

HENGZHANG DE XUANLU

吴彤\著
山东教育出版社

自组织演化的科学

生长的旋律

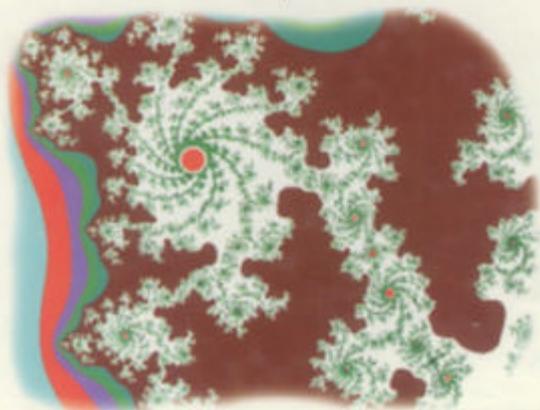
主编·曾国屏

新视野丛书

第1辑

副主编·刘兵·刘华杰

杨君游



导 论

一 “自组织”系统演化的动力、 条件和基本途径概述

本世纪 70 年代以来，当代科学前沿出现了一大批像“耗散结构理论”、“协同学”、“混沌理论”、“分形理论”这样的新兴学科，它们研究的对象都是非线性的复杂系统。在这类复杂系统中，自组织系统尤为引人注目。自组织系统无需外界指令而能自行组织、自行创生、自行演化，即能自主地从无序走向有序。自组织系统不仅极为普遍，而且与人类关系密切。由于这些新兴学科的出现，人们现在对自组织系统发展的动力、条件、途径已经有了比较科学的认识，甚至可以加以科学的刻画。此外，在自然界和人类社会，也存在着与自组织系统性质完全相反的另一类系统，它不能自行组织、自行创生、自行演化，即不能自主地从无序走向有序，而只能在外界指令的推动下组织和演化，从而被动地从无序走向有序，这类系统我们称之为“他组织系统”。举例来说，包办婚姻是“他组织”，而自由恋爱则是“自组织”；工人在工头的命令下劳动是“他组织”，工人自愿结合地劳动则是“自组织”。

“自组织”系统演化的动力在系统内部。

协同学创始人 H. 哈肯指出：“如果系统在获得空间的、时间的或功能的结构过程中，没有外界的特定干预，我们便说系统是自组织的。”（H. 哈肯：《信息与自组织》，四川教育出版社 1988 年版第 29 页）这表明系统的演化动力在系统内部而不在系统外部。按照哈肯的观点，系统演化的动力是系统内部各个子系统之间的竞争和协同，而不是外部指令，只有如此的系统才是自组织的系统。他指出，系统内部各个子系统通过竞争而协同，从而使竞争中的一种或几种趋势优势化（自组织科学理论称之为形成“序参量”的过程），并因此支配整个系统从无序走向有序，即自组织起来。举例来说，假如有许多人在一个有限的舞池中跳舞，也没有人指挥大家怎样跳舞，一开始舞池中的次序肯定是混乱的，大家会你碰我我碰你。然而，在跳舞的过程中有些舞对就会发现，只要与他们旁边一对舞伴（或别人）跳舞的方向一致就不会发生碰撞。这种行为会像滚雪球一样逐渐扩大。于是，舞池中的秩序逐渐形成：大家都按某一方向绕舞池的中心旋转。当然，也会有个别舞对反方向跳舞，但是他们很快就会发现逆潮流的问题，而不得不改正过来。这也正如大江东去中的水分子一样，一方面存在着热运动，另一方面又都融汇在东去的大潮流之中，即融合在“序参量”支配下的总的运动模式之中。换言之，自组织系统演化的动力来自系统内部的两种相互作用：竞争和协同。子系统的竞争使系统趋于非平衡，而这正是系统自组织的首要条件；子系统之间的协同则在非平衡条件下使子系统中的某些运动趋势联合起来并加以放大，从而使之占据优势地位，支配系统整体的演化。

辩证法认为，事物发展的根本原因在于事物内部的矛盾。然而，系统内部存在着各种各样的矛盾，何种矛盾才构成推动事物自组织发展演化的动力呢？当代自组织科学理论丰富和发展了唯物辩证法关于事物发展的根本原因在于事物内部的矛盾的观点。在自组织科学理论中，系统

内部各个子系统的竞争和协同，必须是一种非线性的相互作用，只有如此，这种竞争和协同才能成为系统自组织演化的动力。这正是自组织理论的创始者们把“非线性”称之为“有序之源”的缘故。

我们知道，相互作用就是矛盾双方的排斥、吸引，在线性相互作用下，作用双方的质量相当，各种作用之间很少发生关联，因此系统内部各个要素或子系统之间很少协同甚至根本没有协同。与此相反，在非线性的相互作用下，各种作用相互关联起来，形成协同，因此系统才能产生整体行为，才形成一种你中有我、我中有你的不可分割的关系，并使系统局部的小涨落得到放大，从而引起系统的从稳到非稳再到新的稳定的跃迁式演化。

在实际系统中，现在不仅在物理、化学、生物系统的自组织演化过程中证明了非线性相互作用下的竞争和协同是系统演化的动力，而且人文社会系统的自组织演化过程亦同样可以说明这一原理的正确性和适用性。例如，在科学史上就充满了竞争和协同推动科学研究发展进步的案例。不同观点的争论、同时的发现、发现前后的奋斗和竞赛，有谁能说它们没有推动科学的进步呢？科学社会学家 H. 朱克曼经过对 1901 年—1972 年间 286 位诺贝尔奖金获得者的调查研究发现，那种认为优秀科学家都是单干者的观点，或认为科学贡献都是个体思维的产物的观点，纯属陈腐观念。她发现，其中 185 人即占获奖人总数 64.7% 的人是因与他人合作研究而获奖的（参见 [美] H. 朱克曼：《科学界的精英》，商务印书馆，1982 年版，第 243—244 页）。这表明，从 19、20 世纪之交起，合作研究与从事合作研究的科学家分别正在成为科学研究的主要方式和主要力量。而这种变化既不是外加的也不是人为的，而是自然而然地自组织起来的。再如对技术创新经济学的研究表明，在市场经济条件下，完全竞争或完全垄断的经济结构都不利于技术创新，而既有垄断又有竞争的市场结构才最有利于技术创新（参见厉以宁：“技术创新经济学——它的由来和当前研究的问题”，《科技导报》，1990 年第 2 期，第 3—8、11 页）。虽然垄断并不完全等于协同，但是垄断总是一些大企业的联合行为，其间又包含着竞争行为。因此，这种发现既竞争又协同对技术创新有巨大推动作用的研究所表明的事实，不也恰恰印证了当代自组织科学理论关于系统自组织演化的动力的基本观点吗？

在系统演化的过程中，自组织科学理论还特别强调“涨落”对于系统自组织演化的动力作用。什么是涨落呢？从系统的存在状态看，涨落是对系统稳定的平均状态的偏差；从系统的演化看，涨落这种偏差则是系统演化过程中的随机性非平衡因素。任何一个系统都必然存在着涨落，涨落的这种无处不在无时不在的特性是由运动的不灭性造成的，涨落的发生又是不确定的，是无法精确预见的。涨落的这种随机特征，不是人们的认识反映不精确造成的，而是系统演化的客观特性。自组织理论（如混沌理论）揭示，完全确定的系统，即可以用确定论方程描述的系统，在自己的进一步演化中也会出现不确定性，使系统演化结果变得不可预料，其原因就是系统中存在着“涨落”。所以，系统自身的涨落实际是一种内在随机性。在如何看待涨落作用的问题上，传统思维一般把它仅作为不利于系统稳定的干扰、噪声来对待；而在自组织理论中，涨落被赋予新的意义，“‘通过涨落达到有序’，则是当代自组织理论

的基本结论。自组织理论认为，涨落是系统进化到更有序状态的诱因，涨落驱动了系统中各个子系统在获取物质、能量和信息方面的非平衡过程。因此也可以把涨落视为是与必然性的非线性作用动力不同的另一类自组织演化动力，即随机性动力。例如，在有机界，微小变异的随机涨落（包括基因随机漂移）最终会导致物种的进化；科学上的意外发现，有时则会带来突变式的“科学革命”。

一个系统要想成为“自组织”系统，也需要一些基本条件。

从系统内部来说，组成系统的要素必须大于三，即至少需要三个要素以上。这是保证系统内部存在非线性相互作用的前提，而非线性相互作用又是“自组织”系统演化的基本动力。

从系统外部来说，“自组织”系统并不是不需要与外部环境相互交换物质、能量与信息，恰恰相反，只有当外部环境向系统输入的物质、能量和信息达到一定阈值时，系统的自组织才能发生。换言之，系统必须是开放系统。所以闭关锁国不行，改革开放才对。但是，外界向系统的输入不能是特定的“干预”，不能只给予系统中的某一要素或某一部分，特别是作为系统的外部控制参量不能向系统内部输入特定的“指令”。否则，系统的演化就变成了“他组织”的了。

关于“开放”这一条件，我们经过研究（参见《自组织的哲学——一种新的自然观和科学观》）发现，这里有两点需要注意，第一，输入阈值的存在表明，有一个最小开放度，低于这个开放度，系统将不能自组织，或是自组织起来了也会坍塌下去；同样，系统也不能百分之百开放，开放度等于100%，意味着系统与它的环境之间不再存在边界，意味着系统已经解体。令开放度为 K ，对应输入阈值的开放度为 K_c ，则 $K_c < K < 1$ 。此外从系统与环境的關係上看，开放意味着系统与环境之间既存在着边界也存在着跨界线的部分。按照系统理论，边界对输入输出起着过滤、隔离和标准化的作用；而跨界线的部分则在系统和环境之间缓冲着它们的输入和输出。两者都对系统演化的稳定性、持续性有着重要作用。

一般而言，“自组织”系统的演化要优于“他组织”系统的演化。当然也有例外，只有当“他组织”系统的外部指令系统能够接收内、外全部信息，并能对其全部加以处理时，“他组织”系统的演化可以优于“自组织”系统。“包办婚姻”偶尔也会比“自由恋爱”更符合当事人的长远利益，但其前提是包办者相当于一个全能的“神”。“自组织”系统的演化之所以要优于“他组织”系统的演化，关键在于“自组织”系统的演化动力在系统内部，是系统内部子系统的相互作用推动了系统的演化，因此，系统整体和内部各个子系统都具有活力。相反，“他组织”系统的动力来自于系统外部，系统整体的活力依赖于外部控制参量，外部控制参量是个“拉普拉斯妖”（即全能的神），系统整体可以向理想状态逼近。外部控制参量是个“孬种”，系统运转就会失灵。此外，无论哪种情况，系统的子系统都是缺乏活力的，都是被推动的。

自组织现象纷繁复杂、丰富多采。然而，无论无机、有机系统还是人文社会系统的自组织过程都存在着内在统一性，即它们都采取了“循环”的演化形式。什么是循环呢？如果一个系统是由A、B两个子系统组成，其中存在着A作用B、B又作用A的作用链，那么就构成了一种最简单的“循环”。由这种简单的反应循环作为环节再构成的更复杂的循环

在自组织理论中被称之为“催化循环”；而再由催化循环作为环节所构成的更为复杂的循环就是所谓“超循环”（Hypercycle）了。上述的“反应循环—催化循环—超循环”链，实际就是系统自组织演化的层次跃迁与复杂性增长的过程链。反过来看，系统在其自组织演化过程中只有采取这些“循环”耦合的组织形式，才能有效地聚合、利用能量，促进系统内部非线性的竞争和协同的整合，自我复制、交互复制，分叉、选择，突变，从而促使系统增长复杂性，即更加有序。

一般而言，系统自组织演化的途径有三种：第一种，经过“临界”状态的突变途径；第二种，不经过“临界”状态的突变途径；第三种，渐变途径。其中，经过“临界”状态突变途径的自组织演化过程最为新奇，引人注目。例如，在“临界”状态下即系统经过“临界点”时，系统突变前的状态与突变后的状态变得无法区分，此时，系统的状态是极不稳定的，系统突变前的状态与突变后的状态是你中有我我中有你，相互胶织缠绕在一起。严格地说，此时系统的状态，既非系统突变前的状态也非突变后的状态，此时系统演化的微观图景呈现为一种有着系统突变前状态花纹与突变后状态花纹、你中有我我中有你、相互胶织缠绕且动态演化的样子。（参见于渌、郝柏林：《相变和临界现象》，科学出版社，1988年版）而不经“临界”状态的突变途径则没有这般复杂，在此时系统演化的微观图景中，系统突变前的状态与突变后的状态是可以区分的。在演化早期，系统以突变前的状态为主要状态，而突变后的状态是以一种“晶核”的形式含在系统突变前的状态中的；而后，系统的这种“晶核”（即突变后的状态）愈益发展，最终变为系统的占据支配地位的状态。在第一种演化途径中，突变的是系统的某些关键性演化性质，系统的整体状态并未突变；而在第二种演化途径中，突变的是系统的整体状态，系统的某些关键性演化性质并未突变。

由于自组织系统演化存在着途径的多样性，所以在自组织系统演化的现象上往往表现出一种丰富多采的“分叉”行为来，使系统的演化呈现出一种“树形”结构，一种从简单到复杂、从少到多的不断的分叉图景。对于这种图景的描述和解释，是自组织理论群中的“分形”（Fractal）理论与混沌（Chaos）理论。传统上，“混沌”常常被当做乱七八糟、混乱无序的同义词。热力学平衡态的混沌的确如此。中国古代寓言中的“混沌”也是如此，给它凿开七窍，让它转变为秩序，它就会“死寂”。（见《庄子·应帝王》）。平衡态的混沌，即系统宏观没有演化而微观（内部）演化毫无规律，而混沌理论中的非平衡态的混沌则表现为系统宏观演化无规律而微观（内部）演化有规律。从时间上看，这种规律表现为长时段不可预测，其精确的定义为：确定论系统中的内在随机性。从空间上看，混沌状态是系统自组织的运动收缩到状态空间中有限区域的一种形式，科学上把它称为“奇异吸引子”。它奇异就奇异在可使系统一切在吸引子外的运动轨线被吸引子吸引，即具有把吸引子外的运动积聚到吸引子态上的凝聚力，反映了极强的稳定系统运动的作用；而一旦系统状态都引入吸引子，则又向外排斥这些运动，所以系统宏观运动表现为“乱七八糟”而微观运动则有其内在的规律性；其空间结构呈现为一种“分形”结构，其空间维数也不是整数，而是分数。这种“分形”，从几何角度看，则为那些具有不规则形状、内部具有层次结构与不均匀

性的形体。现在已经发现，事物自组织地从简单向复杂演化时，其演化的“分叉”结构就是一种分形结构。所以，分形与混沌又是度量自组织系统演化复杂程度的标准。自然界存在着大量的分形结构，例如，分叉的树、凹凸不平的山峦、大脑的褶皱皮层、心脏的血管，等等。我们也发现，科学研究的前仆后继的研究路线，科学学科的不断分叉，都具有分形结构。分形理论表明，规则整形的事物只是这个世界的特例和理想的抽象，而不规则分形的事物才是世界的普遍现象。有的科学家认为，分形和分数维的发现，其意义可能是划时代的。我们已知的一切物质形态和运动都存在于小于三维的空间中，那么余下的间隙维中存在着什么形态和运动呢？这是我们可能面对的一个崭新的课题。（参见高歌：“对非线性科学的理解、体验和思考”，《科技导报》，3/1991，3—5，17）我们认为，分形的发现，从一个崭新的角度提供给我们一种度量自组织演化复杂性的工具，为我们判定一个系统是否自组织提供了一种图景性的理论根据；而混沌现象的揭示，则使我们进一步看到了系统自组织演化的全过程，它亦包含三个阶段、两个飞跃，即：混沌（平衡态）——有序——混沌（非平衡态）。其图景则表现为一种从简单到复杂的“分叉”，样态（如图0.0）：

图 0.0 混沌（平衡态） 有序
混沌（非平衡态）“分叉”样态

综上所述，自组织系统理论所刻画的系统演化可以概括为：在开放的、远离平衡的和有外部物质、能量、信息的非特定输入/输出的条件下，系统以其内部子系统之间的非线性相互作用为动力即以其子系统之间的竞争和协同为动力，同时受到内、外涨落的随机启动，产生出集体运动的协同效应，其协同关联所产生的“序参量”（即集体运动的基本模式）又进一步支配了系统内各个子系统的竞争与协同，从而使系统走入循环、交叉作用并关联于放大的循环链圈之中。于是，通过这种有效利用物质、能量和信息的循环过程，系统便经历多种突变、渐变从无序跃变为有序或使有序程度进一步得以提高；于是，系统便从混沌（平衡态）走向有序，又进一步演化为包含有序结构的非平衡混沌；于是，呈现在人们面前的，便是一幅系统从简单到复杂、从无序到有序、从低级到高级的自然历史演化的图景。

二 科学是自组织的吗？

当我们以自组织的思想考察科学的演化时，我们首先遇到的问题就是：科学的演化是自组织的吗？在“导论”的第一部分中，我们已经提及，在历史上有自组织演化的科学，也有被组织演化的科学。我们认为，近代在西欧产生的科学，其演化是自组织的，而从古代到近代发展的中国科学，其演化从表现上看则是被组织的。第一，说中国古代到近代的科学演化从表现上看是被组织的，是因为这一时段的环境没有为科学提供“阈限”以上的物质、能量和信息，外部对科学研究控制得过死。第二，中国古代的科学作为一种知识形态，始终未与其它知识形态分离开来，这表明，此时的科学还处在一种平衡态的“混沌”状态之中；但是，

谁又能保证它未来的发展不能自发地自主地演化为今天科学的形态呢？第三，如果仅从微观上考察所有的科学研究，我们就会发现，微观科学研究具有共性，科学研究基本上是自组织的。这里，让我们先来限定一下，即这部分所说的科学，无论微观还是宏观，都是指西欧演化而来的那种科学形态和科学研究。我们已经提出，这个科学的演化是自组织的，现在就让我们来加以证明。

说科学演化是自组织的，意味着要问：第一，科学是不是系统？是不是从非系统演化成为系统的？第二，如果科学是系统，作为一个系统的科学是不是具备自组织演化系统的全部特征？

首先，现代科学毫无疑问是系统。它不仅是系统而且是十分复杂的复杂系统。系统都是有结构的。我们亦可以清晰地发现科学的结构。科学系统可有三个层次的结构：微观结构、中观结构和宏观结构。所谓微观结构的科学即指单个的科学理论，很明显，它包括科学概念、定律和逻辑程序以及由此推论的命题，它是有结构的。所谓中观结构的科学即指一组同在一个研究领域的科学理论群，通常把它们称之为科学体系。如经典物理学即指经典力学、电磁学、分子运动论和经典统计物理学等学科构成的体系，再如现代物理学就是由基本粒子物理学、核子物理学、原子分子物理学、凝聚态物理学、等离子体物理学和相对论等构成的科学体系。所谓宏观结构的科学即指由众多门类的科学组成的整个科学。如现代自然科学就是由现代物理学、现代化学、现代生物学等单领域科学和现代环境科学等综合科学以及现代系统科学等横断科学所组成的复杂系统。

现代科学也毫无疑问地是从古代科学形态经由近代科学形态演化而来的。这种演化也毫无疑问地是从简单到复杂、从无序到有序的过程。即是一个从非系统到系统演化的过程。问题在于，这种演化是自组织的还是被（或他）组织的？

我们都知道著名科学社会学家默顿的代表作《十七世纪英国的科学、技术和社会》。在那本著作中，默顿有说服力地证明了近代科学是伴随近代资本主义的产生自发地发展起来的。官方或政府并没有刻意地去组织科学，然而近代科学却在欧洲蓬勃地发展起来了。相反，我们在古代的中国却看到了另一幅图景：官方政府把科学中的若干门类收归国有，使之成为官方科学，如天文学、医药学，并且禁止民间习之，这些科学学科虽然有过辉煌——其辉煌期恰恰都是官方对科学采取比较宽松的政策允许民间从事天文历算和医药养生活动之时，但在明朝却都衰败下去了（明朝对民间从事天文历算医药养生研究的禁令最严）。这不很能说明问题吗？！当科学被组织或他组织时，它反而不能很好地生长；当不去人为地组织科学时，科学反而生长起来了。说这话的意思决不是可以不管科学，让它自生自灭；而是说一方面既不创造科学发展的条件，一方面又不顾科学发展的规律，人为地规定科学发展方向，是必定要使科学衰落下去的。

可以看出，对科学发展演化至关重要的，是有无一个开放的适宜的环境。自组织的环境亦有一些要求，如开放性和开放程度上的要求、控制参量即外部“科技政策”的控制程度上的要求、系统与系统边界和跨边界部分的相互关系上的要求，等等。当这些条件都被满足时，科学

就可以稳定地自组织地演化发展起来；当这些条件中只有部分被满足时，科学可以自组织起来，但却不能自组织地演化下去；当条件根本不具备时，科学就无法自组织起来了。所以，重要的是要创造一个适宜科学生长的环境。

现在让我们回答第二个问题。

科学具备自组织系统的全部特征吗？回答：是，现代科学的自组织系统特征和自组织演化特征是非常明显、清晰的。

自组织理论告诉我们，自组织系统的动力是系统内部各个子系统或要素之间的竞争和协同。科学在它的系统的三个层次上都反映出了这一特点。在微观层次，一个科学理论的内部至少包括五种要素，即经验事实、原理、概念、定律、科学思想。这五种要素之间的相互作用推动了理论的进化（如理论的完善、理论修改和革命）。在中观层次上，科学体系内部有多种理论，这些理论的建立和发展亦有自己的轨迹，当理论之间出现不和谐时，理论之间的相互作用或推动理论体系完善化，或促使理论体系解体、发生革命，理论之间的竞争和协同就这样成为科学中观层次演化的动力。在宏观层次上，整个科学在各种研究和各个学科的自我演化基础上，不断出现新学科和新分支，各个科学理论不断分化不断综合，这种种相互作用使整个科学呈现出丰富多采的演化态势，不断从简单奔向复杂，从无序奔向有序，从平衡奔向非平衡，奔向更高级的非平衡混沌。很明显，这动力主要来自科学内部，而且是自发的、自主的、自动的。

这里也要说明，说科学演化的动力在科学内部，并不是说推动科学进步的全都是理论要素；这里也有经验要素即实践要素的作用，而且这个作用也是最重要的。这里有一个重要问题，即经验要素是科学内部要素呢，还是外部要素？依我的看法，如果我们把科学定义为必定涉及经验对象的学问，那么“经验”就是科学内部要素。而科学无论自然科学还是社会科学必定以经验对象为研究课题。所以，说科学演化的动力在科学内部实际是指科学中的理论要素和经验要素的相互作用。

现代科学的环境也具有自组织系统演化的环境特点。

从现代科学来看，科学是一个开放系统，科学与技术、科学与生产、科学与社会都有着相互作用。而相互作用就意味着它们之间相互交换着物质、能量和信息。不仅如此，与以往相比，科学与它们的物质、能量和信息的交换无论是在性质上还是在数量上都达到了无可比拟的程度。

技术供给着科学研究的仪器设备，有了技术科学才有了进一步深入研究和大规模研究的可能；试想，如果没有望远镜特别是今天的射电天文望远镜，那么对几百亿光年远的星体我们能有所研究吗？如果没有显微镜特别是场隧道扫描显微镜，那么微乎其微的分子原子我们能有所观察吗？反过来，科学则向技术不断输送着创造新技术的思想和理论，在科学的指导下，技术从个体的手工方式下解放了出来，从工匠的秘方演变成了科学的应用。科学与技术日益演变成为一体化的事物，在今天，科学和技术就是一枚硬币的两面，它们已经成了须臾不可分开的事物了。

今天的社会化大生产和科学的关系也日益密切起来，与往日相比，古代和现代科学与社会的相互关系简直不可同日而语。社会化的大生产

不断向科学提出新的和更高的要求，它以社会需求的方式向科学输送信息，以资金支持的方式向科学输入物质和能量，以教育人才向科学输入后备力量。它也更希望科学能够给它提供更多的财富。科学不负众望，的确为社会创造了源源不断的财富。试问，社会生活和生产的丰富与提高，又有哪一点没有科学的贡献呢？

在今天，社会与科学在两者的相互关系上已形成了有效的制度化的建制和规范。社会对科学的控制不再是古代中国宫廷那种为所欲为的控制，也不是那种“命令式”的行政控制；而是一种参量控制。特别是在市场条件下，长期以来已经形成了一种有效的市场调节性控制。通过资金流动、社会需求和政府调节等方式来控制科学，使科学不仅有效地服务于社会，而且也为之提供了宽松的适宜的生长环境，使科学能够以自组织的方式演化发展起来。

科学在自己的演化过程中也向社会不断地提出更高的要求，它要求社会更为民主，要求社会生产和管理更为科学，要求提高人的素质。社会为了利用科学和技术，它也必须按照科学的要求或受科学影响而演化，社会不得不接受科学的这些信息输入；科学通过将自己的理论、方法和观点输入给社会教育系统，通过科学家本身的社会活动，为社会的现代化培养合格人才，为社会的科学化、民主化创造条件，从而也为自己的自组织演化创造着条件。特别是由于科学认识活动也有自己演化行为的承担主体即科学家，并且也形成了自己的社会组织，有自己的行为规范，并以自己的社会活动即科学家之间的竞争和协同来激励科学研究；那么这种行为规范也就和社会的行为规范之间形成相互作用，从而对社会精神生活的演化发生影响和作用。而这种影响一旦发生，就会产生不可逆转的作用，就会对社会和科学的进步都产生良好的影响。

科学自组织演化的最重要特征还表现在科学发展的形式和途径上。科学从古代到现代大致经历了三种形态：古代科学、近代科学和现代科学。我们现在如果把这三种形态的科学放在一起加以比较，就会发现从古代到现代的科学演化是以分叉的方式分支演化而来的。

我们知道，古代科学如果以古希腊科学为例，那么其形态即为自然哲学。而自然哲学的特征即为其中的知识是未分化的、混沌一片的。按照自组织理论的观点，此即为“无序”或“平衡态混沌”。

从古代进入近代，科学开始了分化。“科学”（science）一词在英文原意上即分门别类的知识，所以，当西方科学传入日本时，日本人非常准确地把科学翻译为分门别类的知识。而近人康有为再翻译时始将此词译为（分）科（的）学（问）。近代科学从自然哲学脱胎而来，首先分化出力学（其中又分化为静力学和动力学），而后又分化出物理学的若干学科——如声学、热学、电磁学，还有化学，生物学等学科。按照自组织理论的观点，此即为“有序”即有结构状态。

从近代到现代，科学既高度分化又高度综合。今日科学已是一个层次纷繁结构嵌套纵横交叉的网络系统。有人统计，迄今为止，科学就其门类而言已有 5500 门以上学科，其中非交叉学科约有近 3000 门，交叉学科 2500 多门。（见李喜先：“复杂的科学系统理论及其应用”，《自然辩证法研究》Vol.8, No.1, 1992, 29—33, 64）由该数字可以看出当代科学演化的又分化又综合的趋势，其中交叉学科的门类就明显

地反映着综合的网络性质，而非交叉学科的门类之多，也说明分化的趋势有增无减。

按照自组织理论观点，这一个层次纷繁结构嵌套纵横交叉的网络系统即为远离平衡的“混沌”，或正在走向远离平衡的“混沌”。这样，从迄今为止科学演化的全过程来看，科学发展的道路正是自组织系统演化的道路，即从无序走向有序，再从有序走向非平衡混沌。

科学的分叉发展，使科学演化的过程结构成为一种“树状”结构。而自然界的树木已被科学家证明是典型的自组织结构——“分形”（fractal）。我们已经找到了从一种科学研究方向或一个学科研究演化出多种科学研究方向或多个学科研究的案例（1944年荣获诺贝尔物理学奖金的物理学家I.I. Rabi的分子束核磁共振实验研究分叉为各种核磁共振研究和其它研究分支是一个极有典型意义的案例，见吴彤：“论科学的自组织演化”，《内蒙古社会科学》1995年第6期）；至于科学从古代到现代演化出5500门之众的学科更是很好的案例。这些演化的图象都是“树状”的分形。这表明，演化中的科学是具有分形结构的过程系统。

科学演化所采取的发展途径也是自组织的典型途径。一般而言，系统在自组织演化时，往往采取相变的方式。物理学意义上的相变，常常有两种典型途径：即经过临界点的性质突变的相变，在临界点以下的状态突变的相变；至于临界点以上的渐变由于不能使系统从一种状态（或性质）改变到另一种状态（或性质），因此不能称之为“相变”。不过，在第二种相变中，系统状态的改变由于不是一下子完成的，因而常常把这种相变称之为渐变式相变。这两种相变有一个很奇怪的特点，即如果是性质突变的相变，那么它在状态上就表现为两种状态你中有我我中有你的无法区分的情形，而如果是状态突变的相变，那么在性质上就不发生突变。科学也是这样，科学演化有两种方式（三种途径）即科学革命（有两种不同形式的科学革命）和科学进化。首先，我们把正确的理论取代错误的理论、或在科学基础观念（如时空观、物质观等）和基本思维方式上发生了重大变革的科学演化称为科学革命，把科学在常规阶段的不超出原有理论的基本思想和基础的演化——它常常表现为量的扩张——称为科学进化。在这样定义后，我们就会发现，科学革命就像物理学意义上的相变一样，有两种相变，正确的理论取代错误的理论，这种科学革命相当于状态突变的相变，因为革命前后的理论完全是两种状态不同的东西，而科学基础观念（如时空观、物质观等）和基本思维方式上发生了重大变革的科学革命是根本性质发生了突变，而革命前后的理论形态则具有内在继承性即理论状态未发生突变，所以它相当于性质突变的相变。前一种科学上的相变如哥白尼日心说取代托勒密地心说，后一种科学上的相变如狭义相对论对经典力学的继承和发展。而那种经常性的、科学家对科学中的常规问题的研究则可以称之为科学的进化，它带来的是科学的点滴的进步，但是这种点滴的进步的日积月累最终也为科学的革命奠定了基础。正如德国物理学家劳厄所说：

一门科学的历史只能记载科学研究的高峰以及参加这些研究的那些人。但自从十七世纪以来，有成千上万不知名的人曾把物理学向前推进，他们献身于这门科学……有时还做出了自我牺牲。但是，

他们的工作决不是多余的，也 31 不是徒劳无益的。只有这许多人的默默的协作才能完成大量必要的观察和计算，保证了科学的持续前进。只有多种多样的兴趣和才能才防止了把科学研究限制在少数几个预先规定的方向里；这许多人的作用过去是、现在还是做出卓越的或者甚至是天才的贡献的必不可少的准备。……物理学是集体的贡献，这也是一个历史事实。（M·v·劳厄：《物理学史》，商务印书馆 1978 年版，第 11 页）

由此可见，科学演化的基本途径有三，即临界（性质）突变、非临界（状态）突变、积累性渐变。而演化的方式则采取分叉的方式，采取你中有我我中有你的交互作用（即表现为“循环”或“超循环”〔Hypercycle〕）的形式，或革命或进化。当然，科学之所以采取分叉和循环或超循环的演化形式是长期演化的自然结果；是因为这些形式可以最有效地利用有限的物质、能量和信息，是因为这些形式是反映系统内部各个子系统或要素之间非线性相互作用的最佳形式。科学在自组织的演化过程中自发地找到了这些形式，而这些形式一旦出现，又反过来促进了科学的自组织演化。

三 科学发现的自组织观点

（一）科学发现的环境、条件

第一，科学发现和更一般的科学研究首先需要有一个开放的环境：有充分的科学交流。W. I.B. 贝弗里奇指出，“一个人如果被隔绝于世，接触不到与他有同样兴趣的人，那么，他自己是很难有足够的精力和兴趣来长期从事一项研究的。……这正如培养细菌时需要有几个有机个体，生火时必须有几根柴一样。”（W. I.B. 贝弗里奇：《科学研究的艺术》，科学出版社，第 161 页）通过与同事讨论、合作研究、阅读论文、参加学术会议等方式，科学成为了一种颇有成效的、名副其实的“远离平衡”的交流开放系统，而这正是科学系统自组织的前提条件。

第二，进入科学研究问题研究领域的科学家（包括理论科学家和实验科学家）的数量越来越多，质量越来越好，产生发现的可能性就越大。定性地看，这使科学研究的物质、能量和信息输入越来越大，从而达到或越过“阈限”，即为引发“发现”创造了条件；而科学家之所以被吸引到某一科学研究领域来，用科学社会学家默顿的话说，那是科学活动的价值关联性质造成的，即科学家通常总是选择那些与当时占主导地位的价值和兴趣密切相关的问题作为研究课题的（默顿：《十七世纪英国的科学、技术与社会》，四川人民出版社，1986 年版，第 73 页）。

第三，从科学研究的背景研究来看，所有研究的资料都具有非特定输入的特点，即它们都不是直接针对“发现问题”的。

第四，问题是逐步清晰的、明朗的，并且是问题在引导科学家，从自组织科学的观点看，先前模糊而后清晰的问题就像某种自组织的“吸引子”一样，规范了科学家，而不是相反。科学家被问题所吸引，问题引导了科学家，而后，问题经过科学家的研究变得比先前清晰了，这清

晰了的问题又进一步吸引科学家，规范科学家，这一点实际是反映科学发现为自组织的最本质的特征之一。33

（二）科学发现的自组织的动力

现在再让我们进一步来讨论科学发现的自组织动力。

许多学者都从心理学角度寻求科学发现的动力，认为可以从心理需求（如按马斯洛五层次需求理论）即自我实现需求来解释科学家科学研究和科学发现的动力，这甚至可以说是解释的主潮流与主传统。例如，爱因斯坦表示，没有什么合乎逻辑的方法能导致这些基本定律的发现。有的只是直觉的方法，辅之以对现象背后的规律有一种爱好。（W. I. B. 贝弗里奇：《科学研究的艺术》，科学出版社，第 60 页）科学哲学家波普尔说：“不论真假，我对这个问题的观点是，没有获得新思想的逻辑方法，或这个过程的逻辑重建。我的观点可以这样表达：一切科学发现都包含着‘非理性因素’，或柏格森意义上的‘创造性直觉’。”（K. Popper, “The Logic of Scientific Discovery,” *The Philosophy of Science*, edited by Richard Boyd, P. Gsper, J. D. Trout. The MIT Press, 1991. p. 100）不错，从科学家个人来看，他们从事科学创造活动有其个人的动机，或出于功利，或出于智力兴趣，或出于更高的信仰，等等。但是，无论科学家个人出于哪种动机，都能保证他做出科学发现吗？显然不能。所以，在科学家个人来看，“科学发现”于是就成了某种“奇遇”。例如，细菌学家史密斯认为，“新发现是一种奇遇，而不是思维逻辑过程的结果。敏锐的、持续的思考之所以有必要，是因为它能使我们始终沿着选定的道路前进，但并不一定会通向新发现。”（W. I. B. 贝弗里奇：《科学研究的艺术》，科学出版社，第 86 页）这句话后半部分是对的，前半部分是错的。科学发现绝不是科学家的“奇遇”（想想巴斯德的名言：机遇只偏爱有准备的头脑），也不是科学家在那里苦思冥想的结果，能否做出“发现”首先是由被发现的对象决定的。“发现”不是“发明”，首先得有被发现的对象存在才能做出发现；这一点正如 R. K. 默顿所说：“科学家的工作在每一点上受到他所探讨的现象的内在要求的影响，并且或许同样直接地受到他对其他科学家可以推知的批判态度或实际批评的反映的影响，受到他自己的行为以符合于这些批判态度的这种调整的影响。”（见 R. K. 默顿：《十七世纪英国的科学、技术与社会》，四川人民出版社 1986 年版，第 333 页）也正如 B. 巴伯所说：“科学发现不是那些不可解释的个人天才之神秘的产物；而是部分地能加以说明的社会过程的结果，在此过程中，个人和社会都各尽所能各司其职。”（B. 巴伯：《科学与社会秩序》三联书店 1991 年版，第 222 页）其次，从主观上看，保证“发现”的是研究是否对路，即主观是否符合客观。而对路与否则依赖于研究的问题。再进一步地看，问题的揭示又依赖于一定理论指导下的实验。这里出现了三个要素：问题、理论和实验。我们认为，正是这三个要素的相互作用成为科学发现的动力。理论和实验的不和谐或矛盾引发问题，问题又进一步推动对理论的研究，推动实验的发展。实验和理论的再次作用，又使问题进一步深化、细化，从而推动研究不断进步。细心人会看出，这里有一个三要

素的循环作用圈（如图 0.1 所示）。

考察科学家进行研究的过程，不难看出，科学家的原初动机一般只是想要建立一个更抽象的理论或验证性实验，真正推动他的，一个是先前的理论——它使他不满意从而引发他去寻图 0.1 问题、实验和理论相互作用

找更抽象的理论，一个是实验——它揭示了先前理论的片面性（这种揭示是客观的、主动的、迟早会来到的），再一个是理论和实验之间的相互作用，它提供了打开“发现”大门的钥匙。在这三种推动中，可以这样排列它们的作用：第一种推动是“发现”前的一般性动力；第二种推动是把科学家引入“发现”的动力；而理论与实验的相互作用所引发的“矛盾性”问题，则是推动科学家进行发现的直接动力，其模式如下图（图 0.2）：

图 0.2 理论、实验和问题对科学发现的三层次作用

由以上分析，我们可以看出，在这里存在着一个问题从一般到特殊、从粗糙到精致的自组织过程，即问题在发现前到发现中逐渐形成自组织理论所说的“序参量”的过程。在这里，问题的特殊性程度和精致化程度明显地成为度量发现是否临近的标志即成为发现有序化的量度。这一点很有实际意义，因为科学家可以根据这点去判断发现是否已经接近。于是，科学发现在发现过程中就变得可以预测了，至少可以在发现的后期加以预测了，科学发现也就褪去了它那非理性主义的神秘性。

所以，我们认为，是发现过程中理论要素、实验要素相互作用产生问题并使问题清晰化而推动了科学家，而不是相反。另外，按照自组织理论关于系统发展的动力的观点，即“役使”或支配系统发展的“变量”（或因子）一定比其它变量“寿命”长，是慢变量；我们可以通过比较“问题”与“科学家”（作为科学研究的参变量）的寿命长短，排除那个寿命短的，从而找出科学研究演化的动力来。“问题”与“科学家”哪一个寿命长呢？在一个具体的科学研究中，当一个问题还没有解决时，它就会一直存在于这个科学研究的始终；而作为个体的科学家就不是这样了，或许一个科学家根本就没有触及到问题就已离开了这个研究；或许一个科学家仅仅触及了问题的表面，然后离开了这个研究；而另外一个科学家从此基础上深入到了问题的深层，而问题的解决则又依靠着其他后继者。由此看来，这其中的每一个科学家都没有这个问题的寿命长。比较起来，“问题”要比“科学家”寿命长得多，因此我们认为，是问题支配着科学研究，并从而“役使”着科学家，而不是相反。

（三）科学家和科学发现

当我们把科学发现这一创造性过程证明为自组织过程时，不免引起以下一些疑问，这里有人可能会问，在你的“科学发现”过程中，科学家哪里去了？科学发现是否成了无主体的过程？如果说科学发现是支配科学家的自组织过程，那么是否意味着科学家没有其创造性了呢？一句话，科学家在科学发现中起何作用？

其实，问题、实验和理论哪一环节也离不开科学家，哪一环节都是

以科学家为载体的。问题在于，离不开科学家，是不是科学家就是科学发现的动力呢？仔细分析，我们会给出否定的答覆。所谓科学发现离不开科学家，其含义应是：一个具体的科学发现离不开一个具体的科学家，例如，万有引力定律的发现离不开牛顿，黑体辐射定律的发现离不开普朗克……如此等等。该语句可以抽象为“ X_i 发现 Y_i ”（ $i=1, 2, 3, \dots, n$ ）。如果语句是这样的，我们就会发现情形并非如此。首先，每一个发现都有先驱者，这些先驱或是为发现做出了铺垫，或是本身已沿着发现的道路接近了发现。没有这些先驱的努力就没有发现。正如物理学家卢瑟福所说：说任何一个人突然完成了惊人的发现是不符合事物本性的；科学一步一步地向前发展，每个人都要依赖于前人的工作……科学家依靠的不是单独某一个人的思想；而是成千上万人汇集起来的集体智慧。（G. Holton：《物理科学的概念和理论导论》（上），人民教育出版社 1983 年版第 165 页）其次，有许多科学发现是许多科学家独立地、几乎同时做出的，能量守恒定律、量子力学理论、微积分……数不胜数。这一情形可以用语句“ X_i 依赖于 Y_j ”（ $j=1, 2, 3, \dots, n$ ）表示。这表明，某一个科学发现是不依赖于哪个个别的科学家的。这正如物理学家、诺贝尔奖金获得者 E. Segré 所说：“虽说在科学发现中命运起着某种作用，但同时发现的情形很多，却很难过分归诸机遇。……此外，在某一学科的发展中，似乎还存在着一种内在的逻辑，所以对个人的崇拜不能过分。……总之，我们有一种清醒的印象：即使某一位最伟大的物理学家没有诞生，五十年后的物理学还是会出现在同一水平上。”（E. Segre：《物理名人和物理发现》，知识出版社 1986 年版，第 323—324 页）而著名的科学史家 G. 萨顿则恰如其分地把它概括为一句名言：死亡并不中断科学家的工作，理论一旦展开就永远生气勃勃。（G. 萨顿：《科学的生命》，商务印书馆 1987 年版，第 39 页）既然科学发现可以离开具体的某个科学家，可见具体的科学家并非具体的科学发现的动力。

那么，是不是“科学家共同体”就是科学发现的动力了呢？语句“ X_i 依赖于 Y_j ”（ $j=1, 2, 3, \dots, n$ ）所表明的，是科学发现依赖于一代一代科学家或同一空间中不同科学家的科学研究。很明显，按照库恩的观点，他们并非属于一个“科学家共同体”，更何况科学发现是一种微观活动呢！所以“科学家共同体”这种宏观主体一定不是科学发现的动力。死亡为什么中断不了科学家的工作呢？就是因为科学文化系统保留了、积累了科学家有意义的成果，而不是科学家本人。科学家只有藉其成果才能在科学系统中留有一席之地。科学文化系统的发展依赖于它的问题的丰富性，依赖于实验、理论和问题三要素之间的相互作用，科学家只是承载这三要素的载体。

那么为什么会产生那些疑问呢？那是“由于在我们的思维中，习惯于以人为中心来考察一切问题，所以，我们就不加思索地认为，这些人做出了这些发现。从某种意义，即生物学意义上来说，他们确实如此。但是，如果我们想把这种发现解释为数学（更广义地，科学——笔者注）发展过程中的一个事件，那么，我们必须把个人完全排除在外。按照这种观点，个人根本没有什么发现，而是某些事发生在他身上。他仅仅是被闪电照亮的一块地方。……是被选择……作为表达的媒介”（〔美〕怀特：《文化科学——人和文明研究》，浙江人民出版社 1988 年版第 280

—281 页)。

此外，当把科学发现作为一种过程而非行为看待时，科学家与科学发现的关系就如同历史中的个人与整个历史过程的关系一样。在科学发现的历史中，科学家的作用即每个科学家自觉不自觉的意志、努力及其成果，必定构成许多相互作用。因此科学发现在实际上是由这些作用的总和造成的而不是由其中某个作用造成的。当然，这些作用并不平权、等值，其中有些作用大些，有些小些。这正如恩格斯在谈论个人意志与历史进程的关系时所指出的那样：

历史是这样创造的：最终的结果总是从许多单个的意志的相互冲突中产生出来的，而其中每一个意志，又是由于许多特殊的生活条件，才成为它所成为的那样。这样就有无数互相交错的力量，有无数个力的平行四边形，而由此就产生出一个总的结果，即历史事变，这个结果又可以看作一个作为整体的、不自觉地和不自主地起着作用的力量的产物。……所以以往的历史总是像一种自然过程一样地进行……然而从这一事实中决不应得出结论说，这些意志等于零。相反地，每个意志都对合力有所贡献，因而是包括在这个合力里面的。（《马克思恩格斯选集》第4卷，第478—479页）恩格斯在这里所说的，对我们而言，有两个重要的地方，第一，注意恩格斯所说的“这个结果又可以看作一个作为整体的、不自觉地和不自主地起着作用的力量的产物”这句话的含义，一个“整体的、对历史过程中的个人而言是‘不自觉地和不自主地’”起作用的力量的是什么呢？用自组织科学理论来看，就是“序参量”！第二，个人的意志并不等于零，每个意志都对合力有所贡献。这意味着科学家个人对科学发现是有贡献的。把科学发现证明为自组织的过程，并不意味着科学家毫无创造性，也并不导致科学发现是一个自动的无需人的过程。科学发现的自组织性质只意味着这一过程具有自主性和内在逻辑，意味着科学家必须遵从这种性质，受这种性质的支配，当科学家的创造性与其内在逻辑相合时，科学发现才能做出。科学发现以科学家的头脑为载体和场所，科学家受发现过程内在的逻辑支配，这就是两者的辩证关系。

一句话，科学发现的自组织性质强调的是，发现的背景和信息输入，发现过程中的问题、理论和实验的互动，而发现者的创造性努力只是体现这些复杂作用的荷载体，是发现的认识动力的社会学表现。

以上我们已经简略地讨论了一般系统的自组织演化的动力、条件、途径和科学系统自组织演化的问题。正如我们在前言中所说的那样，证明科学是自组织演化的过程系统，其目的有三。第一，按照科学本来的发展面貌刻画科学，建立我们自己的科学哲学；第二，为当代的科学、技术和社会三者相互影响和作用找到合适的理论，从而为当代科学与社会的进步做出我们自己的应有的贡献。第三，从一种新的角度解释“李约瑟问题”。我们将在以下各章中完成这些使命。

前 言

写一部学术著作和写一部小说一样，总有原初冲动和最终的逻辑结果，而且这两者往往不同。这正如法国著名电影导演让·厄斯塔什（Jean Eustache）所说：“摄像机开动之时，影片就会完全按自己的方式自行其事。”这恐怕也是一种自组织吧？

我写这部著作的初衷是想在《自组织的哲学——一种新的自然观和科学观》（合作）的基础上进一步深化“自组织的科学观”。在前一部著作中，我们已经提供了一个科学自组织演化的框架。在继续进行研究时，原初只想把没有展开的继续展开、细化，多提供一些案例研究。然而，进一步的研究却使我发现了一些新问题。这些新问题既有深度和难度，一旦解决又会很有意义。

例如，在前一部著作中，我们是把科学作为一个整体来研究并认为它的演化是自组织的。换言之，在那里并没有区分不同地域、不同历史和不同民族的科学。然而，当我具体地用自组织的科学演化观研究直至近代的中国科学演化史时——每个建立体系的人都会如此去检验自己的学说，我发现了问题：中国古代直至近代的科学演化很难用自组织的观点加以说明和解释，相反倒更像是“被组织”的。那么这是不是表明，这一“自组织的科学演化观”不具有普适性呢？于是，我开始重新检验自己的“自组织的科学观”和一般自组织观。在重新研究之后，我给自己提出了新任务，那就是：

第一，为什么有的科学演化是自组织的，而有的科学演化则是被组织的？一般的自组织观点适用于所有科学演化情况吗？

第二，自组织演化的科学与被（或他）组织演化的科学孰优孰劣？

第三，两者能够转化吗？如果可以转化，如何转化，转化的条件怎样？

很明显，困扰科学史界的“李约瑟难题”（即近代科学为什么没有诞生在中国而产生在欧洲）与此研究的结局是密切相关的。了解到自己的研究的意义，我既兴奋又不安。我并不怀疑自己研究的能力，问题在于第三点，要能够给存在的科学形态的继续演化提供一点理论上的并且可以转化为实践操作的帮助，这个研究是需要下大力气大功夫的。

科学技术特别是科学技术的价值，一直就是近代中国有识之士关注的中心问题之一。从1840年直到五四运动，多少志士仁人曾寄厚望于科学技术来摆脱那令人痛心疾首的落后局面。达尔文的“生物进化论”首先成了社会革命的理论。人们办洋务办工业，希望以“赛先生”和“德先生”救中国，但都失败了。十月革命一声炮响，给我们送来了马列主义。中国人以马克思主义为思想武器，建立了革命政权。这一个失败一个胜利极具反差的对比，无形之中强化、放大或至少在民族的心理上认同了这样一种认识：自然科学与马克思主义相比，马克思主义是更为根本的东西，而科学只是一种服务性工具；科学对上理应服从和服务于巩固、丰富马克思主义的意识形态，对下则应服务于生产实践。这种观念表明：第一，科学是不具备独立性的，科学是依存于哲学、政治和生产实践的，它是在社会意识形态和生产实践的双重推动下向前发展的。第二，科学的价值是科学存在的前提条件。社会不是从科学本身而是从科

学对社会统治集团和实际生产的有用无用出发来判断是否需要科学以及需要到何种程度。其实，在国人沉浸在革命胜利的喜悦和建设的紧张气氛中时，就已把“工具科学观”的传统因袭下来了，这也埋下了一颗危险的种子：它必然导致一种离开科学本身到科学外部环境中去寻求科学发展动力、科学本质和科学价值的倾向，使科学失去自己独立的主体性而成为外部条件的附庸。观念本身是存在的反映。中国古代的科学就是被组织的，而不是自组织的，所以，作为反映者的观念大概也只能是“工具科学观”的了。也正是从这种工具观出发，或受这种工具观传统的影响，我们今天才这样看待科学和技术的。

特别不幸的是，由于“左”的倾向在我国政治、经济和文化生活中愈演愈烈，科学，特别是它的精髓——科学精神即那种理性的和人文的精神，受到了极大的摧残，几乎完全被贬为政治和直接经验的“婢女”。这里有两种倾向，一种是把科学“蒸发”在上层建筑意识形态之中，另一种则是把科学“消融”于直接满足生产或技术甚至直接经验的具体需要里面。表面上看，这两种倾向是不同的，但是它们实际上至少在一点是共同的，那就是它们都抹杀了科学作为一种精神文化系统的独立性，剥夺了科学独立存在自主演化的权利。

实际上，就是在十一届三中全会破除“魔法”以后，就是在科学重新备受青睐之后，科学工具观依然故我，依然是我国社会中占统治地位的科学观。人们把科学技术看作下金蛋的母鸡，但从未想过用什么来兴科学与技术，这不是功利主义地对待科学的工具观又是什么呢？

这种功利主义地对待科学的工具观实际上对科学技术以及社会本身的发展都有很大的害处。如果科学仅仅是一种工具，仅仅具有为人类甚至人类中某些集团或群体谋利益的功能，那么必定会在需要科学时扶持它而在不需要它时一脚踢开它。科学就会成了该社会可有可无的“装饰物”，它自身得不到足够的和稳定的“营养”又怎能发挥促进社会进步的作用呢？其次，如果科学仅仅是一种工具，那就意味着科学应该完全是受到社会控制的过程，而这种控制则意味着把科学的发展演化变成被组织的过程。于是，科学的演化就变成一种完全依赖于外部控制参量的过程了，一旦外部控制参量有问题，或是它无暇顾及科学，或是它不了解不懂得科学及其的发展规律——这些都是常有的事儿，科学演化的结局是不难想象的。而若是自组织的科学，那么就会在外部环境提供一定的物质、能量和信息的开放过程中，依赖其自身各种要素——如实验、理论和方法之间的相互作用以及通过科学问题及其解决（包括科学的价值意义、需要）而自组织地演化。在这里，自组织的科学与被组织的科学两者演化的优劣不是反映的十分清楚吗？！

继续进行研究，我又发现自组织的事物在物质、能量和信息的利用效率上的确比被组织的事物要好，科学理应如此。这鼓励我以自组织的观点重新审视中西近代科学的历史演变。这里重要的不是区分孰好孰坏，而是从中发现“李约瑟问题”的解结。再后，则是为科学的自组织演化提供科学的理论依据，提供可操作的条件，从而至少使今天的科学演化成为自组织的演化。

在继续研究的过程中，我甚至产生了这样的想法：第一，科学哲学不就是一些哲学家通过考察自然科学的概念、思想而产生的吗？例如维

也纳学派对逻辑的考察，波普尔对相对论的考察，一个产生了“逻辑实证主义”的科学哲学，一个创造了历史主义的科学哲学。通过对自组织科学理论的哲学研究不是同样可以创立“自组织的科学哲学”吗？其实，这个工作我们已经做了一部分（见沈小峰、吴彤、曾国屏《自组织的哲学——一种新的自然观和科学观》），现在则要使它更完善、更精致，使它的解释域更为宽广。我特别地想到，这些年我国科学哲学界的科学哲学研究重视介绍、引进西方科学哲学各个流派的观点、思想和成果，而自己的独到的创造性研究则寥若晨星。因此，我第二个想法就是，我们何尝不能创建自己的“科学哲学”呢？我认为，我们关于科学演化的动力、条件、途径和整个图景的自组织描述与解释如果能够合理地解释历史和现时的科学技术的演化，那么这一解释体系就是一种合格的科学哲学。我们不能因为有人批判创造“大体系”就永远不去创造体系，我们更不能亦步亦趋爬行在西方科学哲学家后面，先是逻辑实证主义、历史主义，后又是实在论与反实在论，现在又“紧跟”在了后现代主义的后面。这本著作就是这样一种尝试。

为了使读者容易了解自组织的科学哲学，本书的导论先概述什么是自组织，自组织与被组织的区别，自组织的动力、条件和途径、图景以及科学发现等问题。从第一章起，我们将按照导论对自组织动力、条件和途径以及图景的叙述次序分别阐述，给出科学演化的自组织动力、条件，再后我们将分析“李约瑟问题”，给出该问题的自组织解释。本书在内容上可分成四部分，即：

导论

科学演化的自组织动力论

科学演化的自组织环境论

科学自组织演化理论应用：李约瑟问题

作者 1996.6

编者的话

现代文明的潮流正在我们的时代奔角，种种新学科、新理论、新思想在这个历史的潮流中翻渡鼓浪，知识更新、学科交叉、知识集成在这个历史的潮流中分合汇聚。

改革开应、科教兴国，我们的国家正在走向世界，走向现代化，走向可持续发展的美好未来。在这个崭新的发展时期，我们正面临和经历着不同文化传统、学术观点、科学文化和人文文化的大交流、大碰撞和大融合。

于是，《新闻出版报》组织发表的“新学科出版物系列述评”不仅受到了出版界的赞扬和重视，而且得到了过会的广泛欢迎和好评。正是在此“系列述评”的直接鼓舞和学术前辈的热情关怀下，《新视野丛书》应运而主。

《新视野丛书》以促进文理相通、科教兴国、社会友屡和文化繁荣为宗旨，将致力于发表、宣传和传播具有强烈时代感的新学科、新理论和新思想以及对于社会热点问题的新观察、新研究和新思考。

《新视野丛书》在坚持新颖性和高品位的同时，还注重严谨学风和活泼文风的统一，以更好地为广大读者服务，以促进对于我们的时代进行更广泛的思考分析和更深刻的认识理解。

特别是：《新视野丛书》希望自己成为广大读者的朋友，在读者朋友们支持下共同拓展好通向未来的、有利于思想交流共鸣的知识新视野。

《新视野丛书》编委会
1996年6月于北京

生长的旋律

第一章 科学自组织演化的理论模型

一 科学自组织演化的动力 ——相互作用模型

以往大多数文献对于科学内部的相互作用往往局限于经验描述（见舒炜光主编：《科学认识论》，吉林人民出版社 1990 年版，第三卷第七章第一节）。在《自组织的哲学》一书中，我们当时也提出过一个相互作用矩阵模型，但没有建立起演算规则，也没有达到可以从矩阵自身运算演化出有意义结论的程度。经过进一步地深入研究，我们发现，可以利用数学上布尔代数的概念和方法，建立科学内部各种要素相互作用的矩阵模型。经过运算，我们进一步发现，这个矩阵具有自组织演化的特征，即可以自动自主地演化出原矩阵所没有的复杂性。这些结果表明科学理论的演化是通过内部要素（也包括实验要素）的相互作用走向组织性、新奇性程度更高的自组织过程。

（一）模型假设与建模

1. 假设：设一个科学理论内部至少包括五种要素：经验事实、原理、概念、定律、方法性解释，用 a_1, a_2, a_3, a_4, a_5 表示之。在该理论的某一发展或演化过程中，它们并非会同时都起作用。因此，当它们起作用时，赋值为 1，不起作用时，赋值为 0。

2. 定义：

定度 1：布尔运算仅对数字 0、1 运算；

运算规则

布尔加法： $0+0=0, 1+0=0, 0+1=1, 1+1=1$

布尔乘法： $1 \times 1=1, 1 \times 0=0, 0 \times 1=0, 0 \times 0=0$

定义 2：设集合 S 表示科学理论，则 S 指下述 5 元素集：

$S = \{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5\}$

定义 3： S 与 S 的笛卡尔乘积是当 $X, Y \in S$ 时，由全部有序对 (X, Y) 作为元素组成的集合，记作 $S \times S$ ，即

$S \times S = \{ (X, Y) \mid (X \in S, Y \in S) \}$

定义 4： $S \times S$ 的子集称为 S 上的二元关系，即 $R \subset S \times S$ ，若 $(X, Y) \in R$ ，称 X 与 Y 有关系 R ，记作 XRY 。

定义 5：设 R 为集合 S 上的二元关系，若有

$$r_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{当 } X, Y \in R \text{ 时} \\ 0 & \end{cases}$$

称 (r_{ij}) 是 R 的关系矩阵，记作 M_R 。

定义 6：设 A 是 (i, j) 项为 a_{ij} 的 $l \times m$ 阶关系矩阵， B 是 (i, j) 项为 b_{ij} 的 $m \times n$ 阶关系矩阵，则 AB 为 $l \times n$ 阶关系矩阵中的 (i, j) 项为：

$$\sum_{k=1}^m a_{ik} b_{kj} \quad (i=1, 2, \dots, I, j=1, 2, \dots, n)$$

其中乘法、加法均为布尔运算。

3.作了上述六个定义后，我们可以按假设建立下列形式的矩阵模型：

其中元素 a_{ij} 值有两种：1 或 0。即当定义 5 被满足时，亦即当科学理论的某要素与另一要素有作用时， $a_{ij} = 1$ ，无作用时， $a_{ij} = 0$ 。

很明显，这样构成的相互作用关系矩阵 M_R ，有非常之多。换句话说，在科学理论演化过程中五种要素起作用或不起作用的种种条件下，有许多可用矩阵表示的矩阵状态。例如下列两个矩阵，通过查对应 a_{ij} 之意义，前一个矩阵表示，内含经验事实与定律、概念与原理、概念与解释，以及解释与原理的相互作

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \text{或} \quad \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

用；而后一个矩阵表示内含原理与原理、定律与定律的相互作用。然而，这样的矩阵不具有典型意义。从这许许多多的矩阵状态中，我们取出四类我们认为具有典型意义的矩阵，分列如下：

$$M_{R1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad M_{R2} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$M_{R3} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad M_{R4} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

它们之所以具有典型意义，是因为它们每一个都代表了一种类型的相互作用状态，其中 M_{R1} 反映了经验事实与经验事实的相互作用状态， M_{R2} 反映了经验事实与诸理论要素的相互作用状态， M_{R3} 反映了诸理论要素自相关作用状态， M_{R4} 反映了诸理论要素交互作用的状态。此外，四个矩阵之和恰恰为一满秩矩阵，即涵盖了全部相互作用类型，无一遗漏：

$$M_{R_{\text{总}}} = \sum_{k=1}^m M_{Rk} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

至此，我们建立了四种表示不同相互作用的理论状态的矩阵模型。

(二)模型运算——理论内部要素的相互作用与理论的演化状态

M_{Ri} ($i = 1, 2, 3, 4$) 相对 $M_{R_{\text{总}}}$ 是非完备的，它们既可以视为某种作用的状态结果，也可以视为某种非完备的理论。在后者的意义上，我们可以继续运算 $M_{Ri} \cdot M_{Rj}$ ，它们仍表示两种理论之间或两种非完备的理论要素之间在某种“文化”背景下的相互作用。

现在，让我们继续对 $M_{Ri} \cdot M_{Rj}$ ($i, j = 1, 2, 3, 4$) 作乘积运算，研究它们相互作用所呈现出何种状态结果以及这些结果有何意义（运算过程略去）：

$$(1) M_{R1} \cdot M_{R2} = M_{R2} \cdot M_{R3} = M_{R2} \cdot M_{R4} = A$$

$$(2) M_{R2} \cdot M_{R1} = M_{R3} \cdot M_{R2} = M_{R4} \cdot M_{R2} = \tilde{A}$$

$$(3) M_{R1} \cdot M_{R4} = 0 = M_{R4} \cdot M_{R1}$$

$$(4) M_{R3} \cdot M_{R4} = M_{R4} \cdot M_{R3} = M_{R4}$$

$$(5) M_{R1} \cdot M_{R1} = M_{R1}$$

$$(6) M_{R2} \cdot M_{R2} = M_{R1} + M_{R3} + M_{R4} = (\text{自组织增长复杂性演 35 化})$$

$$(7) M_{R3} \cdot M_{R3} = M_{R3}$$

$$(8) M_{R4} \cdot M_{R4} = M_{R3} + M_{R4} (\text{自组织增长复杂性演化，其中 } A \text{ 为第}$$

一式， \tilde{A} 为第二式。

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} (1) \quad \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} (2)$$

现在让我们对上述结果进行分析：

第一，由 (5)、(7)，我们发现，仅有经验事实要素的自相互作用，或仅有理论诸要素的自相互作用，“理论”是无法进化的，它或是停留在经验描述（即 M_{R1} ）上，或是在概念自身范围内绕圈子（即 $M_{R3} \cdot M_{R3} = M_{R3}$ ）。

第二，由 (3) 我们发现，纯粹的经验事实要素构成的状态和纯粹的理论要素构成的状态无法再相互作用。这似乎表明，它们由于没有共同的“符码”，所以无法“交集”。这也说明，理论必须内含经验要素，否则就毫无意义。如中世纪经院哲学就属于毫无经验事实要素的妄想。

第三，由（1）、（2）、（4），我们发现：

$$\begin{aligned} M_{R1} \cdot M_{R2} &= M_{R2} \cdot M_{R1} ; \\ M_{R2} \cdot M_{R3} &= M_{R3} \cdot M_{R2} ; \\ M_{R2} \cdot M_{R4} &= M_{R4} \cdot M_{R2} ; \\ \text{而 } M_{R3} \cdot M_{R4} &= M_{R4} \cdot M_{R3} \circ \end{aligned}$$

这表明，当涉及到经验事实要素与理论要素之间的相互作用时，作用次序（即哪一类主动作用或被作用）起作用。换句话说，主动作用与被动作用和理论演化的方向有关系；而仅仅涉及理论诸要素之间的相互作用时，则主动作用与被动作用和理论演化的方向无关，亦即作用次序不起作用。

$M_{R1} \cdot M_{R2} = M_{R2} \cdot M_{R3} = M_{R2} \cdot M_{R4} = A$ 表明，首先以富含经验事实要素的状态 (M_{R1}) 作用于包含经验事实要素和理论要素相互作用了的状态 (M_{R2})，或以包含了经验事实要素和理论要素相互作用了的状态 (M_{R2}) 再作用于仅有纯理论要素的状态 (M_{R3} 或 M_{R4})，结果表现为经验事实对理论的“强”作用的状态 (A)。这可以解释为强化了理论的“经验适合性” (empirical adequacy)，使理论向尽可能多地精确解释或概括经验事实方向演化，所谓“经验适合性”，是美国系统科学学者 E. 拉兹洛提出的科学演化的控制因子之一（见《进化—广义综合理论》，社会科学文献出版社 1988 年版），是科学在自身演化过程中内化出的一个演化目标，旨在使科学与其研究对象有较强的符合性，解释对象所覆盖的范围更大。

$M_{R2} \cdot M_{R1} = M_{R3} \cdot M_{R2} = M_{R4} \cdot M_{R2} = \tilde{A}$ 表明，首先以仅有纯理论要素的状态 (M_{R3} 或 M_{R4}) 或者包含了经验事实要素和理论要素作用了的状态 (M_{R2})，作用于 M_{R2} 或纯经验事实状态 (M_{R1})，结果表现为理论对经验事实的“强”作用状态 (\tilde{A})。这可以解释为强化了理论的抽象程度和理论要素或理论体系内在的统一性，使理论向理论普遍性、抽象性方向演化，内在要求理论抽象程度更高，各个部分更统一，整体内在更自洽。

第四，由（6）、（8），我们更进一步发现两个有意义的增长复杂性的演化结果。

首先，由（8）我们发现 M_{R4} 再与其自身自作用，其结果除仍产生自身之外，还演化出一个形式为 M_{R3} 的状态矩阵。毫无疑问，这个状态矩阵只是形式与原 M_{R3} 一样，而其内容不同。很明显，这是一种通过理论内部诸理论要素的相互作用增长复杂性和组织性的演化过程。

其次，更有意义的是，由（6）我们发现让 M_{R2} 再与其自身相互作用，结果演化出了 M_{R1} 、 M_{R3} 和 M_{R4} 的形式（同理，其内容由于发生了相互作用也必定已经改变）的状态，而形式 M_{R2} 消失了。这表明：

M_{R2} 最具创造性，它给理论带来的复杂性、新奇性增长程度最大； M_{R2} 的高度创造性来自于它同时包含着经验事实要素和理论要素以及它们之间的相互作用。理论与经验事实，正如 J. 齐曼所说：“在科学中，

这却是有创造力的对立。”齐曼认为，科学理论的基本特征之一就是它具有关联性。即一个连接优美、逻辑自洽的抽象结构，如果不同时具备一些解释性原理把它与经验世界联系起来，那么这个抽象结构（即理论）在科学上就毫无意义。（见 J. 齐曼著，刘珺珺译：《元科学导论》，湖南人民出版社 1988 年版，第 44 页）

M_{R2} 在相互作用后消失了，这表明，理论与经验事实要素之间的相互作用在作用中自发和自主产生新经验事实要素和新理论要素，同时扬弃旧成分，这是最有创造力的演化表现，是科学革命和科学进步。在建立模型之初，我们也未曾料及这种进化特征。很明显，这种特征反映了科学理论的自组织演化特性。

（三）案例证明

我们已经建立了一个具有自组织演化特征的科学理论相互作用矩阵模型。该模型是否具有解释功能和预见功能呢？显然，我们不能仅仅根据模型本身做出这个结论，而要根据科学史上的事实来加以检验后，才能下此结论。

首先，是否存在着矩阵模型给出的所有类型的相互作用状态呢？

在《自组织的哲学》一书中，我们曾列举出 15 种科学理论内部各个要素（包括经验事实要素）之间相互作用的案例。现让我们在新的研究基础上再来对此加以证明。

案例一：科学史上同位素的发现，属于通过科学事实要素之间的相互作用而发现新科学事实的典型示例。

20 世纪初，人们对已发现的各种放射性元素进行比较以后，发现有些放射性元素虽然放射性性质不同，但其化学性质却完全一样。例如，波特武德（B.B. Boltwood）1906 年发现，钷与由它蜕变的射钷，其蜕变半衰期明显不同，钷为 1.65×10^{10} 年，射钷为 1.9 年，但是把钷和射钷混合在一起后，就再难以用化学方法使它们分离开来了；1907 年又发现，从钷衰变产物中分离出来的新钷 I 与镭的放射性能不同，但化学性质完全一样。当这类科学事实积累得越来越多时，即到 1910 年时，化学家索迪（F. Soddy）根据这些事实提出了同位素概念，即存在着不同原子量和放射性但其它物理化学性质完全一样的化学元素变种；这些变种元素应该处于化学元素周期表的同一位置上。

可见，科学事实之间的相互作用确实存在。而且这一案例即相互作用的结果也验证了我们模型中关于 $M_{R1} \cdot M_{R1}$ 相互作用后产生新科学事实（但其形式仍然为 M_{R1} ）的结论。

案例二：狄拉克提出反粒子假设，是两种包含不同科学事实的科学理论要素相互作用从而产生新原理和新事实的典型示例。是典型的科学理论之间相互作用自组织演化的案例。

1928 年，狄拉克根据量子力学和狭义相对论建立了电子波动方程，其解有四个，其中两个“正能态解”描述了已观察到的正能态电子（即普通电子）的两个自旋态；但还有两个“负能态解”无从解释。按照相对论，可能存在正负两种能量值；而按照量子力学，则会发生正能量电

子不断落入负能态而根本不能稳定存在的灾难。为了给负能态解以物理解释，狄拉克于 1929 年 12 月提出了一个“空穴”原理。他认为，真空并非真的一无所有，而是一个充满负能量的电子海洋。这就是说，所有负能态都被具有负能量的电子填满了，于是按照泡利不相容原理，正能态的电子不能再跃迁到负能态上。

从这个案例上看，它是一个由已知的两种各自包含了部分科学事实的科学理论（量子力学和狭义相对论原理）的相互作用（即 $M_{R2} \cdot M_{R2}$ ）所构成。其结果不仅使相对论原理与量子力学结合在一起，产生了更抽象更深刻的科学理论，而且还指导了“正电子”的发现，尽管最早的发现者本人（美国物理学家安德逊，1932 年）在不知道狄拉克原理的情况下发现了正电子，但正电子的意义却受到了原理的指导；特别的，1933 年法国物理学家季保德（J.Thibaud）和约里奥-居里夫妇更是在该原理的指导下，观察到了正负电子相遇共同湮灭产生光子的现象。

案例三：“量子”概念的提出，是科学概念与新科学事实相互作用而产生新科学概念的案例。

大家知道，在以往的经典理论背景下，能量是被看作为“连续”的，即一个物体所具有的能量是连续分布的，当它发射或吸收能量时，也同样是“连续”地发射或吸收能量的，而不会一份一份地发射或吸收。然而，由于对黑体辐射的实验的不断改进，所测量的辐射温度区域范围不断扩大，测量精度不断提高，科学家发现能量连续的概念无法合理解释实验事实。在实验所提出的问题和建立新理论的尝试的努力下，人们只好提出能量不连续的概念即“量子”概念以合理解释新科学事实。这个案例充分说明我们建立的模型中关于新科学事实与旧科学概念的相互作用及其结果的正确性。它表明，在旧理论无法解释新事实之时，新事实会对建立新概念起到一种革命性的作用，它既革新了原有理论，又扩大了理论解释或覆盖科学事实的范围，即扩大了理论的经验适合性。对于这个问题，我们还想多说几句。“量子”概念的提出，今天来看毫无疑问是革命性的，但从科学史实际过程来看，包括玻尔所提出的“量子论”，当时都不是与经典理论彻底决裂的，更何况提出者本人也曾多次企图把这一概念与原有理论调和在一起。有鉴于此，我们才把这一案例作为科学事实主动作用于科学理论要素的案例看待。

现在，我们再以一个典型的案例支持 $M_{R2} \cdot M_{R2}$ 相互作用的自组织结果。

我们找到一个案例即牛顿将向心力提升为万有引力即把向心力普遍化的案例，这个案例非常典型地再现了具有经验事实要素的某种理论（包括定律）其自身中各种要素相互作用发生进化的结果。

按照牛顿在《自然哲学的数学原理》原序中所述，他对万有引力定律的研究始于对月球运动的研究，即他依据重力定律和其它力研究月球如何被吸引及由此所遵循的轨道运动时产生了万有引力的思想。根据牛顿自述，在那时，他已经知道了伽利略（G.Galileo）重力定律（即落体定律，重物下降距离与其所用时间成正比）和开普勒（J.Kepler）行星运动定律。

评论：我们知道，这两个定律是伽利略和开普勒依据经验资料归纳、概括和抽象出来的。因此，这两个定律是“经验事实 + 理论思维”的结

果，具有 M_{R2} 的形式。换句话说，它们是经验事实已经相互作用了的状态。

按照牛顿的回忆，他在 1665 年“……开始想到重力是延伸向月球轨道的，同时在发现了如何估计一个在天球内运动着的天体对天球外壳表面的压力以后，从开普勒关于 $T \propto R^{3/2}$ 的定律……推出了使行星保持在它们的轨道上的力必定和它们对旋转中心的距离平方成反比；后来把使月球保持在它们的轨道上所需要的力和地球表面上的重力作了比较，并发现它们近似相等。所有这些发现都是在 1665 年和 1666 年的鼠疫年代里作出来的……最后在 1676 年和 1677 年间的冬季，发现了一个命题，即在离心力与距离平方成反比的情况下，一个行星必定绕椭圆的一个焦点作椭圆运动，同时矢径所掠过的面积，正好与所用时间成正比”（牛顿：《自然哲学的数学原理》，郑太朴译，商务印书馆 1931 年版，第 236—237 页）。

评论：这段话可表达为 M_{R2} 的相互作用形式，因为重力是已知的经验事实，而想到引力可以延伸到月球轨道，并把地球表面的重力与把月球保持在它轨道上所需要的力进行比较，则是以理论思维与经验事实相互作用，即这种相互作用可以被表达为 $M_{R2} \cdot M_{R2}$ 的相互作用的形式。

现在再分析牛顿当时的思路。

在当时，任何一个想到重力可以延伸到月球轨道的人都会想到，如果没有吸引力，月球将沿轨道切线方向飞出去；正因为有了吸引力，才使月球沿与轨道切线方向相垂直指向地球中心的方向下坠一段距离（如图 1.01 所示，即下降 Y 或 NM' 距离）。从实际观测资料可知，“月球与地球在朔望点之平均距离……为 60 地球半径，其环绕时间为 $27^d7^h43^m$ ，此亦为一般天文学所确定的。又如我们按法国人之测定，设地球之周图 1.01 为 123249600 巴黎尺，并设想月球之一切运动均失去，让其自然，则使其在轨道内运动的力，即使月球下坠至地球，而其每分钟内所线过之道路为 $15 \frac{1}{12}$ 尺。……但该项力在接近地球时与距离平方之反同增加，故在地面上较之在月球方面大 60×60 倍。所以，以该项力在地球附近作用下坠的物体，一分钟所作之道路为 $60 \times 60 \times 15 \left(\frac{1}{12}\right)$ 尺，一秒钟内所作者为 $15 \left(\frac{1}{12}\right)$ 尺，或 15 尺 1 寸 $1 \left(\frac{4}{9}\right)$ 分（巴黎尺）。……而按许根司（即惠更斯，C.Huygens，1629—1695）之研究，一下坠的重物在一秒钟内所经过之高与单摆摆锤长（30 尺 8.5 寸）之半相比（等），等于一圆之周与其径相比之平方，所以为 15 尺 1 寸 $1 \left(\frac{7}{9}\right)$ 分（牛顿：《自然哲学的数学原理》第 708—710 页）。

评论：牛顿在这里，一方面积极思考，一方面不断对照经验事实，即在思维中不断地让理论要素和经验事实要素相互作用，从而创造性地做出了新的发现。所以，牛顿的思路，按我们的模型来看，是一个非常典型的理论思维与经验事实材料不断相互作用的过程。即其思考过程可以用我们的模型中 $M_{R2} \cdot M_{R2}$ 的相互作用形式来加以模拟。（关于这一思考过程的进一步分析，参见吴彤：“一个科学演化的相互作用模型”，《内蒙古大学学报》1994 年第 4 期）。

二 科学革命和进化的“布鲁塞尔器 (Brusselator)”模型

在耗散结构理论中，普里戈金等人曾从实际的化学反应的动力学过程中总结和概括出一个动力学模型，即著名的“布鲁塞尔器（Brusselator）”模型，其模型如下：

其中 A、B 是初始反应物，D、E 是反应产物，它们保持不变，而中间组分 X、Y 可以有随时间变化的浓度。（参见伊·普里戈金：《从存在到演化——自然科学中的时间及复杂性》，上海科技出版社 1986 年版第 90—93 页）

经过适当处理，即令动力学常数为 1，可以得到如下方程组：

$$dX/dt = A + X^2Y - BX - X \quad (1.2)$$

$$dY/dt = BX - X^2Y \quad (1.3)$$

它们容许有如下的定态解：

$$X_0 = A, Y_0 = B/A_0 \quad (1.4)$$

利用正则模分析即分析系统的稳定性，则可得到系统出现自组织耗散结构的条件是：

$$B > 1 + A^2 \quad (1.5)$$

该系统的解析解为：

$$X(t) = A + \delta \cos(\omega t)$$

$$Y(t) = B/A + \{ (1 + A^2)^{-2} A^{-2} \cos(\omega t + \phi) \} \quad (1.6)$$

其大于临界值的 B 值的系统的行为可用图 (1.02) 加以描述。上述系统行为即是一个在时间上振荡的 X、Y 浓度自组织地周期性变化的自组织系统的行为。

现在，我们将这个“布鲁塞尔器（Brusselator）”模型转义，即将其中的 A、B、D、E、X、Y 所代表的意义转变为科学革命和进化过程中的因素。

设：A、B 为问题环境中的两种或两类问题，或两类问题的“浓度”；

X、Y 为两种理论；

D、E 为理论的输出因子即可应用于经验检验和解释的经验命题或推论。

我们发现，科学理论的演化亦可用“布鲁塞尔器（Brusselator）”描述。其模型如下：

$$A(\text{问题 I 类}) - X(\text{理论})$$

$$B(\text{问题 II 类}) + X - Y(\text{理论}) + D(\text{命题})$$

$$2X + Y - 3X(\text{理论进化})$$

$$X - E(\text{命题}) \quad (1.7) \text{ 其定态解亦为：}$$

图 (1.02) “布鲁塞尔器（Brusselator）”

的极限环行为不同的初始条件得出

同一周期性轨道。S 代表非稳的定态。

（引自普里戈金：《从存在到演化》第 92 页）

$X_0 = A, Y_0 = B/A$ 定态解的意义可以作如下解释：A 是 I 类问题域中的问题，正是为了解释 A，而提出理论 X，对其最低要求是能够解释 A，所

以 $X_0 = A$; 而 X 仅限于满足解释已知问题 A 的话, 那么能够较好解释 A 的理论 X 如果再遇到新问题 即 B 的话, 则不够了。由此必须演化出新理论 Y , 而对理论 Y 的最低要求是既能解释问题 A 又能解释问题 B , 换句话说, 即 Y 能够在解释 A 的基础上解释 B , 也就是 $Y_0 = B/A$ 。

当然, 如果理论 X 、 Y 仅能解释问题 A 、 B , 它们就不是好的理论, 而是可能最终要退化的理论。根据对“布鲁塞尔器 (Brusselator)”模型的线性稳定性分析, 只有当参量 $B > 1 + A^2$ 时, 才产生自组织的行为。对于科学理论的演化而言, 这相当于问题 B 充当了反常问题的角色, 当反常问题 B 对理论的冲击不大或不够尖锐的时候, 即问题的“阈”值不到临界值时, 旧理论解释仍然有效, 而当反常问题对理论 X 的冲击已十分尖锐时, 旧理论 X 解释就不再有效, 这时就必须提出新理论 Y 来了。

所以, 在参量 $B > 1 + A^2$ 的条件下, 我们转义了的“布鲁塞尔器 (Brusselator)”模型各个步骤可以解释如下:

某类问题 A 在一定条件 (k_1) 下刺激或催化出了理论解释 X (理论); 在而后的发展和理论演化中, 又出现了理论 X 不能解释的问题 B , 在问题 B 和理论 X 的基础上, 再加之某种条件 (k_2), 就会催化出理论解释 Y 。

进一步地, 当 Y 理论较好地解释了问题 B 后, X 理论又会在 Y 理论的基础上加以修改和完善, 即 $X \rightarrow 2X$, 并在理论 Y 和新条件 (k_3) 下, 得以“复活”, 即从 X 变为 $3X$, 最后, 新理论“ X ”又会在新条件下产生新的经验命题 E , 从而合理地解释有关问题 A 、 B 的事项。

在这里, 理论 X 的发展表现为一种进化过程, 即经过竞争理论 Y 的竞争和推动, X 理论有了明显的进化。对于单个理论而言, “布鲁塞尔器 (Brusselator)”模型的解析解所反映的振荡形式, 正是表现了 X 理论先后的命运; 对于两种理论 (如 X 、 Y) 的竞争过程而言, 即当把 $X(t)$ 和 $Y(t)$ 放在一个相空间中, 其进化就表现为一种 X 、 Y 理论一会儿你强一会儿我弱的相互作用过程, 即一种相互补充的“循环共演化”的过程, 这也正是 $X(t)$ 和 $Y(t)$ 解析解的性质。

这一理论“布鲁塞尔器 (Brusselator)”模型的典型经验案例是光的微粒说和波动说几个世纪之间的相互竞争。

仔细观察, 我们会发现, 这一模型有一个缺陷, 即不能解释科学革命即不能反映理论被其它理论取代的情况。

为了能够解释科学革命, 现在让我们构造第二类“布鲁塞尔器 (Brusselator)”模型。对第一类“布鲁塞尔器 (Brusselator)”模型仅作如下变化:

$$\begin{aligned}
 & A (\text{问题类}) \rightarrow X (\text{理论}) \\
 & B (\text{问题类}) + X \rightarrow Y (\text{理论}) + D (\text{命题}) \\
 & X + 2Y \rightarrow 3Y (\text{理论演化后发展形式}) \\
 & Y \rightarrow E (\text{推论或新命题}) \quad (1.8) \text{ 其动力学方程为:} \\
 & \frac{dX}{dt} = A - XY^2 - BX \quad (1.9) \\
 & \frac{dY}{dt} = BX + XY^2 - Y \quad (1.10)
 \end{aligned}$$

其定态解为:

$$X_0 = A / (A^2 + B), Y_0 = A$$

这个定态解的意义并不明显，我们可以这样考虑：从模型看，即按理论演化顺序看，应该先有问题 A 类，然后催化出理论 X_0 ，但理论 X_0 对 A 的解释并非真正正确的，换句话说，理论 X_0 对问题 A 的解释并未完成。当相关问题 B 出现后，人们才发现，问题 B 揭示了理论 X 的不足，问题 B 作用于理论 X，催化出新理论 Y。而理论 Y 一旦建立起来，就取代了旧理论 X，从而获得了对问题 A 的真正意义上的解释。从对其动力学方程 (1.9) 和 (1.10) 的稳定性分析看，如果要系统出现自组织耗散结构，此时要求 A 和 B 满足以下条件：

$$1 > A > 0$$

$$0 < B < \{ 1/2 (8A^2 + 1)^{1/2} - (2A^2 + 1) \}$$

即在第二类“布鲁塞尔器 (Brusselator)”模型中，产生自组织行为的条件是不同于第一类“布鲁塞尔器 (Brusselator)”模型的“浓溶液”条件，而是所谓的“稀溶液”条件。这对应于科学理论又如何解释呢？

我们认为，是否可以这样解释这种条件，即导致新的革命性的理论出现的问题此时不在于其数量而在于其性质。如果旧理论一直存在着一个无法解决的所谓小问题，如哥白尼日心说取代托勒密地心说就是因为后者一直无法解释“恒星视差”问题；狭义相对论的革命性建立也仅仅是因为牛顿经典理论中伽利略相对性原理与经典电磁理论之间存在着不协变的矛盾；量子力学的建立不也是因为经典理论仅仅不能解释被开尔文勋爵称之为“物理学晴朗天空上一朵小小乌云”的“黑体辐射”问题吗？！

所以，我们认为，第二类“布鲁塞尔器 (Brusselator)”模型的实质是描述了科学革命的理论变革过程。

综合上述两类模型，可以构成一个完整的科学进化和革命的演化图景。即可以通过这两类模型将科学进化和科学革命看成为一个相互交替、相互促进的过程。

第二章 科学自组织演化的 认识论动力和序参量

在传统上，人们一般认为，科学上的各种矛盾就是推动科学发展演化的动力。我们不这样认识。我们并不认为科学认识中任何矛盾都会成为直接推动科学发展演化的动力、根据或源泉，即成为规定科学认识自我运动的基本原因或科学自组织发展演化的动力。

人们一般也通常把实验和理论的相互作用看作为推动科学发展演化的动力。我们认为，这样说，第一太笼统了，应该更细致地研究科学发展演化的动力问题，否则对科学演化的动力说明就没有什么现实意义；第二这种说法也是不准确的，仅仅实验和理论的相互作用还不能构成科学演化的动力。

那么，什么是推动科学发展演化的动力呢？

一 知识中潜在的和显在的相互作用

一般而言，科学上的相互作用可以有两种存在形态。第一种，潜在的形态，即科学中各种理论要素自身之间、实验要素自身之间以及理论要素和实验要素之间的相互作用虽然客观地存在于科学体系或科学演化过程之中，但是还没有被作为问题明确地提出来；第二种，显在的形态，即这种相互作用已被作为科学演化的问题所提出并要加以解决。

这两种相互作用都是推动科学演化的动力吗？

我们先不要忙于下结论，还是让我们对这两种相互作用讨论讨论。

当科学还处在“前科学”的阶段，即知识还是某种未分化的、科学还不是分类的知识时，探索完全是“瞎碰”性质的、试错性质的时候，知识中不符合客观事物的成分与“试验”的相互作用如果是潜在的，它就不能指导研究者，就不能起到直接推动科学演化的作用。然而，这些相互作用的确是客观地横亘于认识和被认识的事物之间，在一定意义上，它们又为后来的研究和研究者提供了进一步研究的范围和问题。再进一步看，从反面设想，假如有一个研究者正在研究某类知识，他（她）恰恰没有触及到这些潜在的相互作用，那么无论他（她）有多么聪明，也无济于事，也无补于知识发展。意外的发现之所以推动了科学演化，也就是因为这些发现落入了这些相互作用所规定的范围之内，解决了其中的矛盾。

再看具体的科学研究。当一个科学家从事某一领域的科学研究工作时，他是如何进行研究的呢？就已经存在了科学研究和知识的意义下，我们知道，他总是从一般问题着手，先在面上浏览文献，然后才形成从事研究的问题，而这个问题至少是对他所从事的研究领域的发展（在他看来）是有帮助的。后面的事情则取决于他所认为是个问题的那个“问题”是不是学科领域中的潜在的相互作用，如果是，那么他很可能出成果，如果不是，那么他就白忙了半天。换句话说，潜在相互作用规定着演化的方向，在这个意义上，它应该是科学演化的动力。

那么显在相互作用呢？显在相互作用即已被作为科学演化的问题所提出并要加以解决的相互作用。显在相互作用是科学家已经意识到了的

科学中的理论和实验、或理论中的问题。这种相互作用往往又能分类成若干种类。如数学上的悖论或物理学上的佯谬；如实验中出现的结果但不符合以往的理论，或理论上还一直无法找到揭示实验现象机理的合适解释；如理论的某些方面还不够完善，或其理论基础还不够简单，等等。

所有这些问题又可以划分为两大类，即常规问题和非常规问题。如果科学家从事的是常规问题研究，那么他就是在做着基础的、一小步一小步的工作，科学中常规性的相互作用的解决，是使科学持续进步的保证和动力。这也正如冯·劳厄所说：

如同民族和国家的历史只记载在某个方面具有一定意义的较大事件和人物一样，一门科学的历史也只能够记载科学研究的某些高峰以及参加这些研究的那些人。……有成千上万不知名的人曾把物理学向前推进，他们献身于这门科学，许多人是由于纯粹的理想主义，而有时还做出了自我牺牲。但是，他们的工作决不是多余的，也不是徒劳无益的。只有这许多人的默默的协作才能完成大量必要的观察和计算，保证了科学的持续前进。只有多种多样的兴趣才能防止把科学研究限制在少数几个预先规定的方向里；这许多人的作用过去是、现在还是做出卓越的或者甚至是天才的贡献的必不可少的准备。（参见劳厄：《物理学史》，商务印书馆 1978 年版，第 11 页）

如果科学家从事的是非常规问题研究，那么问题的解决就有可能带来科学上的变革或革命。

此外，潜在相互作用与显在相互作用，和常规问题与非常规问题的关系十分复杂，它们相互包含，你中有我我有中你，有着如下的复杂关系：

图 2.01 相互作用关系网络

所以，无论潜在相互作用还是显在相互作用，无论常规问题还是非常规问题的解决，都对科学发展起推动作用。当然，科学所研究的对象是大自然，而大自然常常把它的真实本性深藏不露，所以科学家才要像培根所说的那样，要扭大自然这个狮子的尾巴，只有如此，才能把潜在相互作用揭示为显在相互作用，把显在相互作用所揭示的问题解决得比较好。

如果作个总结，我们认为，潜在相互作用是科学发展的间接动力，而显在相互作用则是科学发展的直接动力。在另一个意义上，潜在相互作用是科学发展的常规动力，而显在相互作用则是科学发展的非常规动力。

二 实验、理论和问题

我以普朗克黑体辐射公式的发现为案例研究科学发现的自组织性质（见吴彤：“科学发现是自组织的吗？”《内蒙古大学学报》1996 年第 1 期）时，曾指出，单纯的实验和理论的作用还不能导致科学发现，还必

须有问题提出，才能吸引科学家进入研究的特定范围，引导科学家从事相关研究，从而逼近科学发现。

在这里，实际上存在着实验、理论和问题三者间的相互作用。

首先，我们知道，科学家能否推动科学发展是受其研究对象的制约的。正如 R.K.默顿所说：“科学家的工作在每一点上受到他所探讨的现象的内在要求的影响……”（见 R.K.默顿：《十七世纪英国的科学、技术与社会》，四川人民出版社 1986 年版，第 333 页）而这个现象的内在要求是以什么方式制约科学家的呢？我们发现，它就是以实验、理论和问题三者以及三者的相互作用制约科学家的研究的。

在三者中间，实验是最主动的，最活泼的。一般而言，科学实验常常不顾原有理论的预期结果，不顾原有理论的“安排”，而带来意想不到的结果。

说实验是最主动的、最活泼的，其意义就在于，第一，它可以相对独立地存在；第二，它可以自主地“试错”地发展，当它碰对了问题时，它就可以使科学认识向前迈进一步。

假定在认识萌芽初期，那时还没有理论，实验还只是试验，然而，试验毕竟仍然是实验的初级阶段，当试验结果解释了原有的问题时，从试验中获得的特殊性的认识就向前发展了。一开始，这种认识可能是零散的，但试验的次数多了，又总是获得相同的结果，那么这种特殊性认识就会上升为某种普遍性认识；尽管从科学哲学的角度看，这种从特殊到一般的认识飞跃是归纳的，而归纳是有问题的，但是在人的实际认识中，由于人天生具有一种先天归类（或抽象）能力，于是，认识过程就是这样展开的。科学认识也不例外。所以，我们认为，实验是推动科学认识进步的第一要素。即从认识产生的源泉上看，实验是第一性的第一位的。

然而，我们说单纯的实验还不能推动科学认识进步，这是因为，第一，实验要对科学进步有作用，必须碰对了问题，这表明是问题潜在地规定了实验的有效度；第二，实验离不开理论的指导，这里的理论是广义的理论，包括方法、观点和思维方式等信念性、解释性因素，也包括人类最初的先天期望等信念，这表明是理论限制了实验的范围。所以，单纯的实验不能构成推动科学进步和演化的动力。

单纯的理论也不能构成推动科学演化的动力。首先，理论离不开实践，离开实践的理论就成了无源之水无本之木；离开了实践的理论对科学的实际研究和（以经验世界为对象的）理论毫无意义。理论的真理性要求凡科学理论必要与它的研究对象有符合关系。所以理论必须与研究对象去相对照对比。

理论一方面是实验的反映，是实验的思想升华和结晶；另一方面也是人类思维创造力的产物。后者表明理论也可以有相对的自主性。然而，这种理论自主性与实验的自主性简直不可同日而语，无论科学家怎么异想天开，最后也不能离开实验这块土地。正如巴甫洛夫所说，事实是科学家的空气……没有事实，你们的“理论”就是枉费心机。（参见巴甫洛夫：“给青年们的信”《巴甫洛夫全集》第 1 卷，第 16 页）

那么是不是理论和实验的相互作用就可以构成为推动科学演化进步的动力了呢？这样说，实际还差了一个中间环节，即问题。前文指出，

潜在的相互作用不能直接推动科学演化，而显在的相互作用才能起到这种动力作用。我们知道，当我们构造的理论不符合我们所研究的对象时或与所研究的对象有差距时，理论认识就存在着相互作用，不过此时的相互作用是潜在的，换句话说，无论你认识到还是认识不到，这个相互作用都是存在着的。然而当科学家没有把这个相互作用作为问题提出时，这个潜在的相互作用无论如何也不能直接地推动科学进步，它只能起到潜在地规范科学家的作用。换句话说，科学家在从事某项研究之时，究竟这个研究是不是对路，他是不知道的，至少在开始时他是不知道的，他被潜在的相互作用潜在地规范着。科学家从事的科学研究就像在一座迷宫中走路一样，迷宫中只有一条正确的道路，但科学家并不知道，他反复地走着，试着，不知碰了多少“钉子”，绕了多少弯路，找到正确道路的科学家是幸运儿，而没有找到正确道路的科学家又有多少？！这样说，是和我们在第一章中所论证的科学发现是自组织的过程完全一致的。科学家不是推动科学演化的直接动力，至少不是认识论上的直接动力。换句话说，在社会学意义上，科学家之间的竞争和合作即协同是科学（当作为一种社会化活动）演化的动力，但在认识论的意义上，这种社会学意义上的动力只是科学演化的认识论动力的社会学承担者，而非动力本身。

当然，作为只有科学家才能意识到的问题，是科学中实验和理论相互作用的主观形式，即它是以科学家意识到相互作用为前提的。自然界本身无所谓问题，问题总是人这一认识主体和被认识对象即认识客体之间关系的产物。从这点上看，又好像是科学家推动了问题，因为问题需要科学家来意识到才行。然而，科学家是可以自由地意识各种各样的问题的，这些问题只有当其在自然界中研究对象真正的矛盾时，才成为有效问题。所以是问题规定着科学家的发现，而不是相反。找不到真正意义的问题，再有本事的科学家也无法做出发现。所以问题仍然是“役使”科学家的序参量。

在问题、实验和理论三者的关系中，问题的序参量作用恰恰在于它可以包容理论与实验的相互作用，它使得理论和实验的相互作用得以显现，得以展开。科学不就是通过不断解决问题又不断揭示出新问题的循环圈而进步的吗？！

当然，再进一步地看，问题的揭示也依赖于一定理论指导下的实验。这里出现了三个要素：问题、理论和实验。我们认为，正是这三个要素的相互作用成为科学发现的动力。理论和实验的不和谐或相互作用引发问题，问题又进一步推动对理论的研究、推动实验的发展。实验和理论的再次作用，又使问题进一步深化、细化，从而推动研究不断进步。这个三要素的循环作用圈（如图 0.01 所示）我们已作过阐述，现再把它用图表示如下：

通过考察普朗克发现辐射公式的基本研究过程，我们不难看出，一开始普朗克只是想要建立一个一般性的热力学的抽象理论，而后实验又揭示出了新问题，这新问题引发了新的思考，促使他思考经典理论的不足而弥补之。所以，真正推动他的，一个是先前的理论中的问题——它使他不满意从而引发他去寻找更抽象的理论，一个是实验揭示出的问题

——它揭示了先前理论的片面性（这种揭示是客观的、主动的、迟早会来到的），再一个是包容理论和实验之间的相互作用的更深刻的问题，即这种相互作用所揭示的问题以它们之间的不和谐为内容，它提供了打开“发现”大门的钥匙。在这三种推动中，可以这样排列它们的作用：第一种推动是“发现”前的一般性动力；第二种推动是把科学家引入“发现”的动力；而理论与实验的相互作用所引发的“矛盾性”问题，则是推动科学家进行发现的直接动力。其模式如下图（比较图 0.02，这里又有所改动）：

图 2.02 实验、理论和问题的相互作用

由以上分析，我们可以看出，在这里存在着一个问题从一般到特殊、从粗糙到精致的自组织过程，即问题在发现前到发现中逐渐形成自组织理论所说的“序参量”的过程。在这里，问题的特殊性程度和精致化程度明显地成为度量发现是否临近的标志即成为发现有序化的量度，而这正是序参量的基本含义。所以我们认为，问题是科学研究的序参量。另外，这一点也很有实际意义，因为科学家可以根据这点去判断发现是否已经接近。

我们说问题是科学研究的序参量的另外的理由，是因为问题是在科学研究发展过程中自然而然地产生出来的，序参量产生于自组织过程发展演化之中，这也是自组织科学理论的基本结论。

下面让我们考察理论和实验之间的相互作用类型，以及理论和理论之间的相互作用类型。严格地说，后者的相互作用，实际上也是由实验和理论的相互作用引发的。

三 科学认识活动中的相互作用类型： 实验、理论和问题

（一）理论与实验的相互作用及其所产生的问题类型

前文说过，实验常常是活泼的、主动的，科学实验常常不顾原有理论的预期结果，不顾原有理论的“安排”，而带来意想不到的结果。这里所谓不顾原有理论的安排而产生意想不到的结果，即在科学家预期的目标和实际结果之间产生了一个差距。换句话说，这就给研究的进一步深化带来了进一步要研究的“问题”。

在前文中，我们一直以“相互作用”一词来描述科学演化的动力，为什么我们不用传统上的“矛盾”来描述科学演化，并把它作为演化的动力呢？其实，我们认为用“矛盾”一词来描述和作为科学演化的动力并不是十分准确的。试想这样一个问题：当理论与实验不符时，我们认为，这时所产生的问题将引导科学家深入，从而推动科学演化；那么，如果理论与实验相符呢？理论与实验相符就不会推动科学演化吗？理论与实验相符将会使理论得到巩固、支持和并在此基础之上的进一步发展。所以，在这里应该用“相互作用”取代“矛盾”一词。这里恰恰产生了一个和科学哲学家波普尔的重大的不同：即波普尔认为科学演化是从问题到问题的过程，是一个证伪的过程，而我们认为科学演化既有旧

问题到新问题的方面，也有问题解决证实了理论的方面。问题的解决，即科学家原来预期的目标和实际实验结果之间的差距为零。

所以，理论与实验的相互作用有两种基本的类型：

第一，理论与实验相互作用使得两者相符的科学进化类型；

第二，理论与实验相互作用使得两者不相符的科学变革类型。

在第一种类型中，科学家会对受到检验的理论表示放心，然后再去寻求新的理论与实验的相互作用。在这种时刻，由于理论的确证（尽管可能是暂时的或是历史的），科学家的信心倍增，同时被检验的理论结果也会有一部分被放入确证知识库之中，于是知识的总体增加了，认识的水平提高了。这种相互作用虽然属于常规性的作用，在自组织科学理论的“混沌”理论中，它被称为“平庸吸引子”，但它对科学的进步也是不可缺少的动力作用。

在第一种类型中，表面上看，似乎由于理论与实验相符而不再存在问题这一环节的作用，实际上，问题不是不存在，而是在理论和实验相互作用的运行过程中已经从初始的存在状态转化成了被解决的状态，并进一步地还在向新的相互作用过程转化。当然，由于当前的问题已经解决，所以理论和实验的矛盾不复存在，相互作用从非线性作用转化为线性作用。然而，我们不能因为相互作用是线性的，就抹杀它的动力作用，只不过这种作用是平庸的而已。在以往的研究中，人们常常把这第一种类型的理论和实验的相互作用忽视掉，以为“不存在问题”（其实这个说法就有问题，准确说，应该是“问题已解决”），就没有相互作用了。其实，这是一个很大的失误，因为这第一种类型常常是科学发展和演化过程中最平常、最经常起作用但作用又常常是进化性质的类型。这种作用，常常一小步一小步地推动着科学认识扩大范围，拓深深度。它虽然是平庸的，但它却是经常的、持续不断的，如果我们只把注意力放在那种革命性的、巨大的、轰轰烈烈的作用上，就会割裂相互作用的不同方面对科学的推动，就会抹杀某种作用及其意义，从而对科学演化的动力做出片面的结论和认识。

这第二种类型的相互作用即我们在科学哲学上经常用传统术语所指称的“实验与理论的矛盾”。对这种类型的相互作用过去似乎讨论得比较充分，其实不然，在过去的传统认识中，我们的侧重点第一是要指出实验与理论的“矛盾”是科学发展的动力；第二则是重点说明在这矛盾中实验又是矛盾的主要方面。很明显，这种说明是为“哲学”学说服务的，而不是“研究”。例如，在进一步的研究中，我们发现，过去对解决理论和实验的矛盾的科学演化道路方式就研究不够。我们发现，这种解决至少存在着两种方式（而且恰恰是研究不够的第一种方式起着经常的大量的作用）。

第二种类型的作用，即实验结果与原有理论的结论不符，产生了理论与实验之间不相符合的差距即在理论和实验之间产生了问题。在解决这一问题的方案上有两种做法，即第二种类型的作用还可以再细分为如下类型：

（1）第一个做法或方向是维护原有理论，试图把新的实验结果纳入到原有理论解释的范围或框架之中。

这方面成功的案例有许多。我们列举两个。

第一个案例：“中微子”的发现。20世纪20、30年代，科学家在研究放射性衰变时发现，放射性核在衰变中能量不守恒，它所辐射出的一个电子的能量有大有小，形成连续分布，同时能量有一个最高上限。这完全不同于其它形式的衰变中所辐射的粒子具有确定能量的情况。那么究竟是能量守恒理论错误了呢还是实验所揭示的现象有其它未知情况呢？在这两种可供选择的结论上，有的科学家倾向于认为能量守恒定律不再是一个普遍有效的定律了，如著名科学家玻尔就是这样认识的；有的科学家则认为应该保全能量守恒定律，应该想办法把这一现象纳入到不违反能量守恒定律的解释之中。为了保全能量守恒定律，物理学家鲍利提出：在衰变过程中，除了辐射出一个电子外，还产生了一个用以往的仪器探测不到的新粒子，它具有极小的质量，不带电荷，同时具有与电子相同的自旋，这不守恒的那部分能量就是被这个微小的粒子带走了。这种粒子后来被称为“中微子”。60年代陆续证实了确实存在着各种中微子。（参见中国科学院自然科学史所近现代科学史研究室编著：《20世纪科学技术简史》，科学出版社1985年版，第72页）

第二个案例：海王星的发现。1781年后，天王星已被确认为太阳系的第7颗行星。1820年，法国天文学家布瓦德（A. Bouvard）搜集了当时的全部观测资料，根据（以牛顿万有引力理论为基础）天体力学原理算出了天王星的运动轨道。但奇怪的是，布瓦德计算得出的轨道与1781年以后的观测极不相符。后来，他又仅以1781年以后的观测资料为依据重新计算，结果却又与1781年以前的观测极不相符。后来天文学家还发现，用更为精确的观测资料去计算（计算也更精密准确了），理论值和观测值仍然相差很远。问题出在哪里呢？观测是没有问题的，那么是不是以牛顿万有引力理论为基础的天体力学理论有问题呢？即万有引力真的“万有”吗？换句话说，天王星之谜给天文学家提出了一个重大的理论问题：牛顿的力学理论是否需要修正？

然而，绝大多数天文学家还是力图保存牛顿理论，因为牛顿力学经过了一百多年的考验。那么，只有一种可能即可能存在一种未知力量影响了天王星运动轨道。于是，他们提出种种假说。例如，有的天文学家提出“灾变”假说即认为是彗星撞击了天王星，有的天文学家提出“未知卫星”假说即天王星有一颗尚未发现的卫星影响了它的运动。比较多的天文学家提出存在“未知行星”假说。他们把天王星的运动与已知行星的摄动进行比较和分析，认为在太阳系中还有一颗比天王星更远的行星，它的引力作用使天王星的轨道发生偏离即摄动。天王星运动的“不规律性”正是这种摄动的表现。随着其它假说陆续被否认，到19世纪30年代后期，这一假说已为绝大多数天文学家所接受，成了一个公认的科学假说。到19世纪40年代后期，这颗比天王星更远的未知行星终于被天文学家找到了（参见G. De 伏古勒尔：《天文学简史》；孙小礼：“海王星是怎样发现的”，载于李慎、陈庆云主编《来自历史的启示》，北京大学出版社1989年版）。这种做法或方向，第一可以使原有理论的应用扩大范围，并向纵深发展；第二它也使科学家能够发现理论适用的范围和条件，因为理论在应用过程中不断扩大其适用范围，并不断使其向纵深发展，这就逼近了理论的适用的边界，因而也就容易发现理论的问题，从而使科学在总体上获得进步。

当然在这方面也有不成功的尝试。例如，在海王星被发现以后，科学家后来又发现海王星运动轨道也有与理论计算值不相符合的偏差状况，于是同理地认为存在着另一颗行星影响了海王星的运动，结果发现了冥王星。在这两次胜利之后，天文学家又把牛顿引力理论用于解释水星近日点的进动问题，然而这次却出现了问题，以牛顿引力理论为基础的经典天体理论对此无能为力。于是，水星近日点的进动问题成了经典理论的“反常”问题之一。这反常问题的出现，正是使科学家认识到牛顿理论局限性的“吸引子”，当然，真正作出这种认识，还要到对立的理论或竞争的理论出现时才能做到。

(2) 第二个做法或方向是放弃原有理论，在新的实验结果基础上寻求新的不同于原有理论的解释或观点，即建立新理论。当然，一般而言，科学家只有当第一种做法行不通的时候，才去尝试这种做法。

这方面的典型案例不少。

例如，19世纪的物理学为了解释某些现象，曾虚构出“以太”这一介质。然而后来发现“以太”有许多自相矛盾的性质：它既是刚体又要像真空一样透明……，为此，物理学家一直在不懈地努力寻找“以太”。1897年，迈克尔逊和莫雷合作共同设计了一个检验“静止以太”的实验，然而实验结果与他们认为存在静止以太的预期相反，没有找到任何有利于静止以太的证据。对于这个实验结果，许多物理学家先后提出了“以太曳引假说”、“洛仑兹-斐兹杰惹收缩假说”等以解释或消化这个实验给经典理论带来的反常。然而其效果都不理想，因为虽然这些假说暂时解释了“迈克尔逊-莫雷以太实验”的反常结果，但它们的解释不是非常勉强，就是为了解释又不得不增加了许多又需要解释的“特设性假定”与条件。换句话说，它们都不那么令人信服。爱因斯坦独辟蹊径，从根本上否认存在“以太”，以光速不变和物理规律在惯性坐标系不变为两个基本假定，建立了狭义相对论。从狭义相对论出发，迈克尔逊-莫雷实验结果成了狭义相对论的自然结论。相比而言，这一解释要自然得多、合理得多。我们知道，这一解释的成功，同时也为新理论取代旧理论奠定了重要基础。

再例如，我重点分析过的“普朗克黑体辐射公式的发现”也是如此。当经典热力学理论对新的黑体辐射实验结果再也无能为力时，普朗克被“逼”无奈，用尝试的方法发现了新的辐射公式。从思想深处，普朗克一直想从经典理论上做出对新辐射公式的解释，即想把新辐射公式纳入到经典理论框架中去，然而都失败了。这个案例从反面说明了解决新实验事实与原有理论之间相互作用的第二种方案的做法和方向也是存在并起作用的。

以上两种方式或类型是科学家经常交替启用的方式，换句话说，它也是理论和实验相互作用产生问题的演化分叉的动力学过程。

从以上几种实验（也包括观察）、理论之间相互作用的类型及其关系看，实验、理论和问题三者的相互关系及其动力作用大致表现在两大方面，即当理论和实验的关系比较和谐时或产生了问题但能够在原有理论框架之内加以解决时，这种动力作用引起原有认识的深入与范围的扩大，在原有理论中逐渐增加新知识要素，并与原有理论相协调，从而推动科学比较平稳地进化；而当理论和实验的关系不和谐时或产生了问题

又不能够在原有理论框架之内加以解决时，这种动力作用引起新的解决方案的产生即或产生了新的方法，或引发了新的观点、新的思想，从而引起新理论的建立、旧理论的崩溃，使科学认识发生跃迁，带来科学革命。

由于存在着实验、理论和问题这三者的相互作用，因此科学的动力作用是一种非线性的相互作用。所以，科学这一系统才能成为自组织的演化系统。

（二）理论要素之间、理论与理论之间相互作用及产生的问题类型

科学不仅存在着实验、理论和问题之间的相互作用，而且也存在着理论内部各个理论要素之间的相互作用并且产生着相应的问题；也存在着科学理论与理论之间的相互作用，同时也产生着相应的问题，并通过这些问题及其问题解决推动着科学的进化或引发科学的革命。下面我们研究这两种相互作用及其问题类型。

（1）理论要素之间的相互作用，包括两个方面：理论要素的内容方面的相互作用；理论要素在形式方面如逻辑方面的相互作用。前者常常引起理论不完善的问题，并通过这类问题的解决促使理论的内容丰富、完善；后者常常通过逻辑规则的作用发现理论的逻辑问题。解决理论要素之间逻辑关系问题，可以促使理论更加完美。

理论要素的内容方面的相互作用

理论要素的内容方面的相互作用指的是理论内部的各个要素如概念、定律、解释性观念等要素之间的相互作用。例如，20世纪建立起来的量子力学包括20世纪之初建立起来的量子论不仅一开始在其理论内部存在着概念、定律关系的不和谐性，而且一直到今天似乎还存在着这类问题。物理学家为了该理论是否内在完备一直在争论着，如EPR佯谬到现在依然是个不解之谜。理论中的概念、定律和其它内容具有历史性、演化性，科学家在对其进行研究时，由于新的实验事实的出现，就会产生新的认识。例如，进化论中的“适者生存”的概念，在今天就不同于达尔文的时代，科学家们已经进一步认识到，“不适者”通过创造小生态环境也能生存。

例如，关于质量的概念，通过马赫等人对牛顿力学的批判也获得了“进化”，其内容在爱因斯坦创造狭义相对论后，更是发生了根本性的改变。此外，最主要的是，理论中如果存在着概念和概念以及其它理论要素之间的作用，那么对于认识理论的缺陷、揭示理论的问题将有很大的帮助。例如，马赫就发现牛顿力学的基本概念中，如质量、加速度等的定义存在着同义反复、循环论证的问题，他还发现，牛顿论证绝对空间存在的“水桶”实验并不能证明绝对空间存在。而这些发现事实上对于解除科学家对牛顿理论的迷信起了重要作用，为狭义相对论的奠基做出了重要贡献。（参见郑永令：“牛顿运动观的历史探讨”，《近代物理学史研究》，复旦大学出版社，1983年版）

理论要素在形式方面如逻辑方面的相互作用

我们仍以牛顿力学为例。牛顿力学是经典物理学乃至其他自然科学

的基础，在牛顿的《自然哲学的数学原理》问世并被人们接受后的 200 年中，牛顿力学受到的是一片赞扬声，但是到了 19 世纪后叶，开始有人对它提出了批评。受到批评最多的是第一定律。首先，由于牛顿对力没有一个独立于运动定律的定义，所以无法判断物体是否不受力，从而根本无法用实验检验第一定律，因而第一定律至多只是一个“物体不受力”的定义。此外，还有参照系问题。不受力物体静止或作匀速直线运动是相对什么参照系而言的？实际上，第一定律只有在惯性参照系中才有意义，而根据第一定律才能建立惯性参照系，所以这是逻辑循环。这样一来，第一定律实际上是什么也没有说。第二定律中也存在着同样的逻辑循环。马赫等人对牛顿力学提出了如上的批评后，到本世纪 50—60 年代，又有许多科学家研究了这些问题，并提出了新的见解。在他们的研究中，不仅牛顿力学的内容得到了改进，而且其形式变得更加完善了。可见，理论要素在形式方面如逻辑关系上的相互作用有助于理论的进步。（仍请参见郑永令：“牛顿运动观的历史探讨”，《近代物理：学史研究》，复旦大学出版社，1983 年版）

再如场量子论，在其自身中还包含着电子质量、能量等向无限大发散的内部的逻辑问题。这类问题已经引起科学家们相当大的注意。我们相信，这种相互作用必定会推动理论解决其自身的逻辑问题，从而产生某种飞跃。

（2）理论与理论之间的相互作用，也包括两个方面：一是前后相继的理论（即旧理论与新理论）的相互作用；二是同一空间上的不同理论之间的相互作用，它又包括两种情况：对同一问题的对立回答或对立解决方案的两种理论的相互作用；对同一问题的不同方面的不同回答或不同解决方案的两种理论的相互作用。第一种相互作用可以称之为理论在时间上的相互作用，后一种相互作用则可以称之为理论在空间上的相互作用。

前后相继的理论（即旧理论与新理论）的相互作用

前后相继的理论的相互作用有三种类型：

第一种类型：在新事实基础上形成的新理论同旧理论的相互作用，它往往表现为对旧理论的批判。

例如，现代原子理论对原有“原子论”的继承和批判就是一个很好的案例。本世纪初，科学家在实验过程中陆续发现了元素的放射性和放射性元素；卢瑟福-盖革实验又揭示了原子的核结构；后来的更为精密和高级的实验又使科学家们陆续发现了中子、中微子以及其它基本粒子，在此基础上形成的现代原子理论成了现代物理学的重要分支。那么，现代原子理论和 19 世纪的化学原子论（更不必说古代原子论了）有什么不同和联系呢？很明显，现代原子理论和 19 世纪的化学原子论都承认原子的存在，除此之外两者似乎再也没有什么共同之处了。19 世纪的化学原子论认为原子是物质组成的不可变的、最小的单元，今天这两点都被证明是错误的了；但是，现代原子理论承认用化学方法不能改变原子，这点和 19 世纪的化学原子论的观点则是部分一致的，今天的现代原子理论认为，原子可以用物理的方法加以改变，即元素可以嬗变，而这在过去曾是炼金术士的幻想，是被 19 世纪的化学原子论批判和认为根本不可能的事情。

其实，许多新理论在建立之时并没有构成对旧理论的“当时”的批判，建立之后才发现它的革命性，例如哥白尼日心说建立时并不是直接针对托勒密地心说的，历史事实是教会的害怕以及革命的科学家对教会限制思想自由和科学发展的恶劣做法的反弹，才使哥白尼日心说成了一种革命性的象征，才发生了激烈的革命批判。

第二种类型：包含了新理论要素和旧理论要素的某种“混合体”式的新、旧理论的相互作用。

当产生了新的经验事实并且旧理论无法合理解释同时又没有其它理论可借鉴之时，有时会出现这样的情形，保留旧理论的某些理论要素，同时构造某些新的解释要素，即用新理论要素和旧理论要素相结合的方式构造一个新、旧混合体的理论。然而，这种构造方式毕竟是科学演化过程中的某种过渡性方式，它一般只反映演化过程中的新、旧理论交替的“临界”阶段的性质。

这方面的典型案例是早期量子论的演化。本世纪初，卢瑟福-盖革实验揭示了原子的内部核结构。按照卢瑟福-盖革原子有核模型，原子的中心集中了原子的绝大部分质量和正电荷，核外电子绕核作圆周（加速）运动。然而，按照经典电磁理论，核外电子的绕核运动由于是加速运动，因此要有辐射，而一旦辐射发生，电子的能量就会有所损失，电子的运动轨道就会越来越小，最终坍塌到原子核上。所以，按照经典电磁理论，卢瑟福-盖革的原子有核模型不具有稳定性。卢瑟福-盖革模型是建立在实验基础之上的，它的正确性已被证实，是无可怀疑的，经典电磁理论也曾有效地解释过大量电磁现象，就是它有错，也不会是完全彻底的错误，那么怎么办呢？丹麦科学家 N.玻尔在这种情况下，只好采取折中方式，即把理论假定建立在卢瑟福-盖革实验所揭示的原子有核结构模型和经典理论（包括经典力学和经典电磁学）基础之上，他硬是规定：a，当原子处于具有确定能量的所谓“稳定态”时，不辐射能量；b. 只有当原子从一个稳定态过渡到另一个稳定态时才发射或吸收辐射能，而原子的能量变化就等于它发射或吸收的辐射光子的能量，即 $E_2 - E_1 = h\nu$ 。玻尔在这里利用了经典理论的确定的轨道的概念；同时，这两个基本假定中，第一个假定与经典电磁理论所断言的电子必定辐射能量的结论相矛盾，而与原子能量量子化观念等效；第二个假定称为辐射条件，它包含能量守恒观念，但更突出的是引用了爱因斯坦的量子描绘（参见[美]R.瑞斯尼克：《相对论和早期量子论中的基本概念》，上海科技出版社 1978 年版，第 245 页）。这样在量子论中，既包含旧理论要素（经典力学和经典电磁理论）又包含新理论要素（量子化观念和概念）。它的人为特征表明该理论是不完善的，新、旧两种要素共处一个理论之中其实是不能长久的，在本质上也是不能并存的。换句话说，它们暂时地通过人为的设定而“和平共处”于一个统一体中，而最终必定要以新理论要素克服旧理论要素并形成新理论完成这种相互作用，实际上，科学史的发展证明了这一点。

第三种类型：旧理论拓深到新领域，再加以新方法，形成新理论。有些旧理论包含有更多的真理成分，在对自然界的对象的描述和解释过程中，它的理论是适用某个方面或局部的；在以后的发展中，在对这个方面的描述和解释上，该理论并没有过时，但是，人们发现，自然界除

了该理论所描述和解释的那些方面外，还有另外的方面是该理论力所不能及的。这种无能，不是理论错了，而是理论只研究了自然对象的某些方面，只适用那所研究的方面。如线性科学就只适用于物质关系是线性的对象，而非线性科学则适用于物质关系是非线性的对象。最近，我国学者对于非线性量子力学的探索是很有意义的。就我们所讨论的情况而言，非线性量子力学不能取代线性量子力学，只是量子力学拓展到新的领域的新理论。这种新、旧理论的相互作用是一种继承和发展。

同一空间上的不同理论之间的相互作用它包括两种类型：

第一种类型：对同一问题的对立回答或对立解决方案的两种理论的相互作用，这是对立理论之间的相互作用。在这种相互作用中，也有若干种类，如从内容上看，有正确理论与错误理论的斗争；两种都是片面性的理论之间的相互作用，如地质学上火成学说与水成学说、海相生油与陆相生油学说之间的争论；生物学上各种生殖学说之间的争论；物理学上关于光的本质的微粒说和波动说的争论，等等。如从形式上看，又有两种理论在逻辑上自洽不自洽的相互作用，如麦克斯韦电磁理论和伽利略相对性原理不相协调，等等。

第二种类型：对同一问题的不同方面的不同回答或不同解决方案的两种理论的相互作用。对同一问题的不同方面做出不同回答，或提出不同解决方案，这时两种理论其实有时是可以相容的，有时也会证明这两种解决方案是等效的。例如在解决量子现象时就曾提出过矩阵力学和波动力学两种等效的理论。有时这种相互竞争的理论则不是等效的，然而，在相互作用的过程中，两种理论自身是无法解决其矛盾的，所以只好采取一种等待实验来裁决的作用方式而作用。例如关于超导的本质的理论现在就有若干个，究竟哪个是正确的，理论自身是无法解决的，因此只好等待实验的新事实的裁决。

四 科学认识活动中的“序参量” 和“控制参量”

按照自组织科学理论的基本观点，系统中的各个子系统或要素之间的竞争和合作构成了系统自组织演化的动力；系统中各个于系统或要素之间的相互作用的发展将产生推动系统或支配系统演化的“序参量”；进一步地看，“序参量”对不同系统是不同的，换句话说，每个具体的系统的运动都有自己的序参量，序参量是特殊的，不可普遍化的。当我们把科学演化作为一种认识活动看待时，按照我们在前文中对科学系统的研究，我们是把科学活动划分为三个层次的，即以科学家个人作为活动承担者的科学研究；以科学家群体或团体为活动承担者的科学学科研究和学科分支演化；最后，科学的宏观演化即科学总体的分化和综合演化过程。

我们认为，在以科学家个人作为科学活动承担者的科学研究这一层次上，“序参量”是科学研究中的问题，即“问题”起着支配科学研究中的其它变量的作用；关于这一点我们已在第一章和第五章第二节中作了讨论，这里不再赘述。这里需要说明的仅是：这里的“问题”仍然是指每一个具体研究中的具体问题。所以，问题作为“序参量”仍然是特

殊的、具体的。

在以科学家群体或团体力活动承担者的科学学科研究和学科分支演化的层次上，“序参量”是什么呢？我们认为仍然是“问题”，不过此时的问题不是一个具体科学研究中的微观性的问题，而是一种“中观”性质的问题，即学科演化过程中各种研究相互作用发展出的“问题”，它涉及学科与学科的内容的相互作用、形式和逻辑上的相互作用，它由它们产生，而一旦产生又反过来支配着上述相互作用的发展方向、演化趋势等。

最后，在科学的宏观演化即科学总体的分化和综合演化过程的层次上，“序参量”是什么呢？这个问题比较复杂。因为它涉及到科学、技术和社会。不过我们可以反过来看这个问题，即问一问是什么支配着科学的宏观演化？是社会吗？社会确实影响着科学演化，而且影响程度还相当大，但科学决不是受社会支配的被动物。是技术吗？技术也对科学演化产生着巨大影响，但与其说技术支配科学毋宁说科学支配技术。看来还是要在科学本身中寻找动力。在科学的宏观演化即科学总体的分化和综合演化过程的层次上，我们认为两种因子在支配科学的运动和发展，这就是科学发展过程中自然而然形成并突现出来的科学演化目标：一个可以称之为“经验适合性”，另一个则应称之为“理论普遍化”。前者驱动科学要符合它所研究的经验世界，使其受经验检验，具有越来越丰富的经验内容；后者驱动科学朝理论的抽象程度增强的方向演化，它内在地使科学内部统一、各个部分相互一致，它要求科学的逻辑基础在演化过程中越来越简单。在经验适合性因子的驱动下，科学分化的趋势得到了较充分的展开和发展；而在理论普遍化因子的驱动下，科学综合的趋势得到了充分的支持。例如，科学的分化主要表现为学科的细致化；而学科的细致化的依据就是自然界物质性质和运动性质的多样化及其科学家对此的认识的深化。所以它是受经验适合性支配的即科学必须随认识的深入而划分为更细致的分支学科，再例如，科学的综合主要表现为出现了交叉学科和横断学科，这些学科的出现认识上主要是综合和抽象出它赖以作为基础的分支学科的那些共同的性质的结果。因此，相比而言，交叉学科和横断学科都比它们所综合或抽象的学科更为概括、更为普遍化。所以，学科的综合是受理论普遍化因子的支配的。反过来说，即“经验适合性”和“理论普遍化”是支配科学宏观演化的“序参量”。

按照自组织科学理论的基本观点，系统的自组织演化也要受到外部环境的物质、能量和信息的影响。外部环境以提供“控制参量”的方式影响系统的自组织演化过程。从科学作为社会活动的观点看，外部环境即社会所提供的“控制参量”主要是科技政策，它控制着社会向科学系统的输入。从科学作为一种认识活动的观点看，外部的认识环境所提供的“控制参量”应该包括一般认识的“问题库”、认识所需的工具和社会需要。由于这些问题属于科学演化的环境和条件范畴，我们在科学演化的环境条件论中再作详细讨论与研究。

五 科学研究认识活动的 竞争和协同特征

科学研究作为一种探索未知的认识活动时，它有两个显著特点，而这两个特点都与科学认识活动中的各个要素之间的竞争和协作有密切的关系。现在先让我们讨论这两个特点，然后再研究它们和知识要素的竞争与协同关系。

（一）科学研究的探索性

科学研究活动就其内部的认识特征而言，本质上是一种探索未知的活动，因此它的第一个内部特征就是：探索性。

由于探索的是一种未知的知识，这种未知知识的价值有大有小，因此也就有了科研人员选择、区别这些知识的差别，有差别就有了选择的必要。在选择的问题上，也就有了科研人员的兴趣竞争和兴趣综合问题。在一定意义上，即在科学家个体的意义层次上，这就是科学研究认识活动的竞争和协作性质的反映与表现。

探索未知知识，还有一个主体问题，即研究者是谁？个体？科学家共同体（即研究小组）？抑或社会？相对不同主体，自然也有一个战略和战术的问题。科学研究的战略和战术问题即研究的综合化趋势与分析化趋势，这里仍然有一个如何平衡两者相互关系的问题，亦即涉及认识活动各种要素的竞争与协同。

对未知的探索，从认识论的角度来看，探索性的知识之所以“新”，必须是相对社会而言的，否则就不能称之为新知识。换言之，科学研究必须研究的对象和所获得的成果，只有相对社会而言是新的，才有价值；而不能相对个人是新知识。但是，作为研究者，最终总要落实在具体的个人上，这个个体的研究者，如何才能知道他的研究是“新”的呢？是前人没有做过的呢？或是同时代的人也不曾做过的呢？此外，他能保证他的探索一定成功吗？所以，只有当他把他的科学劳动建立在其他科学家以往劳动和协同劳动的基础之上时，同时也通过对其他科学家的竞争性科学劳动的了解（如有多少科学家从事着同类同一课题研究等），他才能使他的探索进入有意义的领域和课题范围。

这里可以举许多案例，如永动机研究的失败，如意外的科学发现，如研究了别人已经研究过的东西，等等。所以，科学家在研究时有一个决定研究和知识的相对价值的问题，即有一个知识在其研究过程和头脑中相对价值逐渐清晰、逐渐凸现的过程，同时也有一个与同行科学家竞争与协同的问题。

（二）科学探索的不确定性

正是由于有第一个特点，所以给科学研究带来了第二个特点即不确定性。

英国著名科学家开耳文勋爵（William Thomson, or Kelvin, 1824—1907）说：“我坚持奋战五十五年，致力于科学的发展。用一个词可以道出我最艰辛的工作特点，这个词就是失败。”

英国著名科学家法拉第说：“就是最成功的科学家，在他每十个希

望和初步的结论中，能实现的也不过一个。”我国数学家华罗庚也说过：“成功的论文和作品只不过是作者们整个创造和研究中的极小部分，甚至这些作品还不及失败作品的十分之一。”[关于科研失败意义的启示，可参见阎世英：“失败论”（《科学、技术与辩证法》1937年1期）]引用这些说法，目的在于说明科学研究的不确定性是很大的。

不确定性特征也就必定要求科学家在进行科研时，要有进行什么科研和如何进行科研的相对价值的选择与考虑。换句话说，无论在科学家头脑中，还是在研究过程中，知识的竞争与综合（即协同）是始终存在着的。

由于科学研究具有以上两个特点，同时我们又看到，这两个特点始终和知识要素的竞争与协同有着密切的关系，因此，这就要求科学家在研究中遵循知识的自组织规律，通过知识的竞争和协同做出新发现。例如，竞争因子要求科学家注意知识中与以往不同的要素和关系，即我们在辩证法中常说的“要注意抓主要矛盾和矛盾的主要方面”；而协同因子则要求科学家在研究中注重整体性、联系性，注意从不同的方面寻求共同性。

在科学研究工作中，“协同效应”还突出地表现在当科学家具体地研究某一事物时，认识中的各个组分和事物实际的各个组分都不是孤立地对系统（认识系统和实际事物系统）发生作用，而是一起“协同”地产生作用，是一种综合效应。所以，这就要求科学家对客观事物的研究和认识，必须是把研究对象作为一个整体，从各个单元的相互作用中认识整体，从整体认识部分，而不能割裂整体，不能只见树木不见森林。

在科学发现上，特别是科学领域的意外发现上，“竞争和协同”效应则突出地表现为要么不出现“发现”、要么出现“发现”，就是发现的连锁反应。这表明，无论是经验要素，还是理论要素，它们之间的作用是可以关联、放大的，当科学家进入有意义的问题域后，问题就会自组织地导引科学家，使他们作出一连串的发现。如放射性的发现，引起了一系列放射性元素的发现，引起了同位素的发现。再如19世纪末、20世纪初的电子、原子结构和放射性的发现，以及黑体辐射、以太问题、光电效应问题的同时性的出现，现在看来并非偶然；从自组织的观点看就是科学发现，以及问题关联、放大的结果。关于科学发现的自组织动力问题，我们有专章讨论，这里不再赘述。

在科学认识的方法论上，协同认识主要表现为综合效应法的应用。例如对环境的研究，就必须多学科协同作战，唯此，才能获得比较正确和客观的认识。其实各个学科都是如此。当今世界，有哪些学科研究不是通过移植或借用了其它学科的思想和方法才产生和发展的呢？又有哪些学科不是建筑在多个学科及其思想方法的基础之上的呢？甚至在传统的科学方法如归纳法中的共变法、求同法、求异法中，也都存在着协同效应。可以这样说，如果没有协同效应，科学认识在实际上根本不可能发生。

科学中的竞争和协同效应的反映，在把科学作为社会活动看待时，表现得更为突出。关于这一问题的讨论，是下一章的任务。

第三章 科学自组织演化的社会学 动力和序参量

在前一章中，我们把科学认识活动作为一种过程性系统，研究了它的自组织演化的动力问题。在导论中我们也一再强调了科学发现本身支配了科学家的“自组织”性质。然而，这种强调并不意味着科学演化是一个无需人特别是无需科学家的过程。科学家和那些从事科学研究的各类人员是支持科学技术发展和深化下去的物质力量，换句话说，即他们是输入到科学系统中的物质和产生其精神成果的重要要素（或子系统），没有科学家和大量从事计算实验工作的千百万科学技术工作者，科学的演化同样是不可能的。

在本章中，科学家是作为科学认识活动承担者的角色出现在科学演化的动力舞台上的。换句话说，当我们把科学家的活动也作为一种科学演化的社会学系统看待时，我们同样也要研究一下这个系统的演化动力问题，看看它的动力是在其内部呢还是在其外部？这个动力对科学认识活动的推动如何？这个动力与科学认识活动动力的关系是怎样的？

在科学社会学意义上，科学研究有很明显的两个基本特征，这就是进行科学研究的科学家群体的社会互动过程中的两个特征：竞争性和合作性（或协同性）。

一 科学研究中的竞争性

竞争性是科学研究社会化的一种表现。科学研究上的竞争就是：科学家为了科学发现而相互争夺科学资源（这里“资源”一词是指科学资料数据、研究经费、科研人员、仪器和科研时间等）的过程。竞争的结果表现为首创发现在归宿上的社会承认。

科学研究上的竞争主要有两大类。

第一类，即对同一科研成果的首创权的竞争。它常常表现为科学发现之前各方的奋斗和竞赛，以及发现后谁是首创者的争论。

第二类，即科学中的争论，包括学术观点之争和学派之争。

让我们先讨论第一类科学竞争。

科学史上充满了关于科学家之间相互竞争的案例。

——关于 19 世纪科学家竞争的典型案例

关于能量守恒定律的发现是一个十分典型的科学家相互竞争的例子。

根据 T.库恩的研究，独立地并且是几乎同时做出能量守恒发现的有三人，他们是迈尔、焦耳和亥姆霍兹；而对能量守恒定律发现做出直接和间接贡献的科学家还有：卡诺、格罗夫、柯尔丁、赫因、赛贯、霍尔兹曼、摩尔和法拉第等。（参见 T.S.库恩著：《必要的张力》，福建人民出版社 1981 年版，第 68—102 页）在发现做出之前，他们相互独立地从不同角度从事能量问题的研究或涉及了能量问题的研究。在能量守恒定律发现过程中虽然没有直接的、有意识的相互竞争，但在发现后，却出现了迈尔为发现的首创权而苦斗的不幸事件，这表明，在这一发现

过程中存在着科学家的竞争关系。

——关于 20 世纪科学家竞争的典型案例

(1) DNA 分子结构研究上的竞争过程 (参见中国科学院自然科学史所编著:《20 世纪科学技术简史》,科学出版社 1985 年版;沃森著:《双螺旋——发现 DNA 结构的故事》,科学出版社 1984 年版)

1953 年 4 月 25 日,英国《自然》杂志刊登了一篇署名为沃森 (J.Watson) 和克里克 (F.H.C.Crick) 的论文,该论文题目是“核酸的分子结构——脱氧核糖核酸的结构”。这一成就后来被誉为 20 世纪以来生物学方面最伟大的发现。然而,这一成就的得来却是激烈的科学研究竞争的结果。

实际上,在 40 年代末,核酸的功能及其结构就已引起了科学界的重视。从那时起,有两组科学家在从事 DNA 的晶体结构分析研究。一组是在英国伦敦国王学院工作的维尔金斯 (M.Wilkins) 和富兰克林 (R.Franklin),他们后来也各自独立地、系统地研究 DNA 的晶体结构;另一组是美国加州理工学院的著名化学科学家鲍林等人,他们从 40 年代末开始研究 DNA 晶体结构,当时正不断取得阶段性成果。沃森和克里克的成就正是在他们的研究基础上和同这两组科学家竞争所取得的。

1951 年富兰克林曾报告过 DNA 分子呈螺旋型。受她的影响,沃森和克里克在年底提出一个有错的模型,后被维尔金斯和富兰克林以实验事实否决了;1952 年 5 月以后,他们直接和间接地得到了维尔金斯或富兰克林的进一步的详细实验报告,而后进一步修改了模型,终于在 1953 年 4 月建立起来了关于 DNA 的正确的模型。在这一发现过程中,除了上面提到的维尔金斯和富兰克林以外,鲍林对于 DNA 的发现也功不可没。鲍林曾先于沃森等人提出了一个与他们相似的但仍然是有错的模型,当这一消息传到沃森和克里克那里时,刺激了他们加紧工作,尽快修正错误,提出正确模型。当沃森和克里克 DNA 模型提出后,鲍林也还纠正了他们模型中的一个具体错误,这说明鲍林也已接近了发现。在评价各方的成就时,为了避免过去科学史上那种为首创权争夺而发生的悲剧结果,科学界这次持谨慎态度,英国《自然》杂志在发表沃森和克里克报告的同时,也发表了富兰克林和维尔金斯分别署名的两篇实验报告。1962 年颁布的诺贝尔医学和生理学奖,同时授予了沃森、克里克和维尔金斯,富兰克林则因英年早逝 (38 岁) 失去了获奖机会。对此,为沃森的自传体“发现印象记”作序的诺贝尔物理学奖金获得者布喇格爵士在谈到沃森的研究时指出:

书中记述的故事……深刻说明了研究工作者可能陷入的进退两难的处境。他知道有个同行在某个问题上已经工作了多年,并且积累了大量难得的资料。这个同行知道成功就在眼前,因此没有公开发表这些资料。这个研究者看到过这些资料,并有充分理由相信,他想象中的一种研究方法,或者说仅仅一种新观点就能使问题迎刃而解。在这个时候,如果他提出同对方合作,可能会被认为是想捞一点外快。他应该单枪匹马地去干吗?很难判断一个重要的新观点究竟真的是一个人独出心裁想出来的,还是在同别人交谈中不知不觉地吸收来的。鉴于这种困难,在科学家中间逐渐形成了一种不成

文的法规，大家承认同行对研究方式有申明自己要求的权利。但是，有一定的限度。当竞争不只来自一个方面的时候，就不能再踌躇不前了。在解决 DNA 结构的过程中，这种进退两难的困境显得尤为突出。由于考虑到伦敦国王学院的维尔金斯长期耐心的研究，以及剑桥的克里克和沃森最后出色地并很快地解决了 DNA 结构问题，1962 年在颁发诺贝尔奖金时，才使所有与此有关的人皆大欢喜。（参见沃森著：《双螺旋——发现 DNA 结构的故事》，科学出版社 1984 年版之序）

（2）关于超导研究上的竞争过程（参见 [美] J. 格莱克：“在科学的前沿阵地”，《交流》1988 年第 2 期）

1986—1987 年在超导研究上展开了一场异常激烈的科学家为争夺超导首创发现权的竞争。1986 年 1 月 27 日，美国 IBM 公司设在瑞士苏黎世的研究室的两位科学家缪勒 (Karl Alex Miller) 和柏诺兹 (J.G. Bernorz) 在实验中发现了转变温度为 30K 的超导材料，他们开始时故意秘而不宣，既不敢告诉公司里的同事，也不敢告诉外间的科学家。但是，科学上有一条规范，即只有当成果公开后，科学界才承认其发现的首创权。在这种情况下，两位科学家面临着两难问题：不公开，可能会失去首创权；公开，则原来安静地从事超导研究的条件可能一去不复返，而且可能很快就会有人追赶上来。于是，两位科学家采取了一个折中的方法：他们“写了一篇措辞谨慎的论文，但不敢投给《物理评论通信》，而投给了一个德文期刊，相信大多数物理学家不会读到这篇论文。两位物理学家如此谨慎，是由于超导研究史上充满了昙花一现的教训，而且他们更希望悄悄继续自己的工作，而不致受到竞争者的骚扰”。（参见 [美] J. 格莱克：“在科学的前沿阵地”，《交流》1988 年第 2 期）与此同时，美国休斯顿大学的华裔科学家朱经武领导的一个研究小组正在紧张地从事着超导方面的研究工作，在当时还没有出现发现的苗头；朱经武对他的妻子说，再干两年如果还没有做出发现他就改行。朱所领导的小组已经培养成了一个到一定时间就通览文献的习惯，1986 年 11 月，朱的小组发现了缪勒和柏诺兹的论文，朱经武马上带领他的小组迅速证实了这一结果，此时日本东京大学日中昭二教授的小组也发现了那篇论文，同时也证实了其结果。于是，一场关于超导研究的角逐拉开了序幕。在 1986 年底到 1987 年上半年不足一年的时间里，一会儿是美国朱经武小组获得了某某转变温度的超导体，一会儿是中国赵忠贤小组获得了某某转变温度的超导体，一会儿又是日本方面获得了某某转变温度的超导体。此外，前苏联、前联邦德国和南斯拉夫的学者也都相继参加到这一激烈竞争的行列中，使超导研究的转变温度提高到了 125K，超导研究出现了突破性进展。这一大飞跃（指转变温度），使“超导”这一“犹如生来就离不开绝对零度的极冷怪物”终于成了室温下可以利用的、有着极好经济效益前景的、可驾驭的驯化物。

当科学成果问世后，科学上的竞争常常也会出现或表现为对首创权的激烈争夺。伽利略为其几何学和军用罗盘的发明权而斗争过，而一个名叫 F.H.Grassi 的人也试图贬低伽利略对发明望远镜的贡献；牛顿同胡

克就光学发现和天文仪器的发明首创权有过争执，而他与莱布尼兹就微积分发明的优先权之争更为著名；胡克不仅同牛顿，还同惠更斯就用于调整观测结果以消除地心引力作用的螺旋弹簧平衡法的发明争夺过优先权；羞怯、富有、高尚的科学怪人卡文迪什在关于谁最先证明了水是化合物而不是一种元素的问题上，同拉瓦锡和瓦特有过激烈的三方争吵；海王星发现的背后也伴随有亚当斯和勒维烈的争执；琴纳与皮尔逊、雷伯特的辩护者们在种痘免患天花的发明权上各执一词；在数学上，拉普拉斯、伯努利家族中的几位和勒让德、高斯、柯西等几位数学巨匠也曾卷入过优先权之争；在物理学方面，法拉第与沃拉斯顿在电磁感应方面有过优先权之争，而迈尔则深受能量守恒定律发现的优先权争论的痛苦煎熬。（参见 R.K.Merton，“The Sociology of Science：Theoretical and Empirical Investigation”，Norman W.Storer，Ed.，Chicago，University of Chicago Press，1973，p.p.287—288）为此，诺贝尔奖金获得者、物理学家冯·劳厄说：“优先权问题在一切科学史中都构成了不幸的一章。”（M.v.劳厄：《物理学史》，商务印书馆1978年版第9页）然而，在默顿看来，事情并非如此，“优先权之争虽然带有激烈和冲动的感情，而且这几年来又有点升温，但它不仅仅只是表达了人们的暴躁脾气，而是从本质上构成了对违背知识财富体制化的规范的行为所做出的反应”。（参见 R.K.Merton，p.293.）很明显，优先权之争虽然带有“争名夺利”的色彩，但在实际上反映了在科学竞争过程中规范科学家行为的特征，即首先尊重科学发现和发明的首创性、把对科学知识的增长的贡献放在首位的特征。

现在再让我们讨论第二类科学竞争。

科学上的另一类竞争就是科学争论。

所谓科学争论就是进行争论的科学家以有形或无形的科学家集团为争论双方的基础，争论各方均以发表文章和著作、参加学术会议、公开演讲等形式，进行公开的争论，争论的内容一般涉及事实、理论、基础、科学内外问题和优先权等问题。

科学争论当然有其认识论上的原因。其认识论根源之一来自于科学认识活动的目标是产生新知识本身。一种科学知识体系当它作为确证的知识形态出现时，虽然对社会有重要价值（如对教育就有重要的作用，推动教育体系的更新），但它作为一种知识而言，已不再处于前沿。换句话说，它们已不再代表科学创造性的前端，不再是科学活动的“矢量”之箭。科学活动的本质在于创新。因此，或然性、假说性或正在形成中的新知识才是科学活动的前沿。从这个角度看，当新知识以不同内容、不同形式的假说出现时，而且没有不容置疑的实验或其它经验证明时，就必然出现争论。

科学史上同样充满了不同学术观点、不同学派之间的争论，而且这些争论大都推动了科学进步。例如，对光的本质的认识，就有持微粒观点的牛顿及其支持者和持波动观点的惠更斯等人的争论；对热的本质的认识，也同样有持热素说观点者同持热之唯动说观点的伦福德、戴维等人的激烈争论；在化学上，有燃素说支持者同持氧化说的拉瓦锡等人的争论；在生物学上，有物种固定不变论者和进化论者的长期的激烈的争

论，也有过活力论者与机械论者、预成论者与渐成论者之间的争论；在地学方面，有过水成学派和火成学派之间的争论。

在现代科学发展过程中，特别是在其前沿领域，各种学派、学说间的争论更甚于过去。例如，本世纪 20 年代起，爱因斯坦等人同以玻尔为首的哥本哈根学派就量子力学解释的科学意义及其哲学意义，就进行了长达 30 年之久的激烈争论。爱因斯坦等人先后提出了“EPR”观点和理想实验方法、“薛定谔猫佯谬”、“爱因斯坦光子盒”理想实验，同玻尔为首的哥本哈根学派争论，促使玻尔等人积极思索和进行严密论证，也促使更为广泛的科学家们积极参与、关心争论；从而使量子力学基础及其理论本身更为完善化。毫无疑问，这场争论有效地推动了微观物理学的研究进展。其他如遗传学上对 DNA 和 RNA 作用的不同观点的争论、地质学上大陆固定论和漂移说的争论，也都同样推动了学科的发展。

实际上由于科学争论常常涉及认识上和社会学意义上的一些因素（参见郭贵春：“科学争论及其意义”，《自然辩证法通讯》1991 年第 3 期 22—28 页，如科学争论主要涉及两类因素，即 a. 科学认识论因素，包括：经验描述和理论假设；方法论原则；背景信仰。b. 非科学认识论因素，包括：个人素质；制度压力，如可能失去研究基金、晋升机会等；科学家之间关系；偶然事件或机会），因此科学争论常常对科学演化的各个方面有所触及。

科学争论所涉及的认识论方面的因素是科学争论的本质所在，所以也是推动科学进步的根本动力。一个新生的科学观点、思想和理论，很少有不经争论就被科学家们接受的。其原因就在于在科学家的探索过程中，认识活动的载体是一个一个的活生生的有血有肉有感情的个体，他们不可能无错，正是通过提问、猜测、观察和探索，通过实验，他们不断剔除错误，接近客观。科学研究允许有错，也就允许科学家相互批评。科学不争论那些已经确证了的被认为（当然不排除以后还会被检验为错误）是可靠的真理，科学借助争论要解决的是这样一类问题：它们在现有的科学知识体系中一般来说还没有答案，或者其答案还未被揭示出来，需要在争论中加以解决。所以，科学争论在认识论意义上是推动科学认识活动自组织演化的认识论动力的一种表现形式。

科学争论所涉及的社会学意义上的各种因素，则在科学的承担者的社会学角度和活动中规范和推动着科学演化。例如，通过以发表文章和著作、参加学术会议、公开演讲等形式所进行公开的争论，使科学理性和学术自由得以统一和体现；而在其他社会群体的社会学意义的争论过程中，一般都存在着隐蔽的争论。这表明，科学争论是以正式或非正式手段进行科学交流的开放性方式。所以特定的科学争论往往推动整个学科及其所有相关知识进化发展。如在特定的科学发展时期，科学共同体以其特有的价值标准和评价方式，制约着争论展开的性质和过程。比如，在 70 年代发生的关于重组 DNA 研究是否会引发“生物危害”的科学论战中，科学共同体前期对重组 DNA 研究的“自觉约束”及其后期的“反法律控制行为”的事实，就是这种自主性的典型表现。

科学争论常常通过在事实、理论、基础、科学内外和优先权等方面的展开而从内容方面推动科学进步。

关于事实的争论：即关于特定观察陈述的真实性或可靠性的论战。

这种争论易于导致某种重要的决定性的或判决性的实验，从而证实或反驳、提出或终结某一科学事实及其相关理论。如对“以太”存在的争论所引起的“迈克耳逊-莫雷”实验，就是一个非常漂亮的案例。

关于理论的争论：科学模型、假设或理论存在的多元性是这种争论的根源。它构成了科学活动的正常形态、科学发展的理智动力和科学知识进步的矛盾机制。

一方面，这种争论会导致新的更高层次的理论的出现，如物质波思想统一了微观粒子的波粒二象性，最终结束了两者的争论；另一方面这种争论也会刺激实验的深入发展，以提出关于争论的可检验标准。如在量子力学完备性上的争论导致贝尔不等式对 EPR 问题的可检验标准的提出，以及 EPR 粒子对的实验检验。再如关于大陆漂移论的持久性争论，最后由于对熔岩漂动的磁极性方向、磁异常的连续条带的宽度以及磁极连续倒转发生的深度这三个方面的测量，得到了相同速率的精确一致性，从而给出了合理的评价标准，预示了全新的地壳运动模式。

关于科学基础方面的争论：它本质上相当于一种元科学的争论，涉及了世界观方法论，争论因而具有强烈的复杂性、持久性和尖锐性。如爱因斯坦等人同以玻尔为首的哥本哈根学派的争论主要是在量子力学的科学和哲学基础上展开的。

科学领域内外的“混合”的争论：以某种方式包含了科学以及伦理和政治性原则的争论，即包含了科学和非科学因素的争论。关于原子能技术的研究及其应用的各种争论，就是这样的一种混合争论。这种争论往往是使科学为社会公众所了解或误解的窗口，是使科学社会化的过程之一。它的意义之一就是使社会文明化科学化。

关于“优先权”的争论：这种争论是关于科学发现或发明的权利的争论。它是为维护科学活动的合理进行而采取的极端方式。

如果作一总结，正如有的学者所论，一般而言，科学争论的动力作用有以下几点：

科学争论推动了科学理性的进步。表现为：激励科学创造力；例如，法国数学方面的布尔巴基学派是科学史上公认的富有创造性的学派，其原因就在于在学派内部经常展开激烈的争论，从而相互启发，产生创造性成果。使科学方法论具体化；例如爱因斯坦同玻尔的争论就激发两人在科学研究的方法方面不断创造新的方法，几种带有很强直观性的“理想实验”及其逻辑检验方法就是在两人的争论中产生的。可见，科学争论推动了科学理性的进步。

科学争论促进了科学作为一种社会建制的自主性。科学争论是促进科学社会建制自主性的动力之一。表现为：强化了科学学派的形成、巩固和发展；在科学争论中，它往往作为一个确定的论争单元而受到来自各个方面的压力，从而在整体上形成一个“压力集团”，刺激了它作为一个有机组织的全面进化。强化了学术自由的自觉性，它以冲突的方式捍卫了学术自由。强化了科学共同体的一致性和统一性。

科学争论影响了“科学、技术和社会”的一体化发展过程。主要表现为：对决策的科学化影响，如合理性的论证；对价值及其选择的多元化影响；对科学应用的社会化影响。

反过来看，凡是科学争论受到取缔、禁止的地方或历史阶段，则科

学发展的步伐就会减慢，甚至停顿下来。中国古代春秋战国时期诸子百家争鸣的局面曾极大地促进了学术思想的丰富和发展；古希腊时期学派林立也使古希腊文明灿烂辉煌、科学文化繁荣昌盛。而在中世纪的欧洲，神学独尊、宗教一统，可科学的发展，人所共知，其发展的速度是极其缓慢的。

科学上的争论不是谩骂，不是人身攻击，而是平等的、以逻辑与事实为依据的学术观点之争。其是非曲直，应该由科学的实践和理论发展来解决，决不能依靠其外部力量与手段（如行政力量与命令），强制推崇一种学说、一个学派，粗暴地压制另一种观点、另一个学派。从自组织科学理论角度看，这就是自组织与被组织的区分。科学系统是一个自组织的动态演化系统，不适宜于采取被组织的管理方式加以管理。采用被组织的方式人为地控制、干预或人为地发展科学，不仅不会给科学发展带来好处，反而会损害科学的发展。例如前苏联对于遗传学中米丘林学派同摩尔根学派的争论，就曾命令式地把后者宣布为“资产阶级的学说”、“唯心主义”而加以批判，用行政命令方式加以粗暴的干涉，结果严重地伤害了苏联科学家的探索积极性，阻碍了苏联的遗传学研究进展，使之落后于世界研究水平近 20 年。我国当时受苏联影响，也曾一度挫伤过支持摩尔根学派观点的学者的积极性。

总之，从正反两方面看，学术观点上的自由争论、学派之间的争论，的确是科学健康竞争和发展的内在动力。

二 科学研究竞争性的意义和建制

在科学研究中科学家为什么要进行激烈的竞争？这种科学社会学意义上的竞争对科学研究和科学家有何作用，孰优孰劣？

我们知道，在科学演化过程中，如何才能保证科学研究趋向真理而不是趋向平庸呢？最重要的一条，就是科学在演化过程中对首创性意义的重视和建立维护首创权的制度，很明显，这是伴随资本主义制度发展而建立起来的一套与产权相关的制度，或说是受了资本主义产权制度影响而建立起来的科学上的竞争制度。

由于科学竞争的存在，就决定了在科学系统演化过程中自发产生激励竞争和规范竞争的制度。

在科学研究中属于激励竞争的机制，主要是首创性或独创性这一所谓默顿式的科学规范，以及各种科学基金会及其奖励制度。实际上它们都是科学竞争的产物，它们在科学家争取科学资源方面反过来又起着规范科学竞争的作用。最后，能够保证这些规范和制度得以实施并具有权威性的，并且在社会学意义上起主要作用的，我认为还有知识产权制度。下面让我们一一加以讨论和研究。

（一）“首创性”或“独创性”及其奖励制度——竞争激励的软件

所谓科学研究上的“首创性”或“独创性”，默顿把它概括为：科学是对未知的发现，一项研究如果没有为科学知识增添新内容，就毫无

意义和价值。这项规范要求科学家在进行科学研究时必须有所创新、有所发现、有所发明，它强烈地指责科学研究上的剽窃行为，而对独创性发现则以命名形式和获奖形式给予奖励。例如，为了表彰牛顿对力学的多方贡献，将“力”的基本单位命名为“牛顿”；为了表彰法拉第对电磁运动研究的贡献，将电磁感应定律命名为法拉第电磁感应定律，并把电容的单位称为“法拉”……这种例子数不胜数。这在科学界几乎是一种最高的荣誉奖赏。

科学上的奖励基本上是荣誉性的。为此默顿指出：在科学已经大大职业化了的时候，对科学的追求在文化上还是被定义为主要是一种对真理的不谋私利的探索，仅仅在次要的意义上才是谋生手段。与这种价值的强调相吻合，奖励就是按成就大小给予的。例如，著名的诺贝尔奖在科学界可以算得上最高奖，但它基本上也只是一种荣誉奖，其奖金的数额在西方也算不了多少。诺贝尔奖的意义主要在于为获奖人在科学界奠定了几乎是永久性的科学地位，即精英地位。当然，科学活动也涉及两种经济利益，其一是科学活动的主体——科学家的经济利益，即科学家也在一定社会中受该社会的物质利益的驱动；其二，科学活动也涉及到资助这种活动的投资主体的经济利益。这两种主体都以各自的不同方式关注这种利益，而这两种关注反映到制度层次上，就是专利制度和奖励制度。一般说来，专利制度比较直接地反映了投资主体对科学技术活动的微观关注，即在微观上，人们关心科学技术作为一种直接的成本因素所产生的经济利益；而奖励制度则反映了社会总体对科学技术是否促进了经济发展的宏观关注，换句话说，奖励制度作为一种社会的价值导向对应着社会对整体经济利益的关心。

很明显，科学没有国界，一个时代的科学水平就是发现中（相对于全社会中的全体科学家）有独创性，有创新。在这个意义上，科学家并不是为了认识才去发现，而是为了发现才去认识。这种因果的颠倒并非仅仅是一种特征，而是事物的本质。如果说人文学家是智力部落中的法师，是解释知识与传播民间文化、礼仪和圣经的智者；那么科学家就是侦察兵，是猎手。谁也不会因科学家懂得的知识多而给他以奖赏，诺贝尔奖金和其它纪念品是在他给自己的部落带回新的事实和理论时才授予的。社会（这里是指由科学家而构成的社会群体）对于科学家的承认只有一个标志，那就是谁先做出了发现就把发现的桂冠给谁，科学之所以在西方文化中大放异彩，正是因为社会承认这困难的一步是有价值的，并且奖励有加。因此，在西方文化中，科学家注定了必须竞争。换句话说，只有竞争，才能使科学的高峰不断向上增长。科学研究中只有第一，而没有第二。所以，表面上看，竞争的严酷性，如在争取基金的选题新奇性方面的竞争和规定课题完成时间对科学家研究上造成的压力，对科学家的研究不一定有积极意义，但在基金会的角度上看，从参与竞争的科学家整体的角度上看，这种竞争和竞争带来的压力却在一定意义和程度上比较有效地促进了科学研究，保证了科学研究的持续前进。

（二）科学资源上的竞争激励——基金会的作用

科学资源上的竞争主要指从事科学研究的科学家通过一定的程序而

获得各种科研基金的竞争。

让我们先来了解一下科学家在科学资源上的竞争的激烈程度。

现以 1994 年中国国家自然科学基金资助状况为例,1994 年,国家自然科学基金项目中,自由申请项目 15552 项,13.43 亿元,批准资助项目 2638 项,1.93 亿元;高技术探索项目中,申请项目 750 项,0.82 亿元,批准资助项目 148 项,0.13 亿元;青年科学基金项目,申请 3310 项,2.52 亿元,批准资助 564 项,0.36 亿元;地区科学基金项目,申请 687 项,0.49 亿元,批准资助 138 项,0.07 亿元;重点项目,批准资助 36 项,0.18 亿元;重大项目,批准资助 13 项,0.37 亿元。总计,共申请 20348 项,批准 3537 项,批准率为 17.3%。(参见国家自然科学基金委员会编:《国家自然科学基金资助项目汇编 1994》)由这个批准率可以看出,科学家在有限的科学资源方面的竞争是非常激烈的。

我们知道,通常资助是通过各种基金会给予的。据说基金会的历史最早可以追溯到古希腊的柏拉图学园。1791 年,B.富兰克林曾建立一个具有现代意义的基金会,资助波士顿和费城的有正直行为的艺徒各 1000 镑。自 1900—1929 年,美国建立了 211 个基金会,40—60 年代美国有 2656 个基金会,70 年代后成立了 255 个基金会;据《基金会指南》(1981 年)统计,截止到 1980 年,美国共有 26000 个基金会。基金会即“具有自己的理事管理的基金和计划,为资助社会、教育、救济、宗教及其他领域活动而成立的非盈利性的非政府机构”。(参见:Dictionary of American History, New York, Charles Scribner's Sons, 1979.p.82)基金会一般都把培养未来的科学精英、建立科学训练及研究中心视为己任。其资助类型有:项目资助、奖学金资助、研究补助金资助等。一般基金会又分为两类,即国家基金会和私人基金会。由于任何一个基金会的资金总是有限的,因此,基金会在使用基金时通常的做法是:第一,制定一个资助政策。它通常包括,选择资助或优先资助领域,把握科学发展前沿的发展动态与信息,经常根据实际情况修订计划和政策。第二,选择合适的基金管理人员。通常在科学基金会的管理人员选择方面,基金管理人员应该是科学家型的管理人员(scientist-administrator)或学者型管理人员(scholar-administrator),这样可以起到成为基金会和科学家创造性研究之间中介和桥梁的作用。第三,运用科学的管理程序管理基金。如利用专家评审制度,在评审程序上采用“特尔菲方法”等。第四,在资助后通常给予被资助者一定范围内的研究自由。(参见朱锐:“美国私人基金会对科学的资助——对其历史、经验的考察”,《大自然探索》1988 年第 2 期第 119—126 页)

爱因斯坦曾指责洛克菲勒教育基金会规定的那些严格的条例有时窒息了有天才的人。在美国作家 G.S.菲雷克的报道中这样写道:小洛克菲勒认为基金不应被分散用于不足道的目的或者某些不配受奖励的人。爱因斯坦说他相信直觉,小洛克菲勒说他相信组织。爱因斯坦是为卓越的人才辩护,而小洛克菲勒则是为基金会的整体激励机制辩护。报道用了这样的字眼:爱因斯坦是贵族,洛克菲勒是民主主义者。(参见《爱因斯坦文集》第 3 卷,商务印书馆 1979 年版,70—71 页)

我们且不说两人的观点如何,就基金的激励作用而言,它的确有效地激励了爱因斯坦在纪念普朗克诞辰 60 周年时所说的具有三种探索动机

中的两种最大多数者——为功利目的和为智力的兴趣者，而当科学在资本主义社会中成为一种职业、一种建制时，仅凭精神上的想要了解宇宙的动机是无法激励绝大多数从事科学研究的男男女女的。在哲学和政治经济学意义上，它是把激励的基础建立在民众自利行为和互利交换的交易行为之上的。这种民众自利行为就是自组织系统理论中的“系统中的子系统之间的竞争”，而这种竞争也自然会产生合作，即民众互利交换的交易行为。通过同行评价的“市场”的控制参量作用，科学资源的分配就会逐渐配置优化，它虽然也有弊病，但从整体上还是有效地激励了科学研究的进化。

总之，以上两种科学奖励系统（荣誉奖励和资源激励系统）有两种主要的动力作用：第一，它激励科学家做出独创性发现，促进了科学知识的增长；第二，按照一定的科学规范与标准控制科学发展的内部社会过程。我们认为，奖励是对科学家社会活动的价值的重要强化。诚然，没有奖励，科学家并非就不从事科学研究与其他科学活动。但是得不到适当的同行的社会承认，以及不给予与成就质量相符的奖励，则可能会使大量有能力的和多产的科学家从事那些可带来某些其他类型奖励的活动，这对年轻的有才能的人选择职业亦有相当影响，从而间接地影响未来科学家的质量。

仔细考察科学奖励制度，也会发现对这些制度的一些批评。例如，有人认为，奖励制度可能使科学家放弃艰深的课题，转而从事“能获奖的”研究；或使科学家首先过分关心获得承认和奖励，而不是首先对科学工作本身发生兴趣；或造成科学上的所谓名人的“马太效应”，不利于青年科学家的成长。这些观点的确在一定程度上指出了科学奖励制度背后的某些弊病。不过，关于具体的奖励制度的比较全面的、详细的研究表明，科学奖励的有利影响在总体上远大于其不利影响。当科学家做出独创性发现和贡献后，他们的工作能够被恰如其分地肯定，并给予科学上的奖励，表明对其履行科学家合格角色的认可，无疑会给他们带来极大的精神动力，激励他们的创造性。这种奖励作用也会波及到未获奖的科学家群体乃至科学家之外的社会群体，造成某种驱动力，即既成为一种榜样力量又成为一种社会压力，还成为一种社会指标，从而激励整个社会为科学知识的增长和进步而奋斗。

这种奖励制度，从科学社会学内部意义上看，它首先是独创性认知功能的强化力量，其次，它又是科学家进一步获取科学资源的经济意义上的经济保障制度；而从科学社会学的外部意义上看，它则代表着外部社会的对科学的控制作用与导向作用，从自组织理论角度说，即它也是社会对科学的控制参量。所以，科学奖励系统对于科学而言，无疑是一种非常重要的动力子系统。而能不能使它成为科学演化过程中自组织的子系统，则成为科学能不能自组织演化的关键性问题之一。

（三）知识产权制度的激励、约束和规范

有着近现代意义的知识产权制度是18世纪逐步建立起来本世纪得到全面发展的制度。所谓知识产权，就是权利人对其在科技、文艺等领域所创造的智力成果所享有的独占权的总称。它一般包括：著作权（又称

版权)、专利权和商标权。知识产权是一种受法律保护的财产权利,在法律上具有地域性、法定时间性和专有性三特征。

首先,知识产权具有“专有性”。这个特征首先把它与公有领域的事物区别开来。例如专利发明,在“专有领域”中,任何厂家想要制造这一发明物,都必须取得专利人的许可。其次,知识产权的专有性又表现为“排它性”,这又把它与同样处于非公有领域的其它财产区分开。即任何其他人如果发明了同样的发明物而未申请专利,那么就会排斥他的专有。其他人的同样发明只能在自己原有范围内使用,从而并无商业利益。

第二,知识产权的“地域性”标志着信息资源的独享状态是被局限在一定地域范围内的,出了这个范围,知识产权限定的发明或知识成果就成为共享的公有成果了。

第三,知识产权的“法定时间性”也标志着信息资源的独享状态是被限定在一定时间范围内的,出了这个范围,知识产权限定的发明或知识成果同样成为共享的公有成果了(参见郑成思:“知识产权与知识产权法”,《科技导报》2/1991,55—58)。

由以上这些特征看,知识产权实际上所起的作用就是:第一,保护知识和发明创造者的利益不受侵犯;第二,促使知识即信息资源的社会共有享用,从而促进了科学技术为社会的应用,扩大了科学技术的社会影响。

下面让我们以专利制度为例,详细讨论知识产权制度对科学技术发展和进化的动力激励作用。

早在1236年,英王亨利三世恩准一市民在15年间独自享有纺织花布的权利,这可算专利的鼻祖了。1474年3月,威尼斯共和国产生了世界第一部专利法。据说,伽利略还在排灌机器方面,取得了威尼斯共和国的专利权。所谓专利,就是发明者对于根据他的发明所制造出来的产品拥有一段时间的垄断权。需要注意的是,这时的专利制度还是封建性质的制度,它带有几乎永久性的垄断性。18世纪的专利制度与此是有根本区别的。

美国在1790年制定了他们国家的第一部专利法。美国宪法第一条第八款指出:专利制度就是“保障作者和发明人在规定时期内对本身的著作和发明享有独占权,藉此促进科学和实用技艺的进步”。专利权给发明家若干年的独占权,同时要求他们为了社会利益而将其发明公诸于众。专利的公开可以向社会展示发明家的发明,同时具体规定他人不能做什么,否则就是侵犯专利权。当专利期满后,专利权即告结束,此后任何人都可以制造那个发明物了。这正如美国总统林肯有一次说的,此种方法是“给天才之火加上利益的燃油”。(参见奥利弗·艾伦:“专利权的力量”,《交流》3/1991.38—45)也有人认为,专利权“把科学和人的才智套到了国家大车上,以个人利益为诱饵驱使它不停地向前进”。而“科技进步之马受到越来越大的鞭策之后,突然飞奔起来了”。(参见利昂·卡斯:“专利权”《交流》4/1982.42—45)美国专利与商标局局长唐纳德·奎格把专利制度比喻为“搭积木”,意思说只有在专利制度的基础上,才有越来越多的发明和创造。有人甚至认为,美国今天的繁荣发达,在很大程度上应归功于美国宪法规定的专利制度。(参

见吉姆·默克尔：“专利制度与经济繁荣”，《交流》2/1989.27—29）

在没有专利制度的情况下，如果技术发明和创新者立即公布他们的技术创新和发明，其发明创新往往很快就被模仿其技术的竞争者所分享，即技术发明信息被共享。这样对技术发明和创新是一种打击，从整个社会来说将会导致减少发明和技术创新。为了防止竞争者的模仿，技术创新和发明者往往将技术信息保密起来，以获得对市场的统治。从整个社会来看，这同样阻碍技术进步。（参见刘伍堂：“专利制度对技术创新的影响”，《科技导报》1/1992，17—19）在封建社会中，我们一再看到，有许多绝妙的发明如指南车一再失传，其原因就在于那种秘传方式的信息传播方式，就在于没有专利制度。专利制度的建立克服了这两种缺陷。它一方面使发明人在一定时期内独享或垄断发明的信息资源，另一方面又作为交换条件迫使发明人将发明信息的内容为社会共享。

在我国，已有越来越多的人认识到，科学技术是第一生产力，经济的竞争归根到底是科学技术的竞争。但是，许多人却未进一步认识到科学技术的竞争的前提是知识产权的竞争。在现代社会中，各个国家越来越重视知识产权。实际上，那种笼统地把科学技术看成为“人类共同财富”的观点是过于抽象化、理想化了。事实上，在科学技术已成为综合国力、市场竞争力标志的今天，任何一个国家都不会白白把自己投入了大量人力、物力和财力研究出来的具有高度市场竞争力的科学技术成果作为“人类的共同财富”，只有那些没有取得或已经失去知识产权保护的科技成果才有可能成为人类的共同财富。

为什么科学奖励制度和专利制度会有效地激励科学发现和发明呢？研究表明，这些制度的产生和能够发生作用是有条件的。其根本条件就是，当且仅当科学活动在本质上是一种经济学意义活动的时候，科学奖励制度和专利制度才能发挥有效的作用。前文说过，科学活动涉及两种经济利益，其一是科学活动的主体——科学家的经济利益，例如，科学社会学家默顿指出：

在十七世纪，社会组织仿佛就是为了（至少在某种程度上）使迫切的经济或军事需要引起科学家和发明家注意才创立的。……随着科学的发展，人们做出更系统的努力来利用这种潜能，确保实际的利益。科学社会的发展与这种征召科学家为工业、商业和军队服务的兴趣不无关系。科学技术为资本主义的兴起提供了一个不容忽视的前提；对于科学家和发明家来说，经济的发展给他们提出或强调了一些问题，如果研究并解决了这些问题，就会带来某些经济上的奖励和更高的声望。（[美]R.K.默顿：《十七世纪英国的科学、技术与社会》，四川人民出版社1986年版，231—232页）

这就表明，科学家也在一定社会中受该社会的物质利益的驱动；其二，科学活动也涉及到资助这种活动的投资主体的经济利益。这两种主体都以各自的不同方式关注这种利益，而这两种关注反映到制度层次上，就是专利制度和奖励制度。专利和奖励制度互补地、互动地激励着科学家和技术发明家，也使科学技术成为社会所需要的力量。

三 科学研究中的合作性

科学不是纯个人的活动，特别是科学发展到当代社会，科学已成为社会的某种社会建制和社会活动。就是个人的科学研究也离不开其他人的社会劳动。例如没有图书资料管理人员和该系统的帮助，我们能从事研究吗？我们的文献资料、工具、仪器……等等，不都是他人提供的吗？著名科学家爱因斯坦在《我的世界观》中说：“我每天上百次地提醒自己：‘我的精神生活和物质生活都依靠着别人（包括生者和死者）的劳动，我必须尽力以同样的分量来报偿我所领受了的和至今还在领受着的东西’。”（《爱因斯坦文集》第3卷，第42页）。

从人类劳动的角度看，科学劳动首先是一种精神的劳动，是一般劳动。马克思指出：“一般劳动是一切科学工作，一切发现，一切发明。这种劳动部分地以今人的协作为前提，部分地又以对前人劳动的利用为条件。”（《马克思恩格斯全集》第25卷，第120页）马克思这段话十分清晰地说明科学劳动的本质就是社会化的合作性。科学知识在一定程度上是积累的、进化的和变革了的知识体系，因此，从社会学意义上看，它在本质上也是一种前仆后继的事业，是集体的事业、合作的事业。

合作造成了科学上的前仆后继、智力互补。科学研究上的合作在科学史上尤其是在当代表现得尤为突出、尤为鲜明。而且合作无论在规模上还是在效应上都有增加的趋势。

（一）科学史上合作的案例

在科学史上，有无数合作研究的案例。例如：第谷·布拉赫与开普勒的合作，造成对行星运动的精确观测和在此基础上的行星运动规律的认识；法拉第与麦克斯韦的接力使人们对电磁运动的认识达到了新的水平。这些合作的范例之所以脍炙人口，就是因为这种合作造成了智力上的互补，产生了系统要素的协同效应，极大地促进了研究的深入。

科学家的合作研究，在当代表现的更为突出和鲜明，而且无论合作的规模还是合作的深度都有日益增强的趋势。

让我们以诺贝尔奖金获得者为例研究一下这些科学界宝塔尖上的高级精英之间的合作关系。多年来，人们以为，这些精英都是单干者，其实，许多获奖研究都是合作性质的研究。

迈克尔逊和莫雷的合作实验研究，宣告了以太不存在；卢瑟福与助手、学生盖革的合作研究，推动了对原子结构和放射性的认识；昂奈斯与其学生的合作，导致了超导现象的发现；布拉格父子的合作则为运用X—ray分析晶体结构做出了突出贡献；居里夫妇两代人在放射性元素研究上的合作，使他们分别分享了1903年和1935年的诺贝尔奖金；厄朗格和加赛尔在神经生理方面的共同研究，华森和克里克在DNA分子结构方面的共同研究，埃克尔斯、霍奇金和赫克斯利在发现神经细胞存在兴奋和抑制的离子机制方面的共同研究，使他们分别获得了1944、1962、1963年的诺贝尔医学和生理学奖金。此外，著名的晶体管发明（肖克莱、巴丁，布拉坦，1956年）、弱作用宇称不守恒理论的提出（杨振宁、李

政道，1957年）、切连柯夫效应（切连柯夫、富兰克、塔姆，1958年）、超导理论（巴丁、库珀、施里弗，1972年）、弱电统一理论（格拉肖、温伯格、萨拉姆，1979年）、放大倍数达三亿倍的扫描式隧道效应显微镜（宾尼格、罗雷尔，1986年）等获奖研究均属合作研究。美国著名科学社会学家哈里特·朱克曼对1901年—1972年间的286位诺贝尔获得者作了调查分析，她发现，说科学家尤其是较好的科学家都是单干者，或说重大科学贡献全属个体思维的产物，纯属陈腐观念。在286位获奖者中，有185人是因与他人合作进行的研究而获奖，这个比例高达64.8%。从发展趋势上看，合作趋势是越来越大，在诺贝尔奖设立的第一个25年（1901—1925）中，因合作研究获奖人数占获奖人总数的41%；第二个25年（1926—1950）中，这个比例上升为65%；1951年到1972年这21年中，该比例已达79%。

朱克曼说：获奖研究中这一显著的协作趋势，是上个世纪末开始发生，所有学科部门中从单干转向联合研究的长期变化的一部分。在诺贝尔奖金授予中，集体奖的比例也在日益增加，有32%的诺贝尔奖金获得者所获奖金是共同研究者所分享的。这表明，合作研究正在变成科学研究工作的主要方式，合作研究的科学家正在成为科学研究的主导力量。

（二）20世纪以来科研论文中合作研究状况

让我们研究一下反映在国际物理学界权威杂志《物理学评论》（Physical Review）和国内自然科学方面的一些权威杂志、以及社会科学方面的《中国社会科学》等杂志上所反映的合作研究状况。

在研究中我们也发现了一些很有意义的特点。例如学科性质对合作规模和合作比例大小的影响，例如自然科学和社会科学性质差异对合作的影响，等等。这些特点也显示了我们一再坚持的一个基本观点，即科学家是受他的研究对象支配而不是科学家支配研究的观点。

下面先让我们看一万五千多个数据所显示的事实。

表3—1[美]《物理评论》（Physical Review）中合作比例

年\作者人数	一人	二人	三人	四人	五人	篇数小计
1931	262	111	7	0	0	380
所占百分比	69%	29%	2%	0	0	总合作比例 31%
1941 年	152	86	26	6	2	272
所占百分比	56%	32%	9%	2%	1%	总合作比例 44%
1951 年	284	204	87	31	7	617
所占百分比	47%	33%	14%	5%	1%	总合作比例 53%
1961 年	348	322	162	46	24	902
所占百分比	39%	36%	18%	5%	2%	总合作比例 61%
1971 年	808	1083	533	193	110	2727
所占百分比	29%	40%	20%	7%	4%	总合作比例 71%
1981 年	791	1271	724	323	442	3551
所占百分比	22%	36%	20%	9%	13%	总合作比例 78%
1991 年	1150	2492	1713	913	1324	7592
所占百分比	15%	33%	23%	12%	17%	总合作比例 85%

很明显，合作研究和发表论文的趋势有两点值得注意：

第一，总合作趋势是合作比例越来越高。以《物理学评论》来看，1931年总合作比例只有31%，1941年该比例上升到44%，1951年该比例为53%，1961年该比例提高到61%，1971年该比例达到71%，1981年总合作比例上升到78%，而进入90年代该比例上升为85%。

第二，合作规模也越来越大。

60年代以前，超过五人的合作是极为罕见的事情，而进入80年代特别是进入90年代以后，超过五人的合作研究比例高达17%。在合作中，有十几篇论文的作者是近百人署名。

如果我们按照学科专业研究合作的性质，我们就会发现合作的规模和比例不是取决于合作者的友谊，而是取决于学科性质即研究对象的性质。在物理学学科中，合作研究比例最高者是核物理领域，合作比例最低者是粒子和场领域。我们知道，核物理领域主要是实验研究，而且是大规模的实验研究，如高能物理学研究方面，就需要加速器实验方面的研究，在这方面合作是必须的。相反，在粒子物理和场的研究中，则存在着两种极端：一种即需要大规模实验的研究，另一种即是高超的抽象理论的研究。因此，正是在这个领域，一方面合作趋势仍然是在增加（但增幅不大），另一方面，合作的规模（表中未显示出来）在这个领域又是最大的，常常在论文署名上出现近百人署名的情况。

我们再来比照一下中国的科学研究状况。

美国伊利诺大学图书馆学情报学院的秦健在1994年的一项调查中发现，中国科学家的研究，26%是单干，高出国际水平（13%）的一倍；45%是大学系内合作，也比国际水平（35%）高；其他形式的合作（校内系之间、国内不同单位之间及国际）均只及国际水平的一半。（引自秦健：“美国‘合作实验室’的发展及其对我国科技政策的启示”，《科技导报》11/1995.21—22）

我们研究了《中国科学》、《物理学报》。同时为了和自然科学作一比较，我们也研究了社会科学方面的状况。表3—3是《中国科学》的

合作研究比例状况，其特征基本与 [美] 《物理学评论》所反映的特征是一致的，只是合作的比的确不如后者高。换句话说，当然这两者之间没有本质差别，合作比例的提高同时也说明中国科学家合作规模正在接近国际水平。而中国的物理学研究和世界物理学研究之间的可比性表明，两种杂志的研究比例，特别是在近年来的合作研究比例几乎没有差别，这也表明，中国物理学研究的社会学性质已经具有国际传统。

然而，合作研究在社会科学研究方面仍然不是科学研究的主流。社会科学研究的主流仍然偏爱单干的方式。《中国社会科学》反映的状况有力地证明了这一点。

表 3—2 《中国社会科学》中合作与单干的比例

年\作者人数	一人	二人	三人	四人	五人	篇数小计
1981年	32	7	2	0	0	41
所占百分比	78%	17%	5%	0	0	总合作比例 22%
1991年	78	7	2	1	3	91
所占百分比	86%	8%	2%	1%	3%	总合作比例 14%

表 3—3 《中国科学》(英文版)合作研究比例情况

年\作者作数	一人	二人	三人	四人	五人	篇数小计
1956年	24	13	3	2	2	44
所占百分比	55%	30%	7%	4%	4%	总合作比例 45%
1962年	62	34	8	6	9	119
所占百分比	52%	29%	7%	5%	7%	总合作比例 48%
1973年	11	8	2	2	14	37
所占百分比	30%	22%	5%	5%	38%	总合作比例 70%
1981年	58	33	33	17	27	168
所占百分比	34%	20%	20%	10%	16%	总合作比例 66%
1991年	80	89	70	38	65	342
所占百分比	24%	26%	20%	11%	19%	总合作比例 76%

*由于 1973 年还在“文革”期间，所以《中国科学》只出了四期；此外，由于当时盛行以“小组”的名义进行研究，所以我们把凡署名为“小组”的论文归类在“五人作者数”项目中了。

表 3—4 《物理学报》合作研究比例状况

年\作者人数	一人	二人	三人	四人	五人	篇数小计
1956年	14	9	0	0	0	23
所占百分比	61%	39%	0%	0%	0%	总合作比例 39%
1961年	40	17	6	3	5	71
所占百分比	56%	25%	8%	4%	7%	总合作比例 44%
1974年	15	6	8	4	5	38
所占百分比	39%	16%	21%	11%	13%	总合作比例 61%
1981年	72	66	43	27	8	226
所占百分比	32%	29%	19%	12%	8%	总合作比例 68%
1991年	45	62	71	51	61	290
所占百分比	16%	21%	24%	18%	21%	总合作比例 84%

(三) 合作与科学研究合作的发生和演化机制

科学研究的协同性要求科学家必须进行交流，进行合作。这就意味着科学家必须有一个开放的头脑和开放的心胸；这也意味着科学所处的环境必须是一个开放的、信息交流畅通的系统。试想，一个封闭的、质量很差的、无信息交流的系统和环境能进行好的信息积累、交流吗？能追踪一流的科学研究吗？

这里问题是，合作是如何产生的？准确地说合作如何能在一个无合作的地方或无合作的过程中自发自然地产生出来呢？很明显，这个问题也是一个涉及到从无序的有序的自组织的问题。下面有一个研究说明了从单干到合作的自组织性质。

在一个以自我为中心而又无中央权威的世界中，要在什么条件下才会出现合作关系呢？在每人均有自谋私利的动机的情况下，合作关系又何以发展呢？

1950年美国兰德公司发明了一种“囚犯的难题”的游戏，用来研究合作关系的出现。研究表明，在适当条件下，合作关系的确可以在一个没有中央权威的利己主义者的环境中产生。而合作关系的发展则需要个人之间有充分的一再交往的机会，以使他们在将来的相互交往中存在着利害关系。在发展合作关系时，友谊并非是必不可少的因素。

“囚犯的难题”的图解

注：表中玩横栏一方的得分排在前面。

研究表明，要想使合作发生并能保持下去，第一个条件是：双方的交往必须具有一定的次数，即交往应有若干次数，而不能是仅此一次。而成功的对策是有以下四点特点的对策：一、只要对方合作，你就与其合作，避免不必要的冲突；二、在对方无故背叛时，要奋起反击；三、在对挑衅做出反应后要能宽容；四、行动要明确，以便对方能适应你的行为方式。

对个人而言，这意味着不要嫉妒对方的成就，不要先采取背叛行动，对于对方的合作和背叛都要一报还一报，不要太自作聪明。（引自罗·阿克塞尔罗德(Robert Axelrod)“合作关系的发展”，载于《交流》1/1986，59—63。）

事实上在生物界就存在着广泛的以互惠为基础的合作关系。学者们认为在生物界使这种合作关系成为可能的原因是遗传和适者生存这些进化机制。

而以上研究包括我们对科学期刊中合作与研究领域的相关性研究表明，在科学上合作的原因取决于研究劳动的性质，以及在劳动中互惠的程度。科学家是一个需要经常交往的群体，科学家的研究既建立在前人研究的基础之上又依赖于同时代同事的研究，所以在这个群体中容易产生合作并使合作规模越来越大。

（四）科学家研究的合作方式及其演化——建制化过程

a. 科学交流及其系统：正式交流和非正式交流

早期的科学交流主要采取面对面的直接接触和通信方式即一种非正式交流方式。虽然这种方式受时间和空间的限制太大，作用也比较缓慢，不容易扩散，但它在推动科学合作方面还是起了重要作用的方式。默顿认为，思想与思想的直接碰撞对观察和创造富有明显的启发作用。例如，1671年，让·里谢（Jean Richer）发现摆钟在巴黎和卡宴（法属圭亚那）走得快慢不同，他不能解释该现象，就把它告诉了惠更斯，“这位卓越的理论家把这个现象部分归因于地球在卡宴有更大的离心倾向。这里，里谢的观察导致了这样一个理论，同一个物体在地球的不同地方得到不同的重力加速度，可是如果这个观察没有交流给别人，那它就对当时的科学进展没有作用了”。（默顿：《十七世纪英国的科学、技术和社会》，第330—331页）卡文迪许早于库仑发现了静电力平方反比规律，但由于他的羞怯本性，未公开和同行进行交流，所以静电力定律被命名为库仑定律而不是卡文迪许定律。由此可见，只有进行交流才能在科学发展上将严格属于个人的观念和经验变成创新和发现的要素。

科学期刊在1765年出现后，直接的接触交流与非正式通信的交流方式逐渐让位于通过科学期刊发表论文的正式交流形式，以及通过学术会议进行交流的形式。当然，这种交流既存在着合作也存在着科学上的竞争关系。正如齐曼所说：“原始科学文献是科学共同体各个成员研究工作之间正式联系的途径。这种联系存在于合作与竞争两种力量的张力之中。”（J.齐曼：《元科学导论》，湖南人民出版社1988年版，第89页）这种通过科学文献的正式交流而建立起来的科学家之间的联系与互动，将马克思所说的科学劳动的特征（即以前人劳动为前提以今人劳动的协作为条件）转变为一种社会学意义上的建制了，这也就使科学的正式交流在科学社会学过程中逐渐变成为一种有支配作用的力量。

很明显，在科学交流中，科学家由于要对大自然负责，必然要用严谨、求实和批判的态度与方法对待科学交流文献中所报告观察、实验和理论观点。因此，每个要使自己的“发现”进入科学交流系统以获得科学共同体的社会承认的科学家都必须仔细检查或审查自己的发现和研究，从而使它能够经得起那种严格的检验。例如，胡克曾对牛顿的光学研究提出过严厉批评与质疑，这些非难使牛顿不得不作了大量的重新的订正。科学家之间这种严厉的批判是科学社会互动的激励因素、动力因素。这一点的确正如R.K.默顿所说：“科学家的工作在每一点上受到他

所探讨的现象的内在要求的影响，并且或许同样直接地受到他对其他科学家可以推知的批判态度或实际批评的 reactions 的影响，受到他自己的行为以符合于这些批判态度的这种调整的影响。”（见 R.K. 默顿：《十七世纪英国的科学、技术与社会》，四川人民出版社 1986 年版，第 333 页）。也正如 B. 巴伯所说：“科学发现不是那些不可解释的个人天才之神秘的产物；而是部分地能加以说明的社会过程的结果，在此过程中，个人和社会都各尽所能各司其职。”（B. 巴伯：《科学与社会秩序》，三联书店 1991 年版，第 222 页）几个世纪前的科学家之间自由的意见批判除仍然保留其形式和特色外，它还演变出一种科学家共同体的“同行评议”制度。特别是在论文审查和项目审查方面，同行评议制度是各国科研体制中共同的建制。

在同行评议制度的作用下，进入科学交流系统的某些发现在严格的/反复的检验中也有被重新剔除出科学发现之列的，也有未被检验出来的情况。据估计，后者比前者的数目要大得多。所以，就重被发现是科研作伪的情况而言，在科学交流系统中科学家同行评价的作用的有效性现在受到越来越严厉的质疑。例如，1911 年的被命名为多森化石的考古发现经过了近 50 年才在 60 年代被发现是作伪的“假发现”（当然，“多森”一词成了“科研作伪”行为的代名词）。20 世纪已经发现了 22 起科研作伪事件，其中美国 12 件，英国 3 件，法国 1 件，德国 1 件，印度 3 件，约旦 1 件，中国 1 件。然而，按有些学者的计算，每发现一起作弊行为，就有大约 100 起作弊案件未被发现，而每发现一起大作弊案件，背后就有 1000 起案件没有被发现，这样下来每发现一起就有 10 万起作弊事件逍遥法外，那么本世纪估计有 220 万起作弊事件。（参见宋子良等：“科学家弄虚作假的原因及其防范”，《华中理工大学学报》1995.1.83—90）这不是一个小数目。由此，同行评议制度受到越来越激烈的批评。但是，英国 1993 年组织一个高层次的调查组，对五个研究理事会的同行评议进行了全面研究。调查结果认为：“同行评议是一种不可替代的评议基础研究的方法。当然这种方法不是十全十美的，尚需引进其它评议方法的优点进行改进。”（参见吴述尧：“同行评议简议”，《科技导报》2/1993.44—45）

科研作伪现象的出现有各种各样的原因，如原始数据不易被其他人轻易看到，如来自多发表论文的压力，如名流科学家和科学家集团的声望与地位的无形保护，如科研期刊过滥，如科研自我管理的松散，等等。我们认为，这除了和科研过程中的荣誉地位以及研究资源方面的竞争越来越激烈有密切关系外，还与科学从比较自由的学术科学转变为工业化、国家化的科学的体制变化有关。关于这方面的研究我们在科学演化的自组织环境问题再加以详细的论述。

总之，科学交流反映的科学研究合作性质以及竞争性质使得科学交流越来越成为科学社会学过程的动力系统之一，它是科学奖励系统之外的又一种社会学意义上的科学运行的必要机制。

b. 科学家培养上的师徒制

科学家培养上的师徒制是近代和现代科学发展过程中自组织的产物，它一旦产生，又反过来对科学研究的合作的强化，以及对科学整体演化和运行发挥了重要的推动作用。

所谓科学家培养上的师徒制，我们不是指一般科学教育意义上的师生关系，而是指在这种教育基础上的研究合作关系，即在研究中导师指导学生，学生作为导师助手的合作研究关系，其中也包括高级与低级合作者之间的合作研究关系，近年来发展出来的访问学者、博士后流动站等科研建制，都属于这类科学家培养上的师徒制。这种科学家培养上的师徒制也常常是学派的萌芽基地。

近代之初，伴随着近代科学的出现，这种科学家培养上的师徒制就开始萌芽了。例如，开普勒被第谷·布拉赫发现而成为他的助手，结果使布拉赫多年观测的资料成了行星运动定律发现的有效基础；伽利略也有自己的学生；法拉第进入科学界时一开始是戴维的助手和学生。当然，在近代科学发展的早期，这种科学家培养上的师徒制是极其简单的、还未建制化的。到 19 世纪中叶和后叶，随着科学教育系统化和出现了科学研究的实验室，一些人受著名学者指导、教育而被培养为科学家从事研究，著名科学家也极需助手从事高、精、尖和大型研究，在这两方面的需求下，从事相互合作的研究越来越普遍，科学家培养上的师徒制于是逐渐成为一种体制化的建制。

科学家培养上的师徒制首先是科学发展的产物，同时又是科学合作与研究汇聚的催化剂。为了说明这一点，还是先让我们看看案例。引用 H. 朱克曼在《科学界的精英——美国诺贝尔奖金获得者》中的研究资料，科学研究中的最高层精英的师徒关系可以用如下图加以描述（见下页）。

哈·朱克曼指出：1972 年之前在美国进行其获奖研究的 92 位获奖人中，有一半以上（48 人）曾在前辈的诺贝尔奖金获得者手下当过学生、博士后研究员或低级合作者。而且由获奖者为师傅的科学家训练出来的人们获得诺贝尔奖金的时间要比其师傅从未获得过诺贝尔奖金的人们要早。

科学家培养上的师徒制，对于科学家进入高质量的科学研究行列，相应地进入科学社会的精英层，有着异乎寻常的积极意义。首先，它是一个自主自发的相互选择与追求的过程。那些未来的科学家往往追逐优秀的科学家，而优秀科学家用敏锐的洞察能力发现有希望的年轻研究人员，这种双向的自主选择过程往往使优秀的科学家汇聚起来。诺贝尔奖金获得者之间的承袭关系就反映了这种有前途的年轻科学家和他们的导师之间相互追求的状况。其次，这种社会互动使双方相互学习、取长补短，造成智力合作与激励，对学生而言，在师傅徒弟的相互关系中，学徒是社会科学家称之为社会化的时期，即通过与高水平的科学家的直接接触，打下一个包括工作标准和思想方式在内的比较广泛的基础，而师傅也正是通过他们自己的模范行为而获得或提高的威信，使得他们能够成为“杰出成就的诱发者”。第三，这种社会化过程包含着两种形式的社会动力，一种是“竞争动力”，即以个人在科学上的成就质量为标准选择学生、培养学生的科研能力与科学修养；另一种是“推荐动力”，

图 3—1 物理学和物理化学奖金获得者

（1901—1972）之间的师与徒关系

（据朱克曼的资料改写，未按每 10 年排列，
仅显示师徒间关系）

即通过导师在科学界的威望、影响以及在获得科学资源方面的优势来征

集科学研究的继承者，并把年轻科学家带入精英层，使得他们得以借助其影响比较容易地、更大地获得科学资源，从

图 3—2 生物化学和生物科学（1901—1972）
奖金获得者之间的师徒关系（据朱克曼的资料改写，
未按每 10 年排列，仅显示师徒间关系）

而为做出高级成就打下良好基础。

这就是科学界精英层内部的合作与相互作用的协同效应。

当然，科学家培养上的师徒制同样并非没有弊病，例如导师与学生之间也不都是充满了和谐与合作，他们之间有时也有矛盾与冲突。被忽视或自主性受到压抑、合作时署名不当等，都会在合作中以及师生关系中留下一些阴影。然而，从主要的方面看，如同科学奖励制度一样，它也极大地促进了科学研究，是一种使研究的协同效应得到有效增强的科学社会学建制。

c. 学派。（参见陈国达：“学派与学科”，《科技导报》7/1994，39—42 和赵万里、邢润川：“科学研究学派探析”，《科技导报》6/1993，21—24）

在科学社会学中，科学学派是科学合作的规模最大、内聚力最强的合作方式。按照学派发展和其组织程度可以将学派分为三类：

第一类，称为思想型学派，即没有一定的组织形式，仅凭某种有吸引力和凝聚力的学术思想或研究方法把彼此没有组织上和研究条件上联系的一些科学工作者维系着而自发形成的松散的群体。这类学派是“科学家的一种特殊的创造性联合，是围绕某些权威提出的某种思想和方法形成的几代人的智力合作。这种合作不是基于任何形式上的社会组织，而是基于一种独特的思想传统，以及由此形成的学术继承关系”。（见赵万里、邢润川：“科学研究学派探析”，《科技导报》6/1993，21—24）

思想型学派是科学发展史早期的学派形式，对于当时的科学发展起过很大的作用。例如，物理学领域中的微粒说和波动说，化学领域中的燃素说和燃烧说，地质学领域中的火成论和水成论、均变论和灾变论等。这些对立学派的科研活动和争鸣对推动有关学科前进所做出的贡献极为显著。即使在现代科学中的某些学科或其中的某些领域内，思想学派在发展中的作用也不可忽视。

第二类学派被称为科研组织型学派。所谓科研组织型学派就是具有紧密的组织形式，是以一个科研机构，如研究所、研究室、实验室或研究小组等作为固定科研活动基地，其中科学工作者彼此之间，除了某种共同的学术思想或研究方法的维系外，还具有组织上和研究条件（仪器、经费、场所等）上的密切联系的科研群体。有时也把科研组织型学派称为科学研究学派，或称研究学派，也可称为组织（型）学派。这类学派是“由成熟的科学家组成的小组。在这小组中，成熟的科学家与同一机构的年轻新秀并肩从事一项相当紧凑的研究计划，并在社会和智力两方面进行直接不间断的相互影响”。（见赵万里、邢润川：“科学研究学派探析”，《科技导报》6/1993，21—24）

事实上，科学研究学派（Scientific Research schools）的高度创造

性和有效性是它自身的结构和功能决定的。例如，由于它以学术权威为核心，是以共同的研究范式为基础的科学共同体，所以它通常产生于新理论、新方法、新学科的生长点上，并对科学理论、方法、学科的发展产生重大的影响。其次，它是通过有力的学术纽带把科学家联合起来的社会组织，是一种充满创造意识的集体。所以它使科学活动有效地集团化和社会化，形成群体互动和智力合作，从而大大提高了科研活动的效率，加快了科学发展的速度。当然研究学派也是一种排他的富于竞争性的整体。新学派向旧范式的挑战、不同学派的并存和它们在学术上的激烈竞争，构成了科学发展中的进化图景。

很明显，科学革命的直接动力来自新研究范式的提出和对旧范式的变革。而研究学派正是新研究范式的提出者。其次，科学中，不同学派的并存构成了充满活力的竞争结构。对于科学家及其理论来说，这种竞争结构在客观上形成了一种“生存斗争”环境。它迫使科学家主动为自己的学说和学派的生存权利参与竞争，千方百计地证明和修正自己的学术观点，以在科学发展的“自然选择”过程中获胜。最后，研究学派内部也包含着一种自我发展、自我完善和不断分化的社会过程。例如，在物理学领域，卢瑟福学派先后有 14 人获得诺贝尔奖，玻尔学派和费米学派分别有 7 人和 6 人获此殊荣。在分子生物学领域，仅德尔布吕克的“噬菌体小组”就培养了近 30 位诺贝尔奖获得者。这不容置疑地证明了研究学派作为一种组织研究活动的文化方式的有效性和巨大创造力。

研究学派也有缺点，即其科研活动一般地限制在机构范围内，空间较小，接触面较窄，发现新问题和新思路的机会较少。

第三类学派既有组织学派的研究机构作为中心，又有思想学派的成员围绕在中心周围，在一个共同的学术思想或研究方法的维系下，二者分头研究或在一定程度上互相配合，朝着共同的目标开展科研活动。这类学派可称为思想-科研（型）或思想-组织（型）学派。

我们知道，科学的发展，主要体现在学科的发展上，包括原有学科内容、理论和方法的更新，以及新兴学科的出现等。就科学的不少领域而言，学派的发展和学科的发展有着密切的联系。学派的发展乃是促进学科发展的动力；学派发展既是原有学科进步的源泉，又是新学科萌生的土壤。例如，在地质学发展史上，由于历史论和因果论两个学派科学活动的深入，以及它们之间的长期论战，就曾促使大地构造学、地史学、岩石学等科学理论大步前进。

从认识的角度看，人类对自然界的认识有个过程，这个过程必然是由浅入深，由表及里，由现象到本质；学术思想和研究方法也随之不断发展，推陈出新。对于任何客观事物或现象有不同认识时，形成了不同的观点并形成不同的学派。某些新观点逐步成熟时，便可形成新概念。某些新概念逐步成熟时，便使原有学科得到充实提高和更新，还可形成新学科。由于新学科是由新观点、新概念逐步发展而成的，所以学派的分异往往是学科分异的先导，新学科的建立往往是新学派发展的结果。这样就推动学科自然地进化起来。

学派之所以能成为发展学科的推动力，其原因在于它是一个以共同赞成的、以某个权威为核心的学术思想体系来维系的群体。如果一个新的学术思想相对传统观念有较大进步，或在学派分异中更较接近客观实

际，或其研究方法更有实效、生命力更强，它将会通过它的威望和鼓舞把广大成员的创造力调动起来，为探索某个共同要解决的学术问题而在研究思路或研究途径上分头或协作努力，做出贡献。因此，一个充满生机的学派往往出现在某个学术领域中一个学科的生长点上，或者使原有学科发生变革，从而对学科发展产生重大影响。

d. 一种新的合作方式和建制——合作实验室。（参见秦健：“美国‘合作实验室’的发展及其对我国科技政策的启示”，《科技导报》11/1995.21—22）

目前，风靡全球的 Internet 正在从根本上改变科学家工作的方式和方法，电子邮件及其他数据交流技术将科学合作大大推进了一步，而许多这些合作在过去都是非常困难甚至是不可能的。“合作实验室”（Collaboratory）的概念是由 w. 伍尔夫（William Wulf）在 1989 年首次提出的。其定义是：“没有围墙的 [研究] 中心，不同地区的研究者可以互相交流，操作仪器设备，共享数据及计算资源，并查询电子图书馆所存储的信息。”从技术上看，它是一个分散的计算机系统，它拥有计算机网络联结的实验室仪器和数据收集工作台，能提供科研合作所需的财物和人力，具有组织、管理数据和大规模数据共享的能力。总之，合作实验室提供的技术基础是特为支持科学家、实验仪器及网络数据之间的配合协同与克服地理区域的障碍而建立的。1991 年会议结果之一就是确立了三个学科试点：海洋学，该学科在收集数据上的困难与费用、实验和模型构造上的相互独立性，都为合作提供了良好的动机。空间物理学，该学科必须广泛应用计算技术来分析数据。基因图谱与序列，该领域的研究已导致大规模数据库的建立及对其与日俱增的依赖。

合作实验室的功能有：数据分享，即在不同地点研究同一项目的科学家能迅速、方便地查找本单位与外单位的数据库。软件分享，即在不同地点的科学家能方便地分享支持数据分析、图表可视、模型构造的软件。远程仪器控制，即各地的科学家能操纵、控制那些位于人类难以达到的地方的仪器，如南极、宇宙空间。远程学术交流，此地的科学家能与彼地的科学家进行跨越时空的实时交流。

以上我们简要地研究和讨论了科学作为一种社会活动时科学家之间相互竞争与合作对于科学活动的若干动力作用问题。研究表明，其中有些已经形成为科学社会活动的稳定的运行机制，即已成为建制化的制度。我认为，按照自组织科学理论的观点，这些就是科学在自我演化过程中产生出来并反转过来进一步支配科学演化的“序参量”，然而，光有这些作为“序参量”的“硬件”（即科学制度）还不够，实际上，在这些硬件背后还有一些起着内化作用的标准和规范，我把它称之为和科学硬件性“序参量”相配套的“软件性”序参量。那么，这些“软件性序参量”究竟是什么？我认为，似乎只有默顿所概括和抽象所谓科学精神气质或规范才有资格充当这一“软件式序参量”。同样，这些规范或科学精神气质也产生于科学活动中，并且连接着科学认识活动和科学社会活动，以其科学认识的客观标准为基础，规定、限制或影响着科学家的行为与社会活动。

这些规范主要包括：

普遍性。一项研究成果能否得到社会承认并载入科学史册，与提

出成果的人的社会地位、种族、国籍、宗教信仰、阶级以及品格无关。这一规范剔除了非科学因素对科学不必要的干扰，在科学与非科学之间作了划界。没有这一规范，科学发现就会被偏见所左右。

独创性。这是规范中最重要的一条。所谓独创性即科学发现是对未知的发现，一项研究如果没有科学知识增添新内容，就没有任何意义。该规范强调科学发现的首创性，鼓励科学家的创造性，而强烈地指责科学研究中的各种作伪行为。独创性和科学奖励关联最强，以保证科学知识不是重复而是发展。

有条理的怀疑主义。任何科学知识都必须经受仔细严格的检验，包括经验与逻辑的检验。科学家必须具有怀疑精神，无论知识来源于何处，在它见诸于文字之前虽然经过了一定程序的筛选和审查，但仍然是可怀疑的。而且每一个人都不可避免地会犯错误，极个别人还会作伪。因此，在知识成为确证无误的知识之前，必须对其加以批判地检验。

公有性。即科学发现的成果应该公开，成为全人类的共同财富，而不是首创者个人的私有财产。科学发现也只有公开后，才能得到科学共同体的承认。获得承认的成果在科学交流中传播时，即他人在利用其成果时，必须通过注明其出处给予发现者或创造者以荣誉和尊重，否则就会被认为是违背了科学研究的道德或侵犯了著作权、版权等；而专利的公有性则是指其内容而言的，这种公有性的代价是给予专利人一定时间和范围的制造专利的私有垄断权。在工业化科学阶段，公有性规范也要求科学家对其研究成果的保密不超过一个合理期限。公有性规范和独创性规范一起运用以发现公开日期为首创日期的手段，将首创权的荣誉授予发现者，同时制约违反公有性规范的行为。这一规范对于保证科学知识为全人类共有、科学知识的公开和交流，都起了重要作用，它是促使科学家个人的思想与研究汇入科学研究洪流从而使科学不断进步的重要动力。

以上这些规范支配了科学家的科学社会活动，同时又由于它们是科学活动中属于精神类的东西，即软件性的东西。所以，我把它们看作为科学社会活动的“软件性序参量”。很明显，它们不可能单独起作用，而是同科学社会活动中的社会化建制——“硬件性序参量”一道发生作用的。它们也同样与科学认识活动中的那些“序参量”（如问题、理论普遍化因子、经验适合性因子，其中又包括理论的可检验性、理论的自治性、解释与预见能力等）结合在一起，共同支配着科学家的认识行为和社会行为。其相互关系是：认识活动的规范从本质上制约着科学家的认识活动，是科学家社会活动存在与演化的内在根据和基础。例如，如果没有基于认识客观实在的基本要求，没有可检验性的要求与规范，科学活动就会与迷信、巫术和宗教活动无法区别。所以，在这个意义上，科学家的社会活动规范是科学认识活动规范的社会学表现与反映，而科学社会学性质的规范则是其认识活动的非真空的社会保证和社会化、复杂化的演化发展。这两者的有机结合，构成了科学认识活动与科学内部社会活动的统一与相互作用。

综上所述，在科学认识活动的基本动力规律的潜在支配之下，科学家之间社会化的竞争与合作，以及由此而生成的科学社会化活动的规范

与准则——它又反过来进一步支配着科学家之间的竞争与合作，在社会学意义上成为支配科学社会化活动的基本动力，它直接推动着科学内部社会活动的发展，并与科学认识活动的那些动力构成交互作用的循环圈，间接地推动科学认识活动的有序演变与进化。

第四章 科学自组织演化的 随机涨落力及其作用

科学中许多发现的获得和许多概念的演化，都是其发现者和贡献人始料不及的。特别是在研究之初，研究者大概只能提出一个大致的方向，谁能在研究过程之初就一定知道自己研究后所获得的成果呢？作为一个研究者，我们都有切身体会，即我们一般只知道该课题的意义如何，根据问题所涉及的各个方面和它的基础所涉及的理论深度和广度，我们能了解课题的意义，能大致估计预期研究的意义，我们常常以“虚拟语气”说：如果研究在……条件下能够深入，能够成功，那么将……。在现代科学已经如此发达的今天，科学研究常常以某种基金的形式给科学家以资金资助，而为了获得基金资助，科学家必须履行申请基金资助的一套程序，在填写申请书时，我们要写清“立项依据”（项目的研究意义，国内外研究现状分析）；要提出“研究方案”（研究目标、内容和拟解决的问题，拟采取的研究方法、技术路线、实验方案及可行性分析，项目的特色与创新之处，预期的研究进展和成果）；要给出“研究基础”（研究者与该项目有关的研究工作积累和已取得的成绩；已具备的条件和尚缺少的条件，拟解决的途径；申请者的研究能力状况）。在这些项目中，许多都是事先不确定的。此外，在研究中，我们也许会和原来研究的初衷不一致的、新的东西，从而使研究方向有所改变。所有这一切，都是在研究之初未曾想到的、未曾料到的事情。再有，科学认识的各种形式，如假说、定律、理论等等，一方面是科学认识过程中的参与者自觉活动的结果，另一方面，这种结果的获得，却又不是事先预定的，更不是在探索之前或之中就可以确定无疑地得到的。所以，科学研究常常有很大的不确定性，即随机性，在科学探索中也常常会出现意料之外的发现。

从自组织理论观点说，意料之外的科学发现，构成了推动科学内在发展的随机性涨落力，它意外地、随机地刺激起新的观念，促使研究者发现科学中原本看似无联系的事物之间的联系，找出新的关系和线索。这样，它常常形成新的发展方向；有时，还会将新发现关联起来，形成一系列发现，从而促使整个学科或科学认识发生质的飞跃或突变。本章中我们研究三个问题，即科学研究上的意外发现及其类型，创造性思维与意外的自组织科学发现，科学研究中意外发现的作用以及意义。

一 科学研究上的意外发现及其类型

纵观科学史，意外的、偶然的科学发现大致可以分为两种类型：一是在科学研究中，原来预定的科研目标没有达到，但却意外地得到了完全不同的其他结果；二是在科学研究中虽然原来的科研目标实现了，但是其实现目标的途径与场合却是意外的。下面让我们先讨论一些案例。

第一种类型的典型案例，是伦琴关于X射线的发现。

X射线的发现并不是起源于X射线的研究，而是起源于阴极射线的研究。换句话说，它是在研究阴极射线的过程中被意外地发现的。19世纪末，物理学家对阴极射线的性质以及作用还没有搞清楚，因此，这一研

究是当时物理学家关注的一项重要课题，许多物理学家和物理实验室都致力于阴极射线的研究。著名的物理学家赫兹发现阴极射线能穿过金属箔，能在空气中运行一段很短的距离。当时，德国维尔茨堡大学的校长、物理学家伦琴（W.K.Röntgen）对这个问题也很感兴趣。他是一位治学严谨、造诣很深的实验物理学家。1895年11月8日晚，他正在操作阴极放电管，放电管用墨黑的厚纸包得严严的，房间里也一片漆黑。突然，伦琴发现在不超过一米远的小桌上那块用亚铂氰化钡做成的荧光屏上发出了闪光，伦琴没有忽略这一现象，因为，通常阴极射线是不能有这么远距离的传递的。伦琴开始把荧光屏挪远点儿，再挪远点儿，他发现仍然在屏上有伴随放电过程的断断续续的闪光。然后，他又取了各种各样的物品，其中有书本、木板、铝片等，置于放电管和荧光屏之间，继续他的实验。他进一步发现，各种物品的效果大不一样，例如，这种射线可以穿透几厘米厚的木板、薄薄的铝片，能穿透人体的肉体组织显示其骨骼。很明显，这种射线是一种穿透力很强的、新的未知的不同于阴极射线的射线。当然，为了确证这一射线的存在，他后来连续工作了六个星期，深入地研究了新射线的现象，了解了这一射线的性质和作用。最后以通讯的方式把他的发现公之于众。由于X射线有强大的穿透力，能够透过人体肌肉组织显示其骨骼并能穿透薄金属，在医疗和金属检测上可能有重大的应用价值，因此这一发现引起了人们的极大兴趣，一时出现了街头巷尾谈论X射线和各国科学家竞相研究X射线的空前盛况。

X射线的发现完全不在研究者预定的研究项目之中，也不在其计划和预想范围之内，而是在研究阴极射线即另外一种现象时，意外地发现的，真可谓：“射獐得马”啊！

案例之二：柏琴（W.H.Perkin）因采用某种苯胺物质提取奎宁而发现苯胺紫。

1856年，英国皇家理学院学生柏琴在做实验时，想用化学方法即用重铬酸钾氧化烯丙基-O-甲苯胺的方法来提取奎宁，但他失败了。然而，他虽然失败了，但却很想知道如用同样的氧化物与一较简单的碱相互作用会出现什么情况。柏琴选用了硫酸苯胺。这样，在实验中第一次提取出了苯胺染色剂。这一发现为人工合成染色剂的工业方法开辟了新途径。这一案例也是试图发现A，却意外地得到了B的案例。（参见W.I.B.贝弗里奇：《科学研究的艺术》，附录）

案例之三：贝克勒尔研究荧光物质与X射线关系而发现放射性。

1895年底，伦琴将他的第一篇描述X射线的论文“初步通信：一种新射线”和一些用X射线拍摄的照片分别寄送给各国知名学者。当时法国著名科学家、法国科学院院士彭加勒也收到了伦琴的照片和论文。1896年1月20日，在法国科学院例会上，彭加勒展示了照片和论文。这一重要发现对与会者震动很大，其中也有贝克勒尔，他当时就问彭加勒产生这种射线的机制，彭回答说可能是从阴极对面的那部分管壁发出的，而荧光物质也许同阴极射线同一机理。贝克勒尔回家后立刻开始实验荧光物质在发荧光的同时会不会发出X射线，但他试来试去始终没有找到这种同X射线的联系。后来，他按照彭加勒的思想开始寻找荧光与X射线的关系，并在不久找到了有这种效应的物质即铀盐。在1896年2月24日向法国科学院的报告中，他说：“我用了两张厚黑纸……包了一张感

光片，纸非常厚，即使放在太阳光下晒一整天也不致使底片变色，我在黑纸上放一层磷光物质，然后一起拿到太阳光下晒几小时。显影之后，我在底片上看到了磷光物质的黑影。……在磷光物质和黑纸之间夹一层玻璃，也做出了同样的实验。这样就排除了由于太阳光线的热从磷光物质发出某种蒸气而产生化学作用的可能性。所以，从这些实验可作出如下结论：所研究的磷光物质会发射一种辐射，能贯穿对光不透明的纸而使银盐还原。”在这里，贝克勒尔误以为 X 射线的产生是由于太阳光照射铀盐的结果。24 日以后，他继续做实验时，老天不做美，一连几天没有出太阳，他只好把所有物品放在抽屉里，把铀盐也搁在包好的底片纸上，等待好天气。在他给科学院的第二次报告中，他这样描述了当时的情景：“由于好几天没有出太阳，我在 3 月 1 日把底片冲了出来，原想也许会得到非常微弱的影子。相反，底片的廓影十分强烈。我立即想到，这一作用很可能在黑暗中也能进行。”（参见 A.Romer, *The Discover of Radioactivity and Transmutation*, Dover (1964) P.8）。在此，任何一个智力健全的人都会想到原来以为磷光（和荧光）物质与 X 射线同一机理的设想不符合实际。他立即放弃了原来的设想，转而研究铀盐的各种因素对辐射的影响。他通过进一步的实验发现，纯金属铀的辐射比铀化合物强好多倍。他弄清铀盐辐射性质后，才正确报告了关于铀盐的贯穿辐射是一种自发现象，只要存在铀这种元素，就会产生贯穿辐射。

研究荧光物质与 X 射线的关系，却发现了同 X 射线无关的放射性现象。这个案例也说明了最初研究和研究发现的意外关系。

在科学史上这种案例还有很多。例如，伽伐尼解剖动物却意外地发现了电流；闵可夫斯基研究胰脏消化功能时意外地发现了胰岛素治疗糖尿病的方法，等等。

第二种类型的典型案例，是英国细菌学家弗莱明意外发现青霉素的案例。

“当时弗莱明正在进行葡萄球菌平皿培养，实验过程需要多次启开，从而培养物受到了污染，这种情况是常见的。弗莱明注意到，某个菌落周围的葡萄球菌菌落都死了。许多细菌学家不会觉得这有什么特别了不起，因为当时早就知道有些细菌会阻碍其他细菌的生长。然而弗莱明看到了这种现象可能具有的重大意义，予以深入研究，发现了青霉素。……还有一点值得一提，当时弗莱明若不是在一座拥有大量灰尘从而容易发生污染的旧房子这种‘不利’条件下工作，那么这个发现可能也就做不出来了。”（参见 W.I.B. 贝弗里奇：《科学研究的艺术》，附录）

第二个这方面的典型案例是丹麦物理学家奥斯特发现电流磁效应。

丹麦物理学家奥斯特长期致力于研究电和磁的相互关系。在自然哲学方面，他是德国哲学家谢林的“统一性哲学”的信徒，多次听过谢林的自然哲学讲座。他一直认为，自然界中的一切都是统一的，千差万别的各类事物都是有联系的，是某种力的表现效应。在电与磁关系上，他一直就认为电、磁是一家。然而从 1912 年左右开始到 1920 年前，他却一直未能发现电流的磁效应。1820 年 4 月，在一次演示报告会上，他把

一个小磁针无意地放在了通电电流导线之下，发现小磁针的指针发生了偏转。对此他激动异常，过去他总是把导线垂直地放置，而从未有过磁针偏转的现象出现。据说，他不善于做实验，总是需要有一个助手（参见[美]弗·卡约里：《物理学史》，内蒙古人民出版社1981年版，第222页），除了在当时刚刚有了比较强的伽伐尼电池这一客观条件外，这可能是他一直没有作出发现的基本原因。

奥斯特发现电流磁效应也十分清晰地再现了在科学研究中虽然达到了原来的科研目标，但是其实现目标的途径与场合却是意外的发现的典型情况。

以上，我们仅仅讨论了实验上或物质上的科学发现，在观念上的发现或发明同样有这样两种类型。有时我们对一个问题冥思苦想，百思不得其解，在长时间思考后，思维反而放松时，结论或观念却突然蹦了出来；有时我们在思考一个问题时却得到了对另一个问题的解答。这里第二种类型就是实验上意外发现的第一种类型；而这里第一种类型则是实验上意外发现的第二种类型。

二 创造性思维与意外的 自组织科学发现

在关于创造性思维方面，我们经常听到有关“灵感、顿悟和直觉”等非理性思维因素的创造性作用。在导论中，我们曾把科学发现证明为一种自组织的过程。在那里，我们一方面证明了科学发现的自组织性质，另一方面也指出科学家特别是其创造性思维在科学发现中的作用。在创造性思维中，非理性的因素即“灵感、顿悟和直觉”等对于科学家而言，就特别具有意外性。例如，在贝弗里奇《科学研究中的艺术》一书中专门有一章探讨“直觉”，他对直觉所下的定义是：

指对情况的一种突如其来的颖悟或理解，也就是人们在不自觉地想着某一题目时，虽不一定但却常常跃入意识的一种使问题得到澄清的思想。灵感、启示、和“预感”这些词也是用来形容这种现象的……当人们不自觉地想着某一题目时，戏剧性地出现的思想就是直觉最突出的例子。……在自觉地思考问题时突如其来的思想也是直觉。（第72页）

意外的发现之所以是意外的，就是发现者事先未曾预料到的；然而，在另一方面，如果发现者在事件来临之际还不能从主观上自觉地意识到发现，那么科学发现也就会从他的指间缝隙中悄悄溜走。换句话说，也就是发现来临之际，发现者必须能对这一发现的意义有所颖悟，有所理解。这就是一种直觉。很明显，这里需要两方面的努力并且这两方面还要合拍，即第一需要发现的来临（客观），第二需要研究者的意识到位（主观）。这第一方面强调的是科学发现的自组织性质，这第二方面强调的是科学家的创造性作用，科学发现就是在这两种作用的综合与统一动力下做出的。

意外性的思想或发现的出现，更证明了科学发展的自组织性质。因

为它并不依赖于科学家本人，而是超出了科学家的自觉思考范围之外的东西。

许多科学家认为，直觉还是可以探索和捕获的。他们绝大多数认为有助于产生直觉的方法和条件有如下方面：

对问题和资料进行长时间的考虑，直至达到思想的饱和，这是最重要的前提；必须对问题抱有浓厚的兴趣，对问题的解决抱有强烈的愿望。……当然，头脑中思考的资料针对性越强，作出结论的可能性也越大。

摆脱分散注意力的其它问题或有兴趣的事，特别是有关私生活的烦恼，这是一项重要条件。

另一有利条件是不受中断。

多数人发现：在紧张工作一段时间以后，悠游闲适和暂时放下工作的期间，更容易产生直觉。

与他人接触对思维活动有积极的促进作用，如与同事或一个外行进行讨论，写研究报告或做有关的演讲，阅读科学论文，包括与自己观点不同的论文，都可能促进直觉的产生。

新想法常常瞬息即逝，所以必须努力集中注意，牢记在心，方能捕获。（参见贝弗里奇：《科学研究的艺术》第81—82页）

从以上几点看，对于直觉而言造成一个能够产生直觉的环境似乎更重要，这个环境正是使直觉产生所需的各种物质的、能量的和信息性的要素得以积累，从而达到一定阈值，使直觉自然而然地、不依赖于思考者或研究者地产生出来；甚至有的哲学家这样认为，人并没有什么预先注定的本质，人的本质决定于自由和创造能力，人的特征是创造的产物。这就表明，类似直觉和创造性这样的思维因素也都同样具有自组织的特性，所以，科学发现作为这些思维的产物或结果就更是自组织的过程的自然结果了。

三 科学研究中意外发现的作用以及意义

仔细考察，我们会发现，科学史上绝大多数划时代的科学发现（包括技术发明）或多或少都带有意外性。这是因为，所谓开创性的发现必定意味着，它们在逻辑或本质上不会存在于旧知识或已有知识的框架内，有的甚至还与其相左。所以，人们根本不可能从已有知识中对这类发现作出预见，而只能在科学实践的具体过程中从偶然产生的意外现象中作出发现。发现的意外性、偶然性在这里表现得比较突出。而这种突出的表现又反过来说明，所发现的事物或知识不能容纳到已有知识的仓库中，或是已有知识需要部分变革，或是已需要从基础上进行根本性的变革了。于是，发现的意外性和偶然性，也从反面反映了所认识的事物的性质和规律的所在范围和深度。这正如恩格斯所说：“在表面上是偶然性起作用的地方，这种偶然性始终是受内部的隐蔽着的规律支配的，而问题只是在于发现这些规律。”（《马克思恩格斯选集》第4卷，第243页）所以，从这个意义上说，意外的科学发现正是科学演化自组织过程带有必然性（达到一定条件就一定会出现自组织过程）的随机涨落。

随机涨落在当代自组织科学理论中是被当做非常重要的动力作用而看待的重要因素。普里戈金认为，“在通过能量和物质流动而形成稳定结构之前，涨落起着主要作用。”（参见湛垦华等编《普里高津与耗散结构理论》，陕西科学技术出版社 1982 年版第 54 页）这表明，涨落是演变的触发器，通过涨落才能达到有序。事实上，科学史中有关重大的意外的科学发现引发科学革命，导致整个科学基础的重大变革，从而带来科学的重大演变的案例并不在少数。19、20 世纪之交的那场物理学革命，就是由几个开始看来不过小小的发现及其发现的连锁反应拉开序幕的。小的意外的发现，有时会带来雪崩式的跃变发展。

归纳起来，作为随机涨落性的意外科学发现，对科学发展的推动作用主要有以下方面：

意外的科学发现常常为科学新知识的生长提供生长点，是科学“相变”的晶核。我们知道，极为纯净的水是很难结晶的。然而，如果在水中有一粒尘埃或花粉粒子或其他粒子，即提供了结晶核的话，那么结晶过程会非常迅速地进行起来。科学认识也是同样如此，在完全未知的情况下，人们很难认识一个事物，而一旦意外的发现打开一个认识的突破口，认识就会迅速从该突破口发展进去，扩展开来，就像结晶过程那样。例如，电流效应和电流磁效应的发现，就是电磁场理论发展的晶核，电流性质的研究和电磁理论的建立与发展正是以此为基础而迅速生长起来的。

有些科学上的意外发现常常会引起一系列的发现，造成一种随机发现的关联、放大、会聚，从而引起科学革命。这在 19、20 世纪之交的物理学革命之前，表现得尤为明显。例如，伦琴从阴极射线的研究中意外地发现了 X 射线，这一发现由于吸引了大批科学家，因此引发、催化了一系列新发现，如直接的有放射性的发现，间接的有放射性元素的发现、同位素的发现和认识、量子现象的认识，等等。我认为这种连锁式的发现正是自组织中典型的随机涨落的关联放大效应在发挥作用，是这种效应的体现。在这场物理学革命到来之际，那些曾先后涌现出一大批对传统科学而言是意外的现象、事实或称为“反常”和“危机”事实上成了物理学革命的催化剂。例如，对旧的以太理论而言是意外的“反常”的迈克尔逊-莫雷以太实验，激励了许多物理学家（如菲兹杰惹，洛伦兹等）研究以太问题，从而使这一问题成为一个在当时突现的问题，这就带来了解决该问题的更多的机会和可能性；对旧的关于微观世界的认识也都是意外和反常的由 X 射线到放射性元素的一系列发现，以及 α 粒子散射实验结果，为打开原子世界的大门、结束原子是组成物质世界的最小单元的认识，提供了坚实的基础；对经典热力学理论是反常和意外的黑体辐射的实验，为普朗克最终解决问题作了最后的推动；对旧波动说是意外的量子光电效应，为量子论的建立提供了证据。而当所有这些问题或接踵而来或同时蜂拥而至时，它们在科学家心理上也造成了一种革命性的效应，至少他们会感觉到，或可能问：这么多问题出来了，经典理论对此又无能为力，出路何在？当绝大多数科学家都有这种感觉时，就会从根本上动摇对旧理论的信念，所谓“山雨欲来风满楼”就是这个道理。当这种气氛笼罩部分或整个科学界时，它就会促使科学家特别是优秀的科学家去检验旧理论的根基，促使一批年轻科学家另辟蹊

径，从而激励了、催生了新思想、新观念、新方法、新理论的诞生。

至此，我们已经讨论了三种科学演化的基本动力，第一种即科学作为一种认识活动的动力，它主要涉及科学知识体系中的基本要素，如问题、实验、理论等要素的相互作用；第二种即科学作为一种社会活动的动力，它主要涉及科学认识活动的主体承担者——科学家的竞争与合作性的相互作用；第三种即在科学既作为认识活动又作为社会活动的过程中，随机因素的动力作用。三种动力作用可以列表如下。表 4—1 科学演化的动力及其序参量

需要指出的是，科学发展不仅需要内部动力的推动，而且需要外部环境的条件具备，即外部环境要给科学演化提供必需的物质、能量和信息。当然，这绝不意味着要求提供给科学一个无比优越的环境——在这样的环境中，“营养过剩”将同样使科学不能自组织地发展。

对于科学发展而言，必须实现三种耦合，科学发展才能成为自组织性质的循环进化。这三种耦合是：

内部动力要素之间的强耦合。它包括科学认识活动中各个要素之间的耦合，科学社会活动各个要素之间的耦合，以及科学认识活动与社会活动各个要素之间的耦合。例如，理论与经验的耦合，学科之间的渗透，各种学科方法的移植、嫁接和融合，理论的继承与创新、基础学科同技术学科的关联等。

外部环境要素之间的耦合。例如教育与科学发展的耦合，政治环境与气氛，经济发展的条件等。关于这方面的讨论是下一章的任务，这里不再赘述。

内外要素的耦合。科学发展需要一定的环境输入，环境变革也同样需要科学的贡献。例如，科学需要良好的、民主的政治环境和有力的经济条件，社会 and 经济发展同样需要科学为其服务。重要的是，这种耦合既需要找到两者的结合点，又不能损害各自的相对独立性，由此才能使耦合向有利于科学和社会共同进步的方向和目标推进。

第五章 科学系统的开放与控制

一 科学是一个开放系统

创立一般系统论的贝塔朗菲 (L.V.Bertalanffy) 把系统定义为：“……处于自身相互关系中以及与环境相互关系中的要素集合。”（参见贝塔朗菲：《一般系统论（基础、发展和应用）》，清华大学出版社 1987 年版，第 240 页）按当代系统科学的研究学者们绝大多数人的意见和认同，存在着两类系统：开放与封闭系统（物理学上把系统分为二类：开放系统、封闭系统和孤立系统），所谓开放系统即该系统与其环境之间存在着物质、能量和信息的交换；而封闭系统则无这种交换关系。当然，在实际过程中，系统或多或少总是同其环境有着这样或那样的交换关系，严格意义上的即与环境完全无交换关系的系统是不存在的。

协同学创始人 H. 哈肯曾指出：“科学在协同学的意义像是一个开放系统，不断有新的发现和思想注入其中。”在这里，哈肯所说的意思，还主要是指科学内部各个层次之间存在着相互作用，存在着信息交流，进行着种种交换、更迭和代谢。事实上，不仅在科学内部，而且在科学外部，科学（及其各个部分）系统与其环境都存在着物质的、能量的、信息的交流。科学作为一种认识活动（包括它的知识体系）和社会活动（也包括它的社会建制），它的产生和发展即演化是自身内在逻辑与社会历史条件综合的过程。这也就是说，科学作为一种系统，首先是一种开放系统，其次，科学系统的产生和发展，不仅取决于科学系统结构自身的历史变化，而且取决于科学所处历史时代的社会环境影响。我们在这里要论述的，主要是科学系统与外部环境之间的相互作用。

让我们先看各门具体科学在自己的演化过程中同内外部环境的物质能量信息交换。

1781 年 9 月 21 日，著名数学家拉格朗日在给达朗贝尔的信中说当时的数学研究时指出：“在我看来似乎（数学的）矿井已挖掘很深了，除非发现新的矿脉，否则迟早势必放弃它。现在物理学和化学提供了最辉煌的财富，它们也比较容易开发……”（[美] M. 克莱因：《古今数学思想》（ ），上海科技出版社 1979 年版，第 383—384 页）这段话表明，作为纯粹的抽象化、工具性科学的数学，也还是需要经验性科学并借助它们从自然对象和社会对象的研究中吸取“营养”的。

默顿对 17 世纪英国的科学、技术和社会的研究也提供了一个历史性的案例。下面是根据他的研究表简编的一个表格（去掉了各个年份，只留下了四年总的百分比；参见默顿：《十七世纪英国的科学、技术与社会》第 312 页）。从该表上看，纯科学研究即科学家选择课题在纯科学领域的百分比不如在应用领域研究的百分比高。这也就说明，社会经济的需要对科学研究或多或少是有影响的。当然，默顿对此与萨顿博士一样，他们都认为，对科学研究的外部制约因素不是恒定不变的，因此，不能把一个时期的研究推广到科学史的任何阶段上或全部阶段上去。然而，默顿的科学研究历史的研究，毕竟说明在 17 世纪的英国科学研究是受到多少受到社会经济需要的强烈影响的。

表 5—1 社会经济需要对伦敦皇家学会会员
选择科学问题影响的大致程度

	1661 1662 四年总计	1686 1687 百分比
纯科学.....	333	41.3
联系社会经济需要的科学...	473	58.7
海上运输.....	129	16.0
采矿.....	166*	20.6
军事技术.....	87	10.8
纺织工业.....	26	3.2
一般技术与务农.....	65	8.1

*原数字为 168，计算后估计有误，改为 166。

著名的物理学家、诺贝尔物理学奖金得主冯·劳厄在其《物理学史》中回顾中世纪教会对科学思想的禁止和以后的演变后指出：“十八世纪和十九世纪中，政治和教会的权威们不再试图对物理学进行这样的干预（即指对伽利略、布鲁诺和哥白尼学说那样的干预和迫害）……这种不干预科学的情况一直延续下来，可是到了希特勒时期，在他的暴政下，相对论首先被禁止了。而这种情况也转瞬即逝了。基本上，物理学能够按照它自己的规律平静地发展。结果，科学和日常生活分不开了，不仅通过它的技术应用直接地起作用，而且科学还以比较平静但决不是软弱无力的方式以它的观念对个人以及民族的总的活动范围产生如此强烈的影响，以至如不考虑这些影响连政治史也不能被理解。”（第 7 页）从这段话（包括黑体）可以看出，科学受到政治、宗教的影响，它也影响技术并通过技术和观念影响着日常生活。

以上我们所涉及的主要是科学作为认识活动的信息类输入和输出。

实际上，科学系统还和环境（社会的各个方面，如经济、政治和文化等）有着物质和能量的交换关系。例如，没有资金的投入、人力的投入、仪器设备的投入，科学就无法进步，这在当代尤其如此。从另一方面看，科学也对其周围的环境产生着并且产生着越来越强烈的影响。无论是在社会的物质生产方面，还是在社会生活的精神领域，这种影响至少从近代以来就是所有历史学家不能忽视的历史变迁的主要动力了。可以举出许多例子来证明这种交互影响。例如，一项矿物方面的发现或矿物冶炼就足以改变一个国家，使之从农业国变成工业国；化学方面的发现和进步在 18、19 世纪对工业化的社会进程的影响也是人所共知的事实。另外，商业方面的需要对科学发展的影响也同样是巨大的，如对地理学、其他自然科学，以及数学发展的影响（见 J. 萨顿：《科学的生命》，商务印书馆 1987 年版第 32—33 页）。

由美国物理学评述委员会所写的《90 年代物理学》是一套九册的丛书，其中总论一册讨论了国家、社会与物理学的关系，特别研究了美国在世界物理学界中的地位等问题，是一篇向决策者提供参考意见的调查报告。我在这里引用它，是因为它从一个侧面反映了科学在当代同国家、社会之间的重要关系。让我引用其中几段文字以说明这种关系或相互的

影响：

物理学对现代社会的形态产生了极大的影响。为认识基本现象所进行的探索扩大了整个自然界的视野，导致了非凡的发明。……举其中之一例……电磁理论为无线电、电视和雷达的发明奠定了基础，并使建立庞大的工业电力网络和现代通讯系统成为可能。……

19世纪20年代，量子力学的创立提供了这条无法预测的途径的第二个实例，证实物理学的新知识可以塑造社会。……量子力学为描述物理事实提供了一个全新的框架。量子力学变革了我们最基本的测量原理，并为了解原子、分子和固体的结构铺平了道路。……它是许多……学科的基础。此外，量子力学还导致了如半导体、光通讯等新兴工业的崛起，并为制备奇异材料和研制诸如激光器等器件开辟了新的技术道路。

另一项进展可以追溯的称为半导体的电子材料的研究上。1947年……发现的晶体管效应，为今天发生在我们周围的计算机革命铺平了道路。没有人能够知道这场革命最终将如何改变我们的社会，但是进展是如此之快，以至于我们觉得，职员用手耐心处理业务而没有受惠于自动数据处理的储蓄银行的情景，如同看到狄更斯小说中用蜡烛光照亮会计室的情景一样久远。（参见《90年代物理学·总论》，科学出版社1992年版第5—6页）。

仅物理学就对社会产生了这样巨大的影响，整个科学的社会影响就更是无法比拟的了。

下面再让我们通过具体的图象和数字了解一下社会对科学的输入。下表是美国联邦政府对物理学基础研究和应用研究的开支状况，通过这组数字和图象我们可以清晰地看到科学现在在多大程度上需要社会的支持。

表5—2 美国联邦政府 1980—1984
财政年度对物理学各分支领域的投资

均已用CPI—W折算	财政年度（兆美元）				
	1980	1981	1982	1983	1984
基本粒子物理学	345.1	248.9	352.5	407.2	422.2
原子核物理学	155.4	152.8	152.9	154.4	170.2
原子分子物理和光学	36.8	38.6	39.6	39.4	43.5
凝聚态物理学	104.2	108.5	107.1	111.0	121.8
等离子体和流体物理	375.4	381.6	452.8	541.6	536.3
引力、宇宙学和宇宙射线物理学	5.7	5.7	6.6	7.1	8.0

（引自《90年代物理学·总论》第131—132页，只统计了各领域总经费，未分项统计每个领域内部的如实验和其他研究与项目经费）

从这个庞大的开支资金看，现代科学所需的资金投入是巨大的。由

以上两个方面看，毫无疑问，科学是一个以社会为其环境的开放系统。

这里需要进一步说明的是，有的学者在讨论科学的环境时，把科学系统的环境分为两大类，即天然环境和人工环境，其中天然环境即自然环境，由自然要素如空间、水土、矿物和生物等组成；而人工环境则指社会环境（见樊辛欣：“科学系统的环境”，《科学对社会的影响》1994年第4期第35—46页），对此我们有不同的看法。我们认为，自然环境当然是一切系统的环境，在这个意义上，它对科学系统没有任何特殊性，是可以作为一般背景而不加以讨论的。对科学有比较重要的影响的环境应该主要从社会环境加以考虑。此外，我们认为，社会环境不是人工环境，这是因为，社会系统从来不是人工系统，按其发展而言，它是一个地道的自然系统，一个自组织发展的系统。如果把社会当做一个人工系统对待，那么将有许多问题无法解释和解决。我们的观点是，社会系统是一个自然系统，科学在社会中的运行与社会自然过程有两方面的重要关联，即科学作为一种认识活动同社会精神生活的关联，科学作为一种社会活动同社会结构与社会建制及其功能的关联，以及科学的这两种活动的统一与社会运动的上述方面的统一起来的各个方面的相互作用。

此外，需要注意的是，科学作为一个开放系统，其开放度既不是百分之百，也不是零。如果是前者，意味着科学丧失了独立自主性；如果是后者，科学就会变成孤立系统，从而衰落下去。

二 科学系统的一般社会环境特征

科学与社会的关联已是人们的共识。那么对科学起主要作用的社会力量或社会要素有哪些呢？让我们按照直接到间接、强烈到微弱的程度对此作一检视。

（一）社会经济要素特征及其对科学的影响

社会经济因素特征有：一定社会的经济发展水平，经济结构、物资资源投资水平及社会消费特征，经济的类型（如计划或市场体制）与经济政策等。

经济发展与科学进步特别是技术进步的关联已是毋庸置疑的事实。随着时代的发展，这种关联越来越强烈、越来越广泛，也越来越深刻了。在现时代，科学、技术和经济的结合已成为当今社会的基本特征。就是在古代和近代，科学发展也直接或间接受到社会经济发展和变革的影响。经济对科学的影响一般而言往往有两个方面，一是形成对科学发展的支撑体系，即以物质性资源为主形成科学的物质基础和以提供资金方式为科学输入必要的发展能量；二是以社会需求的形式给科学或向科学提出种种“需求性”课题（当然，这种课题一方面依赖于资助政策的导向，另一方面依赖于科学家在何种程度上受这种需求的吸引，并以此为自己或科学家共同体的研究对象，在现代它往往通过国家的资金资助及其导向来引导科学家及其组织）以造成科学的外源（相对科学内部产生的各种内源信息）信息输入。

事实上，不同的经济结构与类型也对科学发展及其形式有着深刻的

影响。在集中计划型的经济结构中，科学往往被社会牢牢控制着，受到计划的集中控制和制约，科学必须服从社会总计划和为这一总目标服务。在计划经济为主的经济类型中，计划实际上就是科学运行的外部控制参量。如果计划调控得当——这需要计划管理部门或中央控制部门是全能的“神”，科学可以被管理得很好，可以得到较好的发展，特别是较大型的项目，在计划体制下，往往得到较快的进展。然而，这种管理方式基本是对科学的“他组织”管理，即科学只能被组织地发展或演化，科学在这种体制中，比较缺乏活力，因为它首先缺少了独立性。社会通过科学政策等控制参量规范科学的活动，科学将完全按照社会的意愿“活着”，这正如封建社会中皇室所控制的天文学一样（它的主要功能是通过天象“预测”、推算和卜筮社会政治权力等现象），那时科学还能存有自己的独立性吗？！被组织的科学其运行的好坏基本取决于外部控制参量的好坏。它不是一个自然历史过程，而是一个人为过程，而最终地看，这种过程不能持久，也不能始终对科学产生有利的推动。

目前，我国正在进行科技体制改革。在改革之前，我国科技体制基本是依靠行政手段管理科技工作，国家管得太多，统得过死，虽然显示过可以集中力量解决某些重大科技和工程问题的优势，但绝大多数科研机构依靠国家计划和任务而生存，没有或很少有主动适应经济建设的积极性，其科技活动缺乏活力，科研机构没有自主权，缺乏自我发展的能力。实际上，在计划体制下，具体的科研机构也不需要这种自主性。我国科技体制改革就是要克服上述弊病，使科研机构有较大的自主权，国家不再包干其任务和经费，而是通过基金和项目申请与竞争的形式对科研部门的课题根据其能力、条件等方面进行择优性资助。这种方式实际上就是变科学活动和发展的“他组织”（或“被组织”）为“自组织”。

（二）社会政治要素特征及其对科学的影响

一定社会的政治要素特征主要包括：社会生产关系的性质，社会政治制度，政治斗争状况、特别是不同集团不同阶层的政治利益斗争，革命或战争，以及社会一般政治气氛。

一定社会的生产关系总是生产力发展的某种框架，社会生产总是在某种社会关系的框架中进行。科学及其技术活动是生产力的必要要素，因此，社会关系与社会生产力是否适应也必然影响着（促进或阻碍）科学技术的发展。

一定的社会政治制度是该社会占统治地位的生产关系的集中反映。它总是运用政治、法律和其它手段控制、影响社会中的各种力量，科学技术作为一种越来越强大的社会活动也不例外。社会政治制度一般以科学政策、技术政策或产业政策控制社会各个集团如何使用、运用科学为自己集团和社会服务，它总是以有利于社会占统治地位的阶层的科技政策来控制科学技术的运行，无论是在封建社会还是在资本主义社会，还是在社会主义社会，都是如此。当该集团或阶层同有利于整个社会进步的过程或有利于科技进步状况相吻合时，我们就会看到科学技术的繁荣或进步加速的过程，反之亦然。

可以举典型的封建社会同资本主义社会为例作一对比。在[法]保

尔·芒图所著的那部在法英等国享有盛誉被称为经济史之“经典”的、研究 18 世纪英国产业革命发生和发展历史的著作中，我们了解到，在新的工业革命到来之际，原来在旧的手工业方式下生活的大多数工人感受到新工业条件的恶劣和他们生活条件的下降，使用机器的新工厂（特别是纺织类工厂）不再需要有特殊技能的工匠，工厂主便尽可能地降低工资，也不想改善劳动条件。在这种条件下，18 世纪的英国工人在结成同盟的同时，坚持保持旧的法规或扩大旧法规的适用范围。保尔·芒图指出：

这些旧法规……有一些是国家法规，来自 1563 年的工匠条例；这是一个真正的劳动法典……中世纪的经济制度是同它一起延续到我们时代的开端的。另一些则是某些城市和某些行业所特有的行会法规……这两种法规同有关工业技术的规定并同恤贫法的又慈善又暴虐的制度结合在一起。它们共同构成几百年立法上特有的建筑物。在十八世纪中叶，这个建筑物虽已衰朽并被打开缺口，但仍直立着。新利益的推动比新思想的推动还要厉害，所以不久就使这个建筑物从各方面倒塌了。工人们徒然想把它的废墟扶起来。（参见保尔·芒图：《十八世纪产业革命——英国近代大工业初期的概况》，商务印书馆 1991 年版，第 366—367 页）

很明显，这些旧法规和条例是一种保证其成员拥有一种世袭的专利权（在资本主义制度下，专利权只能保持一定的时间，并且必须公布其发明，因而是与封建制度下的行会专利制度本质不同的制度）的制度，这种制度同封建制度是本质完全一致的，如果严格实施，就会阻碍大工业的发展。在当时的实际发展中，工厂主已经经常地违犯了这种规定，机器的使用、设备的改善和分工的进步，使得长期的经验式工匠技能教育成为无用。1563 年法令终于被以“真正商业原理”的名义废止了。

我们所举的这个案例中，社会正在从封建制改变到资本主义制度，其中学徒法的废止问题只是与科学技术间接相关的一项社会政策废止过程，但它也清晰地说明了社会制度对科学技术的重要影响。

（三）社会教育要素特征及其对科学的影响

社会教育特征主要包括：大众的普遍受教育水平、社会基本教育制度及完善程度，高等教育和专门训练的人才的比例，等等。

有人把教育称之为科技事业的后备支持系统，这不是没有道理的。社会教育为科学研究事业提供一定性质和水平的人才资源，这是毫无疑问的。然而，这还不够。其实，社会教育也是科学知识（包括前沿知识）传播给社会大众的中介和桥梁。联合国教科文组织于 1994 年发表的《世界科学报告》指出，“今天，富国和穷国之间的差距是知识差距”，而“最不发达国家的共同弱点是缺乏科学家、工程师和技术员。这些国家的科学缺乏‘临界质量’，换句话说，缺乏保持势头的数量充足的科学家。具有讽刺意味的是，这些地区人口最多，人力资源最丰富”，“文盲仍是巩固科学和技术的一大障碍。世界上约有九亿文盲。……对希望

摆脱困境的发展中国家来说，基础科学和日常工作能力方面的教育是非常重要的”。针对中国，该报告指出，“中国科技薄弱主要是由于缺乏资金、1966年至1976年政治动乱的影响。这些动乱使一代科学家没有受到教育和培养，他们把力量集中在政治方面。”（转引自《中国科学报》1994年4月1、4、6、8日）这表明，虽然我国科技薄弱的直接原因是资金、政治动乱的影响，但使科技落后的根却在教育上。一代科学家受的教育水平低，未受训练，因而致使科学技术落后。可以举极简单的例子。例如，一个科学家未受外语的训练，不懂外文，他就无利用外文资料的可能。科学是无国界的，他不能分享最前沿的科学进展的信息和知识，那么必然落后。《世界科学报告》针对发展中国家教育和信息落后的状况，为此也提出了一些解决问题的新思路倡议，不是提供经济援助，而是建立机构，在知识的“拥有者”和“非拥有者”之间建立联系，促进信息和知识交流。例如，第三世界的科研人员可以在有名的国际中心同著名的科学家一起工作；通过国际机构提供援助，向第三世界有前途的科学家提供助学金、奖金、路费、书籍和设备；通过国际组织以会议、讨论会、信件和电报等方式把单独的科研人员联系起来，使他们通过协同成为保持创造势头数量充足的一种越过“临界质量”的科学家群体。

由于教育的落后，发展中国家人口中科学家、工程师比例明显低于发达国家。下表即《世界科学报告》提供的数字。这样，由于科学家和工程师技术员比例较低，缺乏必要的发动科学进步的“临界质量”性的条件和协同能量，整体科研水平也就无法保持在高水平上。

表5—3 科学家和工程师占总人口的千分比

日本	美国	欧洲自由贸易联盟	欧共体	中欧和东欧	以色列	加拿大
4.7	3.8	2.2	1.9	2.1	4.4	2.3
亚洲新兴工业化国家		前苏联	拉丁美洲	中国		北非
1.0		1.0	0.5	0.4		0.3
撒哈拉沙漠以南非洲			远东其他国家	印度	中近东	
0.1			0.2	0.1	0.1	

教育与科研有比较直接的相互作用。一般而言，从科学前沿“退役”下来的科学知识，就会通过教育立即转化为社会公众的东西，成为文明的一部分。教育的好坏，教育的效率如何，在这种知识的转化方面立即就显示出来了。教育通过接受科学新知识也就从内容到手段都得到了更新。教育又通过这种已经更新和正在更新以及不断更新的知识的手段，培养新的各类合格人才，为科研系统输送研究力量和新鲜血液。

社会上大众的普遍受教育程度与水平对于科学的普及、文明的成长、社会风气的改良，都有重要影响。文盲和半文盲的社会，不会有好的科学，就是有，也是处在受压抑、摧残的状态中。中世纪的欧洲，之所以科学发展是如此缓慢，就是有愚昧和迷信的广大荒原存在。

（四）社会文化要素特征及其对科学的影响

社会文化要素主要包括社会历史背景、意识形式、占统治地位的价值观和社会准则等。

社会文化对科学的影响主要体现在认识方式和传统上，从而使科学演化带有一定的时代、地域和民族特征。例如，中国古代“科学”与西方近代科学就同一时间段（如 17、18 世纪）比较就有很大差异。文化使科学形成一定的传统，科学传统的变迁又推动着理论形态、思维方式的变革。反过来看，科学认识中的成果、思想观念和方法也不断汇入文化之中，改变人们的价值观、世界观以及人类社会生活的道德规范、行为准则。所以，科学与文化在社会生活中碰撞、磨合、冲突并融合，形成了共同演化的过程。

三 科学的社会外部控制参量：科技政策

科学自其产生以来，就受到社会生活的各个层面的影响。在社会发展过程中，一个国家常常通过法令、法规的形式确定科学技术在社会生活地位作用，规范科学技术的发展，提出科学技术事业发展的战略方针和规划，这就是科学技术政策。科学技术与社会相互关系中最重要，就是科技政策问题。按照自组织科学观，科技政策实际上就是社会大系统对科学系统的外部控制参量。

从历史上看，中国对科学活动的宏观控制，要早于西方社会。古代中国很早就把天文学、农学和医药学等科目纳入了“官办”体系中。通过皇帝的“诏令”一方面以官办机构吸收、消化中国民间“术数方技”中的人才及其成果；另一方面以官方权力限制和约束民间科学技术（当然也包括术数方技中的巫术迷信）的发展。在中国古代正统史观中，科技与巫术都以“玄妙”、“绝技”之性质统一在一起，而很晚（约在宋代）才得到分化，儒家在汉代的独尊地位也是通过“术”的运用（如董仲舒曾以求雨止雨术推阴阳灾异而宠幸于汉武帝，并多少对“罢黜百家，独尊儒术”起了一定作用）而获得的（参见吴彤：“中国古代正统史观中的‘科技’”，《内蒙古师范大学学报》1990 年第 4 期第 60—67 页）。我认为，这种官办性质和与巫术未分化的不可知性、神秘性对中国科学的内在逻辑和理论要素的自组织成长是不利的，至少也是中国古代科学未能自组织地演化为近代科学的因素。在中世纪的欧洲，各个国家是通过教会以神学宗教政治意识形态严格控制科学思想发展的。

进入近代以来，欧洲发生了巨大变革，社会从封建制度转变为资本主义制度的社会。在早期自由竞争的资本主义时期，国家控制政策从行政性的控制逐渐转变为参数式控制，其中最重要的是废止了带有强烈封建性质的“行会制度”，建立了有利于资本发展的专利制度。

20 世纪以来，各国政府基于科学技术的社会作用日益壮大，社会问题也越来越多、越来越严重，而纷纷制定科技政策。特别是 50 年代以来，科技发展政策一时成了各国政府和科学家趋之若鹜的热门领域。

最早对科学实行国家级宏观控制的国家和前苏联。二战后，西方各国政府也认识到需要在一定程度上控制科学研究发展的方向及组织国家规模的研究对于加速科技进步、增强国家实力和政治威望的重要性；另一方面，科学研究的规模和经费日益增大，科学要获得进一步发展，非政府资助不可，所以科技政策也就成为政府选择、辨别科学研究与社会政治经济利益协调的手段和工具。

一般而言，作为国家控制参量的科学政策的内容主要包括：

(1) 关于科学的基础性观念理论（相当于科学社会学的元理论）。如科学认识和活动的理论，基础学科与应用学科分类、性质、资助标准等。

(2) 科学发展战略。包括研究科学、技术、经济、社会相互关系，确立科技地位作用，制定科学发展长远目标、规划、方针和战略措施等。

(3) 学科发展政策。包括确定各门具体科学在整个科学体系中的地位和作用，发展优先学科和带头学科、基础学科和应用学科等的各种措施。

(4) 学术政策。即对科学研究采取“一家独鸣、一花独放”还是“百家争鸣、百花齐放”的政策。学术政策与社会意识形态密切相关。在科学探索过程中，是通过学术争论自组织地解决学术争端、纠正错误，还是通过外部行政手段命令式地强制地“解决”问题，是两种学术政策。前者是符合科学自组织发展和自组织科学理论的学术政策，而后者则是他组织的、被组织的学术政策，不利于科学的演化发展。

历史上国内外都发生过于预学术自由的事件。如对伽利略的宗教审判，20世纪美国田纳西州的“猴子”事件，前苏联对“控制论”等科学的批判，纳粹德国对“相对论”的批判，中国“十年动乱”对相对论等科学的批判。

科学发展需要使它的研究者在学术领域享有独立思考的自由，进行探索和辩论的自由，发表和坚持自己见解的自由，批评和反批评的自由；只有提供了这样的学术环境和氛围，科学才能健康地发展。

(5) 人才政策。即通过人力资源导引手段对科学实行社会控制的政策。包括科技人才的培养、使用、管理、分配与布局，人才的交流、考核、奖惩等。在这一政策中，最重要的是提供一个公平竞争的规则，而不是特定的资助政策。

(6) 科学技术交流与合作政策。科学无国界，科学系统是开放系统，阻碍或隔断科学开放、交流与合作，科学就会枯萎、死亡。

国家科学政策对科学的控制，一般在三个层面起着三种作用。

第一，物质能量交换层面上的供给作用。国家通过科学政策在三个方面影响或控制科学，即财政支援、人力支援和技术支援。例如通过研究与开发经费影响基础研究、应用研究与开发研究的规模、比例等，通过技术装备影响研究的程度水平等。这种供给是有一个最低“能量阈”的，低于某个阈值，科学就不能自发地自组织起来。当然，这种支持也有其“负面效应”，即国家对科学发展提供支持有国家的非科学目标（如政治、经济的目标）内涵，国家对科学的支持的条件就是科学必须对国家的政治经济发展做出贡献。这种支持科学发展与其条件有一个发展的动态平衡点，在该点上，科学受到国家的较强支持，科学发展的自组织性最佳，同时对国家的经济文化建设也贡献较大。该点当然很难把握，一个好的政策应该是接近该点的政策。

第二，环境需求面的信息导引作用。国家通过影响、控制和限制各种需求来引导和控制科学发展的方向、规模等。在市场条件下，国家也作为市场竞争者通过经济合约和市场干预影响科学。例如，它可以提出需要研究的课题、技术问题以及通过合约采购的方式以对科技产品的

需求影响等并辅以一定的优惠条件，吸引科学家及其科学组织研究它的课题并给予较大额度的资助；通过技术标准方式建立统一的折旧制度和其它制度影响科学技术的进步。

这里需要注意的是，有两种国家经济体制，它们对科学技术的影响是有很大差别的。在计划体制下的国家中，需求影响完全不像市场体制下的影响，它是以指令性计划下达给科学家及其科学组织的，是作为任务需要科学必须加以完成的，对科学而言，这种方式就是一种特定干预，是被组织方式，而不是自组织方式。

第三，一般环境面的非特定输入作用。在这方面，主要是营造一些科学技术发展所需的必要的基础条件和设施。如必要的物质基础：公共服务（交通、电讯、教育等各种公用事业）设施；必要的优惠措施：租税减免、暂缓、专利及奖励制度；必要的限制性措施：如经济法规中的金融法规、反托拉斯法规、破产法规等，以及技术管制、贸易管制等。它们可以对科学发展的一般条件起到构建作用，从而为科学发展做出一般性的、基础性的间接贡献。

科学政策乃至科技政策，是科学演化发展的极为重要的条件，因为它既提供科学系统所需要的必要物质、能量和信息，又从控制角度对科学演化进行规范，是科学演化的社会控制参量。这里有两点是极重要的，第一，是它所能提供的能量能否达到或超过必要的阈值；第二，它所提供的控制程度和方式如何。在第一方面，没有足够的物质能量和信息的输入，按照自组织理论和其他领域的实验，系统根本不可能自组织演化为有序的结构。科学也是如此。以第二方面看，控制方式如果是被组织的方式，科学无论如何也不能自发组织起来，成长起来的科学就会是“他组织”、“被组织”的科学，即一旦国家或社会不再管理这个科学，它立即就会衰落，甚至走向死亡。

四 科学认识的环境要素： 社会价值需要、工具与问题

从广义上说，科学认识的对象是整个宇宙，因此整个自然、社会和人类思维都是科学认识的环境。然而在实际认识过程中并非如此。对一个科学家来说，他很少把他专业外的事物当做研究对象认识；其次，他也不把同行研究过的事物作为自己研究的对象，除非是为了检验理论；最后，他还要考虑科学发展的水平和自身的能力，他不把在有限时间内解决不了的问题作为研究问题对待。因此，科学的具体认识与认识对象实际是被一层层“圈层”所隔离开的，科学认识是被包围着的。我认为，科学认识受到三种圈层的包围，它们是：

（1）价值需要圈层

价值需要为科学认识活动的信息来源提供选择框架。人类为了克服生存障碍满足需要才发展科学技术，如果没有这种需要，科学技术就不会发展并演化到今天这个模样。然而需要本身并不能直接导致科学发现，“它只是一种对科学发现和发明起促进作用和指导作用的影响力量”（默顿语，《十七世纪英国的科学、技术与社会》第312页）。因此，它作为社会环境的一种非特定信息输入当其强烈到一定程度时就会激励

科学家注意某些问题，从而激励科学的发展。总之，价值需要圈层是以需要作为信息源泉使科学研究的兴趣有所指向、规范，在一般意义上限制和帮助科学系统信息的获取、流向和会聚。

(2) 方法、工具圈层

没有方法和工具的支持，科学认识活动进展到一定程度就无法再深入下去。近代科学之所以发展迅速，原因之一就在于新工具的出现。方法是提供信息获取、加工、处理的手段和载体。其中包括科学语言、符号、逻辑规则、方法、仪器、设备和其它技术条件等。

工具和方法也会引起新的需要。马克思指出，“……为满足需要用的工具又引起新的需要。”（《马克思恩格斯选集》第1卷第32页）正是近代实验方法的出现，从根本上改变了研究的方式，这同样是促进近代科学诞生的基本要素。科学方法与工具也是认识活动自组织水平与能力的测量器。在近代，正是实验方法、数学分析和科学仪器的运用（如天平、温度计、压力计、望远镜和显微镜等），有力地推动了科学的发展，使近代科学“唯一地达到了科学的、系统的和全面的发展”（《马克思恩格斯选集》第3卷第444页）。

(3) 问题圈层

问题是研究的起点。放在问题圈层中的问题主要指外部社会提出的各种问题。即从社会各方面和技术系统中产生的问题。实际上，工具和价值需要中几乎绝大多数都是转化为问题形式输入给科学的。关于问题的机制和对科学的动力作用我们已经谈过不少，这里不再赘述。需要指出的是，当外部问题一旦被科学家意识到（这种意识也有同行的影响、社会需要的影响等）并进行研究时，它就转化为科学内部的问题，以序参量的身分起动力作用了。一个社会中的科学的活力，一部分也来自于外部问题，外部问题越丰富，该门学科发展的可能性也就越大。

以上我着重讨论了科学演化的环境条件，与科学发展的自组织动力相比，环境和条件对科学的自组织发展演化同样是非常重要的。两者的关系类似于外因和内因的关系，然而又不完全等同。它们是相互镶嵌的、共同发生作用的，即是超循环地作用于科学的。我甚至认为，在科学演化的早期造就一个自组织演化的环境比系统是否具备自组织动力更为重要。这是因为，按照自组织理论观点，一旦具备系统发展所需的那些自组织条件（远离平衡，物质能量和信息充分交流，输入达到阈值以上，没有特定干预，等等），系统就会自然而然地自发组织起来，当然，这要求系统首先是一个非线性系统，即要素大于三（注意不是指要素的数量，而是指要素的异质性）。限于篇幅，我不再讨论科学演化的途径和图景问题。

第六章 科学的自组织与 “李约瑟问题”

一 国内外各种关于解决 “李约瑟问题”的观点

(一) 所谓“李约瑟难题”

所谓“李约瑟难题”是李约瑟博士在其著作“*The Grand Titration: Science and Society in East and West*, Allen & Unwin, London, 1969.”提出的这样一个问题：即“中国在十六世纪以前的科技发展在许多方面超过西方，何以现代科学崛起于欧洲而不是在中国”？李约瑟当时的论点着重于外史分析，他认为由士大夫所组成的庞大官僚机构千余年来采取重农抑商政策，严重地阻碍了工商业及资本主义的发展，这是造成16世纪以后中国的科技发展落后于西方的首要原因。

(二) 难题是题吗？

美国学者席文(Nathan Sivin)于1982年发表专文“*Why the Scientific Revolution did not take place in China or did it?*”(Chinese Science, No.5, 1982)讨论如何以更客观的态度看待“李约瑟问题”，在席文看来，“为什么科学革命没有在中国、或印度、或××发生？”这类问题正如同“张三的名字为什么不是李四”一样，根本是不成问题的问题。席文的意思是研究科学史的学者不应用既成的西方科学理论或假设去检验中国的科技传统，而应透过中国人自己对科学的认识与分类，去了解中国科技文化的特质。

何丙郁先生在其论文“中国科学：传统中国观念”(“*Chinese science: the traditional Chinese view*”, Bulletin of School of Oriental and African Studies, Vol. LIV, Part 3, 1991)中分析了传统中国“数”与“学”之类的观念，他的研究表明，中国的“数”与“学”与西方的“*mathematics*”有很大的分野。言外之意是中国和西方根本是两种科学。他说：若一房屋因着火而毁，我们自应审查其失火原因；但若此屋并非因着火而毁，而一味去寻找失火的原因，岂不荒唐！

近年来也有青年学者认为，中国学者对“李约瑟问题”的关心与中国1840年爆发的鸦片战争及其结果有关。如认为在研究中一旦带有感情色彩，就会被“1840年误区”所引诱，而不去推敲问题的恰当性。如它引导一些学者在中西比较中不断找出中国特有的事物并贴上阻碍因素的标签，找出西方特有的事物贴上促进因素的标签。当代对“李约瑟问题”的讨论高潮中，中国古代、近代所特有的事物几乎都被列举了一遍并被当做阻碍因素来批判。如八股取士制度、实用观点、数学符号的落后、宋明理学等等。再如“中学西源说”、“西学中源说”等，就是其表现。(参见白彤东的观点“‘李约瑟问题’与‘1840’误区”《自然辩证法研究》Vol.11, No, 10, 1995, 43—36)

（三）大陆学者对“李约瑟难题”的看法

关于中国近代科技何以落后之类问题，在大陆被统称为“李约瑟难题”。从1915年任鸿隽到1982年出版的《中国科学技术史稿》（杜石然等编著），关于这一问题一直是中国科学技术史研究的热点问题，期间掀起了几次大的讨论高潮。最大的一次在1982年，其主要观点大都发表在当年在成都所举行的“中国近代科学落后原因讨论会”（参见中国科学院《自然辩证法通讯》杂志社编：《科学传统与文化——中国近代科学落后的原因》，陕西人民出版社1983年版）上，以及1990年12月《自然》杂志“李约瑟难题征答”专栏。其观点偏重于外史因素，如大一统的中央集权政体、重农抑商的经济政策、官办手工业、科举制度、明清两朝的海禁等皆为对科技性知识发展有害之因素。

《中国科学技术史稿》（杜石然等编著）代表了比较正统的全面的观点，作者们认为，总的说来，中国长期的封建制度束缚了科学技术，而近代科学技术之所以能在欧洲产生，根本原因是新兴的资本主义制度首先在欧洲兴起的结果。其中，具体原因有：重农抑商的经济政策，封建专制思想，知识分子脱离实际的研究，官办性质的科技管理体制，固步自封、闭关自守的思想和政策，古代科技体系的独立性、保守性与排它性，等等。关于中国古代科技与封建制度的关联，以及西方近代科技同资本主义的关联的观点，我认为是相当正确的。然而，其中一些论证和观点值得商榷。如其中一些所谓弊病，在封建制的西方科技的发展时期，也是存在着的，有的因素甚至更甚于我们，但为什么西欧发展出了资本主义和近代科技，而古代中国为什么没有呢？另外，在中国古代社会里，表面上看有些因素在当时激励了科技发展，而不是相反。例如在16世纪之前大一统的中央集权制度比欧洲对科技发展的激励要好得多！

近年来研究一方面朝微观研究深化了。如江晓原博士通过对中西天文学的对比研究，提出古代中国天文学本质上是天文星占之学，其功能是沟通天人。最初它是王权的来源，后来则长期成为王权的象征。（“天文·巫咸·灵台”，《自然辩证法通讯》1991年第3期第53—58页）这很有启发性。其他如张秉伦、樊洪业等人的研究，或从断代史地方科技史或从方法论方面进行的研究，反映了近年来，我们大陆学者已逐渐脱离研究的大空状态，而转向范畴较小的但较精细的科学社会史研究，如断代分析、区域研究，或对中国科学社会史的方法论重新评估等。另一方面，还没有出现新角度的综合化趋势。

然而，在经济史的研究中，关于“李约瑟问题”的研究却带来了一股清新的风，提出了别有特点的观点。

林毅夫教授在《制度、技术与中国农业发展》（上海三联书店、上海人民出版社1994年版）一书中，以“李约瑟之谜：工业革命为什么没有发源于中国”为题专文讨论了该问题。他提出的假说是，前现代时期，大多数技术发明基本上源自于工匠和农夫的经验，科学发现则是由少数天生敏锐的天才在观察自然时自发做出的。到了现代，技术发明主要是在科学知识的指导下通过实验获得的；科学发现则主要是通过以数学化

的假说来描述自然现象以及可控实验方法而得到的……在前现代时期的科学发现和技术发明模式中，一个社会中人口愈多，经验丰富的工匠和农夫就愈多，社会拥有的天才人物就愈多，因而社会的科学技术就愈先进。所以说，中国在前现代由于人口众多，在这些方面占有比较优势。中国在现代时期落后于西方世界，这是因为中国的技术发明仍然还靠经验，而欧洲在17世纪科学革命的时候就已经把技术发明转移到主要依靠科学和实验上来了。而中国没有成功地爆发科学革命的原因，大概在于科举制度，它使知识分子无心投资于现代科学研究所必需的人力资本，因而，从原始科学跃升为现代科学的概率就大大减低了。在另一处，他提出是社会政治制度规定了特殊的激励体系，使中国人很少像欧洲人那样有浓厚兴趣获得科学革命所必须的人力资本。因而，既不是儒家伦理、政治意识形态的统一，也不是科举制度本身抑制了中国的天才们发起一场科学革命，真正起阻碍作用的，是科举考试的课程设置和其激励结构。

（四）国外学者的观点

近年来，海外华裔学者对“李约瑟问题”格外关心。毕业于瑞典的王禹凡博士提出：中国科技史上的“学”与“术”、手与脑、理论与实践的严重分家，是落后的重要原因。工匠传统未能与学者传统相结合。而西方自文艺复兴后出现了一批天才艺术家，将工匠、艺术、科学知识和精神结合在一起，这类突破性进展对现代科学的兴起有至关重要的意义。（王禹凡：“浅谈中国科学史之外史研究”，《自然辩证法通讯》Vol.15, No5, 1993）

许多国外学者把科学的兴起同多元宗教和社会变革关联起来。在[澳]1.默逊所编的《中国的文化和科学》（浙江人民出版社1988年版）一书中，作者认为，中国知识界没有找到改造传统思想的新支点，“正因为缺少这种对儒家官僚政治思想权威的真正挑战，就使中国人不能像十六、十七世纪的欧洲人那样将新知识、新技艺转变为新制度，就科学而言尤其如此”。（第56页，注意转变为制度的话）另外，他认为，商人阶层的有无也是重要的因素。而中国的明清之际似乎还“没有政治上强大的类似欧洲的商人阶层，这些人要求变革，并随时接受像伽利略和培根这样人物所倡导的进步思想”。（第55页）

默顿则在强调新教伦理的同时把经济作为一个非常重要的因素看待。他认为：整个17世纪，“对科学的最有效支持是功利标准”（[美]R.K.Merton, *Science, Technology & Society In 17th Century England*, Howard Fertig, 1970.p.349），“发明家为解决某个特殊问题付诸的努力及其所导致的发展幅度越大，人们对它的价值也就越看重，这又反过来增强了他们把注意力转移到这些研究应用领域的倾向”。（p.220）“科学家致力于为工商业提供技术上的支持，进一步使市场扩张成为可能，而这正是资本主义的一个特征”。（p.269）

在“比较科学史中的共时分析和历时分析”（《自然辩证法通讯》Vol.15, No.5, 1993, 55—61）这篇论文中，陈民熙（澳大利亚新堡大学历史系讲师）重点介绍了劳埃德的共时分析和历时分析观点。

共时分析可以用比较的方式跨越空间和时间来进行。这样的分析表明，同一时间存在的不同社会在与境（Context）、精神意识和文化方面的差异（跨空间的分析），解释了为什么不同的社会产生了不同的文本。反过来说，在不同时间的同一社会中出现的在与境、精神意识和文化中的变化（跨越时间的分析），也将产生不同的文本（这里文本的意思即不同的模式）。

劳埃德（G.E.R.Lloyd）根据哲学和科学探索的风格以及不同的社会政治与境，讨论了在古典时期和早期希腊化时期的希腊以及在古代东周和早期帝制（秦朝和汉朝）中国的科学。劳埃德指出，古代中国和古希腊在哲学和科学探索上的不同风格，是与不同的社会政治与境相关的。

（G.E.R.Lloyd, *Demystifying Mentalities* (Cambridge, 1990)）劳埃德论证说，尽管在两者的哲学探索和科学研究的内容与风格上存在有众多、广泛的相似性，但是，它们之间也存在着非常重要的差异。以宇宙论或自然哲学、认识论、逻辑和数学为例，其关键性差异，就是“在多大程度上理论的思辨适应于实践的目的，或保持不受实践目的的制约，以及从理论的立场为先入之见作基础性辩护的程度”（G.E.R.Lloyd, P.116）。表 6—1 G.E.R.Lloyd 的对比分析（吴彤制表）

项 目		古代中国	古希腊
哲 学 探 索 和 科 学 研 究	自然哲学	在五行和阴阳学说中有重要的理论推理，但，没有为了理论而沉湎于抽象的推理；也不具有种类繁多、比较极端的理论	有重要的理论推理。为了理论而沉湎于抽象的推理；同时有种类繁多、鼓吹极端的见解。
	认识论问题	对认识论感兴趣，但不采取极端立场。	对认识论感兴趣，经常采取极端立场。（如巴门尼德、皮浪主义）
	辩证法	对辩证法中某些论辩技巧的合法性感兴趣。	对形式逻辑和对论证的纯抽象分析感兴趣。
	数 学	更关心数学的有用性和在实践中的适用性。中国式的数学推理探索相似性和共同的结构，这导致了对相互关系互补性和平行性的兴趣。	更关心数学中的前提、分理、公设及定义的最终基础和分类，要求严格的论证和证明。它导致了对证明、说服和对无可辩驳性的追求。
哲学科学探索中总的倾向和风格		更注重实效，更关心那些可行或可被付诸利用的东西，虽然也从事精致微妙的理论推理，但不大关心基础性问题，也没有为理论而追求抽象思辩的观念。	更专注于基础性问题，准备考虑对理论问题的激进、甚至极端的答案。有为理论而追求抽象思辩的观念。
政 治 与 境	政治理想	由一位英明、仁慈的统治者实施统治。	有各种不同的政治理想：君主的、民主。
	政治争论	都预设了一个君主制政府的框架。	大部分争论是理论性的，关注构成不同建制和体制的基础的基本原理的探索，以及怎样分类和评价这些政治体制。
	政治理论 政治实践	先入之见是实用性的，关心国家在其统治者的统治下有序地、有效率地运转，以达到富国强兵目的。在 20 世纪以前对不同形式的政治建制和体制的可能，都不感兴趣。最重要的政治著作几乎总是以说服统治者为目的，统治者是智力争论的最终仲裁者。	激进的改革在古希腊是被允许的希腊人关心可供选择的政治权力的不同表达及激进的革新的可能性。政治论辩不是说服统治者，而是说服集会中的公民群体。
	国家政体 政治形式	众多的君主制国家	各种政治体制和形式，从君主专制制度到极端民主的制度。

<p>政治与境 (Context)中的 差异与哲学及科 学的探索和实践 的关联</p>	<p>中国的模式是，理智的思想家向统治者进谏。中国哲学家提出的观点是以希望影响统治者为目的的，而统治者就是其观点价值的仲裁人，这就对那些被认为值得提出的观点施加了严格的约束，从而抑制了甚至排斥了激进解答的发展和理论性、抽象的、非实用性的观点的发展。</p>	<p>古希腊政治领域中存在的激进改革和革新的可能性，放松了对于其它经验领域中激进变革的约束，其范围包括哲学和科学中的理论探索。关于各种可选择的建制和国家形式之基础的争论，对于在科学和哲学中类似的理论性和基础性问题研究的兴趣发生影响。此外，政治和法律争论的对立的风格，在科学和哲学的讨论中也起了示范和类比的作用。这或许可以解释希腊人对于分析性的修辞学和辩论、形式逻辑、严格的论证、证明、以及说明的技巧和说服的问题的兴趣。</p>
---	--	---

二 硬币的另一面：西方的 科学与产业革命

分析“李约瑟问题”的大多数中国学者只从中国古代入手，很少涉及作为对比的另一方面：西欧。让我们先考察一些西方学者对西欧状况的分析。

劳埃德认为中国 17 世纪也发生过科学革命，也产生了学术自由的科学共同体，如梅文鼎、王锡阐等人；但 17 世纪的中国和西欧的科学革命的社会环境及其后果都是极其不同的。下面是他的对比。（为清楚起见，我已将其制成一个对比表，当然也有人认为中国 17 世纪没有发生科学革命，劳埃德的中国科学革命是一种比较纯粹学术意义上的文献研究的再发现。引用劳埃德的分析主要要证明共时对比中的微观研究的意义）

关于英国 18 世纪的产业革命是进行对比的基本文本。我们引用被看作为西方经济史中经典的著作《十八世纪产业革命——英国近代大工业初期的概况》（[法]保尔·芒图著，商务印书馆 1991 年版）和美国著名制度创新经济学家道格拉斯·C·诺思的《经济史中的结构与变迁》的观点作为范本。

芒图认为，所谓大工业，首先必须将其理解为一种组织、一种生产制度。当然，它的作用却影响到整个经济制度，从而也影响到社会制度。作为这个巨大（工业）活动的动力、作为原因而又作为结果的资本，在人力和机械力的炫耀后面活动；被其自身所固有的规律即利润律鼓舞着，这个规律推动它不断地生产以便不断地扩大自己。

表 6—2 17 世纪中国与西欧的比较

项 目	17 世纪中国	17 世纪西欧
17 世纪科学革命的与境和后果	<p>科学革命是“内爆式”的。它使中国人转几内部，巩固了传统思维方式。</p> <p>17 世纪中国的科学变革是复旧的，对传统天文学的复兴即对被遗忘的方法的再发现关心的是考证，其社会背景是逃避动乱的社会，所以科学革命的结局，是对儒家的过去的再次肯定。</p> <p>到 18 世纪中国长江中下游出现了学术自由的科学共同体，但他们并未批判旧文化，没有感受到那种抛弃传统价值和追求新思想的动力需要，相反，他们在一个科举考试所支配的社会中，按照旧文化价值观来评价新科学，如梅文鼎、王锡阐；他们的社会地位在儒家文官精英行列的边缘。</p> <p>这是一场没有启蒙的科学革命。</p>	<p>科学革命是“外爆式”的。不仅带来了工业和技术革命，也带来了智力和文化的革命，后者改变欧洲人的精神意识，改变了受过教育的欧洲人思考宇宙、自身和他们社会的方式。</p> <p>科学革命在很大程度上不在科学各学科发展之中，而是在科学思想和范式上，有巨大的文化和智力的后果。革命创造了关于自然和宇宙的新观点和新方法，而且在 18 世纪的启蒙运动中扩展到了思想和实践的其他领域。建立了科学的新文明。建立部分是通过把新科学吸收到欧洲的精英文化中带来的。17 世纪末，地主被迫要转变其封建统治方式，不是对农民的人身封建统治，而是对其资源和权力的更加灵活使用，与城市重商主义资本主义分亨权力的必然性，迫使他们都去寻求可以用来开发探索周围世界的新手段新方法。而科学家对教会的垄断及经院学说的敌意，在自然哲学兴趣和新经济政治需求之间，带来了独特的结合的可能性。对科学知识和物质利益的综合，通过商业、农业和工业的发展，导致了对自然界前所未有的征服。科学革命带来了 18 和 19 世纪的农业和工业革命。</p>

科学革命的与境和后果/科学革命的“内爆式”的。它使中国人转向内部，巩固了传统思维方式。17 世纪中国的科学变革是复旧的，对传统天文学的复兴即对被遗忘的方法的再发现关心的是考证，其社会背景是逃避动乱的结局，是对儒家的过去的再次肯定。到 18 世纪中国长江中下游出现了学术自由的科学共同体，但他们并未批判旧文化，没有感受到那种抛弃传统价值和追求新思想的动力需要，相反，他们在一个科学考试所支配的社会中，按照旧文化价值观来评价新科学，如梅文鼎、王锡阐；他们的社会地位在儒家文官精英行列的边缘。这是一场没有启蒙的科学革命。/科学革命是“外爆式”的。不仅带来了工业和技术革命，也带来了智力和文化的革命，改变了受过教育的欧洲人思考宇宙、自身和

他们社会的方式。科学革命在很大程度上不在科学各学科发展之中，而是在科学思想和范式上，有巨大的文化和智力的后果。革命创造了关于自然和宇宙的新观点和新方法，而且在 18 世纪的启蒙运动中扩展到了思想和实践的其他领域。建立了科学的新文明。建立部分是通过把新科学吸收到欧洲的精英文化中带来的。17 世纪末，地主被迫要转变其封建统治方式，不是对农民的人身封建统治方式，不是对农民的人身封建统治，而是对其资源和权力的更加灵活使用，与城市重商主义资本主义分享权力的必然性，迫使他们都去寻求可以用来开发探索周围世界的新手段新方法。而科学家对教会的垄断及经院学说的敌意，在自然哲学兴趣和新经济政治需求之间，带来了独特的结合的可能性。对科学知识和物质利益的结合，通过商业、农业和工业的发展，导致了对自然界前所未有的征服。科学革命带来了 18 和 19 世纪的农业和工业革命。

芒图把经济方面的大工业、知识方面的实证科学和政治方面的民主，看作是共同支配现代社会演进的主要力量。认为大工业的起源，同民主或科学的起源是一样的。这个观点是极接近当代自组织科学关于演化动力产生于系统内部并由子系统的相互作用协同、循环而形成的观点的。

在考察工业和科学演化的过程时，有必要作细致的区分。芒图把大工业定义为：工匠在小作坊里通过个人技能来弥补简陋的有缺陷的工具所完成的工作，正是大工业的确切对立面。因此，与其说是向外扩张是大工业的主要特征，倒不如说它的内部组织和技术设备是其主要特征。……大工业首先是一种生产制度。

在考察法国在路易十四时代就出现的所谓“大工业”时，我们发现了一个重要问题，法国在路易十四时代就出现的所谓“大工业”实际上不是自然演变的结果。“它是人为的产物……它只有通过法国王室的发起或保护才能生存”。（芒图，第 14 页）在这些手工工场监察员编制的制造表中，工业企业分为三类。第一类是国王所有的国家手工工场，其资金来自王室金库，其产品通常是供国王本人使用的奢侈品。这样的工业是处在经济生活需要之外的，它不图利润，也不知道竞争。第二类是王室手工工场。这些工场是私人所有并为公众的消费而制造。可是，这里仍然显出国王的无比作用。工场除了官方给以保护外，工场主还是国王或其大臣的不止一次的正式邀请来在特定地区中建立工场的。最后一类是特权手工工场，这类工场也许比王室手工工场更加受到宠遇。它们有制造和出售某些商品的专利权、垄断权。假如建立和支持这种组织的手一旦缩回去，那么，一切都动摇了，并有倾毁的危险。这些企业仅靠保护和特权维持生命。如果任其自然，许多就会立即消灭……（同上，第 15—16 页）

因此，决不可把 17 世纪的王室手工工场的创设同下一世纪的大工业的自然兴起混为一谈。同样，在中国古代封建社会中的许多手工工场也是如此，这是人们用以鼓励其人为的发展的方法，是被组织的方法。而我们许多学者不分青红皂白，只要是看到了在中国古代 14—16/17/18 世纪出现了手工作坊和工场就认为是出现了资本主义萌芽，于是对古代中国何以未能产生近代科学更加困惑，对比芒图的分析可知这种分析是肤浅的。

就产业革命的一般特征而言，芒图指出：

从技术观点上看，产业革命就在于发明和使用那些能够加速生产和经常增加产量的方法：例如纺织工业中的机械方法，冶金工业中的化学方法。这些方法都在准备商品的材料或决定商品的形式；机械化这个术语只能不完全地表达这些方法的丰富的多样性。这些方法至少在起初并不是运用科学理论发现的。事实似乎足够证明，第一批发明家决不是科学家。他们是工匠，由于处在实际问题面前，他们就运用他们的天然智慧以及他们的工业习惯上和工业需要上的高深知识来解决这些问题。海斯、克朗普顿、哈格里夫斯、达德利、达比、科特等人就是这样。有时，也有些探索者，这些人并未受过科学教育或职业教育，而是凭本能或因好奇心而进行探索的：怀亚特、卡特赖特就是这类的例子。他们在一时需要的推动下并在完全具体的材料上加工，在着手时并无预定的方法，只是由于摸索而达到目的的。他们代表着经济需要，这种需要对人们起着暗中有力的作用、克服障碍并为自己创造手段。科学是以后才介入的，并对已经开始的活动提供听命于自己的无限力量的协助。它同时一下子就把工业中的局部范围的进步统一起来，并把共同的方向和共同的速度传递给各种工业。科学的这种作用同瓦特和蒸汽机是最惊人的方式出现的。这是两条互相汇合的河流，两条来源不同的河流；即使产业革命的最后规模和最后力量都应归功于它们的汇合，但产业革命也不是从那儿产生的，它预先已经产生了它的初步结果。

中国古代同样有天才的工匠，他们的智慧一点不少于别人。问题的关键看来不在个人，而在制度，在有无社会经济需要。

从经济观点上看，产业革命的特点就是资本的集中和大企业的形成，而大企业的活动不但不是一种例外的事实，而且还有变成工业的正常形式的倾向。资本集中往往被人不是没有一点理由地看为技术发明的结果，但是这种集中在某种程度上是先于技术发明的。资本集中在本质上是商业性质的现象。它和商人阶级逐渐控制工业领域是一致的。商业和信贷的扩张不仅伴随着资本集中，而且还走在它前面。它的存在条件是国内安宁、交通和海运的发达。在以前的老板兼工匠和今天的大工业家之间的历史上的中间人就是商人工场主。商人工场主可以说起初是守在工业的边界上的，仅仅从事于把生产者与那些已经变得太大太远的市场联系起来；以后，因为他有资本以及工厂主因定货而有需要，这二者就使他成为生产的主宰，终于逐渐达到拥有原料、作坊、设备，并迫使独立劳动者沦为工资劳动者。在那些与其说是工业家性质的、倒不如说是商人性质的资本家手里，这样实现的集中是一件极其重要的事实。手工工场，有大量的雇佣工人，那里流行着非常完善的分工，它有许许多多与近代工厂相似的特点，也许呈现出一种更加惊人的景象，但它在工业演进上却占着一个小得多的位置。这是路程上的一站，而且是马上走过去的一站，在那里的停歇几乎没有表现出来。那些以经济学家的资格研究这种演进的人，了解它并把它确定为一种简单的发展，发展的各阶段像一条几何曲线。在历史学家看来，它显得复杂得多：它犹如一条并非经常以同样速度向前流着的河流，有时流得慢，有时流得快，在某些地方变得很窄，以后又大大地铺展开来，有时分成许多分离的支

流，有时显得弯弯曲曲好像流回头似的。要描述这条河流，单单作出一张它所经过各地的名称表是不够的，必须按照它的不规则的、迂回曲折但是连续不断的、好像一种迫使它流向目的地的斜坡那样的进程绘制出来。

从社会观点上看，产业革命取得了那样广泛、那样深远的后果，以至于想把这些后果综合为一个简要的公式，那就有点过于自负了。即使产业革命不像政治革命那样改变了社会的法律形式，但在社会的物质本身上把社会革新了。它已使一些社会阶级诞生了，而这些阶级的发展和对抗占满着我们时代的历史。根据我们自己曾经引用过的那些事实试图证明：那里不曾发生革命，这些阶级已经存在，它们的对立早已开始并且变更性质，那并不困难。……我们没有发现一个现象是奇迹般一下子出现的，也没有发现一个现象是老早准备好了的、是预报出来的、早就有了轮廓的。肤浅的观察就是把这些轮廓置于阴暗之处，不然就是从阴暗处得出这些轮廓来与轮廓后面的东西相混同。我们力求避免这双重错误。我们知道在机械化以前就有了机器，在工厂以前就有了手工工场，在工业资本主义的到来和工厂无产阶级的形成之前就有了同盟和罢工。但是，在活动如此缓慢的社会的总量中，一个新成分的作用并不是从其出现时就可以感觉到的。我们不仅要注意它的存在，而且还要注意它所占的与周围事实相比较的位置和历史地位。产业革命正是那些以前还未发展起来的力量的发展，正是那些直到彼时仍然潜伏着的或者睡着的种子骤然萌发和突然开花。（芒图，第386—389页）。

按照诺思的观点，“……一个有效率的经济组织在西欧的发展正是西方兴起的原因所在”。（《西方世界的兴起》，华夏出版社1989年版第1页）他认为，产业革命不是现代经济增长的原因，而是结果。他通过对西方经济史（900—1700）的考察指出，尼德兰和英格兰地区最早进行了产权制度的变革，从制度上激发和保护了经济领域内的创新活动，因此它们首先在西方世界中崛起，而法兰西和西班牙由于没有做到这一点，最后在竞争中大大落伍了。诺思的结论是，“与产业革命相联系的技术变化要求事先建立一套产权，以提高发明和创新的私人收益率。”（《经济史中的结构与变迁》第166页）

三 “李约瑟问题”的实质 是自组织问题

综合以上学者的各种观点，结合我的研究，我认为，“李约瑟问题”的实质是自组织问题，即中国古代社会未能向学术研究提供一个激发科学自组织演化的环境和条件，不仅基本阈值没有达到，而且对学术研究的控制基本是以国家行政命令方式和官办方式控制的，这种控制当然是被组织的方式。

首先需要说明的是，以自组织观点研究“李约瑟问题”，意味着这种问题的原因从不是单变量的，而是多变量的。其次，问题产生于演化过程中，是系统的各个子系统的相互作用造成的。最后，当一个系统按照被组织方式演化时，由于被组织的方式和控制的时间性作用，系统内各个要素的演化有两种可能。第一，从未发展成为成熟的要素；第二，

要素退化，使复杂系统向无序的线性方向退化。

另外，在系统演化的跃变或临界点（阶段）上，环境的物质能量和信息的交换，外部控制参量的弱控制以及随之而来的涨落激励对系统从“无组织”经历自组织过程转变为有“组织”的结构似乎更为重要，更具有直接的动力作用。

从这个角度重新考察“李约瑟问题”，即把该问题看成为自组织与被组织的关系问题而建立这一假说时，我们前文所论及的许多观点提出的阻碍中国科技进步的因素，就成了系统发展演化过程中的各种子要素，当系统被外部控制参量严格控制而被组织地发展演化时，这些要素或原来就没有而现在在被组织过程中蜕化出来了，或原来并未成为阻碍性要素但在被组织过程中退化成了阻碍性要素。还有，看似在16世纪以前一直发展繁荣的中国科技，以及看似对此起了推动作用的因素（如所谓大一统的集权官僚封建体制），都可以得到合理的解释；在这点上，我同意何丙郁和林毅夫的意见，即16世纪甚至19世纪以前的中国科学是原始性经验科学，它们同西方近代科学根本不是一回事，但我不同意林毅夫把中国科学落后的原因归结为（中国没有成功地爆发科学革命的原因）在于科举制度，它使知识分子无心投资于现代科学研究所必需的人力资本，因而，从原始科学跃升为现代科学的概率就大大减低了。关于“社会政治制度规定了特殊的激励体系，使中国人很少像欧洲人那样有浓厚兴趣获得科学革命所必需的人力资本”的问题，实际上也是社会未能提供科学一个自组织演化的环境的问题。这里林毅夫先生的部分观点无意地为我的观点也提供了支持。至于说仅仅是科举考试的课程设置和其激励结构真正起了阻碍作用，我是不同意的。

我也受到芒图所论的关于法国在路易十四时代就出现的所谓“大工业”实际上不是自然演变的结果的启发。“它是人为的产物……它只是通过法国王室的发起或保护才能生存”，同样道理，我国封建制度下的许多事物包括工业、农业和科学也都是如此。因此，不能仅仅从现象上看到了在我国封建历史的较早期就出现了许多大规模的工业或科技成就，就断言已经出现了同近代相似的工业或科学，就断言我们并不落后。科技的落后，不是仅就其成就、水平和规模而言的，我认为，从自组织观看，还有最重要的两方面需要我们注意，第一，是科学自我发展的能力，它当然和其有无自组织环境有关；第二，是科学制度的性质，它同样是科学自组织发展演化的内环境。只有当这两方面具备时，科学才是有活力的，有效率的。

在西欧，从封建向资本主义转变时期，逐渐出现和改造了旧行会制度的产权制度，提供的是一种保护创新的环境，它是在破坏了旧的行会制度的基础上，既给发明人利益又给企业主利益的一种经济利益制度，只有创造了自组织的环境，才有自组织的系统出现。在中国古代，集权式的官方控制把一切事物都转变为官办的性质（普天之下莫非王土），它对科学发展的抑制之所以是极其严重的，就在于它的被组织性质，由于外部社会控制参量过分强大，它扼杀了科学分支演化的各种可能。例如，我曾论证过（见吴彤：“中国古代正统史观中的‘科技’”），在中国古代，在官方的正统观念中总是对包含有科学技术因素的“术数方技”持保留和戒备的态度，担心“术数方技”会对社会统治的秩序（儒

学称之为“礼”)造成威胁,对“术数方技”采取规范入“礼”的方式严加控制(见《魏书·术艺传》及以后的各个方技传,它们或多或少都表达了这种含义),这种希望把“原始性经验科学”纳入到社会政治统治的秩序之中的需要衍生出了两种相辅相成的科技文化政策:其一,通过官方机构吸收、消化民间术数方技人才及其成就;其二,利用官方权力限制民间术数方技活动,垄断科学技术。在以皇帝诏令为形式的科技文化政策中,我们在各代《方技传》中一方面发现有不少术数方技有成就者待诏为官;另一方面也在其他传记中发现不少关于禁止民间习修天文、图讖、地理的禁令(参见朱锐:“星占、讖纬、天文及禁令”,《自然辩证法通讯》1989年第1期)。所以,在这点上,诺思的研究从经济史的角度为我的自组织科学演化观提供了一个范例。是制度创新与产权的建立,使得西方与中国的差距拉大了,科学技术的落后只是这种过程的结果而非原因。

再者,官办的原始性经验性“科学”如同官办的手工业,在封建社会中完全是游离于社会经济活动之外的东西,如此之事物,怎么可能自主地演化呢?经济发展的动力总是高于思想¹⁸³的驱动,在全社会没有形成经济利益下的科学演化需要的前提下,无论中国人口有多少,科学性研究都是游离于社会活动之外的。例如明代研究技术的学者宋应星在写作《天工开物》(它是一本极有价值的手工业技术的百科全书)后激愤地说过,“丐大业文人,弃掷案头,此书与功名进取,毫不相干也。”(《天工开物·序》)为什么会如此?我们过去大都用“统治阶级蔑视劳力者”的观点,从思想层面解释这一问题,换用自组织观看时,这种问题的出现的原因则在于社会没有科学研究的经济和政治需求,科学研究和技术发明都是游离于经济活动和政治活动之外的事件。正因如此,我们才看到,在中国古代社会中一再出现无与伦比的天才发明(如指南车、地动仪等),又一再地失传;有些技术发明没有产生生产性经济效应,而是变成了玩物,如火药。换句话说,中国古代不是没有能进行研究的人才和研究的事件出现,问题在于这种人才和事件的出现不能为社会需要“加上利益的燃油”(林肯语)从而燃成熊熊之焰。按照自组织科学观,这种发明创造及其人才都是一种“随机涨落”,当环境和系统都不能提供某种关联时,它就不能被放大、催化和相互关联起来,即所谓形不成气候。所以,问题不在个人,而在社会制度,在环境。需要注意的是,为经济利益所驱动和为国家社稷所服务是不同的两件事情。中国古代的学者在社会所提供的社会环境中,以向统治者提出治国良策为最高理想。换句话说,中国古代的社会并没有产生出激励科学的真正的经济环境,科学没有社会发展的经济需要,只有统治者奢侈的需要,古代科学是无法转变为近代那种分门别类的科学的。

此外,也应该注意中国古代社会的政治制度及其环境对中国知识分子的影 响,正如劳埃德所指出的,中国的模式是,理智的思想家向统治者进谏。中国哲学家提出的观点是以希望影响统治者为目的的,而统治者就是其观点价值的仲裁人,这就对那些被认为值得提出的观点施加了严格的约束,从而抑制了甚至排斥了激进解答的发展和理论性、抽象的、非实用性的观点的发展。对于科学研究或学术研究而言,这意味着社会控制参量不仅在政治方面的控制过度,而且在思想方面也同样实行严格

的控制。在我国封建社会发展到明、清时期，不知发生了多少次文字狱，一统的儒家思想和刻板的科举考试制度对思想的摧残也反映了社会统治过程中上层建筑的严格控制，而我们知道，按照当代自组织科学观念，控制参量过度，意味着系统将按照被组织的方式演化。

我曾研究过中国古代的儒、儒家的思想演化，当统治者和社会的原始性思维比较强烈时，如作决策时常常求助于巫术卜筮等术数，儒家中的精英也常常兼而从事巫术和科技活动，如在汉代，许多大儒都是如此；当社会更需要政治治理时，儒家的社会伦理道德思想才在自己的思想意识体系中逐渐成为占据主导地位的东西，宋明理学就是对儒学的正本清源。（吴彤：“儒家与中国古代科学技术”，《内蒙古大学学报》1992年第4期）这与我们讨论的“李约瑟问题”有什么关系呢？引用此研究的意义在于表明，中国思想家们的思想轨迹也同样受到社会政治制度及其与境的严格制约和控制。更何况游离于社会经济活动之外的、被统治者及其思想视为既可能有利于宫廷又可能对宫廷有威胁的、但又十分弱小的科技发展呢。

如果对比古希腊时期的社会政治制度及其环境的话，这种 185 环境的社会控制参量的控制程度就远不如中国古代社会控制参量对思想和学术研究那么严厉。在古希腊的政治领域中存在的激进改革和革新的可能性，这就放松了对于其它经验领域中激进变革的约束，其范围包括哲学和科学中的理论探索。在这种政治环境（按劳埃德的说法是“Context”，陈熙民翻译为“与境”）中，由于存在着关于各种可选择的建制和国家形式之基础的争论，就使得学者或智者或统治者关心这种基础性争论，从而使相当多的学者对于在科学和哲学中类似的理论性和基础性问题研究的发生兴趣，这种影响是广泛的。此外，政治和法律争论的对立的风格，在科学和哲学的讨论中也起了示范和类比的作用。这或许可以解释希腊人对于分析性的修辞学和辩论、形式逻辑、严格的论证、证明以及说服的技巧和说服的问题的兴趣。换句话说，宽松的控制，使得在这个与境中的科学思想系统得以发展出许多分支和许多要素，分支和要素的异质多性使得系统逐渐复杂，演化的可能性道路也就更多。

把科学作为一种系统，该系统非线性演化的内在要素至少应存在有：一定的理论要素，如对世界的基础性问题的思考；一定的方法性要素，如必要的逻辑、推理和演绎归纳等；一定的经验要素，如对实验和经验对象的考察、检验等。除了科学自身外，对科学而言的环境，也至少需要制度性环境要素，和物质性和能量性环境要素。

西欧和中国都经历了封建制时期，尽管两者有所不同，但体制和社会状况大致相当。为什么中国演化缓慢，而西欧在 16、17、18 三个世纪发展迅速？都是大致相当的要素，大致相当的作用，在各种要素的作用过程中，肯定的是要素的结合方式即结构不同，因而才造成了不同的发展。在此，诺思认为是产权最先起了激励作用。他以时间上产业革命的出现较晚作为佐证。然而，至少在 17 世纪新的科学思想和方法就出现并在新一代学者中占据了主导地位，当然，已经发动了的技术性的产业革命的确在 18 世纪，而且科学的参与也是更为晚近的事情。从自组织观点看，则没有必要进一步深究哪一个要素起了关键作用或主导作用，这是因为，对系统起推动的，是系统内部各个要素的竞争与协同，后者更为

有意义。产权制度的革新、商人阶级的出现、科学内部的方法、思想和手段的革新、宗教的社会改革，都是共同发生共同作用的一回事的不同层面而已。换句话说，即如果我国社会演化的过程中，提供了科学演化的某种必需的、足够的物质、能量和信息，对科学及其思想的控制不是控制太强、太死，我们古代的科学形态中有足够数量和性质各异理论与经验要素，我们也同样是可以演化出近代的科学的。我们所缺的有许多，但最缺是制度创新。与诺思不同的是，他把产业革命以及近代科学技术看成是制度创新和产权建立的结果，而我从自组织观点出发，则把制度创新同近代科学技术以及近代思想革命看成是共同激励、共同促使三种要素成熟、完善并“循环”交互的过程。也许根本无法从时间上找出哪一个要素先起的作用，就是在时间上可以找到，也并不能说明问题，因为所有这些要素都是共同成长起来的，正如鸡生蛋蛋生鸡的问题一样。

以上是我对“李约瑟问题”的初步解释，这是一种依据了自组织观点的解释，希望它至少能在应用自组织理论解决各种问题和在解释“李约瑟之谜”的各种解释的百花园中填上一朵小小的、散发着清新气息的花。

* * *

按照以籍科学社会学家 J. Ben-David 的说法，只有在（1）科学的社会功能为公众所承认，全社会普遍尊重科学活动体现出来的价值，（2）科学应形成一套较严整的理性和操作规范并具备为实现自身目标的自主性，（3）科学活动还必须同其他社会活动相互衔接、相互适应，经常地保持一种发展势头的前提下，科学才能体制化。在我看来，科学的自组织首先需要的是必要的环境和条件，在自然系统中，科学家们已经证明，只要有了必要的环境和条件，自然系统的自组织就是必然的。地球就是由于具备了这些适宜的条件，生命这种高度组织的事物才自组织的、必然地又是随机地在地球上诞生了。不是其他地方没有生命，而是那些地方首先没有产生生命的自组织演化的条件和环境。生命可以从非生命的环境中自然地当然是长期地演化发展出来，生命的依次跃变，都要有一系列相应的条件和环境，其间有的衰落了、退化了，有的兴盛了、进化了。科学这种思想性的事物也是如此，它是一系列演化的结果，同时也是一系列演化的参与者，还是原因。强调其结构的出现在于环境和条件，除了它客观如此外，还有它的现实性意义，那就是，我们今天更应该改善或首先应该发展的是：科学发展的条件和环境、制度创新和思想解放。

主要参考文献

- [1]沈小峰,吴彤,曹国屏,自组织的哲学——一种新的自然观和科学观.中共中央党校出版社,1993年版
- [2][德]H.哈肯.信息与自组织.四川教育出版社,1988年版
- [3][美]H.朱克曼.科学界的精英.商务印书馆,1982年版
- [4]于渌,郝柏林.相变和临界现象.科学出版社,1988年版
- [5]高歌.对非线性科学的理解、体验和思考.科技导报,3/1991,3—5,17
- [6]G. Holon: Thematic Origins of Scientific Thought: Kepler to Einstein, Harvard University Press. 1988
- [7]G. Holton. 物理科学的概念和理论导论(上).人民教育出版社,1983年版
- [8][美]J.梅拉,H.雷琴堡.量子理论的历史发展(第一卷第一分册).戈革等译.科学出版社,1990年版
- [9]W. I. B. 贝弗里奇.科学研究的艺术.科学出版社,1979年版
- [10][美]R. K. 默顿.十七世纪英国的科学、技术与社会.四川人民出版社,1986年版
- [11]Richard Boyd, P. Gsper, J. D. Trout edited. The Philosophy of Science, The MIT Press, 1991
- [12]B. 巴伯.科学与社会秩序.三联书店,1991年版
- [13]宋玉升等译.诺贝尔奖获得者演讲集(物理学),第一卷.科学出版社,1985年版
- [14]E. Segré. 物理名人和物理发现(刘祖慰译).知识出版社,1986年版
- [15]G. 萨顿.科学的生命.商务印书馆,1987年版
- [16][美]怀特.文化科学——人和文明研究,浙江人民出版社,1988年版
- [17]John S. Rigden. "Rabi, Citizen and Scientist", New York, Basic Books, Inc. Pub., 1987
- [18]李旭旦.人文地理学引论.见:人文地理学论丛(李旭旦主编).人民教育出版社,1985年版
- [19]李喜先.复杂的科学系统理论及其应用.自然辩证法研究, Vol. 8, NO. 1, 1992, 29—33, 64
- [20][德]M. v. 劳厄.物理学史.商务印书馆,1978年版
- [21]魏宏森,宋永华等编著.开创复杂性研究的新学科——系统科学纵览.四川教育出版社,1991年版
- [22]Nathan Sivin: "Why the Scientific Revolution did not take place in China or didn't it?" Chinese Science, NO. 5, 1982
- [23]R. K. Merton, "The Sociology of Science: Theoretical and Empirical Investigation", Norman W. Storer, Ed., Chicago,

University of Chicago Press, 1973

[24] 何丙郁. Chinesescience : the traditional Chinese view ” , Bulletin of School of Oriental and African Studies , Vol.LIV , Part 3,1991

[25][美] J. 格莱克. 在科学的前沿阵地. 交流, 1988 年第 2 期

[26] 沃森著. 双螺旋——发现 DNA 结构的故事, 科学出版社, 1984 年版

[27] 中国科学院自然科学史所编著, 20 世纪科学技术简史, 科学出版社, 1985 年版

[28]郭贵春. 科学争论及其意义, 自然辩证法通讯, 1991 年第 3 期 22—28 页

[29] M. 戈德史密斯, 科学的科学, 科学出版社, 1985 年版

[30] 爱国斯坦文集(第 3 卷), 商务印书馆, 1979 年版

[31] 秦健, 美国“合作实验室”的发展及其对我国科技政策的启示, 科技导报, 11/1995. 21—22

[32] 罗·阿克塞尔罗德 (Robert Axelrod), 合作关系的发展, 交流, 1/1986, 59—63

[33] 陈国达. 学派与学科, 科技导报, 7/1994, 39—42

[34] 赵万里, 邢润川. 科学研究学派探析, 科技导报, 6/1993, 21—24

[35] 张宣平, 王炎坤, 邹珊刚, 科学奖励制度形成的历史依据和理论依据, 自然辩证法研究, Vol.9, No.1, 1993.p. 58—62

[36] Dictionary of American History, New York, Charles Scribner ' s Sons, 1979

[37] 朱锐. 美国私人基金会对科学的资助——对其历史、经验的考察. 大自然探索, 1988 年第 2 期第 119—126 页

[38] [美] 奥利弗·艾伦. 专利权的力量. 交流, 3/1991. 38—45

[39] [美] 利昂·卡斯. 专利权. 交流, 4/1982. 42—45

[40] [美] 吉姆·默克尔. 专利制度与经济繁荣. 交流, 2/1989. 27—29

[41] J. 齐曼. 元科学导论. 湖南人民出版社, 1988 年版

[42] 宋子良等. 科学家弄虚作假的原因及其防范. 华中理工大学学报, 1995.1. 83—90

[43] 吴述尧. 同行评议简议. 科技导报, 2/1993. 44—45.

[44] 中国科学院《自然辩证法通讯》杂志社编. 科学传统与文化——中国近代科学落后的原因. 陕西人民出版社, 1983 年版

[45] 林毅夫. 制度、技术与中国农业发展. 上海三联书店, 上海人民出版社, 1994 年版

[46] 王禹凡. 浅谈中国科学史之外史研究. 自然辩证法通讯, Vol.15, No.5, 1993

[47] G. E. R. Lloyd, Demystifying Mentalities (Cambridge, 1990)

[48] [法] 保尔·芒图. 十八世纪产业革命——英国近代大工业初期的概况. 商务印书馆, 1991 年版

[49] 道格拉斯·C·诺思. 经济史中的结构与变迁. 上海三联书店,

上海人民出版社， 1994 年版

[50] 吴彤. 中国古代正统史观中的“科技”. 内蒙古师范大学学报, 1990 年第 4 期

[51] 吴彤. 儒家与中国古代科学技术. 内蒙古大学学报, 1992

