三带”，即鼓胀带、微裂隙带和应力变化带。目前，对“底三带”的研究工作尚不够。据现场实测结果得出，在采用长壁陷落式采煤方法及岩性中硬的情况下，鼓胀带深度为8—15米，微裂隙带深度为20—30米，应力变化带深度为60—80米。

发生在开采边界内外的采动影响叫“边三带”，即开采边界外侧煤层内的煤帮片落带、塑性变形带和弹性变形带。其范围大小与采深、顶板岩性及煤的力学特性有关。一般分别为几米、10—30米和30—100米不等。开采边界内侧采空区内的冒矸堆积带、冒矸压密带和再生顶板带。其范围分别为数米、10余米或40—50米。

在特殊地质及开采条件下，采煤工作面的上覆地层内还可能产生有别于“三带型”的抽冒型和切冒型采动影响。它们是采动影响最剧烈的形式。

三、矿山采动影响是可以控制的

根据资源利用和环境保护的需要，煤炭部门制定了衡量矿山大面积开采引起的岩层和地表采动影响的数量指标。它们主要是：下沉、倾斜、曲率、水平移动、水平变形、“顶三带”、“底三带”及“边三带”等。

大面积采煤工作面周围产生的采动影响，当它发展到岩层中的井筒、巷道时，会引起井筒、巷道的位移和变形；当它发展到岩层中的含水层时，会引起含水层中水位的下降或疏干，在井、巷和工作面出现滴水、淋水或涌水；当它发展到地表时，会引起地面建（构）筑物的位移和变形，水体渗漏；当它发展到煤层底板内的井、巷和含水层时，会引起井、巷位移、变形甚至突水。因此，大面积开采引起的采动影响，是矿区地面沉降、塌坑、开裂，房屋、道路损坏，崖坡崩塌，含水层水位下降、疏干和矿井突水的主要原因。但是，随着它们所处的位置及开采方法的不同，其所受影响的程度是有差异的，有时甚至是不会受到损害的。矿区建筑物、铁路及水体下所进行的安全采煤，正是实现了采动影响控制的明显佐证。

通过长期的研究试验与建筑物、铁路及水体下采煤的实践，我国煤矿已经形成了一套以采动影响理论为指导，以受保护对象分类为原则的控制与保护系列技术，为煤炭资源的充分利用及矿区环境保护找到了有效途径。

控制与保护系列技术的内容包括综合控制与保护和单项控制与保护两大类。地表的综合控制与保护技术指的是，采用控制地面采动影响全部指标的技术途径，以达到全面减少受护对象损害的目标；地面单项控制与保护技术指的是，采用控制地面采动影响单项指标的技术途径，以达到重点减少受护对象损害的目标。岩体的综合控制与保护技术指的是，采用控制岩体“三带”指标的技术途径，以达到全面减少覆岩破坏的目标；岩体的单项控制与保护技术指的是，采用控制岩体“三带”的部分指标的技术途径，以达到部分减少覆岩破坏的目标。

为了减少地表和岩层的下沉与变形，可以采用砂石类材料将采煤空间充实的充填采煤方法；在采煤空间内保留部分支撑煤柱的条带采煤方法；以及采用微细粒材料（例如电厂粉煤灰）向冒矸空隙和岩层间离层空隙内注浆充填的方法。这些方法的应用，已在我国煤矿获得了减少地面下沉的良好效果。为了减少地面的水平变形，可以采用全柱式大面积联合开采的技术，从而使受保护的對象只经受采煤工作面在其下面通过时地表产生的动态变形值和最终的均匀下沉值，同时减少地表的最终变形值 40%—60%。为了减少地表和岩层的水平移动及其引起的偏斜、滑移和崩塌，可采用使立井不产生偏斜的防偏煤柱技术，使山体不产生滑移的防滑煤柱技术，使崖坡不产生崩塌的防崩塌煤柱技术以及均衡开采技术等。为了减少“顶三带”采动影响，在开采浅部厚煤层时采用分层间歇开采技术，在开采急倾斜煤层时采用长走向、小分段及不超限开采和不超限出煤的技术。为了减少“底三带”采动影响，可以采用短工作面开采及协调开采技术等。为了减少“边三带”采动影响，可以采用钻孔及割缝卸压技术等。

四、有损开采沉陷与无损开采沉陷

由上述分析可知，地下开采必然产生开采沉陷，但是，开采沉陷又是可以部分控制的。因此，开采沉陷就有有损开采沉陷和无损开采沉陷之分。

为了控制开采引起的有损开采沉陷，首先应区别出不同的开采沉陷对象。矿区的开采沉陷对象，按照其不同的抗变形能力及使用要求，一般可分为建（构）筑物、水体和土地及其作物林木等类别。不同类别的开采沉陷对象，它们对不同的开采沉陷指标及允许的量级所敏感的程度是不同的。

对于建（构）筑物，凡开采沉陷值小于建（构）筑物允许的变形值，其沉陷影响属无损开采沉陷，反之为有损开采沉陷。例如，国内外煤矿均规定，当地表变形值小于 2mm/m 时，对于工业和公用建（构）筑物不构成损害。对于水体，凡水体下隔水层未受到导水裂缝带波及时，其沉陷影响属无损开采沉陷，反之为有损开采沉陷。对于铁路，凡开采沉陷值小于铁路允许下沉值或允许维修值，其沉陷影响属无损开采沉陷，反之为有损开采沉陷。对于土地及林木等农作物，冒落带、导水裂缝带未到达地表，且不出现抽冒、切冒、塌坑、台阶裂缝等不连续破坏时；其沉陷影响属无损开采沉陷，反之为有损开采沉陷。

五、矿区环境保护的原则与方法

科学研究及生产实践表明，矿区环境保护工作应以采动影响规律为基础，对不同类型的采动对象采取不同的对策。我国煤矿的经验主要是：

1. 建（构）筑物的保护。在地基中地下水位高的地区，如果地下水位无法降低或排除，应尽量控制地表的下沉值，使下沉后的地基不会受到地下水的浸蚀；在地基中地下水位低的地区，只要实现地表的均匀和缓慢下沉，就不会造成建（构）筑物的损害。经过长期的研究与实践已知，适应于高水位地区的控制技术主要有：在采空区内有计划地保留支撑煤柱；充填采空区；对冒矸空隙及岩层离层空隙进行注浆充填等。适应于低水位地区的控制技术主要有：全柱式开采及协调开采等。

2.地面、地下水体的保护。为了保护地面和地下水体不受开采沉陷的影响，同时使矿山本身不受水害的威胁，主要应控制煤层上覆岩层中冒落带和导水裂缝带的发育高度。当它们未发展到水体时，水体不受疏降影响；当它们发展到水体时，水体会被疏降，有时还会向矿井渗漏，对矿井形成灾害。

3.地面耕地的保护。一般要求耕地受采动后不积水、不失水、不塌坑、不产生斜坡。主要应结合耕地的地形地势进行采动影响控制与治理。当地势低洼时，应控制其下沉，或对沉陷区进行整治后利用；当地势较高时，只需对沉陷区进行平整即可恢复利用。

4.地下建筑工程的保护。一般可根据地下建筑工程地质条件、工程结构特征、抗变形能力及使用功能，将采动影响控制在其允许的范围内。

5.已有沉陷地的治理与利用。重点是平原区沉陷地的治理与利用。这项工作在我国煤矿通过较长期的试验与推广应用，已有了一些有效的方法和经验。主要是因地制宜，区别对待。对下沉值大的沉陷地，可改坑为塘，作为放养地；或利用厂矿工业固体灰渣回填造地，或利用河湖泥沙回填造地。对下沉值中等的沉陷地，可采用挖深垫浅方法，挖深区为塘，进行养殖；垫浅区恢复为耕地。对下沉值小的沉陷地，采用平整方法恢复种植等。

日地空间物理及其经济和社会效益

刘振兴

中国科学院空间科学与应用研究中心

刘振兴 空间物理学家，1929年9月生，山东昌乐人。1955年毕业于南京大学。现任中国科学院空间科学与应用研究中心研究员、地球空间环境物理研究开放实验室主任，中国地球物理学会常务理事兼地磁和高空物理委员会主任，中国与欧洲空间局空间科学合作的中方首席科学家、中国 Cluster 科学数据研究中心主任 欧空局 Cluster 科学数据系统指导委员会委员。1995年当选中国科学院院士。长期从事近地层大气物理、高空大气物理、行星际物理和磁层物理研究。

一、引言

日地空间物理是随着航天技术及其他高新科技的发展而迅速发展起来的一门新兴学科。40年来航天事业的发展事实表明，空间技术与空间物理的发展是相辅相成的。空间物理研究可为航天活动提出新的启示、新的原理、新的要求和安全防护措施，推动航天技术的发展。

日地空间物理与太阳物理、大气物理、固体地球物理及等离子体物理密切相关，是一门多学科交叉的边缘学科。日地空间物理主要研究：太阳活动引起的各种形式的能量变化以及人为活动对地球空间环境影响的物理化学过程；日地空间环境的变化规律和预报；空间环境变化对航天活动和人类生存环境的影响。日地空间物理研究不仅对认识宇宙有重大科学意义，而且对空间的开发和利用有广泛的应用前景。

人类对其周围环境的认识过程，是随着生产和社会发展的需要而不断深化和扩展的。当前，人口、资源和环境已成为人类面临的主要挑战问题。人口、资源和环境三者紧密联系又相互矛盾，人口的日益增加需要更多的资源，资源的开发和利用又破坏环境，影响人类的生存条件。可持续发展的战略，就是要协调和解决这三者的矛盾，使资源的开发和利用不导致人类生存环境的破坏。

关于环境的涵义，目前还存在着一些模糊认识，随着人类活动范围的不断扩展，环境的涵义也在变化。1981年在罗马召开的国际宇航联合会第32届年会上，把陆地、海洋和近地大气层分别称为第一、第二和第三环境，将外层空间称为第四环境。人们通常所说的环境，是指陆地、海洋和近地大气环境，即与人类生存直接接触的环境，除此之外，还有空间环境，人类生存环境与空间环境有密切联系。日地空间环境又分为不同的层次，包括：太阳上层大气、行星际、地球磁层、电离层和高中层大气。其中地球磁层、电离层和高中层大气称为地球空间（Geospace）环境。

人类已进入空间时代，地球空间已成人类向自然索取资源的重要场所。对空间资源开发和利用的水平，已成为一个国家经济实力和高新技术发展水平的主要标志，是21世纪国际上竞争的主要目标。日地空间物理研究与空间资源开发利用有着密切联系。因而，国际上对日地空间物理的探测和研究非

常重视。

二、日地系统的组成和相互联系

1957年10月第一颗人造卫星上天以来，先后发射了大量的科学卫星及建立了全球的地面设备，对日地空间进行了探测和研究。目前对日地空间各层次（包括太阳上层大气、行星际、地球磁层、电离层和上中层大气）的特性已有一些新的认识。日地系统各层次是相互联系着的整体系统，太阳活动会引起日地系统连锁式的变化。现将日地系统各层次的特性作一概述。

1. 太阳上层大气和行星际

太阳是影响地球环境的主要能源。太阳是一个以氢为主要成分的星体，太阳结构可分为核、对流层、光球层、色球层和日冕等五层，其中光球以上称为太阳上层大气。太阳活动是指太阳上层大气中局部区域所发生的暴发现象，如太阳黑子、太阳耀斑、光斑、谱斑、日珥和日冕物质抛射事件（CME）等。太阳活动对地球空间环境的影响，主要是通过电磁辐射和粒子辐射两大途径。太阳电磁辐射覆盖了很宽的波长范围，由约 10^{-14} 米一直到10千米以外，可分为伽玛射线、X射线、紫外线、可见光、红外线和射电波。太阳每秒钟辐射出的总能量称为太阳光度，在地球与太阳的平均距离处，垂直于太阳光线的每平方厘米截面上每分钟接收到的所有辐射波长范围内的能量称为太阳常数，通过仔细测量得到太阳常数为 $1.950 \text{ 卡厘米}^{-2} \text{ 分}^{-1}$ 。近年来观测到太阳常数也有小的变化，实际上不是常数。可见光和红外线占太阳常数的绝大部分。这部分能量最终贮存在对流层大气中（大约 10^{12} 兆瓦），是引进大气环境的主要能量。对地球空间环境影响最大的是X射线和紫外线，虽然这些能量仅占太阳总辐射能量的一小部分（约 10^6 兆瓦），但却对地球空间环境产生巨大的影响。X射线和紫外线，绝大部分被高层大气吸收，是形成电离层和高层大气加热的主要能源之一。在太阳活动期间，X射线和紫外线有显著变化，有时可增大两个数量级，可引进电离层和高层大气的显著扰动。

影响地球空间环境的另一能量形式是太阳粒子辐射，包括太阳宇宙线粒子和太阳风等离子体。太阳宇宙线事件与太阳耀斑有关。太阳耀斑期间，太阳磁场的急剧变化使粒子加速发生太阳宇宙线事件，太阳宇宙线的成份主要是质子，故也称太阳质子事件。有质子事件的耀斑往往有硬的太阳射电谱和长时间的X射线发射。日冕气体的温度高达百万多度，由于高温的日冕气体向外膨胀，产生了太阳风等离子体。太阳风携带着太阳磁场以高超音速的速度流向行星际空间，被太阳风带到行星际的太阳磁场称为行星际磁场。太阳风向外输送的总能量大约为 6×10^{27} 尔格/秒。虽然太阳风运输的能量与太阳总辐射的能量相比是很少的，但太阳风与行星际磁场的变化对地球空间环境却有重要的影响。

太阳瞬变事件的另一重要形式是70年代末才观测到的日冕物质抛射事件（CME）。一次日冕物质抛射事件所抛射的质量可达10亿至100亿吨，其抛射速度在100—1000千米/秒之间。高速度的日冕物质抛射，其前面往往会形成激波，并向行星际传播。日冕物质抛射及其产生的激波对行星际和地球空间环境会产生重要的影响。

冕洞是70年代中期发现的一种日冕结构，在冕洞中有辐射强度较弱的暗区，它的密度和温度比周围低，故称为冕洞。在冕洞区对应的磁力线是张开

的。日冕等离子体得到加速后很容易沿磁力线流向行星际空间形成太阳风高速流。冕洞是太阳表面空间尺度最大、时间寿命最长的一种结构，因此它可随太阳自转，不断地向外输送太阳风高速流，在行星际空间形成准周期的共转结构和共转激波。太阳风高速流与地球磁层相互作用可引起地磁扰动，长寿命的冕洞可引起地磁扰动的 27 天重现变化。

由于太阳外层大气的这些活动，使得行星际空间的结构（包括背景太阳风流、高速流、行星际激波、太阳风阿尔芬脉动及行星际磁场反转处的行星际电流片）及其变化相当复杂。这些结构可对地球空间环境产生重要的影响。现将地球轨道处观测到的太阳风参数平均值的变化列于下表。

太阳风参数平均值（1965 - 1976）

参 数	通 日	扰 日	静 日
太阳风速度(km/s)	448	531	375 值(1965 - 1976)
太阳风密度(cm^{-3})	7.7	8.0	7.3
太阳风温度(10^3k)	100	168	55
总磁场强度(nT)	6.1	8.4	4.6

2. 地球磁层

在地球周围被太阳风包围并受地球磁场控制的区域称为磁层，它是地球控制区域的最外层。地球磁层是由太阳风与地球磁场相互作用形成的。地球的固有磁场可近似用偶极场表示，地球磁场对高电导率的太阳风流有阻碍作用，太阳风流可压缩地球的磁力线。在太阳风动压与地球磁场磁压大约相等的区域，形成太阳风与地球磁场的分界层，这个分界层称为磁层顶，磁层顶包围的区域即是磁层。磁层的形状像一个羽毛球，其向阳侧约呈椭球形。在平静太阳风中，向阳侧磁层顶在日地连线上离地心的距离约为 10 个地球半径（1 个地球半径约为 6371.2 公里），磁层顶前方有一舷激波。其背阳侧是拉长的向外略张开的圆筒形，称为磁尾，磁尾的长度可长达 1000 个地球半径，磁尾的南北和东西宽度约为 40 个地球半径。

在一般情况下，太阳风等离子体是不易进入磁层的，只有在封闭磁力线和张开磁力线分界的漏斗形区（称为极隙或极尖区）可进入磁层、电离层和高层大气。太阳风粒子可通过磁场重联和粘性作用进入磁层。磁层是一个巨大的粒子库，它可贮存能量从几电子伏特到几百兆电子伏特的等离子体和高能粒子。磁层中有几个粒子贮存区，等离子体层区贮存着密度较高但温度较低（约 10^5K ）的冷等离子体；等离子体片区是热等离子体（约 10^7K ）的贮存区；地球辐带区贮存着高达几百兆电子伏特的高能粒子；环电流区是由几百千电子伏特的高能粒子形成的。在平静时，磁层中的粒子一般不会侵入电离层和高层大气。但在磁层亚暴和磁暴期间，磁层粒子可沉降到电离层和高层大气，并引起电离层和高层大气结构的变化。

太阳风向磁层输入的能量另一种形式是电磁能。太阳风和磁层相互作用形成巨大的发电机，称为太阳风—磁层发电机。当太阳风的速度加快和行星际磁场南向分量增强时，这一发电机产生高达 100 千伏以上的越磁尾电位降、 10^7 安培的电流及 10^{22} 瓦的功率。当太阳风输入磁层的功率超过某一值时（约 10^{18} 尔格/秒），由于磁层能量超载，磁层中的能量会通过某种不稳定性很快地释放出来，输入到电离层和高层大气，这种磁层能量储存和突然

释放的过程，称为磁层亚暴。磁层亚暴的时间尺度约为 1 小时。当行星际磁场南向分量持续时间较长时，可间歇性地发生多次磁层亚暴，多个磁层亚暴可形成磁暴。磁层亚暴和磁暴可引起磁层、电离层和高层大气的剧烈扰动，如磁层粒子注入事件，极光活动、电离层暴和热层暴等。

3. 电离层

电离层是地球大气的一个电离区域，高度范围约为 60—1000 公里，再往上即是磁层。电离层是由太阳 X 射线、紫外线和高能粒子对高中层大气的电离作用形成的。电离层是处于部分电离的中高层大气区，含有相当多的自由电子，但中性大气仍很稠密，因而中性分子和带电粒子的碰撞频繁。

观测表明，电离层电子密度随高度的分布具有分层结构。在离地面 60—1000 公里范围内，主要可分为三层，即 D 层、E 层和 F (F1 和 F2) 层。D 层位于高度 60—90 公里的区域，电子密度在 10^3 厘米⁻³ 以下，在夜间由于电子大量消失可认为 D 层不存在。E 层约处于高度 90—140 公里的区域，电子密度为 10^3 — 10^5 厘米⁻³，电子密度高峰通常位于 110—120 公里，夜间 E 层的电子密度下降至 5×10^3 厘米⁻³。F 层在 E 层之上，其范围可一直伸延至上千公里。在白天，F 层可分为 F1 层和 F2 层，F2 层在 F1 层之上，夜间 F2 层消失。F1 层一般在 140—200 公里的高度范围，电子密度为 10^4 - 10^5 厘米⁻³。F2 层高度可从 200 公里延伸至 1000 公里。其电子密度峰值区位于高度 300 公里左右，最高电子密度可达 10^6 厘米⁻³。

太阳活动、磁层亚暴和磁暴对电离层结构产生很大的骚扰。电离层骚扰主要有电离层暴、电离层突然骚扰、极盖吸收和极光带吸收等，这些电离层扰动会严重影响无线电的传播及导航和定位的精度。此外，从低层大气向上传播的行星波、声重波和大气准两年周期震荡等也对电离层结构产生显著扰动。

4. 中高层大气

大气的压力和密度是随高度的增加呈现指数下降的，但大气的温度却表现出分层结构。直到几百公里高度，中性大气是构成大气的主要成分。从地面开始，大气可分为五层，即对流层、平流层、中间层、热层和外层，其中平流层和中间层称为中层大气。

大气的分层是由加热和冷却之间的局地平衡决定的。从地面约到 13 公里高度，温度随高度降低，这一层称为对流层，是天气活动的区域。约从 13 公里至 50 公里高度左右，温度随高度略有增加，这层称为平流层（过去也称同温层），平流层顶处于 50 公里左右，平流层中臭氧浓度较高，最高浓度是出现在 25 公里附近。从平流层顶约到 80 公里，温度随高度明显地降低，这一层称为中间层，中层顶约处于 80—90 公里高度范围。从中层顶一直到 500 公里左右，温度随高度显著增高，可高达 1400K，故这层称为热层，热层顶约处于 500 公里高度左右。热层顶以上温度随高度不变，称为外层。

热层大气直接受太阳活动和磁层扰动的影响，当磁层亚暴和磁暴时，热层大气的温度和密度可显著增加，有时可增加一个数量级以上，这对航天器轨道有很大的影响。

三、空间环境变化对人类活动的影响

随着经济和社会发展的需要，人类活动的空间范围日益扩大，地球空间

已成为人类经济活动的主要场所，各种应用卫星，包括通信卫星、气象卫星、资源卫星以及导航和定位卫星等，都是在地球空间环境中运行的。地球空间环境直接受太阳活动的控制，经常发生一些暴发性的扰动，如磁层亚暴、磁层暴、电离层暴和电离层骚扰等。这些空间暴会引起地球空间环境的剧烈变化，对各种应用卫星和宇航员的安全产生严重的影响。磁层中的各种粒子事件会使卫星系统产生不同形式的故障，如单粒子反转事件、辐射损伤和卫星充电和放电等，致使卫星系统不能正常工作，甚至完全失灵。电离层扰动会引起通信中断，显著影响导航和定位的精度。高层大气密度的变化严重影响飞行器的轨道和寿命，高层大气的氧原子会使飞行器表面和太阳能电池受到剥蚀损伤。近年来发现，地球电磁环境的变化，可使高压输电系统、长距离的输油管和输气管道受到损伤。

自从卫星上天以来，曾对卫星系统发生的故障作了一些调查分析，据统计，1971年2月至1986年11月美国卫星出现的1589次异常事故中，有70%与空间环境有关，其中由高能粒子引起的单粒子反转事件有621起。单粒子反转事件可引起航天器控制系统的逻辑状态紊乱和CMOS电路的锁定，是经常出现的一种事故。美国TORS—1卫星在1983年4月到1993年10月间，共记录到单粒子反转事件4468次。空间等离子体可使卫星表面带上很高的负电位（有时可高达万伏以上），是引起卫星事故的重要因素之一。美国P72—8卫星专门研究了卫星充电事件和静电放电过程，证实了卫星充放电和卫星故障的原因。故障分析结果表明，空间等离子体使卫星充放电引起的故障占有空间环境产生故障的1/3。

下面列举几个大的太阳爆发对空间活动和地面技术系统影响的实例。1989年10月19日一次太阳质子事件期间就记录到239次单粒子反转事件。1989年3月发生的一系列大爆发，由于电离层严重干扰曾导致西半球近60次短波通讯中断或衰减，其中两次中断长达12小时以上。1993年3月10日发生的一次7.5小时的长寿命太阳爆发，使地球轨道附近的软X射线强度增加了几千倍，大于兆电子伏的太阳质子流强度增加了数千倍，产生了长时间的磁暴。这些事件导致美国气象卫星一度中断了向地面发送云图，导航卫星几天不能正常工作，军事系统跟踪的几千个空间目标近于失踪，由于高空大气密度急剧增加，致使低轨卫星姿态几乎失去控制。这次事件还破坏了加拿大魁北克地区的供电网，使其供电中断长达9个多小时，造成严重损失。

我国因受空间环境影响而导致的航天器故障甚至失效的教训也是很深刻的。据统计，现已查明我国的通讯卫星（地球同步高度卫星）由于空间环境引发的故障，占总故障的40%，这些故障主要是由空间等离子体引起的卫星带电和高能粒子引起的单粒子反转事件而产生的。“风云卫星（B）”由于多次出现单粒子反转事件，使卫星姿态控制系统失去作用，造成卫星失效，而过早地终结了卫星的应用寿命。我国1994年发射的“实践4号”卫星对卫星带电和单粒子事件的探测结果表明，单粒子反转事件的出现率约为3.45次/天，此外还观测到带电粒子引起的CMOS锁定现象。我国也观测到在一次典型的磁层亚暴注入热等离子体事件期间，卫星表面负电位高达2000多伏。

四、空间开发利用的经济和社会效益

目前各种应用卫星已对人类的经济活动发挥了巨大的作用。“空间加工

场”和空间太阳发电站的建立，也已提到议事日程。可以预料，到 21 世纪，对空间的开发和利用必将对经济的发展发挥更大的作用。下面将对各种应用卫星的经济效益作一概述。

1. 卫星通信 现代的经济活动，迫切需要国内外的通信系统。目前卫星通信已能提供 100 多种形式的业务，包括电报、电话、传真、数据传输、电视广播、远距离教育、电视会议、银行汇兑、电子文件分发、报刊印刷、电子邮政、资料检索和计算机联网等。这些业务可产生巨大的经济效益和社会效益。

2. 气象卫星 世界上的气象卫星已构成一个全球气象信息系统，对天气预报特别是灾害性天气预报发挥了巨大的作用。据美国统计结果表明，在农业方面，如对自然灾害能有 3—5 天的预报就能减少 40% 的损失。我国在利用气象卫星进行天气、农业估产、水灾、干旱和森林火灾监测等方面，已取得了显著效益。

3. 资源环境观测卫星 目前已在开展与国民经济有关的各种业务，包括作物的估产、土壤调查、洪水灾害估计、地质资源勘察、地下水和地表水资源探测以及城市环境监测等，对经济建设起了重要作用。

4. 卫星导航和定位系统的出现，解决了大范围、全球性及高精度快速的导航和定位问题，对于保障舰船、飞机和地面车辆的航行安全及增加运输效率起了重要作用。利用定位系统进行大地测量，对于矿产和石油部门的资源勘探、地震预报、水灾测报、森林防火测报等有重要的应用价值。

5. 空间微重力环境中的材料炼制，是空间应用的新领域。利用空间的超高真空、微重力和超洁净环境，可以制备地面上无法制造的晶体、合金、玻璃和陶瓷以及生物材料等。

6. 空间太阳能发电卫星是人类向空间索取能源的重要途径，预计在下个世纪初期将会实现这一目标，一个大的空间太阳能发电卫星，可发出数十亿瓦的电能，这将对经济发展发挥重大作用。

五、人为活动对空间环境和生态的影响

除天然活动（太阳活动和火山爆发等）对地球空间环境有重要的影响外，人类的地面活动和空间活动也对地球空间环境产生显著的影响，这是一个值得十分重视的问题。

随着工业的发展，煤碳、石油的燃烧及氟氯剂致冷电冰箱的使用日益增加，这些人为活动向大气中排放大量的 CO_2 和氟氯烃等化合物。 CO_2 可引起大气的温室效应，而氟氯烃化合物则显著影响大气中的臭氧含量，现已确认，南北两极的臭氧洞和大气中臭氧含量的减少是由氟氯烃对臭氧层的破坏引起的。另外，大型的平流层超声速运输机队逐日增加，这些大型飞机排出的氧化氮和水汽也可引起平流层臭氧含量的显著减少。由于臭氧几乎吸收了进入大气层的全部潜在致命的太阳紫外辐射，因此它在保护地球上的生命方面起着重要的作用。特别是波长范围为 280—320nm 的 B 紫外辐射（也称生物紫外辐射），能直接杀伤生命细胞。如臭氧减少，到达地面的 B 紫外线增加，这对地面上的生命有机体将起破坏作用，影响人类的生存环境和生态。必须指出，随着空间活动的日益增加，空间活动对地球空间环境也会产生显著的影响。例如，空间太阳能发电卫星即将成为现实，运载发电卫星的巨型

助推器所造成的平流层和电离层的化学扰动是严重的。将太阳能发电卫星由低轨推入同步轨道的离子发动机对磁层和电离层的影响，以及数十亿瓦的微波能量通过磁层和电离层时对地球空间环境的影响等，这些问题都是需要认真研究的。

六、对日地空间物理探测和研究的展望及发展日地空间物理的建议

三十多年来，日地空间物理监测和研究取得很大进展。90年代是国际日地物理探测和研究的一次飞越。开展空前规模的国际合作，同时实施几个重要的国际合作计划，包括国际日地物理计划（ISTP）、国际能量计划（STEP）和地球空间环境模式（GEM）计划，此外，美国还制定了“空间天气计划”。90年代的日地空间探测有些创新，ISTP计划发射14颗卫星，分别布置在日地空间的主要区域，对整个日地系统进行了协调探测。主要新创举是：发射星簇卫星（Cluster）探测过去难以实现的地球空间等离子体环境的三维中小尺度结构，分辨其时空变化。

目前除Cluster卫星因阿丽亚娜5型火箭首次发射失败而未如期发射外，所有计划发射的卫星都已发射，已在日地空间各区域进行探测。现欧空局正在制定新的Cluster计划，在1997年先发射Cluster—5与ISTP的多颗卫星配合。另外，计划再研制4颗Cluster卫星，在2000年左右发射。预期在本世纪的最后5年，日地空间物理研究将有一些突破性的进展。

展望21世纪，2000年2015年期间，日地空间物理的探测和研究将上一个新的台阶，在日地空间将形成新的监测网。

1. 太阳风源区的局地监测

开展太阳风源区（4—10个太阳半径）、太阳极区和外月冕区（约30个太阳半径）的就地探测，在地球轨道建立太阳瞬变事件的监测网。

2. 地球磁层的成像探测和人工调控研究

利用 L_1 （ $250R_E$ ）平台、月球基地和空间站上的成像仪器，对磁层不同区域的场和等离子体进行可视化观测；采用“示踪”技术和成像技术，跟踪来源于太阳风和电离层粒子的运动；用人工方法产生极光和磁层亚暴，进一步了解磁层亚暴和磁层暴的产生机制。

3. 开展电离层和高中层大气系统的综合观测

采用综合的遥感技术，利用多颗卫星、空间站和地面系统，对这一区域的热力学、动力学、光化学和电动力学过程进行综合的观测和研究。

此外，国际空间物理界一个新动向是开展月球和火星的探测、开发和利用。

对开展我国日地空间环境监测和预报的建议：

从国际上的发展趋势看，今后十年日地空间环境的监测和预报将有一个新的飞跃。我国是一个空间大国，应在这方面作出应有的贡献。为此提出以下建议：

（1）加强空间探测与地面观测，建立空间和地面相配合的立体观测网

目前我国的空间探测与国际水平差距很大，这是限制我国空间物理发展的主要原因之一。要改变这种局面，必须采取必要的措施：

1) 根据我国现有的基础和条件，订出有自己特色和可行的空间探测计划。具体建议是：搭载探测计划，在现有的卫星上（如气象卫星、通讯卫

星和资源卫星等)放置部分仪器进行探测,这些卫星在地球不同空间区域运行,可构成地球空间监测网; 发展小型探测卫星,小型卫星造价低,研制周期短,不需要大推力的火箭,便于布点探测,构成小卫星探测网; 提高空间探测仪器的水平,发展新的探测仪器。

2) 建立综合的地面观测链。我国幅员辽阔,处于中低纬地区,在全球的地面观测系统中占有重要地位。现我国空间物理界已向国家提出申请,建立空间环境综合监测子午链,并与邻近国家合作,构成从南极到北极的子午链,进入全球空间环境监测网,为实现我国空间物理研究的飞跃打下基础。

3) 建立全国的空间物理环境数据联网系统,并加入全球的数据网。

(2) 加强日地空间物理的理论及空间环境预报和应用研究

40年来,航天事业发展的历史及空间研究结果表明,空间环境对空间活动有十分重要的影响,空间物理研究和空间环境预报对空间技术的发展及对卫星的安全保障起着重要的作用。

空间物理研究可为空间开发利用和空间保障措施提出新的途径。对空间活动的安全保障措施需要空间物理研究的配合,例如卫星系统抗辐射加固研究,对保障航天活动安全是十分重要的一种措施。为了研究加固方法,评估加固水平,必须先在地面模拟空间辐射环境对卫星系统影响的实验条件,这需要许多空间物理知识。再如,要消除空间等离子体对卫星表面充放电的影响,需要进行卫星电位的控制实验,这需要研究空间等离子体环境变化的规律及其与航天器的相互作用过程。

随着卫星仪器系统的不断革新和发展,空间环境对卫星系统会引起新的故障形式,分析新的故障和对这些故障采取防护措施,会对空间物理研究提出新的要求,同时也要求空间物理研究有进一步的发展。

(3) 加强国际合作。

(4) 建立国家级的日地空间环境研究和预报机构,加强全国性的计划、组织、协调和管理工作。

人类的起源和进化

吴汝康

中国科学院古脊椎动物与古人类研究所

吴汝康 古人类学家。1916年2月19日生于江苏武进。1940年获中央大学学士学位。1947年获美国圣路易斯华盛顿大学医学院硕士学位，1949年获该校博士学位。中国科学院古脊椎动物与古人类研究所研究员。1980年当选为中国科学院院士（学部委员）。精于人体解剖学和古人类学研究。

人类起源问题是一个大家感兴趣的重要理论问题，是建立辩证唯物主义世界观的重要科学根据之一。要建立正确的世界观，首先要对我们自身的来源和发展过程有正确的认识。

人类的出现是地球上的一个重大事件。科学界普遍承认人是从古猿进化来的，不是上帝或神造的，那么人类在什么时候从猿的进化系统中分化出来？最早的人类的标志是什么？这些都是古人类学研究的问题。

一、什么是人的标志？

自古以来，人就有着各种定义。古希腊的柏拉图说，人是“没有羽毛的两足动物”。他的一位同事和他开玩笑，从市场上买了一只去毛的鹅，拿到学院里说：这是柏拉图的人。从此人有了一个绰号叫“柏拉图的鹅”。

1871年达尔文在《人类的由来和性的选择》一书中提出：人类的特征是两足直立行走，大的脑子和高的智力。

这些人类的特征是现代人所具有的。但是它们是怎样起源的？是同时起源的还是不同时期起源的？如果不是同时起源的，那么什么特征最先发生？以什么特征作为人的系统开始的标志呢？

由于一般都认为人是“万物之灵”，人的特点是有特别发达的脑子，有高度的智慧，因而长时期来都把大的脑子作为人的特征，是大的脑子在人类进化过程中起着主要的作用。

是人还是猿？直接的实物证据是化石。

1890年至1892年，在印度尼西亚爪哇（当时是荷属东印度群岛的一部分）发现了一小块下颌骨、一根大腿骨和一个头盖骨。头盖骨带有明显的如猿的原始性状，如眉脊粗壮、头骨低平、骨壁很厚，脑量不过800毫升，比现代人的平均1350毫升要小得多，可是大腿骨和现代人的很近似，表明已能像现代人那样地直立行走。这个发现究竟是人还是猿？引起了长时期的激烈争论。

1924年在南非汤恩发现了定名为南方古猿的一个头骨，当时定为大约6岁。根据新定的标准，应为刚过3岁的小孩的，犬齿小，颅底的枕骨大孔在较前的部位，表明它已能两足直立行走，可是脑子小，估计成年时它的脑量也不比现代的猿大，因此同样不被学术界承认它是属于人的系统。

化石的证据，表明人类的两足直立行走和大的脑子不是同时起源的。

如果以脑子的大小（脑量）作为区别人和猿的标志，那么多大的脑子才算是人呢？有人提出脑量在750毫升以上才算是人，以此作为人和猿的分界

的界河，可是后来发现能两足直立行走的化石的脑远比这个标准为小，而现生的大猩猩最大的脑量也有超过这个界限的，表明脑量不能作为区分人和猿的标志。于是人类学界逐渐一致认为只能以能否两足直立行走作为人和猿分界的标志，能两足直立行走的高等灵长类便归入人的系统，分类上列为人科。

二、人类的历史有多久？分为几个阶段？

是人还是猿？直接的实物证据是化石。首先要对各种猿类化石和人类化石从形态上进行比较解剖学的研究，还要用各种测定年代的方法测定它们的相对年代和绝对年代，这是一个方面。另一方面从现在各地的人和各种猿以及其他的高等灵长类动物的蛋白质大分子的研究，从它们差别的大小，根据变异的速度来计算它们起源的年代。结合这两方面的证据以及其他有关的资料，现今人类学界一般估计大约在距今七八百万年前，古猿转变成两足直立行走的人类始祖。

但是，当前在世界各地发现的人类化石，最早的只有 400 多万年，更早的人类化石还有待发现。从 400 多万年以来的人类化石来看，虽然其间还存在不少空缺，但总的来说，可以分为四个阶段，即 1. 前人阶段，2. 能人阶段，3. 直立人阶段，4. 智人阶段。

1. 前人阶段以南方古猿化石为代表，因此也叫南方古猿阶段。南方古猿化石最早是 1924 年在南非北开普省汤恩附近发现的，化石是一个小孩的头骨的大部分连着整个脑子的天然模子。由达特（R. Dart）教授进行了研究，他看到这个头骨很像猿的，但又带有人的一些性状，脑子虽小，但一些性状比黑猩猩的脑更为像人，颌骨上的臼齿也与人的相似，从头骨底部枕骨大孔的位置判断，头骨的所有者是两足直立行走的，于是 1925 年他发表文章，认为它是真正的猿和人之间的类型，是人和猿之间的“缺环”，定名为南方古猿（*Australopithecus*）。可是它究竟是人是猿，引起了人类学界激烈的争论，因为当时人类学界一般都认为大的脑子才是人的标志。

以后在南非发现了更多的这类化石，在非洲其他部分也有这类化石发现，特别是在东非，经过多方面的研究，直到 60 年代以后，人类学界才逐渐一致肯定它是人类进化系统上最初阶段的化石，分类上归入人科，成为人科下的最早的一属。

既然南方古猿已肯定是属于人的系统，肯定是人而不是猿。那么是否改称南方古猿为南方古人呢？不能。根据国际古生物命名法规的规定，各种古生物拉丁文的分类名称一旦建立，一般不能轻易改动，以免引起混淆，因而一些学名变成了只是代表某些化石的符号，并不一定表明它的实际含义。又例如下面要提到直立人的学名，当初定名时认为它是最早开始两足直立行走的人，而以后发现了远比直立人为早的能直立行走的各种原始人类，但直立人的学名仍保持不变。南方古猿的学名也是一样。因此，在报刊上看到有关南方古猿的报道时，不要把它当作一般的古猿，它早已归入人的系统了。

南方古猿化石最早的是距今 400 多万年。这类化石可分为两种类型，纤细型和粗壮型。纤细型进一步演化成下一阶段的能人，粗壮型则在距今大约 100 万年前灭绝了。

2. 能人阶段。能人化石是 1960 年起，在东非坦桑尼亚的奥杜韦和肯尼亚的特卡纳湖岸的库彼福勒陆续发现的，最早的年代是距今 240 万年前，分类

上归入人科下面的人属能人种 (*Homo habilis*)，脑子扩大了，开始能用石块制造工具 (石器)，以后演化成下一阶段的直立人。

3. 直立人阶段。直立人通俗的名称是猿人，直立人在分类学上的学名 *Homo erectus* 译成中文是人属直立种，简称直立人，是人类的第二个种。直立人化石最早从 19 世纪末在印度尼西亚发现爪哇猿人开始，引起了是人还是猿的争论。从本世纪 20 年代后期起，在我国北京房山区周口店陆续发现了北京猿人的化石和石器，从而确立了直立人在人类进化史上的地位。直立人还带有不少类似猿的性状，所以俗称猿人，但他们已在人类的进化系统上经历了漫长的时间，已是人类发展第三阶段的人类，与古猿和现代猿有着本质的区别。

这里附带说明一下人猿和猿人的区别，两者常常混淆。猿是和人最相近的动物，于是也叫人猿或类人猿。现今全世界的猿共有四种，亚洲有长臂猿和猩猩，非洲有大猩猩和黑猩猩，其他洲没有猿类。长臂猿体形较小，也叫小猿，其他三种猿的体形较大，也叫大猿。所以简单地说，人猿是像人的猿，而猿人是像猿的人。人是从猿进化来的，但指的不是现生猿，而是古猿。

直立人化石已在亚、非、欧三洲发现。在非洲，最早的直立人化石距今的年代为 170 万年。在亚洲和欧洲，最早直立人化石的年代还有争论，不能肯定，因而一般认为直立人是起源于非洲，然后分布到亚洲和欧洲的，但最近报道，爪哇发现的猿人化石的年代为距今 180 万年前，早于非洲的猿人。由于年代测定的不稳定性，目前还难于作出定论。直立人中年代较晚的是北京猿人。过去报道北京猿人中最晚的是距今 23 万年，最近报道是 40 万年。直立人之后是智人。

4. 智人阶段。智人一般又分为早期智人 (远古智人) 和晚期智人 (现代人)。晚期智人从距今十多万年前开始，其解剖结构已和现代人相似，因此又称解剖上的现代人。

三、人类发展过程中怎样变化？

传统的达尔文的进化论认为，新的物种是由缓慢的、逐渐发展的变异而形成的。在 70 年代，美国的埃尔德里奇 (*N. Eldredge*) 和古尔德 (*S. J. Gould*) 提出了新的理论，认为生物的进化过程是一个长期停滞和不断地为迅速发生的成种事件所间断的历史，新种形成是一个迅速的变化，分支为两个或几个种，人类的进化过程是怎样变化的？符合于哪一种理论呢？

上面已经说过，南方古猿纤细型的种大约在距今 240 万年前演变成能人，在它演变的漫长过程中，虽然现有的化石还有长时期的空缺，但总的来看，是经过长期的停滞而迅速转变成新种的。能人的脑子比南方古猿的明显增大，而且开始能制造石器。

能人是利基 (*L. S. B. Leakey*) 等根据坦桑尼亚奥杜韦峡谷发现的化石于 1964 年命名的，以后在肯尼亚库彼福勒和其他地点也有发现。由于各地的能人化石，特别是头后骨骼的化石有很大的变异，从而发生了这些化石究竟是一个种还是两个种的问题。

1991 年英国的伍德 (*B. A. Wood*) 从各个方面检查了有关能人的全部材料，提出能人化石不是一个种，他认为奥杜韦的化石属于能人种，而库彼福勒的化石，一些属于能人种，另一些则是另一个种，他采用了鲁道夫人 (*Homo*

rudolfensis) 的种名。这两个种都处于最原始的人属水平。

无论能人是一个种还是两个种，它进一步发展成直立人。能人阶段的时间比较短，已发现的化石也比较少，所以它变化的快慢现在还不清楚。

直立人的脑子比能人更大了，身材也明显增大，已能制造多种类型的石器工具，确定为人属的另一个种，人属直立人种 (Homo erectus)。

1992 年伍德提出，在肯尼亚库彼福勒发现的直立人 ER3733 和 ER 3833 等比在非洲发现的其他时代较晚的直立人头骨为薄和细致，还有其他一些与智人较为相近的性状，因而他同意把这些较早的标本从直立人中分离出来，归入另一个与之密切相关的种叫匠人 (Homo ergaster)，他认为匠人出现的时间较早，但形态上却更近于其后的人类主干，但也有人认为目前还不能肯定它是一个新种。

从现有的资料来说，直立人最早在距今接近 200 万年前出现，随后发现于亚、非、欧各洲，他们之间的相互关系，现在还不清楚。这个阶段的人类持续了很长时间，直到距今 40 万年前。在这漫长的时间内，他们的形态变化不太大，一般认为，总的来看，是处于一种停滞状态，就他们制作的石器来说，也没有很大的改进。

直立人之后是智人阶段。

智人的脑量更大，在 1300 毫升以上，体质形态比直立人进步，逐渐与现代人相似而发展成为现代人。

从上述的人类整个发展过程来看，是一个不断变化的过程，经历了几次长时间缓慢停滞的渐变和短时间迅速的突变的交替过程。

四、人类起源于何处？

古猿怎样演变成人？有着种种说法。根据现有的各种有关资料，一般设想，古猿生活在森林中，在树上攀援时身体处于直立的位置，在地面活动时身体处于半直立的位置。体型比现生的大猿为小，四肢不像现生的猿那样特化。一旦气候突然变得寒冷干旱时，森林大片消失，它为了生存，获取食物，必须经常到林间的地面上活动，使用棍棒在半干旱的空旷地区采集和食用草籽和根茎并防卫自身，逐渐形成了两足直立行走的步态，解放出来的前肢成了双手，也便于携带食物。

达尔文在 1871 年提出，人类的诞生地是非洲，当时还没有发现智人以前的早期人类化石，他的理由是，与人类最相近的动物是大猩猩和黑猩猩这两种猿，如今都生存在非洲，因而我们最早的祖先更可能是在非洲。达尔文的这个观点没有被普遍接受。许多人认为像人类这样高贵的神物不可能起源于黑暗大陆的非洲。

19 世纪后期，德国的海克尔 (E.H.Haeckel) 提出人类起源于亚洲，因为亚洲的长臂猿和猩猩与人相似的程度大于非洲的猿类，由此他推测东南亚是人类的诞生地。

海克尔的信徒之一、荷兰的杜布哇 (E.Dubois) 于 19 世纪末去印度尼西亚寻找人类祖先，发现了爪哇猿人化石，但很长时间不被承认。

纽约美国自然博物馆馆长奥斯本 (H.F.Osborn)，认为亚洲位于其他大洲的中央，是各大类哺乳动物起源的地方，有着详细的气候变化的记录，特别是中亚高原，南面喜马拉雅山的升高，会使中亚造成干燥的时期。这种环

境变化迫使古猿适应新的环境，结果促成人类的诞生。由于他的影响，在美国自然博物馆的支持下，于本世纪上半中期组织了一系列亚洲的考察，但没有发现人类化石。

从 1927 年开始，在我国北京附近的周口店进行了系统的发掘，首先发现了牙齿，定名为中国猿人（后来改称北京猿人），1929 年底，由裴文中负责发掘工作，发现了第一个北京猿人头盖骨，由此被作为人类起源于亚洲的证据。

但是，从 1924 年起，先是在南非汤恩发现了南方古猿的化石，以后在南非的其他几个地点也发现了同类的化石，特别是从 60 年代末开始，在东非的许多地点发现了多种南方古猿类的化石，它的系统地位，经过多年的争论，从 70 年代以来被人类学界一致承认是属于人的系统，是人类发展的第一个阶段，它们的形态远比亚洲的猿人为原始，年代远比后者为早，从而又提出了人类起源于非洲的论点。

由于非洲的早期人类化石主要发现于东非，因此对东非的古环境怎样促使人类的诞生，有着许多论述。

整个非洲大陆原先覆盖着一片森林，在大约距今 1000 万年前开始，东部下面的地壳逐渐发生变化，沿着从今天的坦桑尼亚、肯尼亚、埃塞俄比亚到红海一线裂开，使肯尼亚和埃塞俄比亚东部的陆地上升，形成海拔 270 米以上的大高地，在东非形成了从北到南的一条长而弯曲的峡谷，深达几百米，叫做东非大裂谷。

大裂谷的形成改变了非洲的地貌和气候，以前从西到东的一致的气流被破坏了，隆起的高地使东部的地面成了少雨的地区，丧失了森林生存的条件，连续的森林覆盖开始断裂成一片片的树林，形成一种片林、疏林和灌木地的镶嵌生态环境，东西动物群的交往也受到了阻碍。

在 60 年代，荷兰阿姆斯特丹大学的生态学家科特兰特（A.Kortlandt）就提出了人和猿在非洲的分歧是由于东非大裂谷形成的假设。1994 年 5 月法国的古人类学家柯盘斯（Yves Coppens）发表文章说，距今 300 万年以上的人科化石的地点，都是在大裂谷东边的埃塞俄比亚、肯尼亚和坦桑尼亚发现的，没有例外；而在这个时期里，这个地区却没有发现任何有关大猩猩和黑猩猩的化石。他的解释是裂谷形成以后，西边由大西洋来的气流照常带来雨量，而东边则由于上升的青藏高原西缘的阻碍，形成季节性的季风。因而原先的非洲广大地区，分为两种不同的气候和植被。西边仍旧湿润，而东边则变得干旱；西边保持着森林和林地，东边则成为空旷的稀树草原。由于这种情况产生的压力，人猿的共同祖先也发生了分裂。西边的较大居群的共同祖先的后裔适应于湿润的森林环境，成为两种大猿；而东边的较小居群的共同祖先的后裔则相反，出现了一种全新的对空旷环境适应的新生活，成为人科成员。这种假设被叫做“东边的故事”（East Side Story），但也有不同的意见。1995 年 11 月，英国的《自然》杂志上又提出了“西边的故事”（West Side Story）的问题。美国的古人类学家布鲁内特（Michel Brunet）在非洲的乍得发现了南方古猿的部分下颌骨，其年代为距今 300—350 万年。乍得位于西方大约 5,400 公里的非洲大陆中心，因而布鲁内特说：“人类起源不只是东边的故事，也是西边的故事”。

从以上历史情况的叙述，可知近 100 多年来，人类诞生地是非洲还是亚洲，已有过反复。目前在非洲发现的人科化石还只有 400 多万年，更早的化

石还没有可靠的资料，因而现在还不能肯定非洲是人类最早起源的地方，也不能排除人类起源于亚洲的可能性，特别是中国，拥有广大的新生代地层，有温暖和寒冷气候的变化交替的记录，在这些地层中已发现了大量的高等哺乳动物化石的灵长类化石，特别是多种古猿化石，如第三纪的森林古猿、禄丰古猿、上新猿等，最近还在江苏、山西等地发现了可能是距今 4000 万年前后的高等灵长类化石，另外还有一些零星的可能是早期人科成员和早期旧石器文化的线索，有待我们在中国广大地区去调查和发掘。

五、现代人起源于何处？

现代人的起源与人类起源有着不同的含义，现代人的起源是指现在生活在世界上不同地区的黄种人、白种人、黑种人和棕种人，他们是怎样起源的，也就是说早期人类是怎样演变成人的问题，是从人到人的问题。而人类的起源指的主要是古猿怎样演变成现代人的问题，是从猿到人的问题，以及早期人类怎样演变成较晚人类的问题，在时间上非常久远。现代人的起源只是指在人类进化的历史长河中离现代最近的一段，是整个人类进化历史的一个局部，一个阶段，近一个时期来有些报道把现代人的起源误解成是人类的起源，把整体与局部混同起来，使读者发生混淆。

关于现代人的起源，有两种理论：一种叫“单一地区起源说”。这种理论认为现代人是某一地区的早期智人“侵入”世界各地而形成的，这个地区过去认为是亚洲西部，近年来则改为非洲南部；另一种叫“多地区起源说”。这种理论认为亚、非、欧各洲的现代人，都是由当地的早期智人以至猿人演化而来的。这两种理论长期争论不休，1987 年以来又开始激烈争论起来。

1967 年，美国伯克利加州大学的生物化学与分子生物学教授艾伦·威尔逊 (Allan Wilson) 等提出了分子钟的假设，用免疫测量法确定各种灵长类血液白蛋白的不同分量，从而推算出各种灵长类系统分离的时间，其结果是人属与黑猩猩属、大猩猩属分离的时间在距今 500 万年前。

后来，这个研究组进一步做了实验。他们选择了其祖先来自非洲、欧洲、中东和亚洲的妇女，以及新几内亚和澳大利亚的土著妇女共 147 人，利用她们生产婴儿时的胎盘，分析了胎盘细胞内的线粒体的脱氧核糖核酸 (DNA)。

线粒体在细胞核之外，它产生维持细胞生活的几乎全部能量。为什么要分析线粒体的 DNA 呢？这是因为线粒体的 DNA 与婴儿细胞核内的决定大部分身体性状的基因上的 DNA 不同。首先，线粒体的 DNA 不像细胞核里的 DNA 那样是双亲基因的混合，由双亲遗传；而它只由母体遗传。其原因是精子的线粒体都在尾部，而受精时只有精子的头部进入卵子，尾部没有进入受精卵，其线粒体也就消失了。

另外，线粒体 DNA 演变的速度，比细胞核 DNA 的快 5—10 倍，因而在同一时期内，它能够积累多得多的变化。由于线粒体 DNA 只有由亲体之一的母体而来，因而它显示出来的差别，不是由于基因的重组合，而是由于基因的突变。

伯克利加州大学的这个研究组发现，不同类型的线粒体 DNA，有些互相相似，有些则差别很大。他们依据这些分析结果作了一个表示其相互亲缘关系的“系统树”，结果是这株“树”来自单一的共同祖先，而后很快分成两支，一支的线粒体 DNA 都是从非洲祖先而来的个体，另一支则来自非洲、亚

洲、澳洲、高加索和巴布亚新几内亚的祖先。对于这种情况的最简单的解释是，其共同祖先来自非洲。根据已知的线粒体 DNA 突变的速度，计算其年代为距今 14 万到 29 万年，平均为 20 万年。

根据这种实验结果，1987 年初威尔逊等人提出，所有婴儿的线粒体 DNA 向前追踪，最后会追到大约在 20 万年（14 万—29 万年的平均数）前生活在非洲的一个妇女，多达上万人的群体中的一个，这个妇女是现今全世界人的祖先。大约在 13 万年（9 万—18 万年的平均数）前，她的一群后裔离开了他们生活的非洲家乡，分散到了世界各地，代替了当地的土著居民，最后在全球定居下来，演化成了现代的不同人种。有些西方记者为了吸引读者，他们采用《圣经》中的说法。在介绍这种理论时，把这个非洲妇女叫做“夏娃”；于是有人把这种理论叫做“夏娃理论”。这个理论提出后，立即引起了激烈的争论。遗传学家中有不同的意见，古人类学家中也有不同的意见——有人热情支持，有人激烈反对。现在这种争论还在继续着。从目前的情况来说，双方的根据都还嫌不足。我国现有的考古研究资料，支持多地区起源说，但还需要进行更多的调查发掘工作，发现更多的化石，来证实这种理论。

六、现在的人是否还在进化？

一般讲的人类进化，是讲原始的、早期的人类怎样进化到现代人的过程，不涉及现在的人的进化。那么，现在的人是否还在进化？这是一个有趣的问题。

人是从古猿进化来的，人类体质形态在进化过程中发生了很大的变化。但发展成现代人后，形态结构已经基本上定型，变化是很小的了。如身高有微小的增加，牙齿的数目在减少。现代人上下颌一般各有 16 颗牙齿，总共是 32 颗牙齿。但有人上颌或下颌的第三臼齿（智齿）、甚至上下颌的全部第三臼齿，终生不再萌出，所以总共只有 30 颗甚至 28 颗牙齿。我现在已 81 岁，就只有 28 颗牙齿。我们脚的小趾节有减少一节的趋势；我们肋骨的最下一对（第 12 肋）可以很短，也有消失的趋势，脑的结构可能更加精致，但是这些都是很缓慢的过程。现代人的进化主要表现在体外进化和精神进化两方面。

1. 人的体外进化

人类的重要性之一是能制造和使用工具，从事生产实践活动，因而工具是人的肢体的延伸和增强。

各式各样的工具，刀、斧、铲、锄、水轮、风车以至舟、车、飞机等，都是人的肢体的延伸，从而大大提高了功效。力学和相应的技术的发展，为肢体的延伸开拓了广阔的前景。

人脑要发挥作用，需要不断获得外界的信息。而外界信息来自各种感觉器官，特别是作为视觉器官的眼睛。由于科学技术的发展，各种各样的感觉器官辅助工具不断出现。望远镜、射电望远镜使人的视力越过了银河系；显微镜、电子显微镜使人的视力深入到微观世界。光学、声学、电磁学等领域的成就大大提高了感觉器官所涉及的广度和深度。这是人的感觉器官在体外的延伸。

人通过认识自然来改造自然，而认识能力提高的途径之一是通过感觉器官在体外的延伸来改善知觉能力。借助于各种科学仪器，可接收的信息大大增加，其功效也愈来愈大。

电子计算机的出现和一代一代地更新，开辟了人工智能的道路，达到了人脑在体外的延伸，即将推出的崭新的智能计算机系统，它能看、听、说、画，使用有限的自然语言与人们交换信息。

人工智能是人类智能的产物，又补充了人类智能的不足。电脑并不是人脑，但却是人脑的延伸。人类在发展到其生活离不开电脑的时代，电脑就愈来愈成为人脑在功能上不可分割的辅助物，以致终于成为受人脑和电脑一起控制的人。

在从猿到人的进化过程中，首先是上肢从支持作用中解放出来，两足直立行走，直立姿势为感觉器官获得更多的外界信息提供了条件。外界信息量的增加，促进了脑的发达，以至脑在体外的延伸，这种人的体外进化的顺序，与从猿到人的进化过程的顺序有着明显的一致性。

现在我们已进入了信息时代。近十多年来，西方国家相当流行的认识是，信息技术就是 3C。计算机（computer），把计算机互连起来的通信网络（communication）计算机与通信所产生的信息还必须通过控制（control）技术才能对外界产生效应，这就是所谓 3C。

但信息技术还必须包含信息的获取技术，如识别、检测、提取，就是感测技术（sensing）。再加入上述的 3C，构成一个完整的体系，用符号来表示便是 SC³。感测、通信、计算机和控制成为信息技术的“四基元”。

感觉器官有获取信息的功能，而感测技术则是感觉器官功能的延伸；传导神经网络有传递信息的功能，而通信技术是传导神经网络功能的延伸；思维器官的脑有处理信息的功能，而计算机技术则是思维器官功能的延伸；效应器官有转化和利用信息的功能，而控制技术则是效应器官功能的延伸。于是，所谓信息技术的整体，它所延伸的正是人的智力功能。

在应用电子计算机的条件下，一部分脑力劳动得到了解放，一些复杂的或繁重的脑力劳动通过简单地按电钮进行操作来实现。人工智能愈发展，人的脑力劳动的解放程度就愈大，人对体外工具和科学技术的依赖性也愈大，而人的自然存在、状态和器官的独立性也就愈小。

2. 人的精神进化

科学技术的发展还引起人的思想状态的变化，这是人的精神方面的进化。思维方式的演化和文化知识水平的提高是人的精神进化的两个重要内容。这种变化受科学技术发展的制约，且以科学技术的水平为基础。

随着科学技术的发展和生产实践方式的改变，人的思维方式也在发生变化。与个体农民劳动和手工业劳动的水平相适应，是以狭隘的经验，尤其是个人的经验为中心的思维方式。在哲学上，中国古代和希腊古代朴素的唯物主义哲学思想虽然强调对自然界整体性、统一性的认识，但这种认识是模糊的和笼统的，缺乏对这一整体各个细节的认识能力。在工业革命的条件下，以功利主义的思维为中心，一切只顾眼前利益，走向各种极端，因而生态平衡受到工业的破坏等等。15 世纪下半叶，近代科学开始兴起，与这时机械的发达相适应，分析型的思维方式居于主导。分析方法包括实验、解剖和观察，把自然界的细节从总的自然联系中抽出来，分门别类地加以研究，这种撇开总体的联系来考察实物和过程，在哲学上是形而上学的思维，但它在深入的、细节的考察方面比古代哲学前进了一步。

19 世纪上半叶，自然科学获得了伟大的成就，特别是能量转化定律、细胞的发现和进化论的提出，使人类对自然过程的相互联系的认识有了很大提

高。到 20 世纪中期，现代科学技术的成就，为系统思想提供了定量方法和计算工具。在社会实践活动的大型化、复杂化和普遍应用信息技术的条件下，空间距离缩短，时间效果增加，速度加快。与此相对应，人的思维方式也在发生变化，其特点是综合性思维得到了重视，优先考虑整体、整体的统一性和系统性。

人的思维方式的进步和文化知识水平的提高，是人类思维和理智方面进化的延续，也是现代人的进化。

七、人类发展的前景如何？

人类生活在地球上，有关外星人的种种说法都是否定的。但世界末日之说则有长久的历史，而且近来又甚嚣尘上。世界末日也就是人类的末日。

各种邪教鼓吹世界末日，《圣经》预测世界末日的到来，唯物主义者不相信这些说法。

有人从当前环境各个方面的恶化，如全球性饥荒，不可再生资源将很快用尽，污染将越来越严重，将出现新的冰期，臭氧洞将危及整个地球，全球变暖将导致一场气候灾难等等，预测世界末日将来临，但历史清楚地表明，人类的智慧能够战胜各种困难而继续向前发展。

在生物进化的历史上，大范围的灭绝，接着是遗留的生存类型的扩张，过去已多次出现，有两次特别严重。一次是在古生代过渡到中生代时，距今大约 2.5 亿年前；另一次是在中生代过渡到新生代或第三纪时，距今大约 6500 万年前。其原因有多种解释。

澳大利亚国立大学地球科学研究所的高级研究员伊·坎贝尔（E.Cambell）最新的研究结果表明，西伯利亚曾于 2.5 亿年前发生了迄今为止地球上最大规模的熔岩喷发，地球上 95% 的动植物随着被毁灭了。

坎贝尔推断，这次独一无二的超级熔岩喷发将大量的含硫气体喷向空中，使得大气层中充满了二氧化硫，从而遮挡了阳光对地球的照射，使全球气温下降。二氧化硫进一步形成酸雨，逐渐落回地球表面，使陆地植物和微生物死亡，而草食性、杂食性和肉食性动物相继因食物链中断而死亡。同时，酸雨也使海水酸性增强，引起水生动植物的死亡。

坎贝尔说，这次熔岩喷发的毁灭性后果在其后的几千万年间才得以逐渐消除，以后地球便进入了恐龙繁盛时期。

第二次大灾变是在距今 6500 万年前。白垩纪与第三纪的交界处发生的重大事件，以致恐龙灭绝了，还消灭了 75% 的其他物种。造成这次事件的原因，被最广泛接受的说法是一颗巨大的行星，其直径大于 10 公里的近地小天体，冲击了地球，地点在现今墨西哥的尤卡坦半岛附近，掀起的颗粒云层时间之长足以消灭所有的恐龙和一半以上的动植物。地球的各部分，无论是寒带、温带和热带的生物，都同样受害。

近年来的全球的许多地区，恰在上述时代的分界层里找到最可能是由空间来的特殊矿物，也为上述说法提供了更多的证据。

本世纪 60 年代中期和 70 年代初有人提出，由于人类的特殊性，人类有文化，就没有绝灭的问题了。但随后发现的化石表明，南方古猿有两种类型，即纤细型和粗壮型，同时生存了一百多万年之久，最后粗壮型绝灭了。原先以为能人只是一个种，近来有人提出有二个种，同时并存，其中一个种演化

成直立人，另一个种绝灭了。非洲、亚洲和欧洲各地的直立人是否各自演化成当地的智人，还是被一个地区起源的智人所替代，当前正在激烈争论之中。

有人从数学概率来推算人类的寿命。英国《自然》杂志 1993 年 5 月 27 日发表了美国普林斯顿大学的天体物理学家戈特三世 (Gott) 的文章，题目是“哥白尼原理对我们展望未来的含义”。他首先强调了人类在宇宙中没有特殊地位，然后他提出下列的方程式：

$$1/39 \text{ 过去的时间} < \text{未来的时间} < 39 \text{ 过去的时间}$$

他根据文献报道，大多数物种的平均寿命是 100—1100 万年，哺乳动物是 200 万年。智人已生活了 40 万年，代入上述的方程式，得出：

$$400,000/39 < \text{未来时间} < 39 \times 400,000$$

$$10256 \text{ 年} < \text{未来的时间} < 156 \text{ 万年}$$

于是可以计算出人类将在距今 10256 年至 156 万年之间灭绝。

有 95% 的机会。不管怎么算，人类的寿命还长着呢！我们丝毫不用担心。

从哲学观点来说，相信宗教是唯心主义，相信科学是唯物主义，形而上学唯物主义或是辩证唯物主义。

我是相信辩证唯物主义的。生就意味着死，一切产生出来的东西，都一定要灭亡。新的事物不断地产生，旧的事物不断地灭亡，然后又是新的产生，旧的灭亡，循环不已，这是不可违抗的客观规律。就太阳系、地球、动植物和人类来说，也是如此。根据天文学家的研究，太阳大约在 50 亿年前形成，地球随着形成，估计再过 50 亿年，太阳和地球都将消亡。

用恩格斯在《自然辩证法》导言最后的几句话作为我这篇文章的终结。恩格斯说：“不论有多少百万个太阳和地球产生和灭亡，不论要经历多长的时间才能在一个太阳系内而且只在一个行星上造成有机生命的条件，不论有无数的有机物一定产生和灭亡，然后具有能思维的脑子的动物才从他们中间发展出来，在一个短时间内找到适于生活的条件，然后又残酷地被消灭，我们还是确信：物质在它的一切变化中永远是同一的，它的任何一个属性都永远不会丧失，因此，它虽然在某个时候一定以铁的必然性毁灭自己在地球上的最美的花朵——思维的精神，而在另外的某个地方和某个时候一定又以同样的铁的必然性把它重新产生出来”。

八、结语

1. 人是由古猿进化来的，而不是上帝或神创造出来的，而上帝或神却是人创造出来的，是人想象中的产物。

2. 根据各种资料判断，人类起源于距今七八百万年前，但现有的实物证据的人类化石只有 400 多万年，更早的人类化石还有待发现。

3. 人类在 400 多万年的过程中，不断发展变化，经历了多次长时间缓慢的渐变和较短时间迅速的突变的交替。

4. 古猿演变成人，是古猿的特殊内因与其生存环境的特殊外因的结合的产物；是古猿的体质结构和生活习性与外界环境、主要是气候变化相结合的产物。

5. 人类的起源与现代人的起源是两个不同的问题，虽然前者可以包括后者。人类起源的实物证据目前以非洲最多，但还不能肯定人类的诞生地是非洲，也不能排除是亚洲的可能性。现代人起源的单一地区起源说和多地区起

源说仍在激烈争论之中。

6.现在的人还在进化，但身体的变化很缓慢，主要表现在体外的进化和精神的进化。

7.我们生活在地球上，沐浴在阳光下。太阳和地球都要消亡。人类和其他事物一样，有他诞生和灭亡的客观规律，人类也要消亡，然后生命的最高形式再在另外的地方和某个时候重新产生出来。

金属矿床成因及矿产资源预测

於崇文

中国地质大学

於崇文 地球化学家。1924年2月生于浙江镇海。1950年毕业于北京大学地质系。现任中国地质大学教授。中国矿物岩石地球化学学会常务理事兼元素地球化学区域地球化学专业委员会主任委员，地质矿产部科学技术委员会委员。1995年当选为中国科学院院士。长期以来从事地球化学基础理论、理论地球化学、区域地球化学和数学地质研究。

中国目前有95%以上的一次性能源、80%以上的工业原料和大部分农业生产资料均来自矿产资源。截至1994年底，我国已发现矿产168种，矿床和矿点20多万处，其中具有探明储量的矿产达151种，矿产地2.3万多处。中国已探明的矿产资源总量较大，约占世界的12%，仅次于美国和俄罗斯。以中国45种主要矿产保有储量与世界矿产储量比较，有11种占世界第一位，有12种占世界第二位。按统一的国际市场可比价格，以1994年中国矿产资源保有量潜在价值计算，中国矿产资源潜在总值为91.66万亿元，居世界第三位。

从已探明的储量看，煤炭、钨、锡、锑、钼、汞等储量大，开发条件好，在世界上占有优势。一些大宗矿产，如铁、锰、铜、钾盐、金刚石等已探明的储量不足，不能满足当前和2000年建设的需要。尽管中国矿产资源总量大，但人均占有量仅为世界人均占有量的58%。中国矿产资源潜在总值虽位居世界第三，但人均潜在总值仅居世界第53位，而且矿产资源还存在着分布不均，一些矿产质量不高等不足。因此从可持续发展战略的高度来看，矿产资源的勘查、开发和利用仍然是我国当前和21世纪发展经济、增强国力的一项十分重大的任务。

本文论述金属矿床成因及矿产资源预测，为了联系我国地质实际，先对我国矿产资源赋存的地质构造背景作概略介绍。

一、我国矿产资源赋存的地质构造背景

（一）中国大陆板块的划分

我国的大陆和陆缘海域由晚元古代以来5条代表古大洋的板块结合带，分划为6个板块，其中以塔里木-华北板块，华南板块和藏滇板块为主体，并包括西伯利亚板块、印度板块和菲律宾海板块的一部分（图1）。

（二）中国大地构造演化和地质构造基本格局

我国的大地构造演化从太古宙开始，经历了四大发展阶段。

中国大陆的地质结构可分为四大构造层次：

1. 太古代陆核和晚太古-元古代古陆块构成两大基底构造层次：导致中国大陆地壳的不均一性，构成后期地质构造演化的重要基础。

2. 震旦纪-三叠纪，由于古板块活动，至印支运动实现了向统一大陆的转变，形成了以三大陆块（地台）为核心，被不同时代的五个活动带（地槽褶皱系）所围绕的地质构造景观，从而奠定了中国大陆地质构造以昆仑-秦

岭造山带为界的“南北分野”格局；

3. 燕山构造期以来，现代板块活动，形成了大陆改造型的构造层次，表现为大陆西部压缩造山、东部陆块先压后张，形成了“向洋分带”的新格局。

以上四大构造层次复合演化，特别是显生宙以来的古板块和现代板块活动，形成了古亚洲、特提斯、古华夏和滨太平洋等四大构造域。

古亚洲构造域以塔里木 - 华北陆块为中轴，与西伯利亚、扬子陆块之间反复“开”“合”，并沿着与之平行、垂直或斜交的构造带多期次地裂解与拼接。特提斯构造域，劳亚、冈瓦纳陆块多期近南北向“开”“合”，一系列近东西向的地体，随着特提斯洋的俯冲、消亡，有序地依次向南拼贴增生。古华夏构造域，源于扬子、华夏两大古陆块沿绍兴 - 萍乡 - 北海结合带的多次开裂与压缩和来自南方古太平洋的俯冲。总的看来，晋宁期到印支期，中国大陆构造活动以近南北向的“开”“合”为主导，以指向上扬子陆块的“三向”聚合为特征，主体构造循东西向。滨太平洋构造域，欧亚大陆板块与太平洋板块之间产生复杂的运动学过程。构造活动由板内向板缘有序地发展。中国大陆还受到北侧西伯利亚板块的挤压和西、南侧特提斯洋的影响。印度板块向北嵌入，使大陆东部发生伸展，陆缘向洋凸出。滨太平洋构造域是固结了的中国大陆东部，受到先“压（扭）”后“张（扭）”的两期改造的结果。

（三）中国的地质构造成矿域

依据地质构造的稳定性和活动性 [三大稳定区（华北、塔里木、扬子陆块）等，五大活动带（天山 - 兴安，昆仑 - 秦岭，川滇青藏，华南，台湾）]，地质构造格架，并结合全国地层、岩浆岩、变质岩和矿产的地域分布将全国划分为五大构造 - 地理区（天山 - 兴安地区，塔里木 - 华北地区，昆仑 - 秦岭地区，川滇青藏地区，华南地区）（图 2）。

二、金属矿床成因及矿产资源预测

（一）金属矿床的基本属性

1. 矿床案例

为便于由表及里对矿床成因及矿产资源预测进行讨论和分析，我们先引进行一个曾进行过长期系统深入研究的典型矿床案例。为此，我们选择了江西银山铜铅锌金银多金属矿床。通过它可以反映出金属矿床的基本属性，矿床成因的基本问题，由此并可引发我们对于矿产资源预测的思考。

银山矿床位于赣东北乐（华）、德（兴）成矿带中段。该带自乐华至德兴呈北东 60° 方向展布，长 100km，平均宽 13km，面积约 1300km^2 。该带自北东向南西依次分布有德兴斑岩铅矿田、金山金矿田、银山铜铅锌金银矿田、乐华铅锌银矿田和虎家尖银矿田等五个矿田，是一个规模巨大的 Cu - Pb - Zn - Au - Ag 矿化集中区（图 3）。

根据重力及地震等地球物理探测资料，赣东北地区的地壳厚度介于 36 - 40km 之间，其基底壳幔结构位于地幔隆起（幔隆）向地幔凹陷（幔凹）过渡转折的幔坡带，而德兴 - 婺源一线正位于元古宙扬子古陆与南华加里东褶皱带之间的地壳碰撞拼接边界（赣东北深断裂带）。

银山矿床所处的独特大地构造位置具备了形成火山型 - 斑岩体系大型多金属矿床的地质背景（无古宙扬子古陆与南华加里东褶皱带之间的地壳碰撞拼接带）与矿源（双桥山群地层、火山岩与斑岩的多来源矿质）、成矿动力（地质构造运动强烈 - 断裂、褶皱主背斜轴部剪切带等，岩浆频繁活动 - 深部岩浆侵位，浅部火山喷发）及矿质分异富集的有利条件（多期次、长期的岩浆热液活动）。中生代燕山运动早期晚阶段的构造热事件导致陆内断块运动，德兴地体中央形成断陷 - 火山盆地，而其东南侧赣东北深断裂的下盘向北俯插，在有利的构造位置引发了中深 浅成 超浅成的岩浆侵入活动及火山机构与岩浆喷溢并形成与之相应的花岗闪长岩、花岗闪长斑岩、英安斑岩、花岗斑岩与火山岩。随着岩浆由深而浅上升侵位直至地表喷溢，在时间和空间上相继形成以下列不同成矿元素组合为特征、自下而上和由内向外的 Mo、Cu Cu、Mo、Au Cu、Pb、Zn、Au、Ag Ag、Pb、Zn 斑岩型 火山、次火山岩型 火山热液型矿床等矿床类型演变及水平与垂向的矿化 - 蚀变分带（图 4）。

2. 金属矿床的基本属性

从上述案例可见金属矿床是一种地球化学系统。地球化学系统具有以下七种基本属性：

（1）多组成的耦合和相互作用

耗散结构论和协同论的研究发现组分种数或同种组分的含量增加都能使它们之间发生相干和协同，并使系统发生自组织。地球化学系统是一种“多组成耦合的动力学系统”。

（2）开放和耗散

开放系统通过消耗环境中的物质和能量同时又向环境发散物质和能量而维持非平衡定态。“耗”和“散”二者相互依存、互为前提，导致耗散系统的动态演变，使之从无序向有序转化。

（3）非平衡

一个地质区域通常经历过沉积作用、岩浆活动、构造运动、变质过程和成矿作用的复杂历史，因此从全部和整体看来，地质区域内的地体偏离平衡状态。平衡反映为静止，而非平衡则是变化之源。非平衡热力学通向动力学，二者息息相通。

（4）不可逆过程和过程的多重耦合和相互作用

成岩和成矿等作用远非单一过程，而往往是两种或两种以上过程的多重耦合过程，并且它们之间相互作用。这些过程在总体上和长时期内则属不可逆过程。

（5）非线性

地球化学系统中充满各种非线性因素，属于非线性系统。在非线性系统中，控制参量在转变的临界点附近的一个微小变化可能导致突跃。

（6）随机涨落

宏观系统存在很大的自由度，从而使系统中出现涨落。系统中初始的微小涨落当系统趋于临界点时就将因非线性动力学机制而扩大，使系统失稳，并驱动其向新态转变——“通过涨落达到有序”。

(7) 物质结构连续与离散的两重性

任一地质区域内的物质可以视为一种连续介质，并且构成一种地球化学场，可以用宏观的连续介质物理学或场论进行研究。然而物质是由不连续的分子和原子等粒子所组成，同时连续介质和场的宏观性质又决定于其中微观粒子的性质和行为，为此又必须对物质的离散结构进行微观物理学研究。

耗散结构论和协同论的研究指出，非平衡约束和非线性动力学机制同时作用于开放的耗散系统将引发动力学过程，使系统自发地由简单趋于复杂，由无序走向有序。因而它们是导致事物复杂性和自组织的根本原因。

由以上分析可见矿床是一种地球化学动力系统，它具有高度的复杂性和组织性。矿床的形成是“复杂地球化学动力系统的自组织”过程（图 5）。这就是金属矿床的基本属性。

(二) 金属矿床成因研究

从 1. 矿床案例可见矿床成因的基本问题是：“源、流、汇”。所谓“源”（source）是指成矿物质的来源，“流”（flow）是泛指矿质的运移和物理化学转变等动力学过程，而“汇”（sink）则是指矿质的汇聚。矿床成因，或者说它的基本问题“源、流、汇”涉及非常广泛的一系列自然科学领域和异常深刻的基础理论。我们将所涉及的基本领域，它的内在本质以及进行研究所需要的基础理论列成如下的简表（表）：

在方法论上我们要用整体论（holism）（复杂性和自组织理论）与还原论（reductionism）（量子地球化学，广义地球化学动力学）相结合，宏观物理学与微观物理学互补的原则。

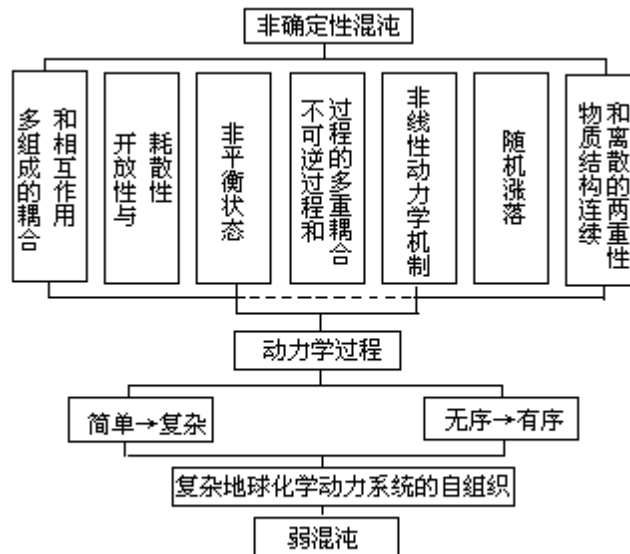


图5 复杂地球化学动力系统的自组织

1. 量子地球化学 (Quantum Geochemistry)

自从本世纪 50 年代以来，矿物晶体结构分析所取得的成就和物质分子 - 原子结构中化学键研究的进展促进了晶体化学的迅速发展。嗣后晶体场理论的提出大大促进了过渡金属元素地球化学的发展。六七十年代以来量子化学和固体量子物理学又进一步使晶体化学和晶体场理论向深层次发展，并于 70 年代在矿物学、晶体化学和量子物理学三者的结合点上又诞生了“量子地球化学”（Quantum Geochemistry）这一新的学科，构成了理论地球化学的一个重要组成部分（其另外两个组成部分分别是“地球化学热力学”和“地球

化学动力学”)。简单说来,“量子地球化学”应用量子力学理论研究地球物质的结构物理(structural physics)[域称“立体物理”(stereophysics)]与结构化学(structural chemistry)[或称“立体化学”(stereochemistry)]。具体地说,“量子地球化学”应用量子力学理论和谱学实验方法研究矿物的晶体结构及其稳定性,矿物物理及矿物化学,化学元素的地球化学分布,相平衡和化学元素的分配,熔体与溶液中元素物种的形成及其稳定性,晶体结构随温度、压力和成分的改变,矿物能量学,矿物的谱学性质以及计算机实验。量子地球化学的核心问题是用量子力学理论和各种谱学方法研究矿物中的化学键或电子结构”(图6)。

表 矿床成因研究所涉及的基本领域,内在本质与基础理论

基本领域	内在本质	基础理论
地球物质结构	物质	量子地球化学
地球化学作用	运动	广义地球化学动力学
地球化学过程	时间	复杂性和自组织理论
地球化学场	空间	

2. 广义地球化学动力学 (Generalized Geochemical Dynamics)

近一二十年来,国际上在地球化学研究中,出现了一种从平衡热力学转向非平衡热力学,由热力学转向动力学的发展趋势,表现为在理论地球化学中继地球化学热力学(Geochemical Thermodynamics)之后兴起了地球化学动力学(Geochemical Dynamics)的新分支学科。促使研究重点从热力学向动力学转移的主要原因是热力学只指出过程自发进行的可能性、方向和限度(即平衡),却不讨论过程的现实性和进行的速度。然而动力学的任务恰恰在于研究过程的现实性和进行的速度与机制。因而动力学既能与热力学在现实性和可能性两方面相辅相成,共同研究系统中物质运动的基本规律,又能补充热力学之不足,对物质运动规律作较深层次的进一步探索。

“动力学”一词的原义泛指英文中的“kinetics”(化学动力学)和“dynamics”(动力学)。Kinetics(或Chemical kinetics)研究化学反应的速率和历程(或机制)。所谓“反应历程”(或“反应机制”)就是指反应物分子在变为产物分子的过程中所经历的具体途径与步骤;而“dynamics”则是研究物体在力的作用下宏观运动的速率和机制。

由于目前国内外文献中都将化学动力学和动力学划分为两个学科,而在地球化学的实验研究和应用中二者兼而有之,不宜截然分割,因而有必要拟定一个能广泛适用于“地球化学动力学”的“广义动力学”的定义。前已述及,自然过程大多为不可逆过程。在一般的不可逆现象中,温度梯度(力)引起热流,从而产生热传导;浓度梯度(力)引起物质流,从而产生扩散;速度梯度(力)引起动量流从而产生粘滞流;化学反应亲和力(力)引起化学反应速率,从而产生化学反应。可见热传导、扩散、粘滞流和化学反应等各种不可逆过程是在相应的各种(动)力的作用下以各种速度自发地进行的。由此我们可以自然地提出广泛适用于“地球化学动力学”的广义的动力学定义:“在广义(动)力的驱动下各种不可逆过程(力学,物理学,化学,生物学,地学的)进行的速率、机制和全过程。”

金属矿床的基本属性中业已指出，地球化学系统的两个基本属性——非平衡约束和非线性动力学机制同时作用于开放的耗散系统将引发动力学过程，使系统自发地由简单趋于复杂，由无序走向有序。它们是导致事物复杂性和自组织的根本原因，因此认识复杂性的基本途径就在于阐明复杂系统的动力学机制。我们的结论是地球化学动力学研究的最终目的在于探索地球化学系统的复杂性，阐明地球化学自组织的形成与发展规律。

如果将地球化学作用理解为地球物质的运动，则地球化学动力学的研究应涵盖化学运动、力学运动和磁学运动。化学运动之中主要包括了化学反应、热核反应和生命物质与环境之间的相互作用。力学运动之中包括了流体力学、流变学（粘弹性流变学）和固体力学（弹塑性流变学）。流体力学之中包括了物理流体动力学和物理化学流体动力学；而物理流体动力学中包括粘滞流体系统和多孔/裂隙介质，物理化学流体动力学中包括输运 - 化学反应耦合过程动力学，界面现象物理化学流体动力学和输运 - 相变耦合过程动力学。流变学（粘弹性流变学）中包括粘弹性固体的蠕变流动和力学 - 反应 - 输运耦合过程，前者包括地幔对流，而后者则包括埋藏沉积物的化学压实作用、变质作用和沉积盆地的深部区域分割。固体力学（弹塑性流变学）中包括岩石圈构造、大陆岩石圈的热 - 力学演化、造山带构造和构造物理流体动力学。最后，磁学运动主要是指磁流体动力学，其中包括外核内的对流与团结以及核 - 幔相对旋转所产生的地磁场。以上所有各种动力学领域都有不同的地球化学过程与之相对应。地球化学动力学中各种动力学领域的整体构成了地球化学动力学的理论体系，我们称之为“广义地球化学动力学”（图 7）。

3. 地球化学系统的复杂性与自组织

“复杂地球化学动力系统自组织临界性的时 - 空分形动力学”（图 8、9）。

我们在地球化学基础理论研究中的一个重要发现是地球化学场具有时 - 空分形结构。地球化学系统在地球化学作用与时 - 空结构的参考系中呈现自组织临界性，从而我们提出了“复杂地球化学动力系统的自组织临界性”的命题。这一命题的内涵反映了“自组织临界性的时 - 空分形动力学”机制。

（1）地球化学场（温度场、流速场、浓度场、应力场等）的许多场量的时间和空间频率分布具有幂律（power law）更准确地说是“反幂律（inverse power law）”关系。这种经验的幂律相关的发现在物理学和地球科学及其他科学中具有极其重要的意义。因为它指出了地球系统已经而且正在组织成临界状态，并且具有内在的标度不变性的成因机制。

复杂地球化学动力系统自组织临界性的时 - 空分形动力学（框图）

一	二	三
初始 地球物理场与 地球化学场	来自随机介质的、在多重标度上相互作用的基本扰动（涨落）（能量、动量、质量）持续施加于开放的复杂成矿动力系统	触发： 1.多组成耦合系统的相干和协同动力学 2.多重耦合过程的相互作用动力学
四	五	六
1.局部扰动因子系统最近邻之间的非线性相互作用而按比例效应产生增殖过程（反复扩张，持续脉动） 2.通过 domino 效应和连锁反应而传播并遍及全系统（元胞自动机动力学机制）	1.局部地点发生成矿作用 2.地球化学场被摄动 3.系统开始发生弛豫	在能量、动量和质量守恒的条件下，矿产地和能量、动量及质量的分布地点发生改变。
七	八	九
1.在某些新地点，系统的控制参量值超过其阈值 2.在新地点再次发生成矿作用 3.地球化学场再次被摄动 4.系统再次发生弛豫	继续	1.系统进行自我调整以适应随机扰动，增殖与衰减建立动态平衡。 2.在相对稳定的地质环境中，在总体守恒的条件下和充分长的时间内，系统的能量、动量和质量输运达到稳健的非平衡定态。 3.出现复杂成矿动力系统的自组织临界状态。 4.在适当地点发生的长期、多次、多阶段成矿作用形成成矿序列，迈出矿区带或大型矿床。 5.呈现复杂多样的时 - 空分形结构。

图9 成矿系统自组织
复杂成矿动力系统自组织临界性的时 - 空分形动力学（图解）

（2）自组织临界性的基本原理是高自由度的巨大、相互作用的复杂动力学系统无须对外力进行微调就会自发地通过自组织过程而演变到在混沌边缘的弱混沌（weakly chaotic）的临界状态。这就是所谓的“自组织临界性”（Self-Organized Criticality）。它揭示了自然界中普遍存在的标度律（universal scale laws）与标度不变性（scale invariance）概念及其内在分形动力学（fractal dynamics）机制。

（3）空间上的反幂律频率分布反映空间分形结构，而时间序列上的反幂律功率谱则反映了时间分形结构。它是内在过程的标度不变性或分形属性的展现。反幂律的功率谱揭示了随机时间序列的动力学本质，具有反幂律功率谱的随机时间序列是一种“分形动力学过程（Fractal Dynamic Process）”。

（4）系统一旦达到临界状态，扰动的扩大和传播就可以发生在任何空间和时间标度上（即无特征的或基本的长度和时间标度）。这种标度不变性即

自相似性 (self similarity) 是分形 (fractal) 的基本特征。幂律相关指出, 自组织临界态具有内在标度不变性, 自组织临界过程具分形动力学机制, 其物理场和化学场显示时间和空间分形结构。时、空分形结构是缓慢的自组织临界过程中系统在特定时间和空间构形的定格摄像 (snapshots)。物理时-空是四维的分形连续统 (fractal continuum), 可简称之为“分形时-空” (Fractal - Space - Time), 并可形象化为“变焦时-空” (Zoom Space-Time)。

(5) 自组织临界性的形成是在临界态上进行的非平衡定态 (nonequilibrium steady state) 的自组织过程 (process of self-organization)。它具有如下的时-空分形动力学机制。

自组织临界性的形成具“元胞自动机” (Cellular Automata) 的动力学机制。当来自随机介质的、在多重标度上相互作用的基本扰动 (涨落) (能量, 动量, 质量) 持续施加于开放的复杂地球化学动力学系统时, 它们将引发其中的多组成耦合系统的相干和协同动力学及多重耦合过程的相互作用动力学。微观上则由于子系统 (原子、离子、分子等) 的最近邻之间在三维空间上的高度多重连结 (high multiply-connected topology) 和非线性的相互作用而产生“增殖过程” (multiplication process) 其中包括“反复扩张” (iterated amplification) 和“持续脉动” (sequence of scaled pulses), 并通过“多米诺”效应 (Domino Effects) 和连锁反应 (chain reactions) 而将强化了扰动传播而遍及全系统。然后经过持续的弛豫和衰减 (relaxation and decay) 系统进行自我调整以适应扰动, 直到在总体守恒 (global conservation) 的条件下, 使能量、动量和质量的输运达到稳健 (robust) 的非平衡定态。这就是复杂地球化学动力系统的自组织临界状态, 实际上它是动力学的总体吸引子 (global attractor of dynamics)。我们将上述动力学机制称为“自组织临界性的时-空分形动力学” (Spatio-Temporal Fractal Dynamics of Self-Organized Criticality)。

(6) 临界态的标度不变性是高自由度、巨大系统的整体性质, 它并不依赖于系统的局部性质及其细节。自相似的分形结构意味着系统具有长程相关 (long-range correlation) 的性质。这种长程相关是通过短程 (最近邻) 的高度多重连结和非线性的强相互作用来体现的, 而并非扰动直接传递的结果。因此长程相关可能使远距离的扰动触发和影响近处某一地点系统的动力学行为。

(7) 自组织临界状态的时-空分形结构固然是经验幂律关系所致, 然而其根源则来自“标度相对性理论” (Theory of Scale Relativity), 有其深刻的理论基础。

自然界中存在普遍的标度律, 即从量子物理学的微标度到宇宙学的巨标度都存在某种标度律, 而且物理定律本身也依赖于标度。由此导致了标度不变性的概念。但是这些标度律都属于经验概括, 至今缺乏一种关于标度的基本理论, 借以对标度律作出理论解释。

1993年 Laurent Nottale 从相对论原理引伸出关于标度的基本理论, 并称之为“标度相对性理论”。广义相对论原理可表述为: “物理学的定律必须能应用于任一状态的坐标系”。坐标系的状态包括原点、轴、单位和分辨率四方面。广义相对论只是将上述原理应用于时-空坐标系的位置 (原点, 轴) 和运动状态, 而并未涉及单位和分辨率状态。因此广义相对论适用于运动定律, 是一种“运动相对性原理”。

标度相对性理论根据自然界中长度和时间标度的相对性,将时-空分辨率 (spatio-temporal resolution) 定义为坐标系的标度状态 (state of scale), 即分辨率状态, 从而由相对论引伸出“标度相对性原理”: “物理学的定律必须能应用于任一标度状态的坐标系”。标度相对性理论论证了自然界中从微观物理学的微标度历经复杂自组织系统的中标度直至宇宙学的巨标度中标度相对性的存在性。

标度相对性原理引伸出的一个重要结果是对时-空结构进行了深刻的修改。在广义相对论中, 时-空是弯曲的, 而在标度相对性原理中, 时-空是分形的, 或称“分形时-空” (Fractal Space-Time), 即时-空具有分形结构。

时-空分形结构的物理根源 (physical origin) 有二: 其一是自然界中标度律的普遍性 (universal scale dependence in Nature), 另一则是自然界的基本不可微分性 (fundamental nondifferentiability of Nature)。二者异途同归。上文已对第一方面进行了论述, 现在再对第二方面作补充分析。

物理学家 R.P.Feynman (1948, 1965) 早已指出, 量子力学中一个微粒的路径可以用一条连续而不可微分的曲线来描述。一个量子微粒运动轨线的不可微分性是量子力学物体的一种普遍性质。在物理学中, 物理物体的普遍性质可以归属于时-空本身的性质。由此推知, 时-空是不可微分的。但不可微分的本质又是什么呢? 我们知道, 当标度愈来愈小时, 不可微分几何无休止地展示出它新的细部。这意味着当分辨率趋于零的极限时, 一个不可微分的分形空间之曲率不断增大, 直至达到无穷大。或者说得更准确一点, 一个分形表面的曲率是无穷大的正、负曲率的分形交替。总之, 不可微分的分形可以由一族可微分曲线的极限来构筑。由此可以得出结论: 不可微分性意味着时-空对标度的显式依赖, 即时-空的标度不变性。因此分形时-空实质上就是时-空的基本不可微分性在结构上的展现。

地球化学系统是地球化学的研究对象, 它具有高度的复杂性, 并且呈现不同程度的自组织。复杂地球化学动力系统自组织临界性的时-空分形动力学集中反映了各种地球化学系统的时-空演化规律, 因此对于它的研究就构成了地球化学学科的基本任务。

(三) 矿产资源预测

在对矿床成因进行理论研究取得一定成果之后, 接着有两项重要的工作必须要做。首先, 研究结果是否符合自然界的客观规律必须用地质事实加以严格的检验。然后更重要的是, 一旦对矿床成因的认识被证明一定程度的正确性之后, 就必须及时用矿床成因的理论认识指导矿产资源的预测、勘查和发展。预测是这三项实践中最重要的第一步。这是因为预测除了必须以矿床成因理论为依据之外, 它本身也具有极其深刻的理论基础、哲学思想和相应的一套方法技术, 用以指导勘查和开发的实践。本节主要是探讨对矿产资源进行预测时可能涉及的一些理论认识问题。

1. 传统与非传统科学思维

最近 West 和 Deering (1995) 曾对 20 世纪以来自然科学界的科学思维进行了分析探讨, 并将被 20 世纪自然科学界广泛接受的所谓“传统真理”和本世纪后期被认识的“非传统真理”进行了对比 (表 3)。

表 3 传统真理与非传统真理

传统真理	非传统真理
1. 物理学理论是定量的，而且应该是定量的	1. 定性的理论和定量的理论同等重要，有时甚至比定量理论更为重要
2. 自然现象一般可以用解析函数表述	2. 许多现象具有奇异的性质，不能用解析函数表述（分形）
3. 自然现象的演化可以根据运动方程进行预测	3. 许多现象的演化尽管可以用动力学议程进行推导，然而未必可以预测（混沌）
4. 自然现象具有基本（特征）的标度	4. 自然现象未必具有基本（特征）的标度，而可以用标度关系进行描述
5. 绝大多数现象符合叠加原理	5. 绝大多数现象破坏叠加原理

值得指出的是，本世纪后期科学思维所揭示的“非传统真理”之中，非线性、标度关系和不可预测性这三者之间的相互关系具有普遍意义。

2. 可预测性与不可预测性

可预测性 (predictability) 和不可预测性 (unpredictability) 的问题本质上涉及哲学问题，其中包含有序和无序 (order and disorder)，确定性和不确定性 (certainty and uncertainty or determinism and nondeterminism) 以及偶然性和必然性 (chance and necessity)。在这一个重要的认识论和哲学问题上法国的两位伟大的数学家、物理学家和天文学家持有截然相反的看法。Laplace (1776) 相信严格的确定论，他认为确定论意味着完全的可预测性。这就是说我们一旦知道一个系统的现时态就可以绝对确定地预测其以后的状态。在他看来，不确定性是由于不准确的知识所导致的，因此不完全和不完善的观察才需要用到概率理论。Poincare (1903) 与之相反，他认为即使一个系统是确定性的，但由于系统的演化对于其初始状态具有灵敏的依赖性，因而不可以进行长期预测，也就是说他揭示了内在的不可预测性 (intrinsic unpredictability)。

本世纪后期，自然科学界对于“噪声” (noise) 和“混沌” (chaos) 开展了广泛而深入的研究。噪声和混沌在人类认识的较深层次上影响着预测问题。二者包含着有序-无序、确定-不确定和偶然-必然之间复杂而深刻的辩证的内涵。简单说来，确定性系统中可能产生混沌和无序（确定性方程中的内在随机性）；反之，噪声和混沌中又隐含着内在确定性（“确定性随机”和“标度不变性”）。

噪声（观测误差除外）和混沌本质上都来源于复杂系统中所发生的过程之内在的非线性动力学性质。此外，系统无论是走向“有序”（包括分形结构）还是“混沌”，通常并不是连续、均匀和平衡地渐进过渡，而是都要经历一系列的突变，可以说都和临界现象有关。这些都是它们所具有的共性。然而噪声和混沌二者的性质有所不同，研究方法也有差异，并且对预测具有不同的影响和意义。

3. 噪声

噪声有时亦称“随机涨落” (random fluctuations) 它们广泛出现于自然界和人类社会中。噪声或涨落有的来自测量误差，也可能产生于系统的内部，称为“内部涨落” (internal fluctuations) 或者来自系统外部环境的随机扰动，称为“外部涨落” (external fluctuations)。观测误差这里不拟讨论。内部或外部涨落均与动力学过程有关。这一类随机涨落非常重要。

当系统的外部控制参数（如温度、压力、组分浓度等）逐渐发生改变时，系统将趋于临界状态。一旦达到临界点，初始的微小涨落就会突然扩大。临界点附近不同点上的涨落并不互相独立，而是彼此有关联，即使原子或分子间是短程作用力，也可能出现长程的关联（long-range correlation）。实际上，逼近临界点时，这种关联愈来愈大，系统中出现若隐若现、相互嵌套、“你中有我，我中有你”的原子或分子相互连结而成的集团，可以称之为涨落“斑块”。这些涨落“斑块”或连结分子集团的平均长度就是“关联长度”（Correlation length）。重要的是在临界点，系统内的这种关联长度突然发生一定距离的发散。在临界点附近，微小涨落的突然扩大除了引起空间长度上的关联之外，还导致时间上的关联。这时随机时间序列中将出现确定性的局部时间域，其时间区间随着逼近临界点而愈来愈大，其平均长度即为“关联时间”（correlation time）。当达到临界点时，关联时间突然发生一定长度的发散。正是这种关联长度和关联时间的发散使系统发生“自组织”（self-organization），呈现有序的空间结构（spatial structure）、时间结构（temporal structure）或时-空结构（spatio-temporal structure）。因为这种有序结构是系统在临界状态下产生的，因此又将这种临界现象称为“自组织临界性”（self-organized criticality）。我们将上述现象和过程简称之为“通过涨落达到有序”（order through fluctuations）。

现在再来谈谈一种具有特殊性质的噪声，我们将它称为“标度噪声”（scaling noise）。这个名称的由来在下文中自有说是。首先要谈一下“白噪声”（white noise），其所以被称之为“白”，是由于所有的频率对于动力学作出同等的贡献，如同白光中的情形（功率谱中所有频率上的能量为一常量），其所以被称之为“噪声”则是因为各频率上的变量值彼此之间是随机的。此外还有所谓“有色噪声”（colored noise）。这种噪声具有反幂律功率谱（inverse power-law spectrum），即功率谱随着频率的增大按反幂律 $1/f^{\alpha}$ 而减少： $S(f) = f^{-\alpha}$ ，其中 S 表示功率谱， f 表示频率， α 为正数。具有反幂律 $1/f^{\alpha}$ ——分布的功率谱的噪声标度不变性（scale invariance）的重要特征，因此特别称之为“标度不变噪声”（scale-invariant noise），有时简称之为“标度噪声”。当 $\alpha=0$ 时为白噪声， $\alpha=1$ 时常称为“ $1/f$ -噪声”， $\alpha=2$ 时为“布朗噪声”（Brownian noise），即布朗运动（图 10）。实际上，在一个变程内连续取值。

具有反幂律 $1/f^{\alpha}$ -分布的功率谱的噪声，统称为“ $1/f$ -现象”。 $1/f$ 现象既然具有标度不变性，因此这种现象在时间上和空间上都具有分形的特性，即具有时间分形结构和空间分形结构。此外，我们在“地球化学系统的复杂性与自组织”一节中已经指出地球化学场量的反幂律率分布反映地球化学系统的自组织临界性，并具有时-空分形结构。

从以上分析可见，对于噪声，应该一分为二，既要看到它随机、不规则的一面，更重要的是也应看到它能揭示自然过程的内在动力学规律这一面。上文指出的“通过涨落达到有序”和有色噪声的“标度不变性”完全可以在预测工作中起某种指导作用。

4. 混沌

在许多自然现象中，我们常常可以看到一种不规则的涨落，这种不规则性和一般的噪声有所不同，它完全是由于过程的内在非线性动力学性质所产

生的。某些低维的确定非线性动力学方程会给出非周期性(不规则)的解。这种解反映了确定性非线性动力学系统中所蕴涵的内在随机性,可以称之为“确定性随机”(deterministic randomness)。通常所说的“混沌”(chaos)就是指这种确定性随机。它是由宏观系统中的非线性相互作用(nonlinear interactions)所产生的系统的内在性质。

(1)混沌的最突出的特征是对初始条件的敏锐的依赖性。假定我们用N维的相空间中的一个点来代表某一系统的状态,则系统的演化就可以用这个点在相空间中移动的轨线来描述。相空间中所有轨线最终被吸引而至的极限点集称为“吸引子”(attractor)。吸引子在相空间中可以有不同的形状和大小,但其共同点是只在其中占据有限的体积。如果相空间的初始体积内的所有各点收敛到一个吸引子,并且任意地靠近在一起的初始点最终按指数规则互相分离,则称此种吸引子为“奇异吸引子”(strange attractor)(图11)。奇异吸引子表示“混沌”,而邻近的轨线按指数规则分离的性质就称为“对于初始条件的敏锐的依赖性”(sensible dependence on initial conditions),正是这一特性产生了通过奇异吸引子的轨线的非周期行为。

(据 West, Deering, 1995)

图中自上而下表示 Belousov-Zhabotinskii (BZ) 反应中溴离子深度的相空间、离子浓度的时间演化及功率谱密度的对数的频率分布。左列表示规则的动力学,右列表示混沌动力学。

(2)非线性动力学可以使系统处于两种不同的状态,一种是有序和组织,另一种则是无序和混沌。在一个线性的场内,一个能量的脉冲是由集中在某一频率的许多的波的窄谱之线性叠加所构成的。由于场是线性的,而介质具有弥散性,因此当这种脉冲在弥散介质的线性场内传播时就将在空间上拓宽,而其振幅将随 $1/\sqrt{t}$ 而衰减, t 表示传播时间。反之,如果场是非线性的,则在某种条件下,脉冲可以保持经久不衰。那么需要什么样的条件呢?我们知道线性弥散将驱使构成能量脉冲的诸波分离,而非线性相互作用则反之,将使这些波聚扰。如果非线性相互作用达到相当的强度,足以和线性弥散作用达到动力学的平衡则系统就将展现有序和组织状态。

研究证明,当系统的能量超过特定的临界值时,则该系统的内在非线性使运动方程产生非周期解,并使系统表现混沌的行为。在此情况,随机涨落来源于系统的内在非线性,即混沌而并非一般的噪声。

(3)走向混沌的通路。非线性系统呈现混沌是其动力学演变的结果,其间要经历一系列的突变。系统的动力学行为受外部参量的控制。当外部控制参量逐渐增大并依次超过诸临界阈值时,系统将相继经历不动点(非平衡定态)、极限环(振荡)、环面而达到混沌这样一系列由简单到复杂的吸引子(图12)。在这一演化过程中,系统从简单的周期行为通过周期的无限倍增(infinite periodic-doubling)而走向复杂的非周期行为是系统从有序走向混沌的通路,这也就是产生混沌的动力学机制。

(4)混沌过程具有宽带的、标度的功率谱,这意味着混沌以定常的速率创造信息,因此混沌过程蕴涵着丰富的信息。反之,周期性过程具有窄带的功率谱,并表现为单调、重复的序列,因而缺乏信息内涵。

综上所述,混沌的本质是确定性随机。虽然不规则性是混沌的主要特征,

但是混沌来源于确定性的动力学系统，它对初始条件虽高度敏感然而有章可循，它的经历一系列突变的动力学演变过程，从有序走向混沌的动力学机制（通路）以及丰富的信息内涵，所有这一切给予我们一种启示：面对混沌现象，在处理预测问题时，决不能简单从事，而必须实事求是地对具体情况作系统深入的具体分析。

5. 无序度与复杂性的度量

系统的无序度或复杂性必须用非线性动力学理论和由这种理论发展而来的方法进行研究。传统的研究方法是从理论到实际，就是先建立模型（modelling），即控制系统演化的动力学方程，然后求解方程或进行数值模拟，最后再将所获得结果与经验数据进行比较。非线性动力学方法则是反其道而行之，它从实际到理论。这种方法不必首先建立动力学演化方程，而是直接从经验数据演绎出复杂系统的性质和行为。

（1）复杂性的度量

现在有多种方法被用来度量相空间中吸引子的复杂程度，下面略作介绍：

（a）维数

整数维指示简单的吸引子，而非整数维则指示复杂的吸引子（混沌吸引子）。吸引子的维数不仅可以用来刻画不随时间而变的静态空间结构的复杂程度，而且还可以用来表征随时间而变的时间序列（动力学过程）的动态时间结构的复杂程度。

（b）熵

熵可以被解释为动力学创造信息的平均速率。在规则的吸引子中，当系统演化时相空间的局部体积内的初始轨线彼此靠拢，系统保持初始信息，并且无新信息产生。因此初始信息可以用来预测系统的最终状态。在混沌吸引子中，当系统演化时，强非线性相互作用破坏了初始信息，然而动力学又创造了新信息。因而系统的初始不确定性在整个吸引子中最后完全被抹掉，也就是说最后失去了现在和将来之间的偶然联系，因而完全丧失了预测能力。

（c）Lyapunov 指数

Lyapunov 指数谱被认为可以提供混沌行为的最完善的定性和定量表征。假设有一个初始条件的 d 维球体然后观察此球随时间的演化，则在 Lyapunov 指数为负的某个方向球将收缩，而在 Lyapunov 指数为正的另一方向球将膨胀，从而球变为一个 d 维的椭球。因此一个 d 维的系统可以用 d 个指数来表征，其中第 j 个 Lyapunov 指数定量地表征椭球中第 j 个主轴方向上的膨胀或收缩。Lyapunov 指数之和就表示平均的发散，对于耗散系统，它永远是负的。

以三维的相空间为例，其中的吸引子可以三个 Lyapunov 指数（ $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ ）来表征。这是因为 Lyapunov 指数定量地表征动力学系统的相空间中相邻轨线的平均的指数收敛或发散。我们将具有一个或一个以上正 Lyapunov 指数的系统定义为混沌的。一个系统的局部稳定性是根据其对抗动的响应来确定的。沿着某些方向响应可能是稳定的（Lyapunov 指数为负），而沿着其他方向则响应可能是不稳定的（Lyapunov 指数为正）。因此吸引子的定性行为可以仅仅用确定 Lyapunov 指数的正、负号来标定。这就是说我们可以用（ $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ ）的符号来代替（ $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ ）。例如（ $-, -, -$ ）对应于不动点，（ $0, -, -$ ）对应于极限环，（ $0, 0, -$ ）对应于环面，而（ $+, 0, -$ ）

对应于混沌（图 12）。

（d）关联维数（correlation dimension）

有人提出用初始瞬间消逝后吸引子中一个轨线上的时间序列的点与点间的关联来度量吸引子的复杂程度。

（2）吸引子重建技术（Attractor Reconstruction Technique）

复杂系统往往是多变量系统，即该系统的动力学行为依赖于许多自变量。假定对于此类系统难以建立数学模型，而实际条件又只允许实验测定其中一个变量的值，从而获得单一时间序列，比如 $X(t)$ 。根据这样的单一时间序列，是否有可能对复杂系统的动力学行为进行有效的研究呢？从理论上我们知道，如果所研究的系统是强非线性的，则实测的单一时间序列应该包含有关的所有其他未被实测变量的信息。事实上，如果有办法适当地处理该时间序列则即可确定有关的其他变量的信息。幸而现在有一个数学定理能显式地表示如何处理数据以获取上述信息。在非线性动力学中已经发展出一种所谓“吸引子重建技术”这样一种方法，利用这种方法就可以根据单变量时间序列重建多维的吸引子。考虑到这种方法涉及较多的专门技术，这里不作具体介绍。

水资源的合理开发利用与社会经济可持续发展

陈梦熊

地质矿产部

陈梦熊 水文地质学家。1917年10月12日生于江苏南京（原籍浙江上虞）。1942年西南联合大学毕业。地质矿产部科技顾问委员会委员、科技高级咨询中心高级顾问。1991年当选为中国科学院院士（学部委员）。长期致力于地下水资源、地下水系统及环境水文地质问题的研究。

一、水是生命之源

水、空气与阳光是生命之源，水与人类生活更是息息相关，是人类赖以生存不可缺少的物质。随着工农业的发展，水又成为发展生产的一项重要原料。没有水，农业就会歉收，工厂的机器就无法运转，城市生活就会陷入瘫痪。过去一般人总认为水是随处可取的，是取之不尽，用之不竭的；但随着人口的增加与工农业的发展，需水量日益增长，因而全世界许多地方，已经感到水源紧张，甚至发生水源恐慌，中国也不例外。因此水资源已成为当今世界各国发展社会经济的制约因素，引起普遍关注。

水资源（淡水）主要包括地表水与地下水两个组成部分，它们都直接受降水的补给。留在地表的水体形成河流、湖泊，还包括高山地区大面积覆盖的冰雪资源；降水渗入地下，成为地下水。地表水与地下水又经常互相转化，所以两者是很难截然分割的统一体。地表水肉眼可以直接看到，容易引人注目；而地下水一般不能直接看到，往往就不能引起重视，甚至有些地方，至今还没有利用地下水的习惯。

我国水资源的总量究竟有多少呢？根据有关部门的统计，我国的总水资源（淡水）共计年平均为2.8万亿立方米，其中地表水为2.7万亿立方米，地下水为0.8万亿立方米（包括一部分与地表水的重复量），居世界的第六位。我国人口众多，耕地总面积比较大，人均水量每年只有2710立方米，约为世界人均水量的1/4；亩均水量仅1770立方米，约为世界亩均水量的3/4。可见我国水资源并不富裕，必须十分珍惜，十分爱护，合理开发利用，充分发挥水资源的作用。

我国水资源的一个重要特点，是地区分布很不均匀，与人口和耕地的地区分布不相适应。一般来说，如果以秦岭为界，南方水多地少，北方地多水少；造成南方水有余，北方水紧张的局面。南方水资源总量约占全国的80%，人口占全国的55%，耕地只占全国的36%；而北方（包括西北）耕地面积却占全国的64%，人口占全国的45%，而水资源总量却不到全国的20%。

如果按人均、亩均水量进行比较，北方人均水量为938m³/人，亩均水量为454m³/亩，其中海滦河流域只有251m³/亩，人均430m³/人。而南方亩均水量达4134m³/亩，人均水量4170m³/人，南、北方相差悬殊，特别是西南地区高达38431m³/亩。西北干旱地区，如甘肃河西走廊或新疆，由于得到了高山地带降水与冰雪资源的补给，人均与亩均水量分别达到6290m³/人与1470m³/亩，远远超过华北地区。根据有关资料，全球人均用水量为744m³/人（70年

代），除美国等少数国家超过 $1000\text{m}^3/\text{人}$ 以上外，多数国家（包括欧洲发达国家）均介于 $400\text{--}800\text{m}^3/\text{人}$ 之间（中国 $453\text{m}^3/\text{人}$ ）。由此可见，我国南方的水资源，不论按人均或亩均计算，均远远超出实际需要。我国北方人均水量接近 $1000\text{m}^3/\text{人}$ ，按国际标准，人均占有水量少于 $1000\text{m}^3/\text{人}$ 的才属于缺水地区；因此在北方主要只是海滦河流域以及黄河中游地区，人均约在 $400\text{m}^3/\text{人}$ 以下，是相对严重缺水地区。

我国水资源的另一特点，是雨量和河流径流量的季度变化和年际变化都很大。少水年和多水年，南方可相差 2 至 4 倍，北方是 3 至 6 倍，这是造成水旱灾害频繁，影响农业生产不能保持稳定的主要原因。据统计自 1950 至 1983 年的 33 年中，全国平均每年的水旱灾害面积约 4 亿亩，占耕地面积的 26%。水灾受灾面积超过 2 亿亩的有 4 次，主要在南方；旱灾受灾面积超过 4 亿亩的有 8 次，主要在北方；平均 3 年发生一次重灾。可见旱灾对中国农业生产的威胁最大，尤以黄淮海平原最为严重，受旱面积占全国受旱面积的一半以上。目前全国还有半数以上的耕地缺乏灌溉设施，每年仍有 2-3 亿亩耕地经常受到干旱的威胁。因此防治水旱灾害，将是一项长期的艰巨任务。

二、农业用水是水的最大用户

建国以来，水利事业突飞猛进，国家水利投资达 1000 多亿元，兴建了大量水利工程，取得了巨大成绩。计建成大中小水库 8.6 万座，总库容 4400 亿 m^3 ，机电井 241 万眼；全国灌溉面积发展到 7 亿多亩，生产着约占 2/3 的粮食和经济作物。据 1980 年的统计，全国总供水量约 4440 亿 m^3 ，其中农业灌溉与工业用水分别为 3580 亿 m^3 与 457 亿 m^3 。全国地下水的开采量为 619 亿 m^3 ，其中北方地区（包括东北、西北）约为 438 亿 m^3 ，占全国地下水开采量的 71%。

据调查分析，全国农业、工业，以及城市生活等用水，分别占总用水量的 88.2%、10.3% 和 1.5%，可见农业用水是水的各类用途中的最大用户。南方水田面积大，灌溉用水平均定额在 $541\text{--}886\text{m}^3/\text{亩}$ 之间。北方井灌面积占较大比重，大部分地区每亩平均用水量约在 $361\text{--}540\text{m}^3$ 之间；西北和东北部分地区，每亩用水量偏高，一般约在 $600\text{--}1000\text{m}^3/\text{亩}$ 之间。我国现在灌溉面积占世界第一位（7.3 亿亩），超过美国（3.68 亿亩）和印度（5.90 亿亩），灌溉面积占耕地的比重也最高。但按人口计，人均灌溉面积仅 0.74 亩，按农业人口计也仅人均 0.87 亩，约占世界农业人口平均数（1.52 亩）的 57%，低于世界上许多国家。

由于北方地多水少，水资源仅占全国的 1/5，所以北方在农田灌溉用水方面，供需矛盾也最为突出。但北方的一个重要优势，是在广大平原地区，普遍蕴藏着比较丰富的地下水；据估算，北方平原区地下水资源共约 1500 亿 $\text{m}^3/\text{年}$ ，占全国平原地区地下水资源的 78%，地下水的年开采量已达到 438 亿 m^3 。其中农业用水约为 330 亿 $\text{m}^3/\text{年}$ ，全国 7 亿亩灌溉农田有近 2 亿亩利用地下水。

解放前华北由于经常受到旱灾威胁，粮食产量很低，需要依靠南方调剂。自 60 年代以来，华北各省大力发展井灌，开发利用地下水，年开采量达到 256 亿立方米，井灌面积约占灌溉面积的 60%，大部分地区基本实现机井化

或井渠双保险，粮食连年丰收，达到自给有余，从而扭转了长期以来“南粮北调”的被动局面。

北方虽然水利化程度有较大提高，但有些地方缺水仍较严重，特别遇到连续干旱年，仍然常常发生严重灾害。因此如何开源节流，解决农田灌溉问题，仍然是一个重要课题。河南商丘地区，采取合理调控地下水位的措施，一方面可以夺取潜水蒸发损失，一方面通过人工调蓄，以丰补歉，使水资源量增加 1/3 以上，既扩大了灌溉面积，又起到治盐防涝的作用。

华北平原的地下水，有一部分咸水或微咸水，约占平原面积的 17%，还未能充分加以利用。近年来不少地方对改造利用咸水已经取得成功经验。据统计，华北平原咸水区每年的降水入渗补给量，可达到 90 亿 m^3 。如果能设法改造利用咸水，抽咸化淡，合理开发，为蓄存淡水创造条件，那么，不仅可以扩大水源，而且对旱、涝、盐、碱等自然灾害的治理，也具有十分重要的意义。

尽管北方水资源不足，但灌溉用水的浪费现象仍很严重。例如华北一般的灌溉定额为 400 m^3 /亩左右，而水多的地区每亩灌溉水量往往超过 500 至 600 m^3 以上。华北地区通过科学实验，根据雨量的变化与土壤墒情，合理灌溉，科学用水，表明每亩耕地的灌溉用水，只要 150 至 200 m^3 左右，就能基本满足需要。西北地区灌溉用水的浪费更为严重，据粗略估计，河西走廊如果实行限额灌溉、储水灌溉、推广高效节水技术，如喷灌、微灌、覆盖等新技术，就能在全区节水 13.34 亿 m^3 ，相当新扩保灌面积 40 万亩。因此在开源、节流方面，应把树立节水意识，建立节水型农业，作为缓解水资源供需矛盾的主要措施。由此可见，农业上只要依靠科技进步，那么节水的潜力还很大。

三、水资源的开发利用与防止生态环境恶化

中央一再指出，国民经济发展必须与资源、环境相协调，形成良性循环；防止由于资源开发，导致生态环境恶化。我国北方地区生态环境十分脆弱，往往由于水资源的开发利用，对生态环境造成不利影响。例如不合理的灌溉，造成的大面积的土壤次生盐碱化，使大片耕地减产或荒废；特别是西北广大地区，由于人为作用，沙漠化、荒漠化现象十分严重，生态环境受到严重破坏，已引起社会的普遍关注。

盐碱土是我国北方及西北地区干旱气候条件下的特有产物。一般是在地下水位埋藏较浅、径流条件迟缓、水质较差的情况下，由于强烈的蒸发作用，盐分在土壤层内积聚而形成的。但不少地区土壤盐碱化主要由于人为作用造成的，特别是在不适宜引灌的地区，进行大水漫灌，使地下水位大幅度上升，导致土壤次生盐碱化与沼泽化的普遍发展，造成严重危害。1958 年-1961 年期间，华北部分地区不适当的大规模引黄灌溉，修建平原水库，有蓄无排，使盐碱地由 2800 多万亩，增到 6000 万亩，就是一个惨痛教训。目前内蒙古河套平原及宁夏银川平原，都是著名的引黄灌区，大部分耕地主要引黄河的水进行灌溉。但由于不爱惜用水，实行大水漫灌，每亩灌溉用水高达 700 至 1000 m^3 以上，不仅严重浪费水资源，而且造成地下水位上升，导致土壤次生盐渍化。例如后套灌区 662 万亩耕地，却有 300 多万亩变为盐碱地，亩产仅 100 斤左右。甚至有的耕地，因不能继续耕种而报废。如果根据地表水、地下水综合利用，井渠相结合的原则，不仅能互相调剂，节省水源，而且井灌

地区又能起到井灌井排、降低水位，防止土壤盐碱化的作用。对咸水、微咸水分布地区，井渠结合，还能起到抽咸补淡，改良水质的作用，一举多得。近年来华北平原土壤盐渍化有所改善，主要就是实行了井灌井排，加上海河治理取得成效，打通了排水出路，才减轻了盐碱化的威胁。据调查内蒙后套平原总需水量约为 37.53 亿 m^3 /年，如果其中部分灌区以发展井灌为主，可减少引黄灌溉量 16.92 亿 m^3 ，因此实际上只需引黄 20 亿 m^3 。这样既节省了黄河的输水量，又防止了土壤盐碱化，是解决这一地区农业生产的正确途径。

西北内陆盆地，土壤盐碱化的问题也十分严重。据统计次生盐碱化土壤的面积共达 1700 万亩，其中河西走廊为 143 万亩，约占其耕地面积的 1/8；民勤地区从 50 年代以来，盐碱土的面积由 26 万亩扩大到 40 万亩，占现有耕地的 64%。新疆耕地面积 4729 万亩，其中 1/3 以上不同程度的发生盐碱化。新疆开垦的土地，由于盐碱化而弃耕的达 1000-1500 万亩。有些地区多年来开垦的面积与弃耕面积竟大致相等，造成巨大的经济损失。

土地沙漠化是干旱地区生态环境恶化的另一种表现。近 40 多年来，土地沙漠化在我国的发展十分严重，且有进一步扩大的趋势。据统计从 50 年代到 70 年代，我国沙漠化土地以年均 1560 km^2 的速度扩大；进入 80 年代，沙漠化平均每年扩大 2100 km^2 。预测今后 10 年，平均每年沦为沙漠化的土地面积将达 2370 km^2 ，直接危害到人类的经济活动与生活环境。全国每年因风沙造成的直接经济损失，高达 45 亿元。

造成沙漠化的原因很多，例如森林、植被的人为破坏，无科学依据的大规模垦殖、拓荒，以及草场过度放牧，等等。但很多地区土地沙漠化，主要是由于水资源开发不合理造成的。河西走廊的石羊河流域是最突出的一个实例。石羊河年均径流量约 11-12 亿 m^3 ，主要流经武威与民勤两个盆地。建国以来在上游地区修建了许多水库，山区河川径流量基本上全部被拦截，导致山前平原地下水补给逐年减少，溢出带泉流量严重衰减，地下水位急剧下降。随着武威地区耗水量的迅速扩大，下游民勤盆地的来水量，由 50 年代的 5.47 亿 m^3 ，到 90 年代急剧下降到 1.7 亿 m^3 ，导致下游河流断流，湖泊干涸，地下水位持续下降，水质恶化，土壤盐渍化面积不断扩大，大片灌木林、沙棘林衰败死亡，草场退化，大片耕地撂荒，绿洲退缩，并被沙漠所替代。因而沙漠面积不断扩大，沙漠化日益严重，生态环境急剧恶化。

在黑河流域也出现类似的情况，上、下游之间由于水资源分配不均所造成的矛盾更为严重。黑河上游主要在甘肃张掖境内，而下游弱水则属内蒙的额济纳旗，弱水最终流入居延海。黑河年均径流量约 12 亿 m^3 ，过去流入额济纳旗约 8 亿 m^3 ；但自 80 年代以来，由于张掖地区国民经济的迅速发展，黑河下泄水量大幅度减少，特别是近 5 年下降到 2 亿 m^3 左右，使下游河流断流，历史上著名的东、西居延海均在地面上消失，成为戈壁、盐漠。地下水位急剧下降，大批浅井干涸报废。约近 600 万亩的天然乔、灌木次生林枯萎消亡，沙化、盐碱化的土地面积扩大到 527 万亩，约占全旗可利用土地面积的 54%。沙漠化、荒漠化现象急剧蔓延扩张，额济纳绿洲濒于消亡。

新疆许多内陆河流，也遭到类似的命运。由于中、上游各类水工建筑大量消耗水资源，造成下游流量严重衰减，生态环境急剧恶化。例如塔里木盆地的孔雀河，原流入罗布泊湖，1943 年湖面面积为 1900 km^2 ，1962 年缩小为 530 km^2 ，现已全部枯竭，成为一片荒漠。准噶尔盆地玛纳斯河终端的玛纳斯湖，

1968年湖面面积尚有550km²，现已全部消失。艾比湖已由1958年的1070km²缩小为570km²。以上干涸的湖泊，已大部分为沙漠所取代。新疆最大的塔里木河，年径流量达49.8亿m³；近年来由于上游大量引灌，到中游仅余9.5亿m³，减少81%，使下游河流断流，地下水位下降8米，含盐量大幅度升高，使大面积的胡杨林、红柳林相继大片死亡。10余万亩农田弃耕，30多万亩草场复灭，随之而来的是沙漠入侵，使原来长达300km的“绿色长廊”大部分沦为荒漠。据统计近30年来全疆沙漠面积扩大了3.4万km²，使5100万亩的土地和草原被沙漠所吞没。

四、为什么大多数城市出现水资源紧张

除农业用水问题外，当前水资源供需矛盾的焦点，主要集中在城市和工业用水方面。随着工业的发展与城市人口的迅速增长，水的需求量日益增加。从50年代到80年代，我国城市人口已由0.6亿增加到2.2亿，城市年用水量由6.3亿m³增加到120亿m³。据预测，到2000年我国城市将由目前的381个增加到640个，城市人口将由2.2亿增加到3.0-3.5亿人。城市生活用水将由目前的每年120亿m³增加到170亿m³，工业用水将由每年450亿m³增加到700亿m³。因此水资源如何满足今后人口增长与工业发展的需要，是摆在我们面前的一个严峻问题。

城市水资源供需矛盾的日益尖锐化，虽然存在许多复杂因素，但其主要原因之一，是工业用水的迅速增长。据1987年的统计，全年供水量，工业用水占72%，生活及市政用水仅占28%。所以城市水资源的供需失调，主要是工业的增长与水资源不相适应造成的。

我国北方大多数重要城市，均属工业城市，工业用水一般约占城市用水的60-80%以上，而且大多数以地下水作为主要供水水源。由于城市工业过度集中，需水量不断增长和地下水的开采强度超出了允许，造成许多城市地下水过量开采，出现水资源日趋衰竭的严重局面。上海、天津等沿海城市，由于过量开采地下水导致地面沉降或海水入侵，形成公害。

关于地下水超量开采，北京就是一个突出的实例。城区工业占全市工业的80%，人口占60%以上，而7个主要供水水源地都集中在城区近郊的四周，造成补采失调，地下水位逐年持续下降，水资源严重亏损。近10年来，由于开辟了位处潮白河冲积扇的水源八厂与利用地表水的水源九厂，扩大了供水来源，取得了明显效果；城区附近的地下水位有所恢复，城市用水的紧张局面也有所缓解。

由此可见，城市人口的增长，工业发展规模，工业结构及工业布局等，都要根据水资源情况，全面规划，合理布局。同时要解决大城市的供水问题，还必须从较大范围内，建立分散型的供水系统，避免水源地过度密集；凡有地表水可利用的地区，就应建立与地下水相联合的开发系统，加强水资源的管理与保护。因此全面查清水资源情况，是水资源合理规划与合理开发利用的基本条件。

当前在城市供水十分紧张的情况下，水质污染与水质恶化的情况，仍然有不断发展的趋势。这既造成水资源的破坏，更加剧了城市供水的紧张局面。过去南方城市主要依靠地表水作为供水水源，近年来由于地表水遭到严重污

染，许多城市已改用地下水作为供水水源。但目前地下水的污染也日趋严重，有的水源地被迫停产。造成水质污染的主要根源，是城市污水与工业废水的处理率低。据统计，全国城市污水的日排放量已达 6822 万 m^3 ，而其中大约 80% 未经处理就排入河流或湖泊，对水资源造成严重危害。

为克服城市水资源的紧张局面，必须采取各种有效措施，开源节流，以缓解水资源的供需矛盾。例如天津市采取了跨流域调水方案，实现了引滦工程，基本上解决了天津市长期以来供水不足的困难局面。不少城市还开辟了新的地下水水源地，例如乌鲁木齐市不久前建立了米泉化肥厂的大型水源地，最近又正在开发柴窝铺水源地和西山水源地，以满足日益增长的供水需要。

五、关于改善农村人畜饮用水与扶贫

建国以来，人民生活水平普遍有较大提高，但广大农村仍有不少贫困地区，生活十分疾苦；而这些贫困地区，绝大部分也都是严重缺水地区。例如西北黄土高原、西南的岩溶石山地区，农民生活贫困，很大程度上都是与缺水不开的。如果农村人畜饮用水得到解决，就能改善人民生活，达到扶贫、治贫的目的。

黄土高原由于自然条件的限制，缺水比较严重，但河谷地区、黄土源区，以及局部地形、地质有利地段，都分布有地下水；陇东、陕北部分地区，还分布深层承压水，都有较好的开发前景。有关部门正在规划研究把洮河的水引到黄土高原来，如果能够实现，那么黄土高原的缺水问题，就能基本得到解决。西南所谓的石山地区，广泛分布石灰岩，由于溶蚀作用强烈，岩石裂隙发育；降水或地表河流，大部分渗入地下，形成地下暗河，而地表却十分干涸。据调查广西中部约 15 万 km^2 的面积内，就分布暗河 353 条，枯季流量 158 m^3/s ；黔北约 8 万 km^2 面积内，分布暗河 607 条，枯季流量达 186 m^3/s 。说明地下暗河资源十分丰富，目前尚未充分开发利用。

广大农村不仅存在缺水问题，不少地方还存在水质不良，并分布多种与水质有关的地方病，尤其在北方更为普遍，严重影响人民健康。例如最常见的有高氟病、克山病、大骨节病、地甲病，以及地方性砷中毒或地方性癌症等，据调查都与当地饮用水的水质有关。仅据 15 个较严重的省（市、区）的统计，各类病人人数总计就达 3846 万人以上。例如黑龙江省 80 多个县中，就有 70 多个县不同程度的分布各种地方病。国家十分重视地方病的防治工作，例如已采取改良水质、改换水源等各种措施，减低发病率，并正取得显著成效。

我国北方、特别是西北广大的牧区，还存在大面积的缺水草场，迫切需要解决牧区人畜用水。例如内蒙古高原是我国主要牧业基地之一，天然牧场的面积达 12 亿亩；但其中缺水草场占 2 亿亩，供水不足的草场 3.5 亿亩，还有近 3 亿亩的荒草原。近年来牧业打井队打了大量机电井，扩大了草地的利用率，牧区供水情况有较大改善；但从全国来看，仍有不少严重缺水草场，人畜用水问题亟待解决。

南方广大农村，大部分利用沟渠或堰塘作为生活饮用水源。近一二十年来，由于田间大量使用农药化肥，使堰塘、沟渠水质受到严重污染；又因缺乏卫生管理，有害细菌含量远远超标，极易传染疾病。近年来江、浙等省，

大力有计划地改用井水或简易自来水，代替堰塘作为饮用水源，大大改进了农村饮用水的卫生条件。但从全国广大农村来说，要全面改善农村的饮用水，仍然是一项长期的、繁重而艰巨的任务。

六、关于远距离跨流域调水

由于水资源分布的不平衡，特别是南、北之间的巨大差异，如何进行合理调剂，缓和北方地区，特别是华北地区水资源供需之间的矛盾，已成为众所关注的议论问题。当前正在规划、研究的重大引水方案，有从长江调水的南水北调工程，有从松花江调水的东北北水南调工程，有从黄河引水的引黄济晋、引黄济冀济津等工程，以及新疆额尔齐斯河的北水南调工程等。不久前所完成的天津引滦工程，兰州附近的引大（大通河）济秦工程等，都已取得成功。此外，淮河下游每年已引用长江水 100 亿 m^3 左右，淮河及海河两流域，每年沿黄河引水约 80 亿 m^3 ，也收到较好效果。

但值得令人担忧的是，由于缺乏全面规划与整体改虑，无限制的大量引水，也造成一些严重后果，黄河就是一个突出例子。黄河中上游由于沿河各省的大量引水、调水，已使黄河下游发生断流之虞。事实上 1995 年从 3 月 4 日至 7 月 13 日，黄河下游已断流 110 天，断流河道上延至河南封丘县，长约 600 公里。1996 年的情况可能更为严重。据统计 1995 年由于断流所造成的经济损失就达 60 亿元。如果上述各项引黄工程一一实现，那么黄河势将蜕变成为一条内陆河，其后果不堪设想。类似的情况也发生在青海的大通河（黄河二级支流），该流域除已完成上述“引大入秦”的工程外，近年来甘、青两省又分别提出“引大济黑（黑河）”、“引大济西（西大河）”、“引大济湟（湟水）”、“引大济青（青海湖）”等调水方案，计划调出的总水量达 25-28 亿 m^3 /年，相当于大通河年均总径流量。如果上述各调水方案实现，那么大通河就将地图上消失，而且将严重影响黄河兰州以上的来水量。

在上述各调水方案中，尤以引用长江的南水北调工程规模最大，调水距离也最远。该工程包括东线、中线和西线三个方案，除东线方案已部分施工外，中线及西线方案工程十分艰巨，而且存在许多复杂的工程技术问题，尚需进行深入的可行性论证。远距离调水成本很高，需要国家投入巨大的投资，而且非短时期内可完成。因此对于重大的调水工程，必须采取积极慎重的方针，认真做好可行性论证与规划、设计等前期工作，使宏观决策有充分可靠的依据，工程技术方案有牢固的科学基础，经济上合理可行。国民经济建设必须首先与资源、环境和国家的经济实力相适应，使经济发展走向良性循环。就当前而言，工农业建设仍应立足于充分开发利用本地区的水资源，加强节水意识，提高水的利用效率，防止生态环境恶化，依靠科技进步，建立节水型社会体系，才是缓解水资源供需矛盾的正确途径。

除此以外，还要在节约用水和提高水资源的利用效率方面下功夫。例如我国生活用水的浪费现象还很普遍，工业用水的利用率还很低。国外先进国家工业用水早已采取循环用水的措施，重复利用率达到 70-90%左右，而我国多数城市，还停留在 20-50%的水平上，所以还有很大潜力。近年来我国不少利用地下水的工厂企业，实行冷却用水回灌再利用；在水价政策上，对回灌用水采取不收或少收水费的鼓励措施，取得良好效果。

由于工艺技术落后，在工业用水定额方面，与国外先进水平比较，也存

在较大差距。例如国外一吨钢，耗水量为 4 - 10m³，而国内则高达 30-80m³，相差近 10 倍。国外火电厂每度电为 3 升水，而国内为 10 升水，也相差 3 倍之多。因此如果狠抓技术进步，改进流程工艺，实际耗水量必然大大降低。

七、结束语

综上所述，根据我国水资源分布不均和季节变化、年际变化大的特点，必须按照水资源的不同条件与不同用途，因地制宜地合理开发利用。在农业方面，实行科学用水，合理灌溉。根据北方水资源不足，而地下水比较丰富的特点，要重点开发利用地下水，并与地表水互相调剂，综合利用。推广商丘合理调控水位、对地下水进行人工调蓄，实行以丰补歉、扩大水资源的经验。地下水的开发利用，还必须与旱、涝、盐等自然灾害的综合治理相结合；改造利用咸水微咸水资源，严格防止由于大水漫灌，造成土壤次生盐渍化。西北干旱地区山区河流的径流量，基本代表全流域的总水资源。因此要统筹安排，上下游合理分配；充分利用地表水、地下水的相互转化的特点，在不同地段进行重复利用；防止因片面追求提高地表水的利用率，而破坏当地的生态平衡。

在城市和工业用水方面，要实行科学管理，全面规划。举凡地表水与地下水、局部地区与相邻地区、上游与下游，以及城市用水与工农业用水等，都要作为一个整体全面考虑，合理调配。城市规划与工业布局，必须充分考虑水资源条件，即城市人口的增长与工业发展，应与水资源条件相适应。华北平原地下水资源，对城市用水及工业用水具有特别重要地位，要合理控制开采量。大城市应在查明水资源的基础上，选择在较大范围内建立分散性供水系统，防止水源地过度集中。加强水资源的保护，防止水质污染；充分挖掘水资源潜力，提高水资源的利用效率，包括采取各种技术措施，提高重复利用率，降低工业用水定额，实行废水净化再利用；节约生活用水，防止浪费，逐步建立科学的节水型社会生产体系。

化学定时炸弹与可持续发展

谢学锦

地矿部地球物理地球化学勘查研究所

谢学锦 勘查地球化学家。1923年5月生，上海人。1947年毕业于重庆大学化学系。1980年当选为中国科学院院士（学部委员）。地质矿产部地球物理地球化学勘查研究所研究员、名誉所长。50年代对矿床原生晕进行了开拓性研究。60年代开始研究地球化学填图的理论与方法。长期致力于全球大陆环境地球化学监控的研究。

自从青铜时代，人类就开始向自然界投放各种化学物质。但剧烈的大规模的投放量是从工业化时代开始的。采矿、冶炼、各种大工业、农业及城市生活都向自然界投放大量污染物。尽管科学家在科学论文中不断发出警告，但要等待“寂静的春天”（The Silent Spring）出版之后，公众社会才逐渐认识到人类对自然界的污染已严重影响到动植物及人类的生活环境。在一些发达国家，如北美与西欧的国家，已采取有力措施，大大降低人类活动向自然界投入的污染物数量，使空气和水的清洁度有了显著的改善。在很长一段时期，公众社会和科学界都认为这种作法继续下去就可以完全解决环境污染问题，其实不然。因为北美与西欧经过200余年剧烈的工业化及农业活动，在广大面积的土壤中已累积了大量有害物质，有很多地区，利用现在的技术与财力已无法使之再清洁。另外，由于一般认为土壤是藏垢纳污的无底洞，从而在努力减少有害物质向空气及水中排放的同时，正更大规模地将有害物质投入土壤，而没有认识到土壤不是藏垢纳污的无底洞，它对有害物质只有一定的承受能力。在承受能力限度之内可以将有害物质固定使之无害，超过这个限度，它会大量把承受的有害物质“呕吐”出来，造成巨大的无可挽救的危害。

1978年荷兰Ir.F.A.M.De Hann提出“化学定时炸弹”这一术语以描述荷兰施肥过度的砂质土中磷酸盐过度聚集给未来造成的危害。

1988年奥地利的W.M.Stagliani重新使用这个有点“危言耸听”的术语，以促使公众社会警觉，并给它以明确的定义：

“化学定时炸弹（Chemical Time Bomb 简称CTB）的概念涉及一连串事件，导致在土壤及沉积物中储存的化学物质由于环境的缓慢改变而活动化，从而发生延缓而突发的有害效应”。

化学定时炸弹包括两个发展阶段：（1）有害物质的累积或“引爆”阶段。对于有一定承受能力的土壤，这一阶段往往会经历数十年甚至数百年，这既取决于土壤的承受能力，也取决于有害物质持续的投入量；（2）爆炸阶段。往往在数年之内造成突发性灾难，而且再难以挽救。

化学物质的累积与延缓效应大致可以分为两种类型。一种类型是在化学物质投入土壤的早期，大部分化学物质将被土壤吸附、吸收与固定化，只有一小部分被释放在土壤溶液中。而当土壤中化学物质接近饱和之际，只要再增加少量投入，也会导致大量有害化学物质的释放。第二种类型是土壤承受能力受外界影响发生了变化，例如气候的改变，更重要的是对土地利用方式的改变，使承受能力降低，这就导致化学定时炸弹提前引爆。

因而化学定时炸弹的“爆炸”取决于三个因素：土壤的脆弱度或承受能力；化学物质在土壤中的投入量以及土地利用政策与实施。

由此可见这一新概念是处于环境科学与政策制定的界面上。它是人类当前努力使人与自然协调的可持续发展中最后才被认识到的，但是决不容忽视的重要环节。

化学定时炸弹按其规模可分为局部的，如大规模废矿渣、垃圾及其它工业废物堆放处，景观的，如草场、农田、森林及流域，国家性的、洲的或全球性的。

人们发现化学定时炸弹的危害是从比较小规模的化学定时炸弹爆发开始的。如果不采取有力措施任其发展至国家、洲甚至全球性规模，则整个人类生存将受到威胁。

例如美国纽约州的 Big Moose 湖，它位于美国西部高度工业化地区的下风方向。燃煤放出的 SO_2 ，从 1880 年开始上升至 1920 年达到高峰。以后一直维持平稳，没有再升高。而湖水中的 pH 值从 1760 年至 1950 年一直无变化。即在大规模工业化开始后 70 年内，在 SO_2 释放量达于高峰中 30 年一直无变化。但到 1950 年 pH 值开始急剧下降，首先是湖中鲈鱼及白鱼的消灭，然后是鲤鱼，最后是鱒鱼的完全消灭。这说明 Big Moose 湖四周的土壤在 70 年内一直承受 SO_2 的投入。而当土壤承受能力达于极限之时，土壤 pH 值就急剧下降，导致 Big Moose 湖水中 pH 值在不到 10 年之内由 pH5.6-5.7 降至 5.0 以下，因而产生突发的鱼类完全死亡的效应。

这只是涉及一个较局部流域的例子。80 年代早期，波兰、捷克及东德边界森林的大面积死亡是这种类型化学定时炸弹更大规模爆发的实例。由于 200 年工业化，酸性物质在土壤中大量累积，尽管这里土壤有很强的承受能力，但经过 200 年已达于极限，致使土壤 pH 值突然降至 4.2 以下，土壤中大量 A1 活动化，导致了这场突发性灾难。

过去多年农药及工业污染使瑞典的大片森林土壤中 Hg 及更毒性的甲基汞含量甚高。由于采取有力措施，1970 年以后进入土壤中的 Hg 量已大大减少。而原已储存在土壤中的甲基汞绝大部分被森林土中富含的有机物质所固定，只有 0.2% - 2% 进入瑞典的约 1 万个湖中。但如果今后瑞典的气候变暖，加速有机物的降解，则大量甲基汞将有可能进入湖中，造成比日本熊本县更加严重的水俣病事件。这是第二种类型的潜在的有可能由于环境变化提前引爆的化学定时炸弹的实例。

西欧大规模工业化的结果，已使大面积土地的农作物减产，并使农作物中所含化学物质超过世界卫生组织标准。1991 年欧共体的 McSharry 计划准备到 2020 年共废弃 850 万亩耕地进行植树造林（占欧共体耕地总面积的 15%）。但这种土地利用政策的改变将导致这些原耕地土壤的迅速酸化。如果原耕地中已积累了大量重金属、农药及肥料，在土壤原 pH 较高的情况下还可以被留住，则当土地利用政策改变，pH 急剧下降的情况下，就会提前大量释放。这是由于土地利用政策改变可能引发化学定时炸弹提前爆发的例子。有了化学定时炸弹的概念，McSharry 计划的实施将会更加谨慎，并采取相应措施，以避免这类事件的发生。

欧洲及北美这些发达国家直到 90 年代才开始逐渐认识到经过 200 余年剧烈的工业化与农业活动，已形成大量污染地点，它们的面积如此之大，利用

现有技术与财力已无法使之再清洁，因而正在进行大量研究工作。试图建立长期的监测系统以便对化学定时炸弹的发展进行预测，并且设法使大片已累积大量化学物质的土地保持现状，不使之因环境及土地利用之改变使情况提前恶化，另一方面则在发展地球化学与生物地球化学工程方法，在不影响生态的情况下，使土壤缓慢地得到改善。

地球化学工程（Geochemical engineering）一词是 Salomons 与 Forstner 1988 年提出的。它的要点是模拟自然界的各种地球化学过程，特别是自然界的各种自洁净过程就地取材以改善人类生存环境。看来它有着广阔的发展前景。因为面对已被工业化严重污染的地球，要用人类社会能够承受的代价进行治理，它也许是最为可行的一条途径，尽管它很不成熟，还处于发展的初期。

以 McSharry 计划为例。如果莱茵河两岸许多农田都转变为森林，并停止加入石灰，也许在一二十年内土壤 pH 将从 6.0 降至 4.0，这样土壤中多年累积的有害物质，例如 Cd，将大量释放入地下水中严重影响饮用水的质量。表 1 列出了在莱茵河流域土壤中 40% Cd 被释放出来在不同 pH 条件下所需的时间。

莱茵河流域土壤中 Cd 被释放出来在不同 pH 条件下所需的时间

土壤 pH	每年淋出速率	40 % Cd 被释放所需时间（年）
6.0	0.14 %	365
5.5	0.3 %	170
5.0	0.6 %	85
4.5	1.4 %	36
4.0	2.9 %	17

如果在耕地转化为森林过程中仍旧向土壤中加入块状石灰，使土壤 pH 维持在 5.0 左右，则释放入地下水中的 Cd 的量不致影响饮水的质量，而且经过 85 年，土壤中有害物质 40% 被移除，质量可得到很大改善。由此可见地球化学工程可以有意识地调节自然界土壤自洁净过程，而又不致对生态产生严重影响。

再举一些地球化学工程的实例：

工厂排出的硫酸废液，如用石灰中和将会产生大量石膏堆积，难以处理。一个办法是将硫酸废液注入地下的灰岩层中。由于石膏体积是灰岩的两倍，故这种作法还可以抬高低地，防止水淹。向地下灰岩层注入硫酸废液，生成的石膏有时会堵塞钻孔。可以先注入盐酸与灰岩生成 CaCl_2 的卤水。再注入废硫酸，排出的盐酸将向前沿扩展，再去溶解灰岩。有了这种地球化学工程的思路，在选择工厂厂址时就要考虑地下地质情况。

在克里米亚，有生产 TiO_2 的大工厂，每年向一个 42km^2 的人造湖中倾入 110万 m^3 的污水。由于气候干燥，蒸发强烈，排出的污水进入湖内已成稀酸，湖水越来越酸，污染物浓度越来越高，经过 28 年操作，湖水中 pH 已降至 0.9。但在周围 300 余个水井中未发现任何污染现象。这是因为湖底有厚层富含碳酸盐的粘土，形成非常有效的“地球化学障”。大量的 V、As 及 Cr 等有害金属皆被截留。这又是说明地球化学工程的很好实例，但它是一种巧合，因为

当初设计者并无这种思想。

港湾淤泥中含高量重金属，但在还原环境中是以不活动的硫化物形式存在。为了疏浚港湾，挖出的淤泥堆在岸上，进入氧化环境，其中重金属硫化物将因氧化而活动化，形成潜在的化学定时炸弹。因而像荷兰与德国已在海底还原环境内建造堆积淤泥的工程。这些工程耗资巨大且容量有限，但自然界却有理想的堆积淤泥的场所，例如黑海，它的底部是最富含硫化物的还原性水体，有着大量细粒硫化物浮悬物。如果将淤泥泵入黑海 200m 以下的深水中，就可使之在若干万年甚至更长的地质时间内处于还原状态，形成人工成因的富含金属的黑色页岩。

地球化学工程利用自然界进行的中和、浓集、稀释、分离、固定化许多过程，避免大量使用工业品，往往就地取材，充分利用自然界各种地球化学障，并根据生态需要，调节过程进行的速度，或使之放慢，或使之加速。它是劳动集约型的工程，成本较需要使用高技术及复杂设备的许多环境工程方法要低得多，对发展中国家特别适用，需加强这方面的研究。

我国属发展中国家，工业化程度和规模远不如北美与欧洲，但我国每年向空气与水中排放的污染量已居世界之冠。用原始的、极落后的工艺进行生产的遍地开花的乡镇企业使地表水的“热点”污染连成一片，甚至蔓延至整个流域，由于气候的周期性变化，而周期性的爆发巨大的灾难。像淮河流域 1994 年发生的那样的大灾难，是西方国家工业化历史上少见的。淮河的灾难已威胁到活着的人的生存，因而已给国家和社会敲响了警钟。如果能真正痛下决心，用关、停、并、转的措施切断那些严重的、易觉察的污染源，并随着时间的推移和自然界的自洁净作用，创伤是可以医治，淮河也可以清洁起来。但是中国还是要发展、要建设，因而不可避免的还要不断向自然界投放化学物质，不能认为使水及空气适当的清洁，环境污染问题就可以解决。由于资金短缺、技术落后，人民对污染的承受能力又远远高于西方国家，中国向自然界投放的化学物质不可能在短期内迅速减少，这些污染物最后大部分进入土壤。故中国（亚洲各国也有类似的情况）在工业化过程中在土壤中累积有害物质的速度肯定会远远超过西欧与北美。如果对化学定时炸弹的概念及其对未来构成的潜在危险缺乏认识，听任有害物质在土壤中逐步大面积大量累积，总有一天中国很大一部分耕地将不适于耕种，中华民族将失去赖以生存的空间，这种灾难当然只可能发生在许多年之后，不会发生在现在活着的一代，更不会发生在现在当政决策者在任期间，但如果现在不提高警觉，持续地采取有预见的措施，则这种灾难将无可挽救。我们应为中华民族及子孙后代着想。

这里第一个应采取的措施是对中国大陆化学物质在土壤中的累积进行全面监控。1992 年在巴西里约热内卢的全球高峰会议上已明确指出为了人类可持续发展，地球系统的所有组成部分（包括大气、海洋、陆地、永冻圈、水圈及生物圈）都必须以全球规模进行监控。已有许多国际组织对全球大气及海洋进行了长期监控工作，但对陆地环境污染变化的监控与预测并未很好的进行。在这方面中国是走在全世界的前面。1992 - 1995 年地矿部地球物理地球化学勘查研究所完成了“中国环境地球化学监控网络”的研究项目，在全国布置了 500 余个采样点，采集泛滥平原沉积物，并分析其中 51 种元素的含量。根据这些结果制作出的地球化学图与地矿部已进行了 18 年的区域化探全国扫面计划，根据数以百万计的水系沉积物样品分析结果所制作的地球化学

图在宏观上惊人的相似。这一研究项目在每一采样点上采集一个地表 5 - 25 公分，一个 80 - 100 公分深处的样品，以比较现在与中国大规模工业化前土壤中各种金属累积变化的情况。

中国东部 S 含量在地表比代表工业化前的深部样品已显著增高。中国每年烧煤 12 亿吨，每年由于烧煤及其它原因进入空气的 SO_2 达到 2000 万吨以上。这是造成东部地表 S 增高的主要原因。从 1982 到 1992 年 10 年内酸雨的范围扩大了 100 万 km^2 而土壤 pH 值为 5.0 的范围仅是酸雨 pH 为 5.6 范围的 1/3。说明土壤有着一定承受能力以阻止酸化。不容乐观的是从广东到福建沿海是酸雨最严重，而又是 CaO 含量最低， Al_2O_3 含量最高的脆弱带。故从地球化学监控图上可预示今后有可能发生 Al_2O_3 及其它有害金属大规模活动化的灾难，必须继续密切监控，加强研究，寻觅对策。目前我正与中国科学院生态环境研究中心徐晓白院士合作，准备利用这些样品再分析一些金属的各种活动态及 DDT、666 的含量。整个这项工作包括采样与分析，如果每 10 年重复一次，便可获得中国全境环境变化的连续记录，能对大规模化学定时炸弹的发生不断作出预警，供决策者制定相应的对策。

总之，如果忽视化学定时炸弹问题，可持续发展几乎是不可能的。我国应以欧洲及北美为借鉴，不要再走他们先发展再治理的老路。人口众多，相对贫穷的中国也走不起这样的老路，如果从现在起就制定出有长远眼光的政策，花费相对来说较少的经费，对我国陆地进行持续的监控，对中国的化学定时炸弹各方面的问题进行深入研究，并发展地球化学工程方法，以避免未来出现无可挽救的灾难，则中国幸甚，子孙幸甚。

我国油气资源及石油地质和油气勘探的几问题

翟光明

中国石油天然气总公司

翟光明 石油地质勘探专家。1926年10月1日生于湖北宜昌。1950年毕业于北京大学。历任甘肃玉门石油管理局地质室主任、总地质师，石油工业部地质勘探司主任地质师、总地质师、石油勘探司司长兼总地质师，石油天然气总公司石油勘探开发科学研究所所长。先后任中国石油地质学会主任，环太平洋矿产和能源理事会常务理事，世界石油大会中国组委会秘书长。1995年当选为中国工程院院士。主要从事石油地质勘探工作。

我国是一个油气资源非常丰富的国家，共有大小沉积盆地500多个，沉积岩面积670多万 KM^2 。其中面积大于200 KM^2 、沉积岩厚度大于1000M的中、新生代盆地共有424个，面积约527万 KM^2 。根据二次资源评价结果，在150个盆地、618个区带、7792个圈闭中，共有石油资源量940亿，其中陆上694亿T，海域246亿T；天然气资源量38万亿 M^3 （包括煤成气16万亿 M^3 ），其中陆上近30万亿 M^3 ，海域8万亿 M^3 。

从50年代以来的40多年勘探中，开展勘探的盆地有82个，范围达320万 KM^2 。截至1995年底，共完成二维地震剖面265.4万 KM^2 ，三维地震面积5.84万 KM^2 ，重磁力工作54万 KM^2 ，共打探井33076口，探井总进尺6982万M。

目前总的勘探形势很好，东部持续发展，西部不断取得实际突破。

下面将重点讲我国石油地质及油气勘探的几个问题。

一、油气资源分布特点

我国油气资源在时空分布上具有几个明显的特点，表现在下列几方面。

1. 资源量主要集中在沉积面积大的盆地内，资源量与面积成正相关关系。在150个盆地中面积大于1万 KM^2 的盆地有59个，它们占石油总资源的91%，天然气资源的96%。

2. 油气资源主要集中在华北、西北和东北等地区。它们分别占油和气总资源量的74%和80%。

3. 石油资源量主要分布在中、新生界地层，约760亿T，占总资源量的80%以上，天然气资源量主要分布在古生界地层，约20亿 M^3 ，约占总资源量的一半以上。

4. 油气资源量主要分布在埋深小于3500M的范围。约450亿T，占总资源量的70%，但是深于3500M的资源量尚有205亿T，仍有较大的潜力。

5. 目前油气资源量的探明程度很低，在老区的渤海湾盆地，资源量188亿T，仅找出72亿T，松辽盆地129亿T只探明55亿T，而新区则仅仅是个开始。

二、油气田具有地质背景复杂的特殊条件，必须树立长期勘探的信念

尽管我国油气资源丰富，具有很大的勘探潜力，但地质条件较为复杂。在东部地区，除大庆油田外，其它多为断陷盆地，由它们共同形成各种各样的复式油气区。针对这些复杂的地质条件，经过 30 多年的探索和勘探经验，逐步找到了一些规律，取得了很大的成果。在渤海湾盆地先后发现了大港、冀东、胜利、华北、中原和辽河油气田，形成了继大庆油田后的又一个规模很大的油气区，这不仅体现在该区年产油量达到 6000 万 T，而且在地质上也取得在断陷盆地找油的新突破，丰富了石油地质理论。认识和总结这些规律，可以为今后油气勘探提供宝贵的经验。

1. 我国具有广阔的油气勘探领域

近年来的油气勘探成果表明，我国具有广阔的油气勘探新领域，这从新区、新领域和新层系的研究和勘探成果中已经提供了证据。不同地区有不同的油气特点，也就对应有不同的勘探措施。无论在新区，还是老区，只要开阔思路，从各含油气盆地的实际出发，采用新技术、新方法，就一定能取得勘探上的重大突破。这些领域表现在以下几个方面：

(1) 东部已开发层系的深层是广阔的勘探领域，渤海湾盆地的深层下第三系沙河街组三段和四段既是生油层又是储油层，不缺乏盖层条件，特别是在沙四段顶部有一厚层膏盐层和泥岩互层 200 - 400M，是油气聚集的有利圈闭，被认为是非常有利的含油层位，具有很大的勘探潜力。

(2) 西北侏罗系是我国含油气区内第三系、白垩系含油气层外最有潜力的目的层。从贺兰山 - 六盘山以西横跨五省区境内，大于 1000KM² 的沉积盆地共有 65 个，沉积岩总面积 134 万 KM²，自吐哈盆地第一口科学探索井在中侏罗系三间房组和七克台组获得工业性油流后，准噶尔盆地、塔里木盆地以及新钻的三塘湖盆地等都相继发现了工业性油气流。根据第二次资源评价，侏罗系的资源量油为 110 亿 T，天然气为 2 万亿 M³，具有坚实的资源基础。可以按生储、构造等条件，通过分类排队，有计划有步骤地展开勘探工作，一定会取得很好的成果。

(3) 开展前陆盆地的勘探和研究，力求有新的突破。

我国的前陆盆地很多，受勘探手段的限制，以往对其认识不够，而实际上前陆盆地是一种很重要的油气场所，具有很大的勘探潜力。如库车、昆仑山前缘、天山南北前缘、博格达山前缘、贺兰山 - 六盘山前缘等都是非常有希望、有前景的有利地区。

(4) 煤和煤系地层生油气的理论将会进一步扩展我国的含油气领域。

自 1989 年吐哈盆地的台参 1 井、鄂尔多斯盆地的陕参 1 井相继在侏罗系和奥陶系地层喷出工业性油气流后，煤和煤系地层生成油气的可能性已在我国得到充分的研究。我国煤的资源量非常丰富，从现有资料和研究成果表明，镜质组反射率 R_0 为 0.4 - 0.8，即褐煤 - 肥煤阶，平均每吨煤生成石油 150KG，焦煤 - 瘦煤阶， R_0 为 1.6 - 2.0，平均每吨煤生成石油 70KG。同样，生成天然气的数量也很可观。我国西部诸盆地、鄂尔多斯盆地、大华北盆地、四川盆地以及东北盆地 40 多个中生代沉积盆地，不仅有侏罗系，而且有第三系煤系地层，具有广阔的找油前景。

(5) 低熟油的新认识出现后，为我国在东部浅层找油提供了新领域。

自渤海湾地区、苏北、东北以至新疆地区发现 R_0 值小于 0.5 以下的油气

资源后，低熟油的研究在我国广泛展开，取得勘探上的新突破，特别是我国东部浅层，构造大，幅度小，储层物性好，过去除在潜山顶浅层披复构造上获得很好的成果外，大面积的勘探工作并不多，因此，会有较好的勘探前景。

(6) 含油气层井段长，多套生储油层的组合是我国含油气区的一个重要特点。

我国无论在东部，还是西部地区，都有由于多套生储油层，形成含油气层井段长的情况，比如，渤海湾盆地，不同地区都有 2 - 3 套生油层组合，加上断层的活动，使油气重新运移和聚集的条件增多，含油气井段长达 2000M，有时甚至长达 3000M；西部塔里木盆地则具有多生油、多储油层、多期构造，这种类型的含油气区，决不能仅有单一的目的层，也不能限于一种油气藏圈闭，而应从综合分析入手。

(7) 海相碳酸盐岩原生油气藏是我国长远的勘探战略目标。

自中晚古生代以来，我国大部分为海相沉积，由于受多次构造运动的影响，各地区活动强烈程度不一，但总的看来，北部的海相沉积条件较好，从目前已有的条件分析，应集中在塔里木地区、华北地区和中下扬子地区为主要研究和勘探对象，当然突破海相沉积找油不很容易，但我认为只要有信心，坚持开展工作，就一定能够找到原生油藏。

2. 建立正确的勘探原则，始终不懈地在老油区或新盆地展开工作

30 多年在渤海湾地区的勘探实践充分表明，我国东部地区地质条件相当复杂，对它的客观认识，要经过长期性的多次反复。如果将渤海湾地区与大庆油田对比，30 多年来，在该区投入的勘探工作远远多于大庆。但是，其原油年产量仅比大庆多 410 万 T，这也是从一个侧面反映了渤海湾地区地质条件的复杂性。那么，西部地区的地质条件如何呢？由于近几年加速了对西部地区的油气勘探步伐，也取得了较好的结果，如塔里木盆地找到了塔中和塔北两个新的含油气区，展开了在我国最大沉积盆地的勘探序幕，至 1995 年底共发现油田 10 个，油气田 8 个，累计探明石油地质储量 2.5 亿 T，探明天然气储量 1350 亿 M^3 ，同时还有 20 个构造获工业油气流；准噶尔盆地除继续在克拉玛依油田上有新的发现外，在盆地中东部也发现了有利的含油气区，勘探前景很好；吐哈盆地自台参 1 井突破侏罗系地层出油后，勘探开发形势很好，这不仅提高了对吐哈盆地本身的评价，而且对我国贺兰山 - 六盘山以西 200 多万 KM^2 沉积盆地内的侏罗系地层也有了一个正确的评价和认识。此外，还在三塘湖等盆地侏罗系地层中得到了工业性油气田，西部各盆地的勘探工作正在顺利进行。但从这些年来的勘探情况看，西部地质条件也较为复杂。对每个含油气盆地或油气田的认识也要经过长期的探索。比如在塔里木盆地还没有找到同盆地规模相称的，人们所期望的大油田；而准噶尔盆地，克拉玛依油田是 50 年代在我国西部发现的最大油田，后来由于勘探工作一直集中在盆地西北缘进行，对盆地东部和腹部研究较少，加上地形和地质条件的复杂性，长期没能取得较大突破，近年来，随着勘探技术和油气理论水平的提高，应用新理论、新技术，使得在东部和腹部的油气勘探有了重大进展，发现了彩南、石西、呼图壁等重要油气田。塔里木盆地的油气勘探也说明了该盆地地质条件的复杂性，要准确认识其客观实际，必须经过一定时期的勘探实践。这就要求我们从战略上树立勘探信心，战术上寻求更为符合实际的有效措施。

前已述及，我国具有相当丰富的油气资源，在全国 940 亿 T 石油总资源

中，目前已探明、控制和预测的石油储量 200 亿 T，约占总资源量的 20%，找到的天然气储量仅为总资源量的 3%。经过多种方法的综合评价和分析，还有很大的潜在资源。许多新区、新领域、新层系有待于开展工作。因此，无论老油区还是新盆地都是大有可为的。在具体实施过程中，必须遵循下列几方面原则。

(1) 一个盆地区，通过先期的初步工作，认为它具备油气聚集所必须的生储盖层的基本地质条件，就应进一步加强综合研究和分析，在此基础上进行实际勘探，这时则要严格按勘探程序坚持下去，不能因为某些地区或某一口井的失败而丧失信心。特别是对于复杂含油气盆地来说，一次或某一个局部地区的失败并不能代表全区的情况，必须在科学研究的基础上开展工作，才会取得良好效果。

(2) 石油勘探工作应遵循“从最好处设想，从最坏处准备”的原则，比如，在一个地区，根据勘探初期的设想，应找到高产油田或大油田，但通过具体实施后，开始只抓到中小油田或一些油气苗，这时就不能轻易放过，经过进一步的综合分析后便可能追踪到大油气田，这在我国勘探史上不乏其例。

(3) 对于复杂地质条件的油气田来说，即使在地面上应用多种先进的勘探手段也不能搞得很清楚，甚至出现相反情况，比如原设想某一层为主要勘探目的层，而在该层恰恰没有得手，而在另外的层次却获得工业性油流；原设想在浅层就能找到，实际结果是在很深的层位才获得；原设想是构造圈闭，而实际是地层或构造岩性圈闭。还有像油田规模、工程地质条件等都会与设想的有很大出入，这些情况在勘探某一地区时可能会经常遇到，因此，应该立足于多种设想，在勘探过程中有足够的思想准备，加强分析和研究，不漏过任何有工业价值的油气层。

三、注意盆地或含油气区的区域地质和区域构造条件的整体研究

由世界范围和我国油气地质勘探的实践普遍表明，任何一个含油气盆地或油气田的形成或保存都不是孤立的，而是受区域地质和区域构造条件的控制，从油气生成、运移到富集成藏无不与周围地质背景和构造演化有关，包括周边构造条件、沉积条件等，其中有些影响是直接的，有些影响是间接的。因此，无论在油气田研究，还是实际勘探过程中，区域地质背景和构造演化都是首先应该考虑的。也只有这样，才能随时站在全局的高度，去分析、去研究某些局部地带的油气形成条件，得出较为符合实际的正确结论。

1. 区域地质背景是油气藏形成的重要基础

从盆地整体出发，有效开展油气勘探，取得重大突破的实例在国内外都有。比如中东油田，这是世界上油气资源最丰富的地区，伊朗的扎格罗斯山前陆盆地向西经科威特、伊拉克、沙特阿拉伯等阿拉伯地台区，再向西经沙特阿拉伯地台区至阿拉伯地盾，总面积约有 360 万 KM^2 ，这是一个统一的完整的有序的大含油气区，从地质构造上来看它是由东向西从前陆盆地的洼陷区到陆台边缘过渡区，到稳定陆台区直到向西抬起的阿拉伯地盾的前震旦系地层，从油气赋存的地质时代来看，是新生代-中生代-晚古生代-早古生代；从储层条件来看，是砂岩-白云岩-砂岩。而过去的勘探首先是从前陆盆地进行，这是由于地面露头构造成排成带的分布，并有油气苗出现，从 19 世纪 80 年

代开始石油勘探一直未获成功，因为上下构造不符合，在地面露头为构造高点，而在地下却常打到向斜部位，由于当时的技术手段不可能把地下构造搞清楚，直到 20 世纪初期有了地震工作，加上重力勘探和钻探工作才逐步搞清。随后每搞一个构造就获得一个高产油田，从而掀开中东地区大规模的油气勘探，先是在伊朗前陆盆地第三系找到高产大油田，进而在伊拉克、科威特发现白垩系大油田，特别是在科威特发现了布尔干-玛格瓦世界第二号大油田，这个大油田就有 100 亿 T 的可采储量。紧接着沙特阿拉伯在侏罗系地层中发现世界第一号格瓦尔大油田，这个油田的可采储量竟达到 200 多亿 T，近十几年来沙特阿拉伯的油气勘探向西延伸，在三迭系、志留系、奥陶系以及寒武系相继发现有工业价值的油气流，这一发现开阔了地质家的眼界，说明中东油区不是一个孤立油田的出现，而是有着内在的地质规律值得研究和探讨，特别是和全盆地的地质构造、沉积条件、烃演化史有着密切的联系。当然这种规律的认识是在进行大量勘探工作之后，不可能在中东油区发现以前就知道。但是，反过来我们也可以认识到任何一个沉积盆地和油区都会按照各自构造和沉积背景有着各自的油气分布规律，而且可以借鉴不同的沉积盆地形成的油气藏模式来研究未知地区，这样有助于一个地区的勘探进展，尽快地在新地区发现油气田，这是避免少走弯路的有效方法。

再如我国东部渤海地区东营凹陷的情况。东营凹陷虽然是一个断陷，而且是一个单断型的凹陷，但构造格局和油气分布有密切的关系，北部凹陷有油田 3 个，但有储量 5.37 亿 T，累计产油 1.5 亿 T，南斜坡有油田 15 个，其储量与北部相近，但产油量只有 0.56 亿 T。由此看出，单断型的凹陷有一个普遍的规律，就是深凹陷的一侧是油气生成和聚集的有利地区，随着构造格局和沉积条件的不同，油气分布也具有一定的规律性，这不仅在东营凹陷如此，渤海湾盆地几十个次一级凹陷都有一定的规律可寻。

上述两个实例可以看出，任何一个油气田的出现，都不是一个孤立的事件，都有其内在的控制因素以及各种地质条件相依存的关系，反之，可根据不同类型沉积盆地，综合分析其构造格局、沉积条件和烃源岩的相互关系，形成几种可能的油气藏模式，按照这些和成熟勘探的经验，选择相对有利的地区进行整体布置，有序地进行勘探是会见到成效的。

比如在我国南方，可以从整体出发进行分析。从江南古陆雪峰隆起向北，西至鄂西复式背斜带和向斜带，经过川东高陡构造背斜带，至川中地区，一直到龙门山前前陆盆地，这个范围约 50 万 KM^2 ，孕育着自早古生代、晚古生代、中生代至新生代地层，是一套完整的沉积序列，油气显示也是自东向西，自老而新有规律的分布，震旦系到三迭系地层是一套海相沉积，侏罗系到第三系地层是陆相沉积，都有着各自独特的油气分布特点。做整体布置，避免从单个地区和局部构造入手，将会比较快地揭开海相沉积的勘探序幕。

2. 构造演化对油气藏形成具有重要的控制作用

油气从生成、聚集、保存、破坏再聚集等一系列过程无不处于构造运动之中，而其根源就是构造演化，它伴随着油气藏形成的自始至终。要研究一个地区的油气聚集规律，必须深入研究该区的构造发展史及其对油气的控制关系。一方面，只有搞清盆地的性质和构造发展史，才能掌握油气藏形成的地质基础，了解油气藏的发生和发展过程；另一方面，从盆地整体出发，可以认识不同地区、不同时代地层整个盆地中所处的位置及其与周边条件的制约关系，以免长期局限于某一个局部油藏，推迟大油气田的发现时间。比如，

塔里木地台盆地区（塔中隆起）的地质发展史上有两个重要的地质事件，一是在晚加里东末期，造成志留纪以前的地层抬升和褶皱，奥陶纪地层形成大面积微弱隆起，这不仅在塔中地区，同时与轮南隆起遥遥相对；二是海西期，在塔中地区形成一个很大的构造，它并不是一个凸起，石炭系地层广泛覆盖其上，实质上是一个大封存箱。其中孕育着很丰富的地质构造现象，如多期的不整合、超复、地层的上倾尖灭等，这都可能为后期形成油气藏的有利场所。塔中地区寒武系-奥陶系的大隆起，同轮南隆起之间在地质构造历史上恰似一个翘翘板，这对油气的运移和聚集十分有利。塔中地区这两大地质事件，同鄂尔多斯盆地很相似。鄂尔多斯盆地也是在加里东运动末期有微弱隆起，它和其东部的广大斜坡带也形成一个翘翘板，而现今的构造实际上是一个大鼻状构造，东部有盐层遮挡。成为中国最大的气田。

塔里木盆地塔中地区海西期以后一直在抬升，是一个继承性大构造，在上面形成了很多圈闭类型，在塔中 4 构造周围形成了多种油气藏类型，除构造油气藏之外，还有不整合、地层超覆、地层圈闭、生物灰岩、侵蚀面、底水等油气藏，形成一个复式油气区，所以，不是一个单一的油气藏模式，而是各种油气藏类型的组合。在石炭系下面，地质情况丰富多彩，要寻找大油气田，塔中隆起区就是大油气田存在的地方，寻找各种类型的圈闭，把这个地区作为一个复式油气区整体分析和认识，进行整体勘探更为现实。塔参 1 井就是基于上述观点布置的。

在着手盆地整体研究时，应充分利用一些全局性资料进行宏观分析，如控制全盆地的区域性大剖面、重磁资料、参数井资料等；也可以从局部油气藏的深入解剖入手，反过来推断全盆地的油气赋存格局和演化史。对于一个盆地，通过先期的整体性研究，确定出一些重点目标作为初期勘探区，在这些区内经过一定时期的勘探开发工作、积累大量资料后，再对它们进行精细的综合研究，反过来重新认识全盆地的油气地质条件。这样，也就有希望在盆地其它地区找到更大的油田，这种情况在我国更为常见，如准噶尔盆地。

四、开展以生油为中心的含油气系统的综合研究工作

形成一个油气藏受许多因素控制，特别是生、储、盖、圈、保以及它们之间的匹配关系是缺一不可的，彼此相互联系形成一个含油气系统。因此，在任何时候都必须全面分析、逐一研究，才能获得成功；否则，就会失败；其中最重要的因素则是生油能力，这是能否找到油气的关键。

一个盆地内有时为一个油气系统，更多的情况下有几个油气系统，这种多系统的叠加，常常造成纵向上的油层多，横向上的油藏类型多，形成丰富多彩的复式油气聚集区。在研究过程中，首先应该采用系统的观点，充分借助多学科综合分析、综合研究，确保每个勘探项目、每口探井都有充分的科学依据。而另一方面，将勘探工作建立在扎扎实实科学研究基础上的同时，还要敢于冒风险。即就是通过对石油地质生、储、盖、圈、保、演化配套等每一个条件作深入细致的综合研究后，坚信其结论的正确性，这时，就应果断地布置勘探措施；否则就会错过良好机会。其中切记不能单纯以某一个条件的好坏去下结论。比如前已述及的塔中地区，早古生代有巨厚的寒武系、奥陶系海相灰岩，它们具有很强的生油潜力，由于受多次构造运动作用的影响，中奥陶系灰岩中产生了许多不规则的裂缝或溶蚀孔洞，在奥陶系顶面受

到风化侵蚀，具有一定的储油气能力，奥陶系内幕灰岩本身又具有许多致密的泥灰夹层可以形成良好的盖层，海西运动使得该区下古生界地层表现为一个规模巨大的构造隆起，当然与此同时也产生一系列较大规模的断裂构造，在其之后，又普遍沉积了一套石炭系砂泥岩地层，接着又接受了以后的历次构造运动，使石炭系中的构造成为人们进行油气勘探的主要目标。但是，从上述分析可以看出，如果从含油气系统的角度来说，下古生界地层更应成为有利的勘探对象，但长期以来没有受到应有的重视。实际上，塔里木盆地经过近 10 年来的勘探会战，至今还没有取得令人非常满意的成果，一方面，与其勘探时间较短、投入工作量不够有关，比如，目前塔里木投入的勘探工作量与渤海湾盆地相比是很小的，至 1995 年底，渤海湾盆地已完成二维地震测线 63 万 km，而塔里木盆地只完成了 18 万 km，渤海湾盆地累计完成探井 11500 口，钻井进尺 3087 多万 m，而塔里木盆地总共只打了 391 口探井，探井进尺只有 158 多万 m。从资源量来看，两个盆地油气资源总量相似。但是，从另外一方面来说，由于塔里木盆地具有多期构造运动、多套油气源层、多期成烃排烃、多期成藏、多期运移再分配等“五多”特点，它同中东地区的一次成藏的地质特点很不相同，中东地区的地质情况比较简单，比如扎格罗斯山山前，就不像塔里木盆地这样复杂，目前对塔里木盆地含油气的特殊性还没有认识清楚，因此，必须加强综合研究、充分利用现有资料综合分析，以达到有效指导勘探的目的。

五、采用多手段协同勘探，在重点探区、重点探井实施油气勘探的系统工程

我国油气地质条件较为复杂，靠某一种勘探手段往往只能提供某一方面信息，只有同时通过多手段、多方法协同勘探，才能全面准确反映地下地质条件；另一方面，受勘探手段和科学技术水平的限制，油气勘探具有阶段性。在某一时期，无论怎样研究、综合勘探，对油气地质条件的认识总是具有局限性；随着技术水平的提高，勘探手段精度、先进程度不断改进，用旧的勘探手段没能解决的问题，或者原勘探成果没有发现的情况，可以重新用新的地震、测井等手段处理、解释，一般就会有新的发现。因此，应特别重视应用新技术进行“三查”工作。包括三个重新评价。第一，对一些老区应该用新理论、新思路重新评价。在全国范围内，有不少地区由于种种原因，有的因为当时技术手段的不足和落后，半途停止，或从地质上给予否定，其中有些地区是值得重新认识和研究。比如，西部几个大盆地，过去在山前做了一些工作，现在基本上停止了，有些地区因此尚未开展工作，实际上有些是前陆盆地的性质，对油气生成和运移聚集成藏很有利，需要重新开展工作，如库车、喀什等，还有冷湖等。第二，对一些老井要用新技术、新方法重新解释和评价。我国西部含油区多是经历过多期生油，多次聚油，而东部渤海湾盆地由于继承性的断层作用，使得这两大油区都存在油层层数多、油层井段长的特点，受过去技术水平的限制，很容易漏掉油层，因此，很有必要对这些老井进行复查，进行重新解释和评价。第三，对一些油区形成的油藏模式进行重新评价。我国的含油区多为多种油藏类型的叠加，在发现构造油藏时常伴生地层型油气藏、断块油气藏、岩性油气藏等，应该从地震解释中找出存在的各种圈闭类型，加以分析和评价。

对于重点探区或重点探井来说，还应提出实施油气勘探的系统工程。油气勘探过程中一个很重要的问题，就是要把从勘探前期到试油的全过程作为一个系统工程，形成统一的工作组，完成好从地震、地质、钻井、测井、试油和措施等 6 项工作 25 种内容。并确保每个环节的相互联系，这在油气勘探中更为重要。作为一个勘探家，必须以地质为主体，既懂地质又要懂钻井、测井、试油和一些措施，每个地质家都要求自己做到这个程度。作为工作组来说，就是要把各个学科都能组织在一起，搞地质的不懂钻井，搞测井、试油的不懂地质，这就给我们的工作带来很大的困难。另外，作为一个勘探家来说，要具备必要的技术素质，有了准确的资料，就要进行综合分析、判断，要反复实践、反复认识，对资料能够进行反复处理和解释。在测井资料的解释上，要提倡乐观解释，即就是在可能是油气层，也可能是水层的情况下，都要如实甚至提高一步的解释，其目的是避免漏掉油气层。

六、关于复合型人才培养

培养石油工业的后备人才是石油高校的宗旨，而培养什么样的人才，如何培养则是关键。根据上述石油地质与勘探工作的需要，这里要特别强调专业复合人才的培养。

培养一般意义上的复合型人才，是指既具有良好的专业基础，又具有出色的管理素质，也就是说不仅能成为接班人，而且也可以成为当班人。而培养专业型复合人才则是指培养“一专综合”型的人，“一专”就是要对自己的主要业务方向做到精通或熟练，“综合”就是要对相关专业的了解 and 掌握，并能够有效地综合各方面资料，达到解决问题的目的。目前最需要的就是这种人才。

材料产业可持续发展与环境保护

左铁镛

北京工业大学

左铁镛 金属材料与塑性加工专家。1936年9月3日出生于北京。1958年毕业于东北大学。历任中南工业大学副校长，国家教育委员会科技司司长。现为中国科学技术协会副主席，北京工业大学校长、教授。兼任中国材料研究会副理事长等职。1995年当选为中国工程院院士。主要从事我国富有资源钨、钼稀土材料和金属塑性加工等方面的教学和研究。

一、材料产业发展的大前提——中国的资源与环境状况

本世纪以来，地球上发生了三种影响深远的变化：一是社会生产力的极大提高和经济规模的空前扩大，经济大幅度增长创造了前所未有的物质财富，大大推进了人类文明的进程；二是人口的爆炸性增长，本世纪世界人口翻了两番，达到57亿，并且以每年约8000万以上的速度继续增长；三是由于自然资源的过度开发与消耗和污染物的大量排放，导致全球性的资源短缺、环境污染和生态破坏。这些问题的不断积累，加剧了人类与自然的矛盾，对社会经济的持续发展和人类自身的生存构成了新的威胁。也就是说，人口膨胀、资源短缺、环境恶化是当今社会持续发展面临的三大问题。正处于经济快速发展的中国其环境与发展面临的问题更加尖锐、更加复杂。

1. 庞大的人口。中国人口已超过12亿，每年净增人口1500万。新增国民收入的1/4，被新增人口所消费。即使严格推行人口政策，在未来50年内仍要增加4.5亿人。人口膨胀对资源和环境造成的影响，已成为我国实现环境与经济协调发展的首要问题。人口增长一直是我国发展和限制人均消费水平增长的硬约束。

2. 资源相对短缺。我国拥有广阔的国土和丰富的自然资源，但在庞大的人口基数面前，就显得相对不足了，人均占有量远低于世界平均水平。关系到人类基本生存的淡水、耕地、森林和草地四类资源，人均占有量只有世界平均水平的28.0%、32.0%、14.0%和32.0%（表1），矿产资源的人均占有量也不到世界平均水平的一半。资源的不合理开采和浪费，更加剧了资源的短缺。

表1 1989年我国人均占有自然资源量与世界平均的比较

土地面积	m ² /人	2.56	0.85	33.2 世界平均的比较
耕地面积	hm ² /人	0.26	0.084	32.0 世界平均的比较
森林面积	hm ² /人	0.77	0.11	14.00 世界平均的比较
草原面积	hm ² /人	0.62	0.20	32.00 世界平均的比较
淡水面积	m ² /人	8843.5	2484.4	28.0 平均的比较

3. 生态变化趋势令人担忧。人口膨胀、自然资源的不合理利用，造成生态环境恶化和自然生态的失衡。据统计，我国大约有4600种高等植物和400

种野生动物处于濒危或受威胁的状态。各种自然灾害频繁，削弱了自然生态环境的承载能力。

4. 环境污染不断加剧。废气、废水、固体废弃物的排放量急剧增加，造成严重的环境污染。

在全国 600 多座城市中，大气质量符合国家一级标准的不足 1%，酸雨的程度和范围日益扩大，已由华南、西南地区向华中、华东、华北等地蔓延。全国每年排放污水 360 亿吨，除 70% 工业废水和不到 10% 的生活污水外，其余污水未经任何处理直接排入江河湖海，致使水质严重恶化。全国七大城市中，近一半河段遭到不同程度的污染，流经城市的河段有 86% 水质超标。城市垃圾和工业固体废弃物日增，每年达 1.8 亿吨，积累达 60 亿吨。占地达 5 万多公顷。大部分未经妥善处理，造成对土壤、地下水的二次污染，垃圾围城的现象仍在发展中。

面对这种严峻的形势，人类不得不认真回顾自己的发展历程，重新审视自己的社会经济行为，探索新的发展战略。因此，联合国于 1992 年 6 月召开了“环境与发展”的世界首脑会议，通过了《里约宣言》和《21 世纪议程》等重要文件，并一致承诺把可持续发展的道路，作为未来的长期共同的发展战略。经历了一百多年贫穷、落后和受尽凌辱的中国，正以前所未有的气概实现强国之梦，经济发展正处于工业化高速发展时期，面对人民强烈的发展需求和带来严重问题，出路在哪里？既不能停止发展，也不能走先发展后治理的道路，因此，走可持续发展的道路是中国唯一的必然选择。环境保护是中国的基本国策之一，也就是说，在社会主义现代化的建设过程中，寻求一条使人口、经济、社会、环境和资源相互协调、兼顾当代人和子孙后代利益的发展道路，这就是可持续发展。

为了实现可持续发展战略，我国编制了《中国 21 世纪议程》，将中国可持续发展战略目标确定为“建立可持续发展的经济体系、社会体系和保持与之相适应的可持续利用的资源与环境基础。”

要解决发展与环境的矛盾，要利用有限的资源满足人类日益增长的需求，必须实现两个根本转变：观念或意识的转变和发展模式的转变。

· 观念或意识的转变——

从与自然对立斗争转变为尊重自然与自然和谐相处；

从一味向自然索取转变为珍惜资源，保护环境；

从只顾自身利益转变为关心地球、关心人类；

从只考虑眼前利益转变为考虑长远持续发展。

这个转变反映了人类的“自然观”或“世界观”的主要部分的历史演变——从“天命论”、“征服论”到“和谐论”，反映了自然科学与社会科学的发展与社会的进步。

· 经济发展模式的转变——

从资源消耗型转变为资源节约型；

从损害环境转变为环境协调型；

从技术落后转变为技术先进型；

从经营粗放型转变为科学管理型。

这个转变反映了当今以科学技术高速发展为基础的现代经济发展战略，抛弃了那种以高投入、高消耗、高污染为代价的传统发展模式，代以节约资源、能源和环境协调的高效益的集约型的可持续发展模式。

“人类只有一个地球赖以生存”——这是全球的呼声！

让我们从全球的角度，从中国可持续发展的大前提，认真回顾材料发展的历程，重新审视我们在材料发展中的行为，探讨材料产业可持续发展的战略。

二、材料产业可持续发展战略的探讨

1. 材料产业与资源和环境

材料是国民经济和社会发展的基础和先导，是现代化高新科技发展的三大支柱之一。材料产业历来被列为国民经济的基础性、关键性的支柱产业之一，受到重视，得到大力发展。

中国的材料产业，包括钢铁、有色金属、化工、建材等主要行业，建国以来得到迅速发展，成为支持国民经济工业化和国防现代化的基础，成为发展高新技术的关键。

据统计，中国主要材料的产量已居世界前列或重要地位。如表 2 所示，从产量上看，中国已是当今世界的材料生产大国，但是从生产技术水平、品种、质量，特别是经济效益上看，和先进水平还有相当大的差距。这不是本文要讨论的问题，本文着重讨论的是，材料产业发展与资源和环境的关系。

表 2 我国有关材料的 1994 年产量

材料种类	材料产量/万吨	世界排序
生铁	9741	
钢	9261	
有色金属	395	
水泥	42118	
塑料	401.40	
橡胶	44.35	
化纤	280.33	
平板玻璃	11925/万箱	
铁合金	336.11	

从资源和环境角度分析，材料的提取、制备、生产、使用和废弃过程是一个资源消耗和环境污染的过程，也就是说，一方面材料推动着人类社会的物质文明，而另一方面又消耗大量的资源和能源，并在生产、使用和废弃过程中排放大量的废气、废水和工业固体废弃物，污染环境，恶化人类赖以生存的空间。

统计表明，材料产业不仅是矿产资源的主要消耗者，而且是能源的主要消耗者和污染环境的主要责任者之一。如表 3、表 4 所列。

表 3 1994 年主要材料能源消耗

材料种类	能耗 (万吨标准煤)	占工业能耗比重 / %
黑色金属矿采选业	282.63	0.3217
有色金属矿采选业	487.33	0.5547
非金属矿采选业	553.61	0.6302
其它矿采选业	252.24	0.2871
化学纤维制造业	993.13	1.130
橡胶制造业	630.43	0.7176
塑料制造业	541.16	0.6160
非金属矿物制造业	12556.14	14.29
黑色金属冶炼	15338.62	17.46
有色金属冶炼	2555.12	2.908
金属制品业	926.86	1.055
合计	35117.27	39.97
工业能耗总量 (万吨标准煤)	87853.40	

以钢铁冶金生产为例,9000万吨钢铁的能耗占工业能耗的11%,排行能耗大户之首,排放废水、废气占工业排放量的13-14%,为仅次于化工的第二污染大户。有色金属工业是以品位很低的矿产资源为对象进行提取、生产的,生产400万吨产品造成的以尾矿和废渣为主的工业固体废物每年达6000万吨,尾矿库总库容达10亿m³,生产过程中排放的二氧化硫、氟化氢、砷等废气,是有毒废气的主要源头之一。

表4 1994年材料制造业污染物排放情况

材料种类	工业废水/万吨	工业废气/亿标立方米	固体废物产生量/万吨
矿业	140448	3287	26377
化学纤维工业	52040	2219	256
橡胶制品	15389	567	102
塑料制品	6659	205	38
建筑材料及非金属矿物制品	61010	14067	1078
水泥制造业	27045	10186	285
黑色金属冶炼	304645	15141	10812
有色金属冶炼	50742	4524	2124
金属制品	9795	305	69
合计	667773	50501	41141
占工业排放总量/%	31	44.5	66.7

注:全国废水排放总量:3,652,546万吨,其中工业为水排放总量:215511万吨;废气排放总量:113,630亿标立方米;工业固体废物生产总量:61,704万吨,其中排放量:1932万吨。

与城镇建设高速发展相适应的我国建筑材料工业在1979-1994年期间有惊人的大发展,据统计,以水泥、玻璃、陶瓷、粘土砖为主,传统建材的产量均居世界首位,其中水泥年产量达4.2亿吨,占世界总产量的31%。全

国水泥工业平均粉尘、烟尘排放量达 23.2 公斤/吨，年排放量达 98 万吨是造成城镇严重污染的大户。

上述数据分析，应当使我们清醒的认识到，一方面材料产业和材料工作者，为国民经济发展、国防建设和人民生活水平提高作出了巨大的贡献，但另一方面，材料产业又是资源、能源的主要消耗者和环境污染的主要责任者之一。面对有限自然资源（包括资源型能源）的过度开发和贫化、枯竭的威胁和带给环境的日益严重污染，作为材料工作者应当冷静的思考，积极探索既保证材料性能、数量需求，又节约资源、能源和与环境协调的材料生产技术，制定材料可持续发展的战略。

这是时代赋予我们的义不容辞的历史责任。

2. 材料可持续发展的对策

作为人类社会和经济发展物质基础的材料将来应该以怎样的模式发展下去？材料工作者都在认真思考、探索。

（1）转变观念，树立正确的资源意识和环境意识

如前所述，在中国可持续发展战略的大前提下，材料科技与材料产业的发展也面临一个根本性的转变，即从过度消费资源、能源和损害环境，转变为珍惜资源、节约能源、保护环境，走与资源和环境协调的道路。

要实现这种转变关键是观念的转变，即材料科技工作者和管理工作者关于资源、环境意识的观念转变。这就是：

——树立正确的资源意识：认识自然资源的有限性，制止过分消耗，加强资源保护和提高资源利用的效率；

——树立正确的环境意识：认识生态环境的承载能力的有限性，控制环境污染，加强环境保护；

——资源消耗既和环境污染互为正比消长，又因资源利用的多样化而使环境污染和治理复杂化。

国际材料界在审视材料发展与资源和环境关系时发现：过去的材料科学与工程是以追求最大限度发挥材料的性能和功能为出发点，而对资源、环境问题没有足够重视，这反映在 1979 年美国材料科学与工程调查委员会给“材料科学与工程”所下的定义：“材料科学与工程是关于材料成分、结构、工艺和它们性能与用途之间的有关知识的开发和应用的科学”。

在 20 年后的今天，我们认为在理解上述定义的内涵时应予拓宽乃至修订补充，应该更明确的要求材料科学与工程工作者认识到：在尽可能满足用户对材料性能的要求的同时，必须考虑尽可能节约资源和能源，尽可能减少对环境的污染，要改变片面追求性能的观点；在研究、设计、制备材料以及使用、废弃材料产品时，一定要把材料及其产品整个寿命周期中，对环境的协调性作为重要评价指标，改变只管制备、生产而不顾使用和废弃后资源再生利用及环境污染的观点；这个定义的拓展将涉及多学科的交叉，不仅是理工交叉，而且是自然科学和社会科学的交叉，要求材料科学与工作者，只有更宽的知识基础和更强的实践性，不仅讲科学技术效益、经济效益，还要讲社会效益，把材料科技与产业的具体发展目标和全球、中国可持续发展的大目标结合起来。

环境材料正是在这样的背景下提出来的。

90 年代初期日本学者山本良一等人首先提出环境材料的概念，很快在世界各国得到响应并达成共识，兴起了全球性的环境材料的研究、开发和实施

热潮，这是 90 年代国际上材料科学与工程发展的最新趋势之一。

(2) 环境材料的提出及发展情况

环境材料是指同时具有优良的使用性能和最佳环境协调性的一大类材料。这类材料对资源和能源消耗少、对生态与环境污染少、再生利用率高或可降解可循环利用，而且要求从材料制造、使用、废弃直到再生利用的整个寿命周期中，都需具有与环境的协调共存性。因此，所谓环境材料，实质上是赋予传统结构材料、功能材料以特别优异的环境协调性的材料，它是材料工作者在环境意识指导下，或开发新型材料，或改进、改造传统材料。我们之所以强调它并非仅特指新开发的新型材料，是因为实际上任何一种材料只要经过改造达到节约资源并与环境协调共存的要求，它就应视为环境材料。这种定义、概念有助于调动更广大的材料工作者的积极性，鼓励和支持他们结合本职工作，对量大面广的材料产品进行生产技术改革，实现节能、降耗和治理污染的目的。同时，要大力提倡和积极支持开发新型的环境材料，取代那些资源、能源消耗高，污染严重的传统材料。还应该指出，从发展的观点来看，环境材料是可持续发展的，应贯穿于人类开发、制造和使用材料的整个历史过程。随着社会发展和科技进步，以新产品取代旧产品是个不断进步的过程。

国际上的材料科学技术工作者对环境材料研究高度重视。近两三年来，围绕环境材料这一主题，国际上开展了广泛的研究。1993 年 3 月，国际毒理学学会与化学学会 (SETAC) 在葡萄牙组织了来自 13 个国家和地区的 50 多位专家学者参加的研讨会，制订并随后出版了《环境协调性评估 (LCA, Life-Cycle Assessment) 准则——实践码》，取得了国际标准化组织 (ISO) 和欧洲标准化委员会 (CEN) 的共识，为环境材料的研究和材料生态循环评估的规范化提供了重要的依据。1993 年 8 月，国际材料联合会 (IUMRS) 在日本东京召开了 1993 年先进材料国际会议，在该会上第一次专门组织了环境材料研讨会，其主题是地球环境问题与材料，涉及了与环境问题相关的材料技术，与环境协调性相关的材料制备与处理技术，环境材料的设计与表征技术。1994 年 10 月，在日本筑波召开了共 15 个国家的 260 名专家学者参加的环境平衡国际会议，会议就环境材料及与之相关的评估体系进行了交流。日本和欧洲一些国家相继成立了环境材料研究会，频繁的组织国际性研讨会，推动环境材料研究与开发。世界许多国家的政府和产业界人士亦对此表示了极大的兴趣，1994 年 7 月 15 日，由克林顿会同戈尔签发的题为“面向可持续发展的未来的技术”的白宫报告中明确提出“环境技术的市场正在急速增长，并将在今后继续增长。这些技术给美国提供了同时实现经济目标、环境目标和能源目标的一个令人兴奋的机会”，并希望环境技术产业能够为国民经济做出更大的贡献。

环境材料及与之相关的材料环境协调性评估系统 (LCA) 及环境协调性产品 (ECP) 已为许多国家政府官员、科学家和生产厂家所共识，并大力促进研究和产业的发展。

国际上环境材料的研究，已不只局限于理论上的研究，众多的材料科学工作者在研究具有净化环境、防止污染、替代有害物质、减少废弃物、利用自然能、材料的资源化等方面，作了大量的工作，并已取得了重要进展。许多国家还制定了有关的立法，来推动本国环境材料的发展，以求能够推动本国经济的持续发展。英国、法国、荷兰的一些公司，分别开发了 LCA 评估计

计算机和相关的数据库，国际上的一些著名的公司也开始实施相应的研究发展计划，如 IBM 公司的“环境设计计划”，道化公司的“减少废弃计划”，Chevront 公司的“节约资金，减少毒气计划”等等。

我国正处在一个经济高速增长时期，其能源、资源消耗急剧增加，大多数的工业产品的获得是牺牲了其环保价值而发展起来的。特别需要指出的是上面介绍的环境问题，已经渗透到国际政治、经济、贸易和文化各个领域，是当今国际竞争的重要方面。发达国家强烈要求发展中国家提高环境标准，甚至提出将环境保护作为贸易的条件。我国已确定“在发展中解决保护，在保护环境的基础上实现持续发展”的原则，签署了有关国际重要公约，并通过了国家有关环境保护的法律、法规。制定了“三废”治理标准和管理实施办法，这就形成了对材料工作者执行环境保护责任的法律约束。为此，材料工作者要认真研究制定材料可持续发展的行动计划，并在政府的支持与指导下实施。

(3) 关于环境材料研究开发计划的基本框架建议

鉴于国际上关于环境材料及其相关技术的研究也刚刚起步，我国的国民经济正处于一个高速发展时期，抓住机遇，迎头赶上，借鉴国外的先进经验，结合我国国情，把环境材料的研究与发展推向前进。从理论和实践上解决长期以来只重视自身的需求的材料研究开发，而忽视资源和生态环境对人类活动影响的这一根本性问题，开展环境材料研究开发，推动材料科学与工程和资源与环境协调发展的进程，并逐步建立适应可持续发展的环境材料及相应的材料产业。

环境材料研究开发计划的基本框架包括：环境材料及环境材料学的基本概念、内涵及其范围的基础研究；材料对资源、环境影响的评价方法和标准研究；协助并参与主管部门及企业开发有重大应用推广价值的环境材料及其相关技术；推动环境材料教育计划的制定与实施；加强环境材料的国际合作与交流等。

· 关于环境材料及环境材料学科的基本问题研究

环境材料不仅是个具体材料研究与开发的问题，也是一个材料科学与工程领域的问题，它的研究与开发涉及自然科学与社会科学问题，涉及多学科知识基础问题，涉及一代一代材料工作者资源与环境观念与意识的教育与培养问题……因此，要求对这一新概念、新领域开展深入的基础研究，使其成为指导环境材料研究开发及发展相关技术的基础。

关于材料对环境的影响的评价方法和标准的研究

开展对材料、产品及其生产、制备、使用直到废弃全寿命周期或某个环节的环境协调性评估研究，是改造乃至淘汰该材料、产品或生产工艺的基础性工作，是世界各国研究的热点。但是国际上关于 LCA 方法及应用尚有许多局限性，关于 LCA 数学物理方法，关于材料的环境负荷的表征及量化指标，关于 LCA 的评价范围及生态循环的编目分析，关于材料生产和使用过程的环境损害评估、环境改善评价等还有许多基础性研究工作要做。同时，根据 ISO14000 标准中第五部分关于 LCA 的讨论稿，开展生态循环评估的示范性研究，选择有代表性的一些材料，从其生产、制备工艺（包括原材料的采集、提取，材料的制备、制品的生产、运输）进行资料收集、分析、跟踪。获取材料性能、工艺网络、材料流向，能源消耗，废弃物的产生，种类，数量和去向等基本数据。研究其环境负荷的表征及评价方法，给出各工艺和使用环

节对环境的影响和人类活动造成的废弃物，以及再生的资源核算体系。对加强环境材料的基础理论研究，开发新的环境材料具有重要指导意义。

通过对 LCA 方法学和示范性研究，形成材料开发、应用、再生过程与生态环境间的相互制约理论，揭示人类对材料的需求活动引起的生态环境变化，以及生态环境变化对人类生存所需材料的质量和数量的影响规律。为制定材料的环境评估标准提供基本数据和范例。另外，研究材料的生态循环评价材料，推动 ISO14000 标准化的进程，也是中国材料科学工作者正在努力的目标。

· 要积极地向国家、行业、企业建议设立环境材料的研究与开发项目及推动相关技术的实施

关于新的环境材料的开发，在材料成分设计时就考虑与环境的相容性，特别是可再生循环使用。通过 LCA 评价，对其加工制备和使用过程都最大限度地降低环境负担性。使整个材料系统无论是加工制备还是使用过程对环境都无害，减少污染，保护环境。真正使材料科学成为可持续发展的产业。

提高材料的环境性能所采取的技术主要集中在以下四个方面：1) 避害技术：即避免生产对环境有害的物质，或通过改变人们的生活方式以减少对环境的破坏。其通常要求产品替代或重新设计生产工艺流程，而不仅仅是采用新设备。2) 监测评估技术：即指对污染物和其它在自然过程和人工过程中产生的有害物质的释放对环境影响的评价。3) 控制技术：在有害物质进入环境前，将其转化为无害物质的技术。4) 补救修复技术：指将进入环境的有害物质转化为无害物质，恢复改善由于自然和人工原因而失衡的生态系统。

· 制定与实施环境材料的教育计划

作为一门学科，环境材料既是一个研究的问题，同时又是一个教育的问题，要积极制定和实施环境材料科学的教育计划。在专门教育方面，从大学本科材料专业的课程教育开始，并在一些有条件的大学试办环境材料学科点。为材料专业开设“环境材料”选修课，设立环境材料学科的学士学位。把环境意识引入材料科学与工程，把环境材料学融入国家的环境教育体系。同时，逐步建立和健全专业化的研究生学位教育，开始培养博士、硕士研究生，为发展新的环境材料，培养适应 21 世纪可持续发展的材料科学工作者创造条件。同时，结合国际和国内关于环境材料科学的研究内容和研究，编写“环境材料学”教材。

除正规教育外，在已有基础教育、成人职业教育的环境教育的教学内容中，适当增加普及型“环境材料学”内容。广泛利用传播媒介宣传普及、提高现有材料工作者和全体人民的环境意识，加强环境材料和绿色产品的宣传的教育。建立一个完整的环境材料教育体系，为中国的持续发展奠定良好的基础。

· 推进环境材料研究与开发的国际合作与交流

环境材料是一个全球性问题。在我们共有一个地球的口号下，中国在采取一系列措施解决环境问题的同时，积极务实参与环境保护领域的各项国际合作。在推动环境材料方面，中国的材料学工作，从一开始就积极参与环境材料研究与发展的各项国际活动。发表了一系列关于环境材料科学的基础性研究成果。并于 1995 年在中国西安成功地组织了第二届国际环境材料研讨会。同时，与日本、欧洲等国家的同仁们建立了一些具体的合作，开展环境材料科学的基础研究及应用开发，以及其他各种对口专业活动。

为促进环境材料学的发展，我们在以下领域优先开展国际合作：1) 关于环境材料学本身的基础性研究。建立完整的环境材料学的理论和概念，确定环境材料学研究的内容和范围。使其作为一门学科，要不断完善、丰富和发展。2) 在 LCA 的标准及其应用方面建立广泛的合作。要结合国际上的发展水平，借鉴已有的先进成果，建立适合中国的生产过程、工艺、产品的评价技术及标准，使产品走向国际市场。逐步建立完整的评价体系。配合政府制定相应的标准和方式，建立评价数据库及进行各项数据采集，准确性评价等。这些都要求国际间的合作，互通有无，最后形成国际化的评价标准和方法。3) 针对我国污染较典型的材料产业，开展广泛的国际合作。如前所述，治理典型的材料产业的污染源，为减少污染，保护生态环境，促进中国材料产业的持续发展，开发新的环境材料提供有益的经验。

三、结束语

本文着重从环境保护这个侧面，探讨了材料与资源、环境的关系，介绍了一些情况，阐述一些观点并提出一些建议。其目的是为了引起有关部门和领导的重视及材料科学与工程界同仁的关注，共同思考与探讨材料可持续发展的战略，希望起到抛砖引玉的作用。

有色金属工业的科技进步

李东英 汪旭光

中国有色金属工业总公司 北京矿冶研究总院

李东英 稀有金属冶金与材料专家。1920年12月14日出生于北京。1948年毕业于北京辅仁大学理学院获理学学士学位。历任北京有色金属研究总院副院长、总工程师、中国有色金属工业总公司常务董事、科技部主任，现为国家计委稀土专家组首席专家。曾任中国有色金属学会及中国稀土学会副理事长。1995年当选为中国工程院院士。主要从事稀有金属资源的开发、应用和推广等方面的研究。

汪旭光 工业炸药与爆破技术专家。1939年12月31日出生于安徽枞阳。1963年毕业于安徽大学。现任北京矿冶研究总院副院长、高级工程师、兼职教授。兼任中国工程爆破学会常务副理事长。1995年当选为中国工程院院士。主要从事EL系列工业乳化炸药的研究和研制。

有色金属与人类社会的进步和发展有着不解之缘。人类最初学会使用的工具是木头和石块，就是历史上所谓的石器时代；之后，学会了开采、冶炼铜矿石（伴生有少量的锡、铅、锌）制取金属铜，并用于制作生产工具和兵器，进入了对促进人类社会文明有重要作用的“铜器时代”或称“青铜器时代”。至今仍是重要的10种常用有色金属之一。

所谓有色金属是相对于铁、铬、锰几种黑色金属之外的多种金属的统称，在自然界103种（加上实验室条件下人工诱导产生的两种，也有人统计为105种）元素中，有色金属占了一半以上，达64种，是自然界最庞大的元素家族。我国是当前世界上有条件并能全部提炼64种有色金属的少数国家之一。

一、国民经济现代化建设的基础产业

有色金属是伴随人类社会产生和科学技术的进步而不断发展前进的，在当代社会它扮演了十分重要的角色，举凡能源、交通、信息、航空航天、国防军工、化工、农业、医疗、卫生、文化等领域所用的各种设备、装置、器件，乃至多种药品和试剂，有色金属均是不可缺少的重要原料之一。因此，有色金属工业是国民经济的重要组成，是经济建设的基础产业。

众所周知，煤、石油、天然气、水力是工业社会的传统能源，而开发利用它们的钻头、油井管、平台、大直径油管、油轮、燃气轮机等多种工具、设备，都是由钢铁和有色金属（主要有镍、钴、钨、钼、铌、钒等）组成的特种合金或钢材制成；电力输配送更离不开铜、铝、锌、硒、硅；石油精炼用催化剂，稀土则是重要的触媒材料。可以说，没有有色金属就没有工业社会大规模的能源工业生产。核能、太阳能等已是继传统能源之后的重要能源。80年代以来，许多国家相继制定了大力开发太阳能（包括太阳能发电、光电池、燃料电池发电技术、新型电池电力贮存系统等洁净能源）和核能的战略计划。前不久联合国教科文组织的顾问、能源问题专家马登吉特·辛格先生指出，10年后太阳能将成为20亿缺电地区人民的主要能源，其价格（指转换为电能）与固体燃料接近。但是，太阳能的大规模开发利用，必须由有色

金属工业提供大量的硅、锗、碲、铜、铝、镍、锂、稀土金属、砷化镓、ITO（铟锡氧化物）等支撑材料，否则将很难如愿。关于核能利用，近年发展十分迅速，截至 1995 年底止，全球已有 438 座核反应堆在运转，其发电量已占世界总发电量的 20% 以上。法国是核能发电占比例最多的国家，目前拥有核电站 56 座，发电量占全国总电量的 76%；日本现有 51 座核电站，核电力占其总发电量的 28%；美国是当前拥有核电站最多的，达 109 座，核电力占全国电力的 22.5%；乌克兰计划 2010 年的核电力占全国电力需求的 40%；印度现有核电站 9 座，在建 4 座；我国现有秦山、大亚湾两座核电站运行，仅每年换料就需锆合金 14.3t。“九五”期间还将兴建秦山二期及重水堆、广东二核及辽宁核电站，容量总计达 660 万 kW，需一次性投入锆材近 100t，同时需大量钨基高比重合金做屏蔽材料；核电站的核压力容器、核蒸汽发生器传热管等需消耗大量的镍铁基（含 Ni32%±）或镍基合金（含 Ni60%±），合金中还有少量的钛。我国能源发展的远景规划是，2050 年核电装机容量要达 12000-24000 万 kW，若没有相应的有色金属产业做后盾，这种宏伟的核电计划很难兑现。

受控核聚变是更诱人的高一级的核能利用，目前欧美和我国都取得了很大的进展。美国尤为突出，其实验堆已投入运行，发电功率为 620kW；根据 UW-MAK 型受控核聚变电站的设计，100 万 kW 装置需稀有金属钷、钛、锆、铌、铍、钼、锂各 2-3t、50-60t、58-70t、90t、580t、600-700t、570-1150t 和超导材料近 2000t。

汽车、飞机、火车、轮船是现代交通运输工具中的主角，它们的发展也和有色金属密切相关。仅以汽车为例，轻量化、安全舒适、洁净能源，是当前及未来汽车发展考虑的主要因素，而有色金属则是能满足这几个因素的重要原材料。为节约能源并获得满意的车速，减轻自重是关键。为此，美国计划 21 世纪初将汽车的 CAFE（Corporate Average Fuel Economy）标准由目前的 27.5mpg（英里/加仑）提高至 31 - 33mpg，一般，每提高 1mpg 须减轻车重 80-110kg，欲实现 31mpg 的目标，须减轻车重 310kg。由于铝、镁的密度低，Al 为 2.7g/cm³ 左右，Mg 只有 1.74g/cm³，不到铁的 1/3，用它们的合金压铸件或合金制成的汽车零部件比钢制品轻 60%；同时铝合金、镁合金具有优良的抗蚀性和高的比强度，因此世界汽车生产大国近年来不断扩大了铝、镁制品零部件的使用。1991 年每辆汽车平均用铝为 87kg，比 1981 年的 59kg 增加 47%；美国第二大汽车公司福特汽车公司每辆用铝 100kg，通用汽车公司每辆 90kg，该公司生产的凯迪拉克用铝最多，每辆达 375 磅，约 160kg，而且拟建的小型凯迪拉克生产线，还将进一步增加铝的用量。福特公司对铝镁等能减轻车重的轻型材料越来越重视，在今年初的北美国际汽车展览会上，该公司推出的一台样车，使用了铝制 V-12 引擎，碳纤维-铝蜂窝结构底盘，前后悬置系统采用高强度铬钼管，车重 1045kg，只有相同外形尺寸道奇车重的一半多（后者为 1979kg）。德国奥迪于 1994 年推出了全铝制豪华轿车。日本计划将每辆客车的用铝量从目前的 70kg 提高至 130kg。镁更是受到汽车设计师的青睐，1983 年美国生产的小轿车，平均每辆的镁制品零件为 5 个，1993 年上升到 53 个。1985-1995 的 10 年中，美国轿车工业用镁量的年平均增长率达 18% 以上，克莱斯勒汽车公司甚至认为，若未来镁的价格合理的话，在轿车生产中的年增长率可达 30% 左右。1989 年日本每辆客车的用镁量平均为 1kg，去年增至 5kg，年均增长率达 60% 以上。我国的小轿车生产

中，目前只有桑塔纳使用铸造镁合金，每辆达 8 - 12kg。不断提升汽车的铝、镁化程度，减轻现有车重的 30% - 40%，已成为当代汽车设计的发展趋势。目前全球的汽车年产量已达 4000 万辆，预计本世纪末仅汽车用铝、镁就会突破 1000 万 t 和 100 万 t。

此外，铜、铝、锌、锡、镍、铌、钨及铂、钯、铯、钼及稀土等，也是当代汽车工业不可缺少的原料。美国平均每辆车消费铜及其合金约 230kg，美国汽车工业的用铜量已由 80 年代初的 8.7% 增至 90 年代初的 10%；我国汽车、机械行业 1994 年消费铜及铜材 50.7 万 t；未来的各种电动汽车用铜量将比现有汽车多 1 倍左右。铅主要用于汽车照明、启动用蓄电池。镀锌薄钢板是汽车耗锌的主要形式，到 2000 年，我国各类汽车的生产能力将达 250-300 万辆，其中中型 40-50 万辆、轻型 80-90 万辆、轿车 130 - 160 万辆，据此需铝型材、水箱铜带、镀锌板耗锌、铅酸蓄电池用铅将分别达 3 万 t、4 万 t、3-3.5 万 t、18 万 t。镍是不锈钢的重要合金元素，近二三十年来，汽车的不锈钢用量平均已由每辆 10kg 增至 32kg；高强度铌钢已成为受欢迎的汽车材料，近年汽车工业用铌开始超过石油业。全球对汽车尾气净化的严格要求，导致了对铂、钯、铯、钼和稀土的消耗，仅触媒用氧化锌，到本世纪末全世界就需近 2000t。随着汽车电子化、轻量化的迅速发展，对永磁体的消费也急剧增多，以前一辆汽车只几处而现代汽车约有 70 余处需用永磁体。当前，钕铁硼是汽车用的重要永磁体，以减速器为例，3kg 钕铁硼可替代 20kg 的电磁铁；有专家预计，到 2000 年全球汽车用永磁材料将达 5 万余吨，其中 60% 左右是钕铁硼。一辆高级皇冠轿车用的钽电容器就有近 300 个。甚至专供汽车用的高速公路也离不开有色金属，高速公路护栏需热镀锌结构体；路面锯缝用的锯片，开路用的钎头、钻具等，都是以钨、钼、镍、钴为主元素的硬质合金；加工汽车主要零部件更需要高效高精密的硬质合金工具。因此，我们可以在相当程度上说，没有有色金属就没有现代化的汽车工业。

至于航空航天、军工国防，与有色金属更是荣辱与共，息息相关。无论是运输机、客机、战斗机、轰炸机、直升机，还是探索太空的航天飞机，它们的关键材料均是以有色金属为原料，如 Al-Ti，Al-Li，Al-Mg 合金板是飞机各主要部件的结构材料，波音飞机的铝合金占机体重的 81%，协和占 71%，F-15 为 36%；卫星、运载火箭箭身、燃料导管、导弹燃料箱都是由铝合金制成，铝合金量占导弹重的 1/20-1/2；飞机、舰艇、导弹、卫星用的惯性导航仪为铍制陀螺，气象卫星及高速摄像机用铍摆镜，直升机用铍制天线瞄准器，原子弹、氢弹、核反应堆用铍砖；卫星天线用高密度钨合金、铌合金；锗、砷化镓作卫星太阳能电池衬底；返回式卫星的钨合金蒙皮；由钨、钴、镍、钼粉制成的高密度硬质合金穿甲弹；燃烧弹、信号弹、穿甲弹、照明弹离不开铝粉、镁粉及 Al-Mg 粉；锌粉、铝粉是导弹、火箭的推进剂；美国新型装甲车 M113 重 8.3t，用铝及铝合金 5.2t，占整车重的 62%；英国推出了全铝合金坦克，车重仅 7.9t；铝合金还是气垫船的理想材料；锂是氢弹的主要原料（氘化锂）；核潜艇须用铝合金管，潜艇空气再生须氢氧化锂、氧化锂；导弹液压伺服机构的特种过滚器为多孔钨，导弹弹头传感敏感元件为钨毛细管；固体燃料火箭发动机须高强钛合金，发动机喉衬材料为钨渗铜、渗银或渗铜银合金；雷达发射管的阴极屏蔽材料用铯钨棒；现代高科技战争的特点是全天候、不论白天黑夜和远近都能准确、有效地摧毁敌方的军事力量，侦察、警戒、识别与目标选择、跟踪及制导攻击（如海湾战争中“爱国

者”跟踪打击或空中拦截“飞毛腿”导弹的战例)就成了最重要的战斗手段,红外透镜、夜视仪、热成像仪、热探测器、激光测距仪等就是这种手段最有效的工具,而它们却离不开锗、钨、钇和砷化镓等;ITO是飞机、飞船舷窗,潜望镜、坦克激光测距仪窗口所用的透光性优异导电膜;反应堆超热中子能谱测量用铟、镉、镱、钨多元合金探测片;运载火箭控制系统的微型继电器由银、镁、钨制成。林林总总,举不胜举。显然,有色金属与国防军工、航空航天,可谓你中有我,我中有你,彼此息息相关。

十多年前还是少数专家学者谈论的信息社会,目前正伴随着全球兴起的信息高速公路热而到来。所谓信息社会,就是以计算机现代通信(光纤化、网络化)、多媒体为基础,大大改变并方便了人们的生产经营活动和生活方式的社会。电子工业特别是微电子产业则是信息社会的基石,而正是有色金属材料工业的进步与发展,生产出多晶硅、单晶硅、锗单晶、锗化合物、掺铒光纤放大器、各种贵金属及稀有金属电子浆料作支撑材料,才有集成电路(或称IC工业)的问世和计算机的革命性进步,使计算机、多媒体、通信微电子化与网络化,从而覆盖全球,进入千家万户,形成当今世界第一大产业。全球国民生产总值的65%与信息产业有关。我国近十年来,以电子业为基础的信息产业也取得了巨大的发展,保持了20%的年增长率,并被“九五”计划和2010年的远景规划列为国民经济支柱产业之一。同时确定了以IC和新型元器件、计算机及软件、通信设备为发展重点。为此,必须确保相应的电子材料的同步发展。因为大直径单晶硅、砷化镓、键合金丝、引线框架、覆铜板等材料是实现大规模集成电路和电子元器件换代升级的重要保证。从“八五”、“九五”IC关键材料及主要微组装电子材料对相关有色金属材料的市场需求,即可反映出电子信息产业与有色金属工业的量化关系(表1、表2)。

因此,在一定意义上讲,没有先进的有色金属材料工业就没有当今的信息社会。

表1 IC所需关键有色金属材料

	多晶硅	单晶硅	砷化镓 (kg)	覆铜板	铜箔	引线框架	专用铜带及 薄形复合金属	金丝 (kg)
1993	77	70	70	3×10^4	1800	1000	5	40
1995	120	100	150	5×10^4	3000	2000	15	50
2000	300	200	500	$(12 - 15) \times 10^4$	2×10^4	4000	200	300-400

表2 微组装电子材料用有色金属

	纸基铜板	玻璃布基铜板	铝箔	电子浆料
1993	1.6×10^4	1.2×10^4	2200	3
1995	2.3×10^4	1.8×10^4	3500	5
2000	$(7-9) \times 10^4$	$(3-5) \times 10^4$	6000	20

以上所述清楚地表明,有色金属工业是国民经济的重要组成部分,是我国主要的基础产业之一。

二、我国有色金属工业现状

中华人民共和国成立前，我国几乎没有像样的有色金属工业，只有几处落后工厂生产锡、锑、汞、铅、锌、铜、金、银等少数几种金属，1949年全国共计只有1.3万t产量。由于基础差，底子薄，技术起点低，专业人才缺乏，有色金属工业虽然也取得了迅速的发展和辉煌成就，但始终不能满足国家经济建设的需要，特别是1965年以后，每年均需进口大量的铜、铝、铅、锌、镍等有色金属。1978-1982年就进口167.17万t，同期仅出口37.22万t，净进口约130万t。用了约30年时间，即到1978年，实现了10种金属100万t的年产量（实为99.63万t）。

改革开放以来，特别是中国有色金属工业总公司成立后的10多年来，我国有色金属工业取得了前所未有的持续、稳定、快速的发展：10种有色金属产量突破200万t、300万t和400万t，只分别用了10年、4年和3年；利税总额1982年为20.4亿元，1988年即实现了翻番，达49.01亿元，1995年为59.2亿元；结束了大量进口有色金属的历史。目前，除铜尚须较多的进口外，铝、镍能基本满足需求，铝、锌、锡、锑、钨和多种稀有、稀土金属有大量出口，仅铜、铝、铅、锌、锡，1994年我国出口总量为64.43万t，进出口量为26.14万t，做到了进出口用汇大体平衡；而且锌产量居世界第一位，出口量占世界第二位，铅及铅合金占全球精铅出口量的1/5，居世界第一；生产工艺技术与装备，生产效率与管理水平，资源综合利用及主要技术经济指标，科研成果、发明创造与论文著作等，较之1978年均有明显的进步和发展，大大缩小了我国有色金属工业与世界先进水平的差距。

我国有色金属工业的迅速发展和巨大进步是举世瞩目的，按产量在世界的排名，已由“六五”期间的第七名跃升至目前的第二名（1995年实产480万t以上），但还是只能说我们是有色金属大国，而并非有色金属强国。这主要表现在是靠投资、上项目、着重扩大产量的外延发展粗放经营模式起主要作用，出现了全民搞有色金属，但规模却很小（我们上5万t规模的炼铜厂只有4个，超过10万t的就1个，发达国家的铜厂小于6万t规模的极少；世界电解铝厂的平均规模约为11.3万t/y，我国仅为2.33万t/y，且小于1.5万t/y的小铝厂多达42个，全球年产能力小于1万t的26个铝厂全在中国）。除少数大型企业外，工艺技术与装备都很落后，消耗高，资源浪费严重，初级产品多，品种规格少，经营管理水平差，集约化程度低，有色金属工业整体水平比发达国家落后15-20年。有色金属资源种类及数量虽然很丰富，但按人均拥有量计，仍是资源相对不足的国家，而且铜、钴、铂族等部分重要资源更是不足。铝资源条件不好，大都是难处理、耗能高的一水硬铝石。几乎所有有色金属的矿山生产能力远低于冶炼能力；按人均产量世界前60名的排名，我国排名第50，按铜、铝、铅、锌、锡、镍6种金属的消费量排名，则位居第47，人均只有2.6kg，而韩国人均达34kg，巴西为5.7kg；经济增长还没有真正转移到依靠科技进步和提高劳动者素质上来，致使消耗高，成本高，生产效率和经济效益差，难以参与国际市场竞争，依然大量存在大宗出口初级产品，再用高价买回别人深加工品的不利局面。

为保证国家“九五”计划和2010年远景规划目标的实现，满足国民经济现代化建设的要求并做到“两个转变”，有色金属工业依然面临着机遇和挑

战。

三、加速有色金属工业的科技进步

自 80 年代以来，世界经济发展出现了两大重要变化。一是科技革命的全面扩展，知识和科学技术已成为推动经济和社会发展的关键因素。因此邓小平同志 1992 年初南方视察讲话重申了科学技术是生产力，而且又强调了“是第一生产力”的论述；江泽民同志在强调科技的重要性时也指出“国际间的竞争，说到底还是综合国力的竞争，关键是科学技术的竞争，在科学技术上落后就会被动挨打”。

另一个重大变化是，世界经济结构正发生深刻而广泛的调整，经济增长正由传统产业转向高新技术产业，由总量增长型转向高质、高效和更加规模化、集约化的质量效益型；由全球大多数国家开始实施的国民经济信息化结构（NII），亦即通常说的“信息高速公路”跨世纪工程，把世界推进至当今的“信息社会”，使经济管理、生产经营、军事战争、生活娱乐都呈现出网络化、自动化、智能化的发展趋势。

在自然界，有色金属几乎都是以各种化合物的形态存在于组成复杂的矿石中，而且品位（金属百分含量）很低。如我国的铜矿，平均品位只有 0.82%；提炼黄金的岩金矿平均一吨矿石里只有几克或十几克；许多贵金属、稀有金属在矿石中的含量就更是稀少了，品位一般只有万分之几。因此，要把矿石中的某种有色金属提炼出来，须经复杂工艺流程“千锤百炼”地分离提纯，宛若大海捞针。从矿石开采、选别、熔炼、精炼、提纯到加工成材，每一个作业，每一个工序都要消耗大量的煤、焦炭、燃油和电力等能源。以我国的铜、铝、镍、铅、锌工业而言，从开采到冶炼成金属，每吨金属的综合能耗折算为标煤，即 1kg 发热值为 7000 大卡或 2.9×10^7 焦耳的煤炭分别约为 6t、11t、17t、1.8t、3.5t。1994 年我国 10 种有色金属的总产量是 394 万 t，消耗煤 897 万 t、焦炭 124.4 万 t、电力 387.4 亿 kw·h、重油 47.51 万 t、汽油 9.52 万 t、柴油 11.74 万 t、天然气 3586 万 m^3 以及其他能源，总计合标煤 2542.4 万 t，相当于全国煤产量 3%±，位居全国耗能大户的前 10 名。

我国有色金属工业能源利用率较低，能耗普遍高于国外，仍以铜、铝、镍、铅、锌为例，国外每吨的综合能耗分别为 3.5、7、4.8、0.9、2.2t 标煤，即我国的能耗平均比国外高出近 1 倍，较之于发达国家，差距则更大。因此，节能是加速有色金属工业科技进步的重要使命之一。

本世纪 70 年代以来，全球频频闪烁着能源危机的红灯，引起日美等经济发达国家的高度重视和警醒。1996 年 6 月中旬召开的联合国第二次人类居住大会强调，能源是人类居住区可持续发展的基石，在即将迈入下个世纪时，必须重新强调问题的重要性。与会专家指出，目前全世界有约 20 亿农村居民没有电，还有上亿人受燃料、电力短缺之苦；与此同时是长期不加控制的能源消耗和能源效率不高，以及能源浪费带来了诸如温室效应等一系列环境问题。除了尽可能地使用可再生能源并加强对洁净能源的研究开发外，节能是解决能源问题最经济可行的办法。

实际上，我国现时的和潜在的能源危机更为严峻和突出。我们是世界的人口超级大国，人均拥有的不可再生能源只有世界平均值的一半。根据国家

经济建设的远景发展规划，到 2010 年需石油 10 亿 t，而目前我们的石油年产量仅 1.4 亿 t，即使有资源，石油工业也不能获得以平均年增长率近 60% 的速度发展，大量依赖进口更非国力所能承受。同样，煤、天然气和电力都远远满足不了经济发展的需求，能源问题已成为我国经济发展的“瓶颈”。另一方面，我国又是能源利用率很低的国家，80 年代的统计表明，每 100 万美元 GNP 的能耗，我们是美日的 8-10 倍，是前苏联和印度的 3.8 倍与 2.2 倍。除被迫放低经济发展速度外，积极有效的对策就是节约和开发。为此，我国政府制定了“开发与节约并重，近期把节能放在优先地位”的方针。

如上所述，有色金属工业是耗能大户，且能源利用率低，大有节能潜力可挖。根据国家经济建设的要求，中国有色金属工业总公司科技发展“九五”计划和 2010 年规划纲要的总体目标共计 7 项，节能降耗被列为第 2 项。有色金属工业的技术政策也强调，企业改造和建设，采选冶均要把节能降耗作为目标，冶炼更是节能重点。

有色金属工业的节能途径虽多，但最有效的有三条，即依靠科技进步，革新工艺技术，重视余热利用；发展新材料，节约有色金属消耗；加强管理，减少跑滑滴漏。节能的重点在冶炼，大幅度节能降耗的根本出路在于依靠科学技术，用高新技术改造传统冶金落后工艺流程。

由于资源条件的局限，生产和集约化规模化程度低，用于技术改造和科技发展的资金投入多年来严重不足（我国的 R&D 经费占 GNP 的比例仅为 0.7% ±，大大低于日本的 3%、美国的 2.8% 和韩国的 1.8%；技术改造，企业投入不足销售总额的 0.2%，而美日分别达 1.4% 和 2.4%），使我国有色金属工业的整体水平落后，吨金属能源消耗高出国外 1 倍就是这种差距的量化体现之一。就铜冶金而言，冰铜熔炼工艺是决定粗铜生产能耗高低的关键。目前，我国的冰铜生产工艺有闪速炉、密闭鼓风炉、电炉和反射炉等几种熔炼方法，后三种是耗能高的工艺，其吨粗铜的平均综合能耗为 1.28t 标煤，高出发达国家（0.4t 左右）3 倍。若将密闭鼓风炉、反射炉改为较先进的诺兰达炼铜法（大冶有色金属公司的反射炉和沈阳冶炼厂的密闭鼓风均拟改为此法），能耗可减少一半以上；进一步完善浸出-萃取-电积处理低品位或难选的含铜物料湿法工艺，加速实现并扩大其生产规模，铜生产工艺能耗将进一步大幅度降低。70 年代末 80 年代初以来，抓紧并实施了对金川资源（我国镍生产基地）综合利用的科技攻关与技术改造，促进了采选冶工艺的不断进步，吨镍标煤耗能由 70 年代的近 30t 降至 80 年代末期的 17.9t；采用闪速富氧熔炼后，可进一步减少能耗近 30%。国外吨 Al_2O_3 能耗为 0.7t 标煤，我国是 1.8t，高出 2 - 3 倍，主要原因在于我们的生产流程不尽合理，如主要生产工艺之一的混联法耗能高的烧结过程多，未普遍采用高压溶浸新技术，近 60% 以上的电解铝是由耗能高、环保差的小型自熔槽生产的，等等。有关专家认为，若改混联法为串联法，采用高效溶浸技术，开发大型预焙智能化控制电解槽，恶号“电老虎”的我国铝工业将减少 20-25% 的能源消耗。

全球有色金属资源的总趋势是日趋贫化、急剧减少和更难开发利用。平均生产 1t 有色金属开采的矿石量已由 50 年代的不足 100t 增加到目前的近 130t，仅仅由于矿石处理量的加大就会在相当程度上抵消千辛万苦研究开发出来的节能技术。因此，有色工业节能的另一个重要途径是开发新材料，寻求代用品减少消耗，重视废旧金属的回收利用。大规模的光纤应用始于 80 年代，目前全球已铺设光缆近 3000 万 km，预计 15-20 年后，通信传输的铜

缆将完全被光缆所取代。因为 45kg 光纤就相当于 1000kg 铜线传输的信息量，而生产 45kg 光纤的能耗只有 1t 铜线的 5%。80 年代每只易拉罐重约 21g，至 1992 年每只已至 15.5g，去年全球生产易拉罐近 3000 亿只，按每只减轻 6g 计，与 80 年代相较，3000 亿只节省优质铝板就是 180 万 t，相当于减少 2000 万 t 标煤的消耗。因此积极开发材料生产的工艺技术，化粗厚重为精薄轻，亦是节能的重要途径。重视废旧金属回收并使之再生利用，可收到节约金属资源和能源的双重效果。以再生铝为例，生产 100 万 t 再生铝可节省铝土矿 610 万 t、碳素材料 60 万 t，而 1t 再生铝的能耗仅为原生铝的 5-6%。多年来，我们往往用极大的热情去开发新矿山，建设新工厂，探索采选冶新工艺，但对污染小、节能降耗十分显著的废旧金属的回收利用却关注不够。我们不重视废旧金属回收利用的研究开发，有关投入也少，再生的工艺技术与装备落后，也没有专门回收的机构和分门别类的科学管理。

实际上，节约有色金属消耗，对废旧金属的回收再生有合适的处理工艺，减少能源消耗，也是有色金属工业科技进步的体现。

当前我国大城市交通问题的原因、趋势与建议

周干峙

建设部

周干峙 建筑学和城市规划专家。生于 1930 年 6 月 28 日，1952 年清华大学建筑系毕业。建设部高级建筑师。1985 年后曾任建设部副部长，国际建筑师协会理事。现任清华大学教授，博士生导师，中国城市规划学会副理事长，1991 年当选为中国科学院院士。1994 年当选为中国工程院院士。主要曾从事西安、唐山、天津、深圳等大城市的总体规划。

城市交通问题是本世纪以来，工业发达国家一直为之困扰的问题。进入 80 年代以来，我国城市的经济贸易和社会活动日益繁忙，城市交通发生了前所未有的迅速增长，传统的道路交通设施已经不能适应现代社会的需要。当前，我国城市特别是大城市的交通问题极其严重，如果不能得到有效解决和根本治理，必将对我国经济的持续、快速、健康发展构成严重威胁。这是由于：

1. 大城市规模不断扩大

到 1994 年底，全国百万人以上大城市已发展到 32 个（1995 年为 34 个），人口达到 9053.8 万人，其中非农业人口达到 6820 万人。据抽样调查，城市人均出行次数，从 80 年代初每天 2 次多一点，提高到 90 年代初的 2.7 次（东京 1968 年 2.48 次，京阪神城市圈 1990 年 2.57 次，汉城 1991 年 2.21 次，亚特兰大 1972 年 2.49 次——根据国外有关资料）。再加上数目庞大的流动人口，城市的生产和生活强度增加，使城市内部客货运交通承受沉重的压力。

2. 大城市已经成为全国经济发展的重心

全国 32 个百万人以上大城市 7.6% 的城市人口占有 1/4 的国民收入，全国工业产值的 1/4 在大城市中，社会商品零售额的 1/4 通过大城市实现（根据《中国统计年鉴》数据整理），而实现这些人员流动和物资交换的主要载体是城市交通。

3. 大城市作为区域交通的枢纽作用日益明显

大城市交通在全国交通中占了很大比重。大城市负担着大量的客货运、换乘、换装、中转、集散任务，突出表现为出入交通和过境车辆的增加，严重地冲击着城市内部交通流通。全国 32 个百万人以上的大城市中，市区对外客运量占全国总客运量的 1/7，对外货运量占全国的 1/5（根据《中国统计年鉴》数据整理）。

实践告诉我们，城市交通特别是大城市交通，必须要有一个适应经济社会的大发展，当前，世界现代城市交通正进入以信息化为目标的新时期，一个包括道路建设、客货运体系和交通控制管理组成的快速、便捷、舒适、高效的公共交通系统，是衡量当前城市现代化水平的重要标志。提高现代化水平，既是城市交通发展的客观趋势，也是现代化建设的必由之路。那末怎样才能整治我国的城市交通紧张，逐步实现城市的交通现代化呢？我们首先必须弄清问题——特别是我国特有的问题——生成原因；制定适合国情的发展目标；然后，采取现实的瞻前顾后的有效对策。

一、当前大城市交通面临的主要问题和原因

1. 道路容量严重不足

长期以来，我国城市人均道路面积一直处于低水平状态，只是近十年方开始有较快发展，人均面积由 2.8m^2 上升到 6.6m^2 尽管增长幅度较快，仍赶不上城市交通量年均 20% 的增长速度。目前全国 32 个百万人以上的大城市中，有 27 个城市的人均道路面积低于全国平均水平。上海市人均道路面积只有 3.5m^2 ，致使中心区约有 50% 的车道上高峰小时饱和度达到 95%，全天饱和度超过 70%，这些路段终日繁忙，十分拥挤，有的路段持续堵塞 6.5 小时以上，中心区平均汽车行程车速每小时降到 10 公里左右。

为什么在道路建设不断上升的情况下，交通拥挤还如此严重？其直接原因是道路面积严重不足。首先，我国目前大城市的人均道路面积尚不及发达国家的 1/3。其次，我国大城市市区正处在从中心区向郊区化扩散过程中，近几年城市道路建设的增加，主要分布在新开发的市区和郊区，相对来讲，中心区的道路面积反而略有下降。再次，城市房地产开发集中于市中心地区，产生了过量的交通，造成道路超负荷运载。此外，我国城市中占用道路和人行道问题一直得不到有效解决，城市增加的道路面积，往往很快就被各种摊商、集贸市场和停车场相继侵占，使本来就严重短缺的道路面积更加紧张。

道路面积不足原本在于道路建设的滞后。这种滞后不仅使城市现有的道路功能变得混乱而低效，而且造成的时间浪费和行车成本损失是巨大的。有人测算，其直接经济损失要占国民生产总值的 1%，有的大城市可能达到所在城市国民生产总值的 10% 左右（资料来源于《上海市城市道路交通现代化研究报告》）。

2. 汽车增长速度过快

最近几年是大城市机动车增长速度最快的年份，轿车、客车、面包车以至于摩托车增幅年平均在 15% 以上。广州市近 10 多年来机动车每年增长速度为 17%，其中轿车 19%，摩托车 35%。汕头市近三年增长速度为 30%，仅 1993 年一年，比上年增长 39.2%，摩托车增长 90%。1994 年，全国汽车拥有量达 941.95 万辆，城市地区约占其一半。而且大城市增长势头还在上升，北京 1995 年末由于传言要收车辆增容费，仅 12 月份就卖出轿车 2 万辆，占全年销售量的 13%。

根据我国轿车增长分析，每当轿车拥有量年增长率超过 20% 时，必将引起当年以及随后几年城市交通恶化。80 年代以来，我国第一次超过 20% 的 1985（33.3%）、1986（42.3%）、1987（27.0%）连续三年，第二次是 1992（31.9%）、1993（55.6%）连续两年。这两次轿车增长也正是大城市交通最紧张的两个时段，远远超过正常年度道路建设的供给可能。我国现有城市路网一般都是密度低，功能混乱，干道间距过大，支路短缺，属于低速的交通系统，难以适应汽车交通的需要，实际上将会阻碍着汽车化在城市的实现。

3. 公共交通日趋萎缩

80 年代中期开始，大城市的公共汽车交通（含无轨电车）相继萎缩，从运营效率到经营管理，从服务水平到经济效益，出现了全面的衰退。1978-1995 年的 17 年间，全国公交车辆和线路长度分别增长了 2.5 倍和 2.8 倍，公交车

辆达到 0.62 辆/千人，但公交车辆的运营速度由每小时 12~14 公里下降到 5~10 公里，新增的运力被运输效率下降所抵消。90 年代初，公共汽车在居民出行交通结构中，多数大城市从原来 30% 下降到 10% 以下。其原因是“优先发展公共交通”的方针没有真正落实到实处，票价政策问题长期得不到解决。公交企业主要依靠政府补贴，运营效率不和经济挂钩，服务质量下降与企业生存无关，因而普遍处于亏损状态，1994 年亏损面达 70%，亏损补贴 35.5 亿人民币，仅北京、上海两市就达 16 亿人民币。公共汽车在整个城市交通中比重越来越缩小。

公共汽车交通的萎缩，加速了自行车的极度膨胀，反过来又影响城市交通拥挤的波及范围。至今，我国大城市公共交通几乎还全靠公共汽车一种方式，只有北京、上海、天津建有 65.5 公里的地铁线路，尚未形成以轨道交通为骨干的综合运输客运体系。出租汽车和小公共汽车容纳量有限，因此，一旦单一的公共汽车受到冲击，被转移出来的乘客便要寻找出路，最有吸引力的便是自行车。结果，使原本已经超量的自行车更趋于饱和。例如，天津市 80 年代公交与自行车负担客运量的比重为 19:81，到 90 年代初降为 10:90，郑州、石家庄公交出行量已不足自行车出行量的 10%。近年来，全国大城市自行车每户拥有量一直保持在 2 辆左右，城市近一半人靠自行车解决出行问题。

4. 交通管理技术水平低下

由于历史和认识方面的原因，我国在大城市中交通控制管理和交通安全的现代化设施很少。就北京与东京比较，两市都有一个交通管制中心，但北京交通控制中心控制的交叉口数只有东京的 3%，人行天桥是东京的 4.8%，地下人行道只是东京的 5%，每公里交通标志只有东京的 15%。北京在全国城市中交通管理设施算是最好的，其它城市更可见一斑。由于设施明显不足，管理疏漏不少，交通事故居高不下。北京近年来的交通事故死亡人数一直在每年 500 人左右，万车交通事故死亡率约 6 人，而日本东京为 1.9 人，美国和澳大利亚为 2.6 人，英国为 2.7 人（均为 1985 年数）。从停车场看，大城市中特别是中心区严重短缺停车设施，车辆大都停在道路和人行道上，加剧了拥挤堵塞和事故发生。此外，国际上正在研究并开始使用的信息化、智能化管理系统，在我国基本上还是空白。

5. 缺乏整体的交通发展战略

城市交通建设是一项系统工程，既要研究交通需求和供应的平衡，也要考虑土地和财力的可能，是一项决策性很强的工作。当前出现的城市交通问题中，其中一个重要原因是，缺乏科学的整体交通战略和规划，治理工作往往顾此失彼，前后失调，投入不小，而收益不大。

有一些大城市热衷于建设高标准的大型交通工程，出现了许多立交桥、高架路和城市环路，以为只有高标准的大型交通工程，才能一劳永逸地解决交通问题，实际上这种办法只能缓和暂时矛盾，拥挤问题不但没有解决，甚至诱发聚集更多的交通量，引起结构性的“负效应”。城市交通是一个动态的整体，仅靠几项大工程不可能解决交通问题。

另一个问题是长期忽视公共交通的发展。解决城市交通究竟主要靠谁？是个体交通还是公共交通，这是城市交通发展的战略问题。其实，公共交通是效率最高的交通方式，几乎所有国家和地区在经历了痛苦曲折之后，都鲜明地选择了优先发展公共交通的政策。我国城市用地紧张，人口密度高，适

宜于公共交通运输，所以国家早就制定了优先发展公共交通的政策。但因为种种原因，一直没有落实，城市交通疲于应付，导致了公共交通的萎缩。近年来，许多大城市又过分依赖于未来的地铁和轻轨交通，低估了公共汽车交通的作用，使公共交通进一步陷于困境。确定一个适合中国国情的城市交通结构至关重要，而公共电、汽车交通应是维持大城市客运交通的关键，至少到 21 世纪初叶是不可缺少的主要交通工具。

以上 5 个问题，反映了我国当前大城市交通的基本特点，概括起来是车多路少，现状道路已无多大潜力；车速下降，交通阻塞的趋势在逐渐恶化；公共交通发展步履艰难，汽车和摩托车增长势头强盛，给城市交通带来新的更高的质量要求。这些交通问题，又集中表现在大城市过度密集的市中心地区，而其深层原因，则是城市交通发展的目标和方向尚不明确，其相应的政策措施也不得力。

二、大城市交通发展的目标和方向

现阶段的城市交通问题是社会经济发展的必然结果，交通发展借助于改革开放的动力，就不能不带有先天性不足的滞后特点。但是，在今后的一段时间内，根据中央关于国民经济和社会发展“九五”计划和 2010 年远景目标，我国又将进入社会主义现代化建设的持续、稳定和快速发展时期。面对新时期，大城市的交通滞后，已经不是一个简单的增量配套问题，而是包含了城市布局 and 整体交通格局的质的变革，并以此反过来促进改革开放和社会经济的健康发展。

问题的核心是要实现城市交通现代化。城市交通现代化包括两个方面的内容：一是设施装备现代化，即城市交通设施技术水平要不断提高，既要发挥现有的实用技术，又要采用先进的科学新技术，谋取综合效益；二是交通战略现代化，即政策措施要不断完善，既要合理调整交通供需与交通方式的协调配合，又要提高城市路网在整个城市活动的运输效率。先进的设施是硬件前提，正确的战略是软件保证，两者相辅相成。

总体目标应该是，建设大城市现代化的多层次综合交通体系。所谓综合交通体系，主要包括：道路。具有与城市规划相结合的网络系统，其面积率（道路面积与城市总用地之比）一般达 20% 左右，设有快、慢分道（指专设人和自行车专用道路，与机动车分道行驶，形成两个互相分离、互相结合的道路系统），专用的快速汽车干道、商业区内步行道、公交优先行车道，以及足够的停车场地。还有与起迄相应的客货运枢纽设施，并设置必要的立交桥、高架路、人行天桥、地道以及轮渡等作为整个交通系统的组成部分。所有道桥设施都要和城市环境相协调，与城市设计相融合，并具有良好的工程标准。车辆。具有性能良好的私人车辆，经过专门设计的各种专用车辆，便捷的公共电、汽车、出租车，以及必要的轨道捷运系统，各种车辆形成互补的群体，并具备耗能少、废气少、噪音小的性能，有较高舒适度，有专用的停车点设施。管理。有严密的交通法规、客货运管理规则、交通设施管理规范。能自动监测车辆、路段状况，及时传输交通讯息，经综合处理，在点、线、面上制导车辆行驶。并有良好的照明、防滑、防治事故发生的安全设施，还要具有完备的道路交通标志以及停车管理设施。还有经常的宣传教育、合理的税费收取办法，以保持交通建设和管理的持续发展。

实现这个目标将是我国城市交通历史上一个转折点，其时，交通的具体形象将是：有一个适合中国国情的大城市交通结构，在城市的居民出行总量中，以全国平均水平来衡量，公共汽车交通占 25%-35%，轨道交通占 5%-10%，公用和私人小汽车占 10%-15%，其余 40%-60% 为自行车和步行。这个结构的特点是非机动化交通仍占相当比重，公共汽车将比现状增加 10-15 个百分点，小汽车和轨道交通几乎都是起步阶段，车辆绝对数有较大发展，应该指出的是少数特大城市中，小汽车和轨道交通的比重将超过上述比例。实现多层次的网络体系，既有汽车化的快速交通系统，又有自行车行驶的慢速交通系统，大部分地区实施机动车与非机动车分流。积极发展快速轨道交通，有一批大城市拥有轨道交通并投入客流运输。发挥科学管理的作用，提高道路网的通行能力。扩大高等级路面比重，让私人小汽车逐步进入大城市家庭。

以上目标在实施上可以先分两阶段进行：第一阶段到本世纪末，要求初步建成与经济发展和城市发展相适应的常规道路网布局，拓展空间，打下基础；同时加强与恢复公共汽车交通运输活力，适当发展其它公共客运交通，大力加强交通运输管理，初步缓解大城市存在的交通阻塞。第二阶段从 2001 年到 2010 年，从根本上改善城市交通网络布局的质量，发展特大城市轨道交通建设和立体交通建设，发挥公共汽车交通的主体作用，建立城市交通信息控制和诱导体系，力求交通量总供需关系保持基本平衡。此后，随着城市现代化的迅速发展，到下世纪中叶，我国的大城市交通才全面地进入现代化的高效快速的交通时期。

三、几点措施建议

1. 加强城市政府对交通的统一领导，建立大城市的交通委员会

现在的大城市交通涉及城市的所有部门，特别是随着城市发展和土地转让制出现，给城市交通建设增加了许多外部制约条件。只有大家重视城市交通，把问题综合起来，动员各方面力量共同解决问题，才能搞好城市的现代化交通建设。因此，解决城市交通问题必须实行“综合互济、协同集成”的方针，保持我国城市交通发展与经济发展相辅相成的势头。

关键是要加强大城市政府的集中领导，在中央统一政令的前提下，由市政府建立有效的城市交通行业管理体系。当前，由于管理分散，体系内部不衔接，亟须建立高层次的决策机构——城市交通委员会，统一制定城市交通发展战略，集中管理和指导城市交通建设，统筹集资、融资和体制改革工作，把现有城市交通管理机构与城市财政、计划、物价、土地、税务等部门的职能与职责协调好，保证重大交通决策得以实施。

2. 增加路网密度，提高交通建设决策水平

我国城市交通基础设施“欠账”过多，道路现状水平很低，功能混乱，已无法满足经济高速增长带来的交通需求，因此，在科学规划指导下，加快城市主、次干道和快速路建设，合理安排立交桥、人行过街设施、停车场和自行车道建设。在旧城改造中，应尽量不建占地过大的大型立交桥和拆迁过量的高架路，要加强路口渠化，打通堵头和改造“瓶颈”地段，改善道路功能结构。提倡机动车与非机动车分路行驶，有条件的地区，可改变现有“三块板”的道路断面布置，建设非机动车专用道路，完善系统建设，注意节省

用地，反对盲目追求高标准，才能节约交通总成本，提高交通建设总效益。

3. 疏解大城市中心区人口，调整城市土地使用功能

城市人口密度过密必须疏解，这是解决城市交通问题的一项“釜底抽薪”的办法，也是改善城市环境、保持城市可持续发展的根本措施。由于大城市交通矛盾集中在城市中心区，首先要利用土地级差效应，把市中心区的工厂、仓库以及不适宜市中心功能的用地，迁到城市外围地区，适当分散城市的活动，从交通总量上寻找新的平衡。改造中心区必须符合城市总体规划的要求，要有助于城市交通的发展，还要为城市发展第三产业、提高经济效益创造有利条件，不能因为单纯追求土地效益而超量增加建筑面积和人口密度，加剧交通恶性循环。

4. 落实优先发展公交的政策，调整过低的公交标价，优化公交运行条件

长期以来，大城市实行低于成本的低票价政策，本意是维护社会安定和方便居民，各届城市政府从其自身政绩考虑，也不愿意轻易触动价格调整。结果，企业因票价问题自身得不到发展，乘客因票价问题得不到交通服务，不得已而再花更多的钱去乘其他交通工具，结果车越多，路更挤，市民更有意见，完全与低票价政策的初衷相悖。因此，要落实优先发展公交政策，首先要调整公共交通价格和改进定额补贴，逐步做到微利保本，在低成本前提下提供最大服务，对有效缓解交通紧张起到重要作用。

当前，由于现状道路结构和路网布局等原因，实行公交优先运行有一定难度，但必须创造条件，采取各种有效措施，给予公交方便行驶。对于有条件的城市道路，应设置公共交通专用线或专门行驶公交的道路，即使在没有条件的情况下，也应该实施相应的交通优惠办法，如单向通行道路上可以双向公交通行，某些禁左交叉口可以不受限制，以及划定的区域内不准非公交车辆停车等。事实上，优先发展公交还包括线路开设、准点运营和提高舒适度等等，目的是为方便乘客。保证正常运营，提高城市交通整体效益。

5. 采取交通限制措施，适应私人小汽车的需要，车和路的发展相互协调

私人小汽车进入家庭是时代发展趋势，但也不可能很快普及。城市交通作为一项社会公益性事业，应该从积极方面作好思想和物质准备，适应汽车增长的新趋势。但是，发展私人小汽车毕竟不是解决大城市交通拥挤的根本出路，城市交通现代化并不等于就是小汽车普及化。据估算，在城市中每增加 1 万辆小汽车，要占用 30 万 m^2 的城市道路和停车场用地，而且每天要排放 60 多吨的有害废气物。看来，小汽车多了必然会加重大城市的土地、环境、能源和经济负担，也无助于交通问题的解决。

对私人小轿车的发展，必须把握好“车”与“行”及其“停”三方面条件的协调发展，主要是加强交通需求控制和管理，城市可以根据自身的道路容量制定总量控制或地区控制措施。所以要做好宏观交通监测分析工作，及时采取调控手段，特别是在市中心地区，限制小汽车通过量。日本规定大城市小汽车交通控制在总交通量的 25% 以内，西欧诸国均控制在 40% 左右，像这样的宏观控制措施，在各大城市的交通战略中应有所规定。同时，要进一步完善已出台的财政税收改革措施，增设小汽车使用道路成本费或使用税，运用经济杠杆发挥宏观控制作用。此外，摩托车属于机动车管理范畴，鉴于它造成的环境污染和交通事故比小汽车还严重，大城市必须实行严格限制的政策。

6. 加强经济可行性研究，重点发展特大城市的轨道交通

我国大城市轨道交通是必须发展的，但目前的造价太高，特别是建设地铁，超过一般城市经济承担能力。而且今后的交通建设不可能是一种政府性的供给型系统，必须在一个开放性的社会集资型系统下完成。因此，建设轨道交通一定要遵循市场经济的运行规律，加强经济可行性研究。这种经济研究，不只是一般投资预算分析，而是以资本、土地、财务、效益等要素的供求变化为特征，实事求是地预测客运需求量，在经济规模的原则下，最后确定选择地铁、轻轨或其它类型轨道交通工具。在目前，更应该把重点发展放在人口 300 万（指建成区）以上的特大城市（如北京、上海、广州等城市），因为这些大城市用地面积在 200km² 以上，城市形态高度集中在市中心区，交通密集程度高，现在客运量已经达到或超过轨道交通所规定的运能限量，经济上又具有相当的回报能力。至于其它人口 300 万以下的大城市，必须采取逐步实施的办法，先要创造条件，做好准备工作，目前主要是加强前期研究，在城市总体规划中解决轨道交通建设的必要性和可能性，选择哪种技术方案等，至于何时开始建设，都要通过科学论证。从全国来看，应该按照远期发展的总目标，根据各个城市的实际需要与可能，进行宏观控制，一批一批地分阶段组织建设。国外对于地铁和轻轨建设项目，无不经过多年研究，很少轻举妄动。

7. 广开渠道，多种形式解决资金来源

我国城市交通建设需要的投资数额很大，除了国家和城市政府拨款以外，更期望依靠国家给予政策支持。广开渠道多方集资，已被实践证明是可行和有效的办法。为此，从总体上考虑，首先是要加大投资比重。据联合国社会发展署调查认为，经济发展中国家城市基础设施投资应占国民生产总值的 3%-5% 为合适，若按我国以往几年投资比重折算，城市道路交通应占 1%-2%，但实际上最高年 1993 年也只有 0.6%，1994 年降为 0.46%。建议我国的城市交通建设年度投资占国民生产总值的比重以不低于 1% 为宜。

其次，应该着重于城市投资体制的改革，关系到城市交通的重大项目，要制定相应的集资对策，并在利用外资方面实行优惠。世界上许多国家采用从销售汽油费中附加一定比例（1%-3%）作为修建道路的税制，这是一种合理的办法，我国海南省已经开始实行这种办法，反应很好，建议在全国推广实施。现在许多城市都在试行“以路带房，以房养路”的开发政策，通过城市土地转让，房地产开发收益用于基础设施建设，使城市综合开发和道路交通同步发展。这些办法虽处于初步实施阶段，但已经积累了经验，完全有可能在谨慎操作的基础上逐步完善。

再之，允许大城市因地制宜实行市政设施的配套收费政策，专用于道路交通的发展，也有利于地方财政的补充。

8. 加强科学技术研究力度，提高全民交通意识

必须抓好以下六个方面的工作。一是花大力气加强城市交通的科学研究，重视交通经济政策和高新技术的开发，探索新一代捷运交通工具、个体交通工具和智能化交通管理的研究，用较少的投入换取较高的建设效益。二是国家要制定有关的技术条例和法规，加强职业培训和人才培养，推行交通工程和交通规划专业人员资格认证制度，以提高城市交通的规划、设计、建设和管理的水平。三是成立国家级的城市交通工程技术研究中心，组织城市交通基础理论的研究和应用技术的研究推广。四是组建全国的城市交通专家技术委员会，负责引导全国城市交通技术科学的健康发展，并对重大城市交

通建设项目进行咨询和技术审查。五是把各大城市的远期交通规划和近期综合交通治理规划纳入城市总体规划，今后，计划部门在安排城市交通建设项目时，必须符合城市交通规划的意向和要求。六是将城市交通教育融合到小学义务教育中，加强对城市各行业职工的交通知识和安全教育，提高全民交通意识，依靠城市的全体市民共同管理好城市交通。

洁净煤技术的发展与展望

范维唐

煤炭工业部

范维唐 矿山压力及开采机械化专家。1935年7月18日生于北京。1956年毕业于北京钢铁学院。1963年获前苏联科学技术(莫斯科矿业学院)副博士学位。历任煤炭科学研究总院总工程师、副院长、院长,煤炭工业部总工程师兼技术咨询委员会主任,中国统配煤矿总公司总工程师、副总经理,煤炭工业部副部长。曾任中国煤炭学会理事长,中国科协工程学会联合会主席,世界采矿大会副主席。1994年被选聘为首批中国工程院院士。主要从事研究及主持综合机械化技术攻关等。

中国有丰富的煤炭资源和悠久的开采历史;

当前煤炭在我国一次能源的生产和消费中占75%以上,是我国的主要能源;

煤炭在开发利用中严重地污染了赖以生存的环境,带来严重的社会经济后果。

为实现中国能源工业的可持续发展,摆在我们面前的一个紧迫问题是煤炭产生的污染能不能显著减少?煤炭也能成为洁净的燃料吗?答案是能,靠洁净煤技术。

一、洁净煤技术的由来

环境和资源是人类生存和发展的基本条件。能源作为基本资源对社会、经济的发展和人民生活水平的提高具有极其重要的作用,是人们每日每时不可或缺的。历史发展表明,自产业革命以来,世界范围内,作为矿物燃料的煤炭逐渐取代人力、畜力和生物质能等可再生能源,成为主要能源。到本世纪中叶,由于石油、天然气是更洁净、更高效、更方便的能源,并具有经济上的竞争性,又逐渐取代煤炭成为世界范围内的主要能源。对当今世界而言,矿物燃料提供世界91%的一次商品能源,其中煤炭占28%,石油超过40%。在亚澳地区能源消费结构中,矿物燃料占93.5%,其中煤炭占48.3%,石油占37.3%,天然气占7.9%。

煤炭在能源结构中的重要地位是由资源条件决定的,在世界范围内,煤炭资源相对于其它化石能源要丰富得多。

中国一次商品能源以煤为主。煤炭提供了75%的工业燃料、76%的发电能源、80%的民用商品能源和60%的化工原料。在一次能源探明储量中煤炭占90%。可见,在相当长的时期内,煤炭在中国一次能源结构中占据不可替代的重要地位。

毋庸讳言,传统的煤炭开发和利用技术以及不加限制的消耗矿物能源确实极大地污染了人类赖以生存的环境,诱发温室效应、酸雨,引起疾病、农业减产甚至带来更加严重的经济、社会问题。中国煤炭84%用于燃烧,目前居主导地位的、相对落后的燃烧方式对大气造成了严重的污染。全国SO₂和烟尘的80%为燃煤产生;同时在煤炭开采中造成地面塌陷、污染和流失了大

量的地下水、向大气排放 CH_4 等。为了解决出现的问题，出路就在发展洁净煤技术。

洁净煤（英文 Clean Coal）一词是 80 年代初期美国和加拿大关于解决两国边境酸雨问题谈判的特使德鲁·刘易斯（Drew Lewis，美国）和威廉姆·戴维斯（William Davis，加拿大）提出的。洁净煤技术（英文 Clean Coal Technology，简称为 CCT）的含义是：旨在减少污染和提高效率的煤炭加工、燃烧、转化和污染控制新技术的总称。

1986 年 3 月美国率先推出“洁净煤技术示范计划（CCTP）”，到 1994 年 9 月已进行五轮竞争性项目征集。共优选出 45 个商业性示范项目，项目总投资 71.4 亿美元。投资由政府和企业共同承担（政府资助比例平均约为 35% 左右）。

欧共体推出的未来能源计划的主旨是促进欧洲能源利用新技术的开发，减少对石油的依赖和煤炭利用造成的环境污染。欧共体能源研究、技术开发示范（RTD）计划行动主要涉及下列领域：改善能源转换利用；可再生能源；核安全；核聚变。目前在改善能源转换和利用的研究开发中优先考虑的是减少污染排放及提高能源转换和利用效率。正在研究开发的项目有煤气化联合循环发电；煤与生物质及工业、城市或农业废弃物联合气化（或燃烧）；固体燃料气化燃料电池联合循环；循环流化床燃烧技术等。

主要目标是使燃煤发电更加高效、洁净，减少 CO_2 和其它温室气体排放。

日本长期以来一直以石油为主要一次能源，但消费的石油全部依靠进口。为摆脱对石油的过分依赖，近年来日本开始较大幅度地增加煤炭的消费量，将以煤代油作为日本能源的基本政策之一。但是，日本的环保要求十分严格，增加煤炭消费量的关键是控制燃煤污染。因此，日本在 1992 年制定的第 9 次煤炭政策中规定，洁净煤技术是日本煤炭科研的重点。1995 年在新能源综合开发机构（NEDO）内组建了一个“洁净煤技术中心”，专门负责开发下个世纪的煤炭利用技术。其目标是在下个世纪大幅度提高燃煤发电的比重，又不使排污超标。日本的洁净煤技术开发从内容上分为两部分：

一是提高热效率，降低废气排放。如流化床燃烧、煤气化联合循环发电及煤气化燃料电池联合发电技术等。

二是进行煤炭燃烧前后净化，包括燃前处理、燃烧过程中及燃后烟道气的脱硫脱氮、煤炭的有效利用等。

中国是煤炭生产和消费大国。多年来围绕提高煤炭开发利用效率，减轻燃煤引发的环境污染，开展了大量的研究开发和推广工作，具有一定的基础。但总体上起点较低，与发达国家相比有明显的差距。

随着国家宏观发展战略的转变，洁净煤技术做为实现可持续发展和实现两个根本转变的战略措施之一得到党、政府和有关部门的高度重视，洁净煤技术在中国出现强劲的发展势头。人类社会的发展模式正面临着根本性的转变，靠牺牲资源和环境、通过高消耗和先污染后治理来追求经济数量增长的传统发展模式，已导致当今世界面临着各式各样的环境威胁，使人类在逐渐滑向环境灾难的境地。因此，应以可持续发展模式代替传统的发展模式，将人口、资源、环境与发展协调起来，从而做到既满足当代人的需要，又不损害子孙后代满足其自身需要的能力。

未来能源应以可再生能源为基础，生物能、太阳能、水能、风能、地热能、海洋能及开发中的可控核聚变能等新能源。但以化石能为主的能源格局

相当时期内不会改变。据某些国外能源专家预测，在世界范围内煤炭还有可能再次成为主要一次能源。因此，发展洁净煤技术正是在通往未来能源的过渡时期内切实有效的现实选择。

二、中国洁净煤技术的主要特点和基本框架

（一）背景

中国一次能源以煤为主的格局相当时期内不会改变；

中国煤炭地域分布不均衡（资源集中在中西部和北部，主要用户在东部和南部）；

煤炭开采对环境的影响不容忽视；

中国高灰高硫煤占相当比重，难选煤多，而目前原煤入选率低，仅 22%；

中国煤炭消费呈多元化格局（发电占 32%，其它工业超过 40%，民用 18%）；

中国能源利用效率低，平均为 30%。

（二）特点

中国煤炭消费量大，入选比重低，能源利用效率低，单位能耗产生的污染大等因素，决定了开发和应用洁净煤技术的紧迫性。中国是一个发展中的国家，国力有限，中国洁净煤技术的特点可以概括为：

1. 发展是前提，应注重经济与环境协调发展，重点放在社会效益、环境效益与经济效益明显的实用而可靠的先进技术。

2. 发展洁净煤技术应覆盖煤炭开发与利用的全过程。

3. 针对多终端用户，重点是电厂、工业炉窑和民用三个领域；并应把矿区环境污染治理放在重要的位置。

（三）中国洁净煤技术的基本框架

中国洁净煤技术是指在煤炭开发和利用中旨在减少污染和提高效率的加工、燃烧、转化和污染控制等新技术的总称。其核心是提高效率和减少污染，从而使煤炭成为洁净、高效、可靠的能源。

中国洁净煤技术是以煤炭洗选为源头、以煤炭气化为先导、以煤炭高效、洁净燃烧与发电为核心、以煤炭转化和污染控制为重要内容的技术体系。其基本框架为：煤炭加工（选煤、型煤、水煤浆等）；煤炭燃烧（流化床锅炉、高效低污染粉煤燃烧、燃煤联合循环发电等）；煤炭转化（气化、液化、燃料电池等）；污染控制（烟气脱硫、粉煤灰综合利用、煤矿区污染控制，包括煤矸石、煤层气、矿井水与煤泥水的治理等）。

煤炭加工是指在原煤投入使用之前，以物理方法为主对其进行加工，这是合理用煤的前提和减少燃煤污染的最经济的途径。主要包括煤炭洗选、型煤、水煤浆制备。常规的物理选煤可除去煤中的 60% 的灰分和 50%-70% 的黄铁矿硫。型煤是具有发展中国家特点的洁净煤技术，与烧散煤相比，可节煤 20%-30%。水煤浆是新型的煤代油燃料，一般 1.8-2.1t 水煤浆可代替 1t 重油。

煤炭高效、洁净燃烧是洁净煤技术的核心，因为中国 80% 以上的煤炭直接用于燃烧。循环流化床锅炉，适应煤种广，燃烧效率高，且易于实施床内脱硫。高效低污染粉煤燃烧以稳燃、高效、低污染和防结渣作为开发燃煤技术与燃烧器的目标。燃煤联合循环发电包括煤气化联合循环发电（IGCC）和

直接燃煤联合循环发电 (PFBC-CC 等) 是 70 年代开始研究发展的洁净发电技术。

煤炭转化是指以化学方法为主将煤炭转化为洁净的燃料或化工产品, 包括煤炭气化、煤炭液化和燃料电池。煤炭转化以气化为先导, 以碳-化工为重点, 走燃料化工和煤深加工的技术路线。作为化工原料, 煤化工在芳烃生产方面有石油化工和天然气化工所不具备的优势。煤炭气化包括完全气化、温和气化 (低温热解) 和地下气化: 煤炭液化分为直接 (加氢) 液化和间接 (先气化) 液化。

燃料电池是直接将燃料的化学能转化为电能的技术, 目前国际上已经开发出数种不同类型的燃料电池, 主要用于航天器的动力, 使用的主要燃料为氢气和甲烷气。近年来, 美国等西方国家正积极开发使用天然气的商业化电站 (2MW 级)。同时能燃用煤制气的燃料电池技术也正在开发中, 美国和日本已经分别进行了 20KW 和 25KW 此种电池的试运转。

我国在燃料电池研究方面也做了一些工作, 但尚处于起步阶段。

污染排放控制与废弃物处理: 从我国的实际出发, “九五”国家环保规划把工业污染防治作为环保工作的重点。工业污染防治要提高水平, 逐步从生产末端治理转到源头和生产全过程的控制, 把分散治理与集中控制结合起来, 把浓度控制与总量控制结合起来, 并把燃煤所造成的污染放在突出位置。因此, 对煤炭开发利用中产生的污染和废弃物进行控制和处理是实现国家环保目标使煤炭成为高效、洁净、可靠能源的重要环节。

三、洁净煤技术的几个领域介绍

(一) 以煤炭洗选为源头的煤炭加工技术, 主要包括煤炭洗选、型煤、配煤和水煤浆技术

1. 煤炭洗选技术

(1) 传统的选煤技术

传统的选煤技术主要有跳汰选、重介选和浮选。

跳汰选是在垂直脉动水流的作用下, 使原煤按密度分层。适宜于易选和中等可选性煤, 有效分选粒度 150-0.3mm, 分选效率 90%-95%。目前中国经跳汰选的煤量占选煤总量的 59%。

重介选是将原煤置于密度大于水的介质中, 小于该介质密度的煤浮起, 而大于该介质密度的矸石下沉。重介分选效率高, 适于难选煤和极难选煤。用于分选末煤的重介旋流器是用磁铁矿粉做悬浮液, 并利用离心力强化重介分选。目前重介选约占 23%。

浮选是利用煤和成灰物表面对水的润湿性的差别对细粒级煤 (<0.5mm) 进行分选。向煤泥中加浮选药剂后形成一定浓度的煤浆, 经充气后产生气泡, 煤粒向气泡粘附浮起, 而矸石则留在浆液中, 因而可回收优质细粒精煤。目前中国经浮选的煤量占选煤总量的 14%。

(2) 有发展前景的几种新型选煤技术

微细磁铁矿粉重介旋流器法: 旋流器直径小 (50mm), 介质粒度小 (<11 微米), 入选粒度小 (140-200 目), 可有效地脱灰和脱硫, 有效分选粒度达 30 μ m。

油团聚法: 煤浆加油, 使煤选择性团聚, 成灰物留在悬浮物中。

选择性絮凝法：煤浆加絮凝剂和分散剂，使煤絮凝沉淀，矸石留在矿浆中。

浮选柱法：立式充气式浮选机，煤浆与气泡逆向流动，可实现粉煤的降灰脱硫，被认为是制备超纯精煤最实用的设备。

空气重介流化床选煤：气-固悬浮体做分选介质（磁铁矿粉、磁珠和石英砂通过与气体接触变成一定密度的似流体），其分选效率与湿法重介相当。

高压静电选煤技术：利用煤和磁铁矿及其它成灰矿物导电率差别，把成灰物和硫铁矿从可燃物中分离出来，这是一种能有效分选细煤的干法分选。

煤炭经洗选可显著提高燃烧效率，大大减少污染物排放。

2. 型煤技术

型煤是将粉煤或低品位煤加工制成一定强度和形状的煤制品的技术。型煤技术不是简单地将粉煤压制成型，而是使其改质改性，使本来不适于使用的粉煤煤泥达到工业用煤的标准，是具有浓厚的发展中国家特点的洁净煤技术。

型煤分为民用型煤和工业型煤。民用型煤与散煤相比，一般可节省 20% -30%，烟尘和 SO₂ 减少 40-60%，CO 减少 80%。工业炉窑燃烧型煤比燃原煤可节煤 15%，烟尘减少 50-60%，SO₂ 减少 40%-50%。

目前我国城镇和农村居民生活用煤炭量在 1.3 亿吨左右，其中城镇居民生活用煤约 1 亿吨。我国城镇居民生活用煤的型煤普及率约为 30%-50%，而农村则几乎全部为烧散煤。我国目前有工业锅炉 40 多万台，工业窑炉 16 万多台，年耗煤约 4 亿吨，按设计要求均需供应块煤或型煤，但实际上块煤供应不足。型煤（工业燃料型煤）还在起步阶段，年产量不超过 1000 万吨。同时，我国化肥、冶金、建材、机械、玻璃、陶瓷等行业大量使用的煤气发生炉年需块煤 4000 多万吨，实际年供应量仅 2200 多万吨，缺口也很大。

随着机械化程度的提高，我国块煤的生产比例越来越小，粉煤的比例越来越大，最高可到 80% 以上。因此，发展型煤以替代块煤，不仅有广阔的市场需求，可以提高燃用效率，减少污染气体排放，而且还可以充分利用大量粉煤和煤泥，减少它们本身对环境的污染。

我国的工业和民用型煤开发已经形成了具有我国特点的粘结剂、低压集中成型工艺和集中配料炉前成型工艺，其中民用型煤技术已经达到先进水平，但需普及推广；工业型煤的技术相对落后，需进一步完善提高。

3. 配煤技术

“配煤”就是根据用户对煤质的要求，将若干种不同种类、不同性质的煤按照一定比例掺配加工而成的混合煤。它虽具有单煤的某些特征，但其综合性能已有所改变，它实际上是人为加工的一个新“煤种”。

配煤的基本原理就是利用各种煤在性质上的差异，相互“取长补短”，最终使配出的混合煤在综合性能上达到“最佳状态”，以满足用户的要求。

配煤生产线的工艺流程一般包括：原料煤收卸、按品种堆放、分品种化验并计算配比、原料煤取料输送、筛分破碎、混合掺配、抽样检测、仓储或外运等。

4. 水煤浆

水煤浆是 70 年代国际石油危机时兴起的新型煤基液体燃料，它是把洗选后的低灰分精煤加工研磨成微细煤粉，按煤约 70%，水约 30% 的比例和适量（约 1.0%）的化学添加剂配制而成的一种液体洁净燃料。

水煤浆的加工过程是将原煤经过洗选、破碎成小于 300 微米的微细颗粒，配以适量的化学添加剂（包括分散剂、稳定剂），并经过搅拌等工艺制成的浆体具有良好的流动性和稳定性，能保持 3-6 个月不发生沉淀现象。

水煤浆是一种良好的煤基液体燃料，一般灰分低于 8%，含硫量低，燃烧效率高， SO_2 、 NO_x 排放低于燃油和散煤。它又能像原油一样具有良好的流动性和稳定性，可以泵送，易储运，有着代油、节能、环保等多种效益，受到世界各国工业界的高度重视。

水煤浆作为一种以煤代油的新型燃料，许多国家基于长期的能源战略考虑将其作为以煤代油燃料的技术储备，进行研究开发和试验，并少量用于商业化使用。日本、俄罗斯、瑞典、意大利、美国、法国等已建成不同规模的制浆厂，其中最大生产能力的厂为 500 万吨/年，电厂最大应用规模为 60 万 KW。

目前全国年产煤泥约 1000 多万吨，严重污染矿区环境。随着选煤厂的大量发展，煤泥排放日趋增加，预计到 2000 年将超过 2000 万吨，因此利用高中灰煤泥制浆就地燃用是解决煤泥出路的有效途径，具有明显的经济效益和环境效益。

我国经过“六五”以来的研究和技术引进，在水煤浆的制备运输和燃烧方面取得了很多成果。但技术上尚存在一定问题，使得水煤浆在大型锅炉上还未能达到工业应用的水平。

（二）以气化、液化为主要内容的煤炭转化技术

1. 煤炭气化技术

煤气化就是以煤为原料，以空气或氧气和蒸汽为气化介质，在一定的高温下，与煤中的可燃物质（碳、氢等）发生反应，经过不完全的氧化过程，使煤转化成为含有一氧化碳（CO）、氢（ H_2 ）和甲烷（ CH_4 ）等可燃成份的混合气体——称为煤气。

从广义上说，由煤制取煤气，一般有三种方法：煤的完全气化（产品以煤气为主），煤的温和气化（或称低温干馏，产品以半焦为主），煤的高温干馏（产品以焦炭为主）。

煤气化技术，经过近两个世纪以来的发展，方法众多，不胜枚举。煤气化分类方法也各不相同。按入炉煤的块度而分，有块煤气化、细粒煤气化和粉煤气化；依气化介质来分，有空气气化、蒸汽-空气气化、蒸汽-氧气气化；按气化过程的阶段性分，有单段、双段或多段气化；按过程的操作压力分，有常压气化、加压气化等等。但比较普遍而合理的是采用按煤在气化炉内的过程状态来分，即分为：固定床气化、沸腾床气化、气流床气化和熔渣床气化等。

因煤气化方法不同，所得煤气组成亦不同。就用途来说，有如下三类煤气：

发生炉煤气（燃气）——通常都用作冶金工业中的平炉炼钢、锻造、轧钢及耐火砖窑等的燃料气，也用作机械、建筑、纺织工业等部门的燃料气。

水煤气（原料气）——供化工部门作合成氨、甲醇、合成汽油等的原料气。

城市煤气主要为城市居民作燃气用。

2. 煤炭液化技术

煤炭液化技术是将固体煤在适宜的反应条件下转化为洁净的液体燃料。

工艺上可分为直接液化、间接液化（先气化再合成）和煤油共炼。从二次大战期间德国用煤液化生产汽油、柴油到 70 年代两次石油危机后的煤炭液化研究重新兴起，这一技术已日趋成熟。

直接液化：煤直接液化是通过高压加氢改变煤的分子结构，再经提质加工，获得液体燃料。

煤炭液化原理就是在高温高压下打断煤大分子中的桥键，再通过加氢，改变分子结构，增加 H/C 比。

煤直接液化技术已基本成熟，二战期间德国建有 400 万吨/年煤直接液化生产厂，反应温度 470℃，反应压力 70MPa；近年的发展主要是降低反应的苛刻度，将反应压力降至 20-30MPa，已完成 150-600t/d 中间试验。由于世界石油价格较低，煤直接液化在经济上缺乏竞争能力，但美、德、日等发达国家一直把它作为战略储备项目，不断投入力量研究改进。

我国从 80 年代初重新开展煤直接液化技术研究。煤炭科学研究总院通过科技攻关和国际合作已建成 0.1t/d、0.12t/d 煤炭液化装置三套；完成了中国煤液化特性评价和最佳工艺条件试验；在 0.02t/d 装置上，生产出了合格的汽、柴油和航空燃料产品；在催化剂的筛选和研制上也取得了很好的进展。

经过试验评价初步确定我国适于直接液化的煤炭资源十分丰富。估计在我国富煤贫油、煤价低、油价高的地区，建设示范性液化厂在经济上是可行的。

间接液化是煤先经过气化制成 CO 和 H₂，然后进一步合成得到烃类或含氧液化燃料。其特点是煤种适应性较广，可生产多种化工产品，但液化成本相对较高。

二战期间德国曾用此法生产液化燃料，二战后停产。南非由于其特殊国际环境，一直应用 F-T 法生产液化燃料，年产量达到 500 万吨。80 年代初，中科院、化工部等开展了这方面的研究开发工作。中科院开发的 MFT 法主要产品集中在高附加值的硬蜡、高辛烷值汽油和部分甲烷化的洁净煤气，实现了产品优化。这一技术已在山西晋城完成了 2000 吨/年工业性试验。此外，化工部也在专用燃料添加剂方面做了不少有成效的工作。

煤油共炼和煤、油与废塑料等共炼技术是煤直接液化派生出来的新工艺。它是把石油渣油（及废塑料等有机废物）与煤一起加氢裂解，因煤与渣油的协同效应而使油收率显著提高。这项工艺还为处理城市的“白色污染”提供了可行的途径。

（三）污染排放控制和废弃物处理技术

1. 烟气净化

燃煤锅炉排放的烟尘、二氧化硫、氮氧化物是空气污染的主要原因。我国是燃煤大国，发电用煤的平均含硫量为 1.15%，由于排放标准要求低，加上治理资金缺乏，治理手段比较落后，致使燃煤引起的环境污染相当严重，与发达国家的差距较大。

粉尘：发达国家大型燃煤锅炉都配备高效电除尘器或多室的布袋除尘器，除尘效率高于 99.9%，实际排放浓度都低于标准要求，一般为 50mg/Nm³（N 表示标准）。我国由于受资金不足的制约，加之国产除尘设备运行不稳定，控制性能差，实际排放浓度往往高于现有标准 400mg/Nm³。

二氧化硫：发达国家大型燃煤锅炉几乎都配备效率 95% 以上的湿法脱硫设备，中小锅炉也采取了经济可行的脱硫措施，包括炉内喷钙及增湿活化脱

硫工艺。由于脱硫设备和运行费用昂贵，企业难以承受。因此燃煤锅炉的二氧化硫排放基本处于失控状态。

氮氧化物：发达国家目前主要采取在大型燃煤锅炉上安装低氮燃烧器，使氮氧化物排放降低 40%左右。环保标准严格的日本和德国还要求装设烟气脱氮装置。

我国目前仅在新建 300MW 及以上锅炉装有低氮燃烧器，大量 300MW 以下锅炉氮氧化物无法控制。

2. 废弃物处理

主要包括对煤炭开采和利用过程中所产生的矸石、煤层甲烷、煤泥、矿井水及燃煤电站所产生的粉煤灰等进行处理。这些污染物的大量排放既污染环境，又造成了资源的浪费。

国外对煤矸石的处理有比较健全的法规和管理办法，基本实现了无害化处理。主要用途是回填采空、作为建筑工程填料、筑路造地、回收有用成份及作燃料、建筑材料和改良土壤等用。我国矿区现已积存煤矸石约 30 亿吨，且每年新增的排放量还在 1.5-2 亿吨，主要利用途径是发电、生产水泥和烧砖，但利用总量较少。

煤层甲烷（又称煤层瓦斯或煤层气）与煤共生，开采煤炭时从煤体内溢出。它是一种优质能源，但同时又是煤炭开采的一种主要灾害，其大量排空对全球环境变化（温室效应）有较大影响。目前世界上主要产煤国对煤层甲烷的资源化开发利用程度较高，主要方法是地面钻井开采。美国 1993 煤层气的产气井有 5000 余口，产气量达到 207 亿立方米。我国煤层气的开发利用程度还很低，主要是采取井巷抽放，但气体利用价值低，地面开采尚处于探索研究阶段，正在开展示范工程并与国外进行合作勘探。

粉煤灰是燃煤电站排出的固体废弃物，欧美发达国家的大型电厂已将烟气净化、灰渣干排、干灰调湿等纳入电厂规划，达到既清洁发电又使粉煤灰资源化，粉煤灰被大量应用于筑路、生产水泥和优质混凝土、制砖及其它建材，并将粉煤灰大量用于建筑高速公路。

1992 年我国的粉煤灰积存量已达近 6 亿吨，每年新增的排放量约 1 亿吨，只有少数电厂能做到灰渣排放与利用平衡。但近来由于大型电厂均采用电除尘设备，并在有条件的地方采用干出灰、灰渣分排、粗细分排、干灰调湿等设计方案，为粉煤灰的综合利用创造了条件。

3. 矿井水净化技术

我国煤矿大量矿井水外排与矿区严重缺水局面并存，每年外排约 2.2Gt，我国有约 70%的矿区缺水甚至严重缺水，随着煤矿城市社会、经济的迅速发展，煤炭基地的战略西移，水资源的供需矛盾将日趋紧张。许多矿井水含有大量悬浮物及少量有害元素。因此，最大限度地处理和净化矿井水，使之资源化，对减少矿区环境污染、缓解干旱缺水地区用水紧张情况起到积极作用。

目前，主要的矿井水处理方法有混凝沉淀法、电渗析法、反渗透法和中和法。

混凝沉淀法主要用于处理含悬浮物矿井水；电渗析法和反渗透法用于处理高矿化度矿井水；中和法是处理酸性矿井水最常用的一种方法。

四、洁净煤技术的市场前景和环境效益

煤炭是世界上最丰富的化石燃料资源，占常规化石燃料储量 90%以上。目前煤炭占世界一次能源消费近 28%，煤电占世界总发电量 44%；发展中国家一次能源消费目前占世界总消费的 30%，在未来 30 年将显著增长。专家预测 2010 年石油、天然气的价格将是煤炭的 8 倍以上。安全、可靠、清洁、廉价的能源是世界经济发展的基础，洁净煤技术将起到重要作用。据美国预测，到 2010 年全世界洁净煤技术市场总值可能达到 2700 亿美元左右。面对巨大的全球市场，美国、日本、欧洲各国均已开始积极向第三世界国家推广洁净煤技术。

煤炭一向被称为“肮脏”能源，它是造成大气污染，酸雨，固、液态废弃物和影响全球气候变化的重要因素。发展洁净煤技术将使煤炭成为高效、洁净、安全、可靠的能源，从而使人们认识到煤炭不是未来不得已而使用的燃料，而是可以而且应该使用的燃料。

评估洁净煤技术的环境与经济效益，一是从提高效率、减少污染（增效、减排）两方面进行估算；二是从资源充分利用、生产高附加值的深加工产品和带动相关产业发展的角度做进一步评估。以前面介绍的几项技术为例：

1. 选煤

可除去 60%的灰分和 50%以上的黄铁矿硫。特别是采用了包括选硫在内的综合煤炭脱硫技术以后，黄铁矿硫脱除率可达 80%以上。每入选 100Mt 含硫较高的原煤就可以减少 SO_2 排放量 2Mt 左右。经验还说明，使用对口供应的粒级煤比使用原煤燃烧可减少烟尘 40%以上。通过洗选加工增加块煤产率和产量对减少烟尘污染将是非常显著的。

2. 型煤

型煤的经济环保效益也是十分明显的，实践证明，民用型煤与原煤散烧相比，CO 排放量可减少 70%以上，烟尘量可减少 90%，添加固硫剂后，固硫率可达 50%-60%，同时可节煤 20%以上。工业锅炉、窑炉等用型煤代替散烧，一般可减少烟尘排放量约 60%，节煤 15%-27%，加固硫剂可达 40%-60%。因此，发展民用和工业燃料型煤，具有明显的节能、环保效益。

3. 水煤浆

我国石油资源有限，产量供不应求，为现有燃油电站锅炉、工业窑炉寻找理想的代油燃料是一个相当紧迫的问题。本世纪 70 年代，石油危机中开发出的高浓度水煤浆是一种液态燃料，具有可以泵送和喷燃等特点，是新型煤代油产品。使用 1.8t-2.1t 浆可替代 1t 重油。预测当燃料油与水煤浆的比价超过 2.25 时，水煤浆在经济上就有竞争力。使用代油水煤浆比燃烧原煤可提高燃烧效率 5%-10%，节能 20%。

4. 煤炭气化

用煤气比燃煤方便、洁净、节约时间并减少劳动强度，能明显提高煤炭利用效率、节约能源，同时还可明显减少污染物的排放。

使用煤气作为工业燃料气，不仅可明显降低单位产品的煤耗，而且提高产品的质量和合格率，对企业有明显的经济效益。

5. 煤炭液化

煤炭液化将煤转变为洁净的燃料油，同时将煤中硫加以回收，氮以 NH_3 的形式作为副产品回收，生产废水经处理后达到工业用水标准，而实现废水的零排放，以年处理 1.7Mt 的褐煤直接液化厂为例，每年可回收硫 10kt，氮

30kt。年减少排放 SO₂ 为 20kt ,N₂ 为 90kt。与直接燃烧相比每年可减少 CO₂ 排放量大约为 3Mt。

6. 煤层气

煤层气（瓦斯、煤层甲烷）为煤矿安全生产的最大隐患，开发煤层气不仅充分利用矿产资源、有利煤矿安全生产、减少矿井基建投资、降低煤炭生产成本，而且防止煤层气逸入大气，减缓地球的温室效应，具有全球环保意义；同时煤层甲烷作为一种洁净、高效能源，燃烧过程中不产生烟尘和 SO₂、所产生的 CO₂ 量为煤炭的 1/2。

结束语

洁净煤技术是将煤炭转变为洁净、高效能源的技术。洁净煤技术的开发和应用将显著减少能源利用对环境的污染，提高能源利用效率，在一段时期内为社会提供经济可靠的能源，促使中国的能源既能满足当代人的需要，又不损害子孙后代满足自身需要的能力。洁净煤技术能使我国环境改观，奉献给我们一个优美整洁的生存环境。

洁净煤技术的发展需要政府加强领导、企业积极支持和社会及广大公众的积极参与；需要配套的环保法规和完善的管理与监督机制；需要制定切实可行的规划和多渠道筹措资金。

开发利用云南稀土资源的建议

张国成

中国有色金属总公司北京有色金属研究总院

张国成 稀有金属冶炼专家。1931年10月12日出生于云南昆明。1956年毕业于昆明工学院。现任北京有色金属研究总院高级工程师。1995年当选为中国工程院院士。主要从事国内外各种稀土精矿的冶炼和单一稀土元素分离的研究。

世界稀土资源很丰富，分布地区也很广，主要分布在中国、美国、澳大利亚、印度、巴西、俄罗斯等地。按氧化稀土计算，总量达到8400多万吨，其中有60%储藏在我国，仅内蒙古白云鄂博地区，主东矿就蕴藏着3600多万吨以轻稀土为主的氧化稀土。在江西、广东、广西、云南等地也蕴藏着上百万吨中重稀土资源。稀土虽然丰富，但稀土在世界上的用量并不大，到1995年为止，世界稀土消费量只有5-5.5万吨，世界稀土贸易额也只有4亿美元，稀土行业仍是一个小行业。按现在仅有的消费量推算，全球已探明的稀土资源可供人类使用2300多年，也不会感到资源的匮乏。因此绝不是拥有稀土资源的国家就能垄断稀土市场。要想成为稀土工业发达强国，主要取决于生产技术的先进与否。法国、日本无稀土资源，但在稀土的冶炼、分离和应用领域有其先进的技术。他们购进世界各地廉价的稀土中间原料，进行深加工，反而成为世界稀土的强国，获取较高的利润。我国自60年代开始，建起了第一批稀土生产企业，当时年产量只不过200-300吨，经过30多年两代人的努力，特别是改革开放以来，稀土工业的发展突飞猛进，在高峰期稀土工厂达400多家，生产能力达到4万吨以上。科研人员创造了一批针对中国稀土资源特点的新工艺用于生产，使我国1995年单一稀土氧化物年产量达到8549吨，稀土总年产量达到4万多吨的水平，占世界稀土总消耗量的80%，使中国进入世界稀土生产大国的行列。但大国不等于强国，稀土工厂很多是作坊式的小厂，技术落后。这都将在激烈的竞争中被淘汰，如“生产抛光粉的稀土小厂被淘汰”就是一例。今后再建稀土厂必须走“以质优价廉取胜”、“以在高科技领域中的应用取胜”的道路。不能单靠给外国生产初级原料过日子了。今后应建立现代化的大型稀土工厂，起点要高，才能有较强的竞争力。

一、稀土资源

一般分为轻稀土矿和重稀土矿两大类。前者以独居石、氟碳铈矿为代表，后者以磷钇矿、褐钇钨矿为代表，但重稀土储量不大，曾出现过氧化钇的短缺现象。70年代。我国江西发现离子型稀土吸附矿（即淋积型稀土矿），解决了世界对氧化钇的需求。在此种矿中稀土含量很低，一般为0.1%左右，但易提取，稀土配分变化很大，不同矿点有不同的配分。后来在广东、福建等地也相继发现很多矿点，有轻稀土型、中钇富铈型和重稀土型矿。特别是龙南重稀土型的离子吸附矿，其中 Y_2O_3/REO 为55-65%，价值最佳，它的开采应用解决了世界上80%以上的 Y_2O_3 需求量。有色金属的王国云南也是一个稀土资源非常丰富的地区，稀土矿的种类齐全，既有轻稀土资源也有重稀

土资源。滇池地区磷灰石中含有稀土，但目前回收在经济上是不划算的。个旧地区也蕴藏着大量的独居石，独居石中天然放射性物质氧化钍含量高，用它作原料生产稀土产品，必然附带产出用途不大的氧化钍，这将造成环境污染，所以目前世界上独居石已逐渐被氟碳铈矿所取代。70年代四川安宁河谷地区冕宁、德昌发现并开采氟碳铈矿，取得很好的经济效益。该矿沿河谷地区发展，延伸到云南境内，楚雄一带也相继发现了氟碳铈矿，这是云南很有开发前景的稀土资源。除此之外，云南又发现了离子型稀土吸附矿，特别是重稀土矿的价值很高。各种离子型吸附矿稀土配比数据见表1：

表1 各种离子型吸附矿稀土组分对比

组分名称	稀土配比(%)					
	重稀土型		中钷富钷型		轻稀土型	
	1	2	1	2	1	2
La ₂ O ₃	1.80	5.50	26.50	13.00	31.30	32.50
CeO ₂	0.20	1.24	2.40	3.10	3.40	11.30
Pr ₆ O ₁	0.90	0.26	6.00	5.40	8.70	5.40
Nd ₂ O ₃	3.80	10.00	20.00	26.00	28.10	21.80
Sm ₂ O ₃	2.80	4.50	4.00	5.00	5.30	3.20
Eu ₂ O ₃	0.02	0.09	0.80	1.50	0.60	0.35
Gd ₂ O ₃	5.70	5.50	4.00	5.90	4.50	-
Tb ₄ O ₇	1.20	1.10	0.60	0.60	0.50	0.36
Dy ₂ O ₃	8.40	5.80	4.00	3.10	1.20	1.70
Ho ₂ O ₃	1.80	1.10	0.80	0.80	0.10	0.30
Er ₂ O ₃	5.10	3.50	1.80	1.60	0.30	0.75
Tm ₂ O ₃	0.80	0.40	0.30	0.20	0.10	0.11
Yb ₂ O ₃	4.60	3.70	1.20	0.55	0.50	0.55
Lu ₂ O ₃	0.60	0.50	0.10	0.160	< 0.10	0.08
Y ₂ O ₃	62.30	51.50	27.50	31.20	15.40	9.18

在云南的找矿工作，目前应偏重寻找以 Y₂O₃ 为主的重稀土型离子吸附矿，其原因是我国和世界上轻稀土的资源多、产量大，在云南发展以离子型吸附矿为原料的轻稀土工业无竞争力。我们处理离子型吸附矿的目标决不是用来生产大路货，而是生产高价值的单一重稀土氧化物和氧化钷等深加工产品，以获取更多的利益。

进入80年代以来，稀土应用领域除传统的冶金、机械、石油化工、玻璃陶瓷外，已向单一稀土应用的高科技市场方向转化。单一稀土的消费量在逐年上升，90年代单一稀土的用量占总稀土用量的26.7%，到2000年预计将增至34%。市场上主要需要的单一稀土有：氧化铈、氧化钆、氧化钇、氧化镨、氧化铽、氧化铈等为畅销产品。氧化钆、氧化钷、氧化镧为产大于销的产品。氧化镨、氧化钆、氧化铈、氧化铽、氧化镧等六个产品用量少，其应用领域尚待开发。所以在云南发展稀土工业，首先须根据市场发展的动向选定有利的矿点进行开发。目前重稀土离子型吸附矿，其开发前景最好。它含 Y₂O₃51.5%，Nd₂O₃10%，Dy₂O₃5.8%，Tb₂O₃1.0%，Er₂O₃5.5%，

Sm₂O₃4.5%。其畅销组分占氧化物总量的78%，属于利用价值最高的矿种。从长远来看，Y₂O₃的用量将会逐年提高，而氧化钇世界资源量较少，将来中国稀土能左右世界市场的产品是氧化钇。虽然1995年我国单一稀土产量达到8549吨，其中氧化钇为500吨，其销路仍比较好，所以开发生产氧化钇风险小，收效大。

二、稀土矿山建设

离子型稀土吸附矿含REO均比较低，不能用物理方法选别，只有采用化学选矿法，此法虽然耗用大量的化学试剂，产品成本高，但为生产以氧化钇为主的重稀土氧化物，经济上仍有利可图。1995年，建设部委托北京有色冶金设计研究总院负责编制的“稀土冶炼厂建设标准”，规定凡冶炼离子型稀土吸附矿，建厂规模必须达到年产含REO > 92%稀土氧化物500吨以上的才能批准。目的在于使稀土工业向大型化、现代化高水平方向发展。在云南如何解决采浸方式，应吸取江西、广东等地的经验教训，根据当地的气候条件和地质情况而定。目前最先进的化学选矿法是中南工业大学的原地浸析采矿方法，采用水对采场进行封闭，防止了母液向地下水渗漏，提高了稀土回收率，减轻了劳动量，保护了环境。由于采、浸方案未定，矿山建设投资很难确定。

三、稀土分离厂的建立

稀土分离厂是提高稀土产品价值的第一道深加工工序。从当前稀土工业的形势考虑，要想在稀土分离行业中站得住脚，小厂是不行的。以生产氧化钇为例，年产量必须达到200吨，才有较高的经济效益。工厂每年应处理重稀土氧化物（REO > 92%，Y₂O₃ > 50%）500吨，生产下列各种主要产品。

表2 产品种类及产值

产品	年产量(吨)	品位(%)	单价(元/KG)	总金额(万元)
Y ₂ O ₃	200	> 99.99	260	5200
Nd ₂ O ₃	40	> 99.00	170	680
Sm ₂ O ₃	4	98.00	100	40
Tb ₄ O ₇	4	99.95	1900	760
Dy ₂ O ₃	22	99.00	290	638
Er ₂ O ₃	14	99.90	380	532
合计	284			7850

以年产200吨氧化钇规模新建的稀土分离厂，在当今中国还是一个中字辈的稀土厂，年产值只有7850万元。而广东阳江稀土厂也是一个以生产氧化钇为主的工厂，年产值达3亿多元，该厂还没有原料基地。而云南建厂资源条件比阳江好，只要经营得好，赶超他们是有条件的。

从重稀土氧化物中生产出表2的六种产品，我国的工艺技术是成熟的，不必做很多小型试验，即可直接进行建厂设计。我院可提供比较先进的工艺

流程-环烷酸萃取分离氧化钇的技术。

1994年清华大学在北京建成一个年处理50吨重稀土氧化物的萃取分离车间，总投资为1400万元，若在云南新建一个年处理重稀土氧化物500吨的萃取分离工厂（不包括矿山建设），其投资初步估算如下：

总投资：	4000万元
建筑面积：	3800m ² （生产车间）
电力：	450kW
职工人数：	180-200人
总产值：	7850万元
年利润：	2500万元

根据云南的具体情况，也可以考虑先建矿山。生产重稀土富集物外销，其中含REO 93%，Y₂O₃/REO50%，目前每吨售价为4.6-4.8万元，这对当地脱贫是很有吸引力的产业。

云南除了开发离子型重稀土吸附矿外，开发楚雄地区的氟碳铈矿也很重要。目前应投入一定的人力、物力加强地质勘探工作，确定矿区位置，提出储量数据和原矿中稀土的赋存状态，组织力量进行选矿试验。一般而言，安宁河谷地区的氟碳铈矿粒度粗，易选别。预计云南氟碳铈矿也有相近似的特性，故选矿工作量不会很大。氟碳铈矿已成为世界轻稀土的主要原料。我国包头虽有大量混合型稀土精矿（选铁精矿的副产品），但因含磷和钛高，用它来生产稀土硅铁合金时，磷使合金粉化，钛又降低了合金石墨球化作用，因此，需加脱磷工序。而用氟碳铈矿生产稀土硅铁合金，则避免了上述不良影响，在市场上很有竞争力。如果在楚雄地区开发氟碳铈矿，首先应考虑以生产稀土硅铁合金为主，它投资少，见效快。另外从氟碳铈矿生产单一稀土，主要对象是二氧化铈和氧化铈，因从氟碳铈矿生产二氧化铈和氧化铈工艺最简单，比从包头矿中生产更经济。这一套技术为北京有色金属研究总院的专利。它是当前国内外冶炼氟碳铈矿的最佳选择，只有采用此项技术，才能具有与包头稀土精矿抗衡的能力。

四、稀土功能材料开发

在云南建立起矿山和冶炼分离工厂后，解决了稀土原料供给问题。各种单一稀土和混合稀土化合物等产品虽可以出口创汇，但总产值不过一两个亿人民币。为了进一步在稀土上多创利润，必须向高产值的稀土功能材料领域发展，它们是目前高科技的热门货。

1. 稀土荧光材料：稀土元素有很多特异功能，这取决于它们具有特异的电子结构。从La到Lu，随着原子序数从57增大到71，在内层的4f轨道逐一填充电子，这些被填充的4f电子被外层完全充满的5s²和5p⁶电子所屏蔽。4f电子不同的运动方式使稀土元素具有很特殊的光、电、磁性能。利用稀土4f电子在不同能级之间发生的跃迁（f-f跃迁和f-d跃迁），使稀土的发光和光吸收作用别具一格，而制得了多种发光和激光材料。以氧化钇为基体，以氧化铈为激活剂的稀土红色荧光粉，目前世界上的用量达到800多吨，用作彩色电视机和三基色灯的红色荧光粉，我国目前用量也达到100多吨，每吨红色荧光粉售价为80万元。如果出售原料氧化钇，每吨售价仅26万元。云南与上海已结成互相援助的兄弟城市，可以从上海跃龙化工厂引进荧光粉

的生产技术（上海跃龙是国内荧光粉生产的先进单位，产量达到 100 多吨，产品大量出口）。在昆明创立一个 60 吨/年的荧光粉厂，每年可创产值 4800 多万元。

2. 稀土永磁材料：现已成为稀土高科技市场的佼佼者，发展很快，它们年产值已经与传统的铁氧体和 AlNiCo 磁体年产值相等。1994 年国际上稀土永磁材料产量为 5130 吨，我国 1995 年产量为 1700 多吨，它已成为我国进入国际市场的主要产品之一。全国现有稀土永磁材料生产厂近 150 家，许多厂的规模小，技术差，设备落后，产品档次不高，产品质量还有待于进一步提高。云南稀土采冶工业发展起来后，稀土永磁体 NdFeB、SmCo₅ 的发展则势在必行。稀土永磁为强磁材料，NdFeB 磁能积可达到 30—40 兆高奥，SmCo₅ 磁能积为 15-20 兆高奥。它们的应用领域很广，如计算机、核磁共振成像仪、电动机、发电机、电声器件、汽车工业等。所以，云南可利用稀土永磁体的生产，带动一批新兴产业的建设和革新，其经济效益是非常可观的。云南可根据国内外的情况和发展情况和自身资源的特点，以高起点为准，建设稀土永磁生产线，参与国内外稀土永磁市场的竞争。

在国内稀土永磁生产厂中，佼佼者当数中科院三环公司。他们主要生产 NdFeB 体，1995 年 7 月，他们与中国有色金属总公司合资购买了美国 GM 公司粘结磁粉的经营权，现年产量达 2000 多吨，其中 1100 吨销往日本。云南可以与三环公司合作或引进技术，在高起点的构想下，发展稀土永磁，将大有可为。

3. 稀土储氢材料：这是当前世界上高科技的热门材料，很多研究单位均在工业应用开发。稀土储氢合金制冷冰箱已出样品。氢汽车已经开始在公路上试车行驶，装载 340 公斤储氢合金，储氢容量 400m³，能行车 100 公里，最高时速达 170 公里。这是一种无污染的交通工具。无公害的稀土镍氢电池，近年来发展很快，日本 1994 年产量达到 2.1 亿支，1995 年达到 4.5 亿支，用稀土合金 2000—2500 吨。美国的奥劳尼克、荷兰的飞利浦都在大力开发稀土储氢电池，我国稀土储氢电池也已进入产业化阶段，研究单位很多，其水平差不多，产品仍存在容量衰减，易自放电现象，影响电池的寿命，加之价格高，还有很多问题需要解决。国内一些单位准备从国外引进稀土镍氢电池生产线，解决自身技术上的缺陷。我们认为云南引进镍氢电池生产线，从满足本省的需要来说，也是有前景的开发项目。

稀土除在上面三大高新科技领域中的应用之外，传统的“老三样”冶金、玻璃陶瓷和石油裂化催化剂方面的应用也有长足发展，稀土农肥在云南烟草中使用效果很好，云南稀土工业的开发将会对促进云南工业的发展起到良好的作用。

五、人才问题

过去云南稀土工业发展慢，所以稀土方面的专业技术人才少，要建现代化的大型企业，离开人才是不行的。好在云南有昆明贵金属研究所、昆明冶金研究院和昆明大学，研究力量雄厚，过去做过许多湿法冶金工作，若转而研究稀土湿法冶金分离、矿石分解、萃取、离子交换和电化学分离也是轻车熟路，大有可为，我们愿意和大家加强合作，为发展云南的稀土工业作贡献。

总而言之，云南有丰富的稀土资源，稀土品种齐全。以重稀土矿作为主

要开发对象。矿山建设可因地制宜，设施简单一些，但要加强管理，防止乱采乱挖，一哄而起。建稀土分离厂时，以生产氧化钇为主产品，必须具有一定的规模，不能因陋就简，否则产品缺乏竞争力。第二步考虑氟碳铈矿的开发，以生产稀土合金、氧化铈和氧化钆为主。有了单一稀土氧化物，将为云南稀土在高科技市场上的应用创造良好的条件。

我国国家信息基础结构的建设

陈俊亮等

北京邮电大学

陈俊亮 通信与电子系统专家。1933年10月10日生于浙江宁波。1955年上海交通大学毕业。1961年在苏联莫斯科电讯工程学院获副博士学位。北京邮电大学教授，程控交换技术与通信网国家重点实验室学术委员会主任。1991年当选为中国科学院院士，1994年当选为中国工程院院士。60年代是有线600/1200波特及无线600波特数据传输设备的主要研制者之一，80年代参加多项与程控交换系统有关的科技攻关项目，目前主要从事智能通信网的研究。

一、什么是国家信息基础结构

1993年，美国政府发表了题为《国家信息基础结构：行动计划》的报告，宣称要动员包括政府部门、企业、大学、研究机构、医院、图书馆、商店、家庭在内的全社会积极参与实施这一计划，用20年左右的时间，投资数千亿美元，建设一个覆盖全美、连接全世界的“信息高速公路”网（即国家信息基础结构）。随后世界许多国家都结合自己的国情提出了各自的国家信息基础结构的设想和计划。

然而究竟什么是国家信息基础结构，各国都有自己的理解和规定。经过调查研究，结合我国的实际情况，我们认为：

国家信息基础结构是由大量相互作用的信息技术要素（主要包括通信网、计算机系统、信息和人）构成的开放式综合复杂巨系统，它能覆盖整个国家，能够以Gb/s级的速度传递信息，以先进的技术，广泛及时地采集信息、处理信息和供全体社会成员方便地应用信息。

国家信息基础结构由应用层的大型计算平台、信息资料库以及大量的专门领域应用信息系统和公共通信网组成。

大量的专门领域应用信息系统（如金融、经贸、财税、国防、公安、科技、教育、交通以及广播电视等）直接为国民经济各部门和社会各领域提供专门信息（包括图像、数据、语音、高清晰度电视等多媒体服务）。

专门领域应用信息系统由信息的提供者（信息源）/接收者（人或机器）、信息采集系统、（感测系统）、计算机/智能系统、庞大的信息资料库（数据库、方法库、模型库……知识库等）、控制系统以及显示系统构成。应用信息系统直接融入国民经济各部门的生产、经营、管理和服务过程之中。应用信息系统的发展和实用，直接推动着国家经济社会生活的信息化进程。

大型专门应用信息系统由于生产、经营、管理、服务的对象分布在全国各地、甚至在国外，所以信息系统往往延伸到全国各个角落甚至到国外。但是大部分专门领域应用信息系统若都要单独建设自己专用的物理传输和交换

本文基于1994年中科院技术科学部的咨询报告“建设我国国家信息基础结构”，该咨询项目由叶培大院士负责，主要执笔者还有钟义信、舒华英、孟洛明、忻展红、吕廷杰等。

网，则会造成国家资源的巨大浪费。为此，就需要一个覆盖全国的公用通信网，通过“虚拟专用网”的技术为各个专门领域应用信息系统提供高质、方便的信息传输和交换能力。

公用通信网由传输系统（光纤、卫星、微波以及无线电等）、宽带综合交换系统（ATM）、用户接入系统、多媒体通信终端系统及相应的接口和协议系统构成，一般应是电话网、数据网和电视网的有机综合，主要完成信息传递与交换的任务。它的支撑网层面由两部分构成：业务支撑层面和网络支撑平面。业务支撑层面主要由智能网系统、个人通信系统等构成，完成对业务提供的支持。网络支撑层面则主要完成基础网的信令、同步、监测、控制、调度、维护和管理等功能。

二、为何要建设国家信息基础结构

按照理论经济学的分析，建设信息网，是现代社会生产力发展的内在的必然要求。

国家信息基础结构可以很好地完成获取信息（感测系统）、传递信息（通信系统）、处理信息和再生策略信息（智能系统、包括计算机和信息库系统）的任务，从而帮助人们更好地认识世界；同时，它还可以通过通信、控制和显示系统把策略信息作用于劳动对象，从而辅助人们更有效地改造世界。可见，它是一种完备的信息化社会生产工具体系。一旦这种生产工具体系与相应的劳动者和劳动对象普遍地结合起来，就构成了信息社会的生产力。这种生产力将使社会获得前所未有的高水平的发展。

因此，研究和建设国家信息基础结构的过程，乃是发展和建设一代崭新的社会生产力的过程。

信息是战略资源，信息技术是生产力，这就是信息基础结构必然要出现的社会和经济根源。

当前，我国正在全力以赴地推进社会主义现代化建设。通过建设国家信息基础结构，实现社会和经济信息化，恰好为四个现代化提供了一个极好的机遇。走通过信息化加速实现现代化的新路，将更为迅捷光明。正是在这个意义上，江泽民同志指出：“四个现代化，哪一化也离不开信息化”。

信息化，就是在国民经济各部门和社会活动各领域普遍采用现代信息技术，以便有效地开发和利用信息资源，大大提高决策水平、工作效率和创新能力。

信息化可以使传统产业得到有效的改造，不仅大大提高它们的劳动生产率，而且可以大量地节约能源和原材料，提高效益；不仅如此，信息化可以提供有力的手段，帮助解决经济发展中的各种难题。例如，我国的工农业生产，仅仅由于信息不灵，产销不对路，造成的损失就有一二千亿元；每年自然灾害造成的损失也达上千亿元。信息化，可以大大改善政府的宏观决策能力；大大改善商品流通、资金周转和内外贸易的效率，可以大大强化人们认识自然和经济发展规律、保护环境和抗御灾害的能力，减少灾害的损失。总之，无论是增加收入还是减少损失，信息化产生的效益都是巨大的。信息化的确为我国的经济和社会的发展提供了一个极其难得的机遇。

信息化，也是一个严峻的挑战。如果失去机会或搞得不好，将会给国家和民族带来巨大的危险。与历史上物质和能量资源开发利用的情况不同，信

息资源的开发利用是很难用国家边界来保护的。因此信息侵略比军事侵略和经济侵略具有更大的复杂性和危险性。而一旦国家的信息资源被外国所控制，信息市场被侵占，就会给国家安全和经济发展带来致命的威胁。

这就是我国要建设国家信息基础结构的重要性和紧迫性。

综上所述，信息化的过程，是建立一代崭新的社会生产力的过程，是当代经济发展和社会进步的必由之路，是增强综合国力和国际竞争实力的根本途径。因此，发展信息化，建设我国国家信息基础结构，应当成为我国迎接 21 世纪的一项根本性的战略任务。

三、一些国家发展“信息高速公路”的概况

1. “信息高速公路”话题中的一些基本问题

(1) “信息高速公路”与国家信息基础结构(NII)

“信息高速公路”是一个容易为人所接受的口号，国家信息基础结构(NII)才是其完整的内涵。它在美国政府报告中有明确的定义：“国家信息基础结构是一个由通信网、计算机、数据库以及日用电子产品组成的完备网络”。通信网、信息源、终端设备和人是其四大要素。国家信息基础结构中的通信网平台必须作到无缝连接(Seamless)即：统一标准、互相开放、互连互通、互操作。

(2) 建设“信息高速公路”的原则

- 扩大“信息服务社会化”概念
- 促进私营部门投资
- 推进技术革新法规建设先行
- 改进无线电频谱的管理
- 保证信息安全和网络可靠性
- 保护知识产权
- 国际间的协调和政府各部门间的协调
- 提供获取政府信息的途径和改善政府的宏观调控能力
- 促成无缝连接、交互作用、用户可驱动的“信息高速公路”

(3) 美国“信息高速公路”建设所面临的困难

目前美国在“信息高速公路”建设中所面临的障碍是因网络分割带来的通信不畅。1984年，统一经营美国电信网络的AT&T公司解体后，其电信市场重陷“诸侯割据”局面，目前仅经营长话业务的公司就已超过600家。由于没有一个权威机构负责统一管理技术标准，因此，各公司为了自身的利益互相封锁自行开发新系统、新业务。这不仅给网络互连带来了困难，也破坏了规模经济效益和网络的整体性，严重的重复建设，造成了极大的浪费。鉴于不同的利益，为共同完成“信息高速公路”建设大业所进行的联合屡遭失败，一些有识之士疾呼“信息高速公路”建设法律必须先行。

在美国NII报告中需要解决的主要法律、法规问题有《国家信息基础设施法》、《反托拉斯修改法》和《通信修改法》以及《国家通信竞争法》等。

2. “信息高速公路”浪潮的背景分析

(1) 社会经济上的原因

近年来，信息产业发展迅猛，世界经济结构正在朝着从物质型向信息型、从本土化向全球化的方向发展，社会生产活动和人们的日常生活也对信息服

务提出了日益多样化的需求。据估计：实施 NII 将为美国的工业部门创造新销售额 3000 多亿美元，2007 年的 GNP 可增加 3210 亿美元，劳动生产率增加 20—30%。对于从“星球大战（SDI）到“信息高速公路（ISH）”的战略转移，克林顿有过如下讲话：“当前推动先进技术的动力来自民用工业，而不是军事工业。只有加强美国的民用技术基础，我们才能一箭双雕地解决国家安全和竞争力问题。”

（2）政治军事背景

克林顿政府的上台，结束了共和党人长达 12 年的执政，因此他们通过对国家信息基础结构宣传，提出了进一步提高公民平等权利、改善就业条件和公众生活水准等很有诱惑力的口号，以便提高其公众声望。此外，海湾战争的经验，使美国人充分体会到现代化战争就是大打信息战，因此，他们力图通过加速发展信息科技以加强其军事装备水平，提高作战的快速反应能力和应变能力。显然，美国提出“信息高速公路”计划还有着加强其世界超级大国的领先地位的国际政治目的和其它方面的意图。

（3）信息业发展形势

目前，发达国家的电信业务中，电话业务已日趋饱和。但由于数据库、计算机网、有线电视以及多媒体终端技术的迅速普及与实用化，一些非话业务如数据通信、图像传输等的业务量正在逐年增加。电信业务构成上的这一明显变化使得发展“信息高速公路”的要求日益迫切。

此外，计算机技术与通信技术的结合，特别是光纤传输与 ATM 交换技术的迅速发展已使得高速信息网的实现成为可能。

3. 一些国家和地区发展“信息高速公路”的动向

美国

1993 年 9 月，美国副总统戈尔和商务部长布朗正式宣布了实施美国的国家信息基础结构的“行动日程”计划，揭开了美国兴建“信息高速公路”的序幕，并引发了全球“信息高速公路”的浪潮。

美国政府的目标是，1994 年先把 100 万户家庭联结起来，5 年之内使全国大部分家庭入网，力争在 1997 年正式建成“信息高速公路”，在本世纪末实现多媒体的普及化。10 年至 20 年左右，使所有的地区、所有的经济阶层及普通公民获得以各种形式进行信息交流的机会，为 21 世纪建成信息化社会打好基础。

美国政府在 1991 年就制订了一个“高性能计算和通信计划”（HPCC，即 High-Performance Computing and Communication Program），旨在利用 5 年时间加快计算机及信息网的开发，加强美国在这些方面的领导地位，以支持制造功能更强的计算机、形成速度更快的计算机网络和进行更尖端的软件研究与开发工作。为美国经济、教育、环保、生物工程等各领域提供技术支持，刺激产业界的生产与竞争能力。它含有四个方面的内容：高性能计算机系统（HPCS）的开发；高性能软件技术和算法（AS-TA）的开发；计算机领域的基础研究和人才资源（BRHR）的开发；国家科研教育网（NREN）的开发（仅 1993 年就投资 1.2 亿美元，用于几项试验工程：AURORA、BLANCA、CASA、NECTAR 和 VISTAnet）。

然而，美国建设“国家信息基础结构”的难度也很大。要使电信网重归统一，不仅要涉及到计算机、通信等高技术发展问题，而且要涉及到种种政治、经济和社会诸方面的问题。这些问题包括：各政府机构自身的改革和相

互之间的协调、各界人士对信息网络的理解和支持、庞大开发经费和投资的筹措方法、政府机构与民间企业、社会团体的通力合作问题，尤其是在实施“统一”的过程中所遇到的“反垄断法”阻碍的问题。由此看来，美国人想在1997年如期实现“信息高速公路”计划，并继之进一步建成“国家信息基础结构”绝非易事。

美国政府十分清楚它所面临的种种困难和障碍。为了加强政府对有关各行业的统一领导和有效地发挥政府的协调作用，克林顿亲自签署行政命令设置了“信息基础特别工作小组”（IITF），负责制定加速国家信息基础结构部署所需的政策和计划。该小组由商务部长布朗挂帅，其成员均是来自美国联邦政府相应机构的高层次官员。因此，有人称之为“总统工程”。

建设“国家信息基础结构”首先必须解决巨额投资问题。美国政府为完成建设“国家信息基础结构”这项跨世纪的宏伟工程，在今后20年内，需要拿出高达2700至4500亿美元的巨额资金。联邦政府不可能全部承担如此庞大的建设费用，主要靠企业界出资出力。政府采取的态度是：有限介入、宏观引导，以立法手段支持，在具体问题上组织协调和实行灵活管理。政府已在1994年度预算中拨款5400万美元作为启动费，在1995年度预算中拨款1.5亿美元，以后每年拿出一定数量的资金用于关键项目，其余大部资金要靠企业界承担。

总投资 (亿美元)	其中政府投资			企业投资		
	(亿美元)	占总额	用于关键项目	(亿美元)	占总额	是政府投资
4000	120—160	3—4%		3840—3880	96—96%	24—32倍

欧共体

欧共体国家在有关“信息高速公路”的一些技术领域从整体上来说，落后于美国好几年。但是，欧洲在这方面并不示弱。在欧共体国家中，英国的积极性最高。它计划今后在10年内，投入380亿英镑建设“信息高速公路”。据称，德国也已经开始在柏林进行一项有关的试验。法国则于1996年2月份召开了内阁会议，并委托一位权威人士在6月份提交了一份有关的分析建议报告。报告的主要精神是清除电信、信息处理业和新闻媒体之间的障碍，实现横向联合，减少前进阻力。欧洲议会支持的“槟榔”（BETEL）计划，也已将法国和瑞典的四个研究中心连接起来。

欧洲委员会工业委员马丁·本杰宣布了整个欧洲建设“信息高速公路”的决定，并表示希望与美国合作。同时，欧洲委员会成立了两个小组，其中一个小组由电子、信息与通信等企业方面的有关人士组成，负责就如何建立“信息超高速公路”提出建议、制订指导方针。另一个小组则负责研究实施这一计划的经济技术分析、有关的规章制度及政治方面的事务。

在欧洲电信联盟的支持下，阿尔卡特公司、英国电信公司等欧洲几家主要的电信公司已经在欧洲大陆范围内试验采用ATM技术的宽带光纤通信网络。

通过这一试验，欧洲将创建一个采用ATM技术的新的“基干”网络。它将主要用于公众电信服务和数据传输，特别是大学、研究所和大公司中的大容量数据传输。但也可用于可能会有很大的潜在市场的“电视节目点播”及其它家庭交互式服务，此外还可用于电视会议等。预计本世纪末前后，将最终实现现有网络和宽带网络一体化的目标。ATM技术的采用也为多媒体终端

拓宽市场开辟了途径。

英国电信公司正在采用电缆和光缆两种传输手段，进行“电视节目点播”以及其它家庭交互式服务试验，以便对这两种方案的成本和可靠性进行评估。因为现在大多数英国家庭仍然是通过电缆与 CATV 中心相连接的。

有人认为，缺乏竞争是欧洲公众电信网采用 ATM 迟于美国的主要原因。欧洲正在通过上述计划的实施尽力缩小这一差距。他们计划 5 年内总投资 4430 亿法郎（其中欧共体出资 330 亿法郎，私营机构提供 4100 亿法郎），10 年内总投资 9000 亿法郎，（投资回收期为 40 年）。

日本

日本早在 1991 年底就创建了有 NTT，KDD，NEC 和富士通等 25 家公司参加的“新一代电信网路增强基地”，其目标是运用高速化、宽带化和高度智能化的数字通信综合业务网，实现以图像为主的可视服务、可获得丰富信息的智能服务以及适应每个人不同需求的“个人”通信服务。1993 年 6 月，该国又发布了拟建大规模超高速的“研究信息流通新干线”的报道。当时报道的情况是：日本政府计划从 1993 年开始，在 3 年时间内，投资约 500 亿日元（约 5 亿美元），通过高速光纤通信线路，将全国各地 30 个左右的主要研究机构和全国的公立、私立大学连接起来。上述各研究机构现有的 50 多台超级计算机将全部联网，由各省厅对超级计算机和学术数据库进行统一管理，以促使这些研究机构相互合作，共同利用遗传基因、材料、化学、原子能、卫星成像等方面的数据，提高研究开发效率。同时，这个网还将向企业开放。将来，这个网还将与欧美的研究信息网络联网，以便与海外进行信息交换。

最近，又有资料表明：日本政府提出了一个称作 Mandara 的高速信息网计划。该计划拟建设北起北海道南至冲绳的 10 个巨型计算中心，并将采用传输速率为 3Gbit/s 的高速通信线路将这些中心连接起来，从而构成一个庞大的高性能计算网。同时，还将加紧研究巨型计算机的应用软件。

这样一个纵贯日本南北、包容诸多系统的高速信息网络很像是佛教中排列众佛的图画或安置众佛的祭坛，即曼荼罗（梵文 Mandala；日本人常作 Mandara）。Mandara 计划即因此而得名。1993 到 1994 两年为该计划的准备阶段。该计划将从 1995 年开始正式实施，为期 5 年，总的经费预算为 300 亿到 3 万亿元之间。

日本邮政大臣表示：日本未来经济发展的关键就在于通信和信息。日本政府将鼓励开发新技术，加速进行这方面的建设。

在建设日本“信息高速公路”的总体设想中，日本政府特别重视多媒体信息技术，计划从 1995 年起向全社会提供多媒体服务。日本几大信息产业公司最近宣布联手共建“信息高速公路”，日本国人大为振奋。日本东京都将在邮政省、NTT、NEC、日立制作所、松下电器公司、日本广播协会等企业和团体支持下建立有 100 个频道的宽带数字化交互式有线电视网。该有线电视网采用光缆将试验中心与试验区内的办公室和住宅连接起来。目前，光缆已经铺设完毕。东京都将于 1996 年春季利用该网进行电视节目点播、电视购物、电视健康诊断等远距离医疗服务以及办公室电视信息通信服务等大规模公开试验。在此计划中，用于成立试验中心和开发软件的经费约需 30 亿日元。这一切将为日本在 21 世纪进入信息社会奠定基础。

日本在“信息高速公路”建设中的特点是：低成本技术的开发，争取产品超前实现商品化；用户重点先单位，后家庭；同时建成 240 万人的“信息

流通新干线”科技队伍（占全国劳动人口的 3.6%）。

韩国

韩国已于 1994 年年初正式开始实施为期 20 年的“超高速信息通信网”建设计划。这一计划最早由通信部于 1993 年 8 月提出。1994 年 1 月 13 日，通信部长官尹东润在向青瓦台提交的业务报告中报告了这项计划。金泳三总统指示要积极促进这项计划。为此，通信部成立了以国务总理为委员长的超高速信息通信网促进委员会，下设包括大约 25 名高级官员的工作委员会，对计划的实施进行综合管理。1994 年 3 月 23 日，通信部正式公布了此项计划。最近，通信部又从有关研究机构和大学等方面抽调了一批专家，成立了一个专门的机构团，负责制订具体的实施规划。

韩国建设“超高速信息通信网”的战略大体是：从国家网和民间网两个方面分头推进，同时加紧开发所需的各种高新技术。该计划从 1994 年起，到 2015 年止，大体分三个阶段。总投资为 44.77 万亿韩元（1 美元约合 807 韩元）。

各种高新技术开发的目标是为上述国家网和民间网的建设及时提供核心技术，加强韩国多媒体信息产业的国际竞争力。这一技术开发工作将由产业界、学校和研究机构共同完成。

目前，韩国最大的电信企业 Korea Telecom 公司与电视公司及其它公司之间在承担“超高速信息通信网”建设任务问题上的竞争十分激烈。仅汉城工程就有十几家公司互不相让。这种竞争的态势将使整个建设进程加快。

四、我国国民经济信息化的需求和相应的技术能力

从生产力的状况来看，虽然我国与发达国家相比还有很大差距，但是，和世界经济发展的总体趋势一样，我国的经济也正在经历着由农业-工业社会的物质型经济向信息社会的信息型经济急速转变的历史阶段。特别是近几年来，我国信息业的发展极为迅速，比第一和第二产业的发展快得多。信息经济的快速成长，要求有一个更利于信息产品的生产、交换、利用的社会基础设施。这就是我国国民经济信息化的呼唤。

从生产关系的方面来看，我国的经济体制正在经历着由计划经济向社会主义市场经济体制的快速转变。在市场经济体制下，无论是微观主体（企业）还是宏观主体（国家）都极大地强化了对信息的依赖。市场经济体制建立得越充分，这种依赖就越强烈，就越是需要有强大的国家信息基础结构来支持它的顺利运转。

调查和预测表明，本世纪末，我国电话业务所需长途干线传输能力约为 109Gb/s；数据、图像业务（不包括 CATV）用户将超过 300 万户，使干线传输能力的需求增加到 137Gb/s。据预测，2010 年是我国信息业的一个转折点，即数据和图像业务的比重将赶上传统业务，其用户将达到 1800 万户；长途干线传输能力总需求将达 1023Gb/s。此后，宽带业务将得到大发展。到 2030 年左右，我国将达到每户至少 1 部电话，城镇中有线电视和综合宽带数据业务将进入每个家庭，可见需求量是很大的。

调查研究也表明，我国目前已经具备了研究和建设信息网络的一定能力。

首先，在一般速率信息网方面，我国已经有了“中国分组数据网

(CHINAPAC) ”和中国数字数据网(CHINA DDN)；一批局域计算机网(LAN)已经建成并投入使用；一些专门应用信息系统和近千个数据库正在为国民经济各部门服务。只要把它们互连起来就可以形成实用的一般速率的信息网。再加上正在推进的“三金”等工程，这个一般速率的信息网就可以发挥更大的效用。在信息基础结构方面，我国已经具备了相当的技术能力。一方面，我国在“八五”期间将建成长度达100万公里高速光纤通信线路，到“九五”末即可建成覆盖全国大中城市的Gb/s级SDH高速光纤网，此外，我国也已建成一定规模的有线电视网，为建设国家信息基础结构奠定基础。

研究工作方面，我国“863计划”已经实施了一大批重要的研究项目，包括通信主题的“宽带化智能化个人化综合业务数字网(简称BIP-ISDN)”，智能计算机主题的“并行处理计算机”，信息获取与处理主题的“先进雷达系统”，光电子主题的“高速光电子器件”，自动化领域的“计算机集成生产系统(CIMS)”和“智能机器人”，汉字输入、汉字识别、汉字处理系统、并行软件技术、信息系统等方面取得了重大成果。这些，正是信息基础结构所需要的关键技术。不仅如此，我国在攻关计划、部委科研项目，“攀登”计划和国家自然科学基金中还安排了部分相应的技术基础的研究。可见，我国确已具备相当的技术实力。我们已不需从头做起，只是需要进一步明确目标，协调步伐，加大对于上述及其它有关方面的人力、物力和资金的投入，就可以较快取得实效。

五、建设我国信息基础结构的目标与措施

建设国家信息基础结构是一项重要的战略任务。信息化的基本要求，是要建设一个具有先进的信息获取、传输、处理和利用能力、能够覆盖全国、由现代信息技术要素(信息资源、通信网、计算机技术与人才)组成的“国家信息基础结构”。它是一个综合性的开放的复杂巨系统，在技术和功能上主要包含：

- 1.覆盖全国、互联互通、统一标准的支持信息库与专门领域信息系统的国家公用高速通信网。

- 2.信息获取与信息库系统。

它们的任务是：各种领域信息的获取、存储、组织和更新，为国家经济、政治、军事以及社会活动各领域的决策提供信息资源。

- 3.专门领域信息系统。

专门领域信息系统包括工业、农业、金融、经贸、财税、医疗、卫生、公安、交通、教育、科研、国防、以及广播、电视等各种领域的信息系统，它们直接为国民经济各部门和社会活动各领域提供专门信息服务。专门领域信息系统的核心是高性能计算机软硬件平台和智能信息处理平台，为国民经济各部门、教育及科研提供大型计算和信息处理能力。

关于发展我国信息基础结构的目标：

根据我国幅员辽阔、经济和文化发展不平衡的国情，2010年前，信息基础结构的建设可分两步实施。

第一步，1995年至2000年，基本目标是：

——建立天地一体化(光缆、卫星、微波、移动通信等多种手段)、支持各种信息库及专门领域信息系统运行的、互联互通、统一标准的先进公用

通信网，保证军民兼顾以及不同地区、不同层次的通信需求；

——发展现代仪器仪表与传感技术，强化信息采集手段，大力开发信息资源，建成一批重要的国家基础信息库；建成国家急需的若干专门领域信息系统；使它们在国民经济的发展中发挥重要作用，产生重大的经济和社会效益；

——建设面向 21 世纪的国家信息基础结构示范工程，为 21 世纪全面展开全国信息基础结构的建设打下坚实的基础；

——加快以微电子、计算机、通信、软件、自动化、仪器仪表与传感器、多媒体技术、信息服务等为主要内容的信息产业的发展，积极培育信息市场。到 2000 年使我国信息市场的规模达到 GDP 的 1/3 左右；

——培养与我国信息化进程相适应的人才队伍，并大力加强与此相关的科研投入。

第二步，2001 年至 2010 年，基本目标是：

——建成支持专门领域信息系统的国家高速通信网，在主要城市可以使宽带业务到户；

——建成门类齐全的专门领域信息系统和基本满足应用需要的各种大型信息库系统，从而使信息基础结构在国民经济发展和社会进步过程中发挥主导作用；

——信息产业发展成为国家最大的产业，并在国际信息市场上占有较大的份额；

——基本实现国民经济和社会生活的信息化。

在科学研究方面，建议国家适当调整“863”计划、攻关计划、“攀登”计划以及国家自然科学基金等项目的战略目标，把其中与国家信息基础结构相关的课题明确地纳入信息基础结构的研究和建设计划，并在“九五”期间不失时机地加大上述科研投资强度。

国家信息基础结构的建设是一项巨大的社会系统工程，需要较大的经费支持。我们的方针可以是：充分利用已有的信息基础设施，发挥各部门和各方面的积极性和潜力。建设的第一步需要国家投入适当必要的启动和引导资金约 150—200 亿元，主要用于科学研究、国家骨干工程和示范工程；其余工程的建设，可通过各种渠道筹集（部门、地方、团体、企业、个人、国际贷款以及工程建设效益的逐步回收等）。

实现上述目标，既有许多有利的条件，也有不少实际困难，包括资金、技术和观念方面的困难，特别是，由于这是一项规模浩大的复杂的社会系统工程，面临着组织和协调方面的巨大难题。为此，建议国家首先考虑以下几方面的启动策略和措施：

（1）组成强有力的、结构合理的国家级专门委员会，在充分调动各部门各方面的积极性、互补合作的基础上，领导、组织和推进我国国家信息基础结构的研究和建设，这是当务之急；

（2）在国家专门委员会领导下，建立有权威的、公正的、结构合理的专家组，按照“全面规划、突出重点、远近结合、循序渐进；独立自主、适度引进、内外合作、军民兼顾；信息共享、应用驱动、注重效益、平等竞争”以及“决策科学化民主化”等原则，加速研究和拟定我国信息基础结构的总体规划和计划；

（3）制定合理的政策与法规，建立和完善在统一规划、统一标准下的公

平竞争机制，鼓励和保护社会参与的积极性；加强信息观念和道德规范的建设以及保护知识产权的工作；

（4）重视国家信息基础结构的科研工作，在自主掌握关键技术的前提下积极参与国际的竞争与合作；重视人员的培养和培训工作。

我们相信，在国家统筹领导之下，充分发挥各方面积极性，正确运用策略，我国国家信息基础结构的研究和建设必将健康发展，为国民经济和社会生活的信息化与现代化发挥巨大的作用。

城市垃圾处理的对策

陈清如

中国矿业大学

陈清如 矿物加工工程专家。1926年12月3日出生于浙江省杭州市。1952年毕业于唐山交通大学。现任中国矿业大学选矿工程研究中心主任、教授、博士生导师。兼任中国颗粒学会和中国煤炭加工利用协会常务理事。1995年当选为中国工程院院士。主要从事矿物分离和加工等方面的研究。

一、前言

我国改革开放以来，城市数目和城市人口有了很大的发展，人民的生活水平也有了很大提高，因此，作为城市公害的生活垃圾发生量及其组成也有了很大变化。处理城市生活垃圾，实现无害化、减量化和再资源化，消除城市生活垃圾的污染已成为我国必须解决的重大问题。

随着政府对城市垃圾处理的重视和科学技术的发展，坑填、焚烧和堆肥等技术已经得到普遍采用。80年代以来，垃圾生产能源和回收再生技术也得到发展。

上海市的土地面积约为全国土地面积的0.06%，人口约为全国人口总数的1%，但上海市每年生产的垃圾量约占全国城市垃圾总量的5%，全年产垃圾量约为600万吨，每年人均垃圾发生量还以10%的速度增长。这就给垃圾的收集、清运和最终处理带来了巨大压力。

上海市是一座现代化的特大城市，浦东是我国对外开放的重点。上海市人民政府历来重视城市的环卫工作，曾先后提出了有关上海市垃圾处理措施。“八五”期间规划、筹建现代化的垃圾焚烧厂，“九五”开始试行垃圾全量焚烧技术，2000年以后重点发展垃圾全量焚烧。卫生填埋场仅作为垃圾处理的辅助手段和垃圾最终消纳手段。在此同时，努力稳妥地发展堆肥资源。上海市有计划、有重点地依靠科技进步实现城市生活垃圾的处理。

二、填埋、焚烧和堆肥处理垃圾的利弊

1. 填埋处理

填埋是大量消纳城市生活垃圾的有效方法，也是所有垃圾处理工艺剩余物的最终处理方法，目前，我国普遍采用直接填埋法。

所谓直接填埋法是将垃圾填入已预备好的坑中盖土压实，使其发生生物、物理、化学变化，分解有机物，达到减量化和无害化的目的。

天津市在水上公园南侧用垃圾堆山，营造人工环境，变害为利，工程占地近80万平方米，以垃圾与工程废土按1:1配合后作为堆山土源，对于渗滤液和发酵产生的沼气和山坡的稳定性等，都采取了必要的措施。

美国堪萨斯城(Kansas City)是一个不大的城市，人口不多，城市周围是广阔的乡村，在远离城市的一块丘陵山地的低洼处选建填埋场，为了防止二次污染，采取如下措施：

(1) 在底部和周围铺有防渗层；

(2) 分层铺放，即堆放一层垃圾，而后盖土压实，根据介绍，有些垃圾堆放层还安装导气和导水管道，并利用产生的沼气。

日本东京都江东区有一片树林浓密、花草繁茂的土地，人们称之为“梦岛”，梦岛全部都是用垃圾填海造成的。

但是，我国许多城市的垃圾仍有大多采取露天堆放，没有任何防护措施。每一个垃圾堆放场都成了一个污染源，蚊蝇孳生，老鼠成灾，臭气漫天，大量垃圾污水由地表渗入地下，对城市环境和地下水源造成严重污染。沈阳市曾经对 35 处填埋场中的 10 处进行钻探取样，分析垃圾断层样品和地下水水质，分析结果发现：

地下水水质恶化，污染严重，水混浊发臭，水中均检出厌氧大肠杆菌；

垃圾断层样品均检出有毒有害物质。上海市每天有万吨垃圾运往郊区海边堆放，一座座高达二三十米的垃圾山拔地而起，造成周围环境的严重污染。

填埋处理方法是一种最通用的垃圾处理方法，它的最大特点是处理费用低，方法简单，但容易造成地下水资源的二次污染。随着城市垃圾量的增加，靠近城市的适用的填埋场地愈来愈少，开辟远距离填埋场地又大大提高了垃圾排放费用，这样高昂的费用甚至无法承受。

2. 焚烧处理

焚烧法是将垃圾置于高温炉中，使其中可燃成分充分氧化的一种方法，产生的热量用于发电和供暖。美国西屋公司和奥康诺公司联合研制的垃圾转化能源系统已获成功，该系统的焚烧炉在燃烧垃圾时可将湿度达 7% 的垃圾变成干燥的固体进行焚烧，焚烧效率达 95% 以上，同时，焚烧炉表面的高温能将热能转化为蒸汽，可用于暖气、空调设备及蒸汽涡轮发电等方面，美国部分焚烧厂的主要技术指标列于表 1。

表 1 美国部分焚烧厂的主要技术指标

城市 主要技术 指标	新泽西州的 Glouccster county	佛罗里达州的 Broward county	马里兰州的 Baltimore 市	马萨诸塞州的 North Andover	新罕布什尔州 的 Claremant	佛罗里达州 的 St. Petersburg	Pe
适用于人口 (万人)	20	65	85	75	7	100	
处理线个数	2	3	3	2	2	3	
单线处理能力 (T/day)	287.5	750	750	750	100	1000	
每天日处理能力 (T/day)	575	2250	2250	1500	200	3000	
平均日处理量 (T/day)	460	1800	1800	1200	160	2550	
燃烧温度 F	2500	2500	2500	2500	2500	2500	
能量回收形式	电能和蒸汽	电能和蒸汽	电能	电能	电能	电能	
发电机容量 (kW)	14 × 10	60 × 10	60 × 10	40 × 10	4.5 × 10	75 × 10	
蒸汽量 (p/h)	1.2 × 10	5.1 × 10	5.1 × 10	3.96 × 10	4.6 × 10	7.02 × 10	
残留物缩减量	95 %	95 %	95 %	95 %	95 %	95 %	
回收材料	铁	铁	铁和聚合物	铁和聚合物	聚合物	铝、铁聚合物	聚

我国石家庄市建造了焚化站、沈阳市环境科学研究所引进日本垃圾焚烧装置对医院等单位的特殊垃圾进行无害化处理，焚烧过程中产生的残灰约占焚烧前生物垃圾重量的 5%，一般为优质磷肥。近几年我国对垃圾焚烧发电产生再生能源技术越来越给予重视。

焚烧处理的优点是减量效果好（焚烧后的残渣体积减少 90%以上，重量减少 80%以上），处理彻底。但是，根据美国的报道焚烧厂的建设 and 生产费用极为昂贵。在多数情况下，这些装备所产生的电能价值远远低于预期的销售额，给当地政府留下巨额经济亏损。由于垃圾含有某些金属，焚烧具有很高的毒性，产生二次环境危害。焚烧处理要求垃圾的热值大于 3.35MJ/kg，否则，必须添加助燃剂，这将使运行费用增高到一般城市难以承受的地步。

3. 堆肥处理

将生活垃圾堆积成堆，保温至 70 储存、发酵，借助垃圾中微生物分解的能力，将有机物分解成无机养分。经过堆肥处理后，生活垃圾变成卫生的、无味的腐殖质。既解决垃圾的出路，又可达再资源化的目的。但是生活垃圾堆肥量大，养分含量低，长期使用易造成土壤板结和地下水水质变坏，所以，堆肥的规模不易太大。

不论城市生活垃圾的填埋、焚烧或堆肥处理，都必须要有预处理。

预处理程序首先要求居民将生活垃圾按可回收物质、有机物质和无机物质分别装袋，然后，垃圾处理公司按垃圾分类收集和运送，分类处理和利用。

三、美国城市生活垃圾与中国城市生活垃圾的差别

美国城市垃圾的成分与我国部分城市垃圾的成分对照见表 2。由表 2 可

知，我国的城市生活垃圾成分与美国的城市生活垃圾成分有明显的差别，美国垃圾的有机物质多，可回收或燃烧的成分高，我国的城市垃圾中无机物质占有很大比例，即使像上海、北京这类大城市，煤气的普及程度高，有机物质有一定的量，而无机物质所占的比例仍然很大。因此，这就决定了我国垃圾处理方法与美国的垃圾处理方法应该有较大的差别，要走自己的路。

表 2 美国城市垃圾的成分与我国部分城市垃圾的成分对照

成 份	美 国		中 国			
	全国统计 (%)	Baltimore (%)	上海市 (%)	北京市 (%)	哈尔滨 (%)	南宁市 (%)
金 属	8.50	8.90	0.53	0.80	0.88	0.47
玻璃陶瓷	12.00	8.40	2.05	10.75	2.56	4.52
厨余垃圾	13.00	29.00	42.70	49.77	16.62	14.58
纸 张	51.00	36.40	1.61	4.17	3.60	1.83
纺织品	3.00		0.47	1.46	0.50	0.60
塑 料	4.00	7.30	0.40	0.61	1.46	0.56
可燃其他物质	3.00	—	—	—	—	
惰性物质	5.50		52.24	32.44	74.38	77.44
其 他		10.00				

四、矿物加工技术在城市生活垃圾处理中的应用

综上所述，城市生活垃圾采用填埋、焚烧和堆肥处理都有它们各自的优点，但也有不可回避的缺点。解决的办法就是对城市生活垃圾分类收集后，采用矿物加工技术和设备回收再生大部分有用的物质（占 50%~80%），然后将剩余部分不能回收的物质（占 50%~20%）分别送去填埋、焚烧或堆肥等。这样能将城市生活垃圾做到无害化、减量化和再资源化，并且，节省大量资金。城市生活垃圾处理流程如下图所示。

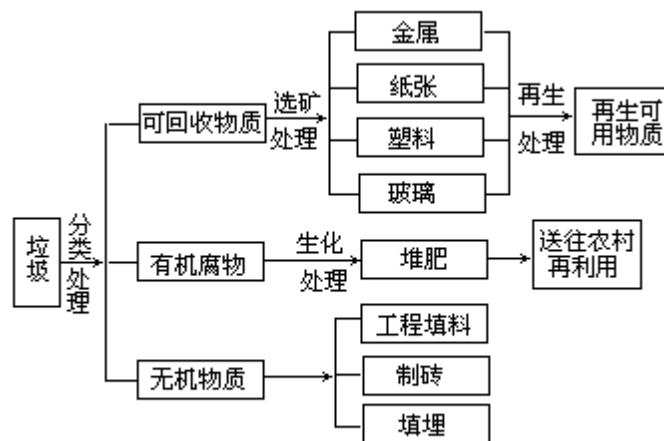
矿物加工技术和设备是矿山生产过程的重要环节，它起到回收有用矿物和提高品位的作用。在煤炭、有色金属、黑色金属、稀有金属和非金属等矿山应用很广，技术也成熟。

矿物加工技术包括物料的手拣、粉碎、筛分、分离、脱水、尾矿处理等方法。这些方法也可以用于城市生活垃圾的回收和再生。这样，可以从垃圾中回收有用物质，不仅减轻环境污染而且可以有较高的经济效益。

矿物加工技术回收垃圾中的有用物质，通常采用手选、机械和自动化分选，将无机物质回收再生。如用手选，靠人的感官按原料的物理特性预分离、分类，在手选输送带上手选工可将有用物质检出，这是较经济、简单的办法，但劳动量较大。如用磁选法吸取废铁；利用光滤系统和光电管分选各种玻璃；利用弹跳振动分选软、硬物质；利用筛分和分级处理粒度不同的物质，利用重力选矿方法分选密度不同的物质等。例如，对塑料自动分选、粉碎、清洗和造粒等工艺以达到塑料制品再生，对废旧电缆可以采用粉碎、剥离和重力分选技术将橡胶、塑料和金属电线分离。东欧国家十分重视玻璃回收，波兰

回收碎玻璃占玻璃容器的 30% ~ 35%，捷克、匈牙利为 30%。在芬兰，人们将炉渣、麦秆、破布、硬纸等物分选出来，捣碎混合，经高温高压制成十分坚固的垃圾墙。如从废蓄电池和废干电池中回收再生有用金属。废玻璃可再生，或生产玻璃钢、马赛克和水磨石。废金属可分选、冶炼再利用。废纸可回收造纸。据报道常州市一年利用部分废品的加工工业产值突破 2000 万元，利润可保证环卫部门年正常经费，效益明显。

对金属、塑料、高分子聚合物进行加工，在制造业中回收。废塑料制品对环境的污染一直是个严重问题。美国利用废旧塑料回炉生产与利用新原料相比，节省能源 85%—90%，并获取了可观的热能，如熔化 45 公斤高密度聚氯乙烯可获得 2000 单位（英制）的热量。德国不仅开发“再循环原浆”技术回收多种废塑料，还使塑料垃圾分子结构在高温高压下发生氢化作用，将塑料还原成原油。大如船舶、机车、卡车、机床的拆卸，中如加工行业中车、磨、刨、削产生的碎屑，以及社会中由回收站回收的碎金属，均需按其物理性质，及时而精确地手选分类、包装登记、存放，然后发运至金属冶炼厂。这是从废金属直接冶炼出单质金属及各种类型合金的重要保障，可大大缩短某些金属的再生周期。



城市垃圾处理流程图

城市生活垃圾经回收利用后不可用或无法利用的残渣，需要最终处理。一般有整体倾倒填埋、堆肥和焚烧等方法。整体倾倒最为简便，费用也少，但若倾倒量超出环境自净容量，会严重污染环境。

五、结束语

1. 教育城市居民提高对城市生活垃圾处理的重要性的认识，并制定相应的法规，要求居民将生活垃圾分类袋装，做到分类收集、分类运送、分类处理利用。难度大，但必须这样做，不然城市垃圾无法解决。

2. 减少城市生活垃圾的发生量的主要措施是：控制城市人口的增长，提高废品回收率，增加气体燃料的供应，增加半成品供应。

3. 采用矿物加工技术和设备回收再生大部分有用的物质（占 50% ~ 80%），将剩余的小部分不能回收的物质（占 50% ~ 20%）分别送去填埋、焚烧或堆肥等，真正做到城市生活垃圾处理的无害化、减量化和资源化，并

节省大量的投资。

4. 加大对城市生活垃圾处理的投资力度。实行垃圾管理制度化，成立垃圾处理公司，对市政府负责，保证垃圾处理后不污染环境，有关各方都要通过合同、法律条款对垃圾进行制度化的管理。对居民和企、事业单位实行吨垃圾收费制度，促进城市垃圾环卫制度的良性发展。

5. 鼓励和支持个体有照经营者收购品种零星、价格低的废旧物资如牙膏皮、废蜡纸、鲜牛奶袋、饮料袋、物品包装袋等，并减少包装的纸类、塑料类等物，简化包装。重视二次资源的开发，不但可缓解原料和能源的不足，还可净化城市、保护环境，减少垃圾污染。

6. 个体拾垃圾者队伍的发展，给城市环境卫生、社会治安，都带来了麻烦和不利。为此，必须有组织有计划地进行资源开发和城市生活垃圾的处理。

光纤通信技术及发展

赵梓森

邮电部武汉邮电科学研究院

赵梓森 光纤通信技术专家。1932 年出生于上海。1953 年毕业于上海交通大学。曾任武汉邮电科学研究院副院长兼总工。现任国家光纤通信技术工程研究中心技术委员会主任、武汉邮电科学研究院高级技术顾问、邮电部科技委委员。1995 年当选为中国工程院院士。完成了多项国家、邮电部光缆通信重点工程。

一、国外光纤通信的发展趋势

1. 大容量的光纤通信系统

光纤的容量很大，在 $1.3\ \mu\text{m}$ 和 $1.5\ \mu\text{m}$ 的窗口内就可容纳 20000Hz 的带宽。如果要充分利用它，首先是提高单通道的速率，然后采用波分复用 WDM 或时分复用 TDM 包括孤子 (Soliton)。实际上 TDM 也是在一个波长上工作，和提高单通道速率概念相同。另外，用相干光通信也可扩容，它是光电的混合复用方法，但目前尚不成熟。

(1) 提高单通道的速率

一般认为用电子线路来提高速率，目前只能到 $10\sim 20\text{Gb/s}$ 。其主要技术是用高速电子线路和器件，如 AsGa 器件，但这是现在最方便的办法，应优先采用。如果采用光的外调制器，可把速率提高到 40Gb/s ，甚至 100Gb/s 。美、欧发达国家，如美 AT&T 公司声称 10Gb/s 在 1996 年已可商用。可以认为，提高单通道速率这一方法，可以满足 5 年以上的市场需要，特别是中国。

(2) 光波分复用 WDM 技术的进展

由于掺铒光纤放大器 EDFA 的发明，它补偿了 WDM 光器件的插入损失和光纤线路的损失，使 WDM 的实用成为可能。从长计，要想充分利用光纤的大容量，必须发展光 WDM 技术。世界发达国家均投入大量人力物力对 WDM 进行研究。

实验和理论证明：由于采用 WDM，光纤中的光功率随光的通道增加而增加，在光功率足够大时，光纤内发生非线性四波混频产物 FWM，各通道发生串扰；如果光纤线路光纤色散为 0，FWM 的干扰会十分严重。相反，如果光纤有微量色散，FWM 干扰反而减少。但对于高速系统线路的总色散又必须为 0，于是采用+色散光纤和-色散光纤交替敷设，色散互补，以保证光纤线路的总色散为 0。另一种方法是采用-色散光纤为主，并用+色散光纤（如 G.652 光纤）来补偿，使线路总色散为 0。

当前最高水平的 WDM 试验系统如下表：

系统 1 是当前最高速率的系统，传输了 $20\text{Gb/s} \times 17\text{ch} = 340\text{Gb/s}$ 。其中采用了所谓真波光纤 True Wave 并进行了色散管理 Management。真波光纤也是一种 DSF 光纤，但其 0 色散波长不正在 $1.55\ \mu\text{m}$ 处，略有偏移。在波长 $1.55\ \mu\text{m}$ 处，其色散控制在 $\pm 2\text{ps/km}\cdot\text{nm}$ ，并保证全线的总色散为 0。这就是所谓色散管理。

序号	系统	光纤	全长 km	跨距 km	EDFA	研制单位	备注
1	20Gb/s 17CH	DSF (T+M)	150	50		AT & T	波长间隔 0.8nm
2	20Gb/s 8CH	常规光纤 +DCF	232	81	很多 很复杂	AT & T	
3	10Gb/s 16CH	常规光纤 +DCF	480	40	很多 很复杂	NTT	

系统 2 的特点是采用了 G.652 常规光纤。其目的是可在现存的光纤线路中用 WDM 扩容。由于常规光纤的色散很大，所以在一个 81km 中继段内需附加色散补偿光纤 DCF 长达 26km。为了克服附加的损失，需较多的 EDFA，每中继段内包括 1 级 ED-FA 预放和 3 级 EDFA 功放。

系统 3 也是采用 G.652 常规光纤。它在中继段内只附加 7.6km DCF 光纤作补偿。可惜中继段太短，仅 40km。

(3) 光时分复用 TDM 的进展

可把几路速率相同的光脉冲信号，用光开关把它们复用起来，这就是光 TDM。高速的脉冲系列的脉宽必然很细，例如 1~5ps/s。此时采用孤子传输较有利。同样由于 EDFA 补偿了光纤和光器件的损失，使光 TDM (孤子传输) 可能实用。孤子传输是利用光纤的非线性，也要求光纤有少量色散，以保证光脉冲在线路中形状不变。

当今高水平的光 TDM 包括高速单通道的试验系统，如下表：

序号	系统	光纤	全长 km	跨距 km	EDFA	研制单位	备注
1	160Gb/s	DSF	200			NTT	
2	10Gb/s 10CH	100kmDSF +常规光纤 (5km 作补偿)	600	100	F-EDFA	NTT	
3	40Gb/s	DSF	320	80		富士通	
4	20Gb/s	DSF	560	70	7	UK-BNR	
5	20Gb/s	DSF G.653	1000	50		NTT	东京
6	20Gb/s	DSFG.653 +G.652(小段)	10 ⁶	140		法 Telcom	环测

系统 1 是当前最高速率的光 TDM 系统。该系统采用了孤子传输技术，并采用了色散为 -0.19ps/km.nm 的 DSF 光纤，工作波长为 1.552 μm。它是由多个 10Gb/s 系统复合而成的。

系统 2 采用具有小色散 DSF 光纤作传输介质，所以只需 5km 的常规光纤即可补偿。并采用氟基的 EDFA，它具有平坦的增益特性。

系统 3 对未经色散控制和经色散控制的 G.653DSF 光纤线路进行了试验和比较。其结果是未经色散控制的 G.653 线路误码很大，而经色散控制的线路误码较小。

事实上 CCITT 对 G.653DSF 光纤的指标规定得太宽，0 色散波长可以从

1540~1570nm, 色散偏差为 $\pm 3.5\text{ps/km}\cdot\text{nm}$ 。因此可以认为工作在 1550nm 具有色散的 $1\sim 3\text{ps/km}\cdot\text{nm}$ 的 DSF 光纤都属于 G.653 光纤。

系统 4、5 是单通道线路。其中系统 5 是在东京的现场试验, 对考察采用 TDM 对现有线路扩容的可能性有一定意义。结果 20Gb/s 的 10ps/s 的光脉冲经已埋设的 1000 公里色散未控制的 DSF 光纤线路, 脉冲形状不变。

系统 6 是当今最长的孤子环测试 10⁶km! 还有人报道: 孤子环测经 1 亿公里, 在其系统中采用了定时和整形。

2. 光纤及光纤器件

(1) 设计新的适用于长距离传输的光纤

如果充分利用光纤的频带, 要用 WDM 或孤子传输, 都需要光纤有微量色散。如果重新设计光纤的结构, 扩大光纤导光的有效面积, 就可以增加输入光功率, 减少非线性。自然优于 G.653 光纤。

AT&T、康宁玻璃公司和住友都在开发新的光纤。AT&T 称为真波光纤维 (True Wave Fiber)。康宁称为长距离系统光纤 (Long Haul System Fiber) 或叶状光纤 (Leaf Fiber)。叶状光纤的 0 色散波长是 1567nm, 有效面积 A_{eff} 是 $80\mu\text{m}^2$, 而 G.653 光纤的 A_{eff} 是 $50\mu\text{m}^2$ 。

我国可根据国外的经验, 自行开发长距离用的光纤, 待成熟后采用。预计在 2000 年可商用。

(2) 光纤放大器及光纤器件

A) 光纤放大器的进展

a. 掺铒光纤放大器 EDFA 也有许多改进如下:

- 掺 Al 的 EDFA——可改善 EDFA 的增益特性 (Alcatel)
- 掺 Y, Co 的 EDFA——有较好的信噪比, 适用作前置放大器 (AT&T)
- F——EDFA 氟基的掺铒光纤放大——作光功率放大 (NTT)

b. 掺镨光纤放大器: (NTT)

现在世界上敷设在地下的光纤有 90% 是 G.652 光纤, 其 0 色散波长是在 $1.3\mu\text{m}$ 处。掺镨光纤放大器 PDFA 的工作波长在 $1.3\mu\text{m}$, 它对充分发挥现有线路的潜力有重要意义。PDFA 最近水平如下:

小信号增益	42dB
饱和输出光功率	20dB
噪声系数 NF	5dB
光泵波长	$0.98\sim 1.05\mu\text{m}$
可靠性	25 年 (80 ° C, 相对温度 80 %)
温度~增益特性	不理想

当 PDFA 工作在室温 ($> 250\text{K}$) 时, 它的增益随温度上升而急剧下降。这是影响 PDFA 实用的最大问题。

NTT 用 PDFA 进行试验经过 110.8 公里的标准单模光纤, 传输了 40 路 AM-VSB 视频信号和 10Gb/s 的数字信号。可达到 CATV 线路要求。

B) 光纤激光器 (UK, University Southampton)

具有正回授的光纤放大器可成为激光器。英南安浦顿大学研制的光纤激光器性能如下:

工作波长	1.55 μm	可调谐范围	32nm
输出功率	3mW	线宽	60kHz

从以上可见，光纤激光器具有极优良的性能。它有很狭 60kHz 的谱线和大的可调谐范围，十分适合作相干光通信的本地光源。

C) 均衡 EDFA 增益特性的光纤器件 (AT & T)

熟知 EDFA 的增益——波长特性不平，在长距离传输线路中有许多 EDFA，使 WDM 系统各路增益累积差别可达数十 dB。如不采取措施，无法实现 WDM。

AT & T 研制一种长周期光纤光栅，它具有 EDFA 相反的增益——特性，可作 EDFA 的均衡器件。

D) 光纤镜

用光纤制成光纤镜输入的光信号经耦合后就分成顺钟向和反钟向两路，环光纤环运行。输出端信号是由此两路信号叠加合成的。用一控制脉冲经耦合进入光纤环，只要其强度足够大，光纤环中产生非线性，可使光信号的相位发生变化。在输出端上，如两信号相位相同则有输出脉冲，如两信号相反则无输出脉冲。这样就可利用控制脉冲来实现时分去复用，选择所需的信道，有了这种方法，大大增加了光 TDM 的竞争力。

3. 光器件的进展

(1) 半导体激光器 (日立)

研制出一种 RM-RWG 倒台脊形波导应变多量子阶 DFB 激光器。性能优良，其激射温度达 165 (FP-LD)，输出光功率 240mW，工作波长 1.55 μm ，DFB-LD 的阈值电流约 10mA (25)。

(2) 光电集成电路 OEIC 和光子集成电路 PIC

有人用 Si 基 OEIC 制成了 1.31/1.55 μm WDM 2.5Gb/s 的收发信机。HHI (德) 制作的 PIC 芯片是 1.3/1.55 μm 单纤双向 WDM 系统。打算用于光纤到家 FTTH。其中用 MQW-DFB 激光器作光源，PIN 管作光检器件。

HHI (德) 用 PIC 工艺制作成芯片式的相干光接收机，该芯片包含：4 段 DBR 激光器，光检测器 JFET，光波导，极化旋器等。这个相干光接收是采用 2 相分集接收方法。

OEIC 和 PIC 体积当然很小，而且可靠性很高，当前的问题是成品率不高，性能价格比较低。预计在 2000 年左右可突破。它将使光纤通信换代。

(3) 光调制器——各种光调制器的主要性能比较如下：

调制器种类	调制速度	制作部门	备注
电吸收调制器	50Gb/s	日立	脉宽 4.1ps，用 TDM 可达 80Gb/s
	42Gb/s	(法) Telcom	
LiNb ₃ -MZ 光调制器	100Gb/s	NTT	锁相能力达 400Gb/s
	40Gb/s	富士通	
Polymer 聚合物调制器	60Gb/s	美，加州大学	运行两年稳定

外调制器的优劣，除视其速率外，还需视其在线路上产生的啁啾声是否小。(4) 聚合物 Polymer 器件

采用聚合物作光波导器件有如下优点：

- 工艺简单，可大面积制作，像大规模集成电路那样。
- 价格低
- 速度高：有低的介电常数和高的电光系数 $50 \sim 100\text{pm/v}$ (LiNbO_3 是 30pm/v)。

一直令人担心的是聚合物的温度特性和寿命问题。有实验表明聚合物器件可达 220°C ， 85°C 外推寿命为 10 年。

用 Polymer 聚合物可制作：光开关，光调制器，数据存储器，显示器甚至发光管 LED。

二、国内光纤通信技术的发展

1. 系统和工程-主要是新系统和新工程

565Mb/s 京沪工程：是当今国内自行研制开发的距离最长容量最大的工程。全长 1856 公里，从北京经天津、济南、徐州、合肥、南京至上海，共 6 个数字段。设备是武汉邮电科学研究院研制的，武汉邮电科学研究院和 505 厂共同提供。设备采用 8B1H 线路码型，可提供区间通信。光缆由武汉长飞公司提供。该工程已于 1995 年 9 月试运行，情况良好。

SDH 同步数字系列的研制：邮电部第 5 所于 1994 年底已研制出 SDH155Mb/s 和 622Mb/s 性能样机。将用于成都至攀枝花 700 多公里和杭州至南京 400 多公里工程。这是我国当前最先进的国产工程系统。

武汉邮电科学研究院正在研制 SDH2.5Gb/s 系统，预计 1996 年可出样机。

WDM 研究：北京大学研制了 8 路 140Mb/s WDM 系统，传输了 151 公里，有 2 个 EDFA 中继放大。工作波长 $1531 \sim 1549\text{nm}$ ，频道间隔为 2nm。该系统是当前国内 WDM 路数最多总容量大的试验系统。

综合试验系统（试验架-Testbed）：国家科学大会展出了武汉邮电科学研究院的试验架。该架对 WDM、EDFA、SCM-TV 传输、SLC 及其有关器件进行了试验。WDM 先在 $1.31/1.55\mu\text{m}$ 上进行复用。在 $1.31\mu\text{m}$ 上传输 CATV，用一个无源光网分出 4 路，每路传输 12 路 SCM-TV。在 $1.55\mu\text{m}$ 又用 WDM 再进行 4 路复用，间隔为 8nm。传输 1 个 564Mb/s，2 个 140Mb/s 和 1 个 34Mb/s 的 SLC。光纤总长为 100 公里，中间有 1 个 EDFA。试验系统的设备和大部分光学器件是武汉邮电科学研究院研制的，包括：DFB-LD、EDFA、光泵、WDM 及有关器件等都是武汉邮电科学研究院研制的。

2. 光纤和器件

EDFA 掺铒光纤放大器：清华大学、北京大学首先研制出我国的 EDFA。

武汉邮电科学研究院研制的 EDFA 性能如下：

小信号增益	> 30dB
饱和输出功率	> 10dBm
带宽	> 20nm

其中的 1480nm 光泵，掺铒光纤 EDF、WDM 器件和隔离器等是武汉邮电科学研究院研制的。也试验了波长为 980nm 的 EDFA。

MQW-LD 多量子阱激光器

中国科学院北京半导体研究所和武汉邮电科学研究院均研制出 MQW 多量子阱激光器。武汉院的 MQW-LD 性能如下：

波长	1312nmRMS
----	-----------

带宽	1nm
阈值电流	12.7mA
输出功率	10mW
量子数	4 ~ 6
测试温度	25
无源器件	

国内对各种光无源器件均开展了研制，有些已商用。武汉邮电科学研究院研制的光无源器件光滤波器和光隔离器性能结构如下：

1.3/1.55WDM 光滤波器：该滤波器输入波长是 1.31 和 1.55 μm ，输出波长是 1.55 μm 信号。控制耦合长度 L_c 便可控制过滤波长。在输出端增加滤光膜 F 可提高串话损失。

可调谐 FP 光滤波器

已制成 4 路波长空隙为 8nm 的光滤波器。

工作波长	1550nm
串话损失	-24dB
插入损失	3.8dB
3db 带宽	< 1nm

偏振无关光隔离器 ISO：

这种隔离器主要用于激光器的出端，防止光的反射，在高速系统特别需要。

工作波长	1550nm
损失	< 1dB

瞬态光学技术及其应用

侯 洵

中国科学院西安光学精密机械研究所

侯洵 光学家。1936年12月6日出生于河南灵宝，原籍陕西咸阳。1959年西北大学毕业。中国科学院西安光学精密机械研究所研究员。中国光学学会常务理事，中国光学学会高速摄影与光子学专业委员会主任。1991年当选为中国科学院院士。主要从事瞬态光学方面的研究。

瞬态光学技术是研究和发展用来观察、记录各种瞬态现象的光学技术的。瞬态现象系指变化很快的现象，它可以是物体位置或形态的快速变化，也可以是某种发生在原子分子层次上的表面上静悄悄的非常快速的物理化学过程或生物过程。

为什么要发展瞬态光学技术？为了弥补人类眼睛对快速变化现象分辨能力的不足。我们人类的视网膜有1/24秒的视觉暂留效应，即在视网膜上的图像消失后，我们在1/24秒之内仍能感觉到它。这就是说，我们人类眼睛的时间分辨能力只有1/24秒。正因为如此，所以对于许许多多的快速变化，我们只看到了变化前的状态和变化的结果，而看不清变化的过程。例如一个玻璃杯掉在地上，我们只能看到地上的杯子碎片而看不清杯子撞击地面、破裂、然后飞散的过程。子弹打在窗玻璃上，我们也只能看到结果，而看不清过程。为了认识世界和改造世界，我们就要研究和发​​展一种技术，用来弥补我们眼睛时间分辨力的不足，正如我们发明了放大镜、显微镜、电子显微镜、扫描隧道显微镜……来弥补我们眼睛的空间分辨能力的不足一样。类似地，我们还发明了夜视仪来弥补人眼感光灵敏度的不足，发明了红外变像管来扩展人眼的光谱响应范围。

人类从客观世界获得的信息中有70%是借助视觉的，因此，人类视觉的扩展对于提高我们认识世界，进而改造世界的能力是至关重要的。事实上，人类视觉的任一种扩展都会给人类展现一个崭新的世界，开辟一个广阔的研究领域：天文望远镜使我们得以研究宇宙，显微镜使我们得以发现细菌、研究微生物，而瞬态光学技术则能使我们看清体操运动员的动作细节，了解高速运转的机器的动作过程，研究反坦克弹的穿甲过程，记录原子弹爆炸的瞬间过程，探查高等绿色植物中所发生的光合作用的机理……

瞬态光学技术的分类

瞬态光学技术是一种视觉扩展技术。它使用几何光学、物理光学、电子光学、精密机械、电子学、激光与光电子学等一系列技术。因此，可以有多种依照不同标准的分类，例如按工作所依据的技术，按工作的结果等等。而研究不同的对象常常需要不同的技术，因此也可以按研究的对象，将瞬态光学技术分为两大类：一类是着重研究物质的形态变化与位移的。例如机器的运转、导弹飞行的轨迹和姿态、体育运动、武器试验等等，称为高速摄影；另一类着重研究物质内部的瞬变过程，特别是在原子分子层次上的高速过程，叫做超短光脉冲的产生与测量。由于时间关系，今天我先向大家介绍高

速摄影及其应用。

高速摄影

普通的电影摄影机，每秒拍摄 24 幅，放映时也是每秒 24 幅。尽管银幕上的画面每秒变换 24 幅，但由于人眼的视觉暂留，我们看到的是连续的动作而不是断续的跳变。拍摄速度大于这个值的就可以称为高速摄影。例如，若每秒拍摄 240 幅而以每秒 24 幅的速度放映，则动作被放慢了 10 倍，我们就可以看得相当从容，相当仔细。进行高速摄影的机器称为高速相机。它也可以按工作原理分为光机式与光电子式，按工作结果分为条纹相机与分幅相机，还可以按拍摄速度分为中低速相机、高速相机及超高速相机。

光机式相机：所有使用几何光学原理及高速动作的机械机构实现对快速现象的观测记录的设备，都称为光机式高速相机，它通常又可以十分清晰地分为以下 3 类：

1. 间歇式高速摄影机。相机有一个输片机构、收片机构与光学系统。底片在抓片机构的拖动下间歇运动。曝光在底片静止的片刻完成。限于底片两侧齿孔的强度，这类相机的拍摄速度的上限为 360 幅/秒。底片通常长约 200 ~ 300 米，持续拍摄约数分钟。结果可以放电影，使原有现象的速度放慢至多 15 倍，也可以用专门的判读仪测出运动的多种参数。我们通常看到的体育运动的慢动作，早先都是用这类摄影机拍摄的，速度约在 50 ~ 100 幅/秒之间。

近十多年来，人们逐渐使用了高速视频录像技术，俗称高速电视，它具有无需事后冲洗、放映速度可变，可以擦除等优点，方兴未艾，我们后面还要提及。

2. 光学补偿式高速摄影机。在这类相机中，底片连续运动，从静止逐步迅速达到某一稳定速度。为了获得清晰的图像，人们使用移动的透镜、旋转的棱镜或反射镜，使图像在曝光时间内与底片同速运动、相对静止，目前使用最多的是旋转棱镜。这类相机的底片长度通常在 30-120 米之间，最长也有 600 米的，所得结果可以放电影。由于光学补偿式高速摄影机结构简单，操作方便，体积小而造价低廉，它被广泛地应用于研究各种发光的和不发光的（加照明装置）快速现象，如导弹的发射、工业机器的运转、流体力学、爆轰学、加工工艺研究、材料力学、航空航天技术等等。

这类相机可以按底片运动的方式分为牵引输片式，其胶片总长约 200-300 米，拍摄频率每秒数千幅，上限 1.1 万幅/秒；另一种为鼓轮式，它的底片固定在一个高速的鼓轮的内表面或外表面，片长约 1 米，拍摄频率数万-数十万幅/秒，画幅总数数百-数千幅。

3. 转镜式高速摄影机。在这类相机中，底片固定在暗箱内一个近似圆孤的片架上，用旋转反射镜使成像光束相对于底片高速运动。如在底片前面放置一排小透镜，光束扫过它们时会在底片上形成一幅幅图像，构成所谓分幅相机。如在光学系统前设置一个狭缝，将目标成像在狭缝上，并将其经转镜成像在底片上，则当转镜旋转时会在底片上形成一个条状图像，条纹的宽度表示目标沿狭缝方向线度随时间的变化，条纹的黑度表示目标的发光强度随时间的变化。由于拍摄结果是一个条带，因此称为条纹相机，有时也因其来自光束在底片上的扫描而称为扫描相机。其时间分辨率取决于扫描的速度和相机沿扫描方向的空间分辨率，一般在纳秒（ 10^{-9} 秒）量级。分幅式转镜相机

片长 1-2 米，画幅数十至数百（视画幅大小而定），拍摄频率数十万至两千万幅/秒。为了避免较长的发光过程造成底片重复曝光，这类相机备有快开快门和快关快门。前者在转镜转到某一角度时打开，后者则在光束重复扫描前关闭。由于需要高速动作，快开快门是一种大电流脉冲驱动的铝箔，快关快门是一块两侧置有电雷管、前后置有有机玻璃防护板的平板玻璃。当雷管起爆时玻璃块被粉碎，光路即被遮断。

转镜相机的转镜可以用特种钢制造。当速度进入超高速范畴时，通常采用铍制作，取其轻而刚韧兼备。这种相机多用于靶场，是爆轰物理、磁约束受控聚变研究及核武器试验等的有力工具。

光机式高速摄影机还有一些不常用的次要类型，由于时间关系，从略。我国自 60 年代初开展高速摄影技术的研究，到 80 年代初，已经成功地研制了上述各类相机并且达到了国际先进水平，打破了当时的禁运，满足了国防科研的需要。

光电子类相机：

所有使用电光、光电效应以及脉冲电光源的高速相机，我们统统归入光电子类，它还可以细分为闪光摄影、电光摄影与变像管摄影。

1. 闪光摄影：这种摄影与我们日常在光线暗的场合使用闪光灯拍照类似，不同之处仅仅在于所使用的闪光的持续时间更短。闪光可以是火花放电、氙灯，也可以是脉冲激光。相机的曝光时间就是闪光持续的时间或者叫做光脉冲的宽度。一般火花放电的持续时间可以短至纳秒（ 10^{-9} 秒），而激光脉冲则可以短至皮秒（ 10^{-12} 秒）及飞秒（ 10^{-15} 秒）。闪光摄影一次获得一幅照片，如果使用依次放电的火花隙阵列或序列激光脉冲，也可以获得多幅照片。

当使用 X 射线闪光时，就形成了叫射线高速摄影的技术。

2. 电光摄影：某些液体，例如硝基苯、二硫化碳等，在电场中有双折射现象，电场消失后这种现象也很快消失，称为 Kerr 电光效应。在一对正交的偏振片中间放置一个能施加电场的充有上述液体的盒子（通常叫克尔盒），就构成一个快门。不加电场时，这个快门是不透光的，即关闭的；当加一合适的电场时，这个快门就透光了。快门打开的持续时间取决于电场存在的时间，即加在克尔盒上的高压电脉冲的宽度，通常为纳秒量级。当使用二硫化碳液体并用脉冲激光的电场驱动时可以达到皮秒量级。1964 年我国第一颗原子弹爆炸时，我们就使用了自己研制的三台克尔盒高速相机，获得了珍贵的核爆的早期照片。也可以用某些晶体的电致双折射效应构成一个高速快门，用于高速摄影。类似地，还可以利用法拉第磁光效应构成一个快门，不过因为磁场建立较慢，曝光时间较长。

3. 变像管高速摄影：变像管是一种宽束光电成像器件。它由光电阴极、电子光学聚焦系统及荧光屏组成。当光学图像照在它的光电阴极上时，光电阴极即发射出一个电子密度与光强相应的电子图像，这个电子图像经电子光学系统聚焦成像在荧光屏上就重新转换成一个新的与原来的光学图像相同的可见光图像。

变像管有这样几个优点：第一，它可以实现波长变换。依靠使用不同的光电阴极，可以将红外图像、紫外图像及 X 射线影像转化为可见光图像。第二，利用在变像管内放置二维电子倍增器（MCP）倍增电子数目并提高对电子的加速电压，可以实现图像的亮度增强，即将微弱的光学图像增强为荧光屏上明亮的可见光图像，增益通常可达数千至数万倍。第三，利用电磁场可以

控制电子束的运动，使之偏转扫描或中断，从而形成快门动作，构成变像管高速摄影机。由于电子的惯性极小，变像管相机的时间分辨率可以达到皮秒甚至飞秒量级。

像光机式高速摄影机一样，变像管相机也可以按照拍摄的结果分为单幅的、多幅的和条纹的。

短磁聚焦的飞秒条纹管，由于可以尽早对光电子偏转扫描，避免了光电子自光电阴极至荧光屏的飞行过程中出现的时间弥散，因而可以获得飞秒级的时间分辨率。

4. 高速视频录像：光机式的高速摄影机都是使用胶片的，即使是变像管高速摄影机，以前也都是使用胶片做最后的图像记录的。这就需要显影、定影等事后处理，费时费事。磁带录像技术出现之后，人们致力于高帧频的摄录技术，研制成功了采用高密度磁头与磁带的高速视频摄录机，摄录频率可达 2000 帧/秒，画面分割后可以更高，例如 6 分之后可达 12000 帧/秒。

最近几年，随着固体摄像器件（CCD 与自扫描光电二极管阵列器件）的发展和大量集成电路存储芯片的出现，高速视频录像系统已经放弃了采用高密度磁头与磁带的途径。新的系统采用高速专用 CCD 或 SSPD（自扫描光电二极管阵列）作为图像传感器，大容量集成电路存储芯片作为记录介质，研制成功了固态全数字高速视频录像系统。这种系统既无需光机式高速摄影机的胶片事后处理，可以即时以标准电视制式任意倍率慢放和对画面进行自动搜索，也没有光机式高速摄影机及用磁带记录的高速视频录像系统的高速运动部件，因而没有噪音，没有磨损，寿命长，实现了快速变化现象的捕获、记录与立即重放。今后，随着空间分辨率的进一步提高，必将取代中低速的高速摄影机。我国西安光机所已经研制成功这种新型高速摄录系统，拍摄频率 500 帧/秒，画面二分割之后可达 1000 帧/秒，记录容量 4000 幅。

可见化技术：

客观世界中除物体形态、位置、亮度等等的变化是明显可见的之外，还有一些物理量是不可见的，例如温度的分布、密度的分布、压力的分布、应力的分布等等。然而这些物理量往往对空气动力学、爆轰学、激波等的研究极为重要，于是人们发展了若干技术来显现这些物理量的分布及其变化。我们称之为可见化技术，也有称流场显示技术的。它的基本原理有的是温度或压力的变化引起空气密度的变化，空气密度的变化引起它对光的折射率的变化，从而引起光线传输路径的变化，造成阴影或纹影，这些阴影或纹影反映了温度或压力的分布。有的是光的干涉。应力会引起双折射效应，形成干涉花纹。人们可以从干涉图判断应力的分布及大小。

可见化技术方面，以前应用最多的是阴影法和纹影法，近些年发展了剪切干涉与全息干涉。

高速摄影技术的应用

高速摄影是人眼视觉能力在时间分辨能力方面的延伸，它可以应用于一切我们想要探究的快速现象，最直观的也是最常见的是用于体育运动与国防科技的研究。体育动作的分析及生物力学的研究通常使用间歇式高速摄影机，其拍摄频率上限为 360 帧/秒。国防科技方面，爆炸、燃烧、穿甲、弹道、飞行姿态等的研究都离不开高速摄影，其中核武器的研究更需要超高速的高

速摄影机。当研究链式裂变反应的初期状况时，甚至需要皮秒时间分辨能力的变像管条纹相机与分幅相机。

高速阴影、纹影、剪切干涉及全息干涉摄影是研究高速流场的最直观最有效的手段。它可以显示温度、压力、密度、应力等的分布及其快速变化，对航空、航天、火工品、爆炸物理及常规武器研究十分重要。

光机式高速摄影机与光谱仪配合可以组成具有时间分辨能力的光谱仪，用来通过光谱及其强度随时间的变化研究某些发光现象中的化学物理过程。这类仪器由于光机式高速摄影机缺乏光增益功能及时间分辨率较低，只能研究一些自发光较强的慢过程。

当需要研究快速的过程时，人们利用变像管条纹相机与光谱仪配合，建成具有皮秒时间分辨率和光增益的超快速光谱仪。这种仪器可以用来记录快速变化的发光光谱、荧光光谱与吸收光谱，藉以研究各种超快速的物理、化学及光生物过程。

自从 60 年代中期实现固体激光器的锁模以来，激光脉冲的脉宽由数百皮秒发展到了今天的几个飞秒。锁模激光器自身也经历了固体染料固体的螺旋上升过程。当前，掺钛宝石激光器已能直接产生短至 8 飞秒的脉冲，脉冲啁啾放大技术已能将飞秒单脉冲的能量放大至百毫焦耳级。利用调谐技术、倍频技术及光学参量振荡与放大技术（OPQ、OPA），超短激光脉冲的波长也已经可以覆盖紫外到近红外的整个波段。超短激光脉冲为人类提供了强有力的研究超快现象的手段。利用超短激光脉冲组成的泵浦/探测系统，人们可以研究物理、化学、生物学中的许多基本过程，例如超晶格量子阱材料中载流子的行为、有机偶极分子的光致电荷转移及电荷分离特性、高等植物光合作用的原初过程、血红蛋白动力学、DNA 内能量转移的过程、视紫红质、视黄醛的光物理过程等等。超短激光脉冲的宽度及功率发展到今天，不仅使人们得以研究许多需要飞秒级时间分辨能力的仪器才能研究的深入到原子、分子层次的超快现象，而且展现了人类控制化学反应的方向及进程并实现分子剪裁的前景。超短超强激光脉冲的聚焦还提供了等同甚至高于氢原子场强（ $5 \times 10^9 \text{V/cm}$ ）的光场，为人类开辟了一个新的研究领域——强场物理。

微型机的新发展

倪光南

联想集团

倪光南 计算机专家。1939年8月出生于浙江镇海。1961年毕业于东南大学。联想集团首任总工程师，中科院计算所研究员、博士生导师。1994年被选聘为中国工程院院士。我国汉字信息处理领域的开拓者之一，是“联想”输入技术的发明人和实现人。

进入1996年以来，我们看到PC机的发展出现了新的分支，这就是现在受到人们关注的网络计算机（NC）和交互计算机（SIPC）。这种局面的出现可以认为是PC机技术趋向成熟的一个标志。大家知道，成熟的工业产品如汽车和飞机等等，在发展中都形成了一些适合于特定应用领域的分支，例如汽车发展成为小轿车、吉普、大卡车、赛车、客车……所以PC机发展出了NC和SIPC也是必然的趋势。如从技术上加以观察，这进一步表明了计算机、通信和消费电子这三大领域的互相渗透和紧密结合。今后，PC机的厂商如果不能在自己的产品中，把这些相关领域的技术综合起来，就很难保持产品的竞争力。

一、网络计算机

网络计算机以下简称为NC，是指与网络相联的低价格计算机，它含有紧凑的操作系统并能执行与硬件平台无关的解释语言（如Java），NC的应用程序由一些所谓“小应用程序”（Applet）组成，它们仅在执行时从网络下载。NC又被称作：环球网PC（Web PC），Java终端，互联网络设备（Internet appliance），浏览盒（Browser box）等等。

这是1996年初才在市场上出现的一种计算机，它与传统的PC相比，除了价格低、具有联网功能和一般不带硬盘以外，还具有以下两个特点：

1. NC的操作系统必须小而快，能在资源少、价格低的NC上运行，它应有丰富的API，采用CORBA这类面向对象的技术，能从网络上动态加载分布的对象。

2. NC的应用程序由分解成可动态下载的小部件（Applet）组成，部件大小一般为数十KB，如果用28.8Kbps的Modem，它们下载所需的时间和一般PC机从硬盘装入一个大应用程序所需的时间相仿。

NC不仅是作为一种供初学者使用的低档机，它也是为了满足大公司工作的需要，它们已建有高速网络，用NC后可以大大减少管理费用和使系统免受误操作的影响，并可降低对硬件和软件不断更新的要求。此外，学校也是NC的一个大市场，最后，NC还将进入消费者市场。

实际上，低档PC和NC的价格是很接近的，它们之间并没有非常明显的界线，NC的主要考虑应当是易用。如果它遍布公用场所可随时提供人们使用时，它也将部分地取代便携机。

NC今后的发展主要取决于以下四个方面：

1. 网络。NC的发展密切依赖于互联网、环球网的发展。要满意地使用NC需要有足够的联网带宽，至少是28.8Kbps的Modem。当前，对带宽的要求推动了ISDN和电缆（Cable）Modem的发展，最终有可能发展到采用ATM交换

技术。与这些高速接入技术相适应，网络还需要具有对大量高速用户提供服务的功能。

2. 芯片。运用现代的设计工具和标准模块，可在短时间内设计出专用于 NC 的芯片，即在一个芯片上集成高性能的 RISC 处理器及其他专用处理部件，只要再附上 RAM 和 ROM，几乎不需要加别的元件就可以做成一个 NC。这是降低价格的重要途径。

3. 软件。NC 将在很大程度上依靠 Java 语言开发应用程序。Java 是一种解释语言，它屏蔽了构成 NC 的硬件和操作系统。由于解释执行比编译执行的速度慢，为了提高速度，可以在下载 Java 对象的同时将它编译为机器码，或者在服务器上存储预编译好的对象，也可用 Cache 技术来提高速度。

4. 与其他类似设备的竞争。我们知道，低档 PC 和 NC 的差别并不很大，而且，把 PC 上的标准应用软件（例如 MS Office）的全部功能用一组 Java 部件实现，以便在 NC 上运行，将是一个繁重的工作。可能将来 NC 会着重于某些面向网络的应用。此外，NC 和交互游戏机、TV 机顶盒等的差别也是不明确的，这些类似的设备都会和 NC 一起分享市场份额，这是计算机发展多样化的必然趋势。

最终，NC 的推广前景取决于需求。例如从网络上购物等等应用的发展，会使人们愈来愈多地依赖信息高速公路，从而推动 NC 的发展。

二、交互计算机

简易交互计算机（Simply Interactive PC）以下将简称为交互 PC 或 SIPC，是指那种简单易用、面向娱乐、作为消费电子设备使用的计算机，它应具有很好的多媒体功能（例如具有三维图形、高质量音响、视频播放、DVD 播放等功能）；能很方便地与其他电子设备相联（通过 USB、IEEE 1394 等总线或以无线方式联接）；它的外形更接近于一般的家用电器，操作方式和界面也比一般 PC 更加简单易用。SIPC 是最近由 Microsoft、Intel 和 Toshiba America 等公司提出的，并得到了很多厂商的支持，它将成为 PC 的一个重要分支，成为家庭的娱乐中心、通信中心和各种活动的控制中心。

今天人们已拥有很多电子设备，例如电话、电视、录像机、VCD、音响、游戏机等等，但是 SIPC 有它的特点，例如它有优越的交互作用，可以与 Internet 相联，在网络上通信或通话甚至进行会议电视，它可以比一般电器更易使用、更智能化，它也可以提供目前电器所达不到的、相当于影剧院水平的声音和图像，所以它的前途是广阔的。

大家知道，网络计算机（NC）也是今年刚在市场上出现的一类计算机，那么，SIPC 和 NC 有什么区别呢？应当说两者是面向不同的应用领域：前者主要是为了联网应用，而后者则主要是为了娱乐。它们都是 PC 的分支，也都可以认为是专用的 PC。

下面叙述 SIPC 的一些主要特点。

1. “即开”（OnNow）功能。一般的家用电器一打开就能使用，而一般 PC 机则需要等一二分钟时间才能正式运行，为了克服这个缺点，SIPC 需要有特殊的电源管理，做到随时可用，立即可用。也就是说，系统不用时处在抑制状态，一旦要使用时（或者收到某种激励）就能立即进入工作状态。所谓“即开”就是指它始终处在开的状态，但是外表看起来却是关着的，而且它能即

时地对用户和其他信息作出响应。由上述 Intel 等三家公司提出的先进配置和电源接口 (ACPI) 规范草案就是为此制定出来的, 它使操作系统可以对各类 PC (包括服务器、事务处理 PC 和家用 PC 等等) 进行电源管理。它将是一个跨平台的接口, 可支持 Win95、Windows NT 或其他操作系统。通过这一接口, 系统能随时开关外部设备, 另一方面, 外部设备也能随时激活 SIPC 和其他有关设备。这样, 就能使 SIPC 达到“即开”的要求。

2. 总线。SIPC 需要有容易扩展的总线, 其中包括低速的 USB 总线、高速的 IEEE 1394 总线、采用红外或射频技术的无线接口以及设备口 (Device Bay) 等等。SIPC 通过这些手段将可与电视、录像机、摄像机、VCD 或 DVD、音响、数字卫星电视等等设备联接, 并对它们实行控制。

USB 总线是一种低速串行总线, 它能提供 12Mbps 的数据传输速率, 各种外部设备可以很方便地联到同一条 USB 总线上, 这比通常用多条并行口和串行口电缆联接设备要方便得多。目前 Intel 在最新的 Pentium 支持芯片组 (Triton) 上已集成了 USB 控制端口, 另外, 与 USB 相联的外部设备也在陆续推出, 预计它将会很快成为 PC 机的标准配置。

IEEE 1394 总线是一种数据传输率可达 400Mbps 的高速串行总线, 将来还会提升到 1Gbps。在这种速率下甚至可以传送不加压缩的视频信息。该总线用包含二对信号线和一对电源线的细电缆传输, 既经济又方便。在 IEEE 1394 上各个设备可以采用链式联接, 也可以用多条总线和桥路构成树形结构, 使多个设备并行工作或彼此通信, IEEE 1394 还允许带电接入或卸下设备等等, 所以它非常适合于联接高性能的视频或音频设备。

无线接口也是 SIPC 的一项重要技术。由于红外技术的成本低, 已得到较多的应用, 它可提供 1.152Mbps 和 4Mbps 的传输速率, 目前已建立了 IrDA1.0 和 2.0 标准。它可以用来联接打印机、遥控器、操纵杆等等设备或者构成局域网。射频无线技术在目前比红外技术的成本高, 但是随着技术的发展, 它的成本将迅速降低。在 SIPC 的应用中, 主要是低功率、短程的射频无线技术。在某些国家里, 可用的频段已有 46-49MHz, 902-928MHz, 2.4GHz, 5.7GHz 和 60GHz 等等, 在这些频段中可采用狭带技术也可采用扩展频谱技术。将来, 无线接口的数据传输率在高频段可达 10Mbps 甚至达到 100Mbps。

3. 显示。对 SIPC 的一个需求是能与电视屏幕联接, 这是很多娱乐活动的要求, 同时, 电视的大屏幕也可以使很多应用取得更好的效果。因此 SIPC 的显示设备应能将 VGA 信号转换为 NTSC 或 PAL 制电视信号, 并能作放大、缩小、剪裁、长宽比变化处理等等。这里在技术上的难点是需要解决电视隔行扫描引起的闪烁问题, 这种现象对单线对象 (例如字符) 特别严重。为此, 需运用滤波技术, 并以软件进行辅助, 区分需要滤波和不需滤波的对象作不同处理。在很多应用情况下, SIPC 需要同时接电视大屏幕和 VGA 屏幕, 两者各自显示适合自己显示的不同内容 (如分别显示游戏图像和显示游戏规则、记分)。

4. 音响。将来的 SIPC 将提供高质量的音响, 例如三维增强声、环绕声和三维定位声。以属于环绕声的、Dolby 实验室开发的 AC-3 为例, 它采用了五个全频率带的扬声器和一个频响 120Hz 以下的超低音扬声器 (也称为 5.1 系统)。这个系统有六个压缩声音通道, 数据率为 384Kbps。为了对这六个通道的信息解码, 目前需要用专门的硬件来实现。将来, 系统的音频放大器、扬声器以至进行处理的 DSP 等等部件都可以通过 USB 或 IEEE 1394 总线与

SIPC 相联,Microsoft 规定的 Win32 驱动程序模型 (WDM) 采用了分层的、面向对象的结构,具有即时响应功能,这一切技术的综合将使 SIPC 能提供高质量的音响,构成名副其实的家庭剧院。

5.外表。常规 PC 的外表和家用电器有很大的差别,SIPC 则应有和一般电器相似的外观。由于通过 USB 这类总线可以很方便地在机外挂接各种各样的外部设备,所以 SIPC 在扩展时将不需要打开机箱,它可以做成整体密封的结构,没有需要进行维护的部件。

6.软件。在软件开发方面,SIPC 的推广需要开发大量交互作用的游戏,用 MPEG 压缩的光盘软件和其他高质量的多媒体或联网使用的软件,Microsoft 已提供的开发工具包括 ActiveX 和 DirectX 还有上述的 WDM 等等都有助于这些软件的开发。

总之,SIPC 将会在今后迅速进入家庭,它将同一般 PC、网络 PC、游戏机等等产品进行竞争,分享市场。

展望航空技术的发展

顾诵芬

航空研究院

顾诵芬 飞机空气动力学家。1930年2月4日出生于江苏苏州。1951年上海交通大学航空工程系毕业。航空工业总公司科学技术委员会副主任，航空研究院副院长、研究员。1991年当选为中国科学院院士，1994年当选为中国工程院院士。直接组织领导和参与了低、中、高三代飞机中的十余种飞机气动布局 and 全机的设计。把飞机的各专业系统技术融合在一个总体优化的机型内。取得多项重要成果。

一、发展航空是国防建设和国民经济和社会发展的需要

空中力量在现代战争中的重要地位已为世界公认。1991年42天的海湾战争，多国部队在38天的空中袭击，摧毁了伊拉克1/3左右的坦克和大炮，瓦解了10多万精锐部队，多国地面部队，仅用4天，只付出阵亡79人的代价，迫使伊拉克无条件投降，这是历来战争所没有过的。因此战后各国都十分重视加强军事航空力量的建设。美国在军费大量削减的情况下，为了保持空中优势还在继续实施费用高达588亿美元的先进隐身战斗机F-22的研制计划。

为了提高人民生活质量和加快经济发展，航空已成为现代生活所必须。航空运输的特点是快捷、舒适、安全、经济。虽然铁路运输也在提高速度，但其经济性仍不如航空。据西方估计路程在650公里以远，甚至于先进的悬浮高速列车也不如航空运输经济。

美国估计(不包括前苏联)，1990年世界的运输量为16000亿人·公里，到2010年达48000亿人·公里，每年以10%左右增长。俄罗斯估计俄本国航空运输量年增长率7% - 9%，到2010年达3000亿人·公里。我国从1985年到1994年平均年增长率达20%，1994年达552亿人·公里。为实现第三步目标，达到现在发达国家水平，我国民用航空运输量还会保持这样的高速度增长，这就需要大量的民用飞机。

要获得民用飞机市场，必须有高的安全性、经济性、舒适性和低的成本，这就需要采用各专业的高新技术，因此必须国家投资。美国在海湾战争后重申航空技术为国家关键技术，除国防需要外，千亿美元的民机市场也是它的着眼点，欧洲四国政府不惜投资260亿美元，终于使空中客车飞机获得了25%的民机市场。现在发展中国家也都纷纷起来创办航空工业，也都看到了航空产品的高技术、高附加值，另外发展航空的高技术也还能推动各工业部门的发展。为此，我国也要开展民机的研制。

二、未来民用飞机的发展趋势

今后民用飞机的发展：一是大型亚音速运输机；二是先进的超音速客机；三是偏转旋翼式垂直起落支线客机。

1. 关于大型亚音速客机

估计到 2020 年航空运输主要靠亚音速客机，预计从 1991 年到 2005 年 100 座以上亚音速运输机需要 9000 架。要求到 2020 年飞机的运营总费用要比现在降 25%，即要求单位座公里油耗降 40%（其中 25% 靠发动机改进，15% 靠提高飞机气动效率和减少飞机空重）。要求飞机的客座量提高到 1000，但飞机轮廓尺寸仍应在现有机场允许使用的条件内。

要提高飞机的全天候起降能力。提高可靠性，降低事故率包括人的差错和自动系统的可靠，降低噪音和发动机排放污染。

2. 关于超音速客机

虽然 70 年代已研制了“协和”和“图-144”超音速客机，但由于不经济和对环境污染，得不到发展。展望 2000 年越洋飞行的运输量要大大增加，因此超音速客机还要发展，到 2015 年可能要 600-1500 架。

将来的超音速客机将能乘 250-300 人，巡航 M 数在 1.6-2.5，航程在 10000-12000 公里。

为使用经济要求超音速升阻比大于 9，发动机油耗在 1.2-1.3 公斤/公斤推力·小时。

为减少环境影响，要降低音爆强度，使之控制在小于 0.0005 大气压，主要靠改进飞机的气动外形。

关于排放污染问题主要控制发动机燃烧后的氧化物（ NO_x ）的排量。 NO_x 在高空要破坏自然臭氧层，在低空则与阳光作用产生大量臭氧和其他强氧化物。所以需要研究不影响自然臭氧层的 NO_x 排放标准，以便选择合理的巡航高度。对于控制 NO_x 量，则还应改进发动机的燃烧器，这涉及基本化学及大气动力学。

3. 偏转旋翼式支线客机

为解决中心机场的拥挤，需要垂直起降飞机实施疏散客流，并进行市区对市区的运输。利用可偏转旋翼的支线客机是可能的。这种飞机有直升机的机场利用优点，但又能克服直升机气动效率低、振动噪音大的缺点。现在已有军用型 V-22。将来应进一步降低空机重量，提高气动效率，特别是垂直飞行时旋翼对机翼载荷的影响，还有就是降低研制费用。

三、发展航空需要的相关技术

发展下一代民用飞机要能在国际市场上占一席之地，必须采用先进科学技术，下面介绍对主要学科专业的要求。

1. 空气动力学

空气动力学研究着眼于如何提高将来飞机的性能上。

提高飞机的巡航升阻比，最有潜力的是翼面流动的层流化。如能将亚音速客机上翼面保持全弦长层流，则可提高巡航升阻比 10-12%。要得到实用的层流化机翼的设计方法，要弄清附面层转捩的机理，以便建立模型，通过 CFD（计算流体力学）方法和精确的实验验证。对于超音速客机同样也要在超音速巡航时得到层流。

对于机身等不易获得层流的气动部件，要研究实用的紊流减阻措施。

对于超音速客机要减少波阻，包括升致阻力和体积波阻，要利用波的有

利干扰，要研究新的气动布局方案。

进一步提高飞机起降性能要研究新的高效增升装置。

研究发动机安装和飞机机体的一体化设计以获得高推进效率，并利用发动机推力转向的增升作用。

CFD 要作为设计手段，可以算任意形状物体的气动力，要有足够精度，程序使用要方便，快速，要利用并行计算技术。

关于空气动力实验要有高 R 数，低扰动的风洞，要研制高分辨率高精度的非接触测量装置。

总之发展飞机空气动力学必须是理论、精致的实验和 CFD 的结合。

2. 推进技术

今后 20 年的发展目标仍是提高热机和推进效率、降低油耗、提高推力级、减轻重量、减少排放、降低噪声、增加可靠性、提高寿命和减少维护工作量。

对亚音速客机用发动机，要较大幅度提高压比和涡轮进口温度。风扇函道比要比现在提高 3-5 倍，甚至采用无函道桨扇。

提高部件效率主要用 CFD 设计风扇、压气机和涡轮。

燃烧室要作大幅度改进，将 NO_x 的排放量降低约 8 倍。

发动机也要采用主动控制技术，以提高压气机效率和喘振余度。采用磁悬浮轴承以减轻重量。广泛采用计算机监控技术以保证发动机的安全可靠运行。

3. 材料和结构

下一代民用飞机的机体材料仍然是金属为主，要发展铝锂合金，在不降寿命条件下，提高刚度，减少密度，提高韧性和抗腐蚀能力。采用快速凝固技术以获得耐高温的、新的、价格低的铝基合金。要开展对序列合金 TiAl ， Fe_3Al 及 Ni_3Al 等的研究，以获得新的更高的强度/重量比航空用材料。

要发展复合材料结构实用的设计、分析制造、检验和修复方法。要研究复合材料结构的损伤容限机理和实用有效的无损探伤技术。

要研究超音速客机结构用耐高温的树脂复合材料。陶瓷基复合材料将用于不需冷却的发动机涡轮部件，要提高抗氧化能力和韧性。

利用复合材料特点开展“灵巧结构”研究，要研制埋入式传感器、处理器和作动器的综合。利用光纤、压电材料和记忆材料实现颤振和载荷的主动控制。

要积累民机和适航使用数据，研究制定高效率的适航要求和鉴定方法。进一步开展先进结构寿命预测方法和结构分析软件的研究。

4. 航空电子和控制

为提高航空系统的输送能力，充分利用各种来源的导航信息，实施航迹的四维管理。

要实现全天候起降，建立可靠的防撞系统。要研制新的风切变探测装置及其回避系统。

为便于视线很差的环境下，飞行员仍能操纵飞机着陆，需要在飞行员的视景上叠加各种传感器提供的视景数据，增强视景画面，进一步研究灵境技术的应用。还要研究语音控制，以提高飞行员操作的正确性。

新一代民用飞机也要采用主动控制技术，实现放宽静稳定，突风减缓和载荷降低。要开展飞行和发动机的一体化控制。

要研究新的机上能源系统及相应的作动器。

5. 认知工程

要将信息科学、认知科学和人素工程的知识结合在一起，使飞行员、飞机和空中交通管制这个大系统能更好的运行，这就是航空上的认知工程。认知工程在航空上应用要研究增进航空运输系统的安全，保证系统的正确和可靠的工作，对信息有效管理和传播。

四、结束语

我国航空工业 45 年来主要为国防建设服务，有了一定基础，现在正在开展民用飞机的研制。要研制出在国际市场上能占一席之地的民用飞机，必须采用先进技术，需要依靠我国自己的科学研究和工业技术的支持。

世纪之交的钢铁工业

殷瑞钰

冶金工业部钢铁研究总院

殷瑞钰 钢铁冶金专家。1935年7月28日出生于江苏苏州。1957年毕业于北京科技大学。曾任唐山钢铁公司副经理兼总工程师、河北省冶金厅厅长、冶金工业部副部长兼总工程师，现任钢铁研究总院院长、教授级高级工程师、国家重大科研项目“熔融还原”首席科学家、兼职教授。兼任中国金属学会副理事长。1994年被选聘为中国工程院院士。主要从事钢铁冶金等方面的科技和管理工作的。

20世纪钢铁工业得到了蓬勃的发展，成为全球经济和社会文明进步的重要物质基础。

特别值得注意的是第二次世界大战后，世界钢产量的增长，大体上可分为三个阶段：1947-1974年间以年均6.3%的速度快速增长；1974-1986年，由于发生石油危机、国际货币汇率变化以及西方国家经济不景气等原因，世界粗钢产量起伏波动，徘徊不前；1986年以后，又在起伏波动中逐步回升，1990年产量已高达7.7亿吨，预计1986年-2000年有可能以年均0.9%的速度起伏波动地增长，到2000年全球粗钢产量有可能接近8亿吨左右。90年代以来，世界格局发生了重大变化，我国国内经济格局在建设有中国特色的社会主义的过程中，也发生了深刻的变化，这就是随着改革的深化，经济体制由原来的计划经济向社会主义市场经济转变，经济增长方式从粗放经营向集约经营转变。面对这些重大的变革，面对国际上科学技术的迅猛发展，面对国际上钢铁产品市场的激烈竞争，很有必要对世纪之交的钢铁工业进行分析判断。

一、钢铁在材料中的地位

世纪之交钢铁作为一个重要的结构材料、功能材料的位置会不会发生重大变化，这是人们不断进行讨论分析的问题。

强度、变形、断裂、热特性以及综合性能仍是对材料性能的主要要求。价格低、容易回收、对环境的影响相对好、节能、节料等因素成为评价材料的主要指标。在这些评价因素上，钢铁材料都表现出相应的优势。

20年间钢材价格起伏不大，水泥、塑料的价格明显上升，铝的价格有较大的起伏，但升幅高于钢材。

20年来钢制民用品、汽车、机械设备等价格的升幅均明显高于钢材。

材料的循环使用对节能以及对环境的影响，也是一个重要的考虑因素。钢铁材料的回收率已达到55%，明显高于其它材料。

钢铁材料的综合优异性能在世界主要基础工业和基础设施中仍是不可替代的。从成本上看，钢铁材料的竞争性也是显而易见的，从结构材料的成本比较可知，若按材料的单位强度计，钢的成本仅为铝、陶瓷、碳素材料的1/4-1/5。1990年世界钢产量约为其它金属材料产量的近14倍。

另外，用于制钢的铁矿石原料储量高，易开采，易加工，加之良好的可

再生利用性等原因，在可以预见的未来时间内，钢铁材料仍将是全球性的主要基础原材料，钢铁将继续对全球经济发展和社会文明进步起到积极的支撑作用。

二、世界及中国钢铁工业的发展情况

近 20 年来，世界钢铁工业的布局发生了明显的变化。西方工业发达国家占全球钢产量的比例由 1970 年的 67%，下降到 51%，发展中国家则由 1970 年的 7% 上升到 23%。从地域分布上看，环太平洋地区的粗钢产量不断上升，而大西洋地区的粗钢产量在起伏波动中逐年下降。前苏联、东欧地区的粗钢产量则明显下降。

1990 年全世界人均钢占有量为 149kg/人·年。其中西方工业国家平均为 416kg/人·年，东欧为 487kg/人·年，发展中国家为 49kg/人·年。

我国自 1978 年实行改革开放政策以来，钢铁工业得到空前的发展，1994 年粗钢产量达 9261 万吨，占全球粗钢产量的 12.65%，列世界第 2 位。在 1994 年全世界 20 家大型钢铁公司中，中国有三家，其中首钢排第 15，鞍钢排第 16，宝钢排第 20。

随着全球钢铁生产的发展，全世界钢材出口的比例不断增长。1950 年全球产钢 1.9 亿吨，钢材出口比例为 11%；1970 年产钢 5.94 亿吨，钢材出口比例为 20%；1990 年世界产钢 7.70 亿吨，钢材出口比例为 25%。可见钢材的国际贸易量愈来愈大，随着钢材出口量的增加，钢材在价格、质量方面的国际竞争日益激烈。

三、优化结构是当今乃至世纪之交世界钢铁工业发展的共同趋势

第二次世界大战以后至今，钢铁工业发展的轨迹是随着经济发展和科技进步而演变的。自从 1952 年氧气顶吹转炉发明以后，直至本世纪末钢铁工业的发展大体上经历了三个阶段：

第一阶段是 1952-1973 年间：由于氧气顶吹转炉的发明及其逐步大型化、完善化，推动着钢铁工业飞速发展，使得钢厂获得了巨大的经济效益，并且带动着高炉向大型化发展，尤其是日本的高炉大型化发展具有世界导向性。日本 1961-1965 年间新建高炉的容积为 1350-2047m³，1966-1970 年间新建高炉容积为 2004-2843m³，1971-1980 年间新建高炉容积为 3159-4052m³。与之相应，转炉的最大吨位达到了 300-350 吨。联合企业最主要的轧钢设备——热轧带钢轧机，也向着“大型化、连续化、高速化、处动化”方向发展，70 年代初，热连轧宽带钢轧机的最高轧制速度已达到 1500m/min 以上。

人们知道：一座 2500m³ 的高炉年产铁约 170-180 万吨，一座 3200m³ 高炉年产铁约为 220-240 万吨，而一座 4000m³ 的高炉年产铁可达 300-320 万吨。一个炼钢车间三座 300 吨转炉的年产量可达 650-800 万吨，而一部热连轧宽带钢轧机的年产能力可达 350-500 万吨。同时，由于在这个时期内巴西、澳大利亚等国的大型富铁矿得到开发，国际铁矿资源供给充裕，价格经济。这样，人们就构思以两台初轧机为核心建设沿海、沿河型的 1000 万吨级大型钢铁联合企业。日本、法国、荷兰、德国、意大利等几乎都有这样的投资举

动。当然，这是由于当时对钢铁产品市场十分乐观的形势下的想法。1970年世界钢产量约为6亿吨，当时在日本东京举行的国际钢铁冶金会议上曾预测80年代钢产量可达12亿吨。然而，后来的市场形势与当时估计的情况有明显的差别，因此，不少进行1000万吨级钢厂投资的企业或是开工率不足，或是半途改变投资决策，维持年产500-600万吨的生产水平。此后，除韩国浦项、光阳钢厂以外，全球已经没有出现新的单个钢厂年产1000万吨钢的，但中国还会有个别年产1000万吨以上的钢厂出现。

第二阶段是1974-1989年间：由于发生石油危机，能源价格急剧上涨，国际货币汇率变化以及西方国家经济不景气等原因，1974年以后国际钢材消费量起伏波动，徘徊不前，促使各国钢厂修改发展战略，积极采用节能、节材技术，削减没有竞争力的产品，采用适应市场需求的生产规模，认真进行企业结构的调整。在这一阶段，技术发展最快、投资最为集中的当推连续铸锭。其中日本仍然是一路领先，特别是新日铁的大分厂在世界上率先实现全连铸生产，彻底淘汰了模铸-初轧、开坯生产工艺，对于以后国际钢铁企业的产品结构调整，工艺流程的优化，装备控制水平的提高以及企业经营效益的提高，起到了样板性的作用。连铸工艺对钢厂结构调整、优化和提高市场竞争力的作用不能低估。仅就提高钢材成材率而言，日本90年代全国的钢材成材比1960年提高12%-14%。德国Thyssen公司由于采用全连铸，金属收得率提高14%。与此同时，连铸工艺在全世界得到迅速发展，钢厂竞相投资，连铸技术也不断进步，日益完善。1994年全世界连铸比已达72.6%，全球连铸坯产量已达5亿吨以上。由于连铸工艺的发展，特别是全连铸生产体制需要提供“定时、定温、定品质”的钢水，促进了钢的二次冶金和铁水预处理工艺的发展，使之成为现代炼钢厂不可缺少的工序。钢的二次冶金工序的功能从原来提高质量、开发品种的意义上，进而发展到作为钢水在炼钢-连铸之间在温度、成分、时间节奏上的缓冲调节器作用，确保了连铸机多炉连浇的需要。钢的二次精炼还对炼钢厂的增产和降低成本起了相当有益的作用。

现代转炉炼钢厂已向这样的水平发展：铁水100%预处理，转炉100%的炉次分渣处理，钢水100%通过二次冶金装置，进而100%连续铸锭。

在这一时间内还使得一系列的节能、节材技术和装备在钢厂结构优化的过程中得到组合运用。

由于模铸-初轧/开坯体制被全连铸生产体制所彻底淘汰，钢厂结构得到了彻底的调整。其产品结构已从万能化转向专业化、系列化生产。一般而言，大型联合企业主要生产扁平材（尤其是薄板类），有的兼生产焊管或高级大、中口径无缝钢管或大型轨梁；其它棒、线、型钢等长材，一般已不由大型联合企业生产。与此同时，从全球角度上看，单个钢厂的生产规模，已不将年产1000万吨级作为主要努力方向。

80年代以来，以废钢为铁源的电炉短流程“小钢厂”得到非常显著的发展，以生产长材为主要方向。由于大型超高功率电炉在工艺技术上的不断开发，单座电炉的生产效率不断提高，已经发展到每一公称吨的电炉容量可以年产5000吨钢的水平，这使得生产长材为主的电炉钢厂生产规模不断得到发展，并且在工艺和装备上逐步形成了“四个一”的模式，即一条生产作业线由一台60吨以上的大型超高功率电炉、一台与之相适应的二次精炼装置、一部连续铸锭机和一套热连轧组成。

在80年代，世界钢铁工业已经形成高炉-转炉流程和电炉流程两种工艺

路线共同发展的格局（而平炉则大量被淘汰，并将继续在全球范围内加速淘汰）。而且，已形成一定的分工，高炉-转炉大型联合企业，主要生产扁平材，有的厂兼营大型型钢、重轨、高级无缝钢管。电炉钢厂则一般主要生产小型型材或优质钢、特殊钢。

值得一提的是 80 年代中国的 300 - 350m³ 级高炉，30 - 50 吨级转炉，120² - 150² 小方坯铸得到了较多的发展，用这一系列技术可以组成年产 60-120 万吨规模的钢厂，用以生产棒、线材、中小型钢和普通级别的中板。这类实用技术对某些缺乏资金、缺乏废钢而又有一定数量煤、铁资源的发展中国家迅速发展钢铁工业是有参考价值的。

第三阶段是 1989 年以来，以美国 NUCOR 公司的第一套薄板坯铸-连轧作业线投入生产开始，使得新一代“紧凑型”钢厂的模式得以正式在工业生产上应用。这种作业流程不仅使电炉可以生产薄板，而且更重要的意义在于在全连铸生产体制的基础上进一步省去热连轧带钢机组中的粗轧机组，进一步节能、进一步降低了制造热轧薄板的投资强度和启动资金额。这种“紧凑”型的流程不仅通过薄板坯连铸机来实现，而且在“H”形钢的异形坯铸机和方坯、小方坯连铸机上也在逐步实现。工艺流程不断紧凑化、产品方向专业化、系列化将是世纪之交钢厂结构优化的主要方向。当然，这种“紧凑化”的工艺流程也可以在高-转炉流程后得到延伸，特别是当废钢价格上升到一定程度后，利用原有高炉-转炉存量资产，以“紧凑化”工艺流程改造原有老设备、老工艺，在某些情况下具有良好的经济效益。

四、当代钢铁产品在质量、品种、深加工方面的进展

第二次世界大战以后，特别是 80 年代以来，钢铁产品的质量水平取得了长足的进步。通过转炉复合吹炼，钢的二次精炼装置的不断发展和广泛“在线化”作业，铁水预处理技术的不断进步和推广使用以及连铸过程中保护浇注技术的开发和应用等等，使得钢水的冶金纯净度和成分准确度不断提高。

就化学冶金纯净度的进展而言，现在已能生产最低含量分别为 10ppm [C]、10ppm[N]、1ppm[H]、5ppm[S]、10ppm[P]、5ppm[O]的钢。

作为现代转炉钢质量水平重要标志之一，深冲钢中伴随元素 C、S、P、O、N、H 的总含量 80 年代以来逐步降低，现在已降到 100ppm 以下。

作为特殊钢质量水平的代表钢种——轴承钢的冶金纯净度也取得了明显的进展，尤其是降低钢中含氧量被作为提高冶金纯净度的重点，在大生产中已可以控制在 10ppm [O] 水平。

随着连铸技术的发展，钢的铸坯质量也得到了提高，首先是由于连铸坯的元素偏析状况比钢锭明显改善，提高了铸坯的均匀度。与此同时，由于连铸的快速凝固，铸坯柱状晶晶轴间距明显小于钢锭，提高了铸坯组织的细密化程度。

由于连铸过程中钢液的二次氧化得到有效控制、结晶器内钢液得到较好的保护以及连铸过程凝固机制的改善，使得连铸坯的表面质量得到保证，常规连铸机生产无缺陷铸坯工艺日臻完善；近终型连铸的表面质量正在不断改进。

上述过程都为随后的物理冶金过程中减少压力加工过程的压缩比、“在线”充分利用温度（热量）和工艺流程的“紧凑”创造了前提条件。

对于合金钢而言，经过几十年的实践和研究，其提高性能的方法途径也发生了重大转折，这就是：

——从单纯地依靠提高合金元素含量进行合金化和采用复杂的“离线”热处理工艺发展到主要依靠改善化学冶金过程的工艺和装备，取得高度纯净的、化学成分准确的并为控制夹杂物形态和所要求晶粒度作好准备的钢液；

——高度注意凝固过程的控制，严格阻断钢液与大气的接触，不断改进工艺和装备，以得到组织高度细密、均匀化、表面质量好的铸坯；

——在充分利用化学冶金和凝固过程科技成就的基础上，合理地降低压力加工过程中的压缩比，缩短工艺流程，充分利用并安排好温度-时间-形变的关系，合理、有效地进行所需的物理冶金过程。

近二十多年来，国际上对钢中微合金元素（V、Ti、Nb、B等）的作用进行了大量的研究和开发应用，在原来低合金钢的基础上，发展起来了一系列微合金钢，其质量和性能相当优越，在成本/价格上具有良好的市场竞争力。

在钢材板型、尺寸精度、表面质量方面取得了长足的进展。热轧宽带钢的凸度在大生产过程已可控制在 15-30 μ 之间，高速线材直径的尺寸精度已可控制在 0.1mm 以内，合金钢棒材直径的尺寸精度已可控制在 0.1mm 以内。

在钢材的表面处理方面也取得很大的进步，汽车用薄板中涂层板所占的比例 90 年代以来发展很快。1990 年德国梯森钢铁公司生产的汽车用板中涂层板占 56%，1994 年占 78%。

在钢材深加工方面值得一提的是薄板产品的“裁缝”坯料技术。所谓“裁缝”坯料技术就是将不同板厚、不同钢种、不同表面处理方式的薄板，通过剪切成不同形状要求的坯料，再用激光焊或滚压电阻对缝焊制作成可供汽车工业直接冲压成型的零部件坯料。这样，可以降低汽车重量，材料使用更为合理，该有强度的部位有足够的强度，该有良好抗冲击、变形性能的部位有足够的性能与之相适应，该厚的部位有足够的厚度，该薄的部位可以减薄，降低了汽车厂购买钢材的成本，降低了汽车制造的成本，也降低了汽车使用过程中的能源消耗。

五、若干工艺技术进步的方向

1. 高炉炼铁

在可以预见的时间范围内，高炉仍将是主要炼铁设备。当然高炉也面临着系列严峻的挑战。今后高炉技术进步将以精料、喷煤降焦和延长一代炉龄的寿命为主要方向。

——精料：在世界范围内，高炉精料将以入炉矿含 Fe58%-61% 为目标，焦炭灰分则应控制在 7%-10% 以下。炉料结构则以烧结矿+球团在 90% 以上（球团矿为 10%-30%）。这样，大型高炉的利用系数有可能达到 3 左右，而高炉渣量将可控制在 250-300kg/吨铁以内，热效率很高。

——喷煤降焦：喷煤降焦是 80 年代以来高炉世界性技术进步方向，也是高炉炼铁部分地摆脱对优质焦煤的依赖程度，降低焦炉投资、折旧费用，减少焦化系统对环境污染的影响，降低生铁成本等方面的重要措施。在目前中国的情况下向高炉内每喷入一吨煤粉，约可以节约 80-100 元。如果考虑到焦炉的投资和折旧，将节约更多的成本。现在的技术水平，向高炉内喷吹 100kg 煤粉/吨铁不需要富氧，喷煤量超过 100kg/吨铁时，要求富氧量迅速增加，

目前喷吹 200-250kg/吨铁煤粉已经在工业生产上实现。有人报道，当高炉喷煤量大于 160kg/吨铁时，供氧量低于理论所需值，这表示煤不能得到充分燃烧，因此推算出富氧量只能达到 53m³/吨铁，再进一步增加富氧量不能得到相应的经济效果。当然，提高喷煤量的措施很多，尤其是热风温度提高到 1200-1250℃、混合配煤喷吹以及改进喷吹装置等。

——延长一代高炉的寿命：提高一代高炉的寿命，对充分发挥大型联合企业的生产效率和投资效益十分重要。现在一代高炉的寿命已可以达到 12-15 年，进一步的发展方向是一代高炉寿命为 20 年以上。

2. 转炉炼钢

转炉炼钢已经相当完善，今后的方向是：

——延长转炉炉龄。长期以来延长转炉炉龄的目的在于增产和降低吨钢耐火材料消耗。自从实现全连铸生产体制以后，转炉延长寿命的目标已经进一步转向确保全连铸条件下的多炉连浇，并且力争与连铸机同步检修，而补炉时间则与铸机浇次结束时换引锭杆同步进行。转炉炉龄的延长，将进一步考虑与制氧机、热轧车间的检修时间适当同步。这种技术上的优化，对企业管理和企业效益很有意义。从现有的技术水平看，一个炉役转炉炉龄达到 1 年左右甚至 2 年以上已在一些工厂得到实现。

——大力发展分渣出钢技术，逐步做到 100% 的炉次实现分渣。由于现代化转炉钢厂内钢的二次冶金装置是 100% “在线”作业的，为了进一步发挥二次冶金装置的功能和效率，必须严格控制转炉炉渣进入钢包。因此，转炉出钢过程的分渣技术的重要性日益突出，尤其是对于 [S]、[P]、[O] 有极严格要求的钢种⁸ 乔绪恕*

——进一步加强熔池搅拌，进一步降低熔池的含碳量并降低钢中含氧量、含氮量和渣中含铁量，促进提高质量。

3. 钢的二次冶金

——功能的综合化。

——冶金纯净度的极限值进一步改善，并使钢中多个有害元素的总量进一步降低。

——化学成分准确度进一步提高。

——进一步提高控制钢液温度的准确性。

——若干新型专用精炼装置的开发。

——进一步提高钢的二次冶金装置在转炉-连铸之间时间节奏方面的协调能力。

4. 连续铸钢

连铸仍是钢铁制造流程中发展最为活跃的环节：

——全连铸体制的全面普及，并且以生产无缺陷铸坯为基础，逐步实现铸坯热送、铸坯直接装炉，甚至铸坯直接轧制。

——发展高拉速连铸：小方坯连铸向 3.4-4.2m/min 的拉速发展，传统板坯连铸向 2.2-3mm/min 的拉速发展。

——发展近终型连铸：

· 薄板坯连铸：第一代 4.0-5.5m/min 拉速的铸机已经比较成熟，进一步开发第二代连铸机，其每流产量将达 120-150 万吨/年。

· 薄带连铸：已有多种试验机型，主要集中在不锈钢、硅钢等钢种上，带厚一般在 3mm 以下，宽度大多在 800-1000mm。估计在 2000 年前会有工业

性的突破，其工业规模将在年产 30 万-50 万吨水平上，也有人在展望这种工艺适应年产 200 万吨规模的可能性。

- 异型坯连铸：主要适应“H”型钢等大、中型材，目前世界上已有二十多套装置进行工业生产，将进一步发展。我国马钢将在国内率先投入生产。

- 线材连铸：由钢水直接铸成线材的技术已有初步开发，但投入工业规模生产估计将在 2000 年以后。这种技术在引起人们的注意，特别是不锈钢以及各类高级合金钢焊丝等。

- 空心圆坯连铸：这一技术可能在 2000 年以后获得成功。

——提高铸坯表面和边角部质量：这将是各类连铸机包括所有近终型连铸机在内的关键性技术。铸坯表面质量的提高，将有力地促进钢厂流程的“紧凑化”和生产规模的灵活性；在投资和成本方面具有相当重要的价值。

5. 电炉

——进一步提高生产率：

- 进一步扩大吨位，开发 180t-220t 级的大型电炉。这类电炉将主要应用在生产扁平材的钢厂。

- 化学能的利用：吨钢 ~ 50m³ 氧气的利用，天然气、煤粉的利用，30% -50% 热铁水的利用等。当然，利用热铁水尚有利用显热、提高钢液纯净度等作用。

- 冶炼节奏的“转炉化”：从 90 分钟一炉钢，缩短到 60 分钟一炉钢，现在已可缩短到 45-50 分钟一炉钢，如果再进一步缩短装料等工序的时间，有可能缩短到 40 分钟左右一炉钢，实现日产 36 炉钢的生产体制。——关于炉料质量问题：· 直接还原铁、热压铁块、碳化铁的制造工艺和使用工艺。· 废钢收集、处理、选别技术。· 废钢预热技术的开发和综合评价。——冶炼低氮钢的困难性。装入 40% 左右铁水的超高功率吹氧电炉可以明显降低钢水含氮量。

6. 轧钢——各类与连铸工序进行高温热连接的缓冲系统和工艺软件。

——高效连续轧制技术和装备开发。——高精度轧制的系统技术和装备。

——进一步开发控制轧制和控制冷却的工艺装备。——设备故障诊断系统的开发、完善。——进一步开发各类表面处理技术。

7. 熔融还原——COREX 装置大型化，进一步降低能耗（面向富块矿为主）。——COREX 煤气可能的利用方案及其技术-经济评价。——熔池过程的熔融还原工艺系统和装置的开发（面向粉矿为主）。

8. 投资、经营、组织生产的 CIMS 系统开发——企业投资的分析、判断和决策系统。——针对市场的产品推销、开发系统。——基于多维物流管制基础上的生产计划的制定和智能生产调度系统。——企业资金运行的优化分析系统。

9. 21 世纪钢铁流程的展望有人预测了日本 2020 年不同工艺流程以及各冶金工序装置的发展和所占比例，认为届时日本钢铁工业的铁资源 55% 来自铁矿石，45% 来自废钢。转炉钢将占 55%，电炉钢将占 30%，其余 15% 的钢则由多能源炉生产。所有钢水都要通过各类多功能的二次冶金装置。

50% 的钢水将通过薄板坯和异型坯连铸机成坯，40% 的钢水仍通过传统连铸机成坯，10% 的钢水将通过最新开发出来的薄带和棒材连铸机生产。可见，以废钢为铁源的流程和以矿石为铁源的流程将有更新的组合形式出现。

从全球角度上看，环境保护问题越来越重要、越来越紧迫。钢铁工业作为一个主要的基础原材料工业，其特点之一是资源密集、能源消耗大，大钢厂对环境的影响越来越引起社会的关注。钢厂生产过程中的排放物、废弃物、

泄漏物主要以废气、废水、固体废弃物（炉渣、废钢、废砖等）和粉尘等形式出现。当然也还有其它形式的污染影响如噪声、震动、电网的冲击闪烁等。

从全球看，当前最为突出问题是全球性的“温室效应”。引起“温室效应”的原因主要是三原子及三原子以上气体的排入量过多，从数量上看特别是CO₂。现在全球每年CO₂的总排放量已达57亿吨碳，其中工业排放量占21%，交通业的排放量占19%，家庭的排放量占20%，电厂的排放量占40%。中国CO₂的总排放量约占全球的1/10，人均排放0.58吨碳/年左右。

中国由能源消费引起的CO₂的排放量中，不同行业的排序是电力、建材、钢铁、化工以及二次能源生产本身。其中钢铁行业占13%左右。在欧洲今后要定出标准，征收CO₂排放税。从目前能源消耗看，中国钢厂、钢铁工业吨钢排放的CO₂明显高于西方发达国家的吨钢CO₂排放量，其中尤其是高炉炼铁系统。钢厂排放的CO₂主要来自高炉炼铁、炼钢和各种加热过程，因此加强节能工作十分重要，应该在企业技术改造过程中突出各个环节的节能、节材工作，为此要进行合理的投资。

焦化过程也是一个特别引人注目的污染重点，焦化过程中SO₂、碳氢化合物及其废水中的氨、酚的排放对大气、水系的污染已经引起社会的高度警惕。因此，一方面要降低高炉炼铁系统焦炭的使用量和降低热轧过程中焦炉煤气的消耗量，从理论与实践角度看，每吨生铁消耗250-300kg焦炭是可能的；另一方面则要加强对焦化过程污染的治理。

西方发达国家高炉渣量已由二次世界大战后的700-800kg/吨铁降到250-300kg/吨铁。一般而言，高炉炉渣都得到较好的利用，可以说接近100%的回收。所以，高炉渣已不是大问题。

炼钢炉渣的利用，虽说有很多技术开发出来，但总的来看，回收利用率不如高炉渣。在我国炼钢渣的回收和综合利用潜力很大，应该更多地对钢渣加以综合利用，否则作为固体废弃物排放占地（渣山）和对环境的影响会日益突出。

各类粉尘排放也是钢厂对环境的一大污染。50年代以后，世界各国钢厂加强了综合治理，排出废气中粉尘含量逐步降低。

随着环保问题越来越突出地列入各国政府议事日程，环保技术也得到不断的发展。就钢铁企业的环保而言，环保要解决的问题往往是在解决污染的同时，要求做到资源综合利用和能源的节约，是环境效益、社会效益和经济效益的统一，从工程上看环保技术实际是工艺技术、环保专业技术和程序控制技术的综合。

从国际钢铁工业的发展趋势看，用于环保的费用日益增加，德国钢铁业已达到50马克/吨钢，进一步将达到70马克/吨钢。有报道说，新建钢厂环保方面的支出为利息支出的15%，将来还会增加。有人估计，钢铁联合企业用于环保方面的支出为20美元/吨钢，电炉钢厂约为10美元/吨钢。

加强环保工作，无疑需要投资，但是钢厂抓环保不能就环保抓环保，应该和整个工厂的技术改造、技术进步结合起来，和资源综合利用、节约能源消耗等结合起来，统一投资，事半功倍，达到环境效益、社会效益和企业经济效益的统一。

六、关于钢铁企业的多元化经营

钢铁工业是资源密集、资金密集、知识密集、运输密集型的产业，因此在这些方面具有相应的管理优势和技术优势，随着市场变化以及其它新兴产业的发展，世界主要产钢国的钢厂，自 80 年代以来，纷纷利用自身的优势开展多元化的经营，几乎成为一种国际趋势。

据德国钢铁协会介绍，德国钢铁企业已开展了大量的多元化经营活动，已经达到 70-75% 的销售收入来自非钢铁业，25-30% 的销售收入来自钢铁业的程度。

综合分析钢铁企业多元化经营，大体有三类趋势：

1. 相关产业型：例如造船、机械制造、工程与咨询、发展新材料或有关贸易等。

2. 不相关产业型：例如向能源、通讯、电子等产业投资。

3. 能源、环境综合优化、集约经营型：这是构思中的多元化经营模式，追求在一个地区内单位产值的资源、能源消耗的最佳化和对环境的不良影响最小化的集约经营，同时实现经济效益的最佳化。

需要指出，钢厂的多元经营是一种战略，是为了充分发挥自身的资金优势、管理优势和技术优势求得更好的经济效益。因而不同于简单的人员分流。一般而言，当钢厂自身的经济实力还没有达到一定水平时，首先应致力于自身的结构优化和人员的合理分流；当经济实力超过某一水平时，再因地制宜适时展开战略型的多元化经营。

七、归纳与展望

在可以预见的时间范围内，钢铁仍然是世界上非常重要的材料，从全球角度上看钢铁工业不是“夕阳工业”。世界（尤其是中国）钢铁消费量仍将进一步增加。世界产钢国分布已经发生了重大变化；环太平洋地区以及发展中国家转变为未来的主要产钢区，21 世纪初中国将是世界第一产钢国。但无论发达国家还是发展中国家，钢铁工业都在以不同的方式进一步发展。第一次石油危机以来（1973-1974 年），国际钢铁工业的发展方向已从原来的数量扩大为主转变为调整、优化结构为主。

从世界角度看，平炉钢厂已属彻底淘汰的对象。以矿石为铁源的高炉、转炉流程和以废钢为主的电炉流程是当前以及 21 世纪初生产钢铁的主要流程。这两种流程之间的关系是既竞争又互补的关系，也是某种程度上的平衡关系。从国家、地区角度来看，这种“平衡关系”的前提条件是资源、能源、运输、资金和市场等因素。

作为钢厂结构优化的逻辑顺序应是从市场需求出发，确定产品系列，由产品系列选择工艺流程，由工艺流程和产品质量要求出发选择装备能力和功能，并在上述基础上确定钢厂的合理规模。

从工程上看，钢铁生产流程的实质是物性转变、物性控制和物流管制在工程上的合理组合。由于市场的变化和科学技术进步的推动，钢厂结构的模式发生了深刻的变化。从总体上看，在石油危机发生以前，钢厂在设计上的特征是以模铸-初轧机为中心前后展开的，其工程逻辑的实质可以用“叠加-蔓延-万能化”来概括。石油危机以后，由于全连铸体制钢厂的出现，初轧（开坯）工序被彻底取代，大力发展连铸是现代化钢厂工艺流程结构优化的重大

突破口。特别是以薄板坯连铸-连轧为代表的近终型连铸技术在工业生产上的突破，钢厂结构发生了重大变化。从工程逻辑上分析，可以概括为“临界-紧凑-系列化、专业化”。从工程本质上看，“紧凑化”是世纪之交和 21 世纪初钢厂发展的核心问题。这种“紧凑化”趋势的支撑条件是一系列化学冶金和物理冶金过程的科技进步。从物理本质角度上看，是不断提高化学冶金过程中的钢液纯净度和成分准确性，并为后续的物理冶金过程的要求作好必要的遗传准备；不断改善凝固过程中铸坯组织的细密化、均匀性和实现表面无缺陷化；以此来达到压力加工过程中的压缩比的合理降低以及温度（热量）合理利用的目的。从技术进步角度上看，发展并完善各类近终型连铸、开发熔融还原是两大重点。然而，在目前情况下这两者之间似乎以近终型连铸较为成熟。今后，在开发熔融还原的同时，高炉仍将继续存在、发展。炼铁系统中的高炉大量喷吹煤粉，长寿以及精料等方面仍有潜力，将继续是技术进步的投资重点之一。转炉炼钢厂将向 100% 铁水预处理、100% 的炉次分渣出钢、100% 炉外精炼、100% 连续铸钢的方向发展。连铸机-连轧机之间高温热联接将是进一步“紧凑化”的重点。热轧机以后各类产品的深加工，是高附加值化和提高钢铁产品的市场竞争力的重要措施。大型高效率电炉、各类炉外精炼装置以及各类控制完善的高效轧机也是进一步发展的重要方向。对新建或重新改造的以生产长材为目标的电炉流程而言，其工厂格局都在向着“四个一”的模式发展，这就是由一台大型电炉、一套炉外精炼装置、一部连铸机和一套主力热连轧机组成一条高效率、高质量的作业线。

钢铁产品的质量在不断地提高，综合机械性能、专用性能、加工性能、使用性能不断地向着适应用户新的需求发展。产品的深加工程度也不断延伸发展，无论是扁平材、棒/线材、管材都有不少新的深加工、高附加值产品领域。

环保对钢铁企业的要求越来越严。这种趋势，既是压力又是机遇（钢的可再生利用性将改善钢铁工业在公众心目中的形象和提高在材料中的竞争力）。从工程技术上看，环保问题不仅是一个专业环保技术问题，而是工艺技术加环保专业技术和程序控制技术的有效结合，这些都需要投资。钢厂抓环保不能就环保抓环保，最好是和整个工厂的技术改造、技术进步结合起来，统一投资，这将事半功倍，投资效益好。

多元化经营是世纪之交国际钢铁界的一个值得重视的发展趋势。多元化经营是一种重要的战略，而不仅仅是人员分流的问题，多元化经营战略的主要目标是为了适应市场、资产增值和提高经济效益。

面临世纪之交，国际钢铁产品市场充满着激烈的竞争，从根本上看，这是立足在新一代生产力基础上的竞争，而新一代生产力的获得取决于正确的市场判断和在此判断下的新一轮投资决策；当然，也包括新工艺、新技术的研究、开发、投资决策。中国钢铁工业已经具备生产 1 亿吨钢的实力，21 世纪中国钢铁工业如何持续、健康发展，应该在科学地预测市场、优化选择新一代生产力的前提下，形成适合中国国情、各厂厂情的战略，以老厂改造为重点，以正确的投资方向、投资顺序、合理的投资强度和恰当的投资时机为支撑手段，形成有竞争力的、布局合理的钢厂群，去适应国际、国内市场的竞争并获得良好的效益。

现代设计与知识获取

谢友柏

西安交通大学

谢友柏 机械学、摩擦学专家。1933年9月23日出生于上海市。1955年毕业于交通大学，现任西安交通大学润滑理论及轴承研究所所长、教授。兼任中国机械工程学会摩擦学分会理事长。1994年被选聘为中国工程院院士。主要从事润滑理论及轴承等工作。

一、现代设计技术及其在先进制造技术中的作用

产品设计是制造业的灵魂。如果说“管理”是制造业的大脑，那么“管理”的最重要的任务之一就是为企业铸造好这个灵魂。当前“先进制造技术”在国家的各个层次和各个方面受到了极大的关注，而其中的“现代设计技术”又往往被列在“先进制造技术”诸子项之首。因为不管如何，产品的结构、性能、质量（全面满足用户要求）、成本（全成本）、交货时间（含新产品开发时间）以及可制造性、可维修性（含产品升级）以及人、机、环境关系等等，原则上都是在产品的设计阶段确定的。而制造业之得以生存和发展，则取决于其一代一代的产品在激烈的市场竞争中，能否为用户所选中和接受，也就是说，这是一个买方市场。所以我们说，设计是制造业的灵魂。

“先进制造技术”是美国人在他们国民经济发展进程中提出来的。当然，我国制造业问题更多，但是我们在先进制造技术方面所面临的问题，是否就是美国先进制造技术所要解决的问题？我们在现代设计技术方面所面临的问题，是否就是美国现代设计技术所要解决的问题？在“有所为，有所不为”原则下，以及对“有所为”的部分，应如何“为”之，是必须首先弄清楚。否则，基础研究的命题浩如瀚海，我们向什么方向去突破才能对国家目标有所贡献，就不得而知了。美国的制造业和我们的制造业有很大不同，这是谁都不能否认的。至少可以列举以下与讨论“现代设计技术”有关的几点：

1. 美国的制造业是经过二战和二战后空前的发展阶段，由于战争需要及战后在全球范围中占有市场（例如马歇尔计划等），在刚性生产的模式下，某些制造业（例如轿车）曾经经历过极度的发展，他们是在这种发展之后谈“夕阳工业”的。我国的制造业从来没有经历过这种发展：解放前，我们是一个半殖民地国家，工业十分落后，几乎谈不上自己的制造业；解放后，虽然工业得到一定程度的发展，但发展是不完整的，一是始终依赖苏联技术，二是没有市场经济环境。在一个封闭的、贫穷的经济条件下，又频繁地受到政治因素的干扰，这种发展先天不足，后天失调，根本谈不上夕阳不夕阳的问题。

2. 美国的制造业经历长期发展过程之后，在企业中都形成了强大的研究开发力量。这种研究开发力量是它不断推出一代又一代产品到市场上去竞争的支柱。例如据说贝尔实验室曾平均每天产生一个专利。美国的企业对大学和研究单位的要求往往只是出论文，而由论文至技术到产品的任务则是在大企业的研究开发中心内进行。在这种模式下，企业的研究开发部门不仅积累

了大量经验知识，而且形成一整套的管理体制。我国则不然，研究开发力量比基础研究力量还要弱，在某些领域中几乎等于零。除了上述在技术发展方面的先天不足以外，由于计划经济体制，设计和开发任务长期以来是放在设计院、研究所中，工厂只负责按图纸制造；又由于条块分割，一个行业只管自己行业的产品，而于其它方面从不问津。一旦计划经济体制改变，工厂变成独立经营的企业，这种研究开发力量绝不是一朝一夕所能建立起来的。即使强制将一些设计院、研究所并入某个工厂，也绝非很快就能运行自如。尤其是要使产品多样化以适应市场，例如生产大电机的工厂要生产家用烤箱，生产轧钢机的工厂要生产积集成芯片，则更是难上加难。从我国企业对于高等教育人材培养规格的要求上，也可以看出强烈的反差，当然这只能在其它地方讨论。另一方面，美国在大谈“夕阳工业”并把制造业向国外转移的时候，转出去的主要是企业产品制造部分，而其研究开发部门则仍牢牢地控制在国内。可见，产品研究和开发是制造业中执牛耳的部分。

3. 美国的基础研究是当今世界上最领先的，任何其他国家都无法与之相比拟。基础研究为制造业提供了丰富的元知识和领域知识。美国还集中了全世界由他国出资培养的、携带着在他国积累的丰富经验的优秀研究人才，他们不断为美国制造业输送新的思想和研究成果。我国则不然，我们基础研究经费少得可怜，由于技术开发对基础研究需求疲软，研究成果的利用率十分低，而且基本上处于一种无组织状态。另一方面我国培养的许多人才，把他们在国内得到的经验连同他们在国内的研究成果，在毫无知识产权保护的情况下，随着他们到美国去学习或工作无偿地带到美国，为美国制造业做贡献。所以，在反差这样大的情况下，我们必须非常认真地选择我们的“先进制造技术”的研究领域，解决我们自己的问题，不能跟着美国学者漫无边际地去探索。

因此，在制定我国发展“先进制造技术”策略的时候，必须从我国国情出发，走自己的路。配置先进的制造设备，固然需要，但是解决自行设计能在市场上有竞争力的产品（另一种说法是能够不断产生出有自己知识产权的设计），就不得被放到优先考虑的位置上了。有几个问题还需要进一步说明一下：

有人说：“先引进、后自立”。这句话并不错，但如果不解决如何走向自立之路的许多问题，那么过 100 年，也许这仍然是一句口号。我们解放后学苏联 30 年，开放后学西方 20 年，所得到的教训难道还不够吗？

有人说：“引进技术，先解决有无问题”。这是封闭社会的观点。过去外国产品不能进入，物资匮乏，外转内销（出口不合格）的就是好东西，大家排队去买。现在国内外市场是统一的市场。技术引进，人家卖给我们的是即将淘汰的东西，等你结结巴巴地投产之后，他新设计的一代产品又如潮水般涌来。要强调一个观点，我们必须用最先进的技术，而不是人家已经投入市场、成为产品的技术去支持我们企业的产品开发工作。

先进制造设备固然重要，但有能卖得出去的东西生产更加重要。生产的东西卖不出去积压在仓库里，生产越多，亏损越大。生产别人设计的产品，甚至落得个来料加工的地位，始终不能翻身。产品与设备虽不必一一对应，但也有密切关系。不考虑如何搞产品，先把设备建起来，搁置在那儿让它们老化，许多浪费都是由此而来。

“制造需要设备，设计是软件，容易解决”。不对！设计需要的设备也

许更贵，例如为轿车试验建一个试车场，要多少钱？国际上软件比硬件贵，从成本上也有他的道理，软件更是由大量投资积累起来的。我们因为很少自己搞开发性的设计，不明白这个道理，以为只要给技术人员发发工资就行了。

所以，在研究发展“先进制造技术”的战略时，不应当把关于发展“现代设计技术”、包括它的理论和方法的研究放在架空的位置，也不应当泛泛地讨论一些无所不包的算法。我们应当探讨制约我国制造业迅速发展自己研究开发能力的众多因素，以及如何通过安排基础研究支持他们解决这些问题。这里面包括如何利用现有国内外的有利条件和我国国情特点，尽量不重复工业发达国家走过的轨迹，直接达到世界现代设计技术的前沿。而是否达到前沿的标准不应当看我们的算法如何地无所不包，而是看产品的综合竞争能力究竟增加了多少。当然我们要与国际接轨，必须研究人家的东西，但这种研究要为我们自己的目标服务。

现代产品的设计是基于知识的设计，有别于过去的基于经验（一般意义上）的设计。设计是否成功，取决于其中现代知识的含量，所以知识获取就成为问题关键。如果把知识作一个粗略的划分：把已有知识的总和划为“经验”，把开发一个新产品所需要获取的知识划为“新知识”；那么是否可以说新产品在市场竞争能力是与它的新知识含量直接有关？知识获取是知识工程中的一个难题，是专家系统建设中的瓶颈问题。但是在任何时候、任何场合也没有像我国制造业在发展现代设计技术时那么迫切需要它。如上所说，中国制造业发展到今天形成的诸多特点，都需要依赖它来解决问题。所以它应当成为我们研究“现代设计技术”中的基础问题、共性问题的核心。关于这一点，我们将在下一节作详尽的讨论。

顺便说一句，CAD中的“D”绝不能理解为“制图”。在以引进技术和仿制为主的制造业中，“设计”的主要工作当然只剩下制图了。现代产品设计是大规模知识获取和运用的过程，制图只不过是这个过程的最最终表达罢了。而且也不是一切都能由图形表达的，大量非图形的特征只能用其它方法表达。

二、设计知识获取的研究

设计知识获取有两方面内容：技术方面的和管理方面的。这里主要讨论技术方面的问题。如果把包括设计过去一代产品的知识都归入“经验”范畴的话，那么其它都是为设计新一代产品所需要获取的新知识。信息科学发展到今天，制造业已不单讲“竞争”这一面，而是竞争与合作并存的局面。在这种局面下，设计知识的拥有，也分为独有和共享两部分。知识产权当然是指独有的那部分，共享部分主要是经验范畴中的内容。经验并不都能共享，许多经验是绝对保密的。但是，产品所赖以发展和竞争的，则主要是上面所说的新知识。无论如何，所有知识在一个企业内部，即使有授权等级的区别，总是高度共享的。

设计一个产品的知识，通常来自以下方面：

1. 已有经验；
2. 市场信息；
3. 数字仿真或虚拟现实；
4. 物理模型试验；
5. 样机试验；
6. 已有产品运行中的表现（用户反映）。

在这里没有把灵感创作列为知识来源，因为这在设计知识产生的任何方面、任何阶段都不可或缺，但灵感创作一般需经上述任一方面的检验和认同

之后，才能成为知识。现就以上六方面分别讨论如下。

已有经验

“经验”包括设计过去一代产品的全部知识，这样划分便于新知识获取的研究。经验当然既包括元知识，也包括领域知识。对于制造业来说，即使是一个行业，这也是一个浩瀚的知识领域，既不能仅由书籍、手册作为载体，也不能仅以文献作为载体。因为书籍所记载的大约为 10 年前的知识，文献则大约为 5 年前的知识。产品设计的经验知识，有的可能是昨天才得到的。当然更不能靠个人记忆或设计师把它们抄录在自己的小本子上来存贮和使用。前面已经说过，我们国家的基础研究和开发研究，比起美国来薄弱得多。但改革开放以来，国家也尽很大努力建立了许多国家级的重点实验室、工程研究中心、部委级的开放实验室；从“六五”、“七五”、“八五”以至“九五”下达了不少研究项目（基金、攻关、攀登、火炬……），投入经费与工业发达国家相比虽然不多，但对我们说来已经是不小的数目。如何组织和用好这部分研究和开发资源以及成果对中国的制造业具有特别重要意义。要靠企业积累资金来建设自己的研究开发中心，时间会十分漫长。而利用好已有的资源，则是一条捷径。上海市市长徐匡迪在上海汽车工业科技发展基金成立大会上的讲话，就表达了这个意愿。但是有一个问题：通常企业的研究开发部门是企业的一部分，承上启下关系十分明确。而现在企业外的这些研究单位，大都归国家某行政部门领导，这些行政部门不是研究成果的直接使用者。上述设想能否成功，关键在于能否把这些研究部门的有关工作组织成如同企业内部各部门的工作那样。从历史上看，这种研究成果向企业转移的情况是很不理想的。通常企业要花很大的力量接受和理解它们。至于把分散的研究成果组织起来成为可供产品设计的知识，则更是费时无度，困难重重。所以过去的研究成果是利用不多，流失不少。在管理上，这可以通过研究所所谓的虚拟公司的形式来解决。在技术上，要研究的问题就是我们这个战略研究报告所应当回答的。这里面应当包括设计某一类产品的问题的分解，所需要的知识的知识结构，不同类型知识的统一表达，知识的存贮、增删、修改、调用权限设定、加密、并行作业等等。所有参与研究开发的单位都要遵守相同的约定。虽然对后面五方面来源的知识同样存在这些问题，但只要把经验知识的建模问题解决好，以后的新知识就可以按照同样原则处理。由于研究开发是在不同实验室中做的，还要解决信息传输的网络问题。总的说来，就是要研究一个能以知识支持并行设计的环境，包括一个大的知识库和信息传输网络，并将当前所有知识经过处理后都存贮进去。

是否各实验室做出来的结果就直接成为设计所能依据的知识，那要看委托方与受委托方是如何约定的。不过大多数情况下不是如此。而且不同目的的研究，其结果有可能相互冲突，例如汽轮机设计中，通流部分设计对轴颈尺寸的要求与转子轴承系统设计对轴颈尺寸的要求可能发生矛盾。如何处理这种不完备或矛盾，提出解决办法或更进一步研究的课题，这通常是由人来完成的。为了减少人力消耗，特别是避免约定不严密，需要研究设计知识形成的过程，也就是说要设法赋予上述环境以一定的智能，以融合各方面来的信息。

市场信息

设计所需的市场信息至少有 3 方面内容：

（1）需求信息。当然这种信息应当是由经营管理人员或某种智能系统处

理过的，以确定的或模糊的形式给出，使设计人员便于应用。

(2) 成本信息。不仅是企业内部为设计、制造、售后服务所需要的成本，而且在合作生产中，部分或大部分组件是由配件制造企业提供的。现在已可以用多媒体产品目录来准备和处理供货信息。

(3) 竞争信息。其它企业投入或即将投入市场的同类产品性能、价格等方面的信息。

数字仿真或虚拟现实

数字仿真或更高级的虚拟现实，都是建立在一系列数学模型基础上的。根据给定的系统结构和对系统的输入，预测系统的性能和行为。它是获得关于一种新构想或新设计的知识的有效工具。因为主要是在计算机上操作，通常不制作专用的模型或实物，在软件和硬件的配置上具有很大柔性，因而能节省时间和资金，可以为设计人员在考察其设计构想时大规模地运用。这种关于新设计或新构想的知识，和经验相比，就属于新知识范畴。

不要认为需要仿真的只有造型和力学问题，更不能认为设计当中一切问题的数学模型都已经具备了。如果真正要把数字仿真和虚拟现实当作设计知识获取的一个全面的有力的工具，而不是仅仅作为某些狭窄目标知识获取的工具，那就必须面对如下事实：随着对产品性能要求不断提高和对自然规律认识不断深化，我们总是处在没有数学模型和有数学模型，旧数学模型和新数学模型不断交替的过程之中。所有新发现的现象或新构想从一开始都没有数学模型或没有准确的数学模型。这里可以说一说“摩擦学设计”。由于一个机械系统的摩擦学性态及行为有强烈的系统依赖性和时间依赖性，同时它们又是分属于许多不同学科研究的过程综合影响的结果，所以摩擦学问题的数学建模问题十分复杂。例如即使是一副简单的试样，在一种系统条件（例如 Timken 机）下获得的结果，往往不同于另一系统条件（例如 SRV 机）下的结果，当然也不同于待设计的目标系统系统条件下的结果；另外，对于新系统、跑合系统、磨损系统的结果也不一样。这样为了仿真的需要，我们不仅要有系统行为本身的数学模型（这个模型涉及到许多不同学科研究的问题），还要有系统条件转化的模型和时变规律（为全寿命周期设计服务）的模型。否则仿真所做的预测就是不准确的。这个事实一方面告诉我们，在讨论建立一个无所不包的模型，也包括讨论建立在数学模型基础上的各种优化研究时，要持慎重态度；另一方面也为我们提供了现代设计技术基础研究几乎是无限的领域，因为产品设计总是要求提供的设计知识越来越逼近真知，给出的预测越来越精确。

要对大系统和复杂过程进行数字仿真和虚拟现实，不仅仅是数学模型和计算机运算的问题，还涉及到多媒体技术、传感器技术、伺服技术等等。某些虚拟现实系统具有非常复杂和庞大的结构，而且是十分昂贵的。有的并带有部分物理模拟的特点，可以说是一种混合模拟，例如模拟宇宙载人舱。当然与发射一个真的载人舱到空间去相比，花费的时间和资金已小得多了。这些都是用数字仿真和虚拟现实获取知识所要研究的问题。

优化问题，首先是模型问题，其后才是算法问题。而模型则是人们对所优化的问题的已有知识的集中表现。知识不断更新，模型也不断发展，没有一成不变的模型。所以优化研究归根结底也离不开对所研究问题的各种来源的知识获取。

物理模型试验

正如前节关于数学模型发展和更新讨论中所涉及的问题那样，许多过程没有令人满意的数学模型。此外，所有数学模型都是建立在假设的基础上的。为了建立尚不具备的数学模型和对一些由仿真得来的知识在重要应用中要求从别的方面检验的需要，必须做物理模型的试验。没有对物理现象的精确观察就能获得知识是不能想象的。这对研究开发基础薄弱，设计知识贫乏的我国制造业尤为重要。由于没有充分掌握必要准确的设计知识而造成重大经济损失的教训，早年有过，现在还有。

物理模型试验不是实物试验，它是在不同系统条件下进行的。物理模型设计是基于系统条件转换的理论。对于可由微分方程组描述的过程，通常由相似理论作为系统条件转换的准则。但不是所有过程都能找到合适的微分方程组。所以仍有许多工作亟待研究。

物理模型试验的计算机控制和试验结果的处理是需要研究的另一类课题。

对于同一设计任务，无论是经验知识，或是由仿真及虚拟现实得来的知识或是由物理模型试验得来的知识，各自包含某些正确的信息（信息）和某些不正确信息（噪声），这往往表现在它们的一致方面和矛盾方面。试验结果处理研究包含要研究一种信息融合技术，使其中的信息得到增强，噪声得到抑制，从而获得更接近真知的知识。采用计算机控制试验过程、采集、传输和存贮数据，是提高试验精度和速度的重要措施。

样机试验

在设计物理模型试验时所做的系统条件转换是否正确，要由样机试验来回答。现在大家都在谈论波音 777 飞机的设计。但我们并不了解他们设计的内部过程，例如他们的知识库中究竟装了一些什么东西，以及他们究竟是如何利用在设计其它飞机时所积累起来的经验的。另外有相反的例子：日本日产株式会社已经有 3 个试车场，还在计划建新的试车场；国外某厂正计划出车、出仪器、雇人在中国的各种道路上跑车，记录中国的道路谱；目的是用这个记录在他们国内建一个适合中国道路情况的试车场。

样机试验的投资巨大，样机试验所得到的信息的采集、传输、存贮、整理，特别是由此得到的知识，如何与上述其它方面得到的设计知识融合，使获得的新知识服务于新一代产品的迅速投产，决定了投资的回报率，是需要研究的重要的知识工程问题。

所有上述五方面都包括制造产品各个部分以至整体的制造工艺过程的知识。

已有产品运行中的表现（用户反映）

面向用户的制造业把用户反映当成是对设计和制造质量的最终检验。要做全寿命周期的设计，包括考虑售后服务（含安装、调试、维修升级、废料处理等等）以及人、机、环境关系，我国的制造业是不熟悉的。出了问题要处理，这一点能够接受，于是就有了“下现场”的任务。现在下现场主要是解决问题，解决了就回来，没有形成一条设计知识反馈的正规渠道。这里面也有两方面问题，一是管理，二是技术。技术方面是要建立一网络，使这条渠道能够畅通。首先是所设计的产品要有必要的状态监测子系统，我们说这个子系统的有无和工作好坏是衡量一个产品设计的现代化水平的尺度，特别是从全寿命周期设计角度考虑，你不仅要自己知道你设计的产品性能退化规律，你还要让你的用户知道你的产品运行的当前状态和对未来状态变化的预

测。更理想的设计是产品具有自动控制和对退化自动补偿的子系统。这些都是摩擦学设计最近的研究成果。因为摩擦学系统是时变的，摩擦学行为使系统中有一大批所谓的“易损件”，更换易损件和处理有关问题常常是维修的主要内容。现在回到网络问题上，对于重要的为数不多的固定式产品，其状态监测子系统所测得的信息可以通过各种通讯网络直接传送到企业的设计部门，现在国内外都已有这种尝试。企业可以长期地记录和观察它的产品的运行、退化、恢复、再退化——直到报废的全过程。这种用途应当成为信息高速公路今后的重要用户。对于移动式产品，例如船舰，在非紧急情况下状态信息可以存贮在计算机中相应的数据库中，到达基地后用某种载体将它们送入网络。而对于紧急情况，只好依赖无线通讯了。对于大批量产品，例如汽车，还要研究别的方法。

除此之外，当然也有一个融合的问题，不过这时由于系统条件的复杂性，带来噪声的复杂性。

以上初步讨论了我国制造业为设计自己一代一代在市场上有竞争力的产品如何获取知识的问题。关于经验知识，主要是积累和科学管理。关于设计新一代产品的新知识，则是如何最快地形成所需要的正确的认识。在企业内部，要建立这样一个知识获取的系统，当然是没有问题的。但面对我国国情，却需要在更广泛的社会范围中形成这样一个系统以争取时间。也许这在以后经济发达了也仍不失为一个长期努力的方向。这里面有硬件的研究，也有软件的研究，包含大量的高技术问题，也包含丰富的基础理论和应用基础理论问题。它是制造技术，也是机械工程科学发展到今天摆在我们面前的任务，如何能设计出更好的机器（广义）？既为用户所欢迎，又便于制造，既有很高的质量，又便宜。

当然设计时所用的知识，不能都由制造业自己来解决。但当设计师把所有的要素都放在一个系统中变成产品时，责任就不得不由制造业自己来负了。通常材料的性能和工艺过程质量是比较难控制的，但放到一个系统中以后，正如摩擦学界有一句名言：“摩擦副的特性不是构成摩擦副表面的材料的特性，而是系统特性的表现”。这就足以说明设计知识获取的复杂性和重要性了。

以上讨论了现代设计技术中的知识获取问题，这个问题虽然以各种不同形式在不同的项目中被分散地讨论过，但是从来没有作为产品设计的关键与“先进制造技术”联系在一起加以研究。现在在这里提出这个问题，希望有更多的同志参与到这项讨论中来，为我国的制造业及其产品迅速获得市场竞争能力从技术上做出应有的贡献。

光纤通信给人类通信带来革命性的变化

简水生

北方交通大学

简水生 光纤通信和电磁兼容专家。1929年10月25日生于江西萍乡。1953年毕业于北京铁道学院。现任北方交通大学光波技术研究所所长、教授。1995年当选为中国科学院院士。主要从事光纤通信和电磁兼容方面的研究。

光通信技术发展十分迅速，过去常讲科学技术大约二三年是一个半衰期，就近年光通信技术的发展而言，大约一年就是一个半衰期。

下面从11个方面进行阐述。

1. 历史发展的进程
2. 光纤的损耗、色散、非线性、强度和寿命
3. 传统的光纤通信系统
4. 光纤放大器 EDFA
5. 光波分复用 WDM
6. 光时分复用 OTDM
7. 光纤非线性的冲击
8. 色散补偿及非线性的抑制
9. 光纤通信正向 Tb/s 进军
10. 光孤子通信
11. 光纤技术——人类信息社会的重要支柱

首先回顾一下光纤通信发展的历史进程。在40年的时间里，传输经历了从架空明线到波导再到光纤的变化。从这些变化中可以清楚地看到，光纤通信事实上给人类的通信带来了革命性的变化。很难设想如果今天仍停留在同轴电缆的时代，那么今天的通信是否还能有如此高速的发展。

进入到信息社会，在使用光纤之前，世界上使用的是中同轴电缆，单管每公里重200多公斤，北京到广州使用的八管同轴，每公里重高达1.6吨，再加上金属护套等，每公里重达4吨多，以现在的价格，则每公里八管同轴的价格高于20万人民币。而它的性能对于传输1800路尚不能完全保证。人类社会如果仍是以同轴电缆作为主要通信干线，那么今日的通信事业就不会有如此迅速的发展。

光纤与同轴电缆相比，具有明显的优势，1公里光纤的重量为27克，二者具有天壤之别。此外光纤还具有其它优点，其最大优点就是它的载频高，达到 10^{14} Hz。我们光波所一直就在进行着从低频到高频发展的研究，从厘米波进入到微米波提高了三个数量级，通信容量亦提高了三个数量级。这个发展可以说是一个大的飞跃。由于光纤具有重量轻，载频高，通信容量大的优点，人们最初设想光纤可以传输上亿话路，但这需要走过一个艰难的历程，目前传输的话路可以达到千万话路级，由此可见光纤的推广和使用对人类通信具有极其深远的意义。

作为光纤通信的主体，它的原理并不复杂，两个折射率有微小差别的媒质，根据斯涅尔定理，一束光射入另一媒质时产生折射，入射角大到一定程

度时，就会产生全反射。光纤通信就是根据这一原理，使光在媒质中进行全反射传输，所以光纤由两个部分组成，即芯子和包层。现在所用单模光纤的芯径只有 8 - 9 μm ，包层为 125 μm ，这一标准由高锶博士提出，并已经得到了国际上的公认。

光纤通信的重要指标有三个，即损耗、色散和非线性。在光通信发展的历史过程中，人们首先遇到的问题就是光纤的损耗。随着制造工艺的改进，光纤的损耗很快由 70 年代的 20dB/km (1.55 μm 处) 降至 80 年代中期的 0.2dB/km，但是这并不是损耗的理论极限，真正极限应当是 1.55 μm 处，损耗为 0.11dB/km。通过进一步的工作，最小损耗有可能接近这一理论极限。由于损耗问题的解决，光纤开始走向实用化，随着通信容量的增加，通信速率的提高，人们愈来愈认识到色散的重要性。关于非线性，人们的认识则比较晚，只是在最近两年人们才意识到非线性的重要性。下面将就这一问题作专门说明。

强度和寿命是人们从光纤通信一开始就十分关注的问题，但直到目前仍未从根本上解决光纤的强度和寿命问题。光纤的强度和寿命之所以紧密相关，核心问题就在于光纤制造时，其表面存在微裂纹。应力的集中点位于口子的尖端，若不及时补救，则口子会越裂越大，最终报废。对光纤上这一问题，就是要将这些裂纹补起来。

生产过程中，人们一直考虑如何将这些裂纹修补好，并未从根本上将微裂纹消除掉。目前光纤的使用寿命为 25—30 年，其核心问题就是表面微裂纹的问题。这一问题，也是目前世界上大家所关心的近期攻关课题之一。有人建议可在光纤表面涂覆金刚石粉，但这仍未从根本上解决问题。如何从根本上消除掉微裂纹，我们正在发展这方面的工作。

人们往往会误以为光纤强度就决定了光纤的抗拉强度，实际上并非如此，光缆设计过程中的根本原则就是任何时候无论施工还是正常运行时，光纤都不允许受力。它有足够的余长和空间，使其在低温时不产生微变。

下面看一下损耗，色散和非线性。损耗使光纤中传输的脉冲幅度由大变小，色散使通过光纤传输的脉冲变形，甚至交错在一起，非线性则使脉冲由一个频率变为众多的频率。

光纤的损耗有两个窗口，一个是 1.3 μm ，它的损耗目前约为 0.35dB/km 左右，另一个为 1.55 μm ，目前其损耗的平均值为 0.2dB/km。1.55 μm 外损耗小，窗口大，它可供使用的带宽约为 25Tb/s，即 25000 千兆比每秒，近乎天文数字，现在我们使用的多为 1.3 μm 波长，正在开发 1.55 μm 波长。

事实上如果能将 OH 根去除，那么光纤的损耗会进一步降低，在 1.55 μm 波长处约为 0.11dB/km。

光纤的色散，对常规光纤而言在零色散点 1.31 μm 处没有色散，但该窗口损耗较大，对 1.55 μm 窗口损耗小，但色散较大，约为 17ps/km.nm。在光通信发展初期，人们一直在寻求将零色散窗口移至 1.55 μm 处，即研制色散位移光纤 (dispersion shifted fiber)，随着光通信的进一步发展，人们发现如果色散绝对为零，亦会带来一系列问题，这就是下面重点讲到的非线性问题。AT & T 为此又研制出一种光纤，将零色散点由 1.55 μm 移至 1.531 μm ，保证在 1.55 μm 处有大约 2ps/km.nm 的色散，它取名为 truewave，邮电部在京九线上已铺设了部分这种光纤，其价格比普通光纤贵得多。

有了光纤当然还要有光源，光源主要分两大类，激光器和发光二极管。

二者光谱特性和发散角的差别较大，如今量子阱激光器在我国已经过关，寿命可超过百万小时，即量子阱的阈值可到 1—2mA，将来进一步做量子点激光器，可以到零点几毫安，甚至其电流只有微安级，这就可以做到寿命长，效率高，不用致冷。这是目前光通信发展方面一个很大的进展。

光纤和激光器进一步组成了光纤通信系统。传统的光纤通信系统中都加有再生中继 (Repeat)，而再生中继本身需要进行光/电变化。每一个中继器都需要经过检测、放大、均衡，再放大，然后再进行电/光转化，十分复杂，且造价昂贵。我国目前铺设的系统基本上都是传统的光纤传输系统。

传统的光纤通信系统近年来也经历了一个由 PDH 向 SDH 发展的过程。随着通信的发展，世界范围内建立一个光的直接接口就势在必行。以往存在有多种制式，如日本和美国的制式，1.5Mb/s，6.3Mb/s，32Mb/s，45Mb/s，欧洲和我国有 2Mb/s，8Mb/s，34Mb/s，140Mb/s……这些系统互相联系不起来。而全球通信则必须具有一个统一的时钟，互相兼容，这正是 SDH 产生的一个重要因素。

除此之外，现有的 PDH 系统，如 140Mb/s 要下到 2Mb/s，需要经过 34Mb/s 到 8Mb/s，再解复用才得到 2Mb/s。反之也需经一个个台阶才能得到高速率，十分复杂。SDH 则十分简单，可直接由 155Mb/s 下到 2Mb/s，且其组网非常方便，网管系统非常好，可实现在线检测。我国邮电部毅然决定从 PDH 直接进入 SDH，是一个非常正确的决策，这使得我们可以很快与世界接轨。

目前国际传输系统的发展，1995 年达到 2.4886Mb/s，估计明年会出现 10Gb/s 的系统。长途干线的增长速度放慢，地方网直线上升，而发展最快的是 CATV 网，其发展非常迅速。在我国如何实现 CATV 网与电话网的兼容和协调发展是一个十分重要的问题。

美国总统克林顿提出“信息高速公路”这一行动纲领和政府计划以来，在世界上引起了强烈反响，这可以从光纤铺设上体现出来，1994 年 1 月的统计，全世界范围铺设的光纤总量达到了 5470 万公里，1994 年底，增到了 7600 万公里，净增 2100 万公里。到目前为止，世界光纤铺设总量早已超过 1 亿公里。我国的光纤铺设总量亦在不断增加，去年铺设光纤数在 130 万公里以上，远超过以往每年 30 万—40 万公里的铺设量，发展十分迅速。但是我国的光纤通信产业并未建立，130 万公里光纤大多从国外购买。我们要实现通信光纤到路边，到家庭，这对光纤的需求量将是近乎天文数字，所以我国必须建立起我们自己的光纤产业。

下面介绍掺铒光纤放大器 (EDFA)，光纤放大器是首先由南安普顿大学研制，包含有掺铒光纤，泵浦源耦合器。其增益带宽可达 35nm，即 4.2THz，最大增益可到 40dB，输出功率大于 100mW，并且噪声很低，仅 4dB。这种光纤放大器的出现和日趋成熟就带来了新一代光纤通信系统的产生，无需再经过再生中继，即发射光经过一个放大器传输即可。再进一步多通道传输，亦可以合波后经放大，然后再解复用。这就是 EDFA 在波分复用中的应用，无再生中继传输目前的最高记录是 10Gb/s 传输 9000km，共用了 274 个 EDFA。因此对下一代的光纤通信传输系统，应是多波长的，即采用波分复用系统 (WDM)，WDM 系统的进展十分迅速，去年美国 OFC 会议上最高记录为 17 个通道，每通道 20Gb/s，可传输 100 多公里。

在 WDM 系统发展的同时，引来了时分复用系统的发展 (OTDM)，在前几年 OTDM 的发展十分缓慢，去年 OFC 会议上日本 NTT 公司首先提出了 200Gb/s

传输 100km 的 OTDM 系统。首先是 16 个 6.3Gb/s 再次复用后变为 200Gb/s，脉冲宽度最初为 3.5ps，然后经光纤压缩成为 2.1ps，经过一个 40km 与 20km 的传输，到系统完成脉冲宽度展宽为 2.6ps，随着传输距离的增加，它的功率代价很大。由 0 公里到 100 公里，它付出了 8dB 的代价。

在 1996 年的 OFC 上，仍是日本的 NTT 向 OTDM 的极限发起了最后冲击，它做出了 400Gb/s 的传输系统。与去年的 OT-DM 系统相比较，基本部分大致相同，只是在后面的复用部分采用 4 个通道，采用 4 个时分复用，将传输容量提高至 400G/s，它实际上传输了 40km。然而仅传输这 40km 的距离已发现了许多问题，因为要传输 400b/s，光脉冲的宽度是 0.98ps，就已到了 ps 级，甚至亚 ps 级。经过 40km 的传输，光脉冲发生严重的畸变和扩展。起始的光脉冲，其半宽为 0.98ps，传输 40km 后的光脉冲，其半宽已达 2.3ps，增加了一倍多。为此他们采取了一些相应的措施。去年他们在传输时发现 2.1ps 在零色散波长上传输 100km 距离后展宽为 2.8ps。我们光波所在这方面做了一些分析工作，所得到理论分析的结果与他们的结果是基本一致的。脉冲的展宽基本上是由于它的高阶色散所造成的，即由色散的斜率所造成的。因此他们这次采取了斜率的补偿，传输 40km 后的脉冲宽度由 2.3ps 最低降到了 1.6ps。NTT 作者认为这是由于高阶色散未完全补偿所造成的。我们的分析并非如此，我们分析认为光脉冲半宽由 0.98ps 展宽到 1.6ps 的中心问题是由于偏振模色散 (PMD Polarization Mode Dispersion) 所造成的。

下面还要专门谈到偏振模色散的问题，可以说偏振模色散是光纤通信容量的最后极限，是光纤通信容量要进一步扩大的致命的杀手。

由于 WDM 的推广使用已经到了实用化阶段，而其实验室的研究又在不断地向新的高度进军，再加上 OTDM 的出现，非常窄脉冲的出现，因此光纤色散和非线性的影响就成为目前光纤通信的一个非常重要的主题。

下面先介绍一下光纤非线性的冲击。光纤的非线性基本上分为两个部分，一个是由于传输的强度很高，产生了受激散射，它包括受激布里渊散射 (SBS Stimulated Brillouin Scattering) 和受激喇曼散射 (SRS Stimulation Raman Scattering)。这在下面会做一个分析。再就是光纤本身芯子的折射率随着光所通过的功率在发生变化，即折射率并非定值，而是非线性的。光纤芯子折射率的非线性造成了光信号在光纤中传输的自相位调制 (Self Phase Modulation)，以及交叉相位调制 (Cross Phase Modulation)。最重要的是产生了四波混频，又称四光子混频 (Four-photon Mixing)。电信通信中非线性产生混频现象在光通信中重现了。

如果采用 WDM，它本身是有很多波长同时在光纤中传输，这就很容易产生四波混频的作用。下面分别讨论一下这几种非线性影响哪些是严重的，哪些是可以忽略不计的。

首先产生布里渊散射的阈值。对于普通单模光纤而言，它的零色散点在 1.31 μm 波长处，这是目前大量使用的光纤，对于这种光纤，它的非线性的有效面积大约为 80 μm^2 ，如果我们光的调制的非相干宽度为 100MHz，那么产生受激布里渊散射 (SBS) 的阈值是 42mW，如果我们的调制信号更宽，脉冲更窄，则受激布里渊散射的阈值就愈越高，这是一个非常有意思的事情。它是速率越高，布里渊散射的阈值越高，所以可以说布里渊散射对于限制光通信的最终容量的贡献不大，一般来说，可以暂时不予考虑。

下面来看受激喇曼散射的阈值。计算结果表明，如果是色散位移光纤，

即将零色点由 $1.31\ \mu\text{m}$ 移到 $1.55\ \mu\text{m}$ 处，由于光的波导结构发生了变化，它的有效的非线性截面积大约只有 $50\ \mu\text{m}^2$ ，产生受激喇曼散射（SRS）的阈值是 1.1W ，这在一般的波分复用情况下是不能够达到。一般的普通光纤可以达到 1.8W ，由此可见，普通光纤对于非线性的承受能力要优于色散位移光纤和 truewave 光纤。

由此可见，喇曼散射对一般的波分复用是不会产生的，只有一种情况例外。现在有人想在光纤中实现码分多址，如果采用码分多址则通道数很多，不是几十个，而可能是几百个同时在光纤中传输，那个时候光纤的喇曼散射现象就会产生。还有一个现象也会出现非线性效应，人们现在正在研究光的交换，人们在研究光交换时仅仅是局限于讨论如何实现交换，尚未考虑到光纤非线性，因为光纤要交换，所有用户要到交换机的光纤上去，这样的功率是很大的，所以非线性在将来的光交换过程中成为不可逾越的一个障碍。喇曼散射使得光脉冲的能量发生转移。解决喇曼散射的方法主要有两种，一个是采用滤波器，另一个是均衡。

理论和实践证明，非线性中影响最严重的是四光子混频。

两个不同频率的光信号 W_1, W_2 在光纤中传输，经过混频后产生两个新的频率 $2W_1 - W_2, 2W_2 - W_1$ 。如果在光纤中传输三个波长 W_1, W_2, W_3 信号时。情况就更为复杂，根据公式 $W_{\text{新}} = W_i + W_j - W_k$ ，依次为 1, 2, 3，特例： $i = j$ 即两个波长的情况，则会产生九个新频率，其中一些新频率就落入原信号频率间隔中，从而产生了干扰，这个现象就是我们目前最关注的一个问题。

人们自然会问，产生四波混频与哪些因素有关。我们做了一个计算分析，表明四波混频同光纤的色散密切相关，色散越大，四波混频愈不容易产生，如果色散为零，则四波混频现象就愈容易出现。信道间隔愈大，则产生四波混频愈不容易， $D = 0$ 为零色散光纤，四波混频现象严重， $D = 17\text{ps/nm} \cdot \text{Km}$ 为普通光纤，可以看到普通光纤可以很有效的消除四波混频。

在 $1.55\ \mu\text{m}$ 上，我们希望有足够多的通道。要开设足够多的通道，而我们又把零色散点移至 $1.55\ \mu\text{m}$ 处，造成严重的混频现象，这岂不是自己找麻烦吗？大家也许会说，若不将 $D = 0$ 挪至 $1.55\ \mu\text{m}$ 处，那么色散大，又必然会造成脉冲的展宽，如何处理这样的问题呢？这就是我们目前所研究的问题。

近两年来我们一直在研究如何正确利用光纤本身的色散，从前面的分析可以看出光纤色散既是坏事，又是好事，把脉冲展宽是坏事，可与此同时它又能够有效的抑制四波混频，这是好事。人们想到可以做出两种光纤，一种光纤具有正色散，另一种光纤具有负色散。为此我们做了一些相关的工作。

在光纤通信系统中做一个 A 光纤，再做一个 B 光纤，A 纤的色散为正，B 光纤的色散为负，这两段光纤均工作于 $1.55\ \mu\text{m}$ 窗口，具有相反的非零色散值，由于波导结构的特殊设计，工作波长内两段光纤的正负色散叠加相消，总连接色散在较宽的波长范围里接近零色散，同时，由于每一根光纤的非零色散，非线性效应能够被抑制，由于低的色散坡度，更多和更高速率的 WDM 信道能够使用，又由于传输线是由两种光纤组成，每一根光纤的长度都能够灵活调整，以获得最佳的一阶色散效果。对 A、B 段光纤及 A、B 链接后光纤的色散分别进行测量，结果可看到链接后的光纤在 $1.55\ \mu\text{m}$ 波长 40nm 范围内光纤的色散只剩下零点几个 ps. 色散被很好的抵消。

最初人们的设想是用一段普通光纤（conventional fiber），加上一段

深角色散光纤来实现色散的抵消，刚开始不成功，基本上 50km 一个中继距离，需增加一段 20 多公里长的负色散光纤来抵消色散，色散抵消的同时，却带来了损耗的增大，又需要加入 EDFA 来进行补偿放大，因此人们并未看中这一方案。随着这两年人们对负色散，深负色散光纤的研究，出现了一些可喜的变化。

最近关于深负色散光纤，提出一个参数，品质因数。即每一个 dB 可以得到多少负色散，康宁公司所做的这种光纤最高可做到 400ps/km.nm 的色散。以普通光纤为例，50 公里传输带来的色散大约有 800ps/km.nm，采用福建省康宁公司的这种光纤，只需要 2dB 的代价就可以将 50 公里传输所带来的色散全部补偿。这带来的好处是对于常规光纤而言，其色散为十几个 ps/km.nm，对四波混频现象起到很好的抑制作用，而深负色散光纤中，四波混频现象更不易发生，那么所付出的代价仅仅是几个 dB 的损耗。因此在中继的两个放大器之间加入这样一段深负色散光纤，就可以做到既抵消色散，又有效地抑制四波混频，由此看来未来的发展趋势已经基本上可以明确。我们光波所在深负色散光纤方面也开展了一系列的研究工作，其中的一个实验结果，是在 1.55 μm 处这种光纤的负色散可以达到 200ps/km.nm。

除了加入深负色散光纤来进行色散补偿外，是否还有其它色散补偿的方法呢？现在看来比较有效的办法就是采用不均匀光栅，大约使用十几厘米的光栅就可以补偿几百公里光纤的色散。1995 年的 OFC 上，人们就已经实现了 270 公里，在 10Gb/s，采用 120mm 的啁啾光栅的色散补偿。

在 1996 年 2 月份的 OFC 上，同样是采用光栅来补偿色散，实现了 10cm 光栅对 700 公里光纤传输的色散补偿。这种光栅的反射率在光脉冲的传输过程中接近于百分之百，它的延时随着波长增加而减少，它的结构是这样的，刚开始栅很疏，随后越来越密。那么这种光栅是如何实现对色散的补偿呢？普通光栅在 1.55 μm 波长处色散上升，即波长愈长，色散愈大，延时愈长，所以波长愈长，走的速度越慢，结果一个高斯脉冲传过去时，短波长在前，长波长在后。当光脉冲碰到光栅后，长波长先反射，短波长后反射，这样就实现了对脉冲的复原，完成了色散补偿。

就已经铺设的光纤而言，世界上可能已超过了一亿多公里，我们国家铺设的光纤也已有 1000 万公里左右，那么对已铺设的光纤又如何来对其提高速度呢？很简单，如果只需要 10Gb/s 的系统传输，那么无需加入色散补偿光纤，只需每传输 100 公里加入一个光栅即可。所以说这项研究对于我国已经铺设的光纤和准备铺设的光纤而言是一项意义十分重大的科研成果。

我们光波所也开展了这方面的工作，即用紫外光在光纤中写入光栅，初次测量的一个实验结果它的反射率已达到了 98.5%，估计进一步达到 99.9% 不成问题，这一技术在近年内定会在我们国家内过关。

光栅要达到实用化，还有许多问题需进行深入的研究，比如光栅的温度稳定性问题。如果稳定性很差，随着温度的漂移使得波长来回移动，这显然是不可行的，所以对于刻光栅的光纤也需要采用一种特殊结构。目前我们正在开展这方面的工作，估计在二三年内可达到实用化。

由此可以得出结论，我们国家事实上只需铺设普通光纤而无需引入价格昂贵的 truewave 光纤和色散位移光纤。将来要发展 10Gb/s 的通信，只要加入光栅就可以解决几百公里光纤的色散补偿。采用 truewave 光纤和色散位移光纤一方面价格比普通光纤昂贵，另一方面又不能适用于将来的波分复用系

统,使得发展高速光通信成为不可能。1996年 OFC 上光栅对色散补偿的成功演示系统也有力地证明了上述结论。

现在人们在向光纤通信的最后容量冲刺,已经达到了 Tb/s 的数量级,1000兆比特的通信容量大约为12000话路,1000千兆比特的通信容量就是1200万话路。在 OFC '96 上日本富士通就展示了用普通单模光纤(即零色散波长在 $1.31\mu\text{m}$ 的光纤)传输了55个通道,每通道 20Gb/s,总传输量为 1.1Tb/s 的通信系统,因此它所传输的话路就可以达到1300万话路。具体而言,这个系统是将55路 20Gb/s 的信号每传输50公里加入 EDFA,并同时加入一段色散为 $-103\text{ps}/\text{km}\cdot\text{nm}$,品质因数为 $200\text{ps}/\text{dB}$ 的色散补偿光纤,传输距离为 150km。

美国 AT&T 公司也给出了一个达到 Tb/s 量级的通信系统,采用25个波长经过光纤的偏振复用形成50个通道,共传输了55km。

日本 NTT 采用10个通道,每个通道采用时分复用 OTDM 到 100G/s,这样也达到了 Tb/s 的传输容量,传输距离为 40km。

可以说目前已从三个方面冲向了 Tb/s 的传输量级,这是目前的最新水平,1995年在圣地亚哥举行的 OFC 会议上,最高记录为 200Gb/s,仅仅相隔一年就已经达到了 1000Gb/s,光纤通信发展是十分迅速的。

下面介绍一下90年代初期至今一直被人们所津津乐道的光孤子传输问题。光孤子传输是利用光纤非线性的自相位调制来压缩光谱,抵消色散的影响。其中存在很多问题,首先,它传输的能量必须要很大,光孤子的传输需满足一个功率的阈值条件,该阈值与色散成正比。所以要求传输孤子的光纤必须是色散只有零点几个 ps 的特殊光纤。而另一方面孤子除一阶外具有一个周期。

孤子周期是限制孤子发展的一个最大因素,它要求两个光纤放大器之间的距离必须要远小于孤子周期,孤子传输才有可能实现。而孤子周期又同光脉冲宽度的平方成正比,而速率越高,这个平方值就愈小,孤子周期就愈小,ps 量级孤子周期不到1公里,这就要求小于1公里就放置一个放大器,显然是不可能的。再加上光纤放大器的自发辐射噪声也会影响光孤子的传输容量。而最主要的还是孤子周期的限制,如果放大器的距离超过了孤子周期就要产生混沌现象,就会使光脉冲相互吸收、分叉。因此,以我个人看法,光孤子已经被线性系统所淘汰,光孤子通信已不再是未来的发展方向。

事实上,现在要引起人们足够重视的是光纤通信容量的杀手——PMD,即光纤的偏振模色散。任何工艺做出的光纤都不可能是一个理想的圆。光纤发展至今,其制造工艺的重要性日益显著,由于 PMD 的限制,使得人们追求在光纤中传输 ps 级脉冲的梦想彻底破裂了。

对于传输 10Gb/s 的系统,几十个 ps 级,如果传输距离很长,那么 PMD 仍然是一个制约因素。PMD 产生的原因就在于光纤芯的椭圆度使之长短轴上光的传播速度不同,这样就使得一个模式成为了两个模式,从而影响到光纤的传输。

德国西康公司测出 PMD 平均值分别为 $0.083\text{ps}/\sqrt{\text{km}}$ 、 $0.075\text{ps}/\sqrt{\text{km}}$ 属于比较好的光纤。

世界上正在讨论生产规范,PMD 将成为光纤的一个重要指标。我所的博士生也在这方面开展了一些相应的工作,因为目前国内尚无测 PMD 的仪器,国外仪器的价格又十分昂贵,所以我们自己搭了一个系统,经过几个标准样

品鉴定，与康宁公司给出的数值基本相同，大约为 $0.3\text{ps}/\sqrt{\text{km}}$ 。另外拿国内武邮生产的色散位移光纤进行了测量，发现我国对这一问题没有引起重视，大的达到 $3\text{ps}/\sqrt{\text{km}}$ ，小的则为 $0.2\text{ps}/\sqrt{\text{km}}$ ，非常不均匀。

现在已经明确，对于海底光缆传输，PMD 必须小于 $0.15\text{ps}/\sqrt{\text{km}}$ ，即使如此，传输一万公里，产生的色散也有 15ps，显然不行。如何消除 PMD 呢，是个很关键的问题。因此在 863 会议上，我对这个问题大声疾呼，希望能够引起大家的共鸣。我们在很恶劣的实验条件下，一直在考虑如何解决这一问题，如果能够解决，那将会是世界性的一大突破。可以说光纤通信容量与 PMD 问题的解决密切相关。

从人类社会发展的长河来看，把光纤的潜力挖掘出来全部为人类服务，就是光通信工作者的任务。也许有人会问，氟光纤，理想损耗值为 $10^{-2}\text{dB}/\text{km}$ 的光纤现在是否要继续研制？氟光纤性能上脆弱，不易焊接，价格昂贵，而且目前的损耗还与理想值相差 50 倍以上，何况光的损耗不是影响光纤容量的重大因素，有光纤放大器就可以抵消掉足够长距离的损耗。现在的关键问题是光纤的色散，光纤的非线性，光通信容量的最终杀手就是 PMD，即光纤的偏振模色散问题。所以我个人认为，其它光纤的研究已经没有任何意义。

光纤不仅给人类的信息社会带来一个美妙的前景，人们经过多媒体的传输可以在家里上班，可以在任何一个地方上班，在任何地方得到世界上最有名的医生的会诊，在任何一间教室听到世界上最有名教授的讲课，也还可以在家里看到世界上的美景。而且光纤还渗透到了工业的各个部门，即光纤的传感。目前最成功的就是光纤陀螺，美国的波音 777 飞机上已经用其来导航了，机器人的定向系统也是利用了光纤陀螺，此外，光纤的灵巧结构，光纤光栅可用于任何需测量场合，如飞机外壳，长、大隧道的应变，重要桥梁的应力情况，据说目前美国急待检测的危险桥梁就有 96000 多座。光纤在医疗上也给人们带来好处，人们可以不用手术刀，而仅采用两根光纤就可以实施心脏手术，可以说光纤技术给人类社会带来了光辉美好的前景，为人类做了巨大的贡献。

长江口深水航道工程及其战略意义

窦国仁

南京水利科学研究院

窦国仁 泥沙及河流动力学专家。1932年11月16日出生于辽宁北镇。1956年苏联列宁格勒水运学院毕业后继续在该校读研究生。历任水利部、交通部、能源部南京水利科学研究院院长。高级工程师。兼水利部大坝安全监测中心主任，交通部技术顾问，国际泥沙研究培训中心管委会副主任，国务院学位委员会水利学科评议组召集人。1991年当选为中国科学院院士。主要从事泥沙基本理论研究。

一、前言

长江是我国第一大河，世界第三大河，全长6300多公里，素有黄金水道之称，目前总的可通航里程为3638.5公里。长江横跨我国东西，流经九省一市，在长江口注入东海。长江口自徐六泾以下江面迅速展宽，呈喇叭型，徐六泾江面宽度5.8公里，到达与东海交汇处的苏北启东咀和上海南汇咀间的江面宽度已达90公里。崇明岛将长江口分为南、北二支；长兴岛和横沙岛又将南支分为南、北二港；九段沙又将南港分为南、北二槽。长江在长江口地区呈三级分汊、四口入海之势，但口门均有拦门沙，水深较浅。目前南港北槽为主航道，自然水深为6米，依靠疏浚维护到7米水深；南港南槽和北港的自然水深为5.5米至6.0米，只走万吨级以下船舶；北支因泥沙淤积日趋消亡，只能通行小船。虽然长江口拦门沙以内河道，直至南京，水深一般均在10米以上，但由于受拦门沙河段水深较小的限制，万吨以上船舶均需候潮才能进出长江口，2万吨以上船舶均需减载通过。

改革开放以来，上海和长江三角洲及长江沿线的经济，呈现出快速、持续发展的局面，长江口航道已远远不能适应长江沿线经济发展的需要。特别是在党的十四大提出了“以上海浦东开发开放为龙头，进一步开放长江沿岸城市，尽快把上海建成国际经济、金融、贸易中心之一，带动长江三角洲和整个长江流域地区经济新飞跃”的重大战略决策之后，开发长江口深水航道已成为当务之急。因此，国家计委将“长江口拦门沙航道演变规律与深水航道整治技术研究”列入了国家“八五”科技攻关计划。在交通部直接组织、领导下，在以严恺院士为组长、我为副组长的专家顾问组指导下，有关单位近百名科技人员通力合作，在以前30多年长期系统研究的基础上，于1994年提出了长江口深水航道加深到12.5米的整治方案，可使第三代、第四代集装箱船和5万吨散货轮全天候进出长江口，10万吨级散货船可乘潮进出。这项成果得到了专家们的高度赞同，《人民日报》等各大报刊均在头版显著位置进行了报道。1995年国家计委在向全国人大八届三次会议的报告中，将这项研究成果列为我国科技领域取得的重大突破。现在长江口深水航道整治工程已被列入1996年召开的全国人大八届四次会议确定的“国民经济和社会发展‘九五’计划和2010年远景目标纲要”中。这项工程是继长江三峡工程之后长江上的又一项重大工程，对实现党的以浦东为龙头，把上海建成三个国

际中心，带动长江三角洲和整个长江流域经济新飞跃的战略决策，将发挥不可替代的关键作用。

二、国际航运发展及其对航道水深的要求

近 10 年来，世界海运发展很快，从 1985 年的 29.9 亿吨增加到 1991 年 40 亿吨，1991 年以后，世界海运量以每年 2% 的速度递增，到 2010 年世界海运量将突破 50 亿吨。为适应巨大的货运量以及降低运输成本，提高竞争能力，油船、散货船和集装箱船均已或者正向大型化发展，特别是集装箱船大型化的趋向更为明显。现在一般远洋运输原油的油船都在 20 万吨以上，成品油船为 4 - 6 万吨级，运输铁矿石的散货船为 10 万吨以上，运输煤炭的散货船为 10 - 15 万吨和 6 - 8 万吨级，运输谷物的船为 3 - 5 万吨级。在运输杂件货时，以前一般采用装载 1000 - 2000TEU（标准箱）的集装箱船，现洲际主航线的集装箱运输一般以装载 2500TEU 以上的第三代集装箱船（3.5 万吨级）为主，装载 4000 多 TEU 的第四代集装箱船（5 万吨级）已投入使用。世界集装箱装运量大幅度增长，集装箱率接近 60%，集装箱已成为杂件货运输的主要方式。

随着船舶的大型化，其吃水深度也在增大。目前世界上拥有 2500TEU 以上的船舶约 260 艘，箱位数达 80 万 TEU，占全集装箱箱位数的 40% 以上。这些集装箱的吃水深度一般都在 11.0 - 13.0 米，70% 以上吃水小于 12 米，最大吃水 13.5 米（参见表 1）。目前仍以巴拿马型为主，超巴拿马型（装箱数多而吃水浅）将逐步增多，21 世纪初将会出现载箱量为 5000 ~ 6000TEU 以上的第五代集装箱船，吃水一般不超过 15 米。

表 1 集装箱船的吃水深度

吨级	载重量 (吨)	标准箱数	总长 × 型宽 × 型深 (米)	吃水(米)	备注
3.5 万	33340	2696	201 × 28.4 × 15.5	10.73	
4.0 万	40189	2761	236 × 32 × 19	11.0 — 12.0	巴拿马型
4.5 万	42800	3761	275 × 32 × 21	11.5 — 12.5	巴拿马型
5.0 万	48385	4340	275 × 39.4 × 23.6	11.0 — 12.0	超巴拿马型
6.0 万	66480	4400	294 × 32 × 21.5	12.0 — 13.5	巴拿马型

我国的集装箱运输起步较晚，但近些年来发展很快，集装箱船是我国运输船舶中发展最快的船型。目前仍以载箱量为 1000TEU - 2000TEU 的第一代和第二代集装箱船为主体，只有少量载箱量为 2500TEU 以上的第三代大型集装箱船。据预测，到 2000 年我国港口国际集装箱吞吐量将突破 800 万 TEU。为适应这一货运要求，我国的船队中 2500TEU 以上的大型集装箱船会有较大增长，载箱量为 4000TEU 以上的第四代集装箱船也将投入营运。上海港的集装箱吞吐量增长迅速，1990 年不到 50 万 TEU，1992 年突破 73 万 TEU，1995 年已达 153 万 TEU，发展速度之快，远远超过原规划设想 1995 年为 110 万 TEU 的数字。然而目前进出上海港的长江口航道水深只有 7 米，只能使用第一、二代集装箱船候潮进出，与上海港的发展，特别是集装箱运输的发展极不适应。国际集装箱运输是定线、定港、定时的班轮运输方式，要求集装箱船能

全天候进出港口。现在世界主要大港和国际集装箱枢纽港的航道水深均在 12 米以上（见表 2）。由表 2 可见，上海港的航道水深远远小于世界各大港的航道水深，与上海港作为世界大港的地位极不相称。

表 2 世界各大港的航道水深

港名	航道水深（米）	港名	航道水深（米）
鹿特丹	24.5	釜山	13.4
新加坡	19.0	汉堡	12.5
洛杉矶	15.5	魁北克	12.5
温哥华	15.0	神户	12—14.2
高雄	14.0	香港	12.5
新奥尔良	13.7	东京	12.0
安特卫普	13.5	横滨	12.0
纽约	13.5	上海	7.0

回顾世界大港航道发展的历史，许多河口港的航道都经历了增深过程，通过整治与疏浚相结合的工程措施，航道水深逐步加大。在表 3 中列述了欧美几个河口的航道增深情况。由表 3 可以看出，整治前航道自然水深在 6.0 米以下，未达到万吨级航道；1930 年以后，航道水深增至 9 米以上，成为万吨级以上航道；60 年代以后航道水深增至 12.5 米以上，成为 5 万吨级航道。目前少数河口已建成 10 万吨级航道。长江口航道，自然水深为 6 米，1983 年以后通过疏浚使航道增深至 7.0 米，只能使万吨以下船舶全天通航，1—1.5 万吨级船舶仍需候潮进出，2 万吨以上船舶都要减载才能通过，远远不能适应国际运输的需要。表 2 中所列世界各大港的航道水深均在 12 米以上。表 3 中所列各国河口港口的航道自然水深都不大，等于或小于长江口航道的自然水深，但经过整治与疏浚，航道水深均已增加至 12.5 米以上。如将长江口航道也增深至 12.5 米，则第三、四代集装箱船和 5 万吨散货轮就可以全天候进出长江口。在潮位保证率 70% 前提下，可利用潮位约 3 米，此时航道水深即可达到 15.5 米。这样，10 万吨级散货船和油轮可以乘潮满载进出长江口，从而改变目前大宗散货在长江口外过驳的局面。

表 3 国外河口拦门沙航道增深过程

河口	整治前水深（米）	各年整治后水深（米）		
		1930	1960	1993
美国密西西比	2.7	10.6	12.2	13.7
美国哥伦比亚	6.1	12.2	14.6	14.6
英国默塞	3.6	9.0	13.6	13.6
加拿大圣劳伦斯	4.9	9.1	10.7	12.5
法国纪龙德	6.0	10.0	10.0	13.5

三、加深长江口拦门沙航道的工程措施

长江的水量很大，沙量也多。平均每年通过长江口入海的水量为 9755 亿立方米，沙量为 4.86 亿吨。这些由上游来的水量和沙量进入长江口四条入海航道后，又遇到潮汐、波浪和盐水的作用，使得泥沙输移规律和河床变化规律非常复杂。不进行深入研究，是无法对其进行治理的。所幸的是，1958 年就开始了长江口航道治理的研究，特别是“八五”期间国家将长江口深水航道整治技术的研究，列入了科技攻关计划。30 多年来，我国一大批著名专家、学者在统一的研究计划下，各自从不同的学科、专业角度出发，采用各种分析研究手段，进行了多学科的长期联合研究，取得了丰硕成果，基本上掌握了长江口的潮流和波浪等动力作用规律、泥沙运动和沉降规律、河床演变规律以及拦门沙形成机理及变化规律等根本性问题，为制定长江口深水航道的治理方案，提供了科学依据。

多年来对开通长江口深水航道提出过不少方案，基本上可以分成两大类，第一类方案是避开拦门沙航道，采用人工运河的方式，两头建船闸，挡住航道内的泥沙淤积。这类方案主要有三个，一是北支方案，二是南边滩运河方案，三是北岸运河方案。这三个方案的共同缺点是耗资巨大；建船闸后难以适应船型发展的需要；船闸下游口外淤积严重。此外，北支方案和北岸运河方案，航道远离上海，航路极为不顺。因此这类方案不可取。第二类方案是加深拦门沙航道。这类方案主要也有三个，即南港南槽方案、南港北槽方案和北港方案。南港南槽方案除离上海浦东近、区位条件较好外，其它方面均不及北槽方案和北港方案。南槽是长江口排沙的主要通道，泥沙淤积严重，加深这里的拦门沙航道，不仅工程量大，维护也非常困难。从沉积条件、工程条件和风浪对航槽回淤的影响等因素看，北港方案比南港北槽方案略好，但北港方案存在两大问题，一是区位条件不利，与上海港的发展及浦东开发区沿江岸线的开发利用不相适应；二是北港上口通道不稳定，在整治拦门沙航道之前就需整治南支下段，工程涉及面广，工程量大大增加，工程周期也大大延长，不能满足当前经济建设的需要。南港北槽方案不存在这些根本性问题。南支下段的变化不会影响南港上口航道，对北槽的影响也非常小，这已为多年的历史资料和物理模型试验所证实。所以不需整治南支河段就可以开发北槽深水航道，将工程局限于拦门沙航道本身。这不仅不与长江口综合治理规划发生矛盾，而且可以作为综合治理的起步工程。它不仅有利于上海龙头地位的确立，也有利于带动长江三角洲的开发、开放。综上所述，南港北槽方案综合优势最大，故选择南港北槽作为长江口的出海深水航道。

在制定北槽深水航道的工程方案时，遵循的原则是：（1）有利于今后长江口的综合开发；（2）维持现有的分叉河型，不影响或有利于上游河段和邻汉河段河势的稳定；（3）整治与疏浚相结合，疏浚与围滩造地相结合；（4）体现高强、快速、连续施工要求，有利于分期实施、分期取得经济效益。

根据上述原则，参考国外河口港航道的治理经验，通过河床演变分析，根据多方案的物理模型试验和数学模型计算的科研成果，确定了治理措施的主体工程有 5 项，即总长为 49.2 公里长的北导堤，总长为 48.0 公里的南导堤，分流口导堤和相连的潜坝，南北导堤间的束水丁坝以及 79.5 公里长的人工开挖航槽。南、北导堤的作用是规顺涨、落潮流和阻挡横沙东滩和九段沙上的泥沙进入航道，丁坝起束水攻沙、加深航槽的作用，分流口工程的作用是稳定进入北槽的水量和减少进入北槽的沙量，疏浚工程是促使航槽尽快达到要求深度。这项工程规模较大，按 1994 年价格，工程静态总投资为 98.62

亿元，总工期需要8年到10年。为了在工程实施过程中逐步取得效益，按一次规划、一次设计、连续施工、分期实施的原则进行。一期以整治工程建设为主，分两个阶段。第一阶段为起步工程，南、北导堤修建约一半长度，使航道底标高达到-8.5米，以满足三万吨级海轮乘潮通航的需要；第二阶段将南、北导堤建完，使航道底标高达到-10.0米，使第三、四代集装箱船和5万吨级海轮能乘潮通航。第二期以疏浚工程为主，根据需要适当增补丁坝和调整丁坝长度，使航道底标高达到-12.5米，保证第三、四代集装箱船和5万吨级散货船全天候通航，10万吨级散货船乘潮通航。物理模型试验和数学模型计算表明，上述分阶段治理目标是可以达到的。目前对上述整治方案正在进行优化研究，并研究使航道水深加大到15米的可能性，以便全天候通航10万吨散货轮和第五代、第六代集装箱船。

四、开发长江口深水航道的重大意义

最近国务院指出，长江口深水航道的治理意义重大，属跨世纪的国家级大型项目。这项跨世纪工程的实施，对我国的经济的发展具有重要的战略意义。

1. 长江口深水航道的开发将使上海成为国际航运中心，为上海经济发展，创造良好环境。

在20世纪初叶，由于长江口和黄浦江的航道水深均为6米，适合当时国际航运的要求水深，使上海得以跻身于国际经济、金融、贸易中心的行列，使上海港1930年的吞吐量达到3700万吨，确立了当时的国际航运中心的地位。但在30年代以后，随着船舶大型化，对航道水深的要求不断提高，而长江口的航道水深一直没有改善，从而丧失了国际航运中心的地位。

前已提到，现在世界上国际航运中心的航道水深都在12米以上，例如神户为12米，香港为12.5米，纽约为13.5米。上海濒海临江，位于黄金水道和黄金海岸的交汇处，是全国最大的城市和最大的交通枢纽，所欠缺的就是深水航道。长江口深水航道建成后，上海港和江苏四港（南京港、镇江港、张家港、南通港）可以保证国际集装箱环球航线上的第三代、第四代集装箱船和5万吨级散货船随时靠泊，为建设以上海港为主体的国际航运中心创造了必要条件。

从国内外港口城市发展的历史看，都是“以港兴城”，国际经济、金融、贸易中心的形成都与国际航运中心的形成密切相关。在上海建成国际航运中心之后，浦东将充分发挥其“龙头”作用，上海将很快建成国际经济、金融、贸易中心。由此可见，长江口深水航道的开发对推动上海的经济的发展将起到巨大作用。

2. 长江口深水航道的开发将完善我国港口布局，促进江苏和整个长江三角洲经济的新飞跃。

我国沿海已经形成了环渤海地区、长江三角洲地区、珠江三角洲地区等三大经济圈。科技、经济实力呈“南北低中部高”的形势，但从港口情况看北有大连等深水港群，南有香港、深圳等深水港群，唯独经济、科技力量最强的中部上海和江苏，因没有深水航道而没有深水港群，形成明显反差。长江具有良好的航道水深，关键是卡在长江口拦门沙河段。在长江口深水航道建成后，长江两岸的深水岸线将充分发挥作用。只江苏境内的深水岸线，南岸有122公里，北岸有143公里，南北岸线总长达265公里。目前利用的仅

51 公里。如将未用的深水岸线都用于建港，可建 3.5 - 5.0 万吨级以上的深水泊位 700 - 800 个，这是非常巨大的深水岸线资源。现在上海和南京以下的江苏四港已有 110 多个万吨级以上的海轮泊位。长江口深水航道开通后，必将出现以上海港为主、江苏四港为辅的中部深水港群，使我国的港口布局得到完善。江苏深水岸线的开发利用和江苏四港成为深水港，对江苏的经济发展具有重大和深远意义，也必将带动整个长江三角洲经济的新飞跃。

3. 长江口深水航道的开发将扩大长江口物资运输的能力，推动整个长江流域经济的快速发展。

长江流域有丰富的物产资源和得天独厚的黄金水道。现已在长江沿线 31 个城市形成了冶金、电力、石油化工、建材、机械、纺织等行业的产业密集带。长江流域的国民生产总值和工业总产值都占全国的 1/3，农业总产值、粮食产量和钢产量都占全国的 2/5，外贸出口总额占全国的 1/5 强，内河通航里程占全国的 70% 多。这些优势为长江流域经济的迅速发展，提供了条件，通过长江口货运量也将迅速增大。

根据预测，上海港及江苏四港通过长江口的货运量 2000 年将达到 2.1 亿吨，2010 年将达到 2.8 亿吨，2020 年将达到 3.2 亿吨，其中集装箱、煤炭、金属矿石、原油需要以大型集装箱船和散货船运输。上海港集装箱吞吐量 2000 年将达到 250 万 TEU，2010 年将达到 450 万 TEU，2020 年将达到 800 万 TEU。然而当前长江口航道水深仅 7.0 米，只有万吨级以下船舶才能够全天候通航，1 - 1.5 万吨级的船舶需要乘潮进出。按乘潮两小时计，全年只能进港 5500 艘，平均每天 15 艘，不能满足运量的需要，这将严重制约长江流域经济的发展。长江口深水航道建成后，这一制约因素就将排除，长江流域，特别是沿江产业密集带的原材料和产品就可直接通过长江口进出。这将大大促进长江沿线乃至整个长江流域经济的快速发展。

综上所述，开发长江口深水航道是保证上海、江苏乃至长江流域经济持续、稳定、快速发展的必要条件，是实现党的十四大提出的“以上海浦东开发开放为龙头，进一步开放长江沿岸城市，尽快把上海建成国际经济、金融、贸易中心之一，带动长江三角洲和整个长江流域地区经济新飞跃”战略决策的重大举措，其意义十分重大而深远。我有幸参加了长江三峡工程论证的全过程，可以说，开发长江口深水航道的重要性和迫切性并不亚于长江三峡工程。

中国的能源问题和出路

潘家铮

中国工程院

潘家铮 水工结构和水电建设专家。1927年11月生，浙江绍兴人。1950年毕业于浙江大学。历任水利电力部总工程师、能源部水电总工程师等职。现任中国工程院副院长、电力工业部技术顾问和中国长江三峡工程开发总公司技术委员会主任。1980年当选为中国科学院院士，1990年被授予国家设计大师称号，1994年被选聘为中国工程院院士。兼任中国大坝委员会主席、中国岩石力学与工程学会名誉理事长和清华大学教授、博士生导师，全国政协委员。长期从事水电站设计、建设和科研工作。

一、李鹏总理担心什么问题

李鹏总理曾经讲过，他担心两个问题，一个是粮食问题，一个是能源问题。总理简单的一句话，就抓住关键，点中要害。中国面临的最大的问题，就是粮食和能源。

中国有12亿人口，据专家测算，即使抓紧计划生育，下世纪人口高峰也要超过16亿，最后稳定在16亿左右，十五六亿人要吃饭，而且要吃得好，中国能养活自己吗？养不活自己，无非两个后果，一是永久贫困下去，成为动乱之源；一是有钱在世界市场上大量购粮，搅乱粮食市场，总之，都成为祸害。一些西方人士已在宣传“谁来养活中国”了，当然，已遭到我们的驳斥，我们相信中国能养活自己，而且能吃得很好，但这是件艰巨的任务，要经过努力才能做到。

能源是同样性质的问题，而且还有它的特点，因为只要有耕地，粮食总能生产，人均耗粮也不会无限增长，能源情况就有些不同。中国的经济要腾飞，十五六亿人民要过富裕的日子，中国的经济总规模将高居世界首位，而这一切都需要大量的能源，总之，中国的现代化需要惊人的能源供应，中国如果不能解决好能源问题，不仅经济不能高速健康发展，国家的战略目标无法实现，还会给世界能源市场和全球环境带来严重问题。

这样看来，能源确实对今后国家民族的命运起着关键性的作用，它是一个战略问题，一个我们应该重视、研究和解决的问题，我们绝不能掉以轻心，墨守成规，不图改革，只求满足近期需求，不作长久考虑，那将是十分有害的。

二、中国的能源究竟存在什么问题

建国46年，我国能源工业取得了举世瞩目的成就，这是有目共睹的事实。在建国时，我国能源开发极端落后。1949年全国原煤产量3200万吨、原油12万吨、发电量43亿千瓦时，以5亿人口计，人均均为原煤0.064吨，原油0.00024吨，电量8.6千瓦时，几乎可以说是从零开始。经过46年奋斗，1995年一次能源总产量达12.4亿吨标煤，其中原煤达12.98亿吨，居世界

首位，原油产量 1.49 亿吨，从贫油、无油国变成产油大国。全国发电装机 2.17 亿千瓦，年发电量 1 万亿千瓦时，居世界第三四位。与此相应，在设备制造、勘测设计、科学研究、施工管理、人才培养……各条战线上都取得巨大进步。中国已成为能源大国。强大的能源供应是我国经济腾飞、人民生活水平和综合国力迅速提高的保障和基础，是稳定社会的因素。不看到这一点是错误的。

但是，用一分为二的观点来看问题，从可持续发展的要求来衡量问题，我国能源供应前景存在巨大隐患。不清醒地看到存在问题的严重性和复杂性，是危险的。我个人认为，在当前，把问题的严重性说得透一点，对我们较为有利。

那么，我国能源供需前景究竟怎样？存在什么问题呢？我认为存在三方面的问题：

1. 资源短缺。这是自然界给我们造成的问题。我国的能源资源究竟有多少家底？答案是无情的：从总量上看并不少，按人均计算就非常低了。即使是较丰富的煤，目前探明储量约 1100 亿吨，人均值仅为世界平均值的一半。而作为重要战略物资的石油、天然气尤其不足。石油探明可采储量仅 32.6 亿吨，人均 2.9 吨，仅为世界平均值的 1/10 左右。另一战略能源的铀矿储量也极有限，目前查明的储量只能供 4000 万千瓦的核电站运行 30 年之需。可开发的水能约 3.7 亿千瓦（年电量 19000 亿千瓦时），占世界首位，但用 10 多亿人口一除也就很有限了。而且这些资源的分布极不均匀，煤集中在晋陕蒙，水能集中在西南，开发、输送都很困难。再者，我国一次能源以煤为主，这在世界上也是少见的，从而引起一系列的问题，如污染、运输等等。因此，我们应清醒地认识到我国能源蕴藏量并不丰富，条件是不利的，家底是薄的，并不是什么地大物博得天独厚。我们必须在承认人均资源严重短缺的基础上考虑问题。

2. 利用效率低、浪费大。由于我国技术水平和管理水平低，能源从开采、运输加工到终端利用的效率很低。据调查研究，开采上的效率为 32%，加工运输上 70%，终端利用上 41%，总效率低到 9%。有 91% 的能源都未得到利用。主要产品单耗比先进水平要高 30% - 80%。效率远远低于发达国家水平，甚至比一些发展中国家都低。加上思想教育上的放松和政策上的失误，存在许多令人痛心的浪费：长明灯、长流水、煤老虎、电老虎、乱开乱采、跑冒滴漏，毫不心痛。如此紧缺和宝贵的能源被如此无情地浪费着，长此以往，将何以堪！

3. 体制、管理、政策上的问题。体制混乱，政企难分、部门分割、地区封锁、能源工业资金短缺，难以自我优化自我发展，有的连维持简单再生产也困难。国家缺乏正确、全面、有力的能源政策来促进能源工业的良性循环，多是出了问题头痛医头、脚痛医脚，被迫在老路上挣扎，难以跨出新的步伐。

这三方面的问题交错在一起，相互影响制约，不容易解决，长此下去，后果主要两条：一是能源供需缺口愈来愈大，不能满足经济发展和人民生活水平提高的要求，使我国发展的战略目标和民族振兴大业难以实现；另一条是能源开发和环境保护难以协调，污染日趋严重，危害我国人民生活和发展的基地，也成为国际上指责和制裁的对象。

这些后果是我们不能承受的，是必须避免的。

三、必须走上良性循环的路

经济发展、能源供应和环境保护三者构成一个相互联系、相互制约的系统，好像一个连环套。我们想强调说明的一点是，在这个连环套里我们必须走一条良性循环的发展道路，万不可走上恶性循环道路。

什么叫良性循环？就是一个国家有强大和充足的能源供应，保障国家经济能稳定地发展，国家的经济实力能不断提高，而国家经济实力充沛，就可以采取各种措施来发展科技、改造企业、提高效率、保护环境、开发新能源，能源也就能够更稳定的发展了，这就是良性循环。

反过来的情况就是恶性循环，那就是能源供应严重不足，拉闸限电，停三开四，限制了国家经济的腾飞，国家的经济实力上不去，资金短缺，就无力更新设备提高效率，无力优化能源结构，无力考虑环境保护，无力加大科技投入，研究开发新能源、新技术，无力应付今后的挑战，当然也就进一步扩大了能源供需的缺口，这就形成了一个恶性循环。

我不敢说中国的能源工业已经陷入了恶性循环无法自拔了，但如果说，中国的能源工业有陷入恶性循环的危险，现在正在为摆脱困境而作努力，今后能否转入良性循环就看国家在这几年下什么决心，采取什么措施，这样说也许比较符合实际情况。因为我们确实有许多事想做而由于经济实力不足不能做：多修水电核电优化能源结构，大力推行清洁煤（CCT）技术改善环境，全面改造旧设备提高能源利用效率、大力增加科技投入开发新能源等等，而这些事不能抓紧办，使能源供应和环境污染问题进一步严重化了，经济发展进一步受到制约，事情难道不是如此吗？反过来看美国，它的能源供应充足，保障了国家经济实力强大，它就能采取各种措施来发展科技、提高效率、保护环境、准备应付以后的挑战。在这方面美国无疑比我国主动得多。

总之，我国的能源工业如果满足于现在的情况，照现在的老路走下去：在现有的水平上开新矿办新厂，来满足日益增加的能源需求，再应付几年是可以的，日子还能过下去，年年总有些增长，但是路将愈走愈窄，愈走愈难，总会走到难以为继的地步，到那时再后悔不应在世纪之交无所作为可能就晚了，将要被迫付出更沉重的代价。

四、中国要不要和美国比

美国是目前世界上的唯一超级大国，经济实力强大，人民生活也达到富裕程度，常常成为一些人羡慕和追求的目标。我们今后的发展包括能源发展，要不要拿它做标准去对比呢？对这个问题有两种不同的见解。

一种见解是，不要去比，也不能去比。美国地大人少，资源丰富，依靠掠夺、侵略、当然也包括美国人民的劳动发了家。现在不到世界总人口 5% 的美国人消耗着全球 1/3 的总能源消耗量，过着奢侈、挥霍、糟蹋资源的生活。中国根本不应该也不可能走这条路。我认为在这种见解中有个正确的核心，即中美国情不同，中国的能源发展受资源、人口、经济实力、污染和运输以及历史条件等多种因素的制约，现在不能、将来也不能达到美国的水平。例如，美国在 1993 年底全国装机已超过 8 亿千瓦，人均 3 千瓦以上，年发电 3.2 万亿千瓦时，人均年用电 13000 千瓦时。美国平均 2 人拥有一辆汽车，全国达 1.3 亿辆。我们到去年底人均装机才达到 0.179 千瓦，年用电 840 千

瓦时，只占美国的 6~5%。如果要求中国在下世纪中达到目前美国的水平，全国应装机 50 亿千瓦，年发电 21 万亿千瓦时，全国应有 8 亿辆小车，年消耗 50 亿吨原油……在座的每位同志大概都想象不出从哪里去生产这么多能源来满足这样的要求，所以问题很清楚，我国必须在有限的能源供应下完成四化大业，我们只能走勤俭节约适度消费的道路，决不能盲目和不切实际地鼓吹和追求高消费。美国到处推销它的社会制度和生活方式，但决不会愿意中国人也像他们一样消费。

另一种见解认为应该和美国及一切发达国家比，只有比，才能看清问题、找出差距，想办法、赶上去。从统计资料和历史经验看，一个国家的经济发展和能源供应是有明确的比例关系的，没有充足的能源供应，经济不可能腾飞，所以我们不但在生产总量上要超过美国，而且在人均指标、质量指标上也要追赶上去。否则，没有物质基础，什么从小康走向富裕，下世纪中达到比较富裕发达水平，什么振兴民族，完成四化，都只能是一句空话。这种见解中也有个正确核心，即：发展是硬道理，我们要在今后数十年内振兴国家，需要较高的发展速度，需要解决能源问题。在今天，我们不可能闭关锁国、自搞一套。所以我们不但要从纵的方向（历史上）比，也必须在横的方向上同发达国家比，和它们进行竞争。

这两种见解各有道理，并不互相排斥，总的讲，一是从可能性和现实性上考虑，二是从必要性和紧迫性上考虑。作为国家的最高决策层，正是应该在两者间做到最优的平衡。过去，我们在制定规划时，比较偏重于从必要性出发，较忽视合理性、持续性和现实性问题。在建国初期，这样做是必要的，而且那时的基数很低，这样做也不引起大的矛盾。但时至今日，物质基础已达到一定规模，而各种深层次问题已严重暴露，就需要将两者紧密结合考虑了。现实性和必要性必须兼顾，而目前尤其要重视前者。

五、能源供需缺口究竟有多大

有的同志可能要问：我国能源在需要和可能之间究竟有多大缺口，又如何来“兼顾”和“协调”呢。要具体研究这个问题，就不能只考虑 5 年 10 年间的情况，而要考虑较长时段，譬如说设想一下 55 年后即公元 2050 年的情况，55 年时间说短不短，说长也不长，正是我国实现三步战略目标的时段。人无远虑，必有近忧，如果对这段关键性的时期存在的重大问题不作些深入研究，将是十分危险的。

但是，要估计 55 年后的情况，难度很大。我们的依据，一是分三步走的战略目标，这是明确的，必须达到的。再次就是分析研究世界各国的发展经验，匡算达到这一目标的物质基础和能源供应，从而做一定的预测。这样做还是有根据和可信的。有很多部门和专家对此做过详尽的探索，开发了很多数学模型进行计算预测。例如，有的根据各行各业为达到战略目标应有的发展速度，并考虑技术水平提高的因素，计算各部门的耗能量加以汇总修正。有的根据人民在那时的消费情况和需要，分析直接间接所需能量进行计算，等等。这些都有一定依据和实践经验，当然这都是从需要出发的，我们不能做详细介绍。我们只给出一些典型成果供参考。我们采用 60 多个单位耗时 4 年完成的《中国能源战略研究（2000-2050）总报告》二稿中的数据。据预测，我国 2050 年一次能源总需求量为 35 亿吨标煤至 44 亿吨标煤（低方案至高方

案)。其中原煤年需 26-33 亿吨，原油 5.2-7.4 亿吨，天然气 1500-1900 亿 m^3 ，水电 9100 万-1 亿零 600 万千瓦时，核电 1.3 万亿千瓦时，以及其它新能源和生物能源。在二次能源的电力方面，预测全国装机 15 亿千瓦，年发电量 7.5 万亿千瓦时。专家们在预测中已经尽量偏于“先进”。如假定那时我国的能源技术已达很先进水平，能源利用效率已大幅度提高、各种节能措施得到采用，还根据国情考虑人民的生活方式和消费结构，像小汽车就谈不上进入家家户户。否则的话，预测的数值远大于此，就更不现实了。专家们希望用这种方式，使得在较低的能源供应水平下，人民生活水平大体上达到日本在 90 年代初的水平。

按这组预测值，以 15.6 亿人口计，2050 年人均能耗（2243-2666）公斤标煤，只稍稍高于目前世界人均水平。人均拥有装机不到 1 千瓦，人均年用电 4800 千瓦时，这些数字远远低于目前美国的水平，约只占其 1/3 左右。从发展速度看，55 年内一次能源总量增长了 2.82-3.55 倍，平均年增长率为 1.9-2.3%，电力增长稍快，为 7.5 倍，平均年增长率为 3.73%。我国近年来经济增长率超过 10%，预测在 90 年代的年平均增长率为 9.4%，2000-2010 年为 8.2%，2010-2020 年为 6.0%，2020-2050 年为 3.5%，总的年平均增长率为 6%。两者相比，显得极不协调。总之，从需要的角度来看，很难批评专家们提出的预测值太高了。

但是，从可能性上分析，对这个不高的要求，仍然难以满足，首先是石油和天然气，去年我国产油 1.49 亿吨，但很多油田产量已开始衰退，依靠高科技投入、二次采油、三次采油来维持产量。中国现在已成为石油的净进口国。今后，除非在油藏勘探上有重大突破，下世纪我国石油产量在缓慢增长到一定程度后将急剧下降。从我国已探明的可采储量和对今后可能的探明储量估计，专家们认为到 2050 年我国只能产石油 8000 万吨，悲观的认为仅能产 4000 万吨，离开预测所需的 7.4 亿吨差上六七亿吨。如要依赖进口解决，且不说我国有无实力进口六七亿吨原油，那时的国际市场能提供多少也是个疑问。一些发达国家都在竭尽全力研究石油供应问题，我国在这方面的进展是十分缓慢的。再如核电，预测中要求在 2050 年核电装机 2 亿千瓦（有的方案要求装 3 亿千瓦），发电 13000 亿千瓦时，像大亚湾那样的核电站得修建 110 座（或 170 座），姑且不谈我国已探明的铀矿资源仅够三四千万千瓦的核电站运行 30 年之需，我国的经济实力能否在 50 多年中兴建 110-170 座核电站，也是个大疑问。

主要的希望寄托在煤炭上。尽管我国的煤炭资源丰富，但从资源条件、开采技术、可能达到的生产能力和运输、环境等条件的制约，用动态模拟分析，有关专家认为到 2050 年我国煤炭的极限供应能力只能是 26-30 亿吨，预测数已达到或超过极限供应能力了，何况有些专家认为要实现这一极限供应，困难极大。只有开发 1 万亿千瓦时水电比较落实，条件具备时尚可多开发一点，但较优越的资源也开发将尽，而水电在一次能源中所占比重也不可能太大（只约占 10% 左右）。

根据我的看法，从现实条件看，不仅预测中的高方案是不现实的，就是低方案恐怕也实现不了（至于更高的方案更是不值得研究），可能我国实际能提供的一次能源比低方案还要折减 15%，其中石油、天然气更要大规模削减。我们不能在很大的风险度上做规划和战略考虑（例如假定油气勘探有惊人突破，或寄希望于核聚变等），只能在现实可能上做文章，如何用这点有

限能源来达到战略目标，就是摆在我们面前最现实的问题。所以我们要一再呼吁，希望大家认清我国在现代化过程中面临的能源供应困难，是世界上独一无二的，供需缺口巨大，而且将愈来愈大。

六、出路何在——几帖药方

上面我们分析了我国能源工业存在的许多深层次问题和巨大的供需差距，那么出路何在？有了病就得服药，药方又是什么呢？

只要了解病情，开药方其实不难。问题是病人要决心服药，而且要有钱买药，或者想什么方法弄到药。事实上，国家综合部门和有关专业部门，以及大量专家学者都对中国的能源问题做过深入的调查研究，从不同角度提出过多种方案和建议，这就是药方。很显然，没有什么简单的特效药，只能是综合治理，也就是说服一副复杂的中药。这副中药里含有很多味药料，君臣相配，祛邪扶正，长期服用，坚持不断，就能逐渐收效。大体上讲，药中含有四大成分，分述如下：

1. 切切实实实现两个转变、改变经济增长方式、厉行节约、反对浪费，千方百计最大可能地提高能源效率

能源对国家、民族前途既如此重要，我国的能源家底又如此薄弱，理应千方百计节约每一克煤、每一滴油、每一度电，使每一焦耳的能源能发挥最大效益。不幸事实恰恰相反，愈贫穷、愈挥霍，愈困难、愈浪费，这实在令人痛心。当然，我国也在抓节能，有机构、有指标，年年都取得一定效果，但总不够令人满意，挥霍浪费依然，主要产品能耗距先进水平差距仍达30%-90%，这是因为政策软弱无力、效果水分较多，节能、既无动力又无压力，更没有形成全国全民的自觉风气，没有上升到为全国全民一致重视的首要选择。据测算，如果不抓节能，按目前的耗能水平，达到2010年《纲要》提出的经济发展目标，就需37亿吨标煤。我希望利用这个机会再次大声疾呼：中国的能源再也禁不起这样挥霍浪费和低效利用下去了！希望从国家领导到每个企事业单位、每个公民都来认真思考一下这个问题。

首先要像抓计划生育那样把节能作为基本国策之一，大力宣传，反复教育，务使深入人心，使各行各业全国全民都充分认识到节能光荣，浪费可耻，既要抓直接节能，更要抓全社会的节约——间接节能。因为任何产品，那怕是一滴水，都含有能源成分。要强调合理适度消费、强调勤俭节约是永恒的美德、反对一些不切实际的误导。要制定政策、规划、措施、指标办法，投入资金，重奖重惩，从技术上、结构上、政策上全面下手，务使节能落到实处，开展全民全社会的节能运动。在节能上，尤以节约和替代油气资源为重中之重。

在具体措施上，国民经济增长速度必须是合理和收实效的。各行业制定发展规划时必须联系能源供应，坚决反对盲目攀比、不切实际、大起大落、产不对销，从而严重浪费能源。要有所为有所不为，有所发展有所限制，调整国民经济结构，一些大量耗能又非我国必需自搞的产业，应予限制。要决心改造旧企业、旧设备，关停并转不必要的、不合理的高耗能且不能改造的小旧企业，淘汰落伍设备，要开发推广节能产品。据说如全国用上节能灯，效益超过一座三峡水电站。可是产品既不过关，政策也不支持，更无人去抓。三峡枢纽当然应建，但是我们既能用上千亿资金建三峡，为什么不能花其

1/10 资金来抓节能产品呢？如果花一块钱修新的能源企业和花一块钱搞节能能起到同样效果的话，国家首先应投资搞后者。

在我国还存在许多极不合理的现象。例如一座优良的煤矿，被无数小煤窑进行盲目开采，搞得遍体鳞伤，采出 1/10，浪费 9/10，这是不是犯罪啊！中国今后所需的煤炭生产，主要应由现代化的大型煤矿来提供，小煤窑必须按改造、整顿、联合、提高的方针向集约化改造转变，不能让目前的无秩序状态发展下去。又如，我国的终端能源中优质能源比重很低，大量的还是直接燃煤，所采的煤仅 30% 转化为电能，而美国高达 80%，这又是个极大的浪费，必须尽快地改变这种局面。

我国目前能源系统的总效率只有 9%，仅为发达国家的 1/2，只要认真采取措施，尽一切力量赶上发达国家目前的水平，一吨煤资源就能顶两吨用。节能不仅是为了满足经济增长之需，在环境保护上尤为迫切。所以我们说，开发和节能应该并举，但更要把节能放在优先的地位。今后的能源需求中，只能一小半靠开发，一大半靠节约，舍此并无他途可循。

2. 因地、因时制宜，开发利用多种能源，大力优化能源结构，保障可靠的能源供给

我国是世界上少数以煤为主要能源的国家，这给我们带来很大困难。但我国疆域辽阔情况各异，完全可以因地因时制宜，分区优化能源结构，以最大程度地缓解煤的压力，使其比重尽可能下降到 50% 左右。

我国有丰富而相对集中的煤炭资源，当然应利用优势建设现代化的巨型能源基地，尤其是晋陕蒙基地，尽量修建坑口电站，输煤输电并举，支援全国。这一能源是可靠的。建坑口电站要解决水的问题，并不是有煤就可建。所以巨型的煤和电基地建设必须在国家的统一规划下进行，不能乱来。

西南地区有得天独厚的水力资源，国家无论如何困难必须抓紧大力开发，在今后二三十年内把条件最好的部分先开发出来，在 2050 年前大部分技术及经济上可利用的水能应都得到开发。按电量计，开发率应达到 60% 甚或更高，形成世界上最宏伟的水电基地，除满足本地区要求外，输电华中、华东、华南，并促成全国联网，实现跨地区跨流域水火联调，取得最大效益。我国水力资源世界第一，水电开发风险最小，效益最全面，是又一个可靠的再生的能源，不幸由于各种因素制约，发展很困难。水电占全国电力的比重，由 80 年代的 32% 一直递减到 1995 年的 24%（按电量只占 18%），今后还将进一步下降。李鹏总理曾特别撰文，要求在 2010 年水电比重能达到 30%，邹家华副总理为水电开发问题无数次地进行研究和协调，都没有起色。现在每年开工建设的电站都在 1000 万千瓦左右，而 1995 年开工的大中型水电站仅 24 万千瓦，今年干脆是 0，许多条件具备包括资金落实的水电都不批准开工，有的实际上已开工三年还是个黑户口。不管你愿意不愿意，“九五”期间水电建设的马鞍形已经形成，因为大水电是不可能在一二年内建成的。这是国家层次的失误。今天不是专谈水电问题，所以我也不作展开。我们高兴的是，现在从国家领导、综合部门、电力主管部门到有关同志都在注意研究这个问题了。

东部、沿海地区经济最为发达而能源资源十分短缺，除大力投资开发华北西南的煤矿和水能外，利用有利时机，积极加快核电建设和兴建部分燃油燃气电站也是必须的，以争取时机，赢得主动。但是要注意依赖进口燃料应在适当范围之内，不能完全受控于人，更不能离开全国一盘棋的立场，忽视

甚至放弃对煤和水能的开发，形成“独立王国”，因为这对于国家来讲是十分不利的。中央政府对此要行使指导和干预权。

在核电方面，我国已实现了零的突破，在 2000 年将拥有 4 座核电站，但发展速度和模式满足不了要求。要使核电在我国真正形成气候，分担重任，必须走定型化、国产化、批量化的道路。不能靠进口。据专家分析，下世纪初正是核电更新换代的关键时机，我国如何把握时机，做好准备，与国际接轨，加速核能利用，是一个大问题。总之，核电能否成为我国能源中的重要支柱，取决于国家的决心和采取的措施。

对于石油和天然气（包括非常规资源）当然应当继续积极勘探、扩大保有的可采储量，合理开发，争取在下世纪初叶仍能稳定增长，并努力开发利用外国资源，开发利用各种替代能源。凡是可以用不用油的一概不用，把它用到最必需部门。

我国除开发常规能源外，还要致力于研究各种新能源和再生能源（风能、太阳能、燃料电池等等），虽在 2010-2020 年前不会形成大的气候，但可作好技术准备，争取在以后的三四十年中取得突破，这个问题在下面还要谈到。在我国广大农村地区，仍然在很大程度上依靠生物质能源，所以对此绝不可掉以轻心，要像抓商品能源一样，使它得到健康的、最大限度的利用。

通过艰苦努力，争取在我国建设起国家统一规划控制下的能源生产供应体系，包括若干现代化的能源基地，通过国家电网和交通运输网有机地联成一体，相互补充、相互配合，切实保障我国必要的能源供应。

3. 依靠科技进步、开发应用新能源，控制环境污染

这一剂药中的主要成分是高科技。确实，要解决我国的能源问题，离开科技发展是不可能的：要降低能源开发的成本和缩短工期、要提高能源利用的效率、要开发新能源新产品、要控制能源利用造成的环境污染……件件离不开科技发展。我国如果因为目前的日子尚能过得去而忽视对科技的投入和抓科技开发，将是最大的失误，将落入恶性循环道路不能自拔。

我们在这里只讲两个问题，一个是新能源和可再生能源，一个是 CCT 技术。

地球上的化石资源终究要枯竭，因此先进发达国家莫不在竭尽全力找出路，即开发新能源和可再生能源。我国必须急起直追。水能和生能外要选择希望最大的有限目标集中攻关，不能认为“远水解不了近火”而放松努力。据专家们分析，最有希望的是太阳能、燃料电池、风能等，加速研究，虽在 2010 年前不能有很大贡献，但在其后数十年将起重要作用。

第二个问题是煤的清洁利用。中国是以煤为主要一次能源的大国，燃煤引起的污染问题是制约中国发展的重大因素。千方百计减轻燃煤污染、开展清洁煤技术（CCT）是必走之路。这不仅是为了应付国际上的压力，也是给子孙后代留下一块干净的生活空间。

要减少燃煤污染，首先是尽量开发清洁、再生能源和提高效率减少燃煤量，这在前面已经提到。其次是坚定不移走 CCT 道路。现在的矛盾是：要进行煤的清洁利用，需大量资金投入和科技开发，这必然会影响发展的速度。怎么办？我们不能走“先污染后治理”的错路，但又不可能一步登天解决矛盾。因此，可行之途是明确方向，制定规划，综合治理，从简到繁，步步前进，务求必成。减少燃煤污染的措施很多，首先应从煤源着手，对原煤进行洗选、对口供应和采用型煤，就可以大大减轻污染，提高效率，这在技术上

是过关的，也不需太多的投资，完全可以在全国全面实行。遗憾的是，这个措施在我国就是推不动，已建的洗煤厂也停着不用，原因据说是“没有经济效益”。相反，还有些煤矿专门组织队伍在原煤中掺矸石和废渣，来“提高经济效益”，让千万吨废料在铁路作几千公里的运输，再送入电厂和锅炉中燃烧来加剧污染环境。在社会主义的中国上演这种悲剧是否令人痛心？

第二步，就是要尽量多地将煤转化为电能，在大电厂中燃烧，即使不实行烟气净化脱硫，其污染量也比分散燃烧原煤要少得多。所以发达国家开采的原煤 80% 或 85% 以上都用以发电，而我国仅 30%。我们必须把燃煤的小锅炉、民用炉等等转为电气化，使 80% 以上的原煤都发电，并在新建的电厂中脱硫，使污染得到进一步控制。

更深层次的洁净煤技术就是进行更高效和清洁的燃烧，如 CFBC，PFBC，IGCC 等，以及煤的液化、气化等。这些需要较高技术和较多投入，但这样做不仅可控制污染而且可大大提高燃烧效率。我国既然是燃煤大国，这条路非走不可，比任何其他国家更为急迫。国家有关部门对此也正在抓紧研究试点。问题是各部门间协调不够、力度不大、进展缓慢，还需要大大加劲。

实事求是地讲，在今后一段时期内，我国燃煤引起的污染问题恐怕还会有所增长，但只要我们在以上各个方面、各个层次上进行努力，坚定不移按预定目标走下去，在不太长的时间内控制污染的加剧速度直至下降到容许范围内，是做得到的。在这场战斗中，加强管理和科技进步是两条主要措施。

4. 深化改革开放，利用有利的国际环境，缓解我国能源问题

我们一再提到，中国是有十多亿人口的大国，能源像粮食一样，要立足于国内解决，这是无疑义的。但立足国内绝非闭关锁国。相反，我们要抓住有利的国际环境，尽可能利用外国的资源、资金和技术，为我所用。我们可以扩大能源贸易，有进有出，适当增加石油、LNG、核燃料以及高能耗产品的进口，作为平衡供需的辅助手段。当然必须在国家宏观控制下进行，要有利可图而不受制于人。我们可以采取多种方式大量引进外资和技术，开发能源、改造企业。我们还可以进入国际市场，利用我们的优势去开发外国的能源。总之，我们应该坚持改革和开放政策，认真研究日本、韩国等成功的经验，尽可能多地利用外国资源、资金和技术作为解决我国能源问题的一个辅助手段。

以上四帖药方，都能针对我国能源供需存在巨大缺口以及环境污染日趋严重这两大问题起到祛邪扶正的作用，而且四者之间也是相互影响、相互促进的，能共同使能源供需向良性循环道路发展。

七、买药的钱从哪里来——政策保障体系

上面讲的一些措施，实际上并无新意。有关部门、行业和人士都已从不同角度出发反复呼吁和建议过。例如：加快开发水电、核电以优化能源结构，大力节能、抓紧推行清洁煤技术、增加科技投入开发新能源等等，都曾为专家们研究论证和提出过建议，也确实引起国家的重视和得到一些改进。但总的讲来，进展不理想，因此依靠个别行业、专家进行研究和呼吁是解决不了问题的，需要在更高层次上作综合研究并制定有效的政策保障体系。世界各国对能源这样一个战略问题也都是由国家来控制 and 保证的。

这一政策保障体系应该由国家集中力量进行研究制定，是个长期、完整

和可行的体系，不是针对某个行业某一时期出现的问题作头痛医头脚痛医脚式的应急处理。这一体系应由中央决策，人大立法，国务院负责实施，具有严肃的法律约束性，不是某一地方某一部门可以违反抵制的，也不是随领导人员变动而改变的。

国家需要制定一个向能源倾斜，能保证能源健康发展可靠供应的总政策，还应有一系列的具体政策，包括：经济政策、节能政策、环保政策、科技政策乃至更具体的水电开发政策、核电国产化政策、新能源开发政策等等，和相应的法律、法规、条例。有关地方部门、行业、企业都应制定贯彻国家能源政策的具体措施，我们在这里只提一下经济政策问题，例如融资政策、还贷政策、税收政策、价格政策、利用外资政策等等。经验告诉我们，如果要在现在的模式上跨出一步，开拓一些新的局面，都首先遇到资金上的障碍。搞节能要钱、搞设备改造要钱、开发水电要钱、搞核电要钱、搞 CCT 要钱、加速科技开发要钱……药方再好，没有钱抓也是空的。过去许多好的建议，不是道理没有说透，而是无钱付诸实施。

怎么解决问题？一要钞票，二要粮票。就是说，一要能弄到钱，二要国家允许你去弄钱花钱。关于粮票问题，只能随着国家经济实力的增强，把“蛋糕”做大些，而且依靠国家的倾斜导向政策，在蛋糕中多切一些给能源行业，至于具体的钞票来源，一是广开渠道，引导更多的资金投入能源行业，包括尽量多地利用有利的外资；一是增加能源行业自身的活力，使它具有更强的自我积累、自我发展、自我优化（也包括自我约束）的能力。研究制定有关政策时，有一个问题必须搞清，即能源是基础产业，和其他下游产业不同。开发能源的目的主要不是为赚钱，是为发展经济提供动力，促进经济腾飞。能源企业要讲究经济效益，也是为了加快能源开发。所以国家对能源行业应该给予优惠政策扶植它健康高速发展，再从它所产生的经济腾飞效果上来取得利税，把这个问题弄清，经费问题是可以解决的。

例如，目前我国有大量水能难以开发，资源白白流失。我们是否可以就把在今后几十年要流失的资源送给愿意来开发的人（包括外商），以优惠条件让他开发、让他经营、让他得益（只要电有市场），若干年后电站归我。这样做，于我无损，我虽不能从建电站得到效益，但得到了能源，经济得到了发展，最后得到了一座电站。这一类可以探讨的问题很多。例如在排污方面，将来各国的排污量可能要受限制。如果有哪个国家愿意投资和投入技术帮助我们解决某电厂的污染问题，但要把成绩记在它的名下，我认为这是合理的，对我国对世界都有利，并不存在丧权辱国的问题。不知这个看法对不对？

说到提高能源行业自身的活力，就要允许企业把现有的资产盘活，使死资产变成能下蛋的老母鸡。只要国家加以规范和控制，不存在私有化失控和改变企业性质的问题，而这将是一笔多么巨大的资金。另外要合理调整能源价格。在计划经济时期，能源价格完全是扭曲的，谈不到能源行业的自我发展，也对节能十分不利。改革开放以来，能源价格曾作过多次调整。目前有些价格已接近国际价格，已没有多大调价余地。但是，还是要作调价考虑。目前在能源价格上存在问题：一是价格体系非常混乱复杂，实有必要予以改革和规范化。二是部分能源价格不合理，应该调整。例如，在计划经济时期修建的水电站，因无还贷付息要求，上网电价就只有几分钱。既然实行市场经济，作为一种商品，就应调整为正常价格。每年增收的数十亿元还给

国家作为再投入。三是目前在能源的开发利用中，有大量经济效益流入流通领域，开发生产单位难以为继，终端用户负担不轻，形成“两头叫、中间笑”的局面，应予合理纠正。凡此，都需合理改革调整，使有更多资金投入能源领域。

能源价格的合理调整，其总体水平必然会提高。换句话说，开发能源的资金最终还是要由用户承担。如果说，这样做会影响物价，那么这正和调整粮价一样，从国家的长期和全国利益考虑是不可避免的，人民能理解的。这样做也有利于增强节能意识，推行节能措施。总之，能源是垄断性基础产业，能源价格须由国家控制，这是各国的通例，但控制价格必须规范、合理、符合市场机制，能够促使能源工业向良性循环发展，否则是短期行为，是难以为继的。

我们认为只要有正确合理的政策，增加能源领域的投入，开拓一点新局面是可能的。当然不能百废俱兴，应该分清轻重缓急，有计划地逐步启动。先选择一些最重要最有把握的事干起来。例如选择若干条件最优越的河流加速水电开发、抓紧核电的国产化过程、修建现代化的煤电基地、推行煤源的清洁处理和某些 CCT 技术、推行某些节能技术和产品、看准目标开发一些新能源技术等等。

归纳起来讲，我们认为：（1）我国在现代化过程中，面临十分复杂困难的能源问题，所面临的挑战是世界上独一无二的，千万不可为暂时、表面现象所迷惑而掉以轻心；（2）存在的问题主要是人均资源不足、资源条件不利，能源利用效率和科技水平很低，体制、政策上不完善，以致能源供需缺口大，难以满足国家经济增长的需要，而且引起生态环境的破坏与污染；（3）我们的出路是切实实现两个根本性转变，改变经济增长模式，厉行节约提高效率，使在有限的能源供应下实现现代化；要因地制宜开发多种能源，优化能源结构，降低煤的比重和节约油气资源，以保障能源的最低需求；要增加科技投入，解决能源生产利用中的重大问题，特别是环境保护和新能源开发问题；要利用有利条件，使国外的资源、技术、资金能为我所用，作为辅助手段；（4）要实现上述各点，必须在国家的统一研究安排下，制定长期、全面、可行的倾斜政策，并通过立法手续，坚决贯彻，特别是经济政策最为重要。并应抓住一些重点，进行启动和突破，务使我国的能源开发利用逐步走上良性循环道路，实现可持续发展，最终做到能源、经济发展和环境保护真正协调发展，立于不败之地。

