



九天揽月

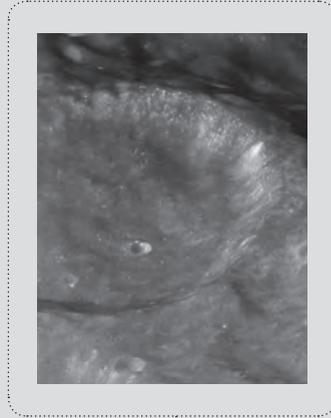
国家探月工程首席科学家

独家授权

嫦娥三号成功落月

欧阳自远院士深度讲述中国探月梦……





JUTIAN LANYUE

目 录

Contents

当年明月篇

首席科学家的成长之路

第一章 心中的月亮

九天揽月的千年梦想	8
地球的女儿	11
永远的感恩	15
月是故乡明	18

第二章 迈出人生的第一步

探寻的乐趣	22
自由的读书时代	26
科学普及，善莫大焉	31
人生的选择	38
青年的使命	43
给我一个支点	45

第三章 汲取受益一生的营养

师从名师	49
埋头研究	53
苏联人的卫星	55
难忘的恩师	58

惊天动地的科学研究

第四章 秘密的地下核试验

一项特殊的任务	66
秘密工作	68
亲眼目睹中国第一颗原子弹爆炸	75
一段暗淡的岁月	79
重返地下核试验	84

第五章 天上送来的礼物

世界末日离我们有多远	88
天外来客	95
遥远的召唤	97
世界上最先进的武器	99
珍贵的陨石	104
解开通古斯大爆炸之谜	109
难以忘怀的陨石雨	113
阿波罗的礼物	121

第六章 游学与从政生涯

在马普学会的日子	125
探求磁单极子之谜	130
短暂的从政生涯	134

属于中国的探月工程

第七章 我们不能再等待了

月球探测的第一次高潮	142
长时间的宁静期	146
重返月球的新战略	149
重返月球的缘由	155

第八章 十年磨一剑

探月工程开始起步	164
一个庞大的工程	168
制订探月的总规划	171
设计中国第一个月球探测器的 科学目标	174
一个艰难的过程	176
飞天的翅膀终于展开	180
中国人的梦想	185

第九章 嫦娥一号

为了共同梦想而努力	190
征途绝不平坦	193
骄傲的时刻	197
“零窗口”发射	205
为月球画肖像	208
嫦娥一号硕果累累	212
英 雄	215

第十章 嫦娥二号

嫦娥二号的特殊使命	219
为梦想铺路的优秀团队	221
天南海北的星地对接试验	223
发射前的倒计时	227
嫦娥二号的突破	231
嫦娥二号的拓展任务	235
不能容忍的失败	238

第十一章 嫦娥三号

一切准备就绪	242
如何安全降落	245
月球车如何月夜生存	250
嫦娥三号的辉煌成就	255
中国离载人登月还有多远	258

第十二章 不会停下的脚步

开展深空探测	261
火星探测的科学畅想	263
太阳探测的科学畅想	271
小行星探测的科学畅想	274
金星探测的科学畅想	278
木星系统探测的科学畅想	283
让中国飞得更远	285

当年明月篇： 首席科学家的成长之路

因为要了解中国的探月工程，使我有幸走进了中国探月工程的首席科学家——欧阳自远先生。老先生的博学、儒雅、谦逊、幽默，都使人在不经意间心生敬意。

一个普通家庭中的普通孩子，是如何一步步走上这探月之路，了却国人千年的飞天梦想的？与欧阳自远一起追忆这几十年间的点点滴滴，让人感慨万千，其中的很多事情都会给当代都市人带来更多的启迪和沉思。

第一章 心中的月亮

因为嫦娥三号的成功飞天，因为探月工程屡传捷报，与欧阳自远的对话自然要先从月亮开始。这位已逾古稀之年的老人讲述了一段传奇故事，听得我如痴如醉。忽然之间，感觉离我千里之外的星球，其实就在我的身边。

九天揽月的千年梦想



自古以来，中国人对月亮的认识是感性的。

举杯邀月，对酒当歌，寄情于千里之外，沉醉在方寸之中。月光，永远静静照耀着中国人心中最柔软的角落；无论是皓月当空还是朔月晦暝，都永远是中国人心中最特别的时光。

古今中国人对于月亮的咏叹，写满了中国文化史。借月抒发自己对“和、美”境界的追求和向往，是中国人、中国文化无法割舍的情怀！

早在《诗经》和屈原的《离骚》中，就曾经对明月有过美好的描写。再到后来“古诗十九首”中的“明月何皎皎”，特别是唐宋赏月风气盛行起来后的中秋之夜，明月千里，月光如银，田间、山野，山川、湖泊都笼罩在一片洁白的月光之中，文人墨客成群相邀，赏月咏月，诗兴大发，留下了许多千古佳句。

古代吟月最著名的诗人当首推唐代的“诗仙”李白。在李白留给后人的1000多首诗歌中，直接或间接写月的竟有320多首。其笔下之“月”，变化莫测，千姿百态，令人遐思不已。“俱怀逸兴壮思飞，欲上青天揽明月”一抒胸臆，挥洒出斗酒百篇的豪情，上天揽月从此成为多少代国人的梦想；“举杯邀明月，对影成三人”则是邀月共饮，将月亮看成自己的朋友。

“明月松间照，清泉石上流”，唐朝另一著名诗人王维笔下的月亮，则表达出一种物我两忘、天人合一的意境。正是那一片月光照射出诗人心灵中的旷达与超然，否则怎能写出如此恬静的诗句？

苏轼的千古佳句“明月几时有？把酒问青天，不知天上宫阙，今夕是何年？”“但愿人长久，千里共婵娟”皆蕴含了深刻的人生哲理。

明月跨越时空，亘古不变，阅尽人间变幻，成为历史的见证和永恒无限的象征。一切的沧海桑田都成为过往云烟，引发人们对宇宙人生的哲理思考。如“秦时明月汉时关”，这里的“秦月”、“汉关”，表达了诗人对历史的浩叹和追思。诗人探究人和宇宙的关系，月亮是永恒的，人生能永恒吗？于是就有了：“江畔何人初见月，江月何年初照人？”

“独上江楼思渺然，月光如水水如天”，古人笔下的这些诗都体现出诗人们追求清莹透明之境及天人合一的境界，明月中蕴含了传统文化博大精深思想和无尽的韵味，承载了人们彼此之间的真诚祝福和牵念，启示人们感悟宇宙、人生的意义和价值。

月亮的盈亏晦明循环，不仅为灿烂的中国文化提供了丰富的素材，还参与缔造了中国的农历，甚至影响了中国哲学对生生不息的生命精神与宁静神秘的智慧品格的追求。

回首中华文明史，中华民族诞生过许多人类最古老的智慧和幻想。中国人是世界上最早萌发飞天探月梦想的伟大民族，从嫦娥奔月的古老传说，到敦煌美轮美奂的飞天壁画，无不透露出我们这个古老民族对探索太空的无限向往。

中华民族嫦娥奔月的古老瑰丽幻想，蕴含了后世的科学创造因素。因此，1969年第一个登上月球的美国宇航员阿姆斯特朗，他曾经访问中国发表演讲，说了这段令人难忘的话：“人类第一位向往飞向月球的是谁？是中国古代的一位美丽姑娘。人类第一个登上月球的是谁？是一位美国人。那个美丽的中国姑娘就是嫦娥，那个美国人就是我。”

中国探月工程以“嫦娥”命名，把中华文明的本质巧妙地表达出来。

经过近三十年的改革开放，中华文明已经逐步与世界接轨。嫦娥的故乡在中国，但“嫦娥”属于全世界。“嫦娥”奔月给世界带来的，不是威胁，而是机遇；不是战争，而是和平。

“欲上青天揽明月”，是中国几千年传统文化中挥之不去的梦想，“嫦娥”实现了中国人古老的梦想。尽管美国和俄罗斯在上世纪六七十年代，在探月方面就已经取得成就，40年之后，中国才开始摸索此路，但一个民族的智慧，一个国家的实力，往往需要一些标志性的证明，而探月工程正是这种标志之一。因此，中国开展探月工程，是民族振兴的需要，是参与全球竞争的需要，也是全面发展的需要。中国开展探月工程，标志着中国在天文学、空间科学、地球科学、遥感科学、生命科学与材料学的一次飞跃；也标志着在带动信息技术、新能源技术、新材料技术、微机电技术、通信技术、遥测遥控技术等其他高新技术领域取得突破。当年中国在尚未解决温饱问题的情况下研制“两弹一星”，今天，刚迈入小康就开展探月工程，都体现了中华民族执着的追求，这是对国家强盛的追寻。

地球的女儿



想要了解中国的探月工程，自然首先要了解真正的月亮。当中国人千年来对月亮的感性解读，遭遇严谨的科学工程，是否还能保持这份传承已久的浪漫与情怀？

原本以为，属于我的“探月工程”将从枯燥的数字和于我来说犹如天书般的各种科学理论开始。但令我惊喜的是，这所有的一切，却是以一个惊心动魄的故事作为开端，故事中的浪漫、悲壮、摄人魂魄而又欲罢不能，实非人力所能书就。

世界上最惊天动地的一场“婚礼”是哪一个？最早的“走婚”缘于何时？最天造地设的一段“姻缘”是什么样的“金童玉女”？在一个淫雨霏霏的上午，我与一位已逾古稀之年的老人对坐而谈，一开始，他便向我讲述了这样一个美丽的故事。

数十亿年前，刚刚诞生的太阳系中到处都是大大小小的星球，有的故步自封，不敢越雷池一步；有的按部就班，按照自己的轨迹生活；有的则狂放不羁，四处遨游。于是，在那样的年代里，这些性格不同的天体之间的相逢便成了一件十分普通的事情。有些相逢轻佻而俏皮，蜻蜓点水般的萍水相逢后就永生不复相见；有些相逢则如仇人见面般分外眼红，直至最终的玉石俱焚。



月球成因撞击说

地球，就好像一个待字闺中的姑娘，尽管有些星球曾与她擦肩而过，有些星球也曾闯入过她的世界，但她的芳心始终没有被谁捕获过。直至有一天，一个如火星大小般的星球突然出现在她的眼前，这颗星球的强壮、迅猛，让地球再也无法逃避，于是，两颗年轻的天体举行了一场太空婚礼，碰撞产生的“爱情火花”惊天动地。婚礼过后，那颗志在四方、犹如懵懂少年般的星球，继续着他的浪迹天涯，而地球则至今无法忘怀那段突如其来的“爱情”。

婚姻可以改变一个人，同样，“婚姻”也可以改变一颗星球。“被青春撞了一下腰”的地球，从此不再亭亭玉立般挺拔，而是微微倾斜了23.5度。千万不要小看这个倾斜度，因为从此地球表面便产生了四季的变化，春夏秋冬的轮回交替，让地球又平添了多样的色彩。

太阳系其余的七大行星也刚刚诞生不久，它们的自转轴开始也都是垂直的，它们的命运与地球相似，也都遭受到太阳系中的各种星球的撞击，都撞得“七倒八歪”。火星的自转轴倾斜了25.2度，火星表面也有春夏秋冬的轮回交替；金星几乎撞翻了，自转轴倾斜177.4度，因而金星是反向自转；天王星撞倒了，斜倾角为97.7度，天王星只能是躺着自转。

更重要的变化是地球在这次“爱情”碰撞之后，两颗星球各自身体上的大大小小碎片、激荡起的尘埃与气体相互纠缠聚集，形成了这场太空婚礼的“爱情结晶”，诞下了一位美丽的女儿，这就是月亮。

女儿也在悄悄地改变着母亲。比如生活在海边的人，经常看到海水在周期性地上涨和下落。古人把白天出现的海水高涨称为“潮”，晚上出现的海水高涨称为“汐”。涨潮时，海水向岸边涌来，惊涛拍岸；落潮时，

海水从岸边后退，沙滩毕露。大潮来临卷起的波涛如万马奔腾，伴随着的雷霆咆哮之声，可传到千里之外。这种奇特的潮汐现象，最主要的影响者就是月亮，其次才是太阳。

我国古人很早就观察到每月中大潮出现总是在月球的朔与望之后不久，于是据此推测潮汐与月球有关。公元1世纪，汉代哲学家王充就在《论衡》中指出：“涛之起也，随月盛衰。”唐代诗人张若虚也在《春江花月夜》中吟诵：“春江潮水连海平，海上明月共潮生。”但率先对潮汐现象进行正确的科学阐释的则是大科学家牛顿。不要以为潮汐现象只为地球带来了简单的潮起潮落，它对许多海洋生物的生存和繁殖有着极为深远的影响，像牡蛎之类的软体动物主要依赖潮汐生存，因为潮流能带给它们自己无法去寻找的食物。而且潮汐还蕴含着巨大的能量。早在18世纪，就出现了“潮汐磨坊”，利用潮汐能来推磨；到了20世纪，人们又将潮汐能转化为电能，使远在海边的人也能享受到月球为他们带来的福利。而更为重要的是，潮汐是地球自转的“减慢闸”，可以使地球的自转速度逐步产生极其微小的减速变化；有了月球，地球的运转是非常稳定的，也增添了我们地球美好的生存环境。然而月球却逐渐远离我们的地球，大约每年远离3.8厘米。

古生物学家对一些古生物化石的研究发现，古生物的生长节律可以反演地球自转周期的变化。距今13亿年前，地球的自转周期也就是一天的时间只有16小时，一年大约有546天；6亿年前，地球自转一周的时间约20小时，一年有425天；6500万年前，地球一天的时间是23.4小时，一年有376天；现今地球一天的时间是23.934小时，一年有365.25天。有人通过研究认为，大约在40亿年前，地球自转一周所需的时间只要8小时，甚至有人认为地球刚诞生时，自转周期不足3小时。有些科学家认为，在这种情况下，飓风、台风、地震、海啸等自然灾害会更频繁，其力度和破坏性也会更大。这种恶劣的自然环境很可能会延缓地球上生命进化的进程，如果真是如此，那么很可能现今地球上还没有人类诞生！

类似潮汐现象对地球的改变是潜移默化的，最为直接的就是当“儿女”长大成人后，对“母亲”的呵护与保卫。也许是知道地球母亲在孕育自己的过程中，承受了多么大的痛楚，月亮这个懂事的女儿也格外照顾自己的母亲。无数次，曾有小天体意图撞向地球，欲对地球造成严重的伤害，月亮总会挺起自己的身躯，为母亲遮挡风暴，将这些小天体拒之门外，而月亮自己的身体却被砸得千疮百孔、满目疮痍。可以说，月亮成为了地球最忠实的保卫者。

一段美丽的故事行将结束，老人的娓娓道来，让我听得津津有味，曾让我觉得枯燥的科学资料，如今让我觉得十分有趣；那些曾不以为意的自然现象，则让我的心灵备受震撼。

这段探月的历程从一开始便精彩纷呈，而引领我走进这段历程的老人，就是中国绕月探测工程的首席科学家——欧阳自远。

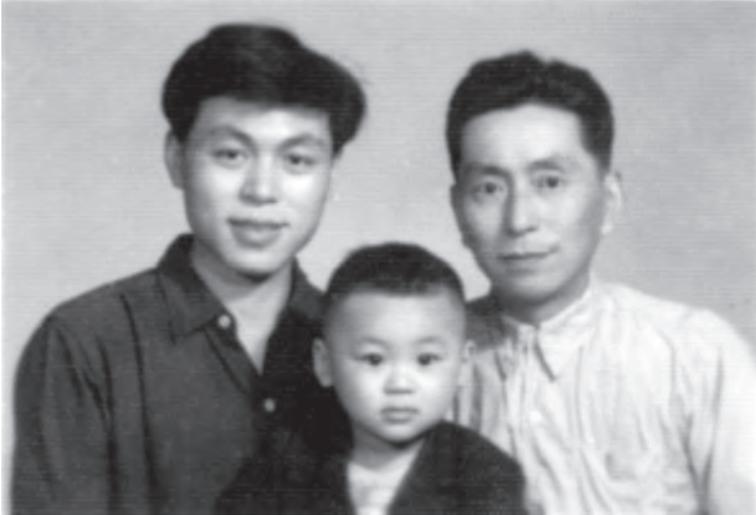
永远的感恩

听欧阳自远老先生讲述发生在太阳系一行星一卫星之间的故事，并不觉得这些主人公都是千里之外那些陌生的星球，而是发生在身边朋友身上的一段美丽邂逅。也许，在这位老人的心里，也早已把这些宇宙中的天体，当成自己的朋友甚至亲人，以至于说起每一个星球都如数家珍，讲述每一段故事都引人入胜。每一个星球、每一颗星辰，都在他的心里占据重要的位置。

我不相信宿命，但也许冥冥之中确实存在着一些说不清、道不明的因缘际会。欧阳自远和浩瀚宇宙的不解之缘，可能从他出生之日起就已然注定了。

1935年的秋天，欧阳自远即将来到人间。但不知什么原因，就在家人都在等待着孩子的第一声啼哭时，欧阳自远却迟迟不愿露面，亲眼看看这个世界，他的母亲随之出现难产症状。整整两天两夜之后，农历乙亥年十月初九（1935年11月4日），欧阳自远才终于降临人间，发出第一声嘹亮的啼哭。母亲因此所遭受的苦难，恐怕只有她一人才能感受。“儿女的生日，母亲的难日”这句话，恐怕只有为人母者才能够深深体会。

但天下的儿女均能体味母亲的不易，无论何时都会对母亲百般照顾，



祖孙三代合影

就如同守卫在地球母亲身边的月亮一样。直到如今，母亲仍然是欧阳自远心目中最伟大的人。多年之后，读到余光中先生的《母难日》，想起自己的母亲，想起她为生下自己而经历的痛楚，欧阳自远禁不住潸然泪下：

今生今世，
我最忘情的哭声有两次，
一次在我生命的开始，
一次在你生命的告终，
第一次我不会记得是听你说的，
第二次你不会晓得我说也没用。

……

这世界从你走后，
变得已不能指认；

唯一不变的只有
对你永久的感恩。

当母亲终于历经千辛万苦，将欧阳自远带到这个世界时，他的舅舅正在隔壁房间念书，刚念到《论语》里“有朋自远方来”这一句的时候，欧阳自远就来到了人世。舅舅听到小外甥的啼哭声，很感慨地说：“这个孩子生得这么艰难，是来自很远的地方吧？就叫他‘自远’吧。”

欧阳自远以后研究来自太空的陨石、研究宇宙射线和太阳系空间的宇宙尘埃、研究月球和火星的岩石等种种研究对象，恰恰也都是来自很远的地方。就连欧阳自远自己也无法解释这究竟是怎样奇妙的一种缘分，也许真是因缘际会。他由衷地喜欢着自己的事业，喜欢着遥远的天空。尽管后来，他也知道真实的月球很荒凉、很严酷。但，他对太空中万千气象的迷恋依旧。

月是故乡明



在欧阳自远老先生的记忆里，月光清辉中的山影水韵，倦鸟归林，充满着圣洁的意境，是那般朦胧，又那样清晰，仿佛是很中国的童话。

江西，偏隅的小县，漫漫红土上像似有枚图钉，把起伏的山峦和葱郁的竹海摁在地图上没标出的永新的位置。

对幼小的欧阳自远而言，图钉的尖正如教堂顶上挂着的月亮。

月儿有银白，有灰白，最是美丽的颜色莫过于柠檬黄，那是人世间无法调出的温柔与馨香。

江西，吉安。

78年前，欧阳自远便出生在这里。

欧阳自远此生奔波于南北，游走于东西，只要是祖国召唤，只要是事业需要，走到哪里，哪里就是他的家。尽管所去之处，有很多城市比他的故乡要壮观、繁华、时尚、便利，但他对家乡的那一份眷恋却始终不曾割舍，而且随着年龄越来越大，这份感情也越来越浓烈。

穿梭在高楼大厦之间，他总会回忆起曾经走过无数次的乡间小路；望着城市愈发高耸的天际线，他却总会怀念在家乡高山上看日出日落时，眼前那片美不胜收的云蒸霞蔚；看着城市中越来越如雾里看花般的灰色场



欧阳自远全家福

景，他就总是想起家乡崇山峻岭上的郁郁葱葱，还有触目可及、随处可见的那如生命律动般鲜活的绿色……

每当三五老友相聚，或有人捎来故乡的特产，或听到亲切的乡音，故乡的种种就在眼前一一泛起。尤其当月光洒满城市的时候，欧阳自远总会思念起同样是被月光笼罩着的故乡。

入夜之后的故乡，柳梢头上的月亮散发出银白色的光芒，世界呈现出柔和的静谧。周围的一切，除了安静之外，便还是安静。那是一种发自内心的安静，那是一种来自九霄之外的安静，静得似乎可以听到广寒宫中的叮咚乐曲，可以听到嫦娥姑娘的喃喃呓语。“夜半无人私语时”，恐怕在家乡的无数个夜晚，欧阳自远都是在和嫦娥姑娘的窃窃私语中度过的。如今身处繁华都市，闹市中的喧嚣已让人无法聆听；快速节奏所带来的烦躁更是让人无法静心，每逢此时，欧阳自远总是会在内心默念曾让他心动的来自广寒宫的丝竹之声。同样的月光，却是如此不同的感受，月光中的欧阳自远，总会念起江西吉安这个曾生他育他的小小地方。

“举头望明月，低头思故乡”，这句三岁小儿就会吟诵的千古名句，

恐怕要到了欧阳自远这个年龄，才能深解其中三昧。

当然，故乡带给他的绝非仅此而已，一方水土养一方人，走过了众多地方，感受了不同的地域文化之后，方知此言非虚。

欧阳自远的故乡古时曾名为庐陵、吉州，到了元初被改称为吉安，并沿用至今，这个名字当然是取了“吉泰民安”的美好寓意。名副其实，吉安一地，的确是人杰地灵，素有“江南望郡”的美誉。

这里英才辈出，名士荟萃。“唐宋八大家”之一的欧阳修、宋代“中兴四大诗人”杨万里、书写出“人生自古谁无死，留取丹心照汗青”的南宋民族英雄文天祥、明代《永乐大典》主纂解缙、创作了《牡丹亭》的汤显祖、写下了中国17世纪百科全书《天工开物》的宋应星……如此众多的历史文化名人、知名学者，均出自吉安。“三千进士冠华夏，文章节义堆花香”，从唐宋至明清，吉安科举进士近3000名，堪称天下第一，甚至还曾出现过“一门九进士，隔河两宰相，五里三状元，九子十知州，十里九布政，百步两尚书”的历史盛世。

自中国进入近代以来，欧阳自远的家乡更是被注入了红色的重彩。星星之火从这里燎原，美好前程从这里起航。就在他家乡的井冈山创建了第一个农村革命根据地，成为革命的摇篮。

仔细想来，故乡赋予了欧阳自远太多，也陶冶了他太多。正是故乡绵延不绝的文化遗产与历史积淀，教会了他尊重知识、尊重文化，而红色的濡染，造就了他的一腔热血、心系祖国。

吉安是欧阳自远人生的起点，当他年少时走出故乡，一心想的都是如何打造自己的天空，故乡的孕育其实已经铺就了他脚下的道路：以科学研究作为他一生的事业挑战，为祖国的地质与航天事业奉献所有。他的一生都在追逐、探索，而故乡似乎早已注定了他前行的方向。

一步步走到今日，回首望望，也许欧阳自远会深深感谢家乡所给予他的一切。因为感谢，对她也愈发怀念，怀念故乡雨后湿漉漉的街道，怀念故乡午夜银白色的月光……

露从今夜白，月是故乡明。

第二章 迈出人生的第一步

童年时期的欧阳自远，是自由和快乐的，月亮也在那个时候偷偷进驻了他的心灵，从此，月亮就成了欧阳自远一生的向往与追求。

步入青年的欧阳自远，正赶上新中国那一段激情燃烧的岁月。满腔热血的他暂时放弃了自己的心中梦想，响应国家号召，迈出了人生中最重要的一步。也许那时候的他还未曾料到，从此他的人生将变得波澜壮阔、精彩纷呈。

探寻的乐趣



中国历来重视文人传统，或在浩瀚的文学海洋中恣意遨游，或在古人留下的故纸堆中皓首穷经，自古代至现代，文学家、哲学家、政治家不计其数，但能够青史留名的科学家则如凤毛麟角般稀有。及至晚清，废八股取士，兴新式教育，而后五四运动又大肆提倡“德先生、赛先生”，自然科学教育开始兴起，但也并未成为显学。

欧阳自远的成长之时，又恰逢中国的乱世，兵戎相见、刀光剑影，究竟是什么让他对天上的月亮发生如此浓厚的兴趣，又通过不断地学习，使之引领并主导着中国的探月工程？难道是因为有家世传承，家庭长辈的潜移默化让他逐步走上这条登天之路？在欧阳先生的讲述下，我才得知，欧阳自远的家庭背景非但与此没有任何关系，而且是个普通得不能再普通的家庭。

欧阳自远的祖父、父亲、叔叔，都是在亲戚开的西药房里做学徒出身，通晓了一些医药知识后，在邻近的县镇里开药房。他们一生最大的愿望，和普天之下的百姓一样，就是希望太平、平安，宁做太平犬，不做乱世人。所以他们为人处世也是与人为善，做事勤勤恳恳，待人和和气气。

但命运之手往往会捉弄人间，一心憧憬着太平盛世的他们，却生逢乱

世。“九一八事变”之后的几年，中日之间摩擦日剧，一场无法避免的全面战争一触即发。祖父判断家乡吉安恐怕也难以逃脱日本人的铁蹄蹂躏，就带着叔叔到永新开创家业。而欧阳自远的父亲则独立支撑，不断游走，开始了更为艰辛的生活。他先是到了永丰，可没过多久，这里也不太平了，又跑到泰和，再到赣南的兴国。父亲不断迁徙的艰难生活，颇让人唏嘘，但就是在兴国，他却遇到了欧阳自远的母亲。人生际遇，福祸相依，其间的复杂、偶然，恐怕没有几个人能够说清楚，遑论评价。

可巧的是，欧阳自远的外祖父一家也是开药房的。时至今日，欧阳自远还经常和别人笑言：谁说同行只能做冤家，也可以做亲家。

在欧阳自远4岁时，他的父亲独创家业，成立了自己的药房，取名为“九州大药房”。谁都能知道创业之初的艰辛，他的父亲不得不精打细算着每一分钱的支出。为了最大限度地帮助父亲节省开支，母亲也开始到药房做事，给父亲打打下手。药房里的事情一天比一天多，母亲能留在家照顾欧阳自远的时间也就越来越少。于是，欧阳自远被送到居住在吉安市永新县的祖父祖母家里。

尽管自幼离开了父母的怀抱，但祖父祖母的悉心照顾和呵护，让欧阳自远并未感到一丝一毫的孤单。反而是祖父祖母还有他的叔叔给欧阳自远的人生开启了另一扇窗户，让他看到了完全不同的世界。

祖父祖母都信奉基督教，他们经常会给欧阳自远讲述《圣经》中的故事。每到星期天，两位老人还要去教堂做礼拜。他们所去的教堂是这个小县城里唯一的尖顶拱形、窗户半圆，具有典型哥特式风格的建筑。有时刚走到门口，便听见一阵犹如天籁一般优雅、舒缓的琴音，透过色彩斑斓的玻璃花窗流洒开来。还有两位来自芬兰的修女，每次见到她们，总能看到她们发自内心的微笑。幼年的欧阳自远，根本不知道芬兰究竟在哪里，只是模糊地意识到离他很远很远。尽管她们有着不一样的发色、不一样的肤色，但欧阳自远却觉得和她们颇为亲近，这种亲近感不光来自她们的微笑，也因为她们和欧阳自远的名字一样：来自遥远的地方。每逢祖父祖母

和教友们聆听赞美诗时，欧阳自远也和周围的大人们一样陷入沉思：耶稣是不是也住在天上？那他是不是见过广寒宫中的嫦娥，与她比邻而居？芬兰究竟在什么地方？她们看到的月亮和我们这里的月亮究竟一样不一样？也许正是童年时期这些不羁的疑问，埋下了兴趣的药引，不断寻找答案，又不断提出新的疑惑，再不断探索，就这样循环往复，让他只想探求更多、更多。

叔叔给欧阳自远带来的则是完全不同的天地，他深受庐陵文化熏陶，许多典章名篇全部烂熟于心，尤其写得一手好字，铁划金钩、形神兼具。博学多识的叔叔便成了欧阳自远的启蒙老师，他向欧阳自远传授知识的方法还非常灵活，他会找来一些硬纸片，剪成白酒盖大小的圆形，然后在每个圆纸片上写上一个字。日日东方拂晓之时，叔叔就会教欧阳自远认识在硬纸片上写下的二三十个汉字，并在字形上加以比较，让欧阳自远在字义上反复揣摩。日复一日，欧阳自远能够拼写、识读的字越来越多，叔叔就将教授的内容延伸到《百家姓》《千字文》等。除了学习汉学之外，叔叔还让欧阳自远每天必须做几十道算术题，并在临睡前一一检查，其耐心细致的程度，绝不亚于在药房里给病人切脉问诊。

进入小学之后，叔叔为欧阳自远铺垫的知识基础，以及他自己对知识的热切渴望，使他的学习成绩一直名列前茅。但欧阳自远一点都不满足，在他小小的脑袋瓜里，有太多需要解答的问题。只要是感兴趣的书，他可以废寝忘食地不停看下去；凡是感兴趣的问题，就必定要刨根问底。很快，课堂上所学到的知识已经不能满足欧阳自远不断膨胀的求知欲，书店就成了他经常光顾的地方。永新县有一个书店，尽管那个书店很小，但对于儿时的欧阳自远来说，那里可是一个藏着大千世界无数秘密的殿堂。为了能买书，他把长辈给的零用钱一分一分地积攒下来，攒到够买一本书的时候，就赶紧跑去买回来。但零用钱毕竟有限，一时买不起，他就会站在书柜前，一站就是半天，盯着柜台里自己渴望得到的书籍，不错眼珠地看着。久而久之，书店的老板和店员都认识了常常要等到书店打烊才悻悻归

家的欧阳自远。渐渐地，周围的一些老人们，会经常主动将家中闲置的书送给他看，他们送来的书类别杂乱，欧阳自远则是统统收下，随之而来的就是他的阅读范围也越来越广，自然、地理、天文，无所不有。

放学之后，其他同学往往会在一起游戏，下棋、捉知了、捕蟋蟀。欧阳自远却会选一块清静的河岸，伴着潺潺的河水，捧着书本一直到日落西山。回家吃过晚饭，又会再次捧起书本，看到夜色浓重。他的体育活动，最多就是在夏天和几个小伙伴去游泳。所以欧阳自远小时候给人的感觉，总是规规矩矩、一板一眼。

为了勤俭持家，欧阳自远家晚上总会早早地灭掉煤油灯。每逢此时的欧阳自远，总是心有不甘，他多想再能看一会儿书啊。一年秋天，当家里的煤油灯再次熄灭之后，窗外明亮的月光吸引了欧阳自远，他拿起刚才正看着的那本书，走出房门，想看看借着月光是否能看清楚书上的字。皎洁的月光将银色的光芒铺开在书页上，上面的文字朦胧可见，欧阳自远抬头望了望天上的月亮，露出充满谢意的微笑，低下头如饥似渴地看了起来。

就这样，自此之后的每个晚上，月亮都会陪伴欧阳自远一起读书。时至今日，他依然能清晰地记得，每到夜深，合起手中的书本，揉揉双眼，他总会抬头望望天空中的月亮，发自心底地喃喃自语一句：“谢谢你，月亮。”

1945年，日军投降，父母返回永新，重新开起九州大药房。在药房里，不只是卖中药，也卖西药，这在家乡这种小地方可不多见。当时最有名的药就是盘尼西林，也就是后来所称的青霉素，另外德国拜耳药厂生产的痢特灵，在药房里也能买到，谁要是有了腹泻疾病，一吃这个药，好得特别快。药房很快就赢得了周围乡里的赞誉之声，生意也越来越好，生活总算不那么艰辛了。

次年，欧阳自远也以优异成绩完成了小学的学业，并升入永新县中学。在那里，等待他的是更为广阔、任意徜徉的书海，还有影响他一生的恩师们。

自由的读书时代



我曾问过欧阳先生，究竟从什么时候开始对月亮产生浓厚兴趣的。他说，从小时候，那时候总觉得天上的事情很好玩，跟周围小朋友说起星球上的事儿总让人觉得神乎其神，后来读了一些介绍宇宙知识的科普小读物，就更增加了对宇宙的兴趣。

想想当时的场景，觉得甚是充满童趣，一个时常仰望夜空的孩子，如饥似渴地了解着自己想要知道的事情，然后现学现卖，向周围小伙伴分享着自己的喜悦，那般眉飞色舞，间或吐沫横飞，小伙伴听着有声有色地讲述，都向他投来崇拜的目光。小伙伴的反应也促使欧阳自远阅读更多的书籍，了解更多的知识，好让他能不断地跟小伙伴分享。

与现在有些家长反对中学生读杂书恰恰相反，欧阳自远小时候乱七八糟的书都看。这对他以后的发展很有帮助，所以他至今都主张小孩子可以看些野书。后来欧阳自远带学生，最头痛的就是他们语文功底太差，鸡兔同笼的算术题都搞不清楚题目意思，写的文章不是说假话就是讲套话，也缺乏人文历史素质的积淀，培养起来很成问题。

在欧阳自远看来，能看野书的中学时代，是一个自由的年代。

在初中时期，欧阳自远必须住校，晚上也得上晚自习。虽然学校的课

程尚能按部就班地进行，但生活条件却异常艰苦。

学校的伙食非常不好，大部分时间吃的都是白菜、豆腐。一个星期一顿咸鱼的晚饭，是欧阳自远当时最向往的饭食。每次将咸鱼盛到碗里，他都舍不得大快朵颐，总是一小口一小口地边品边吃。

伙食不好只是考验嘴巴和肚子的事情，还很容易对付。但那时候永新中学没有电灯，上晚自习时，每个同学还得带着竹筒子——里面装着菜油，到了座位上，掏出一个小铁灯盏，里面有灯芯，倒点菜油进去，点着，就在豆大的灯光下看书。每到晚自习时，为了节省菜油，欧阳自远总是将火苗调到最小。读累了的时候，他也会习惯性地仰头遥望夜空，想起小时候月光伴他读书的情景。欧阳自远总是在幻想，如果能将月亮从空中摘下，悬挂在学校的教室里，就不用点菜油灯了。

条件虽然艰苦，但学业不重，那时候书包不像现在那么沉，因此有大量的时间读野书。彼时的永新县城很小，书店也很小，但欧阳自远经常会去那些书店“乱翻书”，也会从同学处借书看。

看武侠就是从那时候开始的，在中学时代，欧阳自远就开始看还珠楼主的书了，像《蜀山剑侠传》，里面有神话，有武侠，有幻境，文笔华美，想象奇特，看得欧阳自远爱不释手。还有一种是中国传统名著，像《隋唐演义》《薛刚反唐》《三国演义》《水浒传》等，里面也是金戈铁马，笑傲江湖，让欧阳自远一沾手就欲罢不能。

当然，最重要的就是那段日子欧阳自远也接触到不少科普书籍，像开明书店出版的各种少年读物和科普书籍以及上海出的《科学》月刊就让他印象深刻，《科学》月刊是留美学生任鸿隽等于1915年在上海创办的，旨在向国人介绍科学故事、科学家、科学前沿问题、科学方法、科学精神等。

华罗庚就是在《科学》上崭露头角的，熊庆来正是看中那篇文章才成为他的伯乐的，足见当时科普书影响之大。

欧阳自远高考时一度想考天文系，这纯粹是因看各种野书从而找到的

人生方向。当时他对地球之外的世界很好奇，很憧憬，想搞明白是怎么回事，但那时根本不知道月球是什么，也没有像一些媒体所说的参加天文小组。

感觉不到学业压力的中学时代，让欧阳自远在各方面都得到了发展。至今他依然拉得一手好二胡，就是在中学里学会的。20世纪50年代初开始，为配合各种政治运动，永新中学的下乡文艺演出很多，欧阳自远也是骨干之一。

年逾古稀之年的欧阳自远，提起自己的中学时代，依然是一派缅怀之情，认为正是中学的培养，造就了他日后的成绩。欧阳自远觉得一方面是遇到了一群好教师，另一方面，是学会了学习。

语文老师刘燕江、地理老师袁家瑞、化学老师贺祖煌……不知道怎么云集了这么一班好老师。

刘燕江是从日本留学归国的，长得瘦瘦高高，痴心于教书育人事业。也许是留学东洋的经历，使得他既有国学的深厚功力，又有外来文化的浸润，讲起课来生动活泼、神采飞扬、妙语连珠……他讲起叶圣陶、朱自清



1952年，欧阳自远从江西永新中学高中毕业（左为父亲欧阳志云）。

的文章，特别亲切，因为他跟课本的一些作者是同时代人，有些可能还认识；即使不认识；对背景也了解得特别清楚，这样说起来，让学生们感觉语文特别有意思，一节课上完，能回味很久。

数学老师左大元，严谨却不拘泥地讲解深入浅出，上他的课不再是枯燥的计算和分析，他行云流水一般的板书，让探求成为一种享受。

英文老师左幼兰，标准的吐字发音，抑扬顿挫的声调，略带磁性的男低音，将每一节英语课都讲授得宛如一场话剧演出，一种艺术展现。

地理老师袁家瑞，一幅幅的图像是印在他脑子里的，信手拈来，无不精准。寥寥几笔，就可以把一个国家的轮廓、山河清楚地勾勒在黑板上，而每一条河流的名字、每一座山峰的故事，他总能脱口而出，似乎天下的山水草木都铭刻在心。这让欧阳自远在佩服之余，对地理学科产生了一种超乎其他科目的兴趣。

化学课也是欧阳自远爱上的课程，化学本来枯燥，但贺祖煌老师讲得特别生动，总能够精准地将一个个试剂融合，继而变幻出一个缤纷有趣的元素世界。欧阳自远经常问他问题，他不厌其烦地解答，留下的烙印太深了。从此欧阳自远看到的许多东西，都试图用元素去解构，放进化学里去把玩。

良师带来的不只是知识上的营养，更多的是对生活 and 人生的认识与态度。

一天，欧阳自远请教地理老师袁家瑞，为什么他可以信手拈来就把世界各国的地图描绘出来。也许是从未有任何一个学生像欧阳自远一样问过他这个问题，袁老师静静地看着眼前的这位学生足足十几秒钟，继而说出了一句让欧阳自远铭记一生的话：“当你不只是学习，而是热爱时，你可以距离完美更近。”

热爱是最大的动力，但热爱却不能在课堂上学习到。究竟该如何培养热爱的兴趣，袁老师接下来的话让欧阳自远更加震撼：“近代中国，屡受外辱，究其原因，有列强的野心，但更因为近代中国的落后。中国有悠久的文明、丰腴的山河、智慧的民众，我们‘地大物博’，当你怀着强盛

国家的心去学习的时候，你的学习就会悄然转向热爱……”文化的浸染，在这一刻变得如此生动，读书不但可以改变个人的命运，甚至还会改变祖国的命运。自此，欧阳自远的一生，都是在努力为实现这一愿望而不断实践。

除了这群优秀的师长，中学对欧阳自远最大的启示，就是方法比获知更重要，学会怎么掌握知识远比掌握知识本身更重要，欧阳自远从来不主张死记硬背，而强调学会怎么学习。

在中学时代，怎么根据各个科目的特点有序地掌握知识点，掌握这门学科的规律，应该是学习的重点。像地理，有那么多图表，就应当发挥形象思维；像历史，穿越那么久的时间长河，就应当把历史事件串起来学。如果每门学科都是机械地学，抓不住本质，理不透精髓，没法做到融会贯通，就是不得法，欧阳自远在中学时代明白了这点以后，以后的学习都不再觉得有什么压力和困难。

现在接触到很多学生，非常聪明，知识也很广博，但就是不太知道怎么做研究，这就是因为中学学习不得法，光是机械地积累知识，结果在研究上没上路。

欧阳先生曾说：“现在电脑把人养得更为懒惰，一些学生所谓做研究，就是在网络上这里找到一块，那里找到一块，然后一拷贝，就弄出一大摞的材料，注水的东西，看着就烦，研究完全变味了。我们那时候所有的材料都是自己动手写，一点一点做出来的。”

中学时代是欧阳自远记忆中无法抹去的亮色青春，名师们的指点让他懂得了如何学习，更塑造了他的各种观念。

科学普及，善莫大焉

也许正是得益于年少时读到的科普读物，现在的欧阳自远依然致力于科普工作。一年大概有至少四五十场的报告演讲，还要著书立说。我曾有幸聆听过欧阳先生的讲座，足足三个多小时的时间，老先生在台上深入浅出，旁征博引，让台下的听众如痴如醉。时而博得听众的会心一笑，时而赢得大家的阵阵掌声。不但那些十几岁的孩子兴趣大增，就连我都恨自己早生了30年，如果小时候也能受到这样的普及，也许我如今也走上了航天之路。

不过，看到一位年逾古稀的老人在台上连讲三个多小时，其间连口水都没喝，心中不免觉得老人过于辛苦。但这一切欧阳自远自己却不以为意，他觉得这是他的责任。在他看来，科学传播跟科学研究同等重要。但有时，欧阳自远也为一些不切实际的报告和讲座大声抱怨：“现在我们大多科普报告都是在传授知识，我认为这就是不得法，科普报告应当激励学生的科学热情，引发他们萌生科学探索精神。这样他们就会自己去寻找知识，而不是被动地接受了。”

科学普及，尤其是针对青少年的科普工作，在我看来，绝对称得上是一件功在千秋、善莫大焉的事情。所以，欧阳自远也始终以近80岁高龄奔

波于各地的讲台。如果有社会性事件发生，我们也总能看到他出现在媒体面前，为大众答疑解惑，消除恐慌。

但面对大众，难免招致非议，尤其是“阿波罗事件”，更让欧阳自远一时陷入了舆论的风口浪尖当中。

40多年来，世界上总有一股强劲的质疑声伴随着阿波罗计划的进展，他们认为阿波罗载人登月是美国航空航天局制造的一场阴谋，是一个弥天大谎，是一场惊世骗局，是20世纪最大的科学谎言。他们认为美国的宇航员实际上并没有登上月球，所谓的阿波罗载人登月的大量录像片和几十万张照片都是在美国某个军事禁区的摄影棚里拍摄的。质疑的声浪在全世界广为传播，甚至有一位美国人比尔·凯信还写了一本名为《我们从未到过月球》的书，书中列举了大量的怀疑证据，来论证美国阿波罗载人登月并没有实现，美国的宇航员没有一个人登上过月球。

这种信息传播到国内后，更是引起了轩然大波，中美之间的种种历史渊源，更让一些国人对这种“阴谋内幕”深信不疑。而欧阳自远从科学论证的角度出发，对种种疑问抽丝剥茧一一解答，颇让人有拨云见日之感。

为什么插在月球上的美国国旗会迎风招展？

从美国航空航天局提供的录像片和相关的照片来看，美国宇航员将美国的国旗插在月球上的时候，这面国旗确实是在晃动，似乎是在迎风招展。但是月球上没有大气，属于超高真空状态，不可能有风，国旗不可能迎风招展。于是有人肯定地说，这些录像片不是在月球上拍摄的，而完全是在摄影棚里伪造的。

实际情况是，当宇航员到达月球以后，由于美国这面国旗是用一种特殊塑料制成，登陆舱里放不下，所以他们将这面国旗卷起来，绑在登陆舱的腿上。当宇航员通过旋梯踏上月球表面的时候，他们把这面国旗从登陆舱的腿上取下来，将它展开，因而这面国旗并不是很平整，有一些褶皱。随后拉起一根杆子，就像撑伞那样将国旗张开，然后将旗杆插入月球的表土里。宇航员插完后一松手，旗杆就发生了振动，因此带动了国旗晃动，

似乎是在迎风招展。大家知道，在地球上一根振动的杆子很快就会停息下来，因为地球的表面有空气，空气的分子起到了阻力作用，因此这根杆子摆动的振幅会越来越小，很快就会停下来。而在月球上，是超高真空状态，没有阻尼，所以这根旗杆晃动的时间比较长，在整个录像期间，旗杆一直在摆动，由此带动了国旗一直在晃动。这反而证明了美国宇航员的确登上了月球，并且将国旗插在了月球上。

为什么照片拍不到月亮漆黑天空中闪亮的星星？

美国航空航天局公布的几十万张照片，包括录像片里，人们都能清晰地看到月球的天空是漆黑的。这是由于月球表面是真空，所以它的天空是漆黑一片的，不像我们的地球，由于大气层的作用，我们的天空是蔚蓝色的、美丽的。月球的天空是漆黑的，但漆黑天空中的星星是极其闪亮的，这是月球上特殊的风景。那么为什么宇航员拍不到漆黑天空中的星星呢？表明美国的阿波罗宇航员没有登上月球，这些照片是在摄影棚里伪造拍摄的。

实际上，在上世纪60年代，当时宇航员所使用的相机还是用胶卷做底片。当他们走出登月舱，到达月球表面时，那时是月球的白天。在强烈的太阳光照射下，当时月球表面的温度可以达到110℃以上，在这样的强光照射和高温的背景下，对着漆黑的天空拍摄星星，胶卷底片的曝光时间极其短暂，所以是不可能拍摄到星星的，这也说明美国的宇航员确实是登上了月球。

为什么有时宇航员会出现两个影子？

有时候我们在录像片和照片中能看到，美国登月的宇航员有时候会出现两个影子。大家知道，月球上只有唯一的一个光源，那就是太阳，而出现两个影子，只能是在摄影棚中另外加了一个光源而拍摄的。

当“阿波罗11号”的宇航员阿姆斯特朗走下舷梯，踏上月球的土地时，他确实说了一句话——“对于我个人是一小步，而对于人类来说是一大步”。随后，他在月球表面进行了一系列勘测工作，但当他走在登陆舱附近时突然出现了两个影子，因此引起了人们的质疑。“阿波罗11号”的

登月舱表面是金属的，是个多面体，是多角形的，太阳照射到登陆舱上，相当于不同方位的镜面反射了阳光，所以站在某个位置上会出现两个影子。这就表明，是由于登陆舱表面反射太阳光而产生的另外一个影子，并不是在摄影棚里另外加了一个光源而制成的假照片。

为什么宇航员的脚印太清晰？

当奥尔德林走出登陆舱，走下舷梯，踩在月球表面时，确实印下了一个非常清晰的脚印。人们都有经验，在地球上，想在一堆沙土上踩下清晰的脚印是不可能的。除非在月球土壤里加上水，再加上一些泥土，搅拌均匀后踩下去，脚印才能够如此清晰。但是月球上没有一滴水，脚印肯定也是在摄影棚里伪造的！

为什么会如此清晰的脚印呢？这就关系到月球上土壤颗粒的形状以及其他一些特点。首先，月球的土壤是如何形成的呢？月球的土壤是由于岩石白天受到高温的太阳光照射，晚上又处在极其寒冷的条件下，热胀冷缩，这样长期下来，岩石全部崩解，形成了很多粉末状的矿物的小颗粒。而且，月球上没有水，也没有风的活动，所以这些土壤堆积在月球的表面，它的组成都是岩石破碎后的矿物的各种小晶粒，这些矿物的晶粒有它自己的晶形，都是棱棱角角的。当宇航员一脚踩在月球的土壤上，并不会像踩在地球的沙粒上一样，因为地球上的沙粒经历风的吹扬和水的磨洗，沙粒的形态大多是滚圆形状，不可能形成清晰的脚印。而在月球上踩下的脚印，由于各个颗粒都是棱棱角角的形状，受力后交织在一起，可以构成非常清晰的脚印。而且月球上的脚印可以一直保持很长的时间，假如现在能够再看到这个脚印，它依然会是很清晰的。因为月球上没有大气活动，没有风、雪、雨、霜的活动，同时又是在真空中，所以这个脚印可以保持很久，几十年、上百年都可以保持原有的形态。这也表明他们真的登上了月球。

随着阿波罗计划的进展，欧阳自远一直在研究阿波罗计划所获得的各项科学上的数据和成果，同时也开展了一些相关的研究。当然，欧阳自远

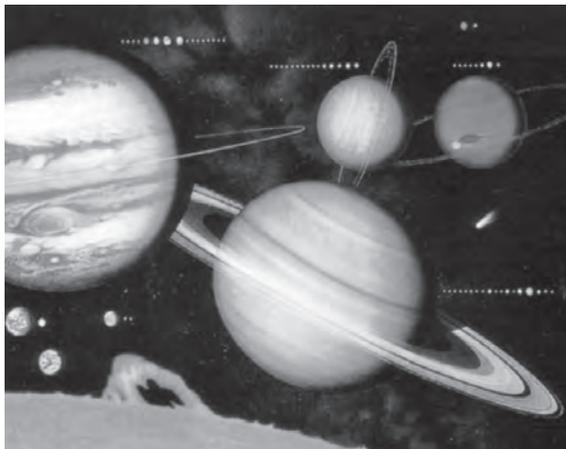
相信阿波罗计划确实是真实的，而且取得了巨大的科学成果。因为在整个阿波罗载人登月过程中，人们一直可以接收到来自月球的信息，比如有一个小天体撞击月球产生了震动的弹性波，传播到阿波罗宇航员早已埋设在月球的月震仪上记录下来，然后将探测数据发回地球。应该说，这些年以来一共接收到了一万多次发生在月球上的小天体撞击月球事件以及微小的月震的数据。假如没有人能登上月球埋设下月震仪，怎么可能在地球上获得这些科学数据呢？另外，阿波罗宇航员在月球上埋设了激光反射镜，在地球上发射一束激光上去，通过反射镜反射出来的光子在地面接收，科学家就可以计算出地球与月球之间的精确距离。假如没有宇航员在月球上事先埋设这些仪器，如何能获得精确测量地月之间距离的相关科学数据呢？

“阿波罗11号”并不是凭空登上月球的，而是经过“阿波罗1号”到“阿波罗10号”的各种技术试验和验证之后，在工程技术上是有能力载人登上月球的。

而且，“当时全世界都在关注阿波罗登月的情况，最关注他们的当然是苏联，他们始终都关注着载人登月的实施情况，并且承认美国人登上了月球”。

美国大约有40万名科技人员参与了阿波罗计划，他们在各自的岗位上为阿波罗的载人登月做出了各自的贡献。“假如美国的宇航员没有登上月球，而是一场惊世骗局，这需要40万名科技人员共同来隐瞒真相，共同来制造这个谎言，这是很难的。没有一位真正的科学家怀疑过阿波罗登月的真实性。所以说，当时美国的技术能力是能够实现载人登月的，并且真正地实现了。”

2009年美国发射了“月球轨道勘测飞行器”（LRO），它绕月飞行的高度是50千米，照相机的分辨率小于1米。结果，它拍到了阿波罗六次登月所留在月球上的登月舱、月球车和其他埋设在月球上的科学仪器，甚至宇航员走过的足迹和月球车的车辙依然清晰可见，跟当年的记录和报道一模一样。



近几年来，精心规划我国太阳系探测的科学目标，让中国人走得更远。

欧阳自远的解答可谓有理有据，但有些人的争论已经超出了科学探讨的范畴，甚至不可理喻地将一个科学问题转变成一个道德问题，在网上大骂欧阳自远替美国人说话。面对非议，欧阳老先生一笑置之，甚至还幽默地夸美国人实在是聪明得很：

“我觉得最有趣的是，40年来，对于外界的质疑，美国航空航天局的态度一直是不置可否，我也问过美国航空航天局的官员，为什么不出来解释，他说这种问题根本不值得回答。但他们越是沉默，外界就炒得越热闹。我觉得他们（美国航空航天局和指责阿波罗载人登月是伪造的人们），共同联合，相互‘配合’，真正地制造了一个‘阴谋’——‘骗’得全世界几亿公众40年来关注阿波罗的热情始终不减，相当于做了一次史上规模最大、时间最长、影响最广的科学普及运动！对于这一场规模宏大、延续时间最长的科普运动，美国人没有花一分钱，真是太高明了！”

尽管不时地遭受非议甚至是人身攻击，欧阳自远却从未打算停止自己的普及工作。一次，我和欧阳先生聊天时，欧阳先生说到前几日参加一个会议，与会者都只是讲些场面话，唯有吴敬琏敢讲些真话。

我突然觉得两位老人有很多相同之处：同样是温文儒雅的外表，在各自的业界同样是泰斗级的领军人物，而更重要的，是同样的将身外之物甚至生前荣辱置之度外，不顾是否刺痛了某些人的内心，只讲自己内心真正想讲的话。也许是到了他们这样的年纪已经将世事看淡，也许是多年追求真实的精神已经让他们养成了习惯，无论如何，他们同样值得尊敬。

此外，科普工作绝非是个人就能完成的，要想真正做到深入浅出、信手拈来，需要极其深厚的功力。欧阳自远所受到的高等教育，尤其是名师的指导，为他打下了扎实的基础。

人生的选择



1952年，欧阳自远高中毕业了，当时的他面临着人生中一个非常重要的选择，究竟该报考哪一所大学，学习什么专业。

一直以来，欧阳自远在学习上从未让父母操过心，自然，他们也对自己的儿子寄予了厚望。望子成龙，无论是彼时，还是此时，恐怕父母的心愿都是一样，从未有过改变。而欧阳自远却第一次让他们失望了。

在祖父、父母，乃至叔叔等人看来，继承祖业是天经地义的事情，所以报考一个医科大学去学医，是个顺理成章、无可厚非的选择。他们当然也有自己的考虑，家人几乎都是以开药房为生，而父辈们经营的九州大药房也是无人不晓，成了一个金字招牌，用现在的话说就是形成了品牌，但一直没有一个正规科班出身的医生来坐堂问诊，所以他们迫切期望家族中能出一个科班出身的医生，以扬门望族。

当然，他们对欧阳自远未来人生的考虑才是最主要的。在他们看来，无论是太平盛世还是战难乱世，只要人吃五谷杂粮，就难免有个头痛脑热，自然就要求医问药，也就需要医生治病救人、悬壶济世。因此，做个医生显然是最为稳当的职业，而且只要童叟无欺，这碗饭端得也是问心无愧。

面对家人们期盼自己继承祖业的殷切希望和祝福孩子一生平安的愿

望，欧阳自远却第一次对他们说了“不”。

欧阳自远为什么会拒绝？也许是儿时伴他读书的月亮，不仅照亮了书上的文字，更为他照亮了广袤而深邃的天空，广寒宫中的乐曲已经引领着他穿越人间，心系于更为广阔的天地之间。

在招考的所有专业里，最吸引欧阳自远的就是以窥探宇宙奥秘为使命的天文系了。当时南京大学天文系是全国最好的天文系，欧阳自远的目光在这张招生海报上留恋了许久，就好像已经看见了嫦娥姑娘的翩翩舞姿。

但此刻，欧阳自远又要对自己说“不”！中学时期教授地理课的袁老师所讲的一番话已然深深地印在欧阳自远的脑海里：“当你怀着强盛国家的心去学习的时候，你的学习就会悄然转向热爱。”尤其是当他想起家人们希望天下太平的美好愿望，想起父亲在乱世中颠沛流离的生活，欧阳自远就下定决心要把自己的个人志向和新中国的命运与发展连在一起，要为新中国的兴盛、腾飞奉献自己的青春、生命，乃至一切。

当一个人的理想和志愿超越了个人一己得失、荣辱时，迈出的脚步也常常会更加坚定。

建国初期的新中国，百业待兴，最缺乏的是各种金属矿产资源和石油。因为找不到地下的石油，只好咬牙提炼比天然石油成本高出几十倍的人造石油。即便如此，一年人造石油产量只有24万吨，占了当时石油总量的55%。就是这样微薄的石油产量，却支撑着新中国刚刚启动的工业化建设，以及硝烟滚滚的朝鲜战场上的军事用油。石油的匮乏，直接影响着新中国发展的步伐。毛泽东为此忧心如焚，多次召见李四光：“找，要把960万平方公里的地下摸个清楚。”

“找矿去，到野外去”，成为那个时代最迫切、最响亮的声音，地质勘探队也成为“和平建设时期的游击队”。

欧阳自远在此起彼伏“唤醒沉睡的高山，寻找祖国的宝藏”的声浪中，渐渐清晰并坚定了自己的志向。也许现在很多年轻人都无法理解，而在当时那个年代，毛主席的话对于一颗颗年轻的心来说绝对像轻纱万顷的

月华一样撩人。祖国的发展与富强导引了欧阳自远人生梦想的坐标，他没有听从父母与家人的建议与期望。

同时，欧阳自远也暂时告别了心系的天空，地理同样激起了他的兴趣，地球上如此丰富的地形地貌因何而起，因何而变，也是欧阳自远在上地理课时脑海里总是挥之不去的一个问题。他内心当中也在畅想：倘若自己在中学时代地理课上所学到的一切，只是冰山一角，那么地质不正是藏在水下的广阔冰山？如果由地质入手，一定能获取更多的奥秘。

此外，对化学欧阳自远也有浓厚的兴趣，在中学的各科成绩中，他的化学成绩不但最高，而且一直在班上名列前茅。

相形之下，恐怕欧阳自远最为疏远的就是医学了，尽管家人尤其是叔叔多少给他普及了些医学知识，但当时的欧阳自远也说不清楚医学究竟是什么，只听别人说过学医的入门就是要熟悉人体构造。全身206块骨头，每块骨头叫什么，远不及天上的每个星球叫什么更让他痴迷；每块骨头该安置在哪里，也远不及地下的石油究竟藏在何处更让他激动。

欧阳自远心意已决，将大学志愿定位为到最需要的地方去报效祖国。

第一志愿：北京地质学院矿产资源勘探系金属和非金属矿产勘探专业；

第二志愿：南京大学天文系；

第三志愿：天津大学化学系。

欧阳自远所报考的学校和专业，都是这个学科里全国最好的。欧阳自远觉得要学就要学最好的，他当时也有这个自信可以被最好的学校所录取。

1952年8月，国家成立地质部。同年，趁着全国性的院系调整，由北京大学、清华大学、北洋大学和唐山铁道学院的相关学科抽调的精英们组成了北京地质学院。作为当时国内著名的八大学院之一，北京地质学院吸引着无数热血青年。欧阳自远也毫不犹豫地将自己的第一志愿锁定了北京地质学院矿产资源勘探系金属和非金属矿产勘探专业，一方面是因为要报

效祖国的雄心壮志，一方面也是因为对地理知识的喜爱。

而南京大学天文系之所以成为欧阳自远的第二个志愿，缘自伴随着他成长，始终让他魂牵梦萦的对宇宙奥秘的向往。

选择天津大学化学系，是因为欧阳自远对化学的浓厚兴趣。

1952年，全国首次实行高等院校招生统一考试。吉安地区的应届高中毕业生全部集中到吉安市白鹭洲中学考试，这所中学的前身是文天祥就读过的白鹭洲书院。

那时的高考，还有些像秀才赶考。从永新到吉安有将近100千米的路程，需要走上三天。欧阳自远将书本、学习用具等装进一个箱子，将生活用品、行李等装进另一个箱子，用一个扁担挑着，告别了父母家人，上路了。那是欧阳自远第一次一个人走出永新，远赴他乡。当时正值夏季，丰饶的吉泰盆地，稻浪滚滚，瓜果飘香，荷绿莲红，空气里有一股甜丝丝的气息。欧阳自远很清楚，这一次远走他乡，将决定着自已未来人生的走向，这让他心中充满兴奋和憧憬。以至于一天30千米走下来，入住在公路旁的旅店时，他丝毫感觉不到疲惫。旅店里，和欧阳自远一样“赶考”的学子疲倦地揉搓双脚时，他则边看书，边拿出箱子里的干粮和咸菜津津有味地吃了起来。到了白鹭洲中学，晚上就带上个草席，找块江风习习的凉快地方睡下……

奔向梦想的心，将疲惫远远甩在身后。

旧时赶考“交头卷”的习俗还没能从思维中退远，考生们仍旧视能够交头卷为一种骄傲。几科考下来，欧阳自远都是一个小时左右就完成考试交卷了，而且居然抢到了两次头卷。

听欧阳先生说起当年的高考经历，犹如一场惬意的旅行，又像是一场充满了快意的竞赛。哪里像现在的高考，数月之前，父母就已经预订了考场周围的饭店，而考场周围饭店的房费也是水涨船高地连翻数倍。学生们在考场里高考，父母们则在考场外驻足等待，接受炎炎烈日的高温炙烤。全家人都不堪其累！

那时还没有录取通知书，各校录取学生的名单均由报纸发布。江西当时属中南区管辖，中南区的录取名单刊登在《长江日报》上，邮局门口天天是一片翘首以待的人群。永新中学名不虚传，欧阳自远班上16名学生全部被大学录取。其中，欧阳自远的几位好友尹祥楚、尹怀邦、胡育农等都被录取到了北京，不是北京大学、清华大学，就是中国人民大学。

有一天，登着欧阳自远名字的《长江日报》到了，一切都如愿以偿，按第一志愿欧阳自远被录取到北京地质学院。

青年的使命

1952年8月末，17岁的欧阳自远带着对人生的遐想，背起行李，告别亲人，走出了永新。这一次，他将走向北京，走向更加广阔的天地。

欧阳自远和几位同样被北京高校招收的朋友先乘汽车从永新到吉安。一路颠簸，汽车终于抵达吉安，他们几个又立刻马不停蹄地搭乘小船，顺赣江而下赶到樟树镇。

在樟树镇，欧阳自远第一次看到火车。那时的火车还是蒸汽火车，这个庞然大物给欧阳自远的第一印象是，宛如一条大铁龙。因为那时候武汉还没有铁路桥，火车到达武汉后，全体乘客都要下车，火车被一节车厢一节车厢地拆开，用船摆渡到对岸后，重新组合在一起，乘客们重新上车，继续前行。大多数乘客在这样的折腾中都安然无恙，欧阳自远却因为晕车，一路上吐得人仰马翻，肝胆欲出。为了减少呕吐，大多时候，欧阳自远只能禁食禁水，躺在火车座椅上。有一段时间，欧阳自远感觉自己仿佛一条被人提出水域的鱼儿，随时都可能干涸而亡。这急坏了和欧阳自远结伴同行的几位中学好友，看到他吐成那样，同样的青涩年华、都没有遇到过这种情况的几个人虽然心情急切，却不知道该怎么办。唯一能做的，就是不断询问欧阳自远的感受，安慰着他，并祈祷能够平安到达北京。

几乎是躺了三天三夜后，火车终于抵达北京，几个青春少年兴奋地下了火车，随着人流走出北京站。当欧阳自远在站前迎接新生的众多红旗和条幅中，看到由毛主席亲自书写的“北京地质学院”六个雄健又飘逸的大字后，顿感自己仿佛重回大海的鱼儿，煞白的脸色立刻红润起来，萎靡的精神立刻昂扬起来。结伴进京的同学纷纷惊叹“奇迹”，欧阳自远却用鲁迅的话自嘲般解答：

“创造奇迹是青年的使命。”

当欧阳自远听说这是北京地质学院首次招生，与他一起走进学院的还有来自祖国天南海北的1200名新生，更使欧阳自远这个17岁的少年兴奋不已……

给我一个支点

1200名新生，与21世纪高校大扩招的学生数量相比，也许只是许多高校扩招的一个零头，但在当时可以说是个天文数字。

“建国军民，教学为先”，北京地质学院首任院长刘型是江西萍乡人，1926年入黄埔军校武汉分校学习，参加过北伐战争、秋收起义，后又参加了长征。新中国成立后，他担任过中共湖南省委秘书长。

刘型担任北京地质学院首任院长是由毛泽东主席亲自签署的任命书。可见，国家对教育，对选择重点大学校长的重视程度非同一般。刘型深知自己肩负的重托和厚望，虽然对地质学是外行，但身为老革命的他却有着赤诚的报国心。他尊重知识，虚心听取专家意见，广揽人才，许多教师调自西北大学、重庆大学、南京大学、中山大学等学校，以及地质调查研究部门，可谓名师荟萃、英才如云，这让北京地质学院迅速成为中国地质教育界百川汇合、登高望远之翘楚。刘型积极创造条件，鼓励师生互相取长补短，不遗余力向科学进军，校园上下形成一派欣欣向荣的气氛。

北京地质学院创建时，没有校舍。第一年，借用北京西城区端王府夹道北京大学工学院校舍。但是，这并没有影响欧阳自远对梦想的追逐，对学习的投入。

欧阳自远学的是金属与非金属矿产勘探专业。之所以选择这个专业，目的非常简单，就是渴望能够用自己的满腔热血和青春韶华为祖国多找矿。是报国之心这一强大的动力，让欧阳自远在学习上一如中学时代勤奋刻苦。和中学时代不同的是，欧阳自远的面前呈现出一个更广阔的世界，而他却开始将所学知识，从书本扩延到实践。

欧阳自远所属的年级共有10个班，学生大约300名。因为成绩出色，各方面素质又高，欧阳自远入学不久就被各班一致推举为班联主席。1953年3月5日，欧阳自远成为一名中国新民主主义青年团（后改名为中国共产主义青年团）团员。这让欧阳自远既感到骄傲，又深觉肩负的责任，不仅学习上更加刻苦，生活中也更加严格要求自己。

因为自修时间的增多，图书馆成为欧阳自远追逐梦想、汲取营养的乐土，几乎一有时间就会跑到图书馆去。欧阳自远不仅翻看与所学专业息息相关的书籍，同时涉猎天文、气象等多方面的知识。在如饥似渴地阅读的同时，欧阳自远也开始为自己将来从事的找矿工作做身体上的准备。因为欧阳自远已经开始意识到，想要成为一名优秀的找矿者，除具备出众的专业知识外，强健的体魄也是必不可少的。

大一时，欧阳自远将更多的精力都投入到测量实习中。经常一个人或者和同学一起登西山，爬香山，走门头沟，去昌平……每次测量结束，大多数同学都连声喊累，欧阳自远却渴望能练出“铁脚板”，有时甚至还背着沙包到颐和园来回地走，为将来跋山涉水做好充分准备。

在磨炼筋骨的同时，头脑的锻炼也丝毫没有懈怠。当时的测量工作程序十分简单，而测量计算却十分复杂，经过几天的钻研，欧阳自远发明了一种用于测量的计算尺，一下让复杂变简明了。这项发明在当时的学校里还很是轰动呢。

在欧阳自远上大二时，努力和付出赢来了回报，他当选为全学院三好学生以及全国三好学生。全国三好学生表彰大会在当时北京条件最好的北京饭店召开，时任中国科学院院长的郭沫若出席会议，并为三好学生颁

奖。欧阳自远至今仍能清晰地记得，郭沫若在为三好学生颁奖时，应大会要求，给每位三好学生送上了自己的诗集。郭沫若对自己的诗集调侃道：“你们不要以为我的诗写得有多好，其实——郭老郭老，诗多好的少……”郭沫若谦虚的态度此后一直深刻地影响着欧阳自远。

大二结束后的暑假，作为学院的奖励和鼓励，欧阳自远可以跟随在学院工作的五位苏联专家到六朝古都南京考察休假。这次难得的机会让欧阳自远十分兴奋，更让人惊喜的是，和苏联专家在南京作地质考察的一个星期，欧阳自远真切地体会到苏联专家广博的专业知识。印象最深刻的是，在一处山坡前，苏联专家查看了一处地层剖面，立刻说出这座山形成的年代，山石的主要构成成分，等等。苏联专家的“神奇”让欧阳自远认识到自己的不足和差距。

大三开学后，欧阳自远开始学习钻探和坑探，致力于实践勘探：操作钻探机、凿炮眼、填炸药……可以说，欧阳自远在一丝不苟又脚踏实地地向着自己的梦想前行。

大四开学不久，欧阳自远又光荣地成为一名共产党员，这让他更觉肩头使命的沉重。欧阳自远参加了学生的科学研究小组，研究湖南桃林铅锌矿的成因，随同拉尔钦科教授指导的十几个研究生到山西的石棉矿实习，到山西进行野外勘探的学习、实践和研究。可能是因为拉尔钦科曾是“二战”时苏联炮兵上校团长的缘故，他对学生们要求十分苛刻。从坐姿到站姿，以及日常的生活习惯，都完全军事化管理。让欧阳自远记忆深刻的是，拉尔钦科规定，研究生上山进行地质调查时，一天不许带水壶，理由是带水壶不仅会增加负重，还会让人产生心理依赖，放慢速度。

在打磨和淬炼中，欧阳自远一点点褪去青涩，丰满着飞翔的羽翼。

这些过去只会在梦境里出现，或者在梦境里也不可能出现的场合与人物，如今就在自己身边可见可闻、可感可触。欧阳自远深深感到自己生活在这个伟大时代的幸福，更有一种青春隐隐的冲动，好像阿基米德所说的：给我一个支点，我就可以撬动地球！

第三章

汲取受益一生的营养

“名师出高徒”，看看曾指导过欧阳自远的老师都是业界翘楚，也就不难理解为什么他能在自己的专业领域中取得如此辉煌的成就。时至今日，欧阳自远依然念念不忘恩师带给自己的营养，为自己打下了深厚的学术基础。

但“师傅领进门，修行在个人”，欧阳自远的个人努力，也没有辜负老师们的殷切希望。而苏联人的卫星更让欧阳自远尘封了一段时间的梦想再次被唤醒，一个新的学术思路在他脑海中呈现，一个更大的舞台也开始展露在他的面前。

师从名师

欧阳自远在大学学习的外语是俄语。最初，他总是很难记住那些复杂的俄语单词发音。后来，他琢磨出一个窍门，那就是通过唱俄语歌学习。随着会唱的俄语歌越来越多，他所掌握的俄语单词也越来越多。渐渐地，欧阳自远不仅掌握了一口流利的俄语，还学会了100多首俄语歌。时至今日，有时还会不经意地吟唱起《三套车》的旋律，那时还经常唱的就是那首在苏联人庆典活动中的经典曲目《俄罗斯》：“你能找到世界上哪一个国家，比我们祖国还美丽，到处是开阔的原野，鲜花怒放开遍了山谷……”每每唱起，总觉得心灵中充满了股股暖流。

欧阳自远至今仍对那时候的考试与学习津津乐道。那时候的考试没有笔试，完全是口试，进入考场前有很多纸条，进考场的时候就随便从中抽一张，一张纸上有3个题目，题目有大中小之分，但每张纸上的题目都和别的完全不同。坐在位子上准备5分钟，就进入考场接受考试团的检验，考试团的成员全是老师或相关专业的专家，按照纸张上的题目口头作答。考试团就会考查你的理解和表述，讲述完毕后，考试团还会根据情况加问一些问题，最后打分。

1956年，4年大学生活就要完成了，欧阳自远撰写的毕业论文《河北



2006年，欧阳自远陪同导师涂光炽在地球化学所院内散步。

兴隆县寿王坟矽卡岩型铜矿的成因》，因为论据充实、准确而独具见解被评为北京地质学院优秀毕业生论文，由此揭开了欧阳自远迈上科学人生之路的第一页。

大学毕业后，经过学校的挑选，欧阳自远成为苏联导师地球化学家拉蒂斯的副博士研究生，学习了半年，因为导师家里临时出了状况，匆匆回国而不能返回中国，研究生学习被迫中断。就在这时，学校相关领导找到了欧阳自远，建议、动员他报考中国第一届副博士研究生的全国统一考试。欧阳自远决定报考中国科学院地质研究所涂光炽教授的矿床学研究生。

当时，在全国的科研机构、高等院校里，“向科学进军！”“向副博士进军！”成了最神圣也最时髦的口号。

以中国科学院为例，1955年底，中国科学院下属的研究所只有47个，到1957年底，已增加到68个。政府划拨的科研经费也陡然增长了，1956年比上一年高出2.3倍。该院在为科学家们创造较好的工作条件、生活条件外，并于1956年首次设立了一套奖励办法，次年1月即对34项科研成果颁发了奖金。

中国科学院制订了一个从1956年开始为期12年的科学发展综合规划，主要项目几乎经天纬地：石油及稀有金属储量勘探，矿藏资源开发，和平利用原子能研究，新型电子技术研究，喷气式动力装置研究，生产自动化流程开发，重型机器的研制与开发，整治黄河与长江的技术问题探讨，农业的机械化、电气化及化肥使用问题研究，严重疾病研究，以及基础理论研究等。

那是中国第一届研究生会考，挤满了整整一个礼堂的考生。所考的题

目也都写在一张纸上，一共有5个题目，都是天大的问题，拿到题目考生们开始奋笔疾书。最终，这场考试矿床学专业只招录了3个人，欧阳自远以优异成绩被中国科学院地质研究所矿床学专业录取，师从以学风严谨著称的矿床地球化学家涂光炽教授。

涂光炽1920年生于湖北黄陂，1938年参加革命工作，1944年毕业于西南联合大学地质系，1949年获美国明尼苏达大学博士学位，应聘担任宾夕法尼亚大学地质系助理教授，从事试验地球化学研究。1950年，美国发动了朝鲜战争，涂光炽于当年9月同上百名进步留美学者，乘“威尔逊总统”号轮船，登上了回国的航程。同船的除涂光炽外，还有后来被称为“中国核弹之父”的邓稼先和成为中国科学院院士的张炳熹、叶笃正等。经过一个月的漂洋过海，他们到达了香港，由深圳入境回国。回国后涂光炽参与和领导了祁连山综合地质考察，在铀矿地质方面提出了改造成矿理论，并推广到其他一些矿床。他领导了地球化学所华南花岗岩类地球化学研究，提出了成岩成矿多成因观点。20世纪70年代至今，他从事层控矿床、铁矿及金矿研究，提出了我国层控矿床形成机制、发育特征，我国富碱侵入岩带特征，及我国金矿类型、找矿方向与北疆矿床分布规律等见解，为我国矿床地球化学学科建立与发展做出了杰出的贡献。1980年当选为中国科学院院士（学部委员），1993年当选为第三世界科学院院士。

可以说，涂光炽先生对欧阳自远的人生影响深刻。

在涂光炽先生的指导下，欧阳自远主要是研究长江中下游铜、铁矿床成矿规律。矿床成因与成矿规律，是当时地质学中前沿性课题。长江中下游地区当时最有名的铜矿是铜官山，就是现在的铜陵市；铁矿主要是大冶铁矿，是武汉钢铁厂的矿石基地。两个矿的规模当时还不大，但他们已经推测到，长江中下游地区肯定是铜矿、铁矿很富的一个地带，对于国家发展钢铁、有色金属工业将会起到十分重要的作用，后来崛起的湖北武钢、安徽铜都即为明证。

还在地质学院读大四时，欧阳自远就听过涂光炽先生的课，对他十



1960年，欧阳自远研究生毕业。

分崇拜。涂光炽先生渊博的学识及严谨的治学态度，让欧阳自远受用一生。涂光炽先生先后培养了30多名研究生，他向每一位研究生传授着他治学思想的精髓：

“设想要海阔天空，观察要全面细致；试验要准确可靠，分析要客观周到；立论要有根有据，推论要适可而止；结论要留有余地，文字要言简意赅。”

1959年，欧阳自远以优秀的成績完成了研究生论文。中国科学院地质研究所决定派欧阳自远去苏联科学院留学，师从柯尔任斯基院士，学习矽卡岩型矿床成矿的“双交代理论”。

通过考试和组织考察，确定让他去北京外语学院留苏预备部再强化一年俄语，然后派去苏联留学。在外语学院上课时，连苏联老师都觉得奇怪，怎么一提问题，这个学生回答起来都像是诗一般的语言，其实他们哪里知道，欧阳自远的俄语都是从歌词中学来的。苏联老师欣喜地建议，“您应该学习俄罗斯文学而不是自然科学”。欧阳自远在北京外语学院留苏预备部强化学习俄语四个月，通过了留学苏联的俄语考试。

1960年，虽然欧阳自远去苏联攻读副博士研究生的手续全部顺利完成，出国置装和火车票都已经办好，但是由于中苏关系的分歧明显公开化，最后没有成行。欧阳自远很庆幸，假如去了苏联，便再也没有机会去实现魂牵梦绕的太空梦！真是“祸兮福之所倚”！

埋头研究

欧阳自远很反对将学生摁在教室里死读书，这样教出来的学生总是缺乏主观能动性。在欧阳自远读书的年代，往往是由老师开出书单，书单上的书目往往是全外文的，学生去图书馆借阅图书，几个月后老师进行考试。考试的形式也是口试，老师天南海北地问各种问题，学生必须在这简短的时间内将自己的准备、见解、分析——一条分缕析地展现给老师。欧阳自远从中获益颇深。

此外，在涂光炽的指导下，欧阳自远几乎钻遍了长江沿岸的各种矿井，1957年至1958年的很多日子，欧阳自远孤身一人，用的都是一张日程表——

每天东方既白，带好一壶水，两个馒头，下到深深浅浅的坑道里。观察矿脉，描述岩层，采集样品。每次还要带着相机下去拍照，当时没有闪光灯，用的是镁光灯，照一张得炸掉一个灯泡。每次下井前，欧阳自远都会在口袋里小心翼翼放好三个灯泡，拍照时反复比较选择角度，保证每炸掉一个灯泡，都能诞生一张有科研价值的照片。

渴了，拧开水壶倒一口；肚皮咕咕响了，这一刻得取下脖子上的毛巾，包着馒头往嘴里送，若不包着，坑道顶上的泥土和矿屑簌簌地往下掉，吃进嘴里得磕掉大牙。

直到倦鸟归林，暮色阑珊，欧阳自远才出现在井上，背上是大包矿石，脸上是汗迹纵横，像是刚刚从山林落叶与泥土中钻出来的一只狷狻。每次回北京，欧阳自远都要拉回十几箱石头。

这期间，欧阳自远还几上九华山，每次去都要住上一个月左右。寺庙林立、香烟缭绕，传说是地藏菩萨得道的九华山，不仅是中国四大佛教名山，在地质地理上也有它独特的地位。听晨钟暮鼓，攀悬崖断壁，欧阳自远查清了九华山花岗岩基，它的每个支脉都有矿藏，长江中下游一带的铜矿、铁矿，多是以九华山为根基延伸出去的。在山岩的叠层和裸露的矿根上，能读出比史前更久远的南方大地的奥秘，让欧阳自远这个刚走进地质学界的年轻人充满了喜悦。

这喜悦，常常化成小油灯上一团橘黄色跳跃的光斑，伴着佛号梵音，欧阳自远写了一篇又一篇关于长江中下游矿藏成因的论文，陆续发表在专业杂志上、在学术会议上宣读，为矽卡岩矿床的理论研究和寻找提供了重要依据，并准确地预测了安徽、湖北、江苏等地储藏有大量的矽卡岩型铜、铁矿藏。

1956年至1958年，欧阳自远还参加了全国稀有元素资源十大基地和寻找急需矿种后备基地的协作大会战。

对于这一段人生道路，除了在艰辛的条件中取得丰厚的研究成果外，欧阳自远只能用两个字来形容：幸运。

彼时的中国正值大跃进时代，超英赶美，一天等于二十年，一切都要为政治服务。在祖国大地风云骤变、玄机莫测的那段岁月中，欧阳自远因为常常在野外出差，幸运地躲过了种种运动。就是回到地质研究所，因初来乍到，一个刚录取不久的研究生，尚没有引起多少人的注意。此外，埋头业务，也难得从业务里倦意地抬起头，即便偶尔驻足抬头看看，目光里对周遭的一切也是一片茫然，茫然中自然也没有丝毫兴趣。

当然，1957年只有22岁的欧阳自远，还不能深切地体会到这份幸运。

而在这一年，欧阳自远最大的兴奋点却是在苏联。

苏联人的卫星

1957年10月4日，苏联哈萨克大草原上拜科努尔航天中心天气晴朗。

人造卫星发射塔上竖立着一枚大型火箭。火箭头部装着一颗圆球形的有4根折叠杆式天线的人造卫星“斯普特尼克1号”。卫星由密封的铝壳连缀，直径只有580毫米，重83.6千克，壳内装着一节化学电池、一只温度计、两台双频率小型发报机。

随着火箭发动机的一声巨响，火箭升腾，不到两分钟的时间里，这颗直径580毫米、重83.6千克的卫星，在现场人们的视线里消失得无影无踪。

世界上第一颗人造卫星发射成功了。消息迅速传遍全球，各国为之震惊，次日世界各大报刊都在显要位置用大字标题报道：“轰动20世纪的新闻”“科技新纪元”“苏联又领先了”“俄国人又打开了通往宇宙的道路”等等。

许许多多的中国人都为老大哥这一石破天荒的成就而由衷地高兴，并对祖国社会主义的未来前景满怀憧憬。

在故宫清冷的一角做古代服饰研究的沈从文先生，也挺激动，他对人说：“啊呀！真了不起啊！那么大的一个东西，都能搞上天……”

像欧阳自远这样的年轻人，那就更是可想而知了。

虽然“斯普特尼克1号”卫星只会在太空中嘟嘟作响，但它标志着人类的活动疆域已经从陆地、海洋、大气层扩大到了太空，人类的地缘政治、科技、日常生活都将要发生翻天覆地的变化，人类空间时代的帷幕拉开了！

1957年11月3日，为给载人航天活动做预试验，苏联又发射了第一颗载有名叫“莱依卡”的小狗的“卫星2号”人造地球卫星。

欧阳自远的喜悦难以言表，这颗苏联发射的人造地球卫星，像一道强劲的蓝色弧光，一下照亮了那个在永新夜晚时喜欢看天上月亮的孩子，更照亮了那颗曾被尘封但从未被遗忘的向往天上月宫的心灵。欧阳自远隐隐地感觉到了过去与今天某种相同的可能性。

现在，从这第一颗人造地球卫星开始，人类必然会拥有越来越多、越来越富有成效的探测与研究各类天体的工具。在中国尚未有自己的卫星、飞船前，中国人难道应待在黄土地上无动于衷，或者仅仅为老大哥唱响阻遏流云的赞歌，自己却无所作为？

欧阳自远有一种感觉：人类最终是要跳出地球去了解地球的。我们能不能像人造卫星一样跳出地球，更为宏观、更为完整地去看地球？太阳系中的各层次天体如行星、矮行星、卫星和小行星，都是个体大小不同、成分差异、结构相似、演化历史各有特征的“地球”，都是太阳系家族中地球的兄弟姐妹。把地球和太阳系的其他行星相比较，在太阳系家族中把地球与其他兄弟姐妹的行星作比较研究，分析他们之间的共性与各自的特性，这样是不是会对地球了解得更本质、更生动？一种朦胧的科学追求，是一粒永不熄灭的火种，深深埋藏在欧阳自远的心里，期待得到滋润、发芽、成长，绽放出希望的花朵。

欧阳自远突然想到组成太阳系各层次天体的物质是来源于太阳星云，太阳星云物质凝聚形成了地球、月球、火星、金星、水星和其他行星与卫星、小行星和各类陨石。我们得不到各个行星、矮行星、卫星和小行星的样品来研究，也得不到地球平均成分的样品来研究地球，而各类陨石是构

成太阳系各个行星、矮行星、卫星的原始物料，在地球上可以得到各类陨石的样品，对研究太阳系各层次的天体具有重大意义。这些稀罕的石头，既与自己的专业有关，又大大地拓宽了自己的研究领域。或者说，跳出地球，站在太阳系的时空尺度里能更全面、整体和综合性地研究地球，也可以了解太阳系的行星、矮行星、卫星和小行星的化学组成、演化过程和内部结构等有重大意义的科学信息。

于是，欧阳自远找到时任地质研究所所长的侯德封先生，对他说出了自己的想法，希望能拓展自己的研究领域，将“地”和“天”联系起来研究，也为今后中国的空间探测提供科学积累。

原来欧阳自远有些担心，自己的专业本是地质，是研究地球的起源与演化，现在要研究地球以外的天体物质，侯先生会不会以为，苏联人的这颗卫星让欧阳自远烧昏了头脑，不知道自身有几斤几两了？

谁知侯先生一听完欧阳自远的想法，竟高兴地说：“行，那很好呀。”

于是，苏联人的这颗卫星，促使欧阳自远开始关注和筹备对陨石和宇宙尘的研究。1958年，他开展了南丹铁陨石研究，相继进行了新降落的内蒙古石陨石、新疆铁陨石、吉林陨石雨、清镇陨石和南极陨石研究，开创了中国的陨石学与天体化学研究。

同时，欧阳自远在完成研究生毕业论文后，侯德封先生将欧阳自远调到所里做自己的所长学术秘书。

难忘的恩师



至今，让欧阳自远怀念不已的两位学界前辈，一位是他的研究生导师——涂光炽先生，另一位就是侯德封先生。

侯德封是我国著名地质学家、矿床学家和地球化学家，中国科学院地质研究所所长与地球化学研究所所长。出生于河北省高阳县，1923年毕业于北京大学地质系。他是我国地球化学、核子地质和第四纪地质的开拓者和奠基人，主要从事矿产地质研究工作，在煤田地质、铁矿床及有色金属矿产研究方面做出过较大贡献。他曾在锰矿找矿方面提出新见解，基本上解决了当时所需的锰矿资源问题，领导并参加了西北石油地质调查工作，积极支持陆相生油理论，认为有无石油的关键首先决定于古气候带和构造区，这对我国找油工作具有指导意义。他还领导开展了稀土元素研究工作，提出了核子地质学基本理论。1955年他被选聘为中国科学院院士（学部委员）。

1960年的他虽年逾花甲，却仍然是地质学界具有极大号召力与凝聚力的一面旗帜。

在四十多年从事地质矿产调查与研究的基础上，他冲破了当时刚刚兴起的地球化学、同位素地质学、核年代学等学科学术思想的禁锢，运用现

代核物理学的基本原理，深入探讨地球演化过程中各类核素的特征，力求深入认识组成地球的各类元素的生、运、定、聚过程，开创了“核地球化学”这门新学科，从此开辟了地球科学一个崭新的领域，并推动着地球科学向探索更深的物质层次进军。这一系列的成就，奠定了侯德封在地球科学领域举足轻重的地位。

在欧阳自远看来，侯先生还是一位具有长远眼光的战略科学家。

一天，侯德封先生将欧阳自远叫到他的办公室，开门见山地说道：“我叫你来，是想要你去搞核子地质。”

欧阳自远十分惊讶，说道：“我学的是什么，您最清楚，我可没学过核物理。”

侯德封先生说：“那你就到中国科技大学去，听核物理系的课，给你一年时间，一、二年级的基础课不必再学，集中精力学好三、四年级的课程，一年后再去原子能研究所实习半年，掌握一些基本的核物理实验技术和方法。”

欧阳自远当时虽然还不清楚侯德封先生让他学习核物理的深意，但他相信，侯德封的建议一定没有错。

地质与核物理是两个完全不同的专业，有完全不同的思维方式、工作方法、技术路线等，各有长处，如果能够融会贯通，就能发现一个新的领域。许多新的科学理论便来源于这样的边缘杂交。就拿地球科学来说，地球科学不仅要研究地质，不仅要在地球上研究地球，还要在月球上、行星上研究地球与地球的磁层、电离层、大气层、表面地形地貌和环境、地质构造、内部结构与演化历史，并做对比研究。

一个人不一定要精通两门外语，但最好学两门专业，在专业边缘的结合处，恰恰会有新的东西发现；欧阳自远主张有条件的話，大家都转行，如果一个人有两门扎实的专业知识，相信他一定非常有出息。要多途径汲取营养，因转行而获益匪浅者，古今中外不乏其例。

接下来的学习生活可以用“精打细算”来形容，可以压缩的时间都要

压缩，必须牺牲的时间也都统统为学习让步。欧阳自远放弃了所有休闲、娱乐活动，连吃饭、上厕所的时候，手上都拿着书。甚至规定自己每天睡眠时间不可以超过5小时。一年下来，欧阳自远打好了核物理理论与实验技术的扎实基础。然而，他的第一个收获竟是一个怀疑，而且还是对侯德封创立的“核地球化学”中的“裂生成矿”产生了怀疑。

欧阳自远觉得侯德封过高估计了自然界重核裂变对地球物质组成变异和内生成矿过程的作用，将成矿的地球化学过程和元素起源的过程混同起来，成矿作用是以“裂生为主、演生为辅”的论述难以确认。

欧阳自远将自己的怀疑说给侯德封教授听，并提出了自己的观点：能不能换一个研究自然界核转变的角度，比如研究一下地球有多大的能量，这些能量是怎么产生的，又是怎样传输和分配的，地球为什么会这样演化？这样或许有助于弄清楚地球物质的演化过程。

侯德封教授一直认真地听着，欧阳自远说完自己的怀疑和观点后，心里不免有些忐忑。欧阳自远不知道，刚刚触摸到“核地球化学”门铃的他，如此质疑权威的学科创始人会得到什么回应。

侯德封教授沉思良久，突然对欧阳自远说道：“欧阳，那你再去原子能所，去赵忠尧先生的加速器室工作半年，学会能谱，还有怎样测量原子核的能量。”

侯德封教授并没有流露出丝毫不快，这解除了欧阳自远心头的不安。虽然他不清楚侯德封教授让他去原子能所用的用意，但还是敲开了赵忠尧先生的加速器室的大门。

赵忠尧是浙江诸暨人，1920年考入南京高等师范学校，1924年毕业后任东南大学助教。他是我国核物理研究的开拓者，中国核事业的先驱者之一。

1946年6月30日，美国继在日本扔下原子弹之后，又在太平洋的比基尼小岛上试爆了一颗氢弹。此时，在距爆炸中心25千米远的“潘敏娜”号驱逐舰上，英、法、苏、中四个“二战”胜利集团的盟友代表，应美国政府

之邀，正在观“战”，物理学家赵忠尧即是中国代表。他在沉思，中国什么时候才能释放出这样巨大的能量？这一天还太遥远，因为中国连一台加速器都没有。没有加速器就不可能揭开原子核的奥秘，不可能进行自己的核物理试验研究。演习完毕，其他国家的观摩代表回到美国本土游山玩水，赵忠尧却回到自己的母校加州理工学院。

二战结束后，中国虽然也是战胜国，但是地位却很低微。根据《雅尔塔协议》，东三省被划入苏联的势力范围，外蒙古也被割出宣告独立……赵忠尧认为，要在这个强权世界上生存和“不挨打”，中国必须发展自己的核科学，这是一个爱国科学家责无旁贷的使命。赵忠尧此行并不只是为了隔岸观花，而是负有进一步了解核爆炸核心技术的使命。回到母校的赵忠尧利用一切条件，对加速器的操作台和零部件进行了深入研究，迅速掌握了加速器的设计和制造细节。此后，赵忠尧又在美国麻省理工学院、卡内基地磁研究所等处进行了核物理和宇宙线方面的研究。在麻省理工学院待了半年之后，为了进一步学习离子源的技术，赵忠尧又去华盛顿的卡内基地磁研究所访问了半年。

1949年10月1日，新中国宣告成立。赵忠尧兴奋异常，欢呼雀跃。1950年8月29日，赵忠尧和钱学森夫妇等一起，登上了美国的“威尔逊总统”号。正要启航时，美国联邦调查局的特工突然上船搜查。钱学森的书籍和笔记本被扣留，钱学森本人被指为“间谍”，被关了起来。赵忠尧的东西也遭到野蛮翻查，但对方没有发现什么。赵忠尧被放行了。然而，美国情报局还是不放心，这位差一点获得诺贝尔物理学奖的中国学者可能掌握着核心机密！美军最高司令部连发三道拦截赵忠尧的命令，当轮船途经日本横滨时，美军武装人员气势汹汹地冲上船，将赵忠尧押进了美军在日本的巢鸭军事监狱。赵忠尧以“莫须有”的罪名被关进美军监狱的消息在国际上引起了轩然大波，世界舆论高度关注。美国科学界也对此表示强烈抗议，中国掀起了谴责美国政府暴行、营救赵忠尧的巨大浪潮。中华人民共和国国务院总理兼外交部部长周恩来为此发表了声明，钱三强也联合一



1964年，欧阳自远在北京工作。

批著名科学家发起了声援赵忠尧的活动。钱三强还请他的老师、世界保卫和平委员会主席约里奥·居里出面，呼吁全世界爱好和平的正义人士谴责美国政府的无理行径。在国内外的强大压力之下，美国政府在没有证据的情况下，只得将赵忠尧放行。

1950年11月28日，冲破阻挠的赵忠尧终于回到了阔别多年的祖国。赵忠尧主持建成了我国第一台70万电子伏

的质子静电加速器。1958年他又主持研制成功250万电子伏的质子静电加速器。这两项研究的成功，对我国的核事业具有举足轻重的作用。

能师从这样一位导师，欧阳自远既欣喜更激动。在研究组组长叶铭汉先生（现为中国工程院院士）的带领下和具体指导下，他废寝忘食地学习，很快了解和熟悉了核谱学及相关的实验技术。

这时，欧阳自远尚不清楚，从自己在地质学院所学的金属与非金属勘探专业开始，到他初步涉猎的陨石与宇宙尘的研究，再到核物理、原子能，学识的不断丰富，已经在为自己这一生中最终要写出的一篇文章汲取尽可能丰沛的营养……

1963年，欧阳自远完成了《核转变能与地球物质的演化》一书，他在书中推测，在18亿年到20亿年前，自然界某个区域铀元素富集到一定程

度，有可能形成天然核反应堆。后来，法国原子能委员会的专家在非洲加蓬共和国一个叫奥克洛的地方，发现这里的铀235并未达到应有的天然丰度，说明这里的铀曾被天然消耗过，这一发现迅速震惊了全世界，也证实了欧阳自远的推测是正确的。

侯先生特别高兴，他说这点可是谁都没有预料到的。

事实证明，侯德封不仅是一位勇于开拓、提携后进、功德双馨的科学家，而且，从他多年来支持、安排欧阳自远在多学科交叉的路径上左奔右突、蜿蜒前进的行动上，可以发现他思想异常敏锐，对日后中国国防与科技事业发展的必然趋势有着超前的预感。

而欧阳自远在这一时期的学习与研究让他收获颇多，尽管这本著作当时未能出版，直到1974年才发行上市，但欧阳自远自此之后找到了一个新的方向，用核物理理论来解读地球的秘密。这个新的方向不但让欧阳自远的研究工作走上了一个新的平台，也为他的人生揭开了一个新的篇章。

天上人间篇： 惊天动地的科学研究

梦想在天上的欧阳自远，却一头钻进了地下搞核试验。陨石——这些天外的来客，成了欧阳自远和天上唯一的沟通方式。

即便如此，欧阳自远依然保持着一丝不苟、兢兢业业的工作作风。中国首次地下核试验、解读古人留下的千古之谜、剖解美国总统送来的国礼……初出茅庐的欧阳自远完成了一项又一项惊天动地的工作。

第四章

秘密的地下核试验

在了解欧阳自远之前，从未想过这位探月工程的首席科学家还曾经进行过地下核试验的研究与实践，此举堪称欧阳自远人生中浓墨重彩的一笔。

那个时候，环境之恶劣，条件之艰苦，谁都可想而知。尤其是当时的人们对核这个新生事物认识得并不充分，对人身的保护也不可能像现在这样周全，可以说是面临着生命危险来从事这项工作。但欧阳自远丝毫未将这些放在心上，即便到了现在，依然对那段时光津津乐道。

一项特殊的任务

20世纪40年代，人类进入原子能时代。从此，核战争出现在军事领域，它那超常的爆炸力、瞬间的爆发力、强大的破坏力确实令人震惊、震骇。1959年3月13日，中国国防部正式批准罗布泊为核试验基地场址。1962年底，我国的核武器试验基地初步建成。

1964年初的一天，侯德封所长去国防科委开会回来后，把欧阳自远一个人叫到办公室。一向随和的侯德封院士脸上呈现出少见的严肃，他说道：“欧阳，跟你说一个事情，我们国家现在要开始搞地下核试验了。”

欧阳自远的心狂跳起来，他明白核武器对一个国家意味着什么。同时，也不禁有些迷惑，这应该是重大绝密项目，侯德封所长为什么要告诉自己呢？隐约中，欧阳自远感到似乎有什么样的使命将落于自己的身上。

侯德封接着说：“国家现在要找一个人，要求学过地质，又学过核物理。因为地下核试验选址就要懂地质，搞核爆炸还一定要懂核物理。这两个专业你都学过，我向上面推荐了你。到时候，具体的任务、安排，由国防科委通知你。”

欧阳自远开始了兴奋的等待，开始着手做一些相应的准备，他期望着能够为国出力。但是，一个星期过去了，没消息；一个月过去了，还是没

消息……他自己就开始分析，究竟哪里出了问题。曾有人分析说，这是因为政审的原因。但时至今日，欧阳自远依然不知道其中的真实原因，“事实是我已经参加了地下核试验，至于为什么要等待这么长时间的原因，也就不这么重要了”。

尽管现在回首往事，多了一分从容，但当时的欧阳自远也免不了心急如焚。因为当时的地质所和科学院找不到任何有关核试验的资料，只好到有关的图书馆去查阅美国地下核试验的相关资料。虽然找到了一些，但主要都是理论上的东西，与具体实施相差甚远。而且，因为不知道中国将会怎么做，这些资料有没有价值，有多大价值等都不不得而知，欧阳自远的心里又急又乱……

忐忑不安、心急火燎，又有些百无聊赖。

但很快，欧阳自远就被通知到国防科委去接受任务。具体任务是，在地质所选几个人，组成一个小组，由欧阳自远担任组长，小组的代号是“219”，小组的任务是专门为地下核试验选定试验地址。

这是一个光荣而又骄傲的任务，欧阳自远十分兴奋。但有一个令欧阳自远痛苦的事情是，关于“219”小组以后的事情，不能告诉和其关系一直十分密切的导师涂光炽。原因是涂光炽的父亲做过国民党政府驻缅甸、加拿大的大使，被认定有严重的历史问题。其实，涂光炽先生的父亲后经平反，还担任了中华人民共和国外交部顾问。这导致每每和涂光炽见面，他们两个人都会觉察出一种“隔阂”。欧阳自远虽然个人认定涂光炽是一个可靠的、值得信赖的导师，但仍旧遵循着组织的要求。让欧阳自远宽慰的是，涂光炽从来不问他关于“219”小组的工作。另一个痛苦是，对自己即将开始的工作，对妻子只能说成是“出差”，具体的出差地点和任务，都绝口不提。

一切准备就绪，“219”小组踏上了西去的列车，这支由多学科相结合的年轻队伍，将肩负着中国地下核试验选址的艰巨任务。从这天起，欧阳自远和这个小组就从亲人的视野里消失了。

秘密工作



这个小组一行的目的地是——马兰科学城。

马兰科学城位于试验场西北，在两条干线公路交会点附近是主要指挥所和技术人员居住区。核试验在试验场东南方距马兰不远的戈壁滩沙漠中进行。中央分区在马兰分区和东南分区之间，是地下核试验场。中央分区又分为3个地下核试验区。南部试验区在大山中，1969年9月22日第一次地下核试验就在此进行。这次试验后，平洞核试验转移到西部进行深竖井地下试验，这个试验区的核试验都是低当量的，在试验的同时也检验了地震武器的试验数据和核试场的安全性、合理性。中子弹的原理性试验和首次试爆都是在此进行的。东部试验区是西山之间的一块低斜坡地，进行了1975年10月27日的第二次深竖井地下核试验。这个核试验基地后来承担了中国数次核试验。然而，在当年，“219”小组为地下核试验选址时，却历尽险难。

欧阳自远一行人到达马兰科学城后，向他们下达具体任务的，是负责地下核试验的程开甲教授。程开甲1918年出生于江苏吴江市，1941年毕业于浙江大学物理系，1946年赴英国爱丁堡大学留学、工作，1948年获博士学位后任英国皇家化学工业研究所研究员，1950年回国。程开甲是我国第

一颗原子弹试验的开拓者之一，我国核武器试验事业的创始人之一，是核武器技术专家、中国科学院院士、“两弹一星”元勋。

程开甲当时任核试验研究所所长。1964年我国成功爆炸的第一颗原子弹，就是根据他的建议，否定了原先由苏联专家提出的“空爆”方案，改为“塔爆”；也是他提议，核试验应由“地面爆”及时转为“地下爆”。程开甲教授对于“地下爆”的选址要求是：第一，别掀顶，如果把山顶掀开了，将会造成很大的事故；第二，核物质不能从坑道中冲出来，冲出来也是大事故；第三，不能泄漏，这是最重要的一点，之所以由“地面爆”转为“地下爆”，就是要避免大气污染；第四，附近有一条孔雀河，起码要确保30年内河水不会遭污染；此外，还有一个要求，即整个核爆炸过程在地下是个什么样的图像，最后要描绘出来。

地下核爆炸的选址被圈定在一定范围内，面积大约有几百平方千米。欧阳自远带领的“219”小组的任务，就是在这几百平方千米内，选出适合地下核爆炸的确切地址。

茫茫戈壁，满目黄沙。因为附近没有人烟，小组成员每次出去都要在包里装上好几个馒头，带上一壶水，饿了就在野外啃干馒头吃，渴了就喝几口水，不知道有多少汗水流进了黄沙。半年后，通过科学的分析论证，他们初步选定了试验区，并系统提交了地下核试验场区的各类研究报告。这其中付出的努力是常人无法想象的，遇到的困难也一个接一个。

从地质要求上说，石灰岩不利于地下核爆炸，美国都是在硅酸盐岩石中做地下核试验的，如火山凝灰岩、砂岩和花岗岩，这些岩石的二氧化硅含量都在60%以上。硅有一个特点，就是爆炸后会变成玻璃，自然把那些放射性物质裹在里面，如果遭遇地下水浸泡，也不会溶解造成放射性污染。而石灰岩在核爆炸后，只能烧成石灰，遇水马上溶解，势必会泄漏出来。而“219”小组选中的核爆炸地址就只有巨厚的石灰岩层，符合地下核试验的地形、地貌、结构、地下水等条件。为了让石灰岩爆炸后变成玻璃，“219”小组先后用了两年时间。

其他方面的困难，也非亲历其境者所能想象。

如何确定被选定的山不被核爆炸掀顶，不会有核物质泄漏出去，必须要事先进行精细地研究。因为山体很大，每次爬上山顶都需要小半天时间，常常是早晨出发，到达山顶已经是中午了。但更繁杂琐碎的工作还等着欧阳自远和“219”小组的成员们。他们必须走遍山上的每一个峰谷，踏遍山上的角角落落，把山上的每一条裂缝和断层都发现、测量并记录。而山上那数千条裂缝，每一条都需要进行详细准确的测量记录，每一条裂缝是怎么个方向，裂缝的宽度是多少，延伸有多长，气体是怎样沿着裂缝蹿出来的……每一项都马虎不得，每一项都要一丝不苟，一一测量，一一记录，一一分析，然后经过严密地计算，以确定每一条裂缝既不会成为大山掀顶的决口，也不会有放射性物质跑出来。

测量分析防止水污染问题，一样需要极强的责任心和坚韧力。这一片地质构造是什么岩层？地下水流向各处岩层的厚薄是多少？地下水怎么流过去？在各处的流速多大？如果有放射性物质，岩石本身能不能吸附一部分？如果不能，是否能加点什么东西，待起化学反应后将其锁住？还有，怎样可以保证河水30年不被污染，不到30年有没有可能出现污染？一切都需要反复勘探，并对每一种放射性核素被地下水携带的搬运方向、搬运速度和搬运量做大量的模拟试验。

披肝沥胆、披星戴月、殚精竭虑……似乎没有哪个词汇可以详尽地描述出那段时间的艰辛。

程开甲教授向“219”小组要的，只能是确凿的证据——既有扎实的试验基础，又有数理逻辑说服力的证据。

没有一个门外汉，能说清楚“219”小组在大西北的那些日子，只能用几句俗话匆匆带过：翻山越岭，宵衣旰食，冥思苦想，永不言败。

所有的问题和难题，都被“219”小组踩在了脚下，国家也给他们提供了远超出想象的设备条件。

因为快要废除军衔制了，欧阳自远至今还记得，就在这之前，有一位

上校找到欧阳自远，问他需要什么仪器，开个单子。欧阳自远按照所需开了长长的一个单子，递给上校。上校接过单子，问他需要多长时间内把仪器买到。

在“219”小组需要的诸多仪器里，只有少数国内可以生产，多数只能买自国外。如伽马射线能谱仪、原子吸收光谱仪，X射线谱仪，以及各种物理力学的试验机等等，都出自美、英、法等西方国家。因为大多具有敏感色彩，去国外订货时，要经过不可预知的谈判，而且当时的新中国还没有和这些国家有直接贸易，购买需要通过香港中介……即便这些都可以解决，仅国内的审批就需要耗费许多时日。欧阳自远深知其中的重重关山，便对他说道：“越快越好，这些仪器现在就出现在实验室才好呢。如果能在半年之内都买来再好不过了。”上校听了，说道：“三个月，我保证把所有的仪器都搬到你的实验室，一个不少，绝不耽误你一天。”上校掷地有声地说完，拿着单子走了，欧阳自远暗想：别说三个月，如果半年之内能把这些仪器都搬到实验室已经是奇迹了。

仪器匮乏，但各种实验不能停。整个小组的成员并没有丝毫懈怠，仍日日夜夜奔走在大山之中。

三个月的时限到来前10天，上校通知欧阳自远，实验室准备好了吗？全部仪器很快到达，直接运到实验室安装。最后一天终于到了，那天一大早，上校找到欧阳自远，对他说：“你要的仪器，都已经放到实验室了，一样不少，你看看吧！”看着实验室里那些自己日夜盼望的仪器，欧阳自远发自内心地感叹着：“奇迹！奇迹！”

欧阳自远不知道上校是用什么力量，通过什么途径，如此神速、安全、准确无误地买到这么多先进仪器的。但他隐约地感觉到自己身上被寄予的期望超出了自己的想象。

然而这种优越的物质条件，并没有体现在生活上。

中国原子弹的正式起步研制开始于1959年下半年，因为正值“三年困难时期”，科研人员一样未能得到特别照顾，一样需要和饥饿抗争。一

天、两天吃不饱，大多数人都可以忍受过去，但是，每天都吃不饱，忍受就变得异常痛苦和艰难了。大多时候，在食堂吃饭之后两个小时左右，肚子就会开始咕咕叫，提出抗议。这时候，人们便会将各自私藏拿出来充饥。所谓的私藏实际很简单，有的人是纸包裹的一小包白糖，打开后，用小勺小心翼翼地挖一点放到杯子里，然后冲成一杯糖水；有的人拿出来的东西是现代人无法理解的，一瓶酱油，小心又小心地倒几滴到杯子里，然后用开水冲成一杯汤；大多数人什么都没有，就干脆倒一杯白开水喝……

那是一个特殊的年代，物质条件极其艰苦，然而专家也好，教授也好，普通的工作人员也好，都出于对祖国的热爱，对祖国发展强盛的憧憬，毫无怨言、殚精竭虑地工作着。

“219”小组进入时，虽然吃饱饭已经不成问题，但是只有面食，没有米饭，不过，常常可以吃到肉，当然都是肉罐头，还有脱去水分保存下来的干菜。因为工作现场不固定，每天出发去选址、勘探测量时，欧阳自远都会和“219”小组的成员们一样，在地质包里带上午饭。所谓的午饭实际常常只是两个馒头、一个煮鸡蛋、一壶水。午间，到了开饭时间，大家围坐在一起，在附近找来一些枯树枝，烧一堆火，将馒头用火烤一烤就吃。欧阳自远打小就有晕车的毛病，一颠就吐，吐的时候常常感觉五脏六腑都吐了出来，等到吃东西时就变得异常辛苦。但是，不吃东西就没有体力，就无法更好地去工作。所以，每次吃饭都成为一场战斗，欧阳自远总是紧咬着双唇，强迫自己吞咽着那干硬的馒头……

“219”小组最后选定的试验现场距离马兰科学城有很长一段距离，从马兰到现场是一望无际的茫茫戈壁滩，每天勘探测量回到暂时居住的帐篷，欧阳自远和小组成员都是满身满脸的黄沙。在帐篷里，夏天的温度可以达到40℃甚至50℃左右，冬天里生上炉子，再将能盖上的东西全压身上，晚上才不至于冻得睡不着。水得由基地派出的汽车从很远的地方拉来，给人的感觉水比油贵。实行限制用水，早上洗脸用毛巾打湿一下，不过是润润脸；跑一天路回来，晚上想泡泡脚，那就只有等机会回基地了。

因为基地建设和日常用品都是从外地运来的，条件也很有限，在住宿和吃饭上，都按级别安排。马兰基地共有8幢楼房。将军楼都是套间，每个将军一个套间；校官楼是一人一间，每个校官一间；尉官楼4个人一间，战士则睡通铺。吃饭方面也规定严格，将军是小灶，四菜一汤。校官是中灶，三菜一汤。其余的人依此类推。非军事人员，也按照一定级别来。欧阳自远住的是校官楼，吃饭却被派去吃小灶。显然，这表明上级对“219”小组寄予的厚望。

洗澡更是一件奢侈的事情，一个月大约能有一次。每次能在热水下洗个澡，都会让欧阳自远感觉到难得的舒服和轻松，那暖融融的舒适感足以在他身上保持半个月。这样的“享受”，就足以让欧阳自远更加精神焕发地投入工作之中。

最难的不是这些，而是和妻子的分离和对工作内容的“隐瞒”。

核爆炸的一切工作和任务都属于高级机密，离开家时欧阳自远只是告诉妻子自己要出差，她随口问出差去哪里。欧阳自远想了想，觉得不能说，只好应付道：“有些事情不能和你说，就是出差。”妻子在部队的时候接受过保密教育，她知道，但凡别人不愿多说的话，不愿告诉的事情，自己绝不要问。她意识到欧阳自远的“出差”可能涉及保密工作，虽然不方便问，但她不免会在心里猜想，他究竟是去哪里呢？自从欧阳自远离开家后，所办公室主任间隔一段时间就会到家中，告诉欧阳自远的妻子，欧阳自远在外面出差挺好的，问她有没有什么事情？要不要写信给欧阳自远？并叮嘱欧阳自远的妻子，如果写信，写好后不要封口。每次，妻子都回答说不用写信，只要带话给欧阳自远，家里都挺好的，让欧阳自远不要挂念。但是，对方走了之后，妻子仍旧会猜想，欧阳自远到底出差去了哪里？到底在做什么工作呢？为什么连通信都要受限制？所有对丈夫的担心和牵挂，她只能默默放在心里。

有一次，欧阳自远回北京开会，看着变得更加黑瘦的丈夫，妻子又开心又心疼。当她看到欧阳自远带回来的葡萄干和哈密瓜，她恍然大悟，脱

口问道：“是在新疆吗？”欧阳自远点点头，就不再多说一句。但是，这一次，让妻子心里有了底，她确信，欧阳自远的“出差”一定是在做着一项光荣和骄傲的事情。

当中国第一颗原子弹爆炸的消息传来，她自然地将欧阳自远的“出差”和其联系到了一起，但她一个字也没问欧阳自远。

作为夫妻，因为不能以实相告，因为只能让妻子担心牵挂，欧阳自远深觉没有尽到做丈夫的责任，很是愧疚，但又无能为力。

亲眼目睹中国第一颗原子弹爆炸

1964年10月上旬的一天，在新中国刚刚庆祝完自己的15周年诞辰之时，蔚蓝的天空一望无云，一架苏制伊尔-16飞机在马兰基地上空盘旋。飞机上，核试验的总指挥张爱萍上将和其他几十位将军神色庄重严肃。飞机上还有一个人显得特别与众不同，因为他是唯一一个不穿军服的人，这个人就是欧阳自远。

这是一次特殊的飞行，是一次高度机密的飞行，也是一次承载着重大历史使命的飞行。

通过舷窗，欧阳自远向将军们讲解着这一片地区的地形、地貌、地下的岩层构造。飞机飞临“219”小组选定的那座小山上空时，欧阳自远汇报了小组通过已经完成的大量探测工作与模拟试验，初步认定这座小山是“地下爆”的最佳位置。听取了相关汇报后，张爱萍上将高兴地说道：“你们的设想既细致又扎实，如果将来成功了，我看这个地方可以争取多做几次‘地下爆’！”

这是最充分的肯定，但欧阳自远并没有得意忘形。欧阳自远知道，一切都要等待实践的检验。

随后，飞机转向北飞向罗布泊。这是一片面积达十多万平方千米的荒

漠地区，是著名的古楼兰国属地，也是两千多年前“丝绸之路”的必经之地。从空中俯望，欧阳自远看到沙漠深处架设着一座高耸的铁塔，这是他第一次看到这座铁塔，也是最后一次看到这座铁塔。事后，欧阳自远才知道这铁塔有102米高，塔的顶端有一个金属制的小屋，中国的第一颗原子弹就被安放在里面。

铁塔周围方圆60千米范围内，每隔一千米，就布置了各种效应物，其中有各种建筑物、飞机、战车、自走炮、榴炮、无线电台、舰桥、地雷、工事、动物、医药、食品、燃油、海水等8类共21项，以测试核爆在不同的距离对不同的效应物的破坏程度。

几天后，随着核爆炸炫目的光芒，铁塔在巨响中熔化倒塌了……

时间追溯到1964年4月，核弹研制基地和试验基地主要工程陆续竣工。4月11日，周恩来主持第八次中央专委会，会议决定第一颗原子弹装置爆炸试验采取塔爆方式，要求参试各个方面在9月10日前做好试验前的一切准备。9月23日，周恩来召集贺龙、陈毅、张爱萍、刘杰、刘西尧等人正式传达了毛泽东和中央常委的决定，中国首次原子弹装置爆炸试验进入了倒计时。10月14日，在核试验基地，张爱萍向核试验委员会全体成员郑重宣布中央决定：第一颗原子弹装置爆炸试验起爆的零点时间为1964年10月16日北京时间15时。当晚19时20分，我国第一颗原子弹被吊装到铁塔顶部，飞机、坦克、装甲车、大炮、船艇、各种车辆、建筑和动物、植物等效应物8类共21项，置于距离爆炸中心不同距离的范围内。以往多少个日日夜夜，一锹锹、一铲铲的泥土，一道道、一件件地打磨，一笔笔、一页页地计算，一次次、一个个地攻关……战胜了无数艰难困苦，渡过了多少危难险滩，一切即将迎来的是霞光一片……

那炫目的一刻，欧阳自远也亲历到了。

1964年10月16日15时，中国罗布泊核试验场，中国首枚原子弹以塔爆方式试爆成功，但见大地颤抖、天地轰鸣、强光闪烁、烟柱升腾……

一位开国将军事后是这样描述的：

寂静的罗布泊上空突然出现了耀眼的闪光，一团巨大的火球腾空而起，冲击波像飓风般地向周围卷去，紧接着便是震耳欲聋的鸣响，犹如串串惊雷。雷鸣声消失后，雪白的浓雾在空中翻卷，浓烟挟着尘柱滚滚上升，形成一朵美丽的蘑菇状烟云，在茫茫大漠中冉冉升起。

爆炸中心向人们展示了一幅可怕而又惨烈的景象——那座巍峨的铁塔顷刻间化为一条细细的麻花，机群化作一具具骷髅，坦克像被回炉的块块赤色毛铁，火炮阵地、通信中心宛若一堆堆塑料玩具；被用做试验的猴子、兔子、狗，有的被烧得斑斑点点，有的面目全非，好像不同颜色的梅花鹿；那些一息尚存的动物不时发出阵阵刺人心肺的惨叫，只有被烧化后又重新凝结的沙砾变成了一颗颗紫色的玻璃球，流光闪烁……

拿起现场直通北京中南海西花厅周恩来办公室的专线电话，张爱萍极为兴奋地向周总理报告核爆炸成功了。

周恩来第一句话就问：“是不是真的核爆炸？”

张爱萍继续报告：我们已看到火球，蘑菇云正在上升，铁塔已经消失……

周恩来当即代表中央向原子弹研制和参试人员表示热烈的祝贺，随即，赶到人民大会堂报告毛泽东。毛泽东听完，仿佛也有点“近乡情更怯”的意思，又问周恩来：“是不是真的核爆炸？要继续查清楚，最好让外国人先报道，我们再发表。”

美国人却没有毛泽东的迟疑。在爆炸后不到一小时，有关的照片就摆满了白宫的办公桌。这都是飞越中国上空的美国卫星拍摄的，其中还有铁塔和周围一圈圈效应物的照片。约翰逊总统对记者们说：“中国这颗原子弹的当量，比我们当年投向广岛的那颗还要大。”

当晚22时，新华社向全世界宣布：中国第一颗原子弹爆炸成功。新华社同时发表中华人民共和国政府声明：中国发展核武器不是由于中国相信核武器的万能，要使用核武器。恰恰相反，中国发展核武器，正是为了打破核大国的核垄断，要消灭核武器。中国进行核试验，发展核武器，是被

迫而为之。保卫自己，是任何一个主权国家不可剥夺的权利。中国政府郑重宣布，中国在任何时候、任何情况下，都不会首先使用核武器。

17日，中国政府发布了《关于中国原子弹爆炸成功的新闻公报》。

中国发出的一声巨响，世界为之惊愕。年轻的中华人民共和国随着一声雷鸣、一团尘埃，气宇轩昂地跨入了核门槛。

从历史的角度看，这次核爆炸在世界政治、军事格局中引起的震撼，在全球中华儿女心灵上引起的震撼，将是永久性的。

新中国更高地昂起不屈的头颅，举国上下一片欢腾。

按照原定计划，我国的地下核试验将在1966年内进行，但一场急风暴雨来了！

中国科学院为承接地下核爆炸试验有关科研任务，先后安排11个研究所，共承担27个科研项目。其中，除了“219”小组承担的为爆炸场区选址、并制定各种预险措施，还有场区工程设计和施工，为地下核试验测试方案的确定而进行的理论分析、理论计算，以及测试技术和测量仪器的研究和试制等。此时，所有科研项目都立马搁置，所有的科研小组统统撤回原单位，并处于瘫痪状态。

欧阳自远也随“219”小组撤回了北京。

一段暗淡的岁月

1966年2月，中国科学院地球化学研究所（简称“地化所”）成立。作为研究矿产资源、环境、天体及地球深部物质的地球化学所，自然成为欧阳自远的最佳去处，他被立刻调往地化所。

1966年4月，地球化学所搬迁到贵阳市。本拟随后搬迁的，还有中国科学院里九个涉及国防或担负国家重大科研任务的研究所，组成中国科学院的化学研究中心。搬迁的理由是准备打仗，而且得准备打大仗，这是党中央、国务院的战略部署。

率先搬迁的就是地化所。欧阳自远清楚地记得他离开北京，踏上开往贵阳火车的那一天——1966年5月16日。因为这一天，中共中央政治局扩大会议下达了著名的《五一六通知》。这是在中国历史上影响极大的一天。

踏上开往贵州的火车时，欧阳自远还无法预料到，即将开始的这一场席卷全国的运动将带来怎样的影响和伤痛，但他已经朦胧地预感到，“219”小组的步伐将要慢下来。

地化所迁到贵州后，那些刚刚分到所里的大学生、研究生们深感贵州的封闭，他们来自北京，从而自觉担当起领潮人的责任，造反情绪非常高

涨。很快，贵州大学的红卫兵组织便自愿归附，地化所的造反派成为贵州造反潮流的核心。原计划要迁到贵州的另外9个研究所，由于“文化大革命”风起云涌，都就地闹革命了，没有搬迁到贵阳。结果，只有地化所迁到了贵州。

欧阳自远一直游走在运动之外，闷头搞学问。然而，运动却不容欧阳自远置身其外。

1963年，乒乓球运动员荣国团为中国拿下了历史上第一个体育世界冠军后，担任中科院党组书记的张劲夫产生了一个想法：中科院能不能培养一批科技界的荣国团？随后，他从科学院各研究所的年轻人中挑出了4个人，政治上让他们当上全国青联委员，业务上提供种种学习、进修、到国外访问的条件，作为特殊的尖子去培养。4个人里，有搞大气研究的周秀骥，搞海洋研究的巢纪平，搞晶体结构的李芳华，以及从事固体地球科学研究的欧阳自远。到了20世纪90年代初，他们4位全部当选了中国科学院院士。但在那时，张劲夫显然执行了一条“修正主义路线”，被他赏识和推荐的一批“中国科技界的荣国团”自然成了典型的“修正主义苗子”。一段时间，欧阳自远成了地化所大字报批判的主要目标。先是“修正主义的苗子”，后又当上“地主阶级孝子贤孙”。欧阳自远每天到所里之后，第一件事情是看大字报，接受群众批判，接下来就是写大字报自我批判。

按照要求，欧阳自远每天必须写满10张大字报。能写什么呢？没有的事情怎么编都编不出10张纸。干过的事，能在大字报上写的，都能上纲到刘少奇“黑线”那里，而能牢牢和毛主席的红线挂上钩的，又几乎都不能往外说。写了第一天，第二天就没词了。于是，每天10张大字报可难住了曾翻山越岭勘探测量的欧阳自远。

或许还有一种心灵上的迷茫和困惑吧，欧阳自远学会了吸烟。即便到了今日，这位老先生依然是烟不离手，看着他以及被微微熏黄的手指，完全可以感受到他在那段时光里的苦闷。

然而，香烟也无法帮助欧阳自远轻松地完成每天那十张大字报的任

务。第三天，欧阳自远发现写的大字报没有人检查，便想了一个办法，开始抄报纸，抄报纸上的社论和重要文章。写10张大字报的任务好完成，但对“文化大革命”的不理解、怀疑、困惑和忧虑使欧阳自远无法摆脱沉重的压抑和内心的苦闷。

不过，那时对欧阳自远本人的冲击还不是很严重，只是在开某些批斗会时，要作为陪斗在旁边站站。比如说，批斗涂光炽时，作为涂光炽得意门生的欧阳自远自然难逃干系。

那之后，上班就是劳动改造。

当时，贵阳市到处都在挖地下防空洞，欧阳自远被派去扛水泥柱和水泥预制板。一根近百千克的水泥柱，由两个人扛。一次，和欧阳自远一起扛水泥柱的人，已经将那一头的水泥柱放到地上，欧阳自远这一头还压在肩上，结果造成尾椎骨折。虽然疼得撕心裂肺，但欧阳自远没敢吭声，没有去检查，继续日复一日地去工地，继续扛水泥柱，以致病根一直留到后来。

工地的活终于结束了，欧阳自远回到了所里，又被派去猪场劳动，每天打猪草，起猪粪。一天，回到家中，摇摇晃晃的欧阳自远连上床的力气都没有了，一下摔倒在地上。妻子将欧阳自远搀扶到床上，摸了摸他的额头，火炭一般烫。妻子立刻带欧阳自远去医院，化验结果出来了，转氨酶已经达到400多，是急性黄疸性肝炎。妻子担心欧阳自远这样回去还要继续参加劳动，而且开批斗会也要去，便请求医生让他住院。然而，医生说什么都不同意欧阳自远住院。无奈，妻子只好带欧阳自远回到家中。第二天，欧阳自远硬撑着还要去猪场上班，妻子看了看手里的温度表，高烧到39℃。妻子什么都不顾了，将欧阳自远关在家里，努力做各种好吃的给他吃，希望能调养好他的身体。幸好，造反派得知欧阳自远得了肝炎，也没有来逼他去猪场。

那时候，贵阳的供应是30%的大米，30%的面粉，剩下的都是苞谷。欧阳自远咽不下窝窝头，妻子每间隔一两天，凌晨4点钟就会走出家门，背着苞谷袋，去离市区几千米外的一个有水磨的小镇，将苞米粒磨成面，



欧阳自远夫妇结婚照

这样，她就可以给欧阳自远做棒子面粥喝了……在妻子的精心照顾下，欧阳自远的肝炎终于好了。

那个时候最让欧阳自远感到苦闷的，就是无法从事自己喜欢的工作。科研工作做不成，有人做起了木工活，有人开出一小块菜地，有人养起了鸡鸭。大院门口仍挂着一块偌大的牌子“中国科学院地球化学研究所”，让人多少有“旧时王谢堂前燕，飞入寻常百姓家”的感慨。

妻子买来一台缝纫机，开始教欧阳自远缝制衣服。有几天，欧阳自远的积极性很高，居然用一些旧衣服为两个孩子缝制出新衣服。妻子调侃着说道：“将来如果真的不要‘臭老九’了，咱们回老家当裁缝去……”

妻子说是这样说，但她心里清楚欧阳自远心中的郁结。每每看到欧阳自远呆呆地看着窗外，她的心就会疼。可是，她可以照顾好丈夫，能够舍身保护丈夫，却没有能力扭转那场运动，她只能无助地守护在丈夫身旁。

欧阳自远的心头有些悲哀，又有些满足。现在有时间看书了，除了核爆炸、陨石方面的书，欧阳自远还把1959年苏联开始探测月球以来的俄、英文资料，凡所里能找到的，都悄悄地弄来看了一遍。

后来，北京不断传来“打倒刘少奇”“揪斗彭德怀”的亢奋声浪，贵阳也弥漫起火药味。但是，地化所的生活却相对安静：隔几天就可以摘一茬鲜绿的菜地，每天早上几乎都有在鸡笼鸭舍里摸起一两个蛋的欣喜，

还有那些打出来角是角、棱是棱的家具，极大地激发了科技人员们的创造欲……

陨石与这个国家无关，月球与这个国家无关。中国与月球的距离，还是与“嫦娥奔月”一般神话的距离。

欧阳自远相信，混沌的日子总有一天会重现清明。欧阳自远坚信，探月的天途既然已经架设，人类登月的时刻就不会太远。

重返地下核试验

1967年冬，革命声浪仍旧此起彼伏，欧阳自远和“219”小组却突然从地化所“蒸发”了。原来，在中央的直接关怀下，他们被安排在北京通县一个偏僻而又安全的地方，继续从事地下核试验的有关准备工作。仿佛鸟出困笼，欧阳自远的心潮重新澎湃起来。在多年之后，欧阳自远依然感到十分幸运，看看周围的科学家朋友，大多都被耽误了整整十年的时间，而自己只耽误了一年的时间。

第二年，他们一行人再次来到南疆的马兰基地。

此时，解放军的施工部队已经开进场区。第一次地下核试验属于平洞式地下核试验，在山体内打进一个很长的坑道，中心放入原子弹，再封洞爆炸。坑道末端拐了几个弯，成鱼钩状，为的是中心爆炸后坑道自动堵死，这种自封式工程设计有利于杜绝放射性物质沿坑道的泄漏。

1969年春夏之交，苏联在中国北部边境之外陈兵百万，双方不断发生大大小小的摩擦。最严重的一次，是发生在这年冬天的“珍宝岛事件”。

随后，在新疆铁列克提地区，中苏两国发生了更大规模的武装冲突。一系列的边境武装冲突事件，一度使中苏两国走到战争的边缘。此后，苏联军方一度制订了对中国实施核攻击的计划。

1969年9月11日，周恩来总理在首都机场，同到河内参加胡志明葬礼后回国途经北京的苏联部长会议主席柯西金进行了坦率的谈话，但是，危机仍旧没有消退。

就是在这样的背景下，1969年9月23日零点15分，我国成功进行了首次地下核试验，这也是中国进行的第9次核试验。

当日零点，距离核爆心几十千米的指挥部里，欧阳自远提心吊胆，紧张得手心已经开始出汗，借助望远镜，他的双眼紧紧地盯着那座试验山顶竖起的十字架。零点14分40秒，主控站操作员按下了电钮，10秒钟后，整个系统进入了自控状态，计数器倒计时开始，当计数器从10倒转到0时，按照事先的设计，原子弹将自动爆炸。

指针终于指向“0”，原子弹爆炸时间到了，没有火球凌空，没有升腾的蘑菇云，只看到十字架蹦上天空，旋即又掉了下来。刹那间，仿佛整座山在往上抬，又落下来。同时，脚下的大地在惊悸，随即，从地心深处传来一阵闷雷般的响声和哗啦啦的石头坍塌声。欧阳自远悬着的心放下了，山没有掀顶，山体也没有裂开，只是山体外围出现了大面积滑坡，显示着原子弹爆炸的威力超过了人们原先的估计。

多年的努力与付出终于赢得了体现价值的时刻，欧阳自远笑着落下泪来。

当年10月20日，中苏边境谈判在北京举行后，中苏边境冲突的气氛开始缓和。

一年后，科研人员从地下核试验爆炸区的地面向爆心打钻取样。

两年后，重新开挖平洞至爆心位置，欧阳自远得以进入爆心。那时的防护措施根本就可以用“简陋”两个字来形容，只是穿上白大褂，戴上口罩、帽子和绒线的白手套，便进入了现场。短短的两年时间根本无法让全部的核物质完全消散，但在那个时刻，生命已经不是欧阳自远心中最重要的事情了。

进入爆心后，只见地面堆满了坍塌的大小不等的石块，爆心的上方

形成了一个巨大的筒状坍塌空洞。核爆炸的能量还没有散尽，洞里还很闷热，爆室变成一个直径约50米的空旷的大厅。走进爆室，仿佛走进了一个抽象派的画廊，洞壁上到处挂着惊红骇绿，焦黄惨白，所有的岩石、核装置、电缆和坑道填充的物质都变成了各种颜色的岩浆，插进周壁的裂隙中，形成多彩多姿的岩脉，欧阳自远感觉自己仿佛钻入了已冷却的火山口一样。取样化验结果，原定的各项指标都已达到。

欧阳自远仿佛收获了一份巨大礼物，兴奋不已。

中国两次地下核试验，欧阳自远很有幸都参加了，洒下了汗水，奉献了自己的力量。参加地下核试验的工作，不仅是欧阳自远生命中一次重大的经历，也为他积累了很多经验。比如，如何区分什么是核爆炸玻璃，什么是火山玻璃，什么是天然玻璃，或者什么是小行星撞击地面使岩石熔融后冷却形成的玻璃。因为小天体的撞击地球的过程跟核爆炸的过程一样，都是产生高温高压的冲击波。这对欧阳自远后来对小天体撞击行星、月球的深入研究，对小天体撞击地球的研究来说，受益匪浅。

在近十年的核试验及其有关的研究工作中，欧阳自远撰写并提交了《地下核试验地质效应总结》等20余篇研究报告和学术论文，为世界上第一次在石灰岩质中进行地下核试验的可行性、科学性、工程设计和安全防护措施，以及爆后的地质效应提供了科学依据。“219”小组的研究成果为中国核科学技术的发展做出了重大贡献，促进了我国核地球化学、实验地球化学、非平衡热力学和核废料处理技术等学科的研究工作。在1978年举行的全国科学大会和中国科学院的表彰大会上，《地下核试验地质效应综合研究》获国家重大科技成果奖。

第五章 天上送来的礼物

此时的欧阳自远依然放不下心中对月亮的牵挂，但他也知道，以当时的国力和科技水平来讲，根本无法完成探月的梦想。陨石，便成了他唯一的研究对象。

2012年，世界末日的传言流传甚广，欧阳自远站在媒体前为大家答疑解惑，消除恐慌。那些信手拈来的事实，鞭辟入里的分析，其实都得益于他多年来对陨石的悉心研究。

世界末日离我们有多远



请各位想象一下这样的场景，整个地球全部处于混乱的场面：火山喷发出浓浓的岩浆，流淌之处均是一片火海；全球性的地震突如其来，整个世界变得一片狼藉；海啸掀起惊天巨浪，淹没了周围的一切；火山灰以及地震激起的灰尘遮天蔽日，地球陷入暗无天日的黑暗；世界上的绝大部分植物和动物无法抗拒这巨大的灾难，寒冷、饥饿、各种灾难的直接伤害，食物链的中断使物种濒临灭绝，即便是占据统治地位的生物也将就此消亡……这不是电影《2012》中的特效场面，而是曾经真实发生在地球上的残酷事实，不过，是在几千万年前。

6500万年前是地球历史上中生代与新生代的交界面。

6500万年前，一颗直径为10千米大小的小行星，撞击在墨西哥湾尤卡坦半岛，形成直径达220千米的“魔鬼之尾”撞击坑。上世纪80年代至90年代初，在全世界100多个地区的地层剖面中，找到了6500万年前大型撞击事件诱发环境气候灾变、以恐龙为代表的70%的生物物种灭绝的充分证据。

1981年，欧阳自远在西藏岗巴地区的海相地层中，找到了白垩系和第三系的连续海相沉积地层。当时的西藏并不是高原，更没有喜马拉雅

山脉，而是特提斯海。通过3个海相地层剖面的系统采样和深入的研究证实：

在白垩系——第三系地层剖面的界面层中，发现含有大量由撞击过程产生的熔融状的玻璃球粒。这些球粒是小行星高速通过大气层时，在空中爆炸、压缩空气所形成的超高温高压冲击波冲击地面，导致地面岩石及撞击体本身熔融、蒸发并溅射到200千米以上的高空，大量的撞击熔融球粒弥散于平流层中，从而形成了全球性的沉降。

在一厘米厚的界面层黏土中，发现小行星中富含的铱、铍、钨、钼、铑、铂、镍、铬、钴等铂族与亲铁元素含量异常高，比上下层位及地壳的平均值高1至3个量级，表明界面层中有地外物质的重要贡献。通过元素异常的计算，反演出了撞击体的大小与类型。

界面层中某些元素的相对比值，显示出典型的小天体物质的特征。

界面层中发现，有极少量的、由森林大火燃烧形成的炭灰和多环芳烃等有机化合物。

界面层中发现，有由超强冲击波使地面某些矿物结构更为致密、形成同质异构的超密矿物，如石英转变为柯石英。

系统测定地层剖面的碳、氧同位素组成，发现界面层的碳、氧同位素组成有明显的突变。对氧同位素的系统研究表明，撞击后地球表面的气温明显下降了 $12 \pm 4^\circ\text{C}$ ，之后经历近万年，才逐渐恢复正常。碳同位素的系统研究，表明了大量生物物种的死亡与灭绝。

经过全世界科学家对墨西哥湾尤卡坦半岛“魔鬼之尾”撞击坑的不懈探索，通过磁力与重力测量、钻孔取样，对靶岩熔融形成的玻璃陨石、熔融球粒、铱等铂族元素的异常特征、冲击变质矿物和撞击年龄的测定等系统而深入的研究，不仅确证撞击坑的存在，也论证了撞击体的大小和能量分布，还提出了气候环境演变与生物灭绝过程的各种模式。

在太阳系的火星与木星运行轨道之间，分布着一个小行星带。众多的小行星绕太阳运行，不会和地球相撞。获得国际永久编号的小行星有21万

多颗，其中直径在100千米以上的小行星大约有200颗，30千米以上的约有1000颗，1千米以上的就更多了。还有少数轨道特殊的小行星，轨道近日点进入到火星、地球、金星甚至水星轨道以内。这些近地小行星，在运行的过程中可能撞击地球，诱发地球气候环境灾变和生物物种大灭绝事件。

长期以来，天文学家对近地小行星和彗星的轨道、运动特征、成分、类型、结构等进行过精细的观测和研究。在已登录的3611个小行星中，为预报小天体撞击地球的危险性，对其中807个小行星和57个彗星进行了跟踪监测。

太阳系中具有固态外壳的行星（如水星、金星和火星）、矮行星（如冥王星）、卫星（如月球、火卫星1和火卫星2等）和小天体（小行星和彗星）的表面，千疮百孔、坑坑洼洼、斑驳陆离地密布着大大小小的撞击坑，这些环形撞击坑是小天体撞击及小天体相互撞击的生动记录。太阳和表面为流体状态的巨行星（木星、土星、天王星和海王星），也经常遭受小天体的撞击，但是撞击后产生的撞击坑难以持久保存，很短时间内“伤疤”即愈合而消失。

小行星和彗星撞击地球，在地球的历史中屡见不鲜。估计直径大于10千米的小行星撞击地球的概率，大约是每一亿年发生一次；直径1千米级的小行星撞击地球的概率，大约100万年一次；直径100米级的小行星撞击地球的概率，为一万年一次；这些小天体撞击地球，将诱发全球性的气候与环境灾变。人类有文字记载的历史还不到一万年，这期间还没有遇到过严重的撞击事件。

地球表面保留的撞击坑很少。经研究确认，地球表面仍然残存有168个可辨认的撞击坑。由于地球表面受到各种地质内力和外力作用，如火山喷发、岩浆侵入、板块俯冲、地震海啸、构造运动、海进海退、水与风的剥蚀、搬运与沉积作用等，历经几十亿年的沧桑变化，地球历史上形成的众多撞击坑，绝大多数都已被剥蚀而夷平，或被各种沉积物或火山熔岩所掩埋，或被构造岩浆作用所破坏。保存完好的小型撞击坑，如美国亚利桑

那州的梅蒂尔撞击坑，大约是在49000年前，一个直径仅为42米的小天体撞击，产生了一个直径1.2千米、深150米的坑。这颗小行星撞击地面的速度约为每小时72000千米，在14千米的高空发生爆炸，爆炸冲击波碰撞地面产生的能量相当于2.5兆吨TNT炸药爆炸的能量，接近于12万个轰炸广岛原子弹的爆炸威力。

小天体高速通过地球大气层，与地球的相对速度约为每秒15—75千米。高速运行的小天体通过大气层时碰撞大气分子，产生极高的温度和压力，小天体表面的物质不断汽化、熔融与飞溅，甚至在大气层中产生剧烈爆炸。

高速运行的小天体压缩大气，形成强大的超高温超高压冲击波冲向地面，使地面的靶岩迅速破碎、汽化和熔融。冲击波在地球表面挖掘出相当于撞击体体积近100—200倍的靶岩向外溅射，形成一个环形撞击坑和撞击坑外缘的堤坝状坑唇；继而撞击坑中心隆起，撞击坑外大面积分布着撞击熔融角砾岩；撞击坑壁坍塌形成多环撞击坑。

强大的超高温超高压冲击波冲向地面，产生巨大的地震，摧残地球的生命。若撞击靶区是海洋或临近海洋，将激起几百米甚至上千米高的巨浪和最强烈的海啸与地震，沿岸数千千米的地区将沦为汪洋一片。大量的海水蒸发、溅射，并挖掘出大量海底的沉积物与岩石粉尘，抛射到平流层中滞留，海洋中大量生物死亡。

极高温度与极高压力的冲击波，将摧毁前进方向上的一切生命物质，使得一切可燃烧的物质燃烧，引起森林大火甚至全球大火。大火燃烧形成的灰烬与二氧化碳，以及撞击靶岩溅射出的尘埃及气溶胶，弥漫于高层大气中。平流层弥漫着高浓度的粉尘和烟尘，屏蔽太阳光和热辐射，地面接收的太阳辐射将减少90%，地表急剧降温，海平面下降，冰雪覆盖面扩大，植物的光合作用受到抑制，甚至大批植物死亡，以植物为食的动物因食物链中断而死亡；“黑暗的、寒冷的冬天”突然降临，新的全球性的冰期诞生，加剧生物物种的灭绝。

超高温超高压的冲击波使大气中的氮气形成氧化氮，形成强酸雨的沉降，会加速动植物的死亡和对地面的侵蚀。超强的冲击波和巨型的地震与海啸，扰乱了地球内部物质的运动次序，甚至产生地磁极的倒转。极其恶劣的生态与环境使大量生物物种死亡与灭绝，曾主宰地球生物界的大型动物及大量海洋浮游生物都难逃劫难。

地球在经历漫长时期的生态重建后，随着温室效应的加剧，气温的升高，海平面上升，使气候逐渐恢复正常。某些生物种属的复苏和大批新的物种滋生、繁衍，地球又恢复了她的蓬勃生机。

古生物学家经过近百年系统的精细研究，确认自古生代以来，地球的生物界经历过多次灭绝事件。根据生物化石记录，地球历史中大约有22次生物灭绝，古生物学家将这些灭绝事件划分为：大型灭绝——生物科类和种类的灭绝数分别为>50%和96%；中型灭绝——生物科类和种类的灭绝数分别为>20%和50%；小型灭绝——生物科类和种类的灭绝数分别为>10%和30%。

生物灭绝事件不仅导致大量生物物种的消亡，而且造成生物的进化分异与复苏，生态重建和生物地理区系的重组。生物进化过程是生物界在地球系统内长期渐变与短期剧变相互交替的历史。地球历史上虽然发生过多次生物物种大灭绝事件，但是从来没有发生过全部生物物种完全灭绝的事件。

自20世纪80年代以来，小天体撞击地球诱发气候环境灾变与生物灭绝事件引起了科学界的重大关注。当前比较公认的地球历史中，最大规模的生物灭绝事件（距今2.5亿年前的二叠系/三叠系界面）和6500万年前以恐龙为代表的生物灭绝事件，以及地球新生代以来多次小型生物灭绝事件，主要是由小行星或彗星撞击地球而诱发的。新生代以来，至少有6次（距今6500万年、3400万年、1500万年、240万年、110万年和70万年前）小天体撞击地球，诱发全球环境气候灾变与生物灭绝。

人类为防止小天体撞击地球，科学家提出并开展了全球联网监测，早

期发现预警等措施。科学家们商定建设全景观测望远镜和快速反应系统，由多台天文望远镜组成的小行星观测网络，搜寻有可能撞击地球的危险小天体。

根据对近地小行星运行轨道的观测，科学家预报：直径约320米的阿波菲斯小行星将于2029年4月13日撞击地球，撞击能量相当于8.5亿吨TNT炸药爆炸的能量；2182年9月24日，直径约560米的1999RQ361小行星将撞击地球……

当前提出防御撞击的思路是改变小天体轨道，使之与地球擦肩而过或炸毁小天体，以减小其撞击地球的危害性。具体方案主要有：

利用导弹或核装置对小天体进行攻击，使小天体改变轨道。

在小天体表面安装一台大型火箭发动机或一个“太阳帆”，把小行星从撞击地球的轨道上推开。

改变小天体颜色以改变它的反照率和吸热率，使小天体自行改变轨道。

用核装置直接炸毁小天体，以减小其撞击地球的危害性。

从可靠性与安全性分析，最佳的选择是发射人造航天器，把它调整到和小天体伴飞，再附着在小天体上，然后用很小的机械力推动小天体，“四两拨千斤”，使之改变轨道与地球擦肩而过。

随着当代科学技术的发展，人类完全有智慧和能力，规避引起极大灾害的小天体撞击地球事件，保护地球的万物生灵——人类，才是地球的保护神。

当然，“福兮祸所伏，祸兮福所倚”，撞击会带来灾难，但也会带来些意外的收获。

18.5亿年前形成的加拿大肖德贝里撞击坑，现今保留的直径仍有140千米，由于强大的冲击波撞击地壳，深大的断裂诱发深部基性岩浆侵入而成矿，形成了全球最大的镍、铜和铂族元素超大型矿床。

撞击作用引起地壳内部热液活动，使某些成矿元素富集成矿，如在南

非弗里德佛，撞击作用使盆地中岩层断裂带热液活动加强，形成大型的金矿。撞击作用还能够使某些含矿靶岩中的成矿元素富集而成矿，如加拿大卡斯维尔撞击构造中的富铀砂岩及乌克兰特诺夫卡撞击坑的含铁石英岩。

撞击坑形成的盆地，为后期的成煤、成油盆地或形成其他沉积矿床提供了适宜的环境。如德国的瑞斯撞击坑（煤和萤石矿）、乌克兰的鲍特乌什撞击坑（油页岩）、印度的朗那撞击坑、南非的索特潘撞击坑（碳酸氢钠矿）、俄罗斯的拉格辛卡撞击坑（硅藻土矿）、白俄罗斯的罗格乌斯克撞击坑（磷灰石矿）等。撞击坑往往可以成为很好的油气圈闭构造，如美国中西部的维尔斯顿撞击盆地、俄克拉荷马州的阿密斯撞击构造等，均具有油气勘探的前景。

在撞击成坑过程中，强大的冲击波有可能使靶岩中的石墨转变成金刚石。有报道说在俄罗斯波比卡撞击坑的撞击熔融岩脉中，发现了有细粒结晶的金刚石。

如今，古老的撞击坑往往变成了风景秀丽的湖区，如加纳的布什提维湖、印度的朗那湖。而加拿大魁北克的曼尼康那甘撞击坑现在已成为具有水力发电功能的大水库。人们在有些撞击坑所在地建立了博物馆，或开辟为旅游区，如在美国亚利桑那的巴林杰撞击坑、德国的瑞斯撞击坑和南非布里托勒的索特潘撞击坑等。

而对于欧阳自远来说，这些天外的不速之客，都成了他极好的研究对象。

天外来客



1958年，在中国发现了一块特殊的“石头”，这块“石头”于欧阳自远而言极具意义，正是它，让欧阳自远自幼飞天梦想的种子真正生根发芽。

但对于大多数国人而言，那一年最重要的事情，是响应号召大炼钢铁。无数人满腔热情、浴火奋战，一群地质队员也翻山越岭寻找着铁矿山。不久，有些人就在广西南丹的几个山上发现了不少带有红褐色锈痕的“铁矿石”。那种为国家建设添砖加瓦的满足感与自豪感，不亚于哥伦布发现了新大陆！

但，问题出现了。

当人们将这些“铁矿石”投入高炉准备冶炼时，发现这些倔强的“铁矿石”根本无法被高炉的温度熔化。人们开始质疑这究竟是什么，到底是什么原因可以让它们在烈火中永生？

于是，有关这些特殊材料的报告层层向上汇报，中国科学院受理了此事并安排了鉴定任务，交给地质研究所处理，自然而然，这项任务落在了欧阳自远的头上。

当欧阳自远第一眼看到这个被其他人视为“异物”的“铁矿石”时，他就有了一种说不清道不明的微妙感觉：它曾离他很遥远，却又与他那样



1964年，欧阳自远在乌鲁木齐博物馆考察新疆铁陨石。

的亲近；它如此可遇而不可求，让他曾众里寻他千百度；它那么神秘又散发着无穷魅力，曾让他念念不忘、魂牵梦萦……今生相逢，似乎已是前世注定。

欧阳自远用手轻轻爱抚着它，生怕打扰了它，惊吓了它。感受着它的质

感，感受着它的温度，欧阳自远的手不禁有些颤抖，因为他能感受到它只向他一个人展露的温存。

欧阳自远似乎有些迫不及待地想要看清它，显微镜下，它向欧阳自远毫无保留地展示着它的美丽容颜。在它身上，那些漂亮的、格子状的花纹，让欧阳自远想起了家乡哥特式教堂中色彩斑斓的玻璃花窗。欧阳自远的耳边似乎又响起了优雅、舒缓的琴音，他的周围一下子安静下来，似乎这个世界中只剩下他和它。但欧阳自远的内心怎能平静？它就像自远方而来的、有着金发碧眼的芬兰修女，向欧阳自远露出了迷人的微笑；它就像多年未见的知己朋友，向他张开了热情的臂膀，想要和他拥抱……在心底，欧阳自远默默地对它说：“朋友，你好。”

欧阳自远开始准备对它进行各项化验，因为他不允许自己在它身上犯错，并因此和它擦肩而过、失之交臂，他要读懂它内心中的秘密。经过化学分析，格子的中间铁含量非常高，格子的边上镍含量很高。

欧阳自远真的想拥抱它了，朋友！它是真正的天外来客——八面体铁陨石。

遥远的召唤

1960年，一条耀眼的火龙，伴着震耳的雷鸣声，轰隆隆地从天而降，落在了中苏边境内蒙古一侧，此情此景，让人惊心动魄。

边防军迅速行动，实地探寻，发现了一个不明物体。它表面上看来就像是一块石头，但外形被烧得黑乎乎的，

这究竟是什么？当时国际形势较为紧张，这个东西又落在边境之上，于是关于它的流言纷纷四起：难道这是某种新型武器的碎片？难道是未曾引爆的残骸？

能够破碎这些流言的，是科学！

这块不明之物，辗转来到欧阳自远的手上。欧阳自远的内心再次泛起



1976年，欧阳自远在吉林野外寻找陨石，向老乡讲解吉林陨石。

涟漪，那种似曾相识的感觉再次席卷心头。依然是那样悸动的心情，依然是那样独特而又亲密地交流，但依然是那样一丝不苟地化验与研究。搞清事实、击碎流言，固然是欧阳自远必然要完成的任务，但这块石头本身似乎散发着迷人的光芒，吸引着欧阳自远一步步走入其中，欧阳自远知道，它会带着自己感受另一片天地。

果然，这是一块石陨石，来自一个小行星的碎片！由于碎片下落速度很快，与空气中的分子摩擦产生高温，才会形成火球。尽管这块陨石不到1千克重，但高温高压的冲击波穿越大气层，产生巨大的轰鸣声，撞击地球的过程的确让人心惊胆战。

欧阳自远反而对它感到亲切。朋友，你终于来了！那块南丹铁陨石，根据广西河池地区的《庆远府志》记载：“（明朝）正德丙子（1516年）夏五月夜，西北有星陨，长六丈，蜿蜒如龙蛇，闪烁如电，须臾而灭。”这是近500年之前的一次天地交流，而这一次你真正是来自现在的召唤。尽管这不是月亮之上广寒宫中那翩翩起舞的嫦娥亲自送来的手信，但一定是她托朋友捎来表达问候的礼物。

儿时便伴欧阳自远一起读书的月亮，你可知道，陨石是当时欧阳自远唯一能与你交流的桥梁。月宫中的嫦娥，你是那样的眷顾欧阳自远，但为何你一次次向他发出邀请，却又如此犹抱琵琶半遮面。

当夜，无眠。欧阳自远在庭间漫步，抬头欣赏那撩人的月色。已经离你越来越近，知道你也在静静伫立，等待着拜访。你放心，一定会亲自揭开你神秘的面纱，看到你的庐山真面！

陨石，是欧阳自远唯一能接触到的“天上的东西”。它们，就是天上的使者，开启了欧阳自远的天体研究。

世界上最先进的武器

1972年，在河北省藁城县商朝的墓葬中，发现了一件叫钺的古代兵器。钺是用青铜打造的，它的顶端镶有一块生锈的铁片。商朝的时候难道就能够炼铁了吗？这令考古文物界和历史学界轰动！如果能证实这块铁是人工冶炼的，那么，中国的冶铁历史将提前一千多年，中国历史的分期也将重新改写。

惊喜之余，当时的中国科学院考古所所长夏鼐先生有点怀疑，他找到地质所的刘东生先生问：这有没有可能是铁陨石？这位对我国黄土演化史研究做出卓越贡献、被誉为“黄土之父”的老院士告诉他，目前国内研究陨石的只有欧阳自远，这个结论只能找这个年轻人做。

那年，欧阳自远只有37岁，他从钺的刀刃上切了一点点样品做分析，用电子探针分析证明，这块铁片其实是从宇宙空间降落到地面的铁陨石，其成分构成相当于当今最为时髦的“镍铬不锈钢”。这一研究结果让历史学者们悬着的心落了下来。现在这件钺还收藏在中国国家博物馆。

尽管最终的结果未能改写中国的历史，但欧阳自远仍然对中国古人的智慧赞不绝口，古人将一小块铁陨石在炉火中加热，锻造成薄片状，再在制作青铜钺时将锻造的铁片嵌入在青铜钺的前端，成为铁刃铜钺。要知

道，这件武器在当时那个年代，绝对是“高精尖”技术的代表，是当时世界上最先进的武器。

陨石，这些在宇宙中四处游荡的小家伙，因其奇特与神秘，数千年来一直为人类所关注。我国拥有世界上最早和最丰富的陨石记录，有史可查的陨石事件有400多次。夏禹八年六月，“雨金于夏邑”，其时间约为公元前21世纪。战国时代的史籍《竹书记年》记载：“帝癸十年（公元前1809年，夏代），五星错行，夜中陨星如雨。”这是世界上有关石陨石雨的第一次记载。商纣时，“天雨石，大如瓮”。周成王三十四年，“雨金于咸阳”，时间约为公元前11世纪。《春秋》记载了公元前645年在今河南商丘县城北的一次陨石降落。僖公十六年，“春，王正月，戊申朔，陨石于宋五”，即落下了五块陨石。《左传》则记录为：“十六年春，陨石于宋，陨星也。”这是被确认的世界上有关陨石来源的最早记录，说明了陨石是地球之外的星体陨落到地面，比欧洲人认识这一点要早两千多年。这些记载都是世界上有文字可考的最早一批陨石记录。根据欧阳自远等人的统计，在我国古代文献中记载确认的陨石事件有365次。

陨石按其成分可分为三大类：以石质成分为主的叫石陨石，来源于石质小行星或类地行星与月球的外壳，主要成分为硅酸盐，它占地球上收到的陨石总量的94.8%。以铁镍金属为主的叫铁陨石，来源于铁质小行星或石质小行星的内核，主要成分铁占90%，镍占8%；铁陨石占地球陨石总量的4.6%。第三种是介于二者之间的石铁陨石，主要成分为硅酸盐和铁镍金属，来源于小行星的外壳占地球陨石总量的0.6%。

我国早在3000年前就能区分铁陨石和石陨石在成分上的差别。铁陨石又称“雨金”，《竹书纪年》记载：“帝禹夏后氏八年六月，雨金于夏邑。”所谓雨金，就是铁陨石从天而降。乾隆《临潼县志》还记载了“雨金镇”的来历，它位于陕西临潼东北15千米，秦献公时因雨金而得名。

世界上各个古老文明的人类在冶金史上最早认识铁、发现铁、接触铁正是从空中落下来的铁陨石开端的，人们对铁的最初认识就是在加工铁陨

石时获得的。当人类最初开始使用金属时，青铜是他们能找到的最好的金属。然而，他们无意中在地上发现了一些金属块，用它们锻造成的矛头和犁头，比用青铜制造的更坚硬、更耐磨，同时刀刃更锐利、更持久。古人当然不知道它们是什么，而这些就是从太阳系空间落到地球上的铁陨石。古埃及曾称铁为“天铁”，认为天是由一个大铁盘构成的。在古希腊，铁同样有着起源于天上的说法，以致可以和星辰属于同一等级。

由于铁陨石是从天而降的，在古人眼里它既是珍贵的，又是神秘的。因为看到陨星降落并与地面碰撞的机会是极其稀少的，对此深感惊惧的目击者自然会把它们视作上帝赐予地球的天外之物，就很可能崇拜这些陨星了。

实际上，陨石是太阳系空间的小行星碎片落到地面上的残骸。陨石的故乡大多是在太阳系的小行星带上。

太阳系原有九大行星，位居太阳系九大行星末席的冥王星，自发现之日起其地位就备受争议。对于这场天文学界跨越两个世纪的争议，在2006年8月举行的国际天文学联合大会上画上了句号。

根据这次大会通过的新定义，“行星”指的是围绕太阳运转、自身引力足以克服其刚体力而使天体呈圆球状，并且能够清除其轨道附近其他物体的天体。按照这个定义，太阳系行星只包括水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星和海王星。而同样具有足够质量、呈圆球形，但不能清除其轨道附近其他物体的天体被称为“矮行星”。游走于太阳系边缘的冥王星，就是一颗矮行星。其他围绕太阳运转但不符合上述条件的物体，被统称为“太阳系小天体”，即通常说的小行星。

在火星和木星的轨道之间，分布着难以计数的小行星，称为小行星带。之所以说难以计数，是科学界认为这个数字很可能不少于10亿颗。从19世纪的第一天起，一个名叫朱塞比·皮齐亚的意大利人发现了两颗日后被命名为谷神星和智神星的小行星，到20世纪初，只有约26000颗小行星得到命名与确认——其中半数是在这几年里完成的。这意味着对小行星确

认的任务，还只是万里长征走完了第一步。

此外，地球附近的宇宙空间，也有许多岩质物体，小的桌面般大，大的像座山。这些星际物质都按照一定的速度和轨道运行。当轨道特殊一点的个别小行星、小行星的碎片或星际物质与地球的轨道相交，它们会高速冲进地球的大气层，与大气发生剧烈的撞击、摩擦、生热、燃烧、发光，这就是人们看到的流星或火流星。

大多数流星在距离地面120千米以下的高空开始燃烧，体积小的流星体在离地面几十千米处已烧成灰烬，成为一闪即逝的流星。少数体积大的，在通过大气层的过程中还没有完全燃烧殆尽，由于受空气阻力的影响，速度越来越慢地陨落，这种落到地面上的残留的流星体就是陨石。

每年陨落到地球上的陨石很多，有天文学家估计大约有7万吨，数量有几千块。要是能拢成一堆，绝对是座巍巍大岭，但若是像撒胡椒面一样撒在整个地球上，看起来便微乎其微。而且，陨石大多数体积很小，又大都降落到占地球面积72%的海洋里和25%以上人迹罕至的极地、山区、丛林和荒漠，实际能够观看到的陨石降落极少，大多数陨石是降落后被发现的。

陨石的降落有声有色。

陨石通常以每秒45千米左右的速度与地球相遇，与地球的相对速度为每秒15—75千米。陨石体前方空气被高度压缩，这种打气筒效应对陨石体产生强大阻力，所产生的隆隆作响的冲击波声震，甚至可以为地震仪器所记录；不仅如此，它还导致压缩空气骤然升至万余摄氏度，比太阳表面的6000余摄氏度还要高出许多，陨石体本身也被空气加热到上千摄氏度，表面离子化形成高光度火球，甚至在日光下都可以见到。

有时，最初以数倍音速下落的陨石体，在热胀冷缩和空气拍击的作用下会发生爆裂，甚至形成蔚为壮观的陨石雨。

有学者认为，最早记载于《淮南子·览冥训》中关于女娲补天神话的精彩描述，当是古人眼里一次规模宏大的陨石雨撞击的全过程。

“四极废，九州裂，天不兼复，地不周载”，这是小型天体高速通过大气层产生的超高温、超高压冲击波撞击地球，诱发强烈的地震，陨石体在大气层中爆炸后形成的大规模陨石雨。

“火熸炎而不灭”，则是巨大的超高温、超高压冲击波诱发的森林大火和在地面上引起的火灾。

“水浩洋而不息”，巨大的超高温、超高压冲击波诱发的地震与海啸。

有人依据上古时代的传说编撰于西汉年间的《淮南子·览冥训》的记载推测，这几句话所描述的，可能就是一次陨石雨之后河北平原的景象。在河北平原地区中西部，即从任丘、河间向西偏北方向，直到完县、满城，存在大量碟形洼地，这像是遭史前规模巨大的陨石雨撞击后在冲积平原上留下的遗迹，并形成了以白洋淀水系为主的小流域区。如果这一撞击事件真实地发生过，那它就是神话“女娲补天”的事实基础。

有人说生命起源于陨石中的有机组分，有人说生物大灭绝于大型陨石撞击地球……但对于欧阳自远来说，那些是他和太阳系联络的纽带，是天外馈赠给他的礼物，是帮他打开天体研究的窗口……

珍贵的陨石



陨石表面一般都覆盖有一层1毫米厚的黑色熔壳，这是高温下陨石表面气化熔融后，又在速度降低时迅速冷却形成的。陨石表面的另一个特征是，有许多像河蚌壳形状的小坑，这是它与空气摩擦燃烧后的痕迹，科学术语叫作“气印”。人们可以根据凹痕的形状，判断出这颗陨石是朝哪个方向飞行的。

对陨石的化学分析表明，形成陨石的近百种化学元素同组成太阳、地球、月球等太阳系天体的化学元素是相同的。陨石中已发现几十种非常复杂的有机化合物，像氨基酸、卟啉、烷烃等等。虽然在陨石里它们仅仅是有机化合物，还没有形成具有遗传复制与新陈代谢能力的生命，甚至也没有形成蛋白质，更没有发现核糖核酸与脱氧核糖核酸等具有遗传能力的生命体。但值得人们去思索的是，这些东西对于构成地球生命的演化是不是起过作用呢？

这些有机化合物是组成生命的最基础的链条，假如把这些链条串起来，很可能就有生命的诞生，地球本身也就用不着再从简单的碳、氢、氧那么一个一个原子、分子地搭上去，最后搭成一个无比复杂的有机化合物，犹如一块一块的砖都有了，砌起来就可以造屋，不需要再去取泥土来

烧砖了，陨石就是这一块块“砖”。

至今在科学界，关于生命的起源是地球独立担当的，还是陨石做过“摇篮”，科学家们各持己见，谁也说服不了谁。

陨石如一部无字的天书，孤独地游荡在太空，写下了太阳系的演化，记录着原始太阳星云的形成、小行星相互撞击事件以及行星的演化线索，堪称太阳系最古老的标本，具有重要的科研价值。

可以举一个例子，倘若说陨石是地球生命的“摇篮”还仅仅是一个设想，那么，陨石对于探求地球的年龄，则提供了一个确证。

在20世纪40年代，科学家们要测定事物的年龄，最远只能达到埃及的第一王朝——公元前3000年左右。此后，美国芝加哥大学的威拉德·利比发明了放射性碳年代测定法，这种方法基于以下认识：生物体主要由碳、氢、氧元素组成，生物体与生存环境之间的碳进行交换，达到平衡。碳



欧阳自远在世界最大的石陨石——吉林陨石上钻孔取样研究

元素则由三种同位素构成，即碳-12，碳-13，碳-14。碳-14是放射性的同位素，生物体一死亡，它与外界环境的碳交换立即停止，其体内固有的碳-14按稳定的速度开始衰变。通过测定某种特定的含碳样品中碳-14的衰变程度，就能够有效地锁定一个生物体死亡的年代。因此，威拉德·利比获得了1960年的诺贝尔奖。

但碳-14年代测定法只适用于年代不超过4万年左右的生物体，而且还根本无法测定岩石这样的无机物质的年代。对于测定岩石的年代，犹如期待岩石上开出一片美丽的花朵，世界上的科学家几乎人人不抱希望。

只有一个人例外。他叫阿瑟·霍姆斯，是英国达勒姆大学地质系的教授。他的研究方法，在理论上前人已经解决了，即有的原子以一种可以预测的比率从一种同位素衰变成另一种同位素，这一过程便像中国古代的沙漏一样，能够用来记录时间。霍姆斯的贡献在于，他以测定铀衰变为铅的比率来测定岩石的年代，从而期待测出地球的年龄。

他使用的设备只是一台校方提供的简易的加法机。通过这台机子的计算，在1946年，他颇为坚决又有些迟疑地宣布，地球至少已经存在30亿年，或许很可能还要长。但同行中，有些人将之视为天方夜谭，拒不承认这一成果；有些人赞赏他的方法，却以为他得出的不是地球的年龄，而只是组成地球的岩石或矿物的年龄。

1948年起，先是在芝加哥大学，后在加州理工学院，一个叫彼得森的美国科学家在无菌试验室里埋头苦干7年，继续研究着这一项目。他有了比霍姆斯更深入的想法——

测定地球年龄的问题在于，你需要有极其古老的岩石，内有含铅和铀的矿物，其古老程度几乎与这颗行星一样——要是岩石年轻得多，测定出来的年龄显然会比较年轻，从而得出错误的结论，而真正古老的岩石在地球上是很难找得着的。谁也不知道这是什么原因。实际上，要等到太空时代，才可能有人貌似有理地说明地球上古老岩石的去向，这真是不可思议的……最后，彼得森突然聪明地想到，可以利用地球之外的岩石，从而绕

开缺少古老岩石的问题。他把注意力转向陨石。

他提出了一个假设——一个很有远见的假设，结果证明非常正确，即许多陨石实际上是太阳系早期留下来的建筑材料，因此多少保留着原始的内部化学结构。测定了这些四处游荡的岩石的年代，你也就（接近于）测定了地球的年龄。

7年后，彼得森终于收集到了可用于测试的陨石。

1953年春，在伊利诺伊州的国家试验室，在一台新型的质谱仪下，他获得了正式结果。那一天，他的胸膛里也像落下了一片陨石雨，他几乎能听到激动与喜悦撞击一块的爆裂声。他不敢马上对外宣布，而是直接驱车回家，要母亲赶快送自己去医院，他以为自己马上就要发心脏病了……

过了几天，在威斯康星州举行的一次国际学术会议上，彼得森面含禅机似地微笑走上讲台。他望了台下一会儿，俨然是大雄宝殿上的如来佛祖，已将大千世界十万江山、百万鱼虫尽收眼底。然后，他宣布地球的确切年龄是45.5亿年，误差为7000万年。

经过200年的努力，人类才终于知道了自己居住的家园的年龄。

陨石对科学研究弥足珍贵，要得到陨石却必须99%地“靠天吃饭”，这剩下的1%，便来自月球取样。

之前，人类在月球的9个点位上采集了岩石样本。其中，美国阿波罗登月舱采集到6个点位的共381.7千克岩石，苏联通过不载人的机械方式取得了3个点位的共0.3千克的岩石。

既然99%地“靠天吃饭”，那运气就很重要了。南极，应该说是地球上独一无二的、运气好得像青岛啤酒泡沫一样涌上来的“天堂”。

在南极的巨大冰盖里，百万年来落下的陨石被完美地保存下来。冰盖的运移极其缓慢，无数陡峭的山坡成了它运移的天然障碍。当夏季来临，冰盖的前峰消融，积累其中的陨石便逐渐堆积在山坡下。一年过后，在同一个山坡前，都有可能找到一些新暴露出来的陨石。

自1969年以来，世界各国的研究人员在南极洲收集到近两万块陨石。

美国卡内吉梅隆大学还专门研制出一种在南极洲复杂恶劣气候条件下寻找陨石的机器人。鉴于几乎绝迹的国内陨石研究来源，中国也多次组织南极陨石考察，战果果然不凡。从1998年12月在南极内陆格罗夫山地区回收到第一块陨石，到2009年我国总共获得南极陨石11400块，其中有2块火星陨石，收集到一大批珍稀类型的陨石，如灶神星陨石、碳质球粒陨石、石铁陨石等。相对于国内获取的途径，南极的陨石真是“物美价廉”。

中国广泛分布的大面积沙漠与荒漠，也是收集与储藏陨石的宝库。2013年的夏季，是一个期待丰收与突破的炎热的夏天。5月，由林扬挺研究员与缪秉魁教授组织一批年轻的陨石专家队伍，到新疆的哈密—鄯善的荒漠里寻找与收集陨石，功夫不负有心人，在短短一个星期的野外工作中，他们找到了43块多种类型的陨石。也是在这个夏天，林扬挺还精心研究了2011年7月18日降落在摩洛哥沙漠里的Tissist火星陨石。他利用扫描电镜、激光微区拉曼分析和纳米离子探针分析，研究火星陨石冲击熔融细脉与矿物裂隙细脉中的碳物质颗粒，通过测定碳颗粒的同位素组成：碳-12、碳-13、氢-1、氧-16、氟-19、磷-31、硫-32和氯-35，证实碳颗粒是有机成因的碳，表明火星曾经发育过生命。

欧阳自远感到高兴，林扬挺与缪秉魁都出自他的门下，在欧阳自远先后指导的几十名博士生里，有11名学生的专业方向是陨石，他们分别研究吉林陨石、清镇陨石、南丹铁陨石、南极陨石、玻璃陨石、高温高压陨石实验、陨石宇宙成因核素、太阳星云凝聚与陨石成因和宇宙尘埃的收集与研究等。这支队伍的人数在增加，研究水平在提高，研究成果的影响在扩大，中国的陨石学与天体化学学科在茁壮成长。

解开通古斯大爆炸之谜

人类关于陨石雨的科学记载，始自19世纪初。

1803年4月26日，在法国东北部巴黎以西的莱格勒村，人们被一场从未见过的自然景象所惊吓。沿着一条13千米的轨迹，2300多块石头倾泻而下，每块石头重量为7克至9千克不等。因为陨石雨发生在白天，有许多目击者。有些人说，在陨石雨开始前，他们听到巨大的爆炸声，并看到天空出现异常明亮的光环。另一些曾捡起过石头的人说，当时石头还是热的。

法国物理学家让·巴蒂斯特·毕奥赶到村里进行调查。他对一些石头进行了分析，发现并证实它们是来自外层空间。而在这之前，好似听说了狗头长在猪身上，许多科学家都不相信地球上石头竟来自于太空。

从此，世界各地不断有关于陨石雨和小天体撞击地球的报道。其中，最为著名的就是“通古斯大爆炸”。

在俄罗斯西伯利亚中部，这是一片一望无垠、渺无人烟的荒野——到处是湿地、沼泽地以及长满松树和杉木林的丘陵地。万籁俱寂、阴森森地令人不寒而栗，偶尔可听到在晨曦下吃草的驯鹿走过的足蹄声，以及密密麻麻、成群结队的蚊子发出的嗡嗡声。

1908年6月30日清晨，在西伯利亚中部的通古斯河流域，酣睡中的人

们被震天动地的响声惊醒。一个燃烧着的，比太阳还亮的怪物拖着浓烈的长长烟火尾巴，带着呼啸的阵阵巨雷声，在几秒钟内从东南偏南方向向西北偏北方向高速移动，留下一道长约800千米的浓浓光迹后消失在地平线外。火球在离地面6千米的上空爆炸，升起一团巨大的火焰。一声震天撼地的巨响，一团蘑菇状的滚滚浓烟直冲到20千米的高空，接着降落了一阵石砾和灰尘的黑雨。爆炸力异常之大，离西南方向约600千米处，横贯西伯利亚的特快列车出现了强烈的震动，火车司机发现火车前面的铁轨呈波浪状起伏，司机立刻紧急刹车，接着从远方传来轰鸣声。在距爆炸地点2250千米远的地方都能听见排炮似的爆炸声，大地为之震颤。

离爆炸地点约970千米的伊尔库茨克和4000千米远的圣彼得堡市地震测量站，记录了这次爆炸。随后对这些记录的分析表明，地震的震中与爆炸地点正好吻合（北纬60度55分，东经101度57分），并证实了爆炸发生的准确时间：当地时间上午7点14分，格林尼治标准时间零点14分。

大气层中强大的冲击波还使空气产生异常的振动。在爆炸1小时以后，伊尔库茨克的地磁和其相关气象站，记录下了空气的异常振动和地球磁场扰动，磁暴持续了4个多小时。接着在4小时14分以后，相聚5000千米的波茨坦以及8小时以后的华盛顿，都分别有空气异常振动的记录。在英格兰6个不同地点记录下来的大气压持续20分钟左右上下剧烈波动。

当时通古斯周围尘土飞扬，烟雾弥漫，云堆里火舌缭绕，炙热的气浪此起彼伏地席卷着整个浩瀚的泰加森林（即北方针叶林）。2150平方千米内的6000万棵树呈扇面形，从中间向四周倒伏，1500多头驯鹿在大火中化为灰烬。熊熊的森林大火连日燃烧，爆炸后的几天里，通古斯地区方圆1.5千米范围内的天空，布满了罕见的光华闪烁的阴云。日落后，夜空便发出万道霞光。东至勒拿河，西至爱尔兰，南至塔什干，波尔多（法国）一线的北半球广大地区连续出现了白夜现象，即使远在西欧，竟然能在夜间不用灯火看报。在美国，史密松天体物理天文台和威尔逊山天文台观察到几个月来大气的透明度有所降低。

据伊尔库茨克地震站的记录，通古斯大爆炸的能量，相当于1000万吨至1500万吨TNT炸药，相当于近千个原子弹爆炸的能量。

100年来，解释“通古斯大爆炸”的起因至少有70种“理论”，大致可以归纳为以下几类：1. 地外小天体的撞击：小行星撞击说和彗星撞击说。2. 宇宙的某种过程：如反物质湮灭说，反物质陨石湮灭说，白矮星超密碎片撞击说，微小黑洞活动说等。3. 地球的某种过程：如闪电引发甲烷气体爆炸说，火山喷发产生1000万吨的甲烷天然气从狭窄的地下火山口漏出说，爆鸣气爆炸和水分解说，某种未知的地下运动和大气运动的强大结合说，地球云层放电说，流星破坏地球电离层说，陨石静电破坏森林说，来自地球深部的“地球流星”说等。4. 外星人的活动：如外星人的宇宙飞船出故障，宇宙飞船核爆炸说，外星人的激光攻击，火星飞船爆炸说，飞碟分裂说，雪人飞船入侵说，外星文明回应地球信号说等。

关于通古斯大爆炸的起因，其实早有科学定论。在通古斯事件发生后，通过对爆炸过程各种现象的记录和分析，特别是通过多次科学考察和越来越多的研究试验成果，绝大多数科学家赞同和支持“小天体撞击说”。“小天体撞击说”包括“小行星（陨石）撞击说”和“彗星撞击说”。只是后期各种奇谈怪论的出现，增添了通古斯大爆炸的神秘色彩，个别“学者”一知半解地渲染，加上媒体的鼓噪炒作，故弄玄虚，使通古斯大爆炸成为“20世纪最大的自然之谜”。

1924年夏著名的苏联地质学家S.V.奥布鲁切夫认为大爆炸事件是由巨大的陨石陨落造成的。1927年库利克提出“陨石撞击说”，因为没有找到巨大陨石的撞击坑和陨石残骸，在当时“陨石撞击说”还难以自圆其说。后期的研究标明一个石质小天体，直径约60米，以每秒25千米的速度与地面的人射角约 30° — 35° 飞进地球大气层。受地球大气的摩擦，生热，在距地面8.5千米的上空爆炸、裂碎、汽化，没有留下任何残骸。高温压缩的冲击波撞击地面造成了直径90—200千米的爆炸坑，大坑中没有残片。撞击地球的动能相当于1000万吨黄色炸药爆炸的能量。

苏联科学院院士彼得洛夫最早提出“彗星撞击说”，他认为引起通古斯爆炸的是一个以每秒12千米的速度冲破地球表面大气层的彗星，由于摩擦产生了过热的气体，形成了破坏力巨大的冲击波，所以没有留下任何残骸作为“物证”。库利克在通古斯区域多次考察后没有发现陨石的撞击坑，也提出彗星撞击说。随后，天文学家费森科夫院士进一步完善了“彗星撞击说”，他认为，引起通古斯大爆炸的元凶是一颗直径约60米、质量不小于100万吨的彗星头部，以每秒30—40千米的飞行速度冲入地球大气层造成的。

相继，越来越多的考察和研究成果支持和充实了“小天体撞击说”。欧阳自远根据通古斯大爆炸的各种现象，分析研究了通古斯大爆炸的研究成果，坚定不移地支持“小天体撞击说”。欧阳自远还用“吉林陨石雨”科教片与苏联拍摄的“通古斯大爆炸”科教片交换，并得到了极少的通古斯大爆炸的微细玻璃球粒，确证属于小天体撞击产生的玻璃微粒。

难以忘怀的陨石雨

1976年，在欧阳自远的人生记忆与科研经历中，是特别重要的一年。无数人一辈子也难遇的陨石雨，这一年里欧阳自远却遇到了多次。

第一次是在1976年3月8日下午，发生了世界上规模最大的一次陨石坠落事件——吉林陨石雨。那天下午3点左右，吉林地区上空突然出现了几个大火球，它们浑圆如满月，旋转如足球，越滚越急，很快滚成一片火海，鱼贯向西飞行。随之，整个区域里响起激烈、澎湃的轰轰声，大地为之颤抖，树木、房屋为之摇撼，几百里之外清晰可闻。事后统计，有100多万人听见了这巨大的爆炸声。落地的巨响和震波，震碎了邻近一户居民住宅的玻璃窗。地震台的地震仪准确记录了陨石在空中爆裂和1号陨石撞击地面的弹性波。

这一天是“国际劳动妇女节”，许多单位在举行聚会，有些村庄的朝鲜族乡亲们还载歌载舞欢庆节日。乡亲们停止了娱乐，纷纷跑出屋子，一个个惊恐万分，第一个念头是地震了，但未见任何一处房垮地陷，只看见几团火球从天而降，有一团在不远处降落，激起一股冲天黑烟。人们又纷纷议论和猜测，是附近的部队打靶基地在试验新的武器，还是有飞机不幸坠落了？也有人怀疑是别人的新式武器攻击。



1976年3月，欧阳自远在吉林市与天文学家卞德培讨论吉林陨石雨考察方案。

陨石沿着降落的轨道散落，而且排列起来颇有规律：大量碎小的陨石，散落在吉林市郊区大屯公社李家大队和永吉县江密峰公社一带；稍大块的，直落在金珠公社九座、南兰大队一带；最大的3块陨石，沿着原来的飞行方向，继续向西偏南方向飞去，先后落在吉林市郊区九站公社三台子大队、孤店子公社大荒地大队和永吉县桦皮厂公社靠山大队。最大的一块在15时02分36秒坠地时，冲破1.7米厚的冻土层，陷入地下6.5米深处，在地面上造成一个深3米、直径2米多的大坑，撼起的土浪高达50余米，土块飞溅到百米以外。

奇怪的是，在如此大面积的范围内，村庄星罗，工厂棋布，吉林市北郊就有一片密集的工业区，却没有毁坏一幢房子，没有砸伤一个人，连一只鸡或者一只鹅都没有伤着。有一群鹅在地里摇摇摆摆缓慢行进，两块陨石砸到鹅群里，有几只鹅惊吓得跳起来，鹅群经过后，地里没有留下一

根脱落的鹅毛！有一位老乡，背了一捆柴回家，一块石头正落下来，石头像长了眼睛，没有砸到他的脑袋，而是砸到那捆柴火里去了。此人深感惊叹，回村逢人就说，听者无不以为这是周总理的化身，周恩来正是在两个月前的1月8日逝世的，人们以为只有总理才会这样护着百姓……

吉林地区人心惶惶，东北三省也人心浮动。

各种议论鹊飞蜂起，各类传说流街布市。历朝典籍里陨石总被看成是上天的启示，何况是如此大面积的陨石降落。

3月8日午夜。正在北京参加有关地下核试验会议的欧阳自远，接到中国科学院值班室打来的电话，称吉林发生了一件非常重大的事情，有三个大火球划破天空坠落到地面，接着很多石头从天而降，落在了吉林市北郊人口密集的工业区、邻近的县和公社。当地的群众比较恐慌，不知发生了什么事情。吉林省科委电告中科院，希望派一个科学考察队到吉林考察，确定事件的性质。中科院领导决定，由欧阳自远担任考察队队长，并提出参加考察队的学科与人员名单，第二天就带领考察队赶赴现场。

于是，欧阳自远当即提出建议，请中国科学院地质研究所张培善、陶克捷，地球化学研究所谢先德、戴槿模、周小霞，紫金山天文台王思潮，北京天文馆卞德培、伊世同和北京大学张淑媛等专家、学者一起参加考察。他们分别是矿物学家、岩石学家、地球化学家和天文学家，研究领域覆盖了与陨石相关的专业。另外，中国科学院还邀请了新华社记者，中央新闻电影制片厂、北京科教电影制片厂和长春电影制片厂的人员随同科学考察队工作。

兵贵神速。3月9日中午，考察队全体人员在机场集合，下午即赶到了长春。吉林省科委向他们介绍了情况，初步判断，这是一场大规模的陨石雨。随后他们立即赶赴吉林市，准备第二天开始进行现场勘察、访问目击者，并收集陨石。

通过一个星期的现场考察，欧阳自远对吉林陨石雨有了进一步的了解，并大致得到一些结果。

这片陨石碎片的分布区长72千米，宽8千米，分布面积近500平方千米，是世界上最大规模的陨石雨。而且陨石是按重量依次分布的，具有典型的规则分布。从陨石的矿物组成、结构构造来看，吉林陨石属于普通球粒陨石。

在这3个火球中，“吉林1号”陨石飞行在最前端，落地时撞出一个直径2米的坑，穿过了1.7米厚的冻土层，深埋在地下。根据当地地震台的记录，1号陨石的着地时间是1976年3月8日15时2分36秒。

为了确定陨石在地下的位置，欧阳自远安排了磁力仪探测1号撞击坑周围的磁异常，随后再用挖掘机开挖撞击的深坑，并用吊车吊出了1号陨石。挖掘后经过测量，1号陨石撞入地下6.5米深，重达1770千克，是世界上最大的石陨石。

吉林陨石雨的科学考察告一段落后，欧阳自远向吉林市的广大干部、学生、工人和农民做了多场关于陨石雨的科普报告，向他们介绍吉林陨石雨的科学知识，解答他们的疑问。他告诉群众：陨石坠落属自然现象，不必恐慌。在星际空间里布满大量叫作流星体的小物体，当它们以高速闯入地球大气圈时，同大气摩擦燃烧发光而形成流星。每天有近两千颗这样的流星体进入地球大气圈，但绝大多数被燃为灰烬，极少数掉了下来成为陨石……

每次做完报告后，都有一大批听众围着欧阳自远，热情地提问，热烈地讨论，发表他们的看法，表述他们真挚的感情，这使得欧阳自远深受感动。事隔将近40年后，欧阳自远还写了一篇感怀文章，回忆当时的情景：

有一位听众，满怀敬仰，充满自信地告诉欧阳自远：“你说吉林陨石母体是在3月8日15时进入大气层，在高空爆裂，形成千万块碎片，降落到地面。你知道吗？当一个伟人逝世后，他的星就会落下来。周恩来总理是1月8日逝世的，3月8日才降落到地面，落下来要两个月，说明周总理在很高很高的天上。落下来时，有火球、雷鸣闪电，气势宏伟，非常壮观，所以周总理是世界上最伟大的人物！”

听众还告诉欧阳自远：“成千上万块陨石碎块降落在100多万人居住的地区，但人民群众的生命财产没有受到丝毫损伤，这是一个大奇迹。表明了总理一心爱人民，永远把群众装在心里。”

如此这般的话还有很多。当地群众把吉林陨石看成是周总理的化身，他们怀着崇敬的心情，赞扬周总理的高风亮节。

对此，欧阳自远没有直接回答听众的提问，只是饱含热泪，频频点头。文章中，他写道：“我深深地理解和尊重群众的真挚感情，人们心中蕴藏着的对周总理的爱戴和思念，让我也受到了极大的感动、震撼、鼓舞和激励。”

“我看到有许多工人和农民把捡到的陨石碎块用最好的布包裹后，珍藏在衣箱的底部。还有些妇女、儿童用布把陨石碎块包好做成香包，挂在贴身的内衣里面。他们说：‘总理通过天上雷电的考验到达地面，这是总理的‘舍利子’，我们要永远把它们带在身边，流传后代，保佑大家一生平安。’表达出广大群众对周总理的热爱、信赖和怀念。”

经过详细的现场勘测，又在省市科技部门的大力协作下，取得了大量的研究数据。收集到大小陨石标本138块，陨石总重量2700多千克；其中，最大的1号陨石重1770千克，第二块有400多千克，第三块是123.5千克，第四块80千克，最小的一块只有1克。

据中国科学院联合调查组初步分析鉴定，这次降落的陨石，形态多样，有长方体、六面体、锥体等。陨石表面都有黑色、黑棕色的熔壳和大小不等的气印。陨石所含40余种矿物，主要是辉石、橄榄石，少量为铁纹石、镍纹石、磁铁矿等金属矿物，具有典型的球粒结构，故定名为“橄榄石——古铜辉石球粒陨石”。这些陨石所含的化学元素，经分析测定主要有：硅、镁、铁、硫、钙、镍、铝等。

吉林陨石雨，无论是数量、重量、散落的范围，以及排列的规律，都创下了世界之最。它对于天文学、行星科学、高能物理、宇宙化学、太阳系演化史、地球史等方面的研究，都具有非常重要的价值。

人还在吉林，面对着这一个个外形煤渣般颜色，布满手指窝状气印的“天外来客”，欧阳自远就迫不及待地追溯起它们的来历：

其“籍贯”是一颗半径约220千米的小行星，吉林陨石埋藏在距表面约20千米的部位。小行星围绕太阳运行过程中，在800万年前第一次受到撞击，撞出一块半径大概10米大小的陨石母体。在40万年以前，第一阶段母体又经历了第二次撞击，分裂出第二阶段母体，近似球形，半径约2米，重约10吨。

1976年3月8日，第二阶段母体在太空无所皈依、漂泊了40万年的它注定要魂归大地的日子。

这一天，它刚好跟地球的轨道相交，又在距离地面17—23千米的高空发生多次小爆裂，使陨石的边缘部分不断剥裂，并在大约19千米的高度发生过一次主爆裂，使吉林陨石第二阶段母体爆裂崩解成许多碎片。陨石在一边坠落一边飞行的过程中，最大的一块跑得最远，剩下的，按照重量的次序，由远而近，使之整个落地点如同筛子筛过一般，成为地球历史上保留下来的最完美最经典的一张陨石雨分布图。

随后，1976年9月12日，天空中突然出现几条非常巨大的火龙，从云南开始，经贵州，入四川，直到重庆一带才消失。同样是轰隆轰隆巨响，声威像雷鸣布阵，闪电摇旗。一听到这个消息，欧阳自远就知道又一场陨石雨降临了。在第一时间，欧阳自远组织了13支队伍，去追寻陨石。这场陨石雨的范围更大，由云贵高原到成都平原，最后只在贵阳附近清镇县的一个小镇上，找到了很小的两块。

拿回地球化学所研究，发现这是一种很特殊的陨石，是世界上极为珍稀的顽火辉石球粒陨石，它是在靠近太阳附近形成的，不是像普通球粒陨石一样，是在离太阳很远的地方形成的。它的形成条件、形成环境对于人类认识太阳系的起源、地球的起源都是非常珍贵的标本，目前世界上只找到几块。

几十年来，地化所对这两块陨石的研究从没有停止过，而且不断有新

的发现，仅在这两块陨石的研究上就出了三位博士。

1976年里的这两场陨石雨，尤其是吉林陨石雨，是中国陨石研究的里程碑事件，给中国天体化学的形成与发展带来了曙光。正是由于长期对地外天体——陨石、宇宙尘和相关知识的研究与积累，欧阳自远被委以组织由全国有关研究单位及高等院校参加的全国性联合科学考察组的重任，对吉林陨石进行了世界上规模最大的、深入而系统的综合性研究，并获取了极大的成功，发表了近百篇具有国际先进水平的论文。特别是在国际上首次提出的“吉林陨石多阶段宇宙线暴露历史”和“吉林陨石形成演化模式”，不但得到了广泛的认同和应用，而且成为目前国际陨石学研究领域的一个经典模式。

此后的10余年中，欧阳自远在《中国科学》《地球化学》等刊物上发表了50余篇研究论文，主编了《吉林陨石雨论文集》和《月质学研究进展》，在多次全国性和国际性的学术会议上报告和介绍了吉林陨石的研究成果，并被国内外的教科书、专著、大百科全书等引用。

欧阳自远作为第一作者提交的《吉林陨石综合研究》成果，获1985年中国科学院科技进步奖一等奖，1987年国家自然科学奖三等奖。美国科学院院士安德斯对该项成果十分赞赏，认为“中国的陨石研究已达到国际先进水平”。

中国的陨石研究从此进入系统阶段。

我们中国科学家提出了世界上最为完整细致的陨石形成演化模式，为研究太阳星云凝聚过程提供了新证据，对了解太阳系的早期演化过程具有重要意义，并为太阳系形成后的行星演化过程提供了对比标准。

与此同时，培养了一支高水平的陨石研究队伍，开创了我国陨石学与天体化学研究的新阶段。

世界上14个国家近30个实验室，也对吉林陨石做了较深入的研究。世界上著名的陨石学权威们一直认为：在全世界已收集的陨石中，吉林陨石是研究工作做得最为系统的陨石之一。吉林陨石的形成与演化过程，对太

阳系的化学演化提供了许多有价值的论证。

陨石，是宇宙馈赠给地球的礼物，深藏着无尽而深邃的信息。陨石，也是宇宙馈赠给欧阳自远的礼物。

为了能把吉林陨石雨这一世界自然奇观再现在世人面前，让人们更好地了解吉林陨石，把科普知识融入邮票这一文化事物，1999年1月28日，国家邮政局邮资票品司最终批准了《吉林陨石雨》邮票的选题。2001年8月，邮票印制局邮票图稿部的设计人员、吉林市博物馆杨承志、吉林省邮票公司设计者于卫华以及北京的设计者共同参与邮票的设计，并由欧阳自远担任主要负责人。2002年10月列入了2003年邮票发行计划。

《吉林陨石雨》邮票共3枚。此套邮票设计严格按照邮票印制局的设计要求，对有关背景资料进行了科学的艺术再加工。邮票追求风格统一、内容真实、有纪念意义。总体设计以蓝色为主色调，以渐变的蓝色体现宇宙的深奥和画面的多层次性。以陨石的降落、分布和1号陨石为主题图案，体现出这次陨石降落现象最壮观、分布面积最广、形成最大陨石单体等特点。以陨石降落的宏观地点——地球、亚洲大陆，微观地点——中国吉林省吉林市，1号陨石降落形成的巨大陨石坑等为主题背景，通过对陨石雨降落过程的形象再现，来表达这次陨石雨对我国天文研究方面的特殊意义。

阿波罗的礼物

当1978年的曙光从地平线以崭新的姿态照耀中国大地时，中美两国的首次交往居然与月球息息相关。

1978年，美国总统卡特的特使、美国国家安全事务顾问布热津斯基先生访问中国，卡特总统通过他送给当时的中国领导人华国锋两件礼物：一面中国国旗，曾由“阿波罗”号带上过月球；另一件是由“阿波罗”号宇航员从月球上取回来的一块岩石样品。岩石样品被浇铸在一块有机玻璃内，其上是由有机玻璃制成的凸透镜，起放大作用，让岩石看起来有大拇指般大，可实际上它只有1克重。

对于在对外交往中习惯于送熊猫、瓷器、国画等传统礼物的中国领导人来说，接过这两件礼物，大约会感到有些突兀。但你不能不承认，来自遥远的月球的它们，的确是非同一般的礼物。在“阿波罗登月”已经结束6年之后，还选择它们做礼物，美国人可能仍存有某种深意……

“阿波罗”号飞船曾经6次成功登月，分别是阿波罗11号、12号、14号、15号、16号和17号。美国方面没有说明作为礼物的这一小块岩石是哪一次登月、在月球上哪一个地方采集的。无疑，美国为中国出了一个谜语，或许，这还是一个世界对另外一个世界的叩问。

华国锋随即询问中科院，有谁能搞清这块石头？

中科院说：“有人，这人在贵阳呢。”

于是，地化所立即派人到北京取回了这块月球岩石，又交到欧阳自远的手中。此时欧阳自远的心情，恰似“众里寻他千百度，蓦然回首，那人却在，灯火阑珊处”。欧阳自远小心翼翼地在高洁净的手套箱内用螺丝刀将有机玻璃撬开，用镊子取出有小指甲盖一半大的月球岩石。欧阳自远不但知道这镊子下小东西的巨大科研价值，而且还隐隐约约地感到，这可能是未来岁月里生长起中国自己的探月工程大树的第一颗种子。

在生活中一向稀里糊涂的欧阳自远，面对科学探索时却总是想得非常周到细致，欧阳自远将这块黄豆般大小的岩石一分为二，一半用于科学研究，另一半珍藏在北京天文馆让公众参观。随后，这半块岩石就成了“杨白劳”，欧阳自远所在的地球化学所则是“地主庄园”，组织全国有关科研单位的三四十位“黄世仁”，对其进行了无情地“盘剥”“压榨”：岩石学、矿物学、主量与微量元素、月岩冲击效应、微细结构、矿物晶体的表面结构、月岩所处的环境、月岩的历史……凡是能做的研究都做了。在课题的轮番研究中，先后发表14篇有关论文。在此基础上，欧阳自远认定这块岩石样品是由“阿波罗17号”的宇航员登月时采集的70017-291号样品。欧阳自远还确认了岩石的采集地点，以及岩石的所在位置是否有阳光照射……

最后，美国人不得不服气地说，真没想到，我们什么都没说，你们居然都搞清楚了。

这是欧阳自远第一次和月球如此“亲密接触”，尽管实际接触到的只是月球上的1克岩石，但对于欧阳自远来说，震动却非常大。欧阳自远深深感到，自己以及算是刚刚起步的中国空间探测与月球研究，必须走出去了。

从1981年起，欧阳自远十数次应邀到原联邦德国、美国、英国、日本、苏联，与各国著名学者合作，开展天体化学领域的研究。

在美国，欧阳自远与加州大学洛杉矶分校、密歇根大学、伊利诺伊大

学的天体化学家合作，不仅研究陨石，还延伸到测试陨石中的磁单极子，这是一种过去从未发现过的粒子。

到苏联，欧阳自远在苏联研究月球、金星、火星的中心——科学院属下的以维尔纳茨基命名的地球化学与分析化学研究所访问讲学，一口娴熟的俄语终于“天高任鸟飞”。

到英国、日本，欧阳自远分别与伯明翰大学、剑桥大学、东京大学宇宙线研究所合作研究。

20世纪的最后20年，改变世界格局的旧板块的消失与新板块的隆起，在地平线上推演出多少惊心动魄、天崩地坼的风景，令人喟叹，或是热泪长流。

其中，给欧阳自远留下难以磨灭印象的是在德国与苏联。

第六章 游学与从政生涯

已然学术颇丰的欧阳自远开始了一段游学的日子，在与世界各国顶尖科学家的切磋之中，欧阳自远的业务水平愈发精进，科研成果也在国际上获得诸多认可。

“学而优则仕”，这条在中国千古不变的信条也在欧阳自远的身上得到了体现。主政贵州期间，他一心为民，踏踏实实地为百姓做着实事。但一心想着完成探月梦想的欧阳自远最终还是舍弃负累，辞官而去，继续着自己钟爱的事业。

在马普学会的日子

1981年和1983年，这两年欧阳自远在联邦德国，应邀到马普学会核物理研究所和化学研究所做吉林陨石研究，并合作培养研究生。

马普学会是马克斯·普朗克科学促进学会的简称，它是以普朗克的名字命名的，是德国政府资助的全国性学术机构，成立于1948年2月，以取代二战前的德国威廉皇家科学院。

二战前，德国自然科学领袖全球。二战前后，许多科学界的精华转去了新大陆，最负盛名的是创建了相对论的爱因斯坦。此外，仅在物理学界就有冯·布劳恩等近两百名科学家自愿或不自愿地去了美国，还有的被掠去了苏联。

作为揭示并推动了19世纪末至20世纪30年代量子论、原子物理学以及相对论风急浪涌般发展的伟大理论物理学家，普朗克还是一位杰出的自然哲学家，从50岁开始一直到他逝世，他都在孜孜不倦地探索感觉世界、物理世界和实在世界这三重世界之间的关系，可谓功名垂世。

在这面再度焕发出德国悠远科学传统的辉煌旗帜下，马普学会集合了当今德国科学界的若干大才，拥有80个研究所，约12000名雇员，其中有3500名科学家。此外，还有约8000名博士生、博士后、客座科学家在马

普各个研究所里进行科研工作。马普学会在世界科学界享有很高的声望，1954年以来，德国有30名诺贝尔奖获得者，其中一半来自马普学会。

在学会下属的核物理研究所、化学所，其研究宗旨是，凡是已成热门显学，或是已经投入生产的项目一律不搞，而“小荷才露尖尖角”，且是人类探求自然界的一些基础研究项目，应予以充分关注。因为吉林陨石，马普学会给欧阳自远提供了很好的工作条件，很高的经济待遇，作为客座研究员，欧阳自远的工资大概是访问学者的一倍，每月有3700马克，这在80年代初期是很高的了。

大使馆每个月会有个人开车来，把欧阳自远拉到森林里，像过去电影里地下党接头似的，不过欧阳自远交出的不是文件，而是马克。留下四五百马克的生活费，其余的全部上交给国家。没有不透风的墙，后来德国人知道了，非常有意见，找到欧阳自远问：听说你们的大使馆每个月都要收你许多钱，这太岂有此理，还有没有人道了？

只差指天发誓，欧阳自远赶紧“坚壁清野”，连连否认。这四五百马克的生活费，对于来自中国的一个“贫下中农”，还是绰绰有余。以至于在完成研究项目，婉拒该研究所挽留回国时，欧阳自远的一大堆行李中，除了电视机、打字机，还有当时国内十分罕见的摄像机、电脑等，这些都是从那四五百马克的生活费中节约出来的。当然，回国后，这些设备又都无偿送给了中科院地球化学研究所。

每一个礼拜欧阳自远去一次超市，买一个礼拜的东西回来放到冰箱里。早餐从冰箱里拿出来就可以解决，中饭在研究所吃。晚饭，厨房里有四个头的电灶，一个做饭，一个做汤，一个炒菜，炒菜很简单，经常是鸡蛋炒葱花，再有早就炖了一大锅的鸡肉，鸡肉便宜又有营养，每餐吃时弄一点出来。一顿饭从动手到入口，也就10分钟左右。

生活上还有一笔不小的开销，那就是买啤酒。

去德国前，欧阳自远德文一个字都不识。先在歌德学院学了三个月的德语，结束后到研究所，句子句型、语法结构等基本要素掌握了一些，看

东西渐渐入门了，但口语不行。与同行们说事，有时表情、手势用了一大堆，彼此仍不知道对方在说些什么，只好改说英语交流。欧阳自远是一个不服输的人，决定要想办法在短时间内快速提高自己的德语对话能力，因为这直接影响到欧阳自远的研究步伐。

后来，欧阳自远结识了邻居的一个德国小伙子。德国是世界啤酒业的“奥斯卡”，男人们个个有一副盛啤酒的好肚子，欧阳自远就经常吃完晚饭请他来坐，搬出一箱有12瓶的啤酒，两人边喝边聊，而且讲好“将革命进行到底”，谁先离座去上厕所，谁就认输。

他们聊天的内容天南海北，包罗万象。一有收获，欧阳自远就赶快在纸条上写下来。聊天中，还发现彼此都对对方国家的一段历史感兴趣，“盲从”——常常成为他们谈话的一个主题：以理性著称的德意志民族，怎么会在二战中盲从于一个像是患有歇斯底里症的战争狂魔希特勒？

两个多月后，若干空啤酒箱垒起来可到天花板了，墙上、家具上也贴满了纸条。德国同行们发现欧阳自远德语进步非常快，原来那个“口吃”的欧阳自远德语进步神速，不仅读写无碍，并且口语标准流畅。欧阳自远自己也觉得“啤酒学院”比歌德学院更有效果。

在德国两年，欧阳自远的心境愉悦、淡定，他的研究出现从未有过的深入与高效。

倘若说中国文化和月亮与酒的关系极为密切，德国文化则与森林有着



1981年2月，欧阳自远在德国海德堡马普核物理所工作。

千丝万缕的联系。德国冬天不冷，夏日不热，草儿全年碧绿。无论走到哪里，满眼蓊郁，都是无边的橡树、山毛榉、落叶松和云杉。鸟鸣流啾，气韵深厚，白云在空，星光灿烂。整个国土幽静如一首卧着的潜流于春天的诗，美丽如一幅立起来的关于秋天的油画。

在这样的国土上，不产生海涅、歌德这样的诗人，不诞生贝多芬、瓦格纳这样的音乐家，不奉献出黑格尔、马克思、费尔巴哈、尼采、韦伯这样的思想家，就像碧水里没有鱼翔、长空里没有雁阵一样不可能。

有时做试验、写东西有些倦了，欧阳自远便去林间小径上走走。在大自然的百种吟唱、千种声响之中，欧阳自远感觉一片遗世独立的宁静，又在这宁静中，仿佛听到了这些伟大灵魂的窃窃私语。有时去研究所加班，凌晨两三点钟回来，得翻过一座小山，欧阳自远没有半点忐忑感，有的只是一种人被无边天籁所包容，又如宇航员处在失重条件下，身体在无边天籁里飘浮的感觉……

研究所在一个小城里。德国所有的小城，几乎没有例外地都有博物馆、书店、画廊，都有生气蓬勃的小街，街上随处可见令人眼光一跳的喷泉、雕塑与小品，走上三五步，总有一家门口簇拥着鲜花的咖啡店或是小酒吧，里面常常坐着话题与心灵一样自由的科学家和大学生们。

小城里还有让欧阳自远百听不厌、常听常新的来自中古教堂的钟声，这钟声听起来雄健、沉厚，仿佛是在昭示着一度失陷于法西斯泥淖后的德意志民族再做一次悲壮的理性突围。

在这样的氛围里，国内学术界常见的浮躁，一种几乎恨不能早上开题晚上就能获奖的急功近利，像躲去泥穴里过冬的虫子，再也飞不起来；而沉静，沉静下如静水深流般的活力与新鲜，成了生活的主调。

在如是的环境里，不见学术外的纠扯，没有无原则的内耗，德国同行们一个个诚实、踏实，非常严谨，有很强烈的责任心。

欧阳自远的课题项目主要是测试吉林陨石的宇宙成因核素，需要做一系列的实验，一个月才能测完一个样品，得一个样品接一个样品测，一

个人不可能周全。从资深的教授，到年轻的操作员，没有人会推诿或是拒绝，他们那种全身心的投入，有时能让欧阳自远有喧宾夺主之感。他们脸上关切、亲切的神情的自然流露，还不是中国人习惯性说的友情这个层次，而是来自人类科学界共同面对大自然时的一种情同手足……

在德国的两年里，除如期完成了课题的研究，欧阳自远还充分利用马普学会里学科齐全、设备先进、资料丰富、高手如云的条件，将自己以往十几个寒暑、几千个昼夜里，在太空研究领域里呕心沥血、左奔右突的探索与认识，形成了文字。

研究所的复印纸是随便用的，欧阳自远在复印纸上用黑笔打好五百字的方格，然后垫在另外一张白纸的下面，就在上面的白纸上写。一天晚上可以写十几页，第二天上班时再复印出来。一天攒一点，一部有两块砖头厚、总计有70万字左右的手稿，就这样压在了欧阳自远的案头。

这部名为《天体化学》的书稿，是欧阳自远一生中最重要的著作。

天体化学是一门十分年轻的科学，它是地学、天文学和空间科学三大自然科学分支的杂交产物，在20世纪40年代开始萌芽，到60年代末阿波罗登月飞行，特别是对太阳系在认识的广度和深度及资料的积累上有了飞跃的发展，天体化学才脱颖而出。因此，这本书也可以说是我国天体化学的开山之作。这本书是在系统综合了我国天体化学研究成果以及现代科学技术对天体的化学成分与化学演化最新研究进展的基础上撰写的，既有自己多年来独有的研究成果，又论述了国际天体化学各主要领域的现状和成就。

《天体化学》在1989年由科学出版社出版后，获得了天体化学界的一片喝彩，国际上许多著名同行认为：“在西方还没有一本在广度和权威方面可以与之媲美的著作出版。”在国内，该书获得1990年中国科学院自然科学奖一等奖。

结束对德国的访问后，欧阳自远又先后到苏联进行访问，同苏联的同行研究月球、金星、火星；到英国、日本访问，分别与伯明翰大学、剑桥大学、东京大学宇宙线研究所合作研究……

探求磁单极子之谜

唐孝威院士是我国著名的核物理学家，他孜孜不倦地思考宇宙物质的本源，经常有许多奇思妙想。他和欧阳自远常常讨论，陨石在太空中长期运行，能不能在陨石里携带一些科学家梦想探寻的基本粒子，特别是磁单极子。他建议欧阳自远与美国科学家讨论，先设计好实验方案，通过实验，使人类对探求磁单极子的理想前进一步。

在美国，欧阳自远与密歇根大学物理系的科学家合作，探测长期在行星际空间飞行的陨石。受到各种宇宙辐射作用，陨石中含有大量的磁性矿物，有可能携带磁单极子，这是一种至今仍然没有发现过的粒子。

这是一种到目前为止还基本上只存在于理论之中的粒子，如果找到了它们，不仅现有的电磁理论要做重大修改，而且物理学和天文学的许多基础理论也都将得到重大发展。

在许多人的印象里，电和磁就像是一对相生相成、形影不离的孪生兄弟，也像是一对亲密无间、夫唱妇随的美满佳偶。说到电，必然也会说到磁；提到磁，自然也离不开电。如充满宇宙中的电磁波，它们对于我们来说，简直就是如雷贯耳，因为它们对宇宙天体和生命物质发挥着极为重要的作用，它们就是电性和磁性的统一体。

但是，实际上，磁和电这对佳偶也并非是完全对称的。在电现象里，带电体可分割成单独带有正电荷和负电荷的粒子，正、负电荷可以单独存在；而磁体的两极总是成对出现，无论磁针被分割成多少部分，无论把它分割得多么小，新得到的每一段小磁铁总有两个磁极。长久以来，人们从来没有发现过单独存在的磁极——磁单极子。

多少年来，人们一直对电、磁这种宏观和微观上的不对称感到困惑不解，特别是为什么正、负电荷能够单独存在，而单个磁极却不能单独存在，对此人们更是充满了诸多的疑问。

磁单极子到底存不存在呢？

1931年，著名的英国物理学家狄拉克首先从理论上用极精确的数学物理公式预言，磁单极子是可以独立存在的。

狄拉克，英国物理学家。既在创建相对论性量子电动力学理论上有过重要贡献，而且还先提出了反物质学说、磁单极子学说和基本物理常数随时间变化学说，其中反物质学说已在试验上得到证实，并成为阿尔法磁谱仪的重点研究对象。由于对量子力学发展所做的贡献，他曾荣获1933年诺贝尔物理学奖。

随着磁单极子的提出，科学界由此掀起了一场寻找磁单极子的狂潮。

科学家首先把寻找的重点放在古老的地球的铁矿石和来自地球之外的铁陨石上，因为他们觉得这些物体中，会隐藏着磁单极子这种“小精灵”。然而结果却令他们大失所望：无论是在“土生土长”的地球物质中，还是那些属于“不速之客”的地球之外的天体物质中，均未发现磁单极子。

1975年，美国的一个科研小组，用气球将感光底板送到空气极其稀薄的高空，经过几昼夜宇宙射线的照射，发现感光底板上真的有又粗又黑的痕迹。他们欣喜若狂，于是迫不及待地在随后召开的一次国际会议上声称，他们找到了磁单极子。但是，对于那是否真的是磁单极子留下的痕迹，会上争论很大，大多数科学家认为那些痕迹很明显是重离子留下的，

但试验者还是坚持认为那是磁单极子留下的“杰作”。双方为此展开了激烈的争论，但谁也说服不了谁。

1982年，美国物理学家凯布雷拉宣布，在他的试验仪器中发现了一个磁单极子。他采用一种被称为超导量子干涉式磁强计的仪器，在试验室中进行了151天的试验观察记录，经过周密分析，试验所得的数据与磁单极子理论所提出的磁场单极子产生的条件基本吻合，因此他认为这是磁单极子穿过了仪器中的超导线圈。不过由于以后没有重复观察到类似那次试验中所观察到的现象，所以这一事例还不能确证磁单极的存在。

在长时间的寻找中，可以说，没有一个科学家敢于理直气壮地声称自己完全真正找到了磁单极子。于是，导致了关于磁单极子是否真的存在的疑云的产生，并且这种疑云渐渐地越积越厚，浓重地笼罩着科学界，并引发了新一轮的、更加激烈的关于磁单极子的争议。

在肯定磁单极子存在者中，不乏非常杰出的物理学家。他们坚持认为，磁单极子是存在的，但它们成对结合得太紧密了，现在所有的高能粒子尚不能把它们轰开。但是，他们也认为，有一点是可以肯定的，就是磁单极子即使存在，它们也极有可能是在宇宙形成初期产生的，残存下来的数量也是微乎其微的，因为假如宇宙间充满了大量磁单极子，则宇宙间的磁场将不复存在。这些磁单极子本来就很少，而且它们又散布在极其广袤的宇宙之中，所以要找到它不是很容易的。但是，如果磁单极子含量很少，那么正负磁单极子之间相互湮没的概率同时也会很低，所以它们就更有可能被保存下来。

也有的科学家首先肯定磁单极子的存在，但同时又承认磁单极子实际上很难发现。他们的理由是，在人类观测所及的范围内，存在的大多数磁单极子应是属于一种运动速度极其缓慢、惰性很强的“慢磁单极子”，而那些精力充沛、运动神速的“快磁单极子”，早已飞离银河系，消失在无边无际的宇宙空间。但慢磁单极子对物质电离作用很弱，要想观察到它们，需要有比现在装置灵敏度高上万倍的探测器才可以，而以目前的科技

水平，这样的探测器暂时还无法制造出来。

两种观点激烈交锋，可谓谁也说服不了谁。

欧阳自远自然也十分盼望能够探究到这个难解之谜的谜底。欧阳自远和美国密歇根大学的物理系合作，期望通过将铁陨石置于液氮的低温下，用极强磁场拉出磁单极子，用最灵敏的探测器探测磁单极子的相关效应，终因探测器的灵敏度不够而没有取得可信的实验结果。

努力了，汗水就不会白流。虽然磁单极子假说到现在为止，还没有能在实验上得到最后的证实，但是，在对磁单极子进行探索的过程中，对物理学特别是粒子研究技术如加速器的发展，具有很大的促进作用。

磁单极子仍将是当代物理学上十分引人注目的基本理论研究和实验的重要课题之一，因为今天的磁单极子已成为解决一系列涉及微观世界和宏观世界重大问题的突破口，如果磁单极子确实存在，不仅现有的电磁理论要做重大修改，而且物理学以及天文学的基础理论也将有重大的发展，人们对宇宙起源和发展的认识也会再深入一步。

短暂的从政生涯

还是在1983年，时任贵州省委副书记兼省长的王朝文向中央举荐，邀欧阳自远出任贵州省分管教科文卫的副省长。欧阳自远婉言拒绝，表示自己没有能力做官，也不想做官，愿意一生做科学家。20世纪80年代中期，贵州省委再次推荐欧阳自远出任副省长，这一次，欧阳自远当面向中组部考察组拒绝道：“我何德何能，难以担当此重任。”

无数人说欧阳自远傻，欧阳自远淡然一笑，不做任何解释，只有他自己最清楚，他的心在另一个空际。

1988年，欧阳自远在历任助理研究员、副研究员、研究员、副所长后，被任命为中国科学院地球化学研究所所长。该所除了设在贵阳的本部外，还有一个设在广州的分部——中国科学院广州地质新技术研究所，后改名为中国科学院广州地球化学所。

1990年，欧阳自远又被任命为中科院资源环境科学局局长。资源环境科学局主管地理、地质、海洋、空间、大气、生态、环境等领域，下属有四十多个研究所。此外，欧阳自远还兼地化所所长和广州地质新技术所所长两职。

欧阳自远上任时，时任中国科学院院长周光召找他谈话，首先说明了

科学院需要一位科学家来担任资源环境科学局局长，周光召又说道：“一般局长不能同时兼任下属研究所的所长，由于你们研究所全体研究员给院党组和我来信，强烈要求你继续担任所长，院党组决定同意你兼任地化所所长。”



1991—2000年，欧阳自远任贵州人大常委会副主任兼财经委、环资委主任。

周光召主要谈了资源环境科学局的任务、目标、主要工作内容与要求以及他的期望，最后询问欧阳自远有什么困难和要求。欧阳自远回答说：“第一，户口留在贵阳，不迁来北京；第二，工资仍然拿贵阳地化所的工资，不拿北京中国科学院的工资；第三，我认真负责做一任局长，好好工作，完成任务后回贵阳，做我的研究工作。1966年大家从北京搬迁到贵阳，条件艰苦，工作困难，通过大家的共同努力，现在地化所蒸蒸日上，我要和大家在一起。”

周光召感到十分惊讶和感动，激动地说：“我们从外地调人员到北京，都要求迁报北京户口；北京中国科学院机关的工资接近贵阳地化所工资的一倍，你都放弃这些优厚的条件，为什么？”“我的钱够用了，回去后还是做我的研究工作。”欧阳自远淡淡地回答。周光召紧紧握着欧阳自远的手，深情地望着欧阳自远说：“谢谢，我都同意！”

1991年，欧阳自远当选为中国科学院院士。这一年他56岁，在当时的院士中是非常年轻的。

1992年，求将征才心切的贵州省推荐欧阳自远出任省人大常委会副主任。身为人大代表的欧阳自远清楚，对于人代会的选举结果，他不能推辞。在他的理解中，人大就是民意机关，既然选上了，就要肩负起职责，他决定努力为贵州的百姓做点实事。

贵州多山，是全国唯一没有平原支撑的省份。在贵州流传着一句话：“天无三日晴，地无三里平，人无三分银。”贵州省农业土地面积只有2.3%，主要集中在各种山间盆地、谷地或者洼地中，耕地量少质差。为了达到农业生产和增产目的，新中国成立以来，许多地方被迫走上毁林、毁草开荒的道路，“坡耕地”和“大规模垦殖”耕地因此应运而生。过度垦殖加剧了水土流失，也加剧了山林土地的石漠化。

石漠化是指在亚热带湿润地区喀斯特地貌发育的自然环境下，受人为活动的干扰，造成植被严重破坏和土地严重侵蚀，基岩大面积裸露，地表呈现类似荒漠化景观的土地退化。石漠化最直接的后果就是土地资源的丧失，实质是水土流失。水土资源不断流失后呈现的石漠化现象，不仅恶化了农业生产条件和生态环境，而且使人类失去赖以生存的基本条件，被人们称为“地球癌症”。

石漠化严重的地方，石头一丛丛、一堆堆地蹿出土壤，嶙峋而狰狞。土地中石头就占了一半还多，在石头与石头的缝隙间，土层薄而贫瘠，庄稼稀疏瘦弱。

贵州省石漠化面积为35920平方千米，占贵州总面积的20.39%。其中，轻度石漠化面积22733平方千米，中度石漠化面积10518平方千米，强度石漠化面积2669平方千米。另外，尚有43714平方千米的土地有潜在石漠化趋势。在贵州50个扶贫开发重点县中，石漠化面积占贵州总面积20%以上的有30个县，而且凡是石漠化严重的地方，都是贵州最为贫困的地方。

欧阳自远当选为人大副主任后，开始致力于贵州省人口、资源和环境的协调发展。他组织并指导他的学生、地化所副所长王世杰的研究团组，进行了全省喀斯特地区碳酸盐风化成土与环境变化的研究，成功地解决了红土风化壳的定年方法与技术，深化了对贵州新生代地质演化历史的认识，为石漠化的成因研究和治理方法提供了科学依据。欧阳自远不仅自己研究，还组织、带动起地化所一大批力量投入这方面的课题中来，除了石

漠化治理，还有地方病成因、酸雨对贵州地区土壤的侵蚀、破坏及其对策等。

欧阳自远还争取到中科院的支持，在所里成立了矿床地球化学国家重点实验室和环境地球化学国家重点实验室。在该实验室的指导下，贵州在几个地方开始进行恢复植被和灌木丛的试验。为此，欧阳自远荣获2003年度贵州省最高科学技术奖。但是，欧阳自远立刻将50万元奖金全部捐出，作为地化所月球与行星中心的科研经费，以及贵州省喀斯特生态科技研究经费。

因为欧阳自远还兼任着贵州省人大财经委员会主任，为了更好地履行自己的职责，从未接触过财经的欧阳自远经常向财经委的委员，如贵州省计委、财政厅、体改委等厅局的老领导请教贵州发展经济的锦囊妙计。

省人大每年都要审查全省上一年财政预算执行情况与本年度的财政预算，欧阳自远根据贵州的现状明确提出：第一，增加农村和农业的投资，并保证每年连续性地增加。第二，增加教育、科学技术的投资，不能因为贵州人均GDP全国最低，这方面的投入也长期甘于全国倒数第一。第三，缩减公检法部门的开支，目前这方面的投入已严重超过贵州的财力。

欧阳自远掷地有声地表示，如果达不到这三项要求，政府的财政计划不可能在人大通过。

不久，修改后的财政计划报告交到了人大，大体都按照财经委所提要求，欧阳自远很宽慰。但没过多久，他就听到反映，过去怎么开支，现在还是怎么开支，财经计划报告居然是应对财经委的“假报告”。欧阳自远第一次感受到一些以自己的学术思维无法理解的事情。

作为当时户口在贵州的唯一一位院士，欧阳自远毫无争议地当选为贵州省科协主席。上任之后，欧阳自远了解到，在他之前的各位主席，奔走陈情了十多年：科技馆是面向社会，尤其是面向青少年进行科学宣传、科技普及的必要设施，全国哪个省都有，唯独贵州省没有，应该尽快建立。

欧阳自远决定在自己的任期内办成这件事。



1994年，欧阳自远带领贵州省人大常委会考察团考察内蒙古自治区。

1998年“两会”前后，欧阳自远在北京发了一份紧急传真给贵州省委领导。内容是，准备将自己的工资捐出，以发动全省科技界同人捐款，在贵阳尽快建设省科技馆。经与省军区联系，他们也有意发动干部、战士捐款，对于这一行动，请省委能够同意和支持。

省委领导收到传真后，立刻将电话打到北京：“欧阳，你千万不要带头干这种事。贵州再穷，这点钱还是拿得出来的。省里每年都要安排为民造福的十件大事，我们一定想办法将建设科技馆今年给安排进去。”

果然，当年贵州省财政拨款3800万，投资建设省科技馆。欧阳自远细致地计算过，这笔钱只够完成科技馆的土建，而硬件与软件部分比例起码是一比一，如果真要全面竣工，还需要4000多万。欧阳自远趁热打铁，又找机会对省委领导说：“我们盼望了多少年的这件事，好不容易破土开工了，省委要支持到底啊！”省委领导表示一定支持到底！

2005年4月，科技馆落成时，欧阳自远异常欣慰。

贵阳的冬天特别冷，欧阳自远家里没有暖气，尽管在客厅烧了炉子，欧阳自远还是不得不披着毯子御寒。春节前的一天，省委领导来看望欧阳自远，欧阳自远正披着毯子伏案工作着。看到欧阳自远如此清苦的居住环境，省委领导感慨道：“你怎么住这样的房子，比省委、省政府的处长们

住得都差……”随即问陪同的省人大秘书长：“省里不是给副省级干部建了一批住房吗，房子还有吗？”当秘书长回答说房子已经没有后，省委领导立刻指示：“那就由省里出钱给欧阳院士买一套好的商品房。”

欧阳自远一下急了，说道：“这使不得，千万不能开这个头。就是买了我也不会要！”

省委领导没有再坚持。但是，没多久，按照省委领导的指示，秘书长向省政府打了报告，以欧阳院士为例，要求给省人大建一批住房。报告很快获得通过，一共建了8幢，省人大处以上干部全部搬进了新楼，干部们无不感谢欧阳自远。

但欧阳自远的心又怎能离开他魂牵梦萦的月球探测呢？

在2000年的一次省人大会议上，一直心系飞天梦的欧阳自远诉说着自己的苦恼：“自从担任省人大常委会副主任后，我一直觉得责无旁贷，要把这个工作做好。同时，我也始终没有忘记科技人员的本分，两边的工作都尽量去兼顾。但现在月球探测已经脱离研究阶段，开始进入论证、答辩阶段，全部身心放在这个项目上，时间也不够用，可省人大这边又不能图个虚名。这一直让我十分苦恼，真怕两边有什么事给耽误了……我想，能不能辞去省人大常委会副主任，一心一意去做月球探测那边的工作？”

主持会议的省委领导立刻表示：“能不能这样，以后你就当省人大常委会副主任，财经委员会主任就不兼了。”并问与会者：“大家同意不？”在几秒钟的停顿后，与会者纷纷表示同意。省委领导又补充道：“欧阳，人大这边有需要你参加的会议，由你决定出席不出席，一切保证你手上月球探测的工作不受影响……”

辞掉省人大财经委员会主任的工作后，欧阳自远得以全身心地投入到探月事业之中。

九天揽月篇： 属于中国的探月工程

中国人终于要完成千年的飞天梦想了！曾让中国人无限遐想、魂牵梦萦的月亮，终于要被我们揭开神秘的面纱了！

中国对月亮的探测与开发，将分为“探、登、驻”三个步骤来完成，而在“探”这个环节中，又分为“绕、落、回”三小步，这三小步正是我国的探月工程。欧阳自远正是探月工程的首席科学家，他终于有机会和国人一起完成自儿时就开始的梦想了。

第七章

我们不能再等待了

全球首次探月高潮时，中国因国力以及科技水平的原因为没有赶上，美苏之间的太空争霸，取得了丰富的科研成果，这一切让欧阳自远艳羡不已。

当中国国力日渐昌盛、将探月计划提上日程之时，又恰逢世界强国纷纷提出“重返月球”计划的时刻。这让欧阳自远感觉时间异常紧迫。中国已经落后了人家一步，绝不能一直落在别人的后面。

月球探测的第一次高潮

1958—1976年是月球探测的第一次高潮期，在这18年间，苏联和美国实施了规模浩大的月球探测计划。根据公布的情况，美国先后发射了5次“先驱者”系列探月器、7次“徘徊者”系列探月器、7次“勘测者”系列探月器、5次“月球轨道器”系列探测器、1次“探险者”探月器和11次“阿波罗”系列探月器，共36次；苏联发射的月球探测器主要有24次月球系列探月器和5次Zond系列探月器。两国合计共发射探月器65次，发射成功的共有42次，其中美国占22次，苏联占20次。

第一次探月高潮期间，美国和苏联进行的月球探测活动主要有以下特点：

(1) 1958—1976年的第一轮月球探测活动历时18年，但高潮发生在1965—1972年间，其间每年成功发射月球探测器多达3—8次。

(2) 在冷战背景下，美国和苏联展开了月球探测的激烈竞争。在美国的载人月球飞船发射之前，苏联一直在月球探测方面领先一步，在以下领域：飞越月球、月面硬着陆、月面软着陆和月球轨道器等诸多方面遥遥领先于美国。

(3) 美国在月球探测领域的优势仅限于载人登月项目，但正是由于

载人登月的巨大难度，也使得美国成为笑到最后的胜利者。

1967年9月8日，美国发射的勘察者5号软着陆器成功着陆于月球正面的静海（北纬125°，东经225°），发回18000张电视照片。搭载在软着陆器上的一些科学仪器传回了大量探测到的数据，对月球进行了雷达探测、热辐射测量和表土的化学分析。

既然火箭能够将科学仪器运载到轨道上去，人们势必就会产生一种想法：它们也能够载送人类。自古以来，人们一直梦想着飞往月球，它们是本世纪20年代以来科幻杂志上经常出现的主要故事题材。1961年4月12日，加加林乘坐苏联东方1号宇宙飞船，成为世界上第一个环绕地球做轨道飞行的人。他用108分钟飞绕地球一周后安全返回地面。同年8月6日，季托夫乘坐东方2号宇宙飞船，在轨道上环绕地球飞了17圈。1962年2月20日，格伦被送入轨道，成为第一个进入轨道的美国人，他围绕地球转了3圈并安全返回。

随后，美国和苏联在载人航天这一领域展开了激烈的竞争，他们反复试验并推动航天技术快速进步，宇航员停留在地球轨道上的时间越来越长，宇宙飞行的控制精度也越来越高，载人登月的技术储备也逐步成熟。1963年5月，美国宇航员库珀创造了在轨道上停留约35小时、绕地球飞行22圈半的历史纪录；翌月，苏联宇航员贝科夫斯基就打破了这个纪录，他在空间轨道上停留了119小时、绕地球飞行了81圈。与此同时，苏联人把杰蕾什柯娃送入地球轨道，成为进入太空的第一位女性；1964年10月，苏联人把乘坐3位宇航员的上升1号宇宙飞船送入轨道，在轨道上绕行16圈，是第一次多人乘坐的空间飞行；1965年3月13日，乘坐两人的上升2号进入轨道，其中一人——列昂诺夫穿着厚厚的宇航服离开这艘飞船，用一根绳系着飞船，在太空中度过了10分钟，这是人类第一次“太空漫步”；同年，美国发射了双子座系列中的3艘双人宇宙飞船。飞船的轨道可以在空间调整，且可以在舱内操纵飞船。这是第一次成功地在轨道上操纵飞船。1965年6月，乘坐双子座4号的怀特成为第一个在太空中漫步的美国人，他

在舱外停留了21分钟；1965年8月21日，乘坐着库珀和原拉德的双子座5号成功发射，库珀由此成为第一个两次进入轨道的宇航员；于1965年12月4日发射的双子座7号绕地球轨道飞行220圈，在空间停留时间长达两个星期，这证明人类可以不受伤害地在空间停留到长达往返月球所需的时间；1966年3月16日，载着阿姆斯特朗和斯科特的双子座8号，成功地与一艘无人驾驶飞船会合，或者说对接。这是首次空中对接，一次对人类登月至关重要的演习。因为按照计划，一艘乘坐3人的宇宙飞船将把宇航员送入月球轨道，然后其中一部分（包括火箭和乘坐两位宇航员的登月舱）与飞船分离，在月球上着陆，另一位宇航员驾驶飞船则停留在月球轨道上。完成考察任务后，火箭在月球表面再次点火发射升空，与留在轨道上的飞船会合并返回地球。

由于载人登月的技术十分复杂，任何一个环节出现问题都可能导致灾难性的后果。所幸的是，载人航天试验的前6年虽然也出现了一些问题，但并没有发生宇航员伤亡的重大事故。不幸终于在第7年接二连三地发生了，1967年1月，3名美国宇航员格里索姆、怀特二世和查菲在做地面常规试验时，因飞船密封舱失火，无法逃生而牺牲。4月23日，苏联宇航员科马洛夫在进入大气层时，因联盟1号飞船的降落伞无法打开而牺牲，是第一个在空间飞行过程中牺牲的宇航员。此后，又有3名苏联宇航员在飞船着陆时不幸遇难。

一连串事故的发生对人类的登月雄心造成了不可避免的打击，使苏美两国的登月计划被迫推迟。美国曾打算开始执行阿波罗计划——发射一系列旨在把人送上月球的三人宇宙飞船。由于要增加安全设备以防火灾，飞船又重新设计，该系列飞行的首航时间推迟了一年半。直到1968年10月11日，新系列中的首次飞行——阿波罗7号才发射升空。12月21日，阿波罗8号发射，成功进入环绕月球的轨道并顺利返回。1969年5月18日，阿波罗10号做了同样的工作，在飞行期间，宇航员操纵它成功地降到距月球表面15千米高度的地方。7月16日，乘坐着阿姆斯特朗、奥尔德林和柯林斯三

位宇航员的阿波罗11号宇宙飞船发射。7月20日，柯林斯在轨道上操纵飞船的主体部分，而阿姆斯特朗和奥尔德林则乘一具小型月球着陆器降落到月球上，在那儿，阿姆斯特朗成为第一位、奥尔德林成为第二位踏上地球以外的一个新的世界的人。当时，阿姆斯特朗在踏上月球表面后，说出了一句此后在无数场合常被引用的名言：“这是个人迈出的一小步，但却是人类迈出的一大步。”

在伽利略用他的第一架望远镜证明月亮是一个有山脉、环形山以及看上去颇似海洋的平坦地区的世界之后整整360年，那个世界上第一次有了人类的足迹。

其他5次飞行（阿波罗12、14、15、16和17号）都很成功。每次飞行所做的实验和观测都比前一次更精细，在地球上的电视里所有这些都看得很清楚。地球上的人们，可以看见宇航员在月球上驾驶用动力驱动的车辆——月球车。只有一艘飞往月球的飞船没有做到这一点，就是阿波罗13号由于飞行故障而遭到失败，但飞船和驾驶人员全部安全地回到了地面。

在阿波罗计划结束之前，有12名美国宇航员曾在月球表面漫步。

对行星地质学家和月球科学家来说，人类登月的伟大成就，在于从月球上带回了岩石和土壤样品。除了陨石外，这些样品也是第一批抵达地球的地外物质。研究表明，月球上没有水，没有有机物，是一个根本没有生命的荒寂世界。

长时间的宁静期

自1972年美国阿波罗计划完成和1976年苏联最后一个无人月球探测器采样返回以后，月球又重归于亘古的大寂静、大荒寒，当年阿波罗11号登月所引起的几近全球狂热，早已成过耳秋风。

从1976年至1994年的克莱门汀号小型月球探测卫星的成功探测之间的18年间，苏联和美国都没有再发射过月球探测器，月球探测处于低潮，其主要原因可能是：

1. 第一次月球探测高潮是由苏联和美国两个超级大国为争夺空间霸权而掀起的竞争，是冷战的产物。随着冷战时代结束，加之后期苏联解体，空间霸权的争夺有所缓解，美国和苏联都需要在战略、技术与集成、探测效益等各方面认真总结第一次月球探测高潮期间的经验与教训，克服探测活动耗资大、效率低、探测水平不高的问题，世界各国的月球探测随之进入宁静期。

2. 为了适应后阿波罗计划和后月球计划等，使月球探测走向新的突破，需要进行月球探测的技术、手段与方法上的改进与重新研制，如小卫星的研制，更高精度、更有效的科学载荷的选择与研制。卫星的轨道测控，数据传输与接收、处理等一体化操作技术的研制等都需要相当长的一

段时间。

第一次月球探测高潮，以美国的胜利而告结束。“阿波罗”登月现在看来可圈可点处不少，仅以计算机技术而言，虽然欧阳自远曾调侃说在这方面它还不及今天大家手里拿着的手机，但在当年足以让世界震惊了。

3. 通过美国的阿波罗计划和苏联的月球计划，人类获得了难以计数的第一手数据与资料，并发动世界各国有关试验室对月球样品开展系统而深入地研究。面对如此海量的信息资源，各国科学家都需要相当长时间来整理、研究和消化，更需要将月球研究提高到理性认识的阶段，并通过不断地交流、研讨和深入思考，提出下一步月球探测计划的新目标和新内容。

在美国航天局的心目中，也以为对于月球该做的都做了，以后的工作主要就是对已取得的难以计数的数据、资料与样品，动员各方面的力量开展系统而深入地研究。

4. 实现月球探测技术向民用需求转移。以阿波罗工程为例，阿波罗工程是当时规模最大、耗资最多的科技项目之一。这项月球探测科研计划的实施导致20世纪60—70年代液体燃料火箭、微波雷达、无线电制导、通信技术、测控技术、合成材料、计算机、激光技术、医疗技术等一大批高科技工业群体的兴起与全面发展，把美国的科技整体水平提高到一个全新的高度。后来又将该计划中取得的技术进步成果向民用转移，带动了整个科技的发展与工业繁荣。据不完全统计，从阿波罗计划中产生了3000多项新技术，带动了民用技术的快速升级，最后大约每投入1美元就有4—5美元的回报。据美国Chase研究会测算，阿波罗计划的投入产出比为1:14。阿波罗计划虽然当时耗资256亿美元，但其二次开发应用所产生的效益，远远超过阿波罗计划本身所带来的直接经济与社会效益，甚至可以说，美国目前的科技水平和军事力量都是在“阿波罗计划”所建立的良好基础上发展起来的。

5. 虽然月球探测是人类深空探测的首选目标，但它不是最终目的。走向太空、开发与利用太空资源，乃至实现人类的太空移民才是人类的真正

目标。随着第一次月球探测高潮在空间探测技术上的重大突破，大大激励与鼓舞了人类向深空进发的雄心，各空间大国纷纷把探测的目光聚焦到太阳系内的其他行星、卫星、小行星、彗星上。为实现这些目标，需要对已有月球探测技术和设备进行升级改造，研发深空探测所需新技术。

6. 通过第一次月球探测高潮，人类成功实现了环绕月球探测、月球表面硬着陆（发射航天器击中月球）、软着陆、月球车巡视和载人登月等具有划时代意义的月球探测活动，这标志着人类对月球本身的探测已经达到了顶峰。同时，第一次月球探测取得的巨大成就也使得新的月球探测活动难以取得更新的发展和重大突破（这里不包括科学研究的更新发展和重大突破），再加上探测活动耗资巨大，所以美国的空间探测战略逐渐转移到建立空间站、建造和使用可往返天地之间并重复使用的航天飞机，以及对火星、木星、土星的卫星等进行的深空探测，以期望在这些领域取得新的重大突破，继续保持美国的航天超级大国地位。至于苏联和后来的俄罗斯，由于原有政治体制崩溃、经济发展水平下降并长期低迷等原因，已经没有能力进行新的更加有创新意义的月球探测活动和其他深空探测活动。

在20世纪50年代，有个普遍认可的理论：如果一个国家能够成功地最先建立起永久性宇宙空间站，它就迟早能控制整个世界。在对抗作用的驱使下，美苏两国将天文数字的财力和物力投入这场无声的战争中，彼此竞相发射火箭和载人飞船，以争夺主宰世界。

再有，阿波罗计划离不开火箭，每一次飞船升天都得发射三级火箭，火箭打上去就回不来了。NASA的科学家们想设计出一种可以像飞机一样重复使用的东西，即航天飞机，而且还想在地球轨道上建立永久的空间站，可以说在阿波罗计划之后，这两样东西，几乎耗费了NASN全部的精力和财力。

重返月球的新战略

欧阳自远从来相信，对于给予地球演化以无穷润泽的月球而言，放弃月球的研究，在很重要的程度上，不但是放弃了对早期地球历史的理解，也可能放弃了对地球未来发展的理性分析！

欧阳自远指导的研究生里，有几十位出国留学后没有回来。有的在美国航天局，有的在加拿大宇航局，有的在欧洲宇航局，或是在其他相关的领域工作。欧阳自远与国际上知名的月球、火星专家建立了广泛联系，彼此间有着长期深入的学术交流。

欧阳自远的密切观察和大量动态信息的综合分析，都在堆积一个日渐清晰的事实：

太空的平静只是宾馆里中央空调制造出来的四季如春，似乎已如弃妇一样落落寡合的月球，正在不少国家的瞳仁里呈现出香格里拉式的梦幻……

1984年，联合国通过了《指导各国在月球和其他天体上活动的协定》（简称《月球条约》），规定月球及其自然资源是人类共同财产，任何国家、团体和个人不得据为己有。月球的探测、开发与利用是没有政治边界的，谁先到达，谁先开发；谁先利用，谁先得益。该协定首次提出了月球

的开发与利用问题。

1986年7月20日，在“阿波罗飞船”登月20周年之际，老布什总统宣布：

“在本世纪，美国人的任务是建好空间站和航天飞机，下一个世纪，我们要重返月球，而且要永远地待下去。”

老布什没有公开的是，其实在这时，美国已经有了不但要在月球上驻留，而且要进一步探测火星的构想。同年，经过总结和反思，美国航天局提出了“又快、又好、又省”新的空间探测战略。

随之，世界其他发达国家也闻风而动。其中最积极的是日本，这个从不甘居人后的海洋民族，1990年发射了“飞天”月球探测器，并开始研制“月球-A”月球探测器。四年后，即1994年，日本又成为继美、苏、中国后，世界上第四个掌握卫星回收技术的国家。

精明的法国人热衷于“借鸡生蛋”，时髦的说法是“强强联合”。1973年7月，正是法国倡议并联合西欧11个国家成立欧洲航天局，英文缩写为ESA，着手实施研制“阿丽亚娜”火箭计划。1994年，法国又攀上美国，联合发射了“克莱门汀号”月球探测器，发回了世界上第一张完整的月球地形图。

同年，欧洲航天局提出建立月球基地计划，计划首先着手两项月球探测技术研究。第一项是为了掌握月面软着陆技术，必须发射一个在南极区降落的探测器，包括月面巡游车、机械臂、土壤处理试验装置等测量仪器，探测南极区的地形与地貌，为建立月球基地积累数据。第二项是为测定月球表面的地形、地貌、岩石成分、化学组成，以及月球内部结构，计划于2003年发射一个主卫星和一个低轨道运行的子卫星。

同年，为促进国际空间活动与合作，ESA与瑞士联合召开会议，建议成立国际性月球计划的“可操作机制”，制定非制约性国际探测月球策略，倡导双边合作和多边合作。次年，“国际月球探测工作”机构成立。

1994年，美国发射了克莱门汀号环月探测器，对全月球进行了高精度

的摄影测量，返回了大量数据，获得了全月球的数字地图和地形图，部分地区的图像分辨率比以往的月球照片高出100倍以上。克莱门汀号探测器还用紫外和近红外摄像仪第一次对整个月球表面进行了11个波段的扫描摄影，获得了许多极有价值的专业地图，包括全月球表面铁和钛含量的分布图。

1995年，美国提出了面向21世纪的“新盛世”计划，其目标之一是发射大量小型低成本空间探测器，在新世纪初，在外层空间建立起无人研究基地。

1998年1月，美国发射了“月球勘探者”探测器，这是美国宇航局提出的“又快、又好、又省”新战略的一次成功实践。这个仅重126公斤、耗资只有6500万美元却装备有各种先进仪器的探测器，在距月面约100千米高处探测一年后，再降低到50千米和10千米处进行高分测辨，结果有了惊人发现，迅即引起全世界科学家们的极大兴趣：

它发现在月球两极陨石坑深处有冰冻的水存在。它发回的数据还告诉人们，月球陨石坑底部的土质很松，含大量的氢，里面有冰碴。据此有人初步推断，月球上水的总储量可能在1100万到3.3亿吨之间。若未来月球基地中每人每天约用5千克水，按最少的水冰量及水不做循环使用估算，月球的水冰可供2000人用100年。

“月球上有水”这一发现，一时间成了西方许多地方的热门话题，并导致两年后一个国际性组织“月球探测者协会”的成立。

这个自发的民间组织大约有200名成员，包括科学工作者、哲学家、律师、艺术家和大学生。他们经常对公众特别是对政界进行宣传，想使人们接受这样一个想法：人类可以到月球上定居。2001年，该协会在巴黎召开了第一次会议，欧洲航天局的好几位负责人也在出席者之列。他们深入探讨了月球上建立居民区的最佳方案，甚至还制定了一个时间表。

协会主席富万说：“上世纪70年代，人类探索太阳系的努力中途流产，阿波罗探月行动就像到过美洲大陆的北欧海盗一样，来了又走了。我

们现在要跨出下一步，就像哥伦布当年所做的一样：我们要开发一块新大陆，为了将来能在那里生活。”

富万仿佛已经看到了未来的美好景象。他预计2015年月球上将会出现第一个机器人村；2020年，小批人类探险者抵达月球；2040年，月球上将出现最早一批人类村落。

欧阳自远却不会有富万先生这样的乐观。

欧阳自远认为，将月球两极陨石坑里的冰变成水，不但在技术上十分困难，在经济上也得不偿失，月球上要出现一批人类村落绝非几十年里的事情。这些年来，在科学界的广泛关注下，在民间话语的强力激荡中，一项开发与利用月球的空间发展战略正在提升为众多国家的国家意志，由此，将会在全球掀起第二波探测月球的高潮。

欧阳自远预感到的这一动向，在全球进入21世纪后，变得愈加波澜壮阔起来——

2003年9月27日，欧洲第一个月球探测器“SMART-1号”顺利升空。在以后的10年里，欧洲还要把4—5个探测器送上月球，逐步建立起月球科学研究基地。对欧洲航天局来说，探月是寻找可居住星球这一被命名为“曙光”计划的一部分。在这个长远计划里，欧洲决意要在月球上先建起自己的“机器人村”。倘若说月球有可能成为人类的第二故乡，但它最早居民也不会是人类，人类必须经历一个漫长的过渡阶段才行。这个过渡阶段里，月球的主人只能是机器人，它们负责平整土地，贯通道路，建造房屋，为人类的到来做好各种准备。

欧洲航天局太阳系研究项目协调人马尔切洛·科拉迪尼告诉记者，预计这个阶段至少得20年时间，而且，还需要欧洲在政策上做出较大的努力。他认为：“空间探索完全依赖于政治决策。有政策才能搞到钱，有钱才能推动技术。向月球上派机器人能够使欧洲的技术获得突飞猛进。而且，我们必须明白，一个民族或一个群体的未来，取决于它所掌握的技术。”

2004年1月14日。布什总统在位于华盛顿的美国宇航局总部发表讲话，他开门见山：

“美国现在到了迈出探索宇宙的下一步的时候了。今天我宣布我们探索广阔宇宙的新计划。我们将利用现有的人力物力，确定明确的计划。那名最后踏足月球的人曾这么说：我们离开了就像我们来的时候一样，上帝知道我们会带着全人类的希望回来。是的，我们会让这句话成真。”

日本人更牢牢抓住了进军月球这一历史性机遇。继1990年发射了“飞天”月球探测器，1998年计划发射“月球-A”探测器，携带了两个穿透器与轨道分离，穿透月面2—3米，进行月震探测。日本计划在2017年前，通过“月球-A”探测器进行月球的全球性地形地貌、岩石成分和内部结构的探测，再建立一个月球极区定位观测站，对月球开展系统而深入的研究。

在俄罗斯，被尊为“火箭之父”的齐奥尔科夫斯基的一段话，连同托尔斯泰的小说、门捷列夫的化学元素周期表、柴可夫斯基的音乐……一直熔铸着这个向往自然、热爱科学，而且人文底蕴丰厚的民族的独特气质。这段话写于20世纪初期，其时齐氏还只是穷乡僻壤的家乡里一名中学教师，近一个世纪以来，一直鼓舞着一代代的俄罗斯青少年——

地球是人类的摇篮。但是人类不会永远生活在摇篮里，他们不断地争取着生存世界和空间，起初是小心翼翼地飞出大气层，然后便是征服整个太阳系。

在月球的环形山之巅，更有加加林、科罗廖夫的英名，再度鼓荡起这个民族的雄风。

俄罗斯人只用了10年时间，便从动荡与败象中走了出来。如果说综合国力因苏联解体而遭大大削弱，使俄罗斯有降为二流大国的可能，但它的航天业仍处于世界领先水平，特别是在进行长时间太空载人飞行方面，更是具有别国无法比拟的实力。

2004年4月12日，这一天是加加林进行人类历史上第一次载人航天飞

行43周年，又是俄罗斯宇航节。在莫斯科举行的隆重的纪念大会上，普京总统重申：“发展航天业仍是俄罗斯国家战略的重点之一。”

2005年，俄联邦航天局提出了《2006—2015年俄罗斯太空发展计划》，要求国家杜马从2006年起大幅增加30%的太空预算拨款，由原来的185亿卢布增加到240亿卢布，以积极应对世界上新一波的探月高潮。

印度航天事业起步较晚，发展却很快。2005年5月5日，在位于印度南部的安得拉邦斯里赫里戈达岛发射中心，一枚C6型极地运载火箭成功地将两颗卫星运送到预定轨道。随后，总理曼莫汗·辛格在议会发表讲话说：“这次发射再次证实印度已跻身航天大国之列。”

在伊朗，男人头上裹着厚厚的头巾，女人脸上遮着严严实实的纱巾，但这并不意味着这个国家的人民打量宇宙的目光如古井无波。既然月球是上帝的儿女们已经抵达或将要抵达的疆土，真主穆罕默德的子民们也必须踏上属于自己的远征。

2005年10月27日，借俄罗斯远东普列谢茨克基地，伊朗发射了一颗由俄罗斯制造的小型卫星“西奈一号”，成为世界上第43个拥有卫星的国家。随即，伊朗国家航天局负责人艾哈迈德宣称：“我们必须生产我们自己的卫星和发射器。我们需要成为世界上掌握最尖端航天技术的八个国家之一。”

在新世纪前后，英国、德国、法国、奥地利、乌克兰、巴西、韩国等国家，也都制订出各自的月球探测计划。

各方诸强你追我赶，纷纷出台各种探月、登月计划，让欧阳自远倍感压力，用他自己的话说，就是前有阻截、后有追兵。这种压力让欧阳自远的心情更加迫切，希望能早一日开始中国的探月之旅。

重返月球的缘由

世界各国第二次月球探测的高潮，呈现出一条非常清晰的轨迹——

以月球资源探测为主要任务，即由“阿波罗”时代的“政治与科学兼具之旅”上升到“太空应用之旅”，开发与利用月球资源，将成为月球探测的主旋律。

其相应的时代背景，则是人类居住的地球正遭受人口膨胀、资源匮乏、环境恶化、生态脆弱、灾害频发等方面的空前“劫难”。在改变人类生活方式以保护地球的同时，向太空开拓生存空间，索取资源与能源，正是人类社会可持续发展不可或缺的远大战略目标。

在未来的20多年内，月球探测的走向必将是朝着解决以下几个重大问题的方向发展：

一、月球能源资源的全球分布与利用方案研究

由于月球几乎没有大气层，月球表面长期受到微陨石的冲击，尤其是太阳风粒子的直接注入，使月壤富含稀有气体。在这些稀有气体中，最让科学家感兴趣的是氦-3。用氘与氦-3来进行核聚变反应，比起目前使用的氘与氘做燃料的热核聚变装置，有多方面优势：氘是放射性核素，而氦-3是稳定核素，更为安全；氘与氘反应后产生氦-4与中子，而氘与氦-3反应

产生氦-4与质子，从防护安全性比较，质子比中子易于防护；氘与氦-3反应虽然点火温度高，但是核聚变反应产生的能量更大。

从地球上天然气中可提取的氦-3少得可怜，只有15—20吨。由于月壤中氦-3的含量较为稳定，只要能够精确探测月壤的厚度，便可估算出月球上氦-3的资源总量。目前对月球的探测还处于粗放阶段，各有千秋，也各有说法：有的说月球蕴藏的氦-3约为百万吨，有的称吸附在月壤颗粒表面的氦-3达到了5亿吨左右。而根据“阿波罗”和“月球探测器”的实测，比较公认的看法是氦-3的总量应在100万吨到500万吨之间。

即使是百万吨，这也是一个能叫地球人的心狂跳不已的数字！

据俄罗斯科学家估算，每燃烧一公斤的氦-3，便可产生19兆瓦的能量，足够莫斯科市照明6年半。美国科学家也有结论，用航天飞机往返运输，一次可运回20吨氦-3，这可供全美一年的电力。

按照美国人的算法，若有百吨氦-3，便能满足地球上一年能源需求。若月球上氦-3的储量有百万吨，可以提供地球人类社会持续发展上万年的能源需求！

而且，在发电量相同的情况下，使用氦-3不但清洁、安全、高效，其花费也只是目前核电站发电成本的10%。如以石油价格为标准，每吨氦-3的价值约在40亿—100亿美元之间，可谓是月球上的“超级油田”。若真有“输油管道”通到地球，此前地球上盛产石油的地区多坐在火药桶上，将可以一改为鸟歌与虫鸣清越而悠扬的自然保护区；总为能源危机而拧眉攒目的各国首脑、部长们，将从此满脸火气尽消……

黎明露水欲滴的玫瑰是诱人的，想摘下来却有刺。

现在这“刺”在于，仅以运输而言，目前从地球到月球单程的费用为每吨2000—4000万美元。如何从月壤中采掘、分离、纯化氦-3并储存，怎样用以实现核聚变，还有许多关键技术有待突破。核聚变的理论问题70年前已经解决。50年前即已问世的氢弹便是按此理论设计的。目前，包括中国在内的7个国家在法国共建了一套热核聚变反应堆，总投资达百亿美

元。一个普遍的看法是，可控核聚变发电商业化可能还要30年，但其余问题10年后在实施上会有突破性解决。

月球上的能源还有太阳能。

在地球上使用太阳能要受到诸多限制，如受大气层的遮挡，天气变化，特别是雨天阴天不能用，还有太阳的照射角度等。但月球表面属于超高真空，没有大气层遮挡，月球表面没有任何建筑物，白昼太阳照射的地方温度达到110℃—130℃，太阳能不但稳定，而且能量密度要比地球上大得多。

更大的好处是月球的白天很长，一个白天相当于地球上的14天半，一天等于地球上的一个月。如果在月球表面建三个并联式的发电厂，每相距120度经度建一个发电厂，至少有一个发电厂被太阳照着，更多的时间是有两个发电场发电厂裸浴在如瀑的阳光之下，这样持续发电就有了保证。

能量如何传到地球，科学家宣称已经解决，用微波或激光传回地球，地面接收后再转化成电能。有科学家建议，沿月球赤道建设一条长11000千米，宽400千米的太阳能发电板，始终可以保持半个赤道长度的太阳能发电板发电，地球上人类的子孙万代都不需要任何其他能源，永续利用这种安全、廉价、稳定、清洁和环保的太阳能。

二、月球矿产资源的全球分布和利用方案研究

月球上蕴藏着丰富的矿产资源。其中，月海玄武岩中钛铁矿的含量可达25%（体积），比我国攀枝花钒钛磁铁矿矿石更富含TiO₂。玄武岩中钛铁矿的资源量达110万亿—220亿吨，二氧化钛大约57万亿—115亿吨，含钛铁矿的玄武岩分布面积几乎相当于中国的国土面积。尽管这一估算带有很大的推测性与不确定性，但可以肯定地说，钛，将是未来月球开发利用的最重要的矿产资源之一。月球上的钛资源对于人类社会的持续发展将取之不尽，用之不竭。

钛有着其他金属不可比拟的优点，它比钢轻43%，却比钢要坚硬30%，而且不易被侵蚀，故主要用于航天产业，被称为“航天时代”的金

属。钛不但十分稀有，只是在地球外壳有少量发现，而且还很昂贵，在20世纪20年代，钛的价值远高于黄金。钛在高科技领域中应用十分广泛，可以举个突出的例子：

1963年，美国海军军械研究室在一项试验中需要一些镍钛合金丝，他们领回来的合金丝都是弯弯曲曲的。为了使用方便，就将这些弯曲的细丝一根根地拉直后使用。在后面试验中令他们瞠目结舌的一个现象出现了：当温度升到一定值时，这些已经被拉得笔直的合金丝，突然又魔术般地迅速恢复到原来弯曲的形状，而且与原来的形状丝毫不差。

再反复试验多次，结果依然如此。最后证实，镍钛合金不仅单次“记忆”能力几乎可达100%，更为难得的是这种“记忆”本领，即使重复500万次以上也不会产生丝毫疲劳断裂。

如果这还不算难得，你不妨找来一个“神童”或是“天才”，要他对以前的同一件事情说上500次试试？

在“阿波罗”登月中，要发送和接收信息，就必须在月球表面安放一个庞大的抛物线形天线，可是在仅够两个人转身的登月舱内无论如何也放不下，这在当时一度成为登月工程中的关键难题之一。

镍钛合金“记忆”能力的发现，很快导致这个难题的解决。科学家用这种合金丝制成抛物线形天线，在飞船发射之前，先将抛物面天线折叠成一个小球，这样很方便地装进了登月舱内。当登月舱在月球上成功着陆，只需利用太阳光的辐射对小球加温，球形天线一下“开屏展翅”，恢复到了原始的抛物面形状。

1969年7月20日，当乘坐“阿波罗11号”登月舱的美国宇航员阿姆斯特朗踏上月球，并发出人类有史以来最为激情与经典的声音：“对我个人来说，这只是迈出的一小步；但对全人类来说，这是跨了一大步。”这图像和声音，就是通过镍钛合金制成的天线从月球传输回地面的。

镍钛合金的神奇功能还不仅于此。人们常说蚂蚁本事不凡，这个小东西能举起自重的20倍，当今的奥运会举重冠军也不过能举起自身重量的两

倍左右。可与镍钛合金相比，蚂蚁也只能退避三舍、掩面而去了，前者的出力本领竟可达自重的百倍以上。

此外，月球还蕴藏有丰富的稀土、铀、钍、钾、铁等金属矿产资源。根据欧阳自远等的研究，月球的克里普岩(KREEP)富含钾、稀土元素、铀、钍和磷，月球克里普岩中稀土元素的资源量达到225亿—450亿吨；铀元素的资源量约50亿吨；月壤中富含各种气体，可用于维持永久性月球基地。月球的矿产资源都将能为人类社会的可持续发展做出重大贡献。

三、月球特殊空间环境资源的开发与利用

月球几乎没有大气层，属于超高真空状态，对于太阳辐射不会有大气层的吸收、反射与散射等干扰。由于没有大气的热传导，月球表面昼夜温差极大。月球还没有全球性的内禀磁场，只是月岩有极微弱的剩磁。月球内部能量已近油尽灯枯，月球的“地质时钟”停滞在31亿年之前，至今仍保留着其早期形成时的历史状况。月球表面还具有高洁净、弱重力的特征。

上述所有这些特征，在地球上无法达到。因此，若未来在月球表面建立天文观测站，技术要求会比著名的哈勃太空望远镜低得多，观测精度却要高许多。天文观测站是未来月球基地的重要组成部分，它不仅可以对太阳系、银河系天体和宇宙空间进行观测研究，而且是进行太阳物理学、天体物理学、重力波物理学、中微子物理学观测和试验最有吸引力的场所。

若在月面建立对地球监测站，便有了个高高在上、傲视万邦却又兢兢业业的“旁观者”，能对地球的气候变化、生态演化、环境污染和各种自然灾害进行观察和监测，比起矮了38万千米的“当局者”来，它显然更具有全球性、整体性、综合性的特征，也更富提前量。由此，也不难判断出它所蕴含着的巨大军事意义。

月球的特殊环境，还为研制特殊生物制品和特殊材料开拓了广阔而诱人的前景。各国科学家们已提出了一份需要在月球基地上研制的生物制品与特殊材料的庞大清单。

以药品为例，因为月球高真空、超洁净，在目前太空制药的某些试验

中，其纯度要比地球环境高上百倍。还有些合金在地球的重力环境下，其构成好像水与油一样得要分层，但若在月球轻重力环境里冶炼，将可以浑然一体，宛如天成。

可以预料，月球在几十年后将会成为新的生物制品与特殊材料的研制、开发和生产的基地。

四、以月球基地为基准点，向深空发射探测器、飞行器的可行性

21世纪人类的深空探测，除了月球，还有太阳、火星等七大行星及其卫星、矮行星、小行星、彗星、柯依伯带天体以及行星际空间，月球有可能成为深空探测的前哨站和转运站。

2004年1月和2月，美国“勇气”号、“机遇”号火星探测器先后顺利着陆引起全世界的高度关注，当“勇气”号登陆时像皮球一样在火星表面弹跳、翻滚，当“勇气”号以轮子当腿行至目标前，伸“手”敲打岩石取样时，许多地球人看了都觉得神奇如天方夜谭，美妙似名优舞歌。

目前登陆火星还只能引颈鹄望，最大的障碍在于距离，火星大冲时距离地球约为5800万千米。如果飞船从地球上出发，仅往返便需要一年半。由于旅途时间太久，生命保障系统变得十分复杂，食物、水、空气的储备，远远多于十几天就可完成一个来回的登月。倘若这些必备物资都从地球携带，加上燃料，平均一个航天员的起飞重量估计就达上百吨，整座飞船的重量至少要以千吨计。

长时间的旅行，还将使宇航员的心理承受能力受到严峻的考验。

在恶劣的太空环境中，长时间窝在狭窄的、不可能舒服的小空间，十天半月里可能说不上几句话，日常的吃喝拉撒睡都成了负担，还得忍受着宇宙辐射、超重、失重等极为恶劣的宇宙环境，宇航员们会出现程度不同的心理障碍。

宇航员绕地球飞行时，还能看到飞船下面的大地；在月球上，宇航员也能看到比地球人平时看到的月亮大得多的蓝色地球。在飞往火星的途中，航天器越飞越远，地球逐渐变成茫茫宇宙中一个针尖般大的亮点，这

时，时空感会无声地塌陷，无根无系，没着没落，孤独，乃至恍惚，将长时间伴随宇航员。有科学家认为，如果走向比火星更远的星球，宇航员的心理承受能力将成为最大的问题。

建立月球基地的重要目的之一，就是为以后的探测、登陆火星做准备。

太重的航天器要克服地球引力很是困难，但若将物资分批运到月球基地或者空间站上，再在月球基地或空间站上组装，最后航天器由月球出发去火星，由于月球引力仅是地球引力的六分之一，且没有大气阻力，实现这一计划便要容易得多。在月球上发射探测器也因引力大大缩小，从而使成本大幅度下降。

在月球基地上，还可以取得在另外一个星球上生活的经验，比如如何就地取材，如何建筑、运输，如何男女搭配，如何克服漫长的飞行对人类心理的影响，以及尝试一些科幻小说中出现的情节，即依靠某些绿色植物的种植，实现氧气、二氧化碳、水和碳水化合物的循环再生……从而发现、总结哪些经验与设备、技术，将来可以用于火星。

可以说，月球将会是火星的实习基地。

无疑，月球基地在当下及今后很长一个时期内，还会具有潜在的军事平台的作用。

现代战争虽然还有陆军、海军、空军，但这三军已经失去或正在失去至高的战略位置，有些国家已经建立了“天军”。如果说，20世纪80年代的海湾战争和几年前的伊拉克战争鲜明呈现出剪除敌国的致命武器已是卫星和导弹，那么，随着高科技进一步在军事上的应用，日后能制约战争胜负的必定在于太空。

据分析，距地球平均38万余千米的月球高于任何太空站，月球又从不以背面示人，如能在月球上装置激光武器、离子束武器、微波武器等，地球上的绝大多数国家不但无从侦察发现，而且一旦突袭发生，只需要1.3秒就将是毁灭性的。

太空是一个资源无比丰富的巨大宝库。它已经被先知先觉的“阿里巴

巴”们打开。如果说20世纪人类主要向地球——包括陆地、海洋和未开发的南极索取资源的话，那么，21世纪将是人类向太空中的其他星球拓展生存空间和开发利用资源能源的时代。

第八章 十年磨一剑

以“绕、落、回”为战略步骤的中国探月工程，经过了整整10年的论证和准备时间，真可谓“十年磨一剑”。

欧阳自远在10年里奔波辗转于祖国各地，在书案前奋笔疾书，在会议上慷慨陈词，几乎没有一个休息日。为了自己心中的梦想，也为了13亿国人的共同追求，他不愿也不敢停下自己的脚步。

探月工程开始起步



1992年，我国“载人航天”项目国家批准立项，表明我国在实施人造地球卫星和卫星应用的基础上，跃上了一个新的台阶，开展载人航天。同时也表明我国的经济实力、技术能力和科技队伍有了明显的增强与提高，再努一把力，完全可以开展月球探测。1993年，欧阳自远通过中国空间科学学会向“863计划”专家组提出建议，我国应该开展月球探测工程。

“863计划”专家组要求递交一份正式申请立项的报告。几个月后，经过863专家组的讨论、审查与批准，正式立项。研究任务是提交《中国开展月球探测的必要性和可行性研究》报告；研究期限为1—2年；研究经费为2.5万元，用于出差、住宿、调研、专家咨询与论证和编写报告等。

欧阳自远的课题组成员分工调研，调研任务包括：系统整理与分析总结国际月球探测的形势与发展趋势，包括月球探测的目标、历程、成果，未来的探测计划与发展趋势；与我国月球探测相关的科学研究，技术能力与水平的研究、分析与评估，提出需要突破的关键技术问题与需要加强的科学研究领域；我国开展月球探测对突破高新技术、提升技术能力、促进科技进步、推动经济发展、加快人才培养的作用与意义；中国开展月球探测的战略目标与规划轮廓；中国实施月球探测的相关组织、政策的建议等。

在这份报告里，得说清楚的第一个问题，就是我们国家有没有必要做这件事情，或者是不是可以推迟到国家富强了再做。因为月球探测这一块牵扯面太多，可能用钱也会很多，中国还是发展中国家，人民日子还不富裕。这份报告，首先要让各部门认识到完全有这种需要，也完全有可能实现，报告的题目自然是《中国开展月球探测的必要性和可行性研究》。

对于月球的关注和对国际上月球探测的跟踪，欧阳自远领着地球化学所里前前后后几十号人，已经进行十几个年头了，可谓松伞一杆，“咬住青山不放松”。要形成正式文字，还需查阅、查证大量资料，进行分析评估，提出发展趋势、未来走向与格局。成文后还要向有关院士、专家和相关机构的官员咨询与论证。最后报告成文提交给“863计划”专家组，整整用了一年时间。

其必要性，用有限的一段话概括就是：

月球探测是一个国家综合国力的体现，对于提高我国在国际上的威望，增强民族凝聚力很有意义。整个航天技术分为三大领域：卫星应用、载人航天和深空探测。我国在前两项已经取得了很大成就，深空探测至今还是一片空白，而开展月球探测，将是中国实现深空探测零的突破的最佳选择。开展月球探测将是我国航天活动的第三个里程碑，也是我国高新技术发展的一个重要标志与重大机遇。

面对国际航天大国重返月球的战略部署和发展趋势，中国必须尽快开展月球探测，有所作为。通过探月工程的实施，将突破一系列关键技术，大力推进我国一系列高新技术的创新与发展，推动国民经济加速发展，开拓我国月球与行星科学深化研究的新局面，培养与锻炼一大批工程技术与科学研究的骨干队伍。

此外，月球上的矿产资源、能源和特殊环境，是将来人类社会进一步开疆辟土的重要领域。如果中国一直袖手旁观下去，对于月球将丧失发言权，难以维护我国的合法权益。

其可能性，报告里介绍道：



1986年，高空气球收集平流层宇宙尘。

自20世纪60年代中期开始，我国学者对月球的空间环境、地形地貌、矿物与岩石类型、地层划分、火山与岩浆活动、大地构造、撞击坑的分布与年龄、月球与地月系统的起源与演化历史进行了系统的综合分析研究，一直跟踪国际月球探测的研究与进展，并编写了《月质学研究进展》《天体化学》《月球探秘》等专著和众多的研究论文与科普文章。1978年我国的科技人员利用我国最先进的仪器与装置，全面、系统、深入地分析、

测试与研究了阿波罗-17月岩样品，发表了14篇研究论文。近十多年来，在有关月球的探测与研究方面，更做了大量工作。我国已有一支从事月球探测的综合性科学技术队伍……

在月球探测技术方面，我国现有的“长征”系列运载火箭与发射场能适应发射月球探测器的基本要求。月球探测器的各分系统，如结构、热控制、自控、轨控、电源、测控、数据管理等系统大部分可继承已有的研究成果。我国已具有多年研制空间环境探测器和空间遥感器的经验；在空间环境探测器和星载传感器及其在轨运行管理的经验等方面，已为实施与完成我国月球探测任务提供了必要的基础设施。我国已有的S频段测控系统，再增加甚长基线干涉系统，可以实现月球探测卫星的精确测控与通信……

“863计划”专家组收到欧阳自远课题组提交的《中国开展月球探测的必要性和可行性研究》报告后，组织专家委员会对《研究报告》进行审查与验收，听取研究课题组的报告，经过答辩后，一致予以通过。专家委员会认为报告以充分的事例与翔实的数据说明，月球探测工程不仅不会拖我们国家经济建设和国家发展的后腿，相反，还能有力地推动科技进步、经济发展和科技队伍的成长。而且，我国已经具备开展这一工程的实施能力。从呈报立项报告到“863计划”专家组评审验收，整整用了两年时间。

一个庞大的工程



我曾问过欧阳自远，一份在心中早已成熟的报告，为何前后用了两年时间？

欧阳自远回答：“必要性比较好写，可行性的难点在于中国探月工程五大系统的现状、技术水平与能力还有哪些关键技术需要突破。必须经过深入了解，综合分析，实事求是，数据和技术指标必须准确与翔实，提出的观点要经得起论证。要广泛征求各领域有真知灼见的专家意见，绝非我一个人和我的课题组就可以做到的。我们用了一年多的时间，完成报告的编写，自信是可以通过的。”

执行任何一次空间探测任务，并不是只靠探测器本身就能完成的，月球探测的成功也同样如此。必须依靠若干大系统相互配合、相互支持，才能达到预定的目标。我国的卫星和月球探测工程一般由五大系统组成，即探测器系统、运载火箭系统、发射场系统、地面测控系统以及地面应用系统。

探测器系统是完成航天任务的具体载体，是一个空间飞行器。由它携带各类有效载荷在太空运行，完成相应的科学探测任务。

运载火箭系统是将人造地球卫星、载人飞船或空间探测器等航天器送入预定轨道的工具，它通常由多级火箭组成，在使航天器达到所需的位置和速度后即与探测器分离。

发射场是发射航天器的场所。航天发射场的基本任务是，为运载火箭、航天器提供满足技术要求的转载、总装、测试及运输设施；为航天器发射提供全套地面设施；组织、指挥、实施测试、发射及飞行上升段的指挥、调度、监控、显示和通信；完成运载火箭上升段的跟踪测量和安全控制；为航天指挥控制中心提供有关参数和图像；提供航天发射区的后勤服务保障。

航天器升空后，地面站需要随时了解它的各种信息，并向它发出各种指令。测量和控制航天器的飞行参数，正是由地面测控系统完成的。

地面测控网是对运载火箭和航天器跟踪测轨、接收与处理遥测信号以及发送遥测信号的综合系统。无线电微波传播是测控系统的基础，由于地球表面是一个近似球面的曲面，一个地点的地面站就不可能实现对运载



火箭和航天器进行全航程观测。为此，必须用分布在不同地点的多个地面站“接力”跟踪才能完成测控任务。地面测控网由多个测控站、测控中心和通信系统组成。测控站直接对运载火箭和航天器实施跟踪测轨、遥测信号接收、发送遥控指令和注入数据。测控中心对各测控站进行任务管理，将测量数据汇集连接，进行分析处理和信息生成，并向各测控站发送时间统一信号，即时统信号。通信系统完成测控中心与各测控站发射控制中心以及航天器回收场指挥站之间的数据、图像和语音传输。通信系统采用有线、无线和卫星通信等多种手段，专用于测控网。测控中心从发射指挥中心获取发射进程信息，接受发射控制中心的统一任务调度。

地面应用系统负责接收航天器在空间运行过程所获得的全部探测信息，加以解译、处理、判断和分析，进行各种相关校正，获得最终所需要的、不同等级的应用信息，进行不同等级应用数据的储存与发布。地面系统还承担月球探测科学目标地制定，各种科学探测有效载荷的地面验证和在轨运行状况，科学探测数据的研究与开发利用。我国已有的卫星与载人航天地面应用系统不能满足月球探测的需要，要新建适应月球探测及其未来发展需要的地面应用系统。

制订探月的总规划

1995年,《中国开展月球探测的必要性与可行性研究》报告通过后,引起中国科学院高技术局的高度重视,利用中国科学院创新研究经费,支持欧阳自远的课题组转入研究中国开展探月的发展战略与长远规划的研究,再用2—3年时间去论证一个问题:中国若要开展月球探测工程,它应该如何长远布局与分步实施。

课题名称是《中国月球探测的发展战略与长远规划》。

根据我国的科学技术水平、综合国力和国家整体发展战略,以及参考世界各国重返月球的战略目标和实施计划,我国的月球探测近期应以不载人为宗旨,是探月,而不是登月。

中国的无人月球探测分为三期,即第一期“环月卫星”,第二期“落月探测”,第三期“采样返回”。在完成中国月球探测三步走的计划后,第二阶段的目标是载人登月。第三阶段是在实施载人登月的基础上,建设月球基地,开发利用月球,支持人类社会的持续发展。

“环月卫星”探测阶段,研制和发射我国第一颗极轨月球探测卫星,计划环绕月球运行一年,对月球进行全球性、整体性与综合性探测,以获取月球的三维立体图像,就月球的地貌地形、物质成分、月壤特性和近月

空间环境等进行科学探测。该工程将在确保成功的前提下，从总体上体现中国特色和技术进步，完成以下五项基本任务：突破月球探测基本技术；研制和发射我国第一个月球探测器——月球探测卫星；首次开展月球科学探测；初步构建月球探测卫星航天工程系统；为月球探测后续工程积累经验。

“落月探测”就是探测器系统在月面软着陆，开展着陆器的就位探测与月球车的月面巡视勘察，对着陆区进行精细探测。两种探测方式的组合，在国际上已有的月球探测方式中尚属首次。二期工程既是一期工程的延伸与拓展，也是一期工程的深化与跨越，更是三期工程的必要基础，具有承上启下的重要作用。它以突破月球探测相关技术并获取高精度的科学探测数据为目的，掌握开展深空探测所需的一系列关键技术，推动对月球科学研究的进一步深化，获得一批自主创新的月球科研成果，建立起较为完整配套的深空探测研究、设计、生产、试验和应用体系，培养并沉淀出一支高素质的人才队伍，为进一步的深空探测科学研究和航天活动奠定坚实的技术、物质和人才基础，带动相关产业发展并促进科学技术进步。这一阶段的基本任务是发射月球软着陆器，试验月球软着陆技术和过夜技术；研制和发射月面巡视车；精细探测着陆区和巡视区的地形地貌与地质构造、就位分析物质成分及其分布规律、测量着陆区月壤的物理力学特征、获取日—地—月空间环境参数，为未来月球基地的选址提供月面环境、地形、月岩等化学与物理性质的数据。

“采样返回”就是月面取样后返回地球阶段。嫦娥三期工程是在二期工程基础上的一个腾飞，更是后续载人登月工程的一个起点，同样具有承上启下的关键作用。它以突破在月面上采集样品技术、自动钻孔取样技术、返回舱返回地球技术以及在地面实验室深入系统开展月球样品的分析测试与研究，科学探测、采集并返回样品等为总目标，对着陆地区进行考察，为下一步载人登月、建立月球前哨站的选址提供数据和科学、技术、人才与设施的基础，并深化对地月系统起源与演化的认识。这一阶段将研

制、发射月球软着陆器和返回舱一体化设计的探测系统；研制月球样品采集设备、试验采集技术，采集关键性样品并返回地球，开展系统的测试、分析与研究工作。

2001年，欧阳自远向时任国防科工委副主任、国家航天局局长栾恩杰汇报中国月球探测的发展战略与长远规划，详细叙述了世界月球探测的发展形势，月球探测的走向与趋势，中国的月球探测如何具有自己的特色和创新，中国月球探测发展战略的总体构思。详细解释中国月球探测划分为三个大阶段：无人月球探测阶段；载人登月阶段；建立月球基地、开发利用月球，支持人类社会的可持续发展阶段。第一阶段的无人月球探测，又划分为三期，即“环月卫星”“落月探测”“采样返回”。

栾恩杰副主任非常赞同欧阳自远制定的《我国月球探测的发展战略与长远规划》。他提出一个很好的建议：为了便于领导和公众理解，简明扼要，将《我国月球探测的发展战略与长远规划》中提出的第一阶段无人月球探测划分的“环月卫星”“落月探测”“采样返回”改称为“绕”“落”“回”。

栾恩杰副主任还将中国月球探测的三个大阶段，即无人月球探测阶段，载人登月阶段，建立月球基地、开发利用月球，支持人类社会的可持续发展阶段，简明扼要地综合简化为“探”“登”和“驻”，并指出三大阶段是人类探测月球的共同途径。

1997年，中国科学院、国防科工委接受了欧阳自远团队的第二个报告：《我国月球探测的发展战略与长远规划》。中国科学院组织国防科工委、中科院相关研究所、总装备部、航天集团公司、各相关高校等多方面专家进行评审与答辩，专家委员会一致同意《我国月球探测的发展战略与长远规划》通过评审。

《我国月球探测的发展战略与长远规划》已成为我国月球探测总体规划和分阶段实施的依据。

设计中国第一个月球探测器的科学目标

在制订我国月球探测的发展战略与长远规划的基础上，中国科学院高技术局再次利用中国科学院创新研究经费，支持欧阳自远的课题组转入研究中国第一次月球探测的科学目标与有效载荷配置。经多次讨论确定，研究课题名称为《中国月球探测卫星的科学目标与有效载荷配置》。

1998年，欧阳自远带领一批科研人员，开始对我国月球探测卫星的科学目标与有效载荷配置，以及我国月球探测关键科学技术问题开展研究。

至2000年，他们的研究成果为中国首次月球探测卫星规划了四个目标：获取月球表面的三维影像；划分月球表面的基本构造和地貌单元；进行月球表面撞击坑形态、大小、分布、密度等的研究；为月球与类地行星表面年龄的划分和早期演化历史研究提供基本数据，并为软着陆区选址和月球基地位置优选提供基础资料。其中，美国曾在1994年做过月球表面三维影像，但未能覆盖全月球。这次我国做的月球表面三维图像要覆盖全球，提高精度。

分析月球表面有用元素含量和物质类型的分布特点，主要是勘测月球表面的主量元素与有开发利用价值的钛、铁、铀、钍等14种元素的含量和分布；绘制各元素的全月球分布图，月球岩石、矿物和地质学专题图等；

发现各元素在月表的富集区；评估月球矿产资源的开发利用前景等等。

探测整个月球表面的土壤层的特征和厚度，这一土壤层里含有大量可控核聚变的原料——氦-3，探测它整个分布的情况，以及各地区资源量的多少，以便今后很可能集中在某一个地区开发，这在国际上目前尚无别国做过。

探测近月空间环境，对近月的行星际空间、月球阴影区空间、近月的地球磁鞘区和近月的地球磁尾区进行探测，并探测近月空间的高能粒子与低能离子的通量、能谱及其时空变化。

此外，对月球卫星需配置的科学探测仪器，如CCD三线阵立体照相机、激光高度计、干涉成像光谱仪、伽马射线能谱仪、X射线能谱仪、微波辐射计、高能粒子探测仪和低能离子探测器及其各项技术指标都提出了明确要求。

2000年8月，在国防科工委的组织下，由王大珩、杨家墀、王希季、孙鸿烈、涂光炽、刘振兴、王水、朱能鸿、姜景山等9位院士和总装备部、航天科技集团、科技部、中科院和高等院校的5位专家组成的评审组，对由欧阳自远的研究团队编制的中国科学院《月球资源探测卫星的科学目标与有效载荷》进行了论证评审。

专家论证会认为：我国月球探测计划与科学目标先进、明确，意义重大，合理可行，是对国际上已有的月球探测结果的重要发展；各项技术指标先进合理，均有创新特点，作为目标探测的重要起步，能获得有重大意义的新结果，又符合我国国情，在现有条件下可以实现。

一个艰难的过程

在论证过程中，反对的声音倒渐渐激烈起来，主要有以下几种观点——

其一，国际上已经18年没有任何国家探测月球了，美国“阿波罗计划”当年何等威风凛凛，以后也没有了下文，可见是劳民伤财，得不偿失。中国为何还要去走别人不走的老路呢？在此同时，国内报纸上有文章称：全世界50年内不会有国家再搞探月。

其二，中国真要进入深空，那就盯住火星探测。火星探测已是美国、俄罗斯等国家太空计划的热点，在新世纪最能凸现一个国家的经济实力与科技水平。而在月球探测上，美国与俄罗斯已做了不少事情，中国人再做不会做得比他们高明。既然做不过人家，再炒也是一盘冷饭。

其三，国家航天的一块蛋糕就这么大，“神舟号”系列飞船切走了一大块，探月工程再切去一大块，别人还吃什么？你有兴趣搞太空探测，可以利用过去已发射的卫星对太阳进行探测，但这探测也只是在绕着地球转的卫星上看太阳，而不是到太阳轨道上去。这口气有些像正忙着堆方城的大人对身边凑热闹的孩子说：“你要玩，自己一边玩去，打游戏机、看电视都成……”

其四，不是所有的质疑都会放到桌面上来，没有放到桌面上来的可能在肚皮里翻江倒海更厉害。关于欧阳自远，还有人在背后嘀咕：一个地质专业出身的，手却伸得十万八千里去了天上，这不是哗众取宠，也是好大喜功……

……

日后，欧阳自远在几所大学的报告中都说道：

“一个人一生当中，遇到各种挫折是难免的，我在科学研究当中遇到最大的困难就是渴望得到理解、支持……有时候很伤心，眼泪往肚子里流，但我从来没有打过退堂鼓！”

“当你面对困难的时候，就要耐心地面对现实，努力去争取。”

大多数两院院士都支持中国开展月球探测工程，其中不乏功德双馨的巨擘泰斗。

闵桂荣院士是我国航天领域首席科学家，提出了中国要搞月球卫星的建议。

杨嘉墀、王大珩、陈允芳三位院士以“863计划”的名义，发表了《我国月球探测技术发展的建议》。

全国政协副主席、中国工程院院长徐匡迪，有一次特地请欧阳自远来介绍我国月球探测的战略规划与实施方案。当他听说有人认为，最华彩的一幕已在“阿波罗”登月时结束了，中国人再做，也不会比美国人做得高明。既然不可能比别人高明，那何必要去做呢？

徐匡迪院士说道：“说这种话不符合中国实际，不符合中国发展的思路。我国是个发展中国家，如果按照此种逻辑，对国外一切先进的东西都不必学习、借鉴、研制了，那我们今天还在坐牛车、住茅草房。而且，如果中国人不做的的话，那就只有买了，可月球能买吗？月球资源、月球环境能进口吗？”

欧阳自远像是春秋时代坐在牛车上游走于各国间的“名嘴”苏秦、张仪，对待不同的对象，欧阳自远得有一套不同的说辞。对科技人员，得鞭

辟入里，言简意赅；对官员们，得通俗晓畅，不厌其烦；对有着利益考量的企业家，须多讲双赢，动之以情……

说辞虽有所不同，但在未来的月球探测中中国人能够做到的，尚不能做到的及以后可能做到的，欧阳自远总是一五一十，绝不夸大与缩小。在这方面，有人说他像个虔诚的牧师。

其实，欧阳自远并不是个工于言辞的人，这几年里却说了几十年的话。

欧阳自远本是个喜静不爱动的人，这几年却几近成了重重浓雾里一架找不到着陆点的飞机，来回奔忙于北京、贵阳两地，论证会开得最密集时，他一个星期两三次来回。

欧阳自远本是个随和的人，眉宇嘴角总给人以一种暖暖的笑意，欧阳自远不会说拒绝，现在却必须站出来一次次说NO——

不少专家期待将探月工程延伸到自己研究的领域，不少部门极力要把自己研制的仪器纳入探月装置。欧阳自远只能苦口婆心地一一解释：

有些研究领域目前在月球探测上还派不上用场，比如月球南北极磁场早就消失，没有必要去测定月球的全球性内禀磁场。月球上寸草不生，一毛不拔，绝无可能研究生物工程。有些研究领域美国、俄罗斯已经做过，我们比人家晚了40年，得尽量争取有一个更高更快的起点，不可能说别人做过的我们一点不重复，但我们最后的结果必须比别人更全面、更深入、更先进，而且在别人还未涉及的一两个领域，我们也要去做。

因此，中国的第一颗月球卫星不会什么都装上，只能配置那些有独创性、或是水平比国外更高的仪器，关键是要做出比别人更高水平的研究成果。

欧阳自远总是以一副好心情来说NO，别人听了NO的反应，有时却会使他自己陷于坏心情。在这些事情上可承担了不少的“风险”。

在这庞杂又严格、乃至严峻的答辩中，欧阳自远如一块膨胀了的海绵，充分吸取了当今中国第一流科学家、工程技术人员的智慧，避免了环节上的粗疏和技术上可能出现的纰漏，保证了方案的扎实与严谨。

一个最有力的证据是，2004年2月，科技部主持国家中长期发展规划论证，草案中有几十个重大专项工程。科技部规定，参加各工程论证的专家里，得有三分之一是持反对意见的。如评审下来仍有人反对，该工程就进不了规划。月球探测二、三期工程是其中一个，此时一期工程国家已立项。在为时三个月、先后共有各方面一百多位专家参加的评审中，专家们一共出了近百个问题和建议，欧阳自远分类后一一予以了负责的、实事求是的回答。为此，月球探测二、三期工程第一个通过，而且是一次性通过，正式进入国家中长期科学技术发展规划。直至2005年，国家中长期科技发展规划优选了16个重大专项工程。

用于第一颗月球卫星上天的总经费，既要当前国家经济实力能够承受，不会伤筋动骨，又要使这笔钱投下去，通过探月卫星的实施能推动我国一系列高新技术的发展，培养、训练出一支月球探测队伍，从而在国民经济中起到二次开发、利用的目的。方案中，欧阳自远匡算一期工程的总经费是14亿元人民币。

在各地做报告解释这14亿元总经费时，欧阳自远常选择另一个数字作为参照物：在北京修建1000米地铁得花7亿元人民币，即用在月球探测一期工程的钱，只能在北京铺2000米地铁。

此外，欧阳自远没有多说一句，一切尽在不言中了。

飞天的翅膀终于展开

月球探测计划正式进入政府层面。

国防科工委成立了中国月球探测工程领导小组，组长是国防科工委主任张云川，有关部委的副部长是领导小组成员。中国国家航天局局长栾恩杰为中国月球探测计划嫦娥一号工程的总指挥。

栾恩杰1965年毕业于哈尔滨工业大学自动控制专业，1968年清华大学精密仪器专业研究生毕业。参加工作后一直在导弹部队或导弹研制部门，从技术员做起，历任工程师、所室副主任、副所长、所长、副院长、高级工程师，稳稳笃笃，一步一个台阶。1988年调航空航天部任总工程师，1993年出任航天总公司副总经理兼国家航天局副局长，1998年起担任国防科工委副主任兼国家航天局局长。

栾恩杰是导弹控制技术专家，又是航天工程管理专家。在我国导弹控制技术、型号研制管理和国防科技工业管理领域做出了重大贡献，先后获国家科技进步一二等奖，部科技进步一二等奖。2004年，在中共中央政治局第十五次集体学习会上，栾恩杰作为高级专家，对坚持国防建设与经济建设协调发展的方针，谈了自己的研究体会。

栾恩杰的经历证明，世界上任何重大的工程，管理者都得是既懂技术

又懂管理。恰似鳄鱼对于狮子来说，只是一个揭不开盖子的美味罐头，当今科学的高速发展已经使得一个不懂技术只懂管理的人面对一个庞大的系统工程时无从下手。

孙家栋被任命为中国月球探测计划嫦娥一号工程的总设计师。

自38岁时担任中国第一颗地球卫星“东方红一号”的总设计师后，他又担任了“东方红二号”“东方红三号”“东方红四号”等我国自制卫星的总体设计师，并主持和参加主持了“东方红三号”通信广播卫星、“风云二号”静止气象卫星以及地球资源卫星三大航天工程。

孙家栋还曾充当起“生意人”的角色，与国际航天界商家打交道，为我国火箭承揽发射外国卫星业务，出任中国航天对外发射代表团团长。1990年4月7日，我国用长征三号运载火箭成功地将美国制造的“亚洲1号”通信卫星发射升空，送入预定轨道，这是我国运载火箭首次进入国际商业发射服务市场。



中国探月工程总指挥栾恩杰（中）、总设计师孙家栋（右）、首席科学家欧阳自远讨论工作。

作为有着崇高荣誉、为数不多仍然健在的“两弹一星”功勋科学家，孙家栋近40年的人生历程几乎就是中国航天事业发展史的一个缩影。他花白的头发和像矿脉一样严峻的脸上，无不打上这一历史过程中几乎所有重大事件的烙印。

这一年，孙家栋已经74岁。无论是生理年龄，还是他已有的中国科学院院士、中国航天科技集团高级顾问的双重身份，他都有理由从他跑了一辈子的海角天涯、山渺漠远中撤出来。他应该坐在家里抱抱孙子，和老伴多聊聊天。

他比许多老人更有理由享受改革开放的物质成果，或者说，比起许多老人，他更会珍惜这夕阳正红的晚景。这几十年里，他和亲人在一起变得不正常，不和他们在一起才是正常的。就是人好容易坐在了家里了，也多揪心悬胆，哪一次导弹、卫星发射前他不像枕着颗定时炸弹睡觉？

这几十年里，老伴记得他真有闲工夫陪自己坐下来唯有一次——

1994年11月，老伴患了脑血栓，病情严重，医院立即对她进行了全力以赴的紧张抢救和治疗。消息当天便传到了远在三千里之外的西昌卫星发射中心，几乎人人都知道了这件事，唯独孙家栋不知道。同事们不敢告诉他，此时火箭、卫星均已测试完毕，发射场的各项工作全部就绪，卫星发射已进入倒计时。作为这颗也是我国第一颗大容量通信卫星工程总设计师的孙家栋，他的脑子里装的全是卫星，他要在发射前夕对卫星火箭可能出现的问题都清除至零，保证做到万无一失……

一周后，卫星被成功地送入太空。孙家栋又马不停蹄，赶回北京主持与美国航天代表团的谈判。在会谈文件上签完字后，他一下晕倒在地，从会场用担架直接抬进了附近的海军总医院。比说书还巧的是，或许是天可怜见，老伴也住在这家医院里。开始，两个互相牵挂的老人谁也不知道对方就在一箭之遥。后来，待病情稳定后，院方将老两口安排到了同一间病房，出院后，又同去小汤山职工疗养院住了一阵子……

这些日子，成了老伴一生中印象最深刻、也最快乐的一段时光。

孙家栋组织全国各方面的力量，对于月球探测进行了长达一年半的工程立项论证。从卫星、火箭、轨道、仪器等各层面，一项一项地制定并落实技术标准，为月球探测计划实现目标提供切实的工程保障。用他对欧阳自远说的玩笑话就是：我是为你打工的！

欧阳自远则被任命为中国月球探测计划嫦娥一号工程的首席科学家。

这是我国航天重大工程里首次设置首席科学家一职。这意味着，在以往航天重大工程里具有的指挥系统、设计系统外，现在又设立了科学家系统。

除了设计我国月球探测的长远规划、发展战略以及首次探月的目标，确定所有的探测技术指标和要求外，科学家系统的职责还应建立好接收和研究系统，当探月卫星成功入轨后，对从月球发回来的数据要接收、解码、校正、储存，生产多级高级数据，向全国或全世界发布科学探测数据，组织国内外科学家进行科学研究和编制各种图件。

还在2006年3月间，一个重达650吨、直径50米的数字接受平台在北京已装吊完成，这个庞然大物是我国最大的天线和射电望远镜，将承担接受月球科学数据的任务。另一架天线设置在云南昆明，是我国第二大天线，直径40米，协助接受月球科学数据。此外，还有两架天线设置在上海和乌鲁木齐。这四架分别耸立于国土东南西北四个方向的天线，组成了一个有效的监测网，实施甚长基线干涉测量，以测定月球卫星的轨道和位置。

整个嫦娥一号工程，共有几万人参与，大多数人不了解月球，需要写一部《月球科学概论》速成。还得要有一本《嫦娥工程手册》，让工程人员了解有关月球已知的大量参数，这对他们的工程设计十分重要。一部专业书，一本工具手册，正常情况下，怎么样也要花上好几年。欧阳自远领着几个助手，没日没夜写了几个月，初稿就完成了。仅《月球科学概论》就有50多万字，欧阳自远也累趴下了……

医生要欧阳自远在医院里住上一个月，恢复透支太多的身体，欧阳自远只住了一星期，就忍不住要出院了，后面还有一大堆活要干。

2003年底，一份十分厚重但主报告简约明了、附件很多的正式报告送进了中南海。

2004年1月24日，温家宝总理在这份报告上签上了自己的名字，代表国家批准了嫦娥一号工程的实施，并提出了“高标准、高质量、高效率地完成绕月探测工程”的要求。

当天下午，欧阳自远就知道了。

随着国家对探月计划的日益重视，这时来自地球化学所一直跟着欧阳自远干的四个年轻骨干已调来北京的中国科学院国家天文台，负责月球探测工程地面应用系统的设计、建造、调试和运行。当晚，欧阳自远从家里拿来一瓶茅台酒，请大家去一家餐馆里小酌，栾恩杰也赶来参加。人人高举酒杯，欧阳自远也禁不住万分激动：

“我们所有的努力……都是为了今天，我们很……幸运。”

一片光影闪闪。

也许是灯光在酒杯里摇曳，也许是泪影在灯光里婆娑。

欧阳自远畅快地笑了：“好，干了，大家好好干吧！”

一阵阵碰杯声，激越而又脆亮，像是静水深流的春水上那冰层的迸裂声……

是的，一个被耽误了太多机会的古老民族，终于向着一个新的巨大机会上路了。

中国人的梦想



新中国建立后，中国领导层始终感觉到存在着外来威胁，因此国防科学技术的发展成为重要的议题。

新中国的航天史始于1956年。那一年2月，著名科学家钱学森向中央提出了《建立中国国防航空工业的意见》。3月，国务院制订了《1956年至1967年科学技术发展远景规划纲要（草案）》。1956年4月，航天工业委员会成立。1956年5月10日，聂荣臻副总理向中央提出《建立中国导弹研究工作的初步意见》。5月26日，周恩来总理主持中央军委会议讨论同意，并责成航委负责组织导弹管理机构和研究机构。1956年10月8日，钱学森又受命组建了我国第一个火箭、导弹研究院——国防部第五研究院（即现在的运载火箭研究院）。

1957年12月24日，一辆从莫斯科出发的专列抵达北京。车上除102名苏联火箭技术人员外，还有一份苏联“还给”中国的厚礼——两发P-1近程地地导弹。1958年4月，中国开始兴建第一个运载火箭发射场。

1958年5月17日，毛泽东在中共八大二次会议上发出了“我们也要搞人造卫星”的号召，掀起了中国航天事业的第一个高潮。10月20日，在苏联专家的帮助下，在酒泉建立了中国第一个卫星发射场。

到了1960年，正当中国仿制P-2导弹的工作进入最后阶段时，中苏之间关于意识形态领域的大论战开始了，被惹恼的赫鲁晓夫下令全部停止根据先前的协议正在进行的对中国的援助。

中国的火箭，是被逼出来的。

就在苏联撤走专家17天后的1961年9月10日，中国第一次在自己的国土上，用苏联专家认为会爆炸的自己生产的燃料，成功地发射了一枚苏制P-2导弹。

而这时，中国人按照苏联提供的图纸仿制出来的导弹，也开始进入最后的组装。人们把新中国航天人自己制造出来的第一枚导弹命名为“东风一号”。

1960年11月5日上午9时，中国第一枚仿制的火箭“东风一号”点火了。第一次引进弹发射成功，第一发仿制弹也发射成功。

头脑热起来的火箭人异想天开地把V-2的图纸放大了一倍，制造出的“东风二号”成为一次让所有科技人员记忆犹新的发射。

1962年3月21日上午9时5分53秒，“东风二号”在众望所归中点火升空。但是这次发射失败了。

1964年6月29日，“东风二号”又开始发射试验。这次“东风二号”连续三发都取得了成功，标志着中国从此拥有了可以远程打击的导弹盾牌。

这个时期的欧阳自远正经历着人生的一次次蜕变，作为一名中国科学院地质研究所矿床专业研究生，到北京外语学院留苏预备部学习，再到中国科学院地质研究所当上了助理研究员……中国的一次次飞天行动都牵扯着欧阳自远的神经，同时也激发着欧阳自远的飞天梦想。

1964年，中国的科学家们起草了《关于人造卫星方案的报告》。同年6月29日，中国自行研制的中近程火箭再次发射试验，获得成功。

1966年10月27日，导弹核武器发射试验成功。弹头精确命中目标，实现了核爆炸。同年11月，开始研制“长征一号”运载火箭和“东方红一

号”人造卫星。12月26日，中国研制的中程火箭首次飞行试验基本成功。

一次次火箭试验成功的消息，让带领“219”小组，正为中国地下核试验勘测爆炸地址的欧阳自远十分兴奋，这也激励了欧阳自远和“219”小组的成员们。

1968年2月20日，中国空间技术研究院宣告成立。

1970年4月24日21时31分，中国自行研制的“东方红一号”人造地球卫星飞向了太空，这是中国发射的第一颗人造卫星。中国成为世界上第五个能独立研制发射人造地球卫星的国家，这是我国航天史上的第一个里程碑。

截至2013年，人类载人航天已有42年的历史（1961年，苏联实现世界首次载人航天），中国载人航天工程在1992年正式启动后，仅用了7年时间，就实现了神舟飞船成功升空。

1999年11月20日6时30分7秒，我国第一艘试验飞船“神舟一号”首发成功，中国成为继美、俄之后世界上第三个拥有载人航天技术的国家。在完成了21个小时的空间科学试验后，于21日3时41分成功着陆。“神舟一号”试验飞船成功发射和回收。

2001年1月10日，“神舟二号”在酒泉卫星发射中心发射升空，飞行7天后成功返回地面。这是我国第一艘正样无人飞船。飞船上进行了微重力环境下的空间生命科学、空间材料、空间天文和物理等领域的试验，各种仪器设备性能稳定，工作正常，取得了大量数据。与“神舟一号”飞船相比，“神舟二号”飞船的系统结构有了新的扩展，技术性能有了新的提高，飞船技术状态与载人飞船基本一致。

紧接着，“神舟三号”飞船于2002年3月25日发射。飞船搭载了人体代谢模拟装置、拟人生理信号设备以及形体假人，能够定量模拟航天员呼吸和血液循环的重要生理活动参数。“神舟三号”轨道舱在太空留轨运行180多天，成功进行了一系列空间科学试验。

2002年12月30日，“神舟四号”飞船升空，这是载人航天工程实施以

来技术要求最高、参试系统最全、难度最大的一次飞行试验。“神舟四号”飞船的成功发射，标志着中国载人航天工程经受住了无人状态下最全面的飞行试验考验，创造了中国航天史上低温发射的新纪录，也创造了世界航天史上火箭低温发射的奇迹。

2003年10月15日是一个不寻常的日子。9时整，杨利伟乘坐的“神舟五号”飞船在震天撼地的轰鸣中腾空而起。全世界的人们在这一天都看到中国人杨利伟在太空中飞翔。从这一天起，在浩渺的宇宙间飘动的旗帜中开始有了中国的五星红旗。那艘承载着全民族希望的“神奇之舟”开启了中国崭新的载人航天时代，成为我国航天史上的另一里程碑。

2003年10月16日清晨6时23分，中国的“神舟五号”飞船在起飞21小时后，顺利降落在内蒙古空旷的草原上。太空中没有中国人足迹的历史到此结束。

飞天已从敦煌壁画中走出来。欧阳自远很清楚，他肩负的是数代人的探月之梦。

第九章 嫦娥一号

经过长达十年的酝酿和准备，嫦娥一号终于破茧而出，国人心中的那轮明月终于不再遥远和陌生。

在这样一个成功和骄傲的时刻，即便欧阳自远这位见多识广、饱经沧桑的老人，也不禁流下了激动的泪水。

为了共同梦想而努力



2004年，被称为绕月探测工程的开局年。这一年先后完成了发射场系统总体技术方案制订、测控系统总体设计方案制订、地面应用系统设计方案制订、卫星系统的方案设计和运载火箭系统的初步研究，并开始进行一系列关键技术攻关。

这也是欧阳自远最为忙碌的一年，作为探月工程首席科学家，一系列关键技术攻关都需要他的参与。时间紧张，欧阳自远恨不能把自己分身成无数个，对每一个攻关项目都能够亲力亲为。常常，每个晚上只能睡三四个小时，即便这样，欧阳自远还觉得自己太浪费时间。随着一个个关键技术攻关成功，欧阳自远的头发也白得越来越多……

2005年，是绕月探测工程的攻坚年。这一年主要以质量可靠性为中心，全面展开初样研制与试验，进行系统间接口协调和技术攻关，工程的技术风险逐渐化解，系统间接口关系得以明确，各系统技术状态得以确定。

这又是一个让人殚精竭虑的一年，欧阳自远的身影穿梭在各个对接试验城市之间。飞机成为他休息的惯常之地。

2006年3月24日，在北京召开绕月探测工程第三次工作会暨决战动员

会上，中国绕月探测工程总指挥栾恩杰宣布：2006年是中国绕月探测工程的决战年，年内卫星、运载火箭系统要完成正样飞行产品的生产研制，发射场、测控、地面应用系统完成系统的集成、联试，具备执行任务的能力。

6月18日，出席第四届中国·福建项目成果交易会的中国绕月探测工程副总设计师龙乐豪院士在福州表示，绕月探测工程目前进展顺利，嫦娥一号已完成方案与初样设计工作，正样正在按原计划进行研制中。计划于2007年4月底前发射，这是权威人士首次在公开场合透露卫星上天的时间。

7月8日，国防科工委秘书长、新闻发言人黄强宣布，经中共中央、国务院批准，中国月球探测一期工程绕月探测已于2004年1月正式启动。经过几年来的精心研制，中国第一颗绕月探测卫星嫦娥一号计划于2007年内发射升空，拉开月球探测工程的大幕。

黄强还介绍，嫦娥一号月球卫星将在进入绕月轨道后，于距地球38万千米之外的遥远太空，即相当于当年“东方红一号”地球卫星距地面数百倍的距离外，向地球传回一组优秀的中国乐曲。为此，国防科工委月球探测工程中心提出150多首建议歌曲，在全国范围内公开投票并结合专家推荐、评选，最终在10月份选定30首曲目。

值得一说的是，在这150多首建议曲目中，自然有红色经典《义勇军进行曲》《东方红》《红旗颂》等，引人注目的却是梅兰芳的《贵妃醉酒》、黄梅戏《夫妻双双把家还》、昆曲《游园惊梦》等传统戏曲选段，富有地域特色的《青藏高原》《跑马溜溜的山上》《茉莉花》，经典流行的《祝你平安》《同一首歌》《让世界充满爱》等等民歌呵气如兰、飘荡宁馨、大气柔婉的通俗歌曲也在建议曲目之中。

7月21日，在北京举行的第三十六届世界空间科学大会上，欧阳自远做了报告：嫦娥一号所担负的四大科学任务的卫星有效载荷均已交付，它们共7种，分别是用于月球表面三维影像探测的CCD相机和激光高度计，用

于月表化学元素与物质探测的成像光谱仪和伽马 / X射线谱仪，用于月壤特性探测的微波辐射计和用于地月空间环境探测的太阳高能粒子探测器和太阳风粒离子探测器。

万事俱备，只欠东风。

征途绝不平坦

在月球探测工程上，我国现有的“长征”系列运载火箭已具备了发射卫星的能力。但是，以运载能力为例，美国、日本、俄罗斯和欧洲航天局的运载火箭的运载能力都超过了我国，其中最大的推力达到了二十六七吨。而我们的火箭能够送到月球的重量，包括燃料在内，不超过4吨。要想实现载人登月，必须首先保证人能够安全返回，人才是第一位的。为了这一目标，登月时不仅要带上发射时用的东西，还要带返回时用的东西，在当今的技术条件下，这些东西加起来重量起码在30吨以上。

虽然“长征”系列运载火箭的发射成功率超过了90%，但是该系列12种型号的运载火箭只进行了70多次的发射，平均每种运载火箭6次左右，发射次数还太少。而且，目前“长征”系列运载火箭使用的助推剂是四氧化氮和偏二甲肼，这些推进剂有一定的腐蚀性和毒性，不利于环境保护，国外现在都已经开始使用氢氧、煤油等清洁助推剂。因此，运载火箭的运载能力、可靠性和环保指标等问题，都将有可能影响到中国航天事业的国际竞争力。

在研制卫星及卫星轨道的设计上，我国已取得了丰富的技术积累和经验。在此次嫦娥一号奔月过程中，必须进行2—3次的轨道修正，以便及

时观察卫星的轨道运行情况，如有差异，就得马上修正。其中最为关键的是，当卫星进入月球引力区时，要对卫星进行适时“刹车”，由其被月球引力捕获。倘若“刹车”晚了，就得撞到月球上去，而“刹车”早了，则会飘向太空。这是一项非常核心的技术，经过反复地设计与核算，我国科学家突破了这项技术难题。

然而，载人飞船与卫星不可同日而语。前者在功能要求、可靠性、技术等诸多方面，都与后者有着巨大的差别，我国在这方面尚无技术积累，经验亦无从谈起。像一张巨幅白纸一样摆在中国科学家和工程技术人员面前的还有，宇航员出舱技术，宇航员在月球表面暴露活动技术，指令舱与登月舱的交会对接技术，这其中也涉及方方面面的大量难题需要解决。

此外，还有专家认为，与将卫星送上月球比起来，更困难的是精确测控技术和数据通信技术。我国现有的测控网是为地球卫星设计的，测控距离和测控精度离月球探测尤其载人登月还有很大的距离。

飞往月球的卫星要与地面联系，并受地面控制，同时反馈信息。地球大约24小时自转一圈，同时月亮27天左右绕地球公转一周。而我国国土所覆盖的时区有限，当我国国土所在的那部分地球表面转到背向月球方向时，将无法观测到卫星。当卫星运行到月球的背面时，地面上也将无法向其发送指令，收不到它发回的信号。还有，地月间38万余千米的距离，即使是无线电波也要走1秒多钟，对卫星的测控必然会出现时间上的延迟。倘若不能保证及时有效的数据上传和下载速率，卫星即使发射成功，也极有可能传不回信息，甚至会失去控制，成为一个飘浮在太空里的废物……

这便是让国际航天界都感到头痛的“遥测瓶颈”。

为了打破这一瓶颈，美国人大动干戈，不计血本，在全球建了三座测控站，除了设在本土加利福尼亚州的一座，还在澳大利亚的堪培拉和西班牙的马德里各建一座，每一座相隔经度 120° ，以保证总有一个站能观测到卫星。此外，美国还有数座直径为70米、36米和26米的接收天线，已经具备了探测太阳系的能力。

相比之下，在此次嫦娥一号绕月飞行中，我国已在原来用于测控地球卫星和载人航天的USB系统外，再增加了一个名为VLBI的测控系统，该系统主要由上海和乌鲁木齐25米的天线，新建的北京密云50米的天线和云南昆明40米的天线组成。后两个天线是目前我国最大的天线。即使如此，所能观测到的卫星的时间一天里大概只有6—8个小时。为了实现一天24小时观测，还得与国际上联合起来，利用别国的天线共同连接以测定其位置……

从1969年7月16日“阿波罗11号”登上月球算起，到绝对体现了中国人迈向深太空领域并决心拥有一席之地嫦娥一号卫星发射，已经过去了38年。

对于国人关注的载人登月问题，欧阳自远在第三十六届世界空间科学大会上所做的报告中说——

在今后的10年之内，世界上没有任何一个国家有能力载人登月，这就是现实……

我们中国一次也没有上去过，哪能那么快就能载人登月？

遑论登月，就是在探月阶段，从第一期的卫星绕月探测，到第二期的着陆器与月球车软着陆以精细地探测某一区域，中国已经落后于美国、欧洲、俄罗斯与日本。

最近的一个例子是，2006年9月3日，经过绕月飞行2000多圈，圆满完成各项探测任务后，欧洲航天局3年前发射的月球探测器“智能一号”，以每秒2000米的速度，及与月球表面几乎平行的 1° 角，在月球上被称为“完美之湖”的火山岩撞击坑着陆。由于这一撞击过程与石片在水面上打水漂相似，英国《泰晤士报》评论说，这次撞击过程是人类历史上迄今最大的一次“打水漂”游戏。“智能一号”以身“殉职”的这最后一撞，为的是在月球表面“撞”出高达19千米的尘埃，以利天文学家们对月球表面物质做进一步的观测研究。

第三期工程是用小型采样返回舱采回月球样品，这部分美国、俄罗斯亦取得相当成果，而中国要进入第三期工程并完成它，怎么样也得花上十

几年的工夫。

而且，至今，无人驾驶的探测器，已经访遍了太阳系里的主要的大行星及它们的一些卫星，还有“先锋一号”向着太阳系日球层的边缘一往无前、视死如归地飞去。除了在探月上中国人正在奋起直追外，在其他方面还都是空白。

再有，即使在近地轨道上，在已有的800多颗正在运行的卫星里，美国就拥有400多颗，比其他国家拥有数量的总和还多。俄罗斯有80多颗，中国还不到40颗，几乎与日本相当……此外，中国还没有航天飞机，没有空间站。

我们的欣慰应该远多于豪情，这份欣慰就是，在人类活动的领域又一次向太空拓展的节骨眼上，中国总算挤进了国际太空俱乐部。

全体嫦娥人经过三年多的努力拼搏，各大系统产品已全部完成。发射前的各项工作和发射后的各种准备工作都已全部到位、就绪，工程已经进入了发射的倒计时。作为当代嫦娥人的一分子，欧阳自远相信，这一步已经清晰地告诉世界，中国在未来的深空探测领域，必能开创一个全新的窗口，垦活一片肥沃的土地。

骄傲的时刻



2007年10月24日，世界的目光汇聚到中国。而欧阳自远的目光紧张地定格在嫦娥一号身上。那是承载了欧阳自远太多梦想、太多付出的“嫦娥”。同时，欧阳自远清楚地知道，那同样是承载了无数国人梦想和付出的“嫦娥”。

嫦娥飞天，只有成功。

24日18时05分，西昌卫星发射中心指挥大厅内紧张有序，各条指挥线各就各位，现场的许多人都屏住了呼吸。调度员的声音清晰有力：“10、9、8、7……3、2、1，点火！”一声令下，长征三号甲火箭托举着我国第一颗月球探测卫星——嫦娥一号在群山怀抱的西昌卫星发射中心，从整修一新的三号塔架点火发射。火箭点火时瞬间爆发的巨大声响震天动地，排山倒海，现场的所有人都被它的威力深深地慑服。发射塔下40米深的导流槽里事先注入的400吨水顷刻间化为一阵白雾。随着火箭的拔地而起，穿越四周的重重群山，穿越厚厚的云层，直刺苍穹。

火箭点火148秒后，火箭一二级分离；第271秒，火箭二三级分离；第1249秒，火箭三级二次点火；第1373秒，火箭三级二次发动机关机；火箭点火24分钟后，星箭成功分离，长征三号甲火箭圆满完成了其历史使命。

19时09分，北京航天飞行控制中心宣布，嫦娥一号卫星准确入轨，进入轨道倾角为 31° 、近地点高度205千米、远地点高度50900千米、周期约16小时的地球同步转移轨道。按照飞行程序，卫星依次展开太阳翼和定向天线，建立巡航飞行姿态，顺利完成发射阶段的各个动作，进入环绕地球的调相轨道段飞行。

这是长征系列火箭的第103次飞行，也是迄今成功率百分之百的长征三号甲运载火箭的第15次发射。长征三号甲再一次用成功宣示它无愧于“金牌火箭”的光荣称号，也把中华民族的探月梦想高高托起。

嫦娥一号卫星的发射窗口是10月24日18时05分至40分之间，火箭必须在这35分钟内发射升空，其中，18时05分又是最佳发射时机。如果发射时间推迟将导致入轨点偏差，而修正入轨偏差需要消耗卫星的推进剂。嫦娥1号卫星的发射与最佳发射时机仅仅误差4.6秒，实现了“零窗口”发射的要求，完成了工程领导要求的准时发射、准确入轨的目标，大大节省了后续轨道修正所需的燃料。这是绕月探测工程卫星、火箭、测控、发射场和地面应用五大系统精心组织、充分准备、保障到位、大力协同、共同努力的成果。

至此，嫦娥一号卫星的发射取得了圆满成功！

欢呼声响彻中华大地，欧阳自远的心却依然紧张地揪着。嫦娥一号进入绕月球200千米使命轨道，才标志着真正意义上的成功。而这期间的任何风吹草动，都可能伤筋动骨，甚至功败垂成。

北京时间10月25日17时55分，嫦娥一号卫星在16小时周期的大椭圆轨道上飞行一圈半到达远地点，北京航天飞行控制中心按照预定计划，向在太空飞行的卫星发出变轨指令，对其实施第一次远地点变轨，目的是抬高卫星的运行轨道，增加卫星测控的覆盖范围。

指令发出130秒后，卫星近地点高度由约205千米抬高到约593千米，第一次远地点变轨圆满成功。这次变轨表明，嫦娥一号卫星推进系统工作正常，也为随后进行的三次近地点变轨奠定了基础。

10月26日17时33分，嫦娥一号卫星飞行至16小时周期轨道的近地点，地面控制人员再次发出指令，卫星上的推力为490牛顿的发动机点火，卫星飞行加速，开始实施嫦娥一号的第一次近地点变轨，也是卫星的第二次变轨。

17时44分，在太平洋上执行任务的远望三号航天测量船根据获得的卫星跟踪测量数据，准确计算出嫦娥一号卫星的运行轨道，卫星顺利进入周期为24小时，近地点高度593千米、远地点高度71600千米的地球停泊轨道，第一次近地点变轨获得成功。



嫦娥一号月球探测卫星

自10月26日17时33分至29日17时，嫦娥一号卫星在周期为24小时的停泊轨道连续飞行3天。北京时间10月29日17时49分，嫦娥一号卫星飞行至周期为24小时轨道的近地点，北京航天飞行控制中心对嫦娥一号卫星下达指令，卫星上的发动机再次点火，开始实施第二次近地点变轨。18时01分，太平洋上的远望三号航天测量船传来消息，嫦娥一号卫星顺利完成了第二次近地点加速，卫星进入了近地点高度593千米、远地点高度119800千米的大椭圆轨道。卫星绕地球一周的飞行时间由24小时变为48小时，第二次近地点变轨成功。

10月30日17时，嫦娥一号卫星飞行至48小时轨道远地点，此时距离地球约119800千米，突破了此前由“双星计划”探测器保持的7万多千米距离的纪录，开创了我国最远航天测控的新纪录。

10月31日17时15分，地面控制人员发出卫星遥控指令，嫦娥一号卫星

上的推力为490牛顿的发动机再次点火，卫星开始加速飞行，784秒后发动机正常关机，卫星的飞行速度由火箭分离时的10.33千米/秒提高到10.58千米/秒。这次加速的目的是将卫星送入近地点600多千米、远地点40多万千米的奔向月球的轨道。

根据变轨后的地面测量数据，嫦娥一号卫星按预定的时间、位置、速度成功进入了近地点614千米、远地点41万千米的地月转移轨道。“嫦娥”在恋恋不舍地绕地球“三回首”（一次远地点变轨和两次近地点变轨）之后，终于踏上了奔月的漫漫旅途。从10月31日开始，嫦娥一号将逐步脱离地球的引力，奔向月球。嫦娥一号与欧阳自远的距离越来越远，他的心却时刻将她牵挂，欧阳自远从心底祝福她一路走好。

按照最初的设计，嫦娥一号卫星在奔向月球的旅途中将进行三次轨道修正，让她沿着正确的道路奔向月球。11月1日，鉴于卫星的飞行路线非常准确，负责嫦娥一号卫星飞行控制的专家组经过集体讨论，决定取消原定于当天实施的轨道中途修正计划。

11月2日上午10时25分，嫦娥一号卫星上的两台小型推力器（推力为10牛顿）点火，对卫星的奔月轨道进行轻微地修正，目的是消除由于发射窗口延后、卫星入轨偏差、第一次远地点变轨和三次近地点变轨实施过程中的轨道误差。根据轨道修正后的地面测量数据，第一次中途修正实现了预期目的，鉴于这次轨道调整非常成功，飞行控制专家组决定再次取消原计划11月4日上午11时进行的轨道中途修正计划。

11月5日上午11时，嫦娥一号卫星已经飞行到距离地球39万千米的位置。11时15分，地面控制人员发出遥控指令，卫星上推力为490牛顿的发动机点火，与前几次发动机点火都是为了使卫星飞行加速不同的是，这次发动机推力的方向与卫星的飞行方向正好相反，点火的目的是为了使卫星飞行减速，被月球捕获。11时25分，卫星距离月球表面最近的距离只有211千米。11时41分，嫦娥一号卫星被月球“成功捕获”，恢复巡航姿态，进入近月点为211千米，远月点为8500千米的绕月轨道，绕月球运行

一周的时间为12小时。这一刻，嫦娥一号卫星终于成为一颗真正的绕月卫星，中国人第一次拥有了月球卫星；这一刻，嫦娥一号的全体研制人员为之奋斗了四年多；这一刻，指挥大厅爆发出一阵热烈的掌声，闪光灯和摄像机镜头对准了参与探月工程的科技人员。

当指挥大厅里宣布嫦娥一号卫星被月球成功捕获，终于成为一颗真正的绕月卫星时，欧阳自远热泪流淌。想起人类的探月历史上有太多的月球探测器没有被月球捕获而失败，我们终于成功跨越了这个难关。他看到总设计师孙家栋热泪盈眶，跑过去相互紧紧拥抱，两位老人抱头痛哭！这是冲破千难万险成功的眼泪！这是喜悦自豪的眼泪！这是深情感恩的眼泪！当中央电视台的摄像机对准欧阳自远，希望他谈谈现在的心情，欧阳自远激动的眼泪流淌着，用他沙哑的嗓子自言自语地说：“绕起来了！绕起来了！绕起来了！”这是欧阳自远的真情，也是“嫦娥一号”的心情，好像是嫦娥一号在向世人宣告她“绕起来了！”

当天，胡锦涛总书记和温家宝总理给全体参与探月工程的科技人员发来了贺电。胡锦涛总书记在贺电中写道：“欣闻‘嫦娥一号’第一次近月制动取得圆满成功，卫星已进入环月轨道，我谨向参与‘嫦娥一号’研制、指挥、测控和保障的全体同志表示热烈祝贺和亲切慰问！望再接再厉，夺取绕月探测的新胜利。”温家宝总理在贺电中写道：“欣悉‘嫦娥一号’绕月探测卫星成功实现近月制动，进入绕月轨道，我谨向参与工程的全体同志表示热烈的祝贺和亲切的慰问！希望同志们继续按照高标准、高质量、高效率的要求，一丝不苟，精益求精，大力协同，扎实工作，确保绕月探测工程取得圆满成功！”

11月7日11时21分，嫦娥一号卫星在环绕月球的12小时轨道上运行两圈，在第三圈开始的时候，卫星上推力为490牛顿的发动机点火，卫星开始进行第二次近月制动，与第一次近月制动相同，发动机推力的方向与卫星的飞行方向相反，目的是为了卫星飞行减速，将卫星绕月球的运行周期由12小时缩短为3.5小时。

根据第二次近月制动后的地面测量数据，嫦娥一号卫星成功进入了近月点213千米、远月点1700多千米，绕月球运行一圈的时间为3.5小时的环月轨道。

11月7日8时24分，嫦娥一号卫星在3.5小时周期的绕月球轨道上已经运行了6圈，卫星上推力为490牛顿的发动机点火，卫星开始进行第三次近月制动，同样是为了使卫星飞行减速，将卫星绕月球的运行周期由3.5小时进一步缩短为127分钟（2.12小时），进入嫦娥一号卫星开展科学探测的工作轨道。

嫦娥一号卫星从发射升空到准确进入环月工作轨道，一共经历了主动段、调相轨道段、地月转移轨道段和环月轨道段等4种不同的轨道，经历了一次远地点变轨、三次近地点变轨、一次中途修正、三次近月制动等8次变轨过程。嫦娥一号卫星的变轨误差从设计指标要求的2%提高到实际变轨误差为4%以内，比设计要求提高了整整50倍，几次变轨都取得了圆满成功，实现了“精确测控、准确变轨”的要求。

11月10日，嫦娥一号卫星发射后的第17天。这一天太阳、嫦娥一号卫星、地面测量站三者之间的夹角缩小至 5° — 8° 之间，太阳产生的强大的电磁波将干扰地面站天线对卫星信号的接收。科技人员对这次日凌的发生时间做了准确的预报，对可能造成的影响做了精确的分析，并提前做好了各种应对措施。根据事后的数据分析，本次日凌发生期间，地面站对卫星的跟踪过程正常，遥测数据接收正常，嫦娥一号卫星工作正常。

11月20日16时49分00秒，嫦娥一号卫星上的CCD立体相机开机。紧接着，中国科学院国家天文台的密云地面站和昆明地面站同时收到来自嫦娥一号卫星上的科学探测数据，17时27分00秒，CCD立体相机关机。绕月探测工程地面应用系统的科研人员在深入分析和处理探测数据之后，调整参数设置，使立体相机获得最佳的成像效果。

11月26日上午9时，嫦娥一号卫星正在进行第223圈的绕月飞行，党中央、国务院、中央军委在北京航天城隆重举行嫦娥一号卫星第一张月面图

片发布仪式，同时播放了嫦娥一号卫星从遥远的环月轨道传回的语音和歌曲《歌唱祖国》的片断。温家宝总理出席了发布仪式。第一张月面图片是探月工程地面应用系统在对嫦娥一号卫星从距离地球38万千米的环月轨道传回的第一批图像数据进行处理后，形成的清晰的可见光图片。第一张月面图片的发布，标志着我国首次探月工程取得圆满成功。

11月26日以后，嫦娥一号卫星上的其他7种科学探测仪器相继陆续开机，在经过一段时间的在轨测试之后，卫星转入长期管理和业务运行阶段。

在接下来的12个月内，嫦娥一号卫星将在周期为127分钟的环月轨道上运行一年，对月球开展全球性的综合科学探测。卫星获取的科学探测数据按照标准数据格式进行预处理之后，将在首席科学家的领导下，组织全国科学家开展科学应用和研究工作，实现嫦娥一号的四大科学目标，即获取月球的三维立体影像，探测月球表面物质的组成，探测月壤特性，探测月球的空间环境，获得中国人探测月球的第一手资料，为我国月球探测的二、三期工程打下坚实的基础。

嫦娥一号是我国自主研发的第一颗月球探测卫星，其发射成功，标志着我国实施月球探测工程迈出了重要一步。

欧阳自远和同事们相拥而泣。为了嫦娥一号，几年来，这些人从没睡过一个踏实觉。现在，“嫦娥”终于成功飞天揽月了，大家也终于可以好好地睡一觉了。

欧阳自远不由想到一位同事的故事。2006年9月，一位年轻的主任设计师正在云南昆明进行一项重要的对接试验。他的女儿在北京某医院呱呱坠地，妻子打来电话，他在电话里听着初生女儿的啼哭声，憨憨地笑着。当妻子询问他什么时候回去看看女儿时，他不由得落下泪来。“嫦娥”成功飞天揽月后，欧阳自远走到这位年轻同事身旁，关心地问：“还没见到女儿吧？”对方笑笑，说：“快了！”

正是无数个这样心怀祖国、心怀飞天揽月梦想的“嫦娥人”的无私奉献

献，才迎来此刻“嫦娥”的成功飞天揽月。欧阳自远为能够拥有这样志同道合的同人而骄傲、自豪、欣慰。

嫦娥一号的成功发射，举世瞩目。海内外媒体和舆论纷纷赞扬中国这一壮举，标志着在人类进入深空探测的伟大进程中，中国站在世界的前列。

“嫦娥奔月”是中国人民流传千年的传说，以嫦娥一号命名中国的绕月工程，并且发射成功，不仅圆了中国人民的千年之梦，也显示了今日的中国人民已经不满足于吟风弄月，不只是把圆月当作人们情思柔肠的寄托，更把月球当作人类探索太阳系奥秘，进行深空探测的必经之路，同时也寄托了中国人民的强国之梦。

欧阳自远的心，一直运行在探寻太空的轨道上。不辞辛苦，不计得失，几乎用了自己一生的精力，奔走在地月间。

“零窗口”发射

嫦娥一号卫星发射时，“零窗口”一直是关键词之一。所谓“零窗口”，即指在预先计算好的发射时间，分秒不差地将火箭点火升空，不允许有任何延误与变更。

在“零窗口”发射时火箭的发射时间几乎没有调整的余地，通常采用定时控制火箭点火的办法来实现“零窗口”的发射。如果火箭不能准时发射，则要推迟发射，等待下一次发射窗口，甚至要推迟一天或若干天才能发射。所以“零窗口”发射对火箭可靠性提出了更高的要求。

嫦娥一号的发射窗口预留了35分钟，在这35分钟内都可以发射。但在最后一分钟发射与在第一分钟发射相比，卫星燃料将要损失120公斤，这对总共只有1200公斤燃料的嫦娥一号是很大的损失，将直接影响其工作时间和工作寿命。如果由于特殊原因在这35分钟内不能正常发射，就只能取消发射计划，推迟到第二个月重新确定发射窗口。

早期火箭的发射窗口是根据光学观察条件来确定的，发射时间一般选择在凌晨或傍晚，这时太阳处于地平线的位置上，阳光能照射到火箭，而大地处于比较暗的环境中，产生较大的反差，形成较好的光学观察条件，以便对火箭飞行进行光学测量研究。

应用卫星出现后，卫星对发射条件的要求更为复杂，这时光学观察条件成为极为次要的条件。由于卫星的功能、用途各不相同，各类卫星对运载火箭发射条件有不同的要求，相应发射窗口也不尽相同。

一般来说，发射窗口主要有下列约束条件：太阳照射卫星飞行下方（星下点）地面目标的光照条件（如气象、资源等卫星）；卫星太阳帆板与太阳光线的相对关系（太阳能电池供电的要求）；卫星姿态测量精度要求的地球、卫星、太阳的几何关系；卫星温度控制要求太阳只能照射卫星某些方向；卫星处于地球阴影内时间长短的要求（太阳能电池供电的要求）；着陆回收时间的要求（如返回式卫星、载人飞船等）；对卫星轨道面的特定要求（如移动通信卫星星座、轨道交会、轨道拦截等）；地球与目标天体相对位置的要求（如月球探测器、行星探测器等）；其他如地面跟踪测量条件、气象条件；等等。

确定发射窗口，实际上是根据约束条件来确定飞行轨道与特定对象（如太阳、月球、交会对象等）之间的相对位置，同时也选择适当的发射环境条件。

根据各项约束条件，各类卫星的发射窗口也各有规律。

资源卫星、照相侦察卫星、中轨道气象卫星等，要求对地面目标区域有较好的光照条件，发射窗口要选择在白天。载人飞船除了要在地面观察外，同时要求在白天返回着陆场，因此发射窗口也在白天，其发射窗口宽度则要受到姿态测量和温控的制约，另外卫星运行区域和载人飞船着陆场区的气象条件也是发射窗口需要考虑的因素。地球同步卫星（包括地球同步通信卫星、地球同步气象卫星等）的发射窗口主要取决于太阳角、地影、日地张角、地面测量等约束条件，因此它与太阳位置、卫星姿态、轨道、卫星控制方式（自旋稳定方式或三轴稳定方式）、轨道变轨方式、卫星的布局形式以及地面站位置等有关。

对不同的卫星即使轨道相同，发射窗口也可能有较大的差别。一般来说，由于发射地球同步卫星时火箭发射段的航程较长，发射点所在的子午

面与转移轨道主轴（轨道近地点与远地点的连线）的夹角较大，而卫星的变轨操作等都是在转移轨道的远地点进行的，如果为了满足太阳角和日地张角等的约束，远地点应处在白天环境下，这时地球同步卫星的发射就要在晚间进行。发射窗口宽度一般为1小时左右。

对于卫星星座、轨道交会、轨道拦截等发射任务而言，由于要求将卫星送入惯性空间中预定的轨道面，因此对发射时间有更严格的要求，发射时间由轨道面在惯性空间中的指向（轨道升交点赤经）确定，在一天24小时内都有可能。发射窗口的宽度取决于轨道面的误差要求。

月球探测器和行星探测器的发射窗口主要取决于目标天体（月球或行星）的位置，发射必须在地球与目标天体处于一定的相对位置之时间范围内进行。如果错过这段时间，地球与目标天体的相对位置发生变化，则相应要调整火箭的发射方位角或飞行路线。

可见，做到“零窗口”绝非易事，而嫦娥一号的团队确实做到了！

为月球画肖像



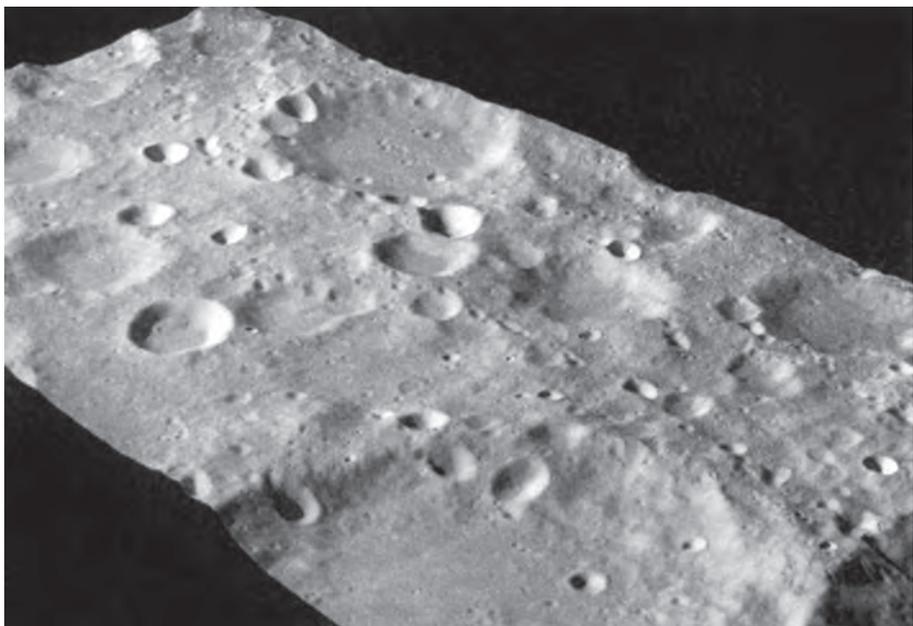
由于月球表面45亿年以来一直受到各类小天体物质的强烈轰击，表面覆盖了一层3—20米厚的尘土与角砾，真正的基岩物质露出的较少。因此，月球成分、地质构造、内部结构和演化等诸多信息不得不从其地形地貌中提取，这就使探测地形地貌有了更深层次的内涵。

例如，通过月球地形地貌的探测与研究，可以划分月球表面的基本地貌单位、划分月球的断裂和环形构造，进而分析月球全球构造格架，探讨月球地质构造演化史；通过月球地形地貌的探测与研究，可测量和分析月球撞击坑的形态、大小、分布、密度等，为类地行星表面年龄的划分和早期演化历史的研究提供基本数据。尤其是对一些典型撞击坑，分析其成坑机制、反演其撞击过程，探讨并区分撞击成因和火山成因的环形构造特征，进而探讨类地行星早期撞击演化的共性与特性；通过地形地貌与地质构造特征的分析，演绎和研究质量瘤的分布特征和月球内部质量不均匀演化的模型；通过月球地形地貌的探测与研究，还可以为月球探测后续工程（如着陆点、月球基地等的选择）提供基础性科学数据等。因此，月球地形地貌特征可以为月球本身现状、演化历史提供最直接的证据，对其表面形貌特征的探测、辨识、划分与研究，一直是国际月球探测的最重要内容之一。

17—18世纪，许多人用望远镜观测月面的形貌与结构，并手绘月面图，这导致了研究月面上各种特征地形的位置、命名、形态和构造规律等的分支学科——月面学的诞生。然而，人眼并不是理想和客观的信息接收器，它往往会存在这样或那样的错觉，带有相当严重的主观性。我们的日常生活中也不乏这样的例子。对比17—18世纪出版的几本手绘月面图著作，可以看出不同的作者所绘的月面图往往在细节上存在许多差异，这也是人眼的主观性造成的。那么怎样才能获得更客观的月面图和某些月面结构的特写图像呢？

从19世纪下半叶开始，照相方法被广泛用于天文学中。为此，在世界各国的天文台中，原先用肉眼观测的目视望远镜往往被改装成专门用于拍摄天体的照相望远镜。

1880年后，在对月球的观测方面，也都采用明胶干片来拍摄照片，用目视望远镜进行肉眼观测已经退居十分次要的地位。



嫦娥一号月球探测卫星拍摄的第一幅月面图（三维立体图）

20世纪中叶，随着彩色摄影技术、遥控遥测技术和航天技术的发展，月球的照相观测又进入了一个新的时代。美国和苏联都先后为月球照下了更为清晰的图像，为人们研究月球提供了宝贵的资料与素材。

但这一切依然让欧阳自远感觉粗糙，他希望得到品质更高、细节更为丰富的全立体月球图像，中国自行研发的CCD立体相机则以极其优异的工作表现成全了欧阳自远这个心愿。

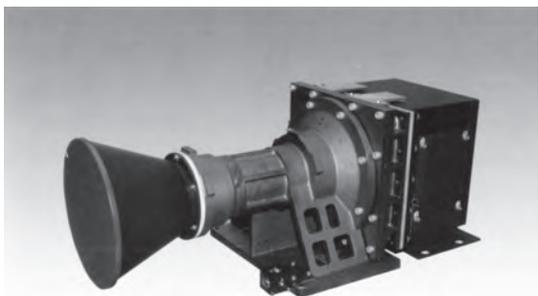
立体相机是进行立体成像的关键组成部分。由于在日常生活中很难接触到，一般人可能会对立体相机感觉比较陌生，但事实上这项技术已经诞生很久了。早在古希腊时代，欧几里得就已经发现，人们左右眼所看到的景物是不同的，这也是人们能够洞察立体空间的主要原因，用现代术语就是双眼视差，这也是立体影像的基本原理。

由于月球表面坎坷不平，普通相机所拍摄到的平面图像不能获得视线深度方向上的影像数据，因此需要使用立体相机。CCD，也称电荷耦合器件，是可用于立体相机的一种重要组成部分。它是一种光敏半导体器件，其上的感光单元将接收到的光线转换为电荷量，而且电荷量大小与入射光的强度成正比。这样，矩阵排列的感光单元构成的面阵CCD便可传感图像。CCD现在被广泛应用于数码相机和数码摄像机中，同时也在天文望远镜、扫描仪和条形码读取器中有应用。

嫦娥一号所使用的CCD立体相机在研制中采用了许多创新技术，如首次提出采用一个大视场光学系统和一片大面阵CCD芯片。它用一台相机取代三台相机，能够实现拍摄物的三维立体成像。立体相机在工作时，采集CCD的输出，分别获取前视、正视、后视图像，随后进行处理，形成立体图像。CCD立体相机以自推扫模式工作，为了重构月表立体影像的需要，在设计上做了特殊处理。

卫星在飞行时，CCD立体相机沿飞行方向对月表目标进行推扫，可以得到月表目标三个不同角度的图像。由于立体相机固定在卫星上不能自由转动，所以它只是随卫星与月球间的相对运动而移动，对月球表面进行扫

描。这台CCD立体相机还以设备的小型化和轻量化提高了对空间环境的适应能力，它降低了有效载荷的重量，这使得火箭的发射能力、卫星的体积和重量及其他配套设施的改造等一系列技术问题的实现难度得以降低。



CCD立体相机

CCD立体相机拍摄的图像，通过信号传输系统传回地面后，相关技术人员再对这些图片进行处理，即“三维重建”，就可以绘制出月表的三维立体影像。

原本欧阳自远还有些担心，月球南北极光线极暗，是不是会影响图像的清晰度，但没想到相机性能极好，经过589轨地不间断工作，中国人得到了自己的第一张全月球照片，而且还是世界上最好、最完整的月球立体全图。

获取完整的月球立体影像资料不仅是为了让大家能看到月球的地貌图片，还具有深远的研究价值。科学家可以根据这些立体画面划分月球表面的构造和地貌单位，制作月球断裂和环形影像纲要图，勾画月球地质构造演化史，并为下一步月球车以及载人登月选择着落地点提供科学依据。

嫦娥一号硕果累累



除了通过CCD立体相机获得国际上变形程度最低、位置精度最高、图像色调最一致和空间覆盖最完整的全月球影像图，成为新的月球“标准像”之外，嫦娥一号还获得了数个领先世界的成果，可谓硕果累累。

第一个需要提到的就是与CCD立体相机并肩工作的激光高度计，激光高度计每一秒钟向月面发射一次激光束，激光束到达月面反射到嫦娥一号的激光接收器，精确测定激光往返的时间，可以获得月面的高程。激光高度计共获得了约916万个月表测高数据，是目前国际上最多的测高采样数据，制作了空间分辨率为3千米左右的全月球数字高程模型。利用覆盖全月球的嫦娥一号立体相机三线阵CCD数据，采用三线阵数字摄影测量方法，解算了全月球的地形数据，制作了全月球三维数字地形产品，数据全球平差的平面中误差为192米，高程中误差为120米；全月球数字高程模型空间分辨率达500米，等高线数据的等高距达500米。全月球数字地形图产品（包括数字高程模型DEM、正射影像和数字等高线图）在数据覆盖范围、平面定位与高程精度、空间分辨率等方面均明显优于国际现有全月球数字地形产品。

第二，建立了月球影像数据和激光高度计数据的处理方法。

围绕获取月表三维影像图，地面应用系统有针对性地开展了一系列的科学试验，主要集中在CCD立体相机图像数据处理与全月球平面图像数据拼接关键技术方法，月表三维影像制作关键技术方法，激光高度计测距数据处理方法，激光高度计高程数据处理方法，激光高度计伪彩色月球渲染地形图制作方法，CCD立体相机图像数据与激光高度计测距数据联合处理方法等。研制了CCD立体相机图像处理软件、激光高度计数据处理软件、月表三维影像演示成果摄影测量数据处理软件、月表三维影像标准产品生产软件等软件产品。

第三，获取了月球表面某些元素、矿物的分布图。

我国首次月球探测在月球化学元素和物质成分方面的探测重点放在某些关键性元素和岩石类型及分布上。嫦娥一号卫星伽马射线谱仪共获取了1103轨有效探测数据，嫦娥一号干涉成像光谱仪共获得了706轨有效探测数据，覆盖了月球南北纬 70° 以内84%的月表区域（相当于全月球的79%）。美国曾对月球上的5种资源进行探测，而嫦娥一号获得了月面铀、钍、钾、硅、铝、钙、镁、铁、钛等元素的全球分布与含量，还有橄榄石、辉石、斜长石和钛铁矿等矿物的全球分布与组成。

第四，全月球四频段微波亮度温度数据。

嫦娥一号微波探测仪共获取了1690轨探测数据，数据累积时间约2642小时，数据多次覆盖了全月球表面。嫦娥一号微波探测仪科学数据包括4个频段的微波辐射亮度温度，是国际上首次采用被动微波遥感技术测量全月球微波辐射信息，进而探测月壤特性，反演月壤厚度。目前已处理得到全月球不同光照条件的微波辐射亮温，探测到月球表面的亮度温度分布明显受到月球地形和物质组成的影响。在此基础上进一步反演全月球的月壤厚度，计算出全月球氦-3的分布、含量与资源总量。

有关这一点，欧阳自远兑现了当初对俄罗斯科学家乃至全世界的承诺。

再有，就是探测近月独特的高能粒子和太阳风离子的能谱、通量及

其随时间的变化数据。在嫦娥一号月球探测卫星上安装一台太阳高能粒子探测器和两台太阳风离子探测器，进行月球轨道空间环境探测。嫦娥一号在轨运行期间，多次经过月球背面的屏蔽区、行星际空间、地球磁层的磁鞘和磁尾区等4个空间区域。高能粒子探测器共获取了1846轨有效探测数据，累积时间为2868.5小时；太阳风离子探测器获取了1815轨有效探测数据，累积时间为2852.3小时，其中约60%的时间处于太阳风中。

空间环境探测数据的初步分析和对比研究，发现它们与地球磁场和月表带电粒子之间相互作用过程中的一些独特物理现象。太阳风离子探测器还监测到月球两极日夜交界面附近从日侧向夜侧速度逐渐增加的粒子流、月球向阳面的太阳风离子反射现象等空间环境事件。这些事件揭示了太阳风中的等离子体物理过程和与月球相互作用过程，将加深我们对太阳风与无大气弱磁化天体相互作用的认识，对丰富太阳辐射及其与地球磁场和行星（月球）的相互作用具有特殊的意义。进一步深入地分析与比对研究，有望获得更多的科学发现。

嫦娥一号的实施，突破了大量关键技术，提高了企业的产品质量，降低了成本，扩大了市场；建立了我国深空探测的工程体系和基础设施，培养了大批年轻的科学技术骨干，国内外发表了200多篇论文，200多项专利，制定了几十项国家标准，圆满完成了工程目标和科学目标。

英雄

嫦娥一号已经完成了她的使命，她也将走上生命的终点。2009年3月1日，按照原定计划，嫦娥一号将受控撞向月球，从此香消玉殒，葬身他乡。

即便在生命最后的终结时刻，嫦娥一号仍然实践着自己的使命，完成了最后一项工作，那就是获得撞击月球前的高分辨月面影像。

嫦娥一号卫星经轨道调整、速度减为1.627千米/秒后，目标瞄准撞击点，当卫星降落到距离月面59千米高度时，CCD立体相机开机，边下降边拍照。从开机拍摄到撞击月面的15分钟内，CCD立体相机工作到最后一刻，一共下传撞击前1469千米的高分辨月面影像，为研究月面精细结构提供了高质量素材。2009年3月1日16时13分10秒，嫦娥一号卫星准确撞击月球东经52.36°、南纬1.50°的丰富海预定撞击点。

在这样一个悲壮的时刻，欧阳自远这位老人痛心不已，甚至情不自禁地痛哭流涕。嫦娥一号，是他呕心沥血、精心耕耘了10年才得出的成果，欧阳自远对她的珍视程度，不亚于自己的孩子。

一年之后，在一次中秋赏月的活动中，欧阳自远向著名学者、作家苏叔阳说起了这段故事，苏叔阳听后感慨不已，便写下了一篇《我是嫦娥》

的美文，刊登在《人民日报》上。两位老者的的心灵交流，既是对月亮的向往，也是对嫦娥一号的缅怀：

……

谈到这里，他忽然停下来，深深地吸了一口气，仿佛要传达给我一个极为重要的信息。窗外的火树银花暂时歇息，好像都要聆听“嫦娥之父”的讲话。他喝了一口水，轻轻地说：你知道，探测器在完成了预定的项目之后，是要解体的，嫦娥一号已经超期服役了4个多月……他的声音好像有些颤抖，我看出他在压抑着自己的情绪。少顷，他说：我们决定让“嫦娥”完成最后一个任务：撞击月球，拍摄撞击全过程的月面影像图。我们在月球表面寻找了一个撞击点，就是月球的丰富海，而且要她在月球的白天撞击，以便清晰地拍摄撞击月球的历程。2009年3月1日在地面控制下，嫦娥一号开始轨道调整、速度减为每秒1627千米，在距离月面59千米的高度打开CCD立体相机开始拍照，拍下她英勇撞击月球的路径。CCD立体相机记录了1469千米撞击月面的影像图。“嫦娥”无声息地、准确地随着我们的指令调整姿态，减慢速度……要知道她如同我们的儿女，是我们制造了她，赋予她神圣的使命，她系着我们的心。她每一次动作我都像听见她在诉说“我是嫦娥，我是嫦娥，我在听从您的命令，忠实地完成我的使命。”2009年3月1日16时13分10秒，嫦娥一号准确地撞击在丰富海预定的撞击点上，腾起巨大的烟尘，那一刻，我仿佛听见她在呼喊：“永别了地球，永别了祖国、亲人……”她就这样地粉身碎骨了，毫无怨尤，埋在异乡。

这时我分明看见院士润湿的眼睛。窗外的烟花又陡地升起，在风雨交加的夜空绽放，这也许是对英勇献身的嫦娥一号的颂赞和安魂曲。也许是对即将升空的嫦娥二号的壮行。但我却受到了一次实

实在在的教育：伟大的科学研究需要献身精神，需要科学家激情四射的诗情。科学是诗，科学家是讴歌大自然的诗人。让我们低下头向这些科学家致敬！

欧阳自远曾在众多场合下，屡次深情地向大家强调：嫦娥一号是英雄！

其实，堪称英雄的又何止嫦娥一号，为了让嫦娥一号获得的数据资料得到更好、更全面地开发和利用，欧阳自远和他的团队以及全国各高等院校和各科研院所都可以及时、无偿获得各类、各等级的科学探测数据，只保留了一年的优先使用权。根据国际惯例，一年之后，他们将这些探测资料全部对外公开，供国外任何有能力、有志于此的科学家做各种分析。有人担心，假如外国人用我们的数据作出高水平研究成果怎么办？欧阳自远坦然地回答，人家比我们高明，就向人家学习。其胸襟之博大，实在是高山仰止。欧阳自远却始终不以为意：“花的是纳税人的钱，所得到的成果就应该全国共享。”

欧阳自远和他的工作团队也称得上是真正的英雄，也只有这样的英雄才能完成如此伟大的工程。

第十章 嫦娥二号

作为嫦娥一号的备用星，嫦娥二号承担着承上启下的重大任务。再次出色完成对月球的考察任务之后，嫦娥二号又肩负起了勘测太阳和小行星的另类任务。

在欧阳自远设计的探月工程中，需要多个团队、无数人的辛勤工作，才能真正实现。我们不能将这些团队一一说道，在这里，仅举几例，让大家了解到中国航天人的辛劳与伟大。

嫦娥二号的特殊使命

嫦娥二号原本是一号的备份星，假如嫦娥一号发射失败了，它就会被用来再做一次尝试。这也形成了一个惯例，凡是单数号都是正式星，而偶数号，都是前一个的备用星，假如出现任何问题，它们都会继续肩负“前人”留下的使命。

但是，嫦娥一号取得了圆满的成功！

自从嫦娥一号成功上天后，关于嫦娥二号该何去何从的问题就被摆到了桌面上。终究是花费巨资建造的高端设备，不可能就这样白白废弃，更不能随随便便就把她放到天上。每次发射，都要取得世界先进水平的科研成果，这才对得起整个团队的不懈努力，才对得起纳税人的金钱，这是欧阳自远念念不忘的信条。

欧阳自远大胆和超前的想法是把嫦娥二号放到比月亮远得多的地方，那就是全世界科学家乃至全人类都十分关注的星球——火星！中国第一次上火星探测的科学目标与月球探测大同小异，只是相关的科学探测设备需要作一些调整，但是更多的技术难题他要向孙家栋请教。

孙家栋一直在思考嫦娥二号的使命和走向，最好的出路是探测火星。孙家栋找到欧阳自远征求意见，两人完全不谋而合！孙家栋召集运载火

箭、探测器、测控和地面系统的各路专家，与欧阳自远一起开始了紧张而又细致的调研与论证工作。火星探测方案在各领域专家的周密论证下，万事俱备的嫦娥二号力争2009年发射探测火星。毕竟是要走到遥远的地方，从理想到现实，绝非只是摆在桌面上的报告文件那么简单。经过论证之后，此方案是可行的，这让欧阳自远异常兴奋，但要严肃认真地对待有些尚待解决的技术问题。由于火星的发射窗口26个月才有一次，2009年是极好的机遇，最晚2011年完全具备条件发射。但随即发生了一些难以理解的制约，有些人的一些不当决策，致使中国的火星探测将贻误8—9年。这让孙家栋这位身经百战的航天界权威失望不已，更是让壮心不已的欧阳自远感到遗憾和懊丧。

嫦娥二号的使命经探月工程领导小组决定，她的目的地还是月球，承担嫦娥三号的先导星任务。欧阳自远把自己的全部精力投入嫦娥二号的科学目标研究。

嫦娥二号使命的更改，包括科学目标和工程目标需要重新设计、要完成哪几项关键技术试验，以及提高和改进探测仪器的技术指标和性能等等。软件、硬件、设施，都得要配套。不是说谁一说要这么干就能干的，而是要经历长时间的很复杂的准备，各个系统忙得要命。

作为中国探月二期工程的技术先导星，嫦娥二号将试验直接进入奔月轨道，4—5天到达月球，飞行高度为100千米，获取全月球分辨率为7米的影像图；对嫦娥三号着陆区进行分辨率为1米的高精度成像。此外，嫦娥二号还将延续嫦娥一号的科学目标，对月球表面元素分布、月壤厚度、地月空间环境等做更进一步的科学探测。

为梦想铺路的优秀团队

在嫦娥二号发射场总装阶段，有一支队伍以高昂的斗志、严谨的作风和良好的风貌，攻克了一个又一个难关，他们继续为嫦娥奔月的梦想搭桥铺路。

嫦娥二号卫星使用的运载火箭与嫦娥一号卫星相比有所不同，因此搭架操作流程和方法都发生了很大改变，嫦娥一号卫星总装过程中的不少成熟经验都难以继承。针对这种变动，需要设计新的塔架工装来完成发射前星表操作。直到出厂前，此项工作才提上日程并交由这支队伍负责。但工装操作接口需要与基地进行充分有效地协调，协调工作占用了大量的时间。最后留给塔架操作工装设计和加工仅有不到一个月的时间，难度可想而知。试验队领导当机立断，一边工艺人员加班加点进行方案设计，并在三维模型中充分验证，由整个团队对方案进行评议；一边与加工厂家及时沟通，开始进行初步加工。面对未定型的实物，大家集思广益，工装方案先后进场三次修改，两次返修，目的就是保证塔架上操作的安全性和可行性。经过共同努力，终于在工装装车前一天完成交付，确保了发射场塔架操作任务的完成。

嫦娥二号卫星进场总装工作从卫星开仓开始，到卫星合舱、包覆多

层隔热组件。这是发射场总装工作中最重要、工作量最大的一个阶段，在这个阶段，全体试验队员以自己的行动诠释了“工作零疑点、质量零缺陷”。

发射场工作伊始，各岗位人员都签订了岗位职责卡，在每日班前会上明确工作内容，并填写岗位工作记录卡，主动交流，明确关键点或危险点及需要采取的措施，确保每日工作圆满完成；加强培训，以老带新，认真学习工艺文件和规范制度，讨论工作中的重点难点，有效规避风险；在工作中，分队领导、工艺人员、质量技术人员现场跟产，有效保证了操作过程的正确性和产品质量的可追溯。

嫦娥二号卫星发射场最后一次合舱是非常关键的一项操作，必须确保舱内装台与各分系统的要求完全符合。为此制定了详细的执行记录表，由操作人员、检验人员严格按照执行记录表检查，并由各分系统人员确认。确保了舱内电缆插头打保险、电爆管打保险、绝缘保护、引线焊接、工艺保护件、电缆过孔保护等状态的完整性和正确性，操作过程严格控制，杜绝漏项。试验队还提出了“四防、三查、两想、一保”的操作规则，保证卫星合舱一次成功。

每个阶段的工作完成后，试验队都会积极进行回想和复查，对各项质量记录进行复查，确保执行结果全部符合设计要求。

全体试验队队员信心百倍，他们努力团结协助，以成功报效祖国，用卓越铸就辉煌。

天南海北的星地对接试验

2010年6月9日，北京时间凌晨1点，在狭长而闷热的标校塔里，已经连续工作了十多个小时的嫦娥二号星地对接试验队员们还在等待地面站发出最后一条指令。在得知地面站发令后，十几双眼睛牢牢地盯住遥测监视界面，1秒、2秒、3秒……界面显示数据正常，表示卫星上已经成功接收到地面指令。总指挥一句“任务完成，大家辛苦了！”话音未落，早已按捺不住兴奋的小伙子们已经冲出门外，胜利的欢呼声响彻了喀什宁谧的夜空。

喀什是嫦娥二号星地对接试验最后一站，此站对接的顺利完成标志着嫦娥二号星地对接试验取得圆满成功，为后续发射任务提供了坚实的基础保障。

自2009年7月以来，十几位试验队队员们扛着几百公斤的设备辗转于江阴、上海、北京密云、昆明、北京704所、成都、圣地亚哥、青岛、喀什等9地，历经波折，行程数万里，最终成功完成了所有星地对接试验。每当队员们回想起一年来的星地对接试验，如同发生在昨日，历历在目。

2009年7月，江阴。

嫦娥二号星地对接试验第一站是江阴，原本温婉的江南水城给了队员

们一个下马威。对接试验进行了6天，天天都是40℃的高温。此次对接需要分别在三条测量船和一个塔上进行，队员们要扛着28个设备箱顶着酷热转战四个地方。最艰苦的要数塔上作业，尽管几平方米大的塔顶上有一个破旧的小空调能够释放点凉气，但由于塔的四壁是开放的，外边的热浪仍然侵袭进来，叫人喘不过气。操作间在一个屏蔽笼里，大约2平方米的面积，需要有专人在里面进行全封闭操作。为了保证笼内人的安全，每隔半个小时，外面就有人使劲敲敲屏蔽笼，大声喊上一句：“到点了，快出来放风吧！”笼内的人一出来，必定说上一句：“还是外面凉快。”然后休息不到几分钟，又钻进笼里……

经过6个日夜的艰苦奋战，队员们战胜了酷暑高温，以精神饱满的装台完成了江阴站的对接试验工作。

2010年4月，圣地亚哥。

原定于2010年初完成圣地亚哥星地对接试验。由于办理出国手续繁多而不得不推迟。好不容易等签证办下来，智利却发生了大地震，出发计划再次推后。4月19日，试验队定好机票，却由于欧洲火山灰的影响，欧洲多条航线航班取消。按照计划节点，时间已经相当紧张，于是试验队临时改变航线，原本由“中国—巴黎—圣地亚哥”的航线变成了“中国—新加坡—南非—巴西—圣地亚哥”，由于路途时间的加长，导致设备自检和与地面站的对接时间缩短。为了抓紧时间，队员们连轴转，到达目的地后顾不上休整就直接投入到对接工作中。经过4天的紧张工作，按既定要求圆满完成了相关工作。试验队员认真的工作态度、良好的精神风貌，赢得了国外同行的赞许。

圣地亚哥站对接试验的顺利完成保住了整个对接试验的节点，最终使星地对接试验按计划圆满完成。

2010年5月，青岛。

5月青岛的雨水特别多，风雨交加的海上也出奇的冷，从北京出发的试验队队员们还只穿着衬衫，看到当地哨兵已穿上军大衣，试验队队员们

也把能穿的衣服全部套在身上，有的最多套4件衬衫在身上，但冰冷的海风还是硬往骨头里钻。星地无线对接时，试验室临时设在80多米高的标校塔上，队员们一趟就要登上800多个台阶。海风不断地把雨水吹进塔里，在塔里能够完全遮风避雨的地方很少，有的队员嘴唇冻得发紫，实在耐不住冷了，就搓搓手跺跺脚。

试验队队员们每天都要严格按照对接文件进行设备状态设置，记录每一项对接数据。有一天深夜两点，卫星与地面站的无线信道无法打通，经过分析和讨论，大家怀疑是塔顶外的对接天线受了雨水冲刷的缘故。尽管大家刚刚从塔顶下来，但还是争着返回去，最后，一名技术负责人和两名队员被派上塔顶勘查情况。塔上没有任何照明设施，上塔全凭自带的一只应急灯，就在上到一半的时候，手拿应急灯的队员脚下一滑，连人带灯一起撞在塔壁上，只听扑通一声，塔里漆黑一片。“怎么回事？”技术负责人问了一句。“电池掉了。”“别慌，拿手机照，找找掉哪儿了。”借着手机微弱的光，大家开始找电池。一个队员找到了电池，另一个队员帮着装上，大家继续往上攀登。到了塔顶，由于塔上信号不好，需要有一个人守在固定电话旁以便和地面站联系；由于插线板不够长，还得有一个人举着插线板同时抓着应急灯负责照明，操作人则走上2平方米的露天平台上，平台四周的护栏不到1米高，平台下方80米处都是黑黢黢的大海，雨水很快打湿了他的衣服，海风猛烈地吹着，人几次都险些被吹倒……经过一个小时的故障排查，地面站回复星地无线道信号正常。

在遥控指令对接的时候又出现了一次小波折。在地面站发出五条指令后，星上却只收到四条指令，青岛站是X波段正样第一次对接，关系重大。到底是星上少收了一条指令还是地面站本来就发出四条指令？队员们带着疑问对问题进行排查，通过相关遥测确认星上指令接收正常，经过补充试验，发现是地面站设备的某个软件出现了问题，问题很快得到了解决。

尽管在青岛站险象环生，但队员们时刻按照预先制定的《对接实施大

纲》展开星地对接设备，按受控文件进行操作，设置星上设备状态，严格进行数据判读，圆满完成对接试验，为后续的发射任务扫清障碍。

还有上海、北京密云、昆明、北京704所、成都等地，每走过一个地方，试验队队员们都会为该星地对接画上一个圆满的句号。无数个完美感人的细节组成了一幅荡气回肠的画卷，卷上是一曲悠长而动人心弦的航天英雄赞歌。

发射前的倒计时

2010年9月25日，嫦娥二号探月卫星完成了发射前的第三次合成演练，这意味着嫦娥二号发射已进入了倒计时。

经过三次测试的嫦娥二号卫星火箭已被转移到2号固定平台内，进入待命状态。一旦决定发射，嫦娥二号卫星火箭将从平台内迅速转移到塔楼内，进行点火发射。

2010年9月28日，西昌卫星发射中心发射测试站561控制大厅，数十位专家以及各个系统的在岗人员对嫦娥二号卫星和运载火箭进行了发射前的最后一次总检查，嫦娥二号各个系统运转正常，经评审团对检查结果进行评审，评审显示各个参数正常，各个系统间配合正常达标，嫦娥二号进入燃料加注发射阶段。

除了进行合成演练外，在正式发射前，嫦娥二号还将进行一项最关键的工作：加注燃料。嫦娥二号运载火箭的燃料分为两种：一种是常规燃料，在火箭发射前36小时内加注；另一种是低温燃料，将在火箭发射前7小时加注。水的沸点是 100°C ，而这些低温燃料的沸点分别为 -253°C 和 -183°C 。在空气中极易挥发，稍有不慎极易引发爆炸，所以对加注燃料的技术要求非常高。

28日下午，充当工作平台的活动塔与2号固定发射塔紧紧对接着，嫦娥二号被活动塔包裹在里面，接受专家和工作人员的最后测试。

活动塔“脚”下装有64只滑轮，在进行模拟发射演练和发射前，活动塔被挪移到150米外。2010年9月29日下午，发射场将进行最后一次模拟发射合成演练。

嫦娥二号卫星发射日期日益临近，承担卫星海上测控任务的3艘远望号卫星测量船已经全部到达预定海域，一切准备工作都已部署妥当，同时中国卫星海上测控部还制订了数千项应急预案。远望测量船队在太平洋的风浪中等待嫦娥二号卫星发射升空。

承担本次海上测控任务的是中国卫星海上测控部所属的远望三号、远望五号和远望六号3艘卫星测量船。这3艘船经过数十天的航行，已经分别到达太平洋的预定海域。待卫星发射升空后，整个远望船队将通过“接力”的方式承担嫦娥二号卫星太阳帆板展开、卫星状态切换及监视等一系列重要任务。



远望号测量船

执行本次任务的3艘测量船是“两代船”。其中，远望三号船是我国第二代综合性航天远洋测量船，主要担负卫星、飞船和其他航天器全程飞行试验海上测量和控制任务，全船集中了20世纪90年代科学技术精华，船长180米，宽22.2米，高37.8米，排水量达1.7万吨，于1995年投入使用；而首次参加嫦娥任务的五号船和六号船是一对“姊妹船”，是我国第三代航天远洋测量船。这两艘船分别于2007年和2008年投入使用，具有国际先进水平。

海上测控不同于陆地测控，海上测控受气象水文等影响较大，需要航海动力、通信、测控等多个部门的通力合作才能对卫星进行精确测控，中间哪一个环节出了纰漏，后果将不堪设想。同时，3艘船在海上的协同合作也十分重要。在等待卫星发射期间，3艘远望号测量船进行了多次任务联调演练，保障人员、设备处于最佳状态。以记者跟随的远望六号船为例，为确保任务万无一失，嫦娥二号任务的联调演练已经进行了上百次。

六号船在本次嫦娥任务中将主要负责卫星入轨段及地月转移轨道段的海上测控。其中，卫星太阳翼展开、定向天线展开以及卫星测控模式转换等一系列动作的控制与监视将是六号船的关键任务。9月28日上午，六号船又进行了卫星发射期间任务海域的天气气象会商。根据气象会商结果，卫星发射时六号船所在的任务海域将是多云间晴的天气，东南风5—6级，涌浪2.0—2.5米，能见度在10—15千米。这样的气象条件对于海上测控来说是比较有利的。

三号、五号、六号船进行了设备线路的故障排查和升级改造。对于即将执行嫦娥任务的科技人员，中国卫星海上测控部也进行了有针对性的培训，其中一个特点就是使科技人员具备一人多能的本领，一个人能够胜任多个不同的工作岗位。这次派出的3艘测量船也是实力最强、设备最先进的3艘船。

由于各个测控海域离祖国大陆的距离不同，3艘测量船自7月下旬先后驶离长江港口。为顺利到达预定海域，3艘船在航程中均经历了太平洋上

的大风、大浪、大涌，有的预定海域还是之前远望船队从未到达过的。这些海域海况复杂，均有可能出现风速9级以上、涌浪高4米以上的危害性海况，同时在航行震动、海面温湿度、盐分腐蚀、设备使用年限等因素影响下，船载设备易发生故障，各种意想不到的情况随时有可能发生。为此，整个远望船队设计了包括航海、测控、通信、调度、气象、船舶动力、航行、水电空调等各方面的应急预案。

远望六号船就先后制订了80多项应急预案保障测量船与北京指挥中心的通信流畅，40余项用于保障测控稳定有效，40余项用来保障航海气象系统提供及时、准点、准确的航行测量数据，30余项确保供电、空调、设备用水的安全，130余项用于保障船舶动力。所有这些措施都是为了确保嫦娥二号海上测控任务的万无一失。

为迎接即将到来的嫦娥二号发射，西昌卫星发射中心进行了百余项技术改进，进一步提高了发射场的可靠性和整体发射能力。

在成功发射中国首颗探月卫星嫦娥一号后，发射场系统对相关设备设施进行了改造，包括更新测量雷达、更新遥测系统、改造光学仪器、优化加注系统等在内的技术改进达上百项。

嫦娥二号的突破

2010年10月1日18时59分57秒345毫秒，长征火箭在西昌卫星发射中心点火。19时整，嫦娥二号成功发射。在飞行后的29分53秒时，星箭分离，卫星进入轨道。19时56分，太阳能帆板成功展开，嫦娥二号飞入指定轨道。

嫦娥二号作为嫦娥三号的先导星，在工程上的主要任务是试验验证与月面软着陆相关的部分关键技术和新设备，试验新的奔月轨道，降低探月工程二期的技术风险。嫦娥二号在科学上的首要任务是对月面着陆区进行详查，精细地测绘着陆区的地形地貌。为此，嫦娥二号相对嫦娥一号做了多方面改进和提高，主要包括：

第一，嫦娥二号与嫦娥一号的轨道设计不同。嫦娥一号发射后，先是环绕地球飞行了7天，经过4次变轨才进入奔月轨道。从发射到进入环月轨道总共历时大约13天14小时19分，行程206万千米。这次发射的嫦娥二号将新开辟地月之间的“直航航线”，即直接发射至地月转移轨道，待几次中途修正和近月制动后，即进入绕月轨道，这将使嫦娥二号的地月飞行时间缩短至120小时。

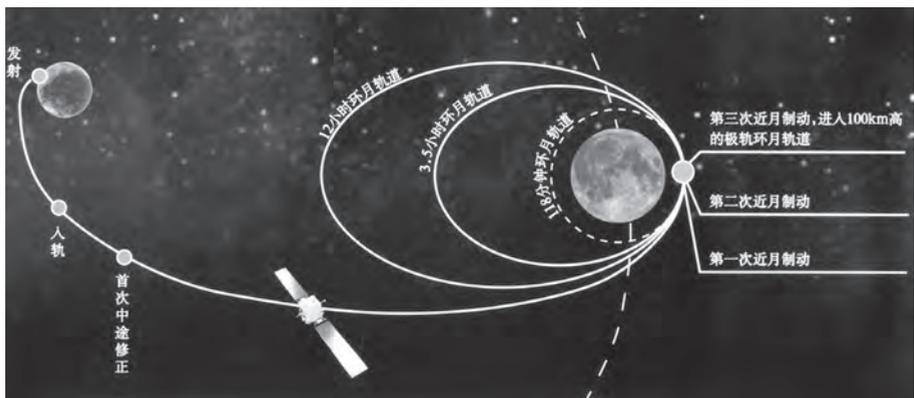
第二，嫦娥二号卫星将在距月球表面约100千米高度的极轨轨道上绕

月运行，较嫦娥一号距月表200千米的轨道要低一半。设定100千米工作轨道有三个原因：要继续观测月球，卫星距离月球表面就不能过近或者过远；月球本身存在“摄动”，也就是暂时偏离原轨道，卫星不小心就会撞到月球，我们要验证一下地面测控技术；在嫦娥三号着陆之前，要仔细观察月球表面，尤其是着陆区。

第三，嫦娥二号直飞月球的方式对运载火箭的入轨精度和入轨速度提出了更高要求。一方面推力增加，执行此次任务的长征三号丙火箭，较之前护送嫦娥一号上天的长征三号甲火箭增加了两个助推器，使嫦娥二号卫星直接进入200千米×380000千米的地月转移轨道。

第四，为获得着陆区的精细地形数据，嫦娥二号激光高度计的激光脉冲发射频率增至原来5倍——从嫦娥一号每秒发射1个激光脉冲提高为每秒发射5个，使留下的“激光足印”间距更小，激光测距精度也可达5米，从而获得月球上几个重点区域的高密度高程测量数据。

第五，嫦娥二号所携带的CCD立体相机完全改成另一种新类型的立体照相机，它与嫦娥一号每次从三个角度拍摄不同，每次分为前视和后视两个角度。这台新型立体相机的空间分辨率，在飞行高度为100千米条件下，由嫦娥一号时期的120米左右提高到小于10米，在飞行高度为15千米

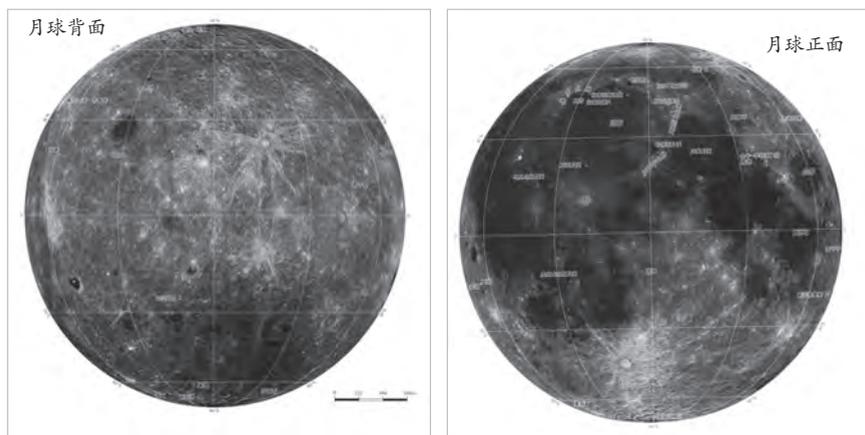


嫦娥二号轨道示意图

时，空间分辨率为1米左右。其他探测设备也将有所改进，所探测到的有关月球的数据将更加翔实。

欧阳自远说，嫦娥二号拍到了全月球影像图，实现了全月球影像的“无缝”镶嵌。嫦娥二号全月球数字影像图在空间分辨率、影像质量、数据一致性和完整性、镶嵌精度等方面优于国际同类全月球数字产品，是目前最高水平的全月球数字影像图。全月球影像图真正做出来比足球场还要大。欧阳自远估计，这项成果在四五年内都是没有办法被超越的。通过嫦娥二号拍回来的照片，可以看出月球伤痕累累，到处都是坑洞，甚至还有新鲜的坑洞，这应该是最近小行星砸在月球上造成的。这些新的坑迹，被冠以中国科学家们的名字，诸如“毕昇撞击坑”“蔡伦撞击坑”“张钰哲撞击坑”等。

第六，嫦娥二号的有效载荷配置比嫦娥一号少一项，即不采用干涉成像光谱仪探测月球表面的矿物成分。嫦娥二号的主要科学目标是对月球着陆区和其他重点区域进行精细测绘、立体成像，其他科学探测总体上将延续嫦娥一号科学目标，对月球表面元素分布、月壤厚度、近月空间环境等做更进一步的科学探测。这些更高空间分辨率的探测数据可以与嫦娥一号的探测数据进行互相校核，进一步改进月球遥感数据的定量反演算法和模型。



嫦娥二号全月球影像图

第七，嫦娥二号将验证100千米×15千米轨道机动与快速测定轨技术。测试将飞行轨道由100千米圆轨道调整为远月点100千米、近月点15千米的椭圆轨道的能力，因为嫦娥三号将会在月球表面软着陆。它首先会飞到15千米的高度，然后再降落，这相当于在部分演练嫦娥三号的飞行轨道。

第八，根据嫦娥三号工程的要求，为提高测控精度，除S频段外新增了X频段的测控。嫦娥二号飞行测控将首次验证我国新建的X频段深空测控体制。相比嫦娥一号使用的S频段测控，X频段无线电传输信号频率更高，远距离测控通信效果更好，我国深空测控通信能力将扩展到地球—火星距离。

在其中，嫦娥二号最为重要的工作之一，就是要利用自己的精密设备以及先进技术拍摄出嫦娥三号将要登陆月球的着陆点的高清图像。为了保障嫦娥三号的成功，对这些图像的要求也非常之高，分辨率要达到1米左右，提供出精确的落点的地形地貌。这些照片都是卫星飞至15千米高度时拍摄的，而每次掠过虹湾时的拍照时间只有61秒钟。由于清晰度的标准提高，也就意味着下传数据量的增加，地面系统接收数据的能力也从每秒3兆提高到12兆。

嫦娥二号发布虹湾局部影像图，标志着其工程任务的圆满完成。嫦娥三号除了从15千米高度开始下降的软着陆技术之外的所有关键技术均得以成功预演。

总之，嫦娥二号作为探月二期工程的先导星，进行了一系列技术改进。嫦娥二号从发射到第一次近月制动所经历的时间由12天缩短为5天，环月轨道高度由200千米降低为100千米，CCD相机像元分辨率由120米提高到10米，激光高度计测量月面高程由每秒1次提高到每秒5次。嫦娥二号卫星将获得月面着陆区地形地貌的精细探测数据，并试验和验证嫦娥三号的关键技术。嫦娥二号发挥了承前启后、持续发展的先导作用，为嫦娥三号的实施成功奠定科学和技术基础。

嫦娥二号的拓展任务

2011年2月8日，嫦娥二号在轨探测获得原始探测数据2.84TB，地面应用系统进行各种校正和处理生成7.86TB。目前这些数据已经向全国高等院校、科研院所和企业发布，提供研究与应用。

在各项科学目标都取得圆满成功后，嫦娥二号开始了另外的征程，奔向150万千米的拉格朗日2点；8月25日23时27分，经过77天的飞行，她终于精确抵达科学家们指定的位置。

在地球围绕太阳运转的轨道面上，一共有5个“拉格朗日点”。而2号点，在太阳和地球连线的外侧，背对着太阳，是太阳和地球引力的平衡点。嫦娥二号飞到第2拉格朗日点，那是一个相对理想的地点，这里受太阳辐射干扰最小，还可以避免日凌现象。嫦娥二号在这个拉格朗日点上，可与太阳和地球间的相对位置保持不变，所受到太空中天体引力的干扰也将减到最小，相对而言处于真正的失重状态，可以进行更多的探测和试验。当然，由于身处太空中，诸如太阳风暴等考验总是免不了的。

把嫦娥二号放到拉格朗日2点，究竟是去执行什么任务？欧阳自远说，主要是监测太阳以及太阳的一些活动。当时之所以让嫦娥二号离开月球去日地系统拉格朗日点，是因为它的仪器正常，寿命还长，剩余燃料比

较充分，足够支持它完成未来的各项探测任务。

嫦娥二号在拉格朗日2点环绕轨道上飞行了235天，也出色地完成了观察太阳的任务，积累了大量对太阳活动的探测数据。

欧阳自远说，这是嫦娥二号在世界上首次实现从月球轨道出发，受控准确进入距离地球150万千米远的拉格朗日2点的环绕轨道；也是国际上第一次从月球轨道出发探测拉格朗日点的航天活动；更是第一次实现我国对月球更远的太空进行探测，并实现150万千米远距离测控通信。

在出色地完成了此次任务后，嫦娥二号再次向太空深处飞去，这一次是对编号为4179的“战神”号小行星进行交会探测，为未来的小天体探测积累经验。

小行星是太阳系形成初期遗留下来的化石，对于研究太阳系形成早期的物理化学组成、分布和演化具有重要意义。近地小行星近年来受到越来越多的关注，不仅是因为它们的轨道和地球轨道接近，从而可能碰撞地球，是潜在的威胁天体，而且因为它们的近地轨道从动力学上说是不稳定轨道，从而代表了太阳系小天体的动力学演化的一个短暂重要阶段。

4179号小行星呈长椭圆状，主体由两大块组成，它的轨道远日点接近木星轨道，近日点位于地球轨道附近。由于轨道周期共振，4179号小行星每隔4年接近地球一次，距离地球的最近距离仅约为0.046个天文单位，也就是700万千米。假设其真的不幸碰到了地球，那么撞击引起的爆炸威力将相当于1亿吨炸药，后果不堪设想。

4179号小行星的详细研究对于研究小行星的动力学演化、小行星在早期太阳系的碰撞演化等具有重要的科学价值。一般情况下，经过亿万年的演化，小行星最终会绕其最短轴自转，这也是最稳定的自转状态。但是早期地面观测发现，4179号小行星处于缓慢的不稳定自转状态：它绕着自己形状的最长轴以5.41天的周期自转，同时其长轴以7.35天的周期转动。是什么原因造成这颗小行星这么独特的运行轨迹？专家推测，4179号小行星的自转状态可能是从前受到扰动形成。

1992年和1996年，4179号小行星近距离飞越地球的时候，人们积累了大量的地面雷达观测数据，从而推导出这颗小行星的详细形状，模型的形状非常复杂。它的主体由两大块组成，同时包括很多小的形状单位，比如一些类似陨石坑的形状、一些线性条纹等等。但实际上，这些资料都是间接的推导，并不直观。

嫦娥二号卫星于2012年12月13日成功飞抵距地球约700万千米远的深空，以10.73千米/秒的相对速度，与国际编号4179的小行星由远及近擦肩而过，当日16时30分09秒，嫦娥二号与小行星相对距离达到3.2千米，首次实现中国对小行星的飞越探测。交会时嫦娥二号星载监视相机对小行星进行了光学成像，这是国际上首次实现对该小行星近距离探测，拍到了最清晰照片的分辨率是10米。这件事引起了轰动，要在700万千米之外控制两个高速靠近的物体不相撞，最近距离只有3.2千米，表明了我国测控技术的水平和能力。所以说，嫦娥二号最大的亮点就是“3.2千米”。至此，嫦娥二号再拓展试验圆满成功，嫦娥二号工程完美收官。

当前嫦娥二号已经远离地球6500万千米，成为绕太阳运行的人造小天体，嫦娥二号将持续在太阳系空间翱翔，飞向遥远的太空。

但欧阳自远的雄心绝非仅此而已。他认为人类最终目标是寻找第二个适合人类居住的地球，因此未来不仅要探测月球，还要探测火星、金星和木卫二。科学家们相信，火星是可以改造的，可以成为人类第二个栖息地。但要抵达火星，首先要飞掠一些小行星，目前人类已经探测到4700个具有潜在危险的近地天体。“未来还要探测好几个小行星，还要到小行星带上去探测。”

不能容忍的失败



欧阳自远曾经向我说过，真正令他感到压力的是，中国人无法容忍科学探索上的失败。人们只能看到嫦娥系列卫星一个接一个的成功，无法想象一旦出现失败会是怎样。其实，开汽车有时候都会遇到一下发动不起来的状况，对于如此复杂的探月工程，要做到万无一失，其难度和需要付出的心血可想而知。

但公众的心理期望值就是这样的高，要出去就必须成功，不成功便成仁！看到嫦娥二号的成功，欧阳自远回想起自嫦娥一号开始，不断持续、发酵、升级的压力：“我始终感到发射的时候手心都出汗，简直是血压、血糖、血脂都高得很，几个月睡不着觉。为什么？因为我理解我们这个民族的心理状态。”

在谈论人类月球探测史时，人们通常都说，人类第一个月球探测器是1959年1月2日苏联发射的“月球1号”。事实上，在“月球1号”发射前，无论是苏联还是美国都发射过月球探测器：1958年8月17日、10月11日、11月8日、12月6日，美国先后发射了4个“先驱者号”系列月球探测器，但是都失败了；同年9月23日、10月12日、12月4日，苏联也先后发射了“月球1958A号”“月球1958B号”和“月球1958C号”3个月球探测器，结

果也都失败了。

美国为了在探月征途上追赶苏联并实现月球探测的首次成功，可谓决心巨大、不惜代价。在4次“先驱者号”系列月球探测器失败后，从1959年底到1960年底的一年多里进行的3次“能力号”系列月球探测活动又全部失败。但是，这仍然动摇不了美国进军月球的决心，不久其“徘徊者号”计划付诸实施：

1961年，“徘徊者1号”和“徘徊者2号”先后失败；

1962年，“徘徊者3号”“徘徊者4号”和“徘徊者5号”全部失败；

1964年1月30日，“徘徊者6号”发射了，但还是以失败告终；

到1964年7月28日发射“徘徊者7号”，美国实际上经历了13次失败后才取得了其探月的首次成功。

不难理解，“徘徊者7号”之所以能成功，能为人类留下其拍摄的4136张珍贵的月球照片，以及随后“徘徊者8号”和“徘徊者9号”的再次成功，从而顺利完成“徘徊者号”系列计划的使命，都是在吸取前面多次失败的教训后取得的，探月征程也由此向前推进了一大步。

为了使月球探测器能平稳降落月表，即实现月面软着陆，苏联从1965年5月到1966年2月3日“月球9号”软着陆成功，其间曾4次发射了“月球号”系列探测器，试图在月球表面着陆，但都没有成功。

“阿波罗11号”载人登月的成功，当时可以说是人类月球探测史上的神话。但是在成功的背后又有多少次失败呢？

1967年1月27日，“阿波罗1号”飞船在进行地面试验时，因座舱着火，3名宇航员以身殉职。

1968年4月4日，“阿波罗6号”因火箭的第三级在运行轨道中未能按时点火而失败。

即使是在“阿波罗11号”和“阿波罗12号”成功实现了载人登月探测并取样返回地球之后，1971年发射的“阿波罗13号”也仍因系统出故障而未能圆满完成任务。

在月球探测史上，20世纪共进行了108次发射，其中成功52次，成功率为48%。火星探测的成功率更低，只有百分之三四十。美国的航天飞机先后有两架发生了爆炸，共有14名宇航员遇难。人家都经受了，而且继续前进。中国怎么可能不经历任何失败呢？

尽管如此，欧阳自远和他的团队仍然全力以赴、严谨细实、尽心尽力、确保成功。

探月的准备工作做了35年，其中仅仅论证就花了10年时间。报告、评审、回答问题，一步一步通过各层次的评审。

不过，让欧阳自远颇感欣慰的是，探月工程的路走得异常稳健和踏实，嫦娥二号在2013年1月18日被2012年度国家科学技术奖励大会授予国家科学技术进步奖特等奖。2013年7月14日1时许，已成为我国首个人造太阳系小行星的嫦娥二号卫星与地球间距离突破5000万千米，再次刷新“中国高度”。

第十一章 嫦娥三号

嫦娥三号成功升空，月球车登陆月球，标志着中国的探月工程又进入了一个崭新的平台。

中国的五星红旗终于在月球上出现了，这一场景，曾经在无数国人的梦中出现，而今，终于变成了事实。

一切准备就绪



嫦娥三号将是中国发射的第一个地外软着陆探测器和巡视器（月球车），也是阿波罗计划结束后重返月球的第一个软着陆探测器。嫦娥三号探测器将突破月球软着陆、着陆器开展就位探测、月球车进行月面巡视勘察、月夜生存、深空探测通信与遥控操作、运载火箭直接进入地月转移轨道等关键技术。

面对着这么多的第一次，嫦娥三号工程指挥部以及欧阳自远和他的团队自然不敢怠慢，认真细致地做好各项准备工作。

2012年初嫦娥三号转入正样研制。

2012年3月13日，国防科工局确认，经探月工程重大专项领导小组会议审议，我国探月工程二期嫦娥三号任务正式由初样研制转入正样研制阶段。

2012年5月，嫦娥三号卫星有效载荷分系统在产品性能、技术状态、质量问题、元器件、工艺、原材料、软件/FPGA、可靠性、安全性、数据包等12个方面，接受了初样鉴定产品质量复查。复查结束后，有效载荷分系统将按照复查结果查漏项、补不足，确保正样产品质量。

2012年7月初，嫦娥三号研制进展顺利，探测器已完成发射场合练，

着陆器完成中心舱结构部装，各项大型试验和测试工作正在稳步推进。

2012年8月初，嫦娥三号着陆器正式开始了正样阶段测试。负责测试任务的五院总体部组织召开了“嫦娥三号探测器正样阶段电测动员会”，全面布置嫦娥三号探测器正样电测工作。正样的测试内容较初样有较大变化，测试状态十分复杂。为了确保完成整器电测工作，该部首先加强策划，借鉴试验队的管理模式，加强保障条件落实、加强质量控制、加强测试覆盖性分析，加强数据判读、加强规章制度和岗位职责的落实、加强过程保密与大工序交接等环节控制，确保按时完成电测任务。

2012年11月，嫦娥三号着陆器热试车力学试验工作圆满完成。该试验是着陆器推进系统试车试验前一次重要的力学性能考核，也是验证推进系统设计状态是否满足嫦娥三号在轨运行性能要求的重要前提。

2013年5月，嫦娥三号开始“登月”前的最后一项大型系统试验——热试验。这也是嫦娥三号最后一项大型系统试验开始。

5月的北京，天气已经转暖，和煦的春风扑面而来，带给人们无限惬意。

可是，在北京唐家岭的五院卫星总装试验大厅（以下简称AIT大厅）内，却是另一番景象——恒温恒湿的高净度空气中，弥漫着一股紧张的气氛。

技术人员们忙碌的身影让人感觉到，这里的工作紧张而有序。

在AIT大厅内，五院总装与环境工程部的试验人员正在进行嫦娥三号探测器的热试验准备工作，通过本次试验来最终确认其能否忍受在奔月、落月过程中所要承受的严峻考验。

为了使嫦娥三号能够承受恶劣的环境考验，所做的一切准备都显得至关重要。

在AIT大厅里，嫦娥三号这一原本大家想象中的“淑女”，看起来更像是一位威风凛凛、身披“金甲圣衣”的将军。

原来，为了能够更加真实地模拟太空环境，技术人员为她穿上了一件

“盔甲”——这件“盔甲”由3000余片外热流以及中、高、低温多层组件编织而成。

嫦娥三号将穿着这身“盔甲”在真空热模拟试验器内待上40多天，期间将接受高温炙烤和低温寒冷这样冰火两重天的考验。

热试验开始之前，在现场指挥人员的口令下，所有试验人员全神贯注、各司其职，根据指挥岗的调动，小心翼翼地将嫦娥三号探测器轻轻吊起。在高空短暂悬停调整后，嫦娥三号探测器被轻轻地放入试验器中。

从侧面看过去，“嫦娥”置身于漆黑的环境，仿佛进入了传说中的“广寒宫”。而就是在这里，她将开始她登月前的最后一项大型系统试验——热试验。热试验将分为两个阶段进行。第一阶段是着陆器和巡视器一起进行试验；第二阶段这两个部分将分别进行试验。

值得一提的是，此次嫦娥三号着陆器上携带的近紫外月基天文望远镜、极紫外对地观测相机，以及巡视器上携带的测月雷达，都是世界月球探测史上的创举。

嫦娥三号将在月球上实现“观天、看地、探月球”的科学目标。

除了传感器和自主导航仪器外，还有降落时用的大推力发动机、着陆缓冲机构等都是新研制的产品，这些新研制的产品比例超过80%。

如何安全降落

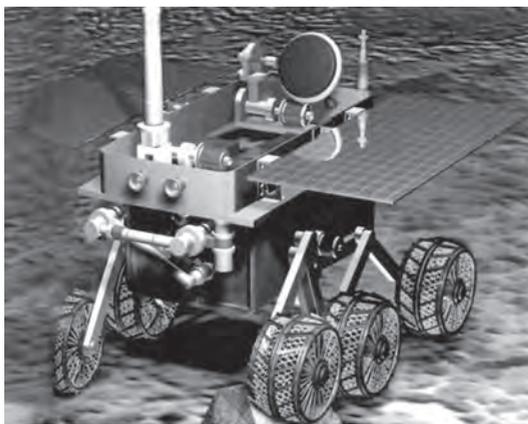
因为嫦娥一号和嫦娥二号所取得的优异成就，已经积累了丰富的经验，嫦娥三号面临的第一个最大难题就是该如何稳稳当当地在月球表面实现软着陆。

为实现在月球的软着陆，必须使探测器与月面的相对速度降为几米每秒的量级，然后再通过着陆缓冲装置吸收着陆冲击，以确保着陆后各类仪器设备不被摔坏，顺利完成后续的探测任务。

可见，软着陆是踏上另一个星球进行实地科学探测的第一步，是所有探测活动中最为重要的环节。软着陆方式分为降落伞式，缓冲气垫式和火箭反推式三类。在月球表面降落从某种程度上说比在火星降落要难得多。我们最常见的方式就是降落伞，但月球上没有大气，是真空状态，所以降落伞是不能用的。气垫也没办法使用，因为在真空状态下，气垫会极度地膨胀，唯一的选择就是整个降落的过程完全用着陆器底下的发动机往反方向在底下往上推，减少着陆器的下降速度。

而这种软着陆方式对于发动机控制技术、月球着陆器的姿态控制技术都提出了很高的要求。

嫦娥三号在月表着陆主要分为探测器接近月面、软着陆发动机点火、着陆撞击直至稳定三个阶段。



嫦娥三号携带的月球车（模型）

在嫦娥三号的着陆器下方有一些发动机，可以产生向上的推力，减低它的下降速度。当它距月面100米高时，就要悬停。但这个时候，地球上的测控人员看不到现场情况，因此要交给嫦娥三号自己去判断。嫦娥三号的着陆器确实有很好的智能，能够在距离月面100米

高度平移，着陆器底部的照相机及时反馈月面的地形地貌，当看到底下是特别特别平缓的地方，她决定在这个地方下降，这一切完全由着陆器自己控制。

到此，软着陆就进行到了第二个阶段。在着陆点的上方，着陆器从100米高处自由落体下降。控制人员就在它下降的过程当中进行发动机反推的工作，反推力需要多大当然早已经算好了，包括用多大的能量，发动机点火多少时间，慢慢慢慢让它降下来。最后到达距月面4米高的地方，也就是比一层楼高一点的地方，把所有的发动机关掉。如果继续开动的話，月面上的尘埃、灰尘都会被它吹扬起来，不仅影响以后的工作，也影响工程安全。所以到了4米高的时候，就让它的速度达到零，悬停在空间。然后把上推的发动机关掉，让着陆器自由落体下降。因为月球上的重力加速度只有地球的六分之一，即便在4米高的地方自由落体下降，依然能确保着陆器上所携带的仪器设备以及月球车能够完整、完好、安全地降落在月球表面。

软着陆的问题解决后，另一个问题自然就是在哪里着陆。在不同的着陆点，将获得不同的探测结果。人类过去的探月过程中，仅在月球正面的17个点着陆，从9个点取样返回，大约控制了月球的5.4%—8.8%的面积；

月面巡视探测器在月球正面巡视勘察有7个点，其中5处为“阿波罗号”载人登月区，2处为“月球号”着陆区，勘察距离最长仅37千米。

从着陆区域看，以往的着陆点主要集中在月球赤道附近，主要原因可能有：黄道面与月球赤道面夹角只有 5° ，赤道地区光照条件好；大量有用元素如钛、铁、氧主要集中在月球正面的赤道附近；赤道附近地形条件较适宜着陆。近年美国和欧洲的探月计划都开始把着陆地点聚焦于月球南极。主要原因是通过美国“克莱门汀号”月球卫星的探测和“月球勘测轨道器”对月球南极撞击坑内永久阴影区的探测，发现月球南极撞击坑内的永久阴影区有水冰的存在。

尽管月面上有大量的地区等待人类去探测，但航天技术水平的限制使我们不能随心所欲地到达想去的地方。因此必须在科学家的需要和工程实现的可行性中寻找结合点。从科学探测的角度，选择的着陆点有以下特点：

为满足月球地质研究的需要，着陆区应选择在地质现象丰富的地区，如月海和高地的接触带、大型山脉、典型撞击坑构造区域等。

为满足月球资源利用和研究的需要，着陆区应选择在成熟月壤区和矿产资源丰富地区。

而从工程实施的可行性与可靠度角度，则应考虑：

通信条件。由于月球自转与公转周期相等，因此总是一面朝向地球，有一面永远背向地球。着陆区如选择在月球正面，可以保证探测器与地球的可靠通信；如选择在月球背面，则必须考虑用中继卫星来实现探测器与地球间的通信。

地形地貌条件。从着陆的难度和安全性考虑，着陆区应选择在开阔而平坦的地区，以降低软着陆的风险和月面巡视的难度。同时着陆点附近不应有高山，以免山体对太阳光或通信链路造成大的遮挡。

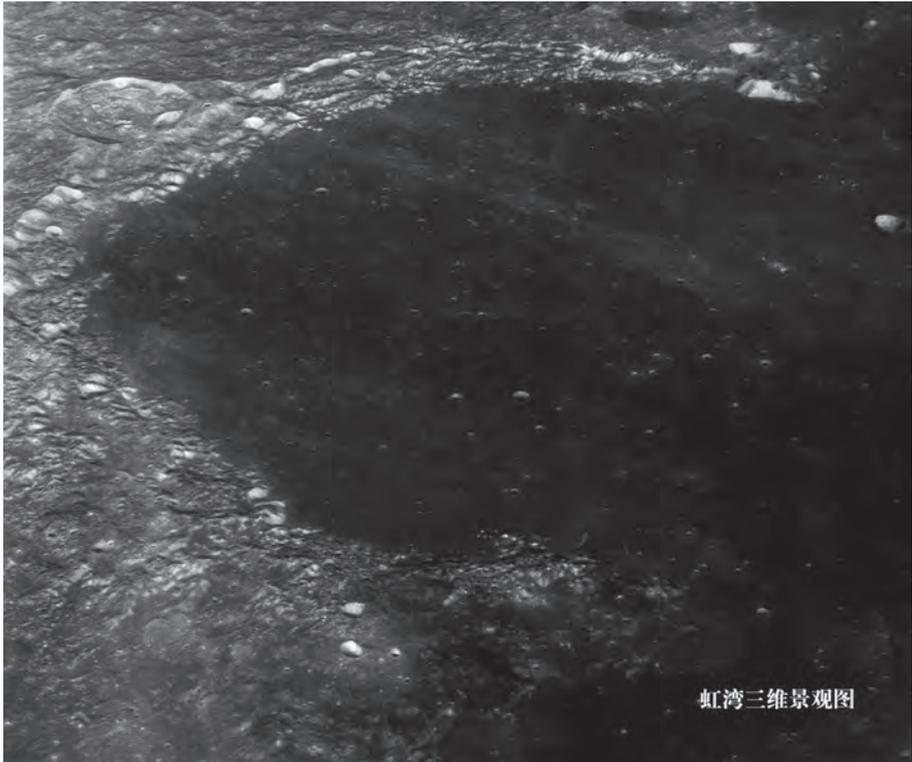
光照和热环境。为保证着陆后的探测器可以正常工作，需要有足够的太阳辐射作为能源，同时需要适宜的温度环境条件。例如在月球的赤道，

光照条件较好，白天温度可达 120°C 以上；在接近极区，白天温度却只有零下 50°C 左右，但通过选择着陆点，却有可能获得永久的光照。因此，需综合权衡光照、热环境，结合探测器自身的能力来选择着陆区域。

同时还要考虑轨道的可达性，测控弧段的保证，嫦娥三号着陆区尽可能选择美国和苏联没有到达过的着陆地区等因素，综合优选着陆区。

嫦娥三号的着陆区最开始有诸多备选：虹湾、酒海、湿海、开普勒和阿里斯基撞击坑。但最终根据上述选择标准的综合考量，定下了虹湾作为嫦娥三号的落脚点。

虹湾的名称源于拉丁语，意为“彩虹之湾”。虹湾地区在月球北纬 43° 左右，西经 31° 左右；南北约100千米，东西约300千米。



虹湾三维景观图

位于雨海西北部的虹湾是月球其中一个最美丽的地标，它其实是一个直径达260千米的巨型陨石坑壁，坑壁的东南部则淹没在熔岩下。

雨海撞击盆地形成后，挖掘出一个巨大的撞击盆地，诱发出深部的岩浆溢出，覆盖了虹湾撞击坑的大部分区域，却余下一个壮丽的弯形坑壁。

细心观察虹湾的两端，便可发现坑壁不是渐渐斜落到雨海中，所以一定有原因使整个撞击坑的东南部突然向下沉降，被后来的熔岩流填平了。一个可能是这个巨型撞击坑的表面有条断层，当雨海的熔岩流上涌时，重重的熔岩压在断层上，令撞击坑的东南部向下塌，淹没在熔岩下，形成现在的地形。

在确定此区域后，虹湾更是成了嫦娥二号重点拍摄的地区，拍摄精度达到分辨率1米，早已为嫦娥三号的顺利着陆做好了准备。

但如果仔细看嫦娥二号拍摄回来的虹湾影像图，就可以看到，该地区并不像人们想象中的那样平坦，地形坑坑洼洼，遍布几米甚至几十米直径的环形坑，同时还有许多分布在环形坑底部、坑壁及坑缘地区的约米级的零散石块。

但与月表其他地方相比，虹湾地区还算相对平坦。可是，月球着陆器对地面平整度的要求非常高，在虹湾地区着陆并非没有风险，需凭借高分辨率的数据，开展进一步分析验证，才能做出最终选择。验证过程中，研究人员要对该处地形的平整程度、撞击坑情况、地质背景、石块大小及分布情况进行分析研究，以获得地形数据、图像数据和统计分析数据作为试验论证的依据。

正是所有人的共同努力，才确保嫦娥三号着陆的万无一失。

月球车如何月夜生存

说完了着陆过程，接下来，我们就要看看嫦娥三号上另外一个重要的系统了。

月球车是一种能够在月球表面行驶并完成月球探测、考察、收集和分析样品等复杂任务的专用机器人车辆。在试验室里，这个重要角色的学名是“月面巡视探测器”，公众已经习惯叫它“月球车”。世界上第一颗人造卫星发射成功后，人们便开始了飞向地外天体的准备。然而，在对月球表面探测过程中，采取什么的运输工具才有可能在月面上进行实地考察呢？于是，产生了月球车。为了使月球车在月面上能够顺利行驶，美国、苏联曾发射了一系列的卫星探测，并对月面环境进行了反复的科学试验，为在探测器上携带月球车的成功打下了可靠的基础。科学家对经由月球车月面的实地考察所带回的宝贵资料进行了分析研究，大大深化了人类对月球的认识。

1970年11月17日苏联“月球”17号探测器把世界上第一个无人驾驶的“月球车”1号送上月球，它行驶了10.5千米，考察了8万平方米的月面。后来的“月球车”2号行驶了37千米，向地球发回88幅月面全景图。

1971年7月31日，“阿波罗15号”宇航员戴维斯·R·斯科特和詹姆

斯·B. 欧文进行了人类首次月球车行驶，他们驾驶着4轮月球车，在崎岖不平的月球表面上，越过陨石坑和砾石行驶了数千米。斯科特和欧文成为在月球上漫步的第7位和第8位宇航员，而且是第一个在月球上驾车行驶的。

他们于30日在月球的“雨海”登陆，并于美国东部时间31日上午9时25分离开“隼”号登月舱。几分钟之后，他们从着陆器上卸下“月行车”，开始了他们的勘探旅行。月行车的前舵轮操作不灵，但是按设计只有后轮驱动，后驱动轮运转良好。

当宇航员们在埃尔鲍陨石坑的边沿停下时，位于休斯顿的任务控制台打开了月行车的电视摄影机，向地球传送非常清晰的彩色图像。电视观众可以看到宇航员挑选和采集月石标本。有一次，他们兴奋地喊道：“这里有些漂亮的供地质研究用的岩石。”

他们驾车行驶了两小时，走了8千米，之后又回到登月舱。按计划，斯科特和欧文将在后两天驾驶月行车做更多的旅行。他们将同在指挥船中的另一名“阿波罗15号”宇航员阿尔弗雷德·M. 沃顿会合，一起返回。

月球车可分为无人驾驶月球车和有人驾驶月球车。

无人驾驶月球车由轮式底盘和仪器舱组成，用太阳能电池和蓄电池联合供电。这类月球车的行驶是靠地面遥控指令或自主导航。

有人驾驶月球车是由宇航员驾驶在月面上行走的月行车。主要由月球车的每个轮子的各一台发动机驱动，靠蓄电池提供动力。轮胎在零下100摄氏度低温下仍可保持弹性，宇航员操纵手柄驾驶月球车，可向前、向后、转弯和爬坡。主要作用于扩大宇航员的活动范围和减少体力消耗，它可随时存放宇航员采集的岩石和土壤标本。

月球车底盘用铝合金管型材料制成，并且中部装有铰链，以便储存物品。每个铝制车轮都有自己的电力驱动器和机械制动器。轮胎由涂有锌层的编制钢网丝网制成。所有的月球车最终都被留在了月球上。

从某种意义上说，月球车属于机器人技术。月球车无论是轮式的还是

腿式的，都应具有前进、后退、转弯、爬坡、取物、采样和翻转（跌倒后能翻身）等基本功能，甚至具有初级人工智能（例如识别、爬越或绕过障碍物等）。这些都与现代机器人所具有的功能相似。

但是，月球车仅有这些功能是不够的。它是一种在太空特殊环境下执行探测任务的机器人——太空机器人，既有机器人的属性，更具有航天器的特点，不同于地面使用的工业机器人、医学机器人和家用机器人。

“质量轻，体积小，功耗低”从来就是航天器设计的金科玉律，在最近的航天优势产品的评价指标中被称为“常规三项”；追求“轻、小、低”是航天器研发的永恒主题。航程越远，要求越高，对月球探测器的质量、体积和功耗要求就更轻、更小和更低。根据中国运载火箭可望达到的能力，1台月球车需要由比它重300倍的运载火箭发射，这是发射同样质量地球卫星的运载火箭质量的4—6倍。

月球车是一个可移动的平台，它要携带若干有效载荷，如探测仪器或挖掘采样器等。这些设备和装置必须小型化、轻型化。月球车通常作为月球轨道器的有效载荷，轨道器又作为运载火箭的有效载荷安装在火箭顶端直径狭小的整流罩里。月球车应制成可折叠式，以尽可能缩小发射体积。月球车的电源来之不易，用太阳能电池发电，其面积和质量与功耗大小成正比；若用一次性电池，质量与使用时间成正比，为了减轻质量，也必须降低功耗。因此，月球车的设计必须充分采用微电子器件、微型机械和轻型材料，在开发应用微机电系统上应有所突破。

在正式接受任务时，月球探测工程总体提出月球车的质量、尺寸和功耗的指标要求。月球车应按规定技术指标研制。据首席科学家说，就目前了解到的情况看，已经做出来的月球车样机的质量比设想中的指标超出好多倍，甚至高出一个数量级。

月球车必须适应航天特殊环境，包括力学环境和空间环境。力学环境指月球车在发射上升过程中运载火箭产生的冲击、振动、过载和噪声；在月面降落过程中制动火箭产生的冲击、过载和可能用气囊缓冲着陆产生的

多次弹跳、翻滚。月球车必须经得起这些“摔、打、滚、爬”等折腾。

中国制作月球车也属首次，正是在各种条件都非常困难的情况之下，中国的科研人员生产出一个完全属于“中华牌”的月球车。在研制过程中，排除了各种难关。

重力。月球重力是地球的六分之一，那便意味着，质量为50千克的東西，在地球上所受重力约500牛顿，到了月球表面则变成约80牛顿。因此，月球表面的土壤非常松软，月球车的行进效率会降低。

路况。月球表面崎岖不平的路面，有石块、有撞击坑，还有坡。在这种情况下，设计的轮子便需要克服重重障碍，既不能打滑，也不能翻车，必须做到前进、后退、转弯、爬坡，样样在行。

人工智能。月球车是个智能机器人，需要具备独立处理各种环境的能力。由于距离太远，无法通过遥控的方法处理反馈信息。月球车需要配置若干个传感器，在得知周围环境、自身姿态、位置等信息后，通过地面或车内装置，形成三维地形图。进而编辑方向，勾画出到达目标点的路径，并导航控制月球车走到目的地。

电力供应与月夜生存。月球的自转引起月面的昼夜变化。月球上一天的时间，大约相当于地球上的27天略多。因此，月球昼夜间隔大约相当于地球上的14天。也就是说，登上月球以后的月球车，最多可以连续工作14天，进入月夜以后，它由于无法通过光能发电，进入休眠状态。14天后，又能自动醒来。在月球的夜晚，温度下降到零下150℃—零下180℃，月球车上的各类仪器和电子设备，都将损坏，至少在仪器舱内需要保持零下40°以上的温度，才能安全度过漫长的月夜。唯一能满足这种要求的是原子能电池，可连续工作30年，这项技术中国已经攻克。

欧阳自远反复强调，月球车从着陆器上运行下来，然后要在月球上行走，这里面有好多关键技术需要攻克。

作为航天器的月球车，它同样是由有效载荷、结构、机构、电源、制导、定位与控制、热控制、数据管理和测控等分系统组成，其研制管理是

一项系统工程；月球车同样是属于不可维修的“上天”产品，对质量和可靠性要求非常高。因此，在进入工程研制后，应参照航天系统多年来通过各种卫星研制管理实践所积累的一整套行之有效的系统工程与质量管理体系和方法，加强质量控制。

总之，在月球车硬件产品研制出来后，必须对实物产品进行性能试验和环境模拟试验，要在模拟月面尽可能真实的环境条件（高真空、高低温、太阳光照、宇宙辐射、低重力和月球表面地形地貌等）下，进行程序操作和运动特性等试验，不能单纯相信计算机仿真的结果，必要时需创造条件进行飞行演示试验。试验条件越逼真越好。

抗辐射。首先应了解地月和月面空间辐射的类型、能量和强度。对月球车上使用的电子部件，特别是对辐射尤为敏感的高集成度微电子器件，应采取相应的抗辐射加固措施。

防冷焊。月球车上的机构及其他活动部件，例如月球车从发射时的折叠状态展开成型，车轮及其驱动、转向机构，天线的展开及指向机构、采掘机械臂等，在高真空条件下收藏、压紧100多小时后，应保证不会“焊住”或卡死，能顺利展开和活动。

月球表面昼夜温差变化。月球表面白昼温度高达150℃，黑夜时低至零下180℃，温差超过300℃，尤其是月面上的昼、夜分别长达约350个小时。这种严酷条件是过去环地运行航天器所未曾遇到过的，如何保证月球车在长时间极端温度条件下正常工作，是月球车也是月球探测工程需要解决的关键技术。在月球的一个自转周期内，温度相差可以达到310℃。月面上如此急剧变化的温度环境会使橡胶迅速老化，因此月球车轮胎要使用特殊材料，克服温差。

在前面所讲的热试验，就是为了克服这一难题。正是中国的科研人员解决了一个又一个的难题，才让月球车上的五星红旗显得如此鲜艳。

嫦娥三号的辉煌成就

嫦娥三号科学目标的创新要求主要体现在“观天、看地、探月”。嫦娥三号的着陆器携带了近紫外月基天文望远镜和极紫外相机，巡视器月球车上携带有测月雷达；在月面上实现着陆器的就位探测与月球车的巡视探测相结合。这些都是世界月球探测史上的创举。

以月球为基地的天文台称为“月基天文台”，安装在那里的望远镜则称为“月基望远镜”。

月球表面没有大气，处于超高真空状态。在地球上进行天文观测时地球大气层、电离层和地球的环境污染造成的各种干扰，要进行各种复杂的校正，而对于月基天文望远镜观测已然不复存在上述的干扰，也是天文学家梦寐以求的天文观测场所。

月球如地球一样，对天文望远镜而言，是一个巨大、稳定、而且极其坚固的“平台”，它面临的技术问题要比处于失重状态下的空间望远镜简单得多，造价亦更为低廉。

月球上没有任何大气活动，这对建造巨型设备也更加有利。

月球上没有像地壳那样的板块运动，月球的内核也已经凝结成固态。因此，月球上“月震”活动释放的能量仅约为地球上地震活动的亿分之

一。月球对于天文观测十分安全，尤其适宜建立基线长达几十千米甚至几百千米的光学、红外和射电干涉系统。

地球每24小时自转一周，造成了天体东升西落的周日运动，所以通常很难长时间地跟踪观测同一个天体。月球大约每27天才自转一周，月球上每个白昼或黑夜差不多都有地球上的两个星期那么长，因而在那里持续跟踪观测一个目标可以长达300多个小时。而且，月球上没有大气，太阳光不会遭到散射，所以纵然烈日当空，照样还是繁星满天，依然可以用光学望远镜观测天体。

当然，月基望远镜的优越性还远远不止于此。可以说，在月球上，一个40厘米口径的望远镜的观测效果相当于地球上的8米口径望远镜。

着陆器上的另一台设备极紫外相机，用来监视地球周围的等离子体空间环境。它将对地球周围的等离子体层产生的30.4nm辐射进行全方位、长期的观测研究。这是国际上首次在月面上利用极紫外相机对地球空间等离子体层实施大视域一次性的极紫外成像，从整体上探测太阳活动和地磁扰动对地球空间等离子层极紫外辐射的影响，研究等离子层在空间天气过程中的作用，并能提高我国空间环境监测和预报能力。人造地球卫星倒是可以看到更详细的变化，但是无法掌握实时的、整体性的规律。

月球车上除了安装有各种常规的相机，还装了一些测土壤成分的仪器，还有一台测月雷达。测月雷达可以测量月面以下深处的土壤层的结构。这是国际上首次直接探测30米深度内月壤层的结构与厚度和100—200米深度内月亮次表层的结构。

土壤是岩石风化破碎的产物，月球的月壤层与地球土壤层的形成机制和过程完全不同。月球上的岩石类型，地球上也有。月球表面没有大气活动，没有水，没有生命活动，月球土壤的形成主要是由于巨大的日夜温差使岩石破碎，小天体撞击月面使岩石气化、熔融、粉碎和溅射，长期的各种宇宙辐射等因素的作用，在月球表面，形成了一层3—20米厚的月壤层。月球与地球土壤的成分、粒径大小和形状都有很大差异。我们常见的

地球土壤颗粒边界是圆化的；而月壤的颗粒边界都是棱角状的。所以，阿姆斯特朗拍摄的奥尔德林在月球上踩的脚印很清晰。

我们采集了几十吨类似于月球的岩石，破碎成棱角分明的细小颗粒，模拟月球土壤，进行相关的试验研究。

嫦娥三号的发射成功，标志着中国的航天再次发生了跨越式的创新。

我国首次实现在地外天体表面的无人自动巡视。在月球的特殊环境条件下，实现在月球表面一定区域内的巡视，涉及移动、环境感知、路径规划、自主避障，以及遥分析、遥操作和虚拟现场等技术。月面自动巡视的实现人工智能、自动控制、机电一体化、遥科学、月面力学等有很大的带动作用。

我国首次实现月夜生存。为了研制满足任务要求的航天器，必须使用适合新要求的新材料、新工艺和新型电子元器件等技术，必将带动材料科学、先进制造业和现代电子信息产业的自主创新，促进相关产业和技术的发展。

我国首次建立覆盖火星探测范围的测控通信网。为满足月球探测工程测控通信的需要，兼顾未来深空探测发展，地面将建立先进的大口径、多频段的天线站，并研究精确测定轨的模型与方法；同时探测器要研究更高增益的编码技术和天线技术。这些技术的掌握使我国具备了覆盖火星探测的测控通信能力，极大地提升了测控通信技术水平，带动了信息技术、无线电技术、机械制造技术等的发展。

我国首次自主开展月面就位科学探测。首次利用超宽带毫微秒脉冲技术探测月壤厚度和月亮岩石次表层地质结构；首次在月球上开展极紫外望远镜观测地球等离子体层；国际上首次进行月基光学天文观测。将使我国获得第一手的现场科学探测数据和资料，促进月球科学、地球与行星科学、太阳系演化、空间天文学、空间物理学、空间材料科学、空间环境科学与微重力科学等的原始创新和发展，进而将带动更多的基础学科交叉、渗透与共同发展。

中国离载人登月还有多远

欧阳自远已经将嫦娥五号的计划完成，再一次的探月旅程将会涉及月球采样返回的重大课题。欧阳自远心里明白大家的期待，那就是何时能实现中国的载人登月？

载人登月可以按照宇航员的意愿放置仪器，可以放一些长期观测的固定仪器和标志物，比如说地震仪等。在月面埋设仪器还能经常把月震的信息发回地球。这些仪器都需要人放在特定的位置上才行，无人探测器可做不了这种事情。载人登月还能带很多月球样品回来，可以挑选岩石而不是土壤，挑选样品的能力比较高。

尽管欧阳自远深知载人登月所带来的好处，但面对这个问题，他依然十分谨慎：目前，我国的无人探测器还没有实现登月并安全返回，是不敢让航天员承担这么大的风险的。

中国在成功实现“神舟五号”载人飞行后，已成为世界上第三个掌握载人航天技术的国家。这几年的不断拓展，更是全面掌握了载人飞行的各项关键技术。中国的月球探测工程，在实现“绕、落、回”三步走的战略目标后，基本掌握无人月球探测的各项关键技术。这些，都将为中国未来的载人登月奠定良好的基础。

即使如此，中国离载人登月也还有不小的距离。

首先是运载火箭能力的问题。要实现载人登月，完成奔月飞行、着陆、月面起飞与返回等多个步骤，登月飞船系统是很庞大的。“阿波罗号”登月飞船系统的发射质量就达到了近46吨！这样一个庞然大物，需要强大的运载火箭，才能把它送入奔月轨道。目前中国的运载火箭还远远达不到这样的发射能力。或者也可以采取把飞船分段发射到地球转移轨道，经过在轨交会对接组装后再飞向月球。这势必给舱段的设计、发射保障、在轨交会对接等带来大量难题。

其次是宇航员生命保障系统的能力问题。中国目前的飞船只能乘坐2—3名宇航员，实现7天左右的飞行。而为了实现载人登月，一般至少需要3名宇航员，往返一次至少需考虑两周的时间，这些对宇航员生命保障系统提出了更高的要求。

事实上，载人航天器与无人航天器在设计思路有着本质的不同，即使中国已经实现了无人月球探测的三步走战略，也仍然在载人登月技术上存在较大的差距。只有开展大量的关键技术攻关，同时依靠国家整体技术能力的提升，才能使载人登月的梦想早日实现！

载人登月、建立月球基地、以月球为中转站飞向火星……月球探测已经为人类展现了越来越广泛的开发利用场景。相信在不久的将来，我们地球的这个“女儿”将为地球人类社会的可持续发展发挥重大的支撑作用。

第十二章

中国不能止步于月球

从第一颗人造地球卫星发射，到第一次对月球、金星、火星、太阳、水星、木星、土星和小天体等的空间探测，以及本世纪以来每一次重大的深空探测活动，都带动了科学创新、技术突破和应用拓展，增长了人类对宇宙尤其是太阳系的认知，提高了人类认识地球、保护地球以及拓展活动空间的能力，进一步激励了人们的科学探索精神。

开展深空探测

我国虽然开展深空探测活动起步较晚，但随着探月工程取得的重要进展，我国已具备了继续开展深空探测的能力。适时开展对太阳系主要天体的探测，可以在空间科学、空间技术和空间应用领域加速实现从跟踪研究向自主创新的转变，从航天大国向航天强国的转变；完善我国深空探测科学研究体系，培养和造就一支深空探测领域的科学、技术和管理的创新型人才队伍；激发大众探索精神，提高全民族的科学素质和自主创新意识，振奋民族精神，增强民族凝聚力；维护我国的空间合法权益，推动科技、经济与社会的可持续发展，展现大国地位。因此，深入持续地开展深空探测活动是极为必要的。

因此，针对深空探测重大关键科学问题，根据我国现有科学、经济发展水平，以及航天技术基础和发展能力，以火星探测为切入点，统筹开展小行星、太阳、金星、木星系统等探测，在太阳系的起源与演化、太阳和小天体活动对地球的危害性影响、地外生命信息探寻等研究领域取得一批重大科学成果，建立较为完善的深空探测科学研究体系，推动我国天文学等学科发展和空间科学、空间技术应用。在未来的一段时间内，启动、推进与实施一系列探测任务，包括火星的环绕遥感探测、着陆巡视探测和取样返回；近地小行星的伴飞、附着探测和主带小行星的伴飞、附着探测及

取样返回；太阳的定点观测、极轨观测和太阳风暴全景观测；金星的环绕和浮空探测以及木星系统与木卫二的环绕探测。

从火星探测切入，同时选择可能对地球具有潜在威胁的近地小行星和针对可能对地球造成灾害性影响的太阳活动，实施火星全球遥感探测与火星车巡视探测、多目标近地小行星探测和太阳定点观测。相继实施金星环绕与浮空探测、火星取样返回、太阳极轨观测和主带小行星取样返回，继续深化对火星、太阳活动和小行星的认知。实施木星系统环绕探测和太阳风暴全景观测。

通过太阳系科学探测任务的实施，通过火星全球遥感探测与着陆巡视探测和取样返回，实现从全球普查到局部详查、取样返回，再到样品试验室分析的科学递进。通过对近地小行星和主带小行星进行飞越、伴飞、附着探测和取样返回，实现对目标小行星的整体性探测和局部区域的就位分析及样品的系统分析，研究小行星的起源与演化，为将来可能的小行星撞击地球事件的应对措施和早期太阳系形成与演化过程提供科学依据。通过对太阳的深空定点观测、极轨观测和太阳风暴全景观测，实现由点到面再到体的系统的太阳探测任务目标，研究太阳磁场和太阳活动的起源和演化，探究太阳活动对近地空间环境的灾害性影响，提高对太阳风暴的预报和警报能力。通过对金星和木星系统的首次探测，填补我国深空探测及其相关研究领域的空白。

探测对象与任务不断拓展、探测数据研究与应用的深化，为我国全面系统地持续开展太阳系探测进一步奠定科学和技术基础，使我国深空探测的技术基础、研究体系、人才队伍等都跨上一个新的台阶。结合我国载人登月等航天工程的进展、国家深空探测新的战略需求和国际深空探测的新态势等，对我国已进行的火星、太阳、小行星、金星、木星系统探测等任务继续开展深化探测，同时要对太阳系开展全面、系统的科学探测，从更具科学意义、更具应用性和挑战性出发制订深空探测活动的科学目标，为人类社会的可持续发展服务。

火星探测的科学畅想

火星的平均直径约6740千米，相当于地球的半径，火星的体积接近地球的15%。火星的平均密度为3940千克/米(地球为5520千克/米)，质量只有地球的十分之一。火星轨道距太阳的平均距离为2.28亿千米，地球为1.49亿千米。火星的自转速度为24.13千米/秒，自转周期为24小时37.63分钟，公转周期为687。火星的体积与质量均比地球小，与太阳的距离较地球远、公转周期长。

火星大气层密度不到地球大气的百分之一，表面的大气压约500—700帕。火星表面大气压极低，液态水在火星表面沸腾成气态，因而现今的火星不可能形成类似地球的大面积分布的水圈，加之火星质量较小，对气体捕获的能力较低，只能保留极稀薄的大气层。海盗号的两个登陆点夏季的平均温度为-60℃，冬季的平均温度为-120℃，火星表面昼夜的温度变化达50℃。火星大气温度由表面至50千米高度，温度随高度增加而下降，自-52℃降为-232℃；从50至100千米高度，温度波动较小；至130千米高度，温度为-212℃。火星大气中有少量的云，低云层由水冰组成，高云层由凝结的二氧化碳组成。火星大气成分按体积计算分别是二氧化碳(95%)、氮(2.7%)及氩(1.6%)，微量成分为氧、一氧化碳、水蒸气、氖、

氩、氙等，与地球平流层的成分较接近。火星大气活动有中纬度冬季风体系和赤道夏季风体系。火星大气中特有的现象是尘暴，每年大约发生100次地区性尘暴；全球性尘暴为强烈的全球性潮汐风与尘暴源地的地形风相结合，使大气底层尘埃扬起并进入盛行的高速风带而形成。全球性尘暴在一个地区开始，迅速扩展，数天之内即席卷全球，大气尘埃刮到几千米的高空笼罩火星表面，持续可达数星期甚至更长。

火星表面广泛分布着火山作用形成的地形，如奥林匹斯火山墩，直径达500千米，火山墩的中央为直径达65千米的火山口，火山熔岩墩高出周围平原约20千米，火山墩边缘是高出平原2千米的陡崖。火星表面广泛分布着火山口形成的环形坑，坑的直径达50—150千米，火山口四周能观察到向外溢出的熔岩流。火星表面还密集分布大量的由小天体撞击形成的撞击坑。仅在赤道区范围内就发现有5万多个直径大于1千米的环形坑。大约有5%的坑具有撞击成因的中心锥，有些较年轻的坑具有辐射纹。撞击坑与火山口环形坑形态相似，难以区分，只有通过对抗的形态、结构和熔岩流分布等特征的精细分析才能加以区分。

火星表面分布着延伸上千千米的大断层，形成了一些宽几千米，甚至几百千米宽的大峡谷。火星上的“运河”如同地球上的河系，有些延伸几千千米。“运河”河谷可能是火山熔岩流所造成，也可能在火星早期历史中曾出现过流动的水系所造成。

火星上的极冠，主要是由固态二氧化碳和水冰所组成，夏季消融，冬季增大。经测定，极冠的温度约-123℃。极区的冰川将各种岩石碎屑搬运到中纬地区，形成广泛分布的层状沉积。层状沉积物受到了冰水浸蚀，形成弯曲的悬崖和阶地。

火星表面的土壤呈黄棕色，经海盗1、2号取样测定，主要含氧、硅、铁、铝、钙以及钾、磷、硫、氯、钡、钒、铬、镁、钴、镍、铜等元素，主要由绿泥石和蒙脱石，次为水镁矾、石盐、方解石等组成。根据对火星土壤的测定，80%为富铁粘土，约10%的硫酸镁，5%的碳酸盐和5%的铁的

氧化物，表明火星岩石富含镁、铁，估计没有大量的富钾花岗岩。火星表面风的吹扬作用形成一些几百千米甚至几十千米宽的风成纹理或沙丘。

火星表面是一个大气极其稀薄、没有水体、寒冷而荒芜的死寂的世界，没有任何生命活动的痕迹。

一、探寻火星生命活动的信息

到目前为止，火星是除了地球以外人类了解最多的行星，已经发射过40多枚探测器探测火星，并向地球发回了大量数据。同时火星探测也充满了坎坷，大约三分之二的探测器，特别是早期发射的探测器，都没有能够成功完成它们的使命。但是火星对于人类却有一种特殊的吸引力，因为它是太阳系中最近似地球的天体之一，是目前科学家勘探到的环境最接近地球的星球。这颗让古代人类充满幻想的星球，如今又成为现代人类的希望所在。如果要寻找另外一个适合人类居住的星球，火星肯定是第一候选。

虽然人类至今还没有亲自到过火星，只派出过探测器登上了这颗红色星球，但是，人类的幻想却是无止境的。因此，人类未来登陆火星并在此居留是未来火星探测的最终目标，也是人类保护地球、合理利用和开发火星作为第二家园、提供人类可持续发展的重要目标。从长期来看，火星是一个可供人们移居的星球。

截至目前，美国（和欧空局）火星探测的科学目标，主要关注火星的全球性特征，证明火星的过去或现在有可能存在水体和生命的活动迹象，以水的探测为主线，探测地外生命以及维持人类未来的可持续发展的外星体。因此在兼顾生命和水的证明性科学目标研究的同时，也需要关注火星开发、改造和长期居住相关的科学问题。

目前已有的探测证明，当今火星表面没有发现具有生命活动的任何证据，虽然火星大气中发现含有极微量的甲烷，但仍然无法判断甲烷是来源于火星生命的活动还是来自无机的成因。火星过去是否曾经存在过生命不得而知，虽然有些火星陨石中发现一些类似“微生物化石”的结构，仍然难以确证火星过去曾经存在过生命。然而火星地下水体分布的发现以及火

星环境的探测表明，火星具备生命生存与繁衍的条件。

二、探测火星土壤特性及其（气体、矿产、水）资源

人类未来登陆火星并在火星上居留，首要接触的是火星土壤的改造以及火星资源的就地开发利用问题。研究人员正在试图研究目前火星表面是否存在地下水，从而削弱表面的风化沉积作用，这也意味着是否目前火星表面存在着二氧化碳水合物。一般认为，水、二氧化碳或冰会大量存留在赤道附近的风化沉积层的冻土层部位，同时这些物质可能在高纬度地区会大量存在，火星风化层中的水含量为2%—60%。虽然目前在火星上还看不到液态水，但迄今探测发现的大量水流痕迹，至少说明火星上曾经有过滔滔大水，而且科学家们也发现火星两极有大量的冰存在。火星表面的大气压很低，水无法以液态存在，只在低海拔区可短暂存在。而冰倒是很多，如两极冰冠就包含大量的冰。2007年3月，NASA就声称，南极冠的冰假如全部融化，可覆盖整个星球达11米深。另外，地下的水冰永冻土可由极区延伸至纬度约60°的地方。推论有更大量的水冻在厚厚的地下冰层，只有当火山活动时才有可能释放出来。

此外，火星上的绿黏土和火山灰，有利于植物生长；火星大气中有足够的二氧化碳气体，可提高植物光合作用的效能，使农作物获得比地球上更大的丰收。火星上到处都是氧化铁等氧化物质，可还原出氧气来。火星上有丰富的能源。如风能比地球上要丰富得多；火星上有地热能；还可利用二氧化碳和氢制造甲烷燃料；也可用重氢进行核发电等等。火星上有火山活动和水流冲击形成的各种金属富矿，比分布在月壤中的金属元素优越得多。通过探测火星土壤的成分、结构与分布，分析火星土壤中的水冰与气体组分，研究火星土壤的成因、表面气液流体与固体物质的相互作用和地质改造历史。

三、研究火星大气及气候特征

大约40亿年以前，火星与地球气候相似，也有河流、湖泊甚至可能还有海洋，未知的原因使得火星变成今天这个模样。探索使火星气候变化的

原因，对保护地球的气候条件具有重大意义。火星有一个巨大的臭氧洞，太阳紫外线没遮拦地照射到火星上。可能这就是海盗1号、海盗2号未能找到有机分子的原因。火星研究有助于了解地球臭氧层一旦消失对地球的极端后果。现在的火星上只有稀薄的大气，但在30亿年前，火星的表面包围着厚厚的二氧化碳大气层。由于火星变冷，大部分二氧化碳都被土壤吸收起来。当人类完成改造火星第一步后，温暖的气候将使这些二氧化碳释放出来。通过对火星电离层、中性大气、磁层探测，以及火星表面的气象观测，研究火星的大气组成与结构、太阳辐射与火星大气和物理场的相互作用、火星表面的气候特征，探讨火星大气圈的演化历史。

四、研究火星地质特征、演化与比较行星学

比较行星学主要奠基于：大气外观测和一系列宇宙探测器获得的月球地质、构造、磁场以及自月球取回样品的分析资料；“水手”号、“金星”号、“火星”号、“海盗”号、“旅行者”号等行星际飞船获得的大量行星探测的科学资料；地球的研究成果；各种类型的研究结果。研究火星的地质概况可以了解火星的变化过程和地球与火星之间的区别与共性。作为火星探测计划的一部分，科学家希望理解风、水、火山作用、构造地质学、撞击坑等过程在形成和改变火星表面中的相关角色。比如，火星上有令人难以置信的巨大火山，其规模是地球上火山的10倍甚至100倍以上。这个不同点的解释就是火星地壳不像地球地壳一样运动，这意味着所有的岩浆汇集即成为一个非常巨大的火山。行星表面特征反映行星的内力成因和外力成因的地质活动，以及行星的地质演化历史。

类地行星（包括月球和木卫一）的主要地质活动可分为两组：内力过程，包括火山和构造作用；外力过程，包含大气和水的侵蚀及小天体的撞击成坑作用。火星环球监测者探测器最近发现了在火星上分布着大面积的岩石剩磁，这表明火星曾经有一个像地球一样的全球性的内禀磁场，当前火星具有多极子磁场。由于磁场通常表现为保护行星不受各种宇宙射线的伤害，这一发现暗示很可能发现火星表面曾经存在生命的猜想。对于远古

磁场的研究对火星过去的内部结构、温度和组成也将提供重要信息。磁场的存在还表明火星曾经像地球一样充满生机。

火星上各种岩石的组成以及年龄测定。根据火星岩石类型与分布的探测，表明火星表面广泛分布玄武岩与安山岩，通过火星陨石的年龄确定，大致可以厘清火星历史事件的顺序。

行星的演化与其热历史密切相关。行星热历史主要是研究行星热能的现状、演化历史及其起源等问题。行星的分异、火山活动、构造活动和岩浆活动是行星热历史的反映。火星的质量介于地球和月球之间，具有过渡型的特征。早期急剧加热熔融，分异形成壳、幔和核，内部物质的分异程度高于水星，低于地球。热量的积累和失散以及演化程度也介于水星和地球之间，火星形成后的20亿年，构造岩浆活动最激烈，通过连续的构造、岩浆活动和火山喷发，逐渐形成火星上的各种火山地形、断岩和峡谷。火星现今没有明显的构造岩浆活动和火山喷发，接近于地质上的宁静期。内部物质除气过程产生的气体仅部分被火星捕获，构成稀薄的大气层。火星表面有明显的风蚀和堆积作用，火星地形受到一定程度的改造，古老地形和环形坑地形的保存程度比地球好。

通过从整体、全局性的探测，到局部详细特征的分析，再到内部组成的研究，解析火星的表面过程、构造特征、地质单元和内部结构，研究火星的地质演化历史，并通过与地球、月球和金星等的对比分析，为地球尤其是地球环境的演化提供重要启示。

结合国际火星探测历程、现状与发展趋势，我国火星探测的主要任务是环绕遥感探测、软着陆巡视探测和取样返回，实现对火星从全球普查到局部详查、再到样品实验室分析的科学递进。其中，环绕遥感探测科学目标着眼于火星全球、全局的探测，建立火星科学总体、全局的科学概念；软着陆巡视探测科学目标着眼于火星局部地区重点探测（火星实验室和巡视探测器），开展火星科学试验；取样返回科学目标着眼于着陆点的现场调查与分析 and 火星样品的分析研究，开展比较行星学研究。

环绕遥感探测科学目标包括：探测火星地下水冰和极地冰盖中水冰存在的深度、范围和含量，绘制火星水冰分布图；开展火星土壤层特性的探测，研究火星表面土壤分类、分布和结构特征；开展火星全球形貌探测和重点地区详查，绘制火星表面影像图和地形图，研究火星表面水流地貌、火山地貌、风蚀地貌、撞击坑地貌和极地冰川地貌特征及其变化，以及未来火星着陆区形貌特征；开展火星表面物质成分探测，研究火星表面元素、矿物组成和岩石类型的基本分布规律；开展火星大气电离层及行星际环境探测，通过测量不同能量水平的各类粒子（电子、离子、中性粒子）的谱分布及宏观物理性质，分析火星电离层的电导特性、电流分布、等离子体波和粒子辐射环境特性，研究火星的水逃逸过程、火星电离层与太阳风的相互作用。

软着陆火星的巡视探测科学目标包括：开展着陆区地貌与地质调查，研究着陆区构造特征和地质演化过程；开展着陆区土壤成分探测，研究火星表面的土壤元素丰度、矿物组成、岩石类型；开展火星地下水（冰）探测，分析火星表面水（冰）层位和含量；开展火星表面气象观测与环境分析，监测火星表面大气、尘暴等变化特征，分析中性大气和电离层结构与成分；开展火星生命信息探测与科学试验。

取样返回科学目标：着陆点的现场调查和分析包括：开展着陆点区域形貌探测和地质背景勘察，获取与火星样品相关的现场分析数据，建立现场探测数据与试验室分析数据之间的联系；火星样品的分析研究：对火星样品进行系统、长期的试验室研究，分析火星土壤的结构、物理特性、物质组成，深化火星成因和演化历史的研究，开展比较行星学研究。

通过火星环绕、巡视探测及取样返回，实现从全球普查到局部详查、着陆就位分析、再到样品试验室分析的科学递进。1. 获得火星土壤分布图、结构层位信息、非露头层序的结构特征；2. 探测火星电离层的导电性及电流分布和火星电离层中的等离子体波特性；3. 研究火星大气中高能粒子辐射能谱和成分的三维空间分布；4. 利用火星表面特殊环境，进行生物

学和物理学试验。同时，获得火星返回样品，并对这些样品进行系统、综合研究，进一步深化对火星起源、演化的认识。火星探测的其他亮点工作还有：奔火过程中甚低频射电测量；分辨率100米左右的火星影像图和分米级局部图像；火星中性大气成分垂直结构；更加精确地探测火星大气中的水逃逸过程；火星中高纬度地下水冰的确认与分布、极地水冰分布；等等。

太阳探测的科学畅想

太阳既是离人类最近的一颗典型的恒星，对太阳的探索和研究将为我们提供宇宙中其他恒星上所发生的基本的天体物理过程和规律；同时，太阳也是对人类生存环境和地球附近空间作用和影响最大的天体，研究和探索太阳演化和活动的基本规律，增强我国对太阳风暴的监测、预报和警报能力，满足国民经济建设，社会发展和国家安全的需求。

太阳物理中还存在着许多重要的问题悬而未决，例如太阳内部结构理论、太阳活动周的起源、太阳耀斑和日冕物质抛射的触发机制、色球和日冕的反常加热问题、太阳风的加速等。认识太阳活动对人类社会生存环境和地球附近空间环境的作用和灾害性的影响，必须寻求采用最新的探测手段、研究新的技术方法，在新的探测领域获得最新的科学发现。对于太阳来说，比如对太阳磁元的多波段同时探测、在全部甚低频波段的宽带动态频谱的连续探测等方向还存在巨大空间去获得有价值的科学新发现。

我国深空太阳探测应立足优势基础，瞄准科学前沿，关注灾害性影响，突出重点方向，按照点、面、体系统布局，实现深空定点太阳观测、太阳极轨观测和太阳风暴的全景观测。探测太阳矢量磁场、速度场和辐射场，研究太阳磁场和太阳活动的起源和演化，揭示太阳耀斑和日冕物质抛

射等爆发现象的物理机制；探索太阳风的起源和太阳整体磁场的形成机制；追踪和诊断太阳风暴在日地空间的传播过程及其对近地空间环境的灾害性影响，提高对太阳风暴的预报和警报能力。

定点太阳观测

在距地球约150万千米的第一拉格朗日点（L1）为日地连线的引力平衡点进行太阳探测，与近地轨道相比，可减小多普勒偏离对磁场和光谱测量的影响（一个量级），提高测量精度；可提前0.5—2小时探测到太阳扰动和各种粒子，有利于太阳风暴的监测和预警；任何时候均不受地球遮挡，可连续获得实时数据；不受地球辐射带影响，有利于设备的长期运行；探测器的姿态容易实现稳定指向。因此，L1点是理想的深空太阳观测位置。

因此，可以在日地第一拉格朗日点，通过大口径、高分辨的太阳磁场望远镜，观测太阳磁场、速度场，认识太阳磁场的基本结构和演化特征；通过与高分辨率的极紫外成像仪、 $H\alpha$ 和白光成像仪、莱曼阿尔法成像仪、高能辐射谱仪和粒子探测包、太阳和行星际射电频谱仪的协同观测，研究色球和日冕加热、太阳耀斑和日冕物质抛射的源区特性、太阳耀斑的非热过程和粒子加速、太阳风暴在行星际空间的传播过程等，揭示太阳耀斑和日冕物质抛射中能量存储和释放的物理本质，为太阳活动预报提供重要的物理依据。

太阳极轨观测

到目前为止，太阳物理学仍存在几大科学问题：太阳活动周的运行机制、太阳磁场的起源、色球和日冕的加热机制、高速太阳风的加速过程等。这些科学问题在其他天体物理领域也普遍存在。要解决这些问题，必须对太阳极区的磁场结构和演化、等离子体动力学特征进行可靠探测。极区磁场很可能是太阳发电机的种子磁场，但是，从未被俯视观测过，太阳极区是否存在对流过程也从未被确切诊断。因而观测极区磁场的结构和演化，诊断极区对流等离子体动力学特征，就成为太阳物理中一个关键科学

问题。另外，高速太阳风和太阳爆发活动是影响人类生存环境最主要的两类太阳物理过程。极区是高速太阳风的源区，迄今人类对太阳风加速的位置、初始高度、磁场和等离子体环境尚无清晰的认识。由此，进行极区太阳风初始加速的直接观测，对认识太阳风的起源有决定性的意义。

通过太阳极轨探测器，首次对太阳极区的磁场、速度场和辐射场进行俯视成像和光谱观测，可揭示太阳极区物理场的基本特征及其变化，探索高速太阳风的起源和太阳整体磁场的形成机制。

由于在黄道面无法对太阳极区进行观测，因此，开展太阳极轨探测是非常必要的。

太阳风暴全景观测

由于地球电离层影响，在地面无法对太阳电磁风暴从太阳表面到近地空间的传播过程进行甚低频射电连续全景成像观测。在偏离日地联线的引力平衡点第四拉格朗日点（L4）或第五拉格朗日点（L5），或者在地球绕日轨道偏离 45° 的深空位置，由多颗微小探测器编队组阵进行太阳甚低频成像观测，能够跟踪太阳活动现象在日地空间传播过程，获取太阳风暴前兆、初发及其日地空间环境响应的重要信息，结合其他载荷实现从太阳附近到近地空间对太阳风暴的全景观测，研究太阳风暴在日地空间传播的基本规律，为灾害性空间天气事件的预报警报提供可靠依据，并填补国际空白。

因此，可发射多颗微小探测器，在深空进行编队组阵，通过综合孔径技术在0.3—30MHz甚低频频段进行射电干涉成像，结合主星上搭载的磁象仪、日冕仪和硬X射线成像仪等，实现从太阳表面以上4—5个太阳半径处到近地空间的日冕物质抛射、太阳风、高能粒子辐射等现象的连续全景成像跟踪，认识太阳风暴对近地空间环境的灾害性影响。

按照深空太阳观测点、面、体的系统布局，首次任务主要探测太阳磁场的元结构；第二次任务探究太阳磁场的起源；第三次任务是观测和掌握太阳电磁风暴的全过程。对太阳活动的长期监测，则主要靠地面望远镜的系统观测来实现。

小行星探测的科学畅想



小行星是围绕太阳运行的岩石或金属天体，它们的体积相当小，内部演化程度低，较完整地保留了太阳系早期形成和演化历史的遗迹，通过探测小行星可为探索太阳系早期形成和演化过程提供重要的线索，也为解开地球生命起源之谜提供重要的证据。此外，近地小行星运行轨道与地球相交，对地球上生命的安全造成了极大的威胁。迄今科学家已经在地球上发现了168个撞击坑，6500万年前以恐龙为代表的70%的地球生物物种的灭绝就是源于一次直径约10千米大小的小行星撞击地球。2004年发现了有史以来危险等级最高的一颗小行星“阿波菲斯”，很有可能在2029年和地球擦肩而过，在2036年撞击地球，释放的能量将比广岛原子弹爆炸高10万倍。因此，通过发射探测器对小行星进行系统的科学研究，不仅可了解小行星的形成和演化过程，对与探索防范其撞击地球而所采取有效的规避措施是非常必要和紧迫的。

由于地面观测小行星具有一定的局限性，而深空探测则是对小行星和彗星特性的深入探索和全面认知。传统地面小行星观测可获得基本轨道参数和一些物理特性（但仅局限于千米级以上的目标），对小行星物质成分的分类和形状的解析度则是非常有限，而对体积大小、物质组成、内部结

构、引力场，磁场等参数的测定几乎是空白。然而，空间探测是全波段探测，从早期的可见光探测，逐渐扩展到 γ 射线、X射线、紫外、可见光、红外、微波和无线电波的整个电磁波谱；无论是影像还是成分探测，时空分辨率越来越高；分析手段也从遥感分析、就位分析到返回样品的试验室分析。这些探测活动将对小行星和彗星的各方面特性进行深入的了解及对其运动规律进行全面的掌握，对小天体撞击地球的可能性和灾害程度进行系统的研究和评估，特别是为将来规避小行星的威胁而采取有效的防范或规避措施提供了重要的科学依据，从而最终保护地球和人类的安全。

小行星的空间探测一般是经过飞越、伴飞、附着和采样返回等历程，如伽利略号、深空1号、星尘号和罗塞塔探测任务。其中伽利略号任务飞越的小行星Ida是人类第一次发现拥有自己天然卫星的小行星。尼尔号探测器是人类第一次针对近地小行星的探测任务，探测方式为伴飞和附着。隼鸟号探测器针对系川小行星已经成功附着并实施采样返回。目前国际上小行星深空探测主要是围绕采样返回任务开展，以及实现由无人探测到载人探测，如NASA已制订“移民石”计划拟登陆小行星。

我国开展小行星探测的基本科学目标应该围绕太阳系起源、地球生命起源和水起源以及地外生命物质存在等重大科学问题。通过对碳质（和其他原始）小行星开展深空探测，直接取得太阳系原始成分来探索原始组成生命的有机化合物的存在形式和探索地球生命在外太空的适应能力，深化认识太阳系的形成过程和演化历史；探测小行星的轨道、大小、形态、成分与结构，分析小行星撞击地球的几率，研究规避小行星撞击地球的方式，保护地球和人类安全。

根据太阳系中小行星的位置分布，大体上可分为主带小行星、特洛伊小行星、柯依伯带天体、半人马天体和近地小行星。从目前人类已获得成功的空间探测任务和研究成果来看，绝大多数威胁地球的小行星为近地小行星。因此，首先将开展对近地小行星的多目标多任务探测，在此基础上开展对主带小行星的探测。此外，随着技术的不断发展，柯依伯带天体将

是继主带探测之后的目标。

小行星的空间探测本身是一项多学科、高科技集成的系统工程，将推进航天工程系统集成、深空测控通信、新型运载火箭和航天发射等航天技术实现跨越式发展，从而保持中国进入空间能力的不断提高。同时，它也必将带动信息、材料、能源、微机电、遥感科学等其他新技术的提高，对于促进中国社会经济的发展具有重要意义。

我国太阳系小天体的探测科学目标可主要围绕太阳系内原始天体进行探测，即开展对小行星、彗星、矮行星、柯伊伯带天体、火星卫星、巨行星不规则卫星和其样本——陨石和行星际尘埃等的探测研究。以飞越、伴飞、附着、取样返回等探测方式，对近地目标小行星进行整体性探测和局部区域的就位分析，对主带目标小行星实现取样返回。因为这些天体不仅记录了关于太阳系形成和早期历史的独特信息（太阳系形成的初始状态、条件和过程），而且对于理解太阳系原始有机物起源和地球组成生命的有机化合物的起源，对于保护地球的生物圈和环境气候等有着重要的科学价值和现实意义。

关于近地小行星探测，通过精确测定目标小行星的运行轨道，探测其物理特性，评估其撞击地球的潜在威胁。通过飞越探测，获取小行星的整体形貌、大小、表面特征等科学数据；通过伴飞探测，测量小行星的形状、大小、表面形态、自转状态等基本性质，绘制小行星的地形地貌图，建立其形状结构模型，研究其自转状态动力学演化、约普效应和表面形态成因；通过长时间伴飞和附着探测，获取小行星整体和局部形貌、矿物含量、元素种类、次表层物质成分、空间风化层、内部结构等信息，研究小行星的形成和演化史。通过巡航段的空间环境探测，研究行星际太阳风的结构和能量特征；通过伴飞和附着探测，获取小行星临近空间环境参数，研究太阳风对小行星表面的空间风化作用。

关于主带小行星探测，选择主带小行星中最重要的天体，进行环绕探测，测量其形状、大小、表面形态等基本性质，绘制高分辨率地形地貌

图，研究表面相对年龄。通过着陆就位探测，研究着陆区的地形地貌、土壤层的小尺度精细结构和粒度分布；高精度就位分析着陆区的物质成分，如有机物和水的含量；探测小行星表面的矿物含量、元素丰度和有机组分等信息，绘制表面矿物与元素分布图，确定小行星的类型；研究宇宙射线、太阳高能粒子和太阳风对小行星表面的空间风化作用，稀薄大气层与太阳风的相互作用；测量小行星的磁场强度，探讨磁场的形成和演化过程；探测土壤层特性、内部结构和内核大小，研究小行星内部的早期熔融分异机制。通过取样返回，开展小行星样品的深入、系统和综合分析研究。系统测定样品的物性、物质组成、有机组分、同位素组成、结构构造、小行星各演化阶段的年龄，通过与类地行星、小行星的比较研究，探索太阳星云盘的物质分馏过程，为小行星的起源与演化、早期太阳系的形成与演化过程提供科学依据。

结合其他探测任务的飞越探测包括：在木星等探测任务过程中实施对小行星（或彗星）的飞越探测，测量其形状、大小、表面形态、自转状态等基本性质。

金星探测的科学畅想

金星犹如一颗耀眼的钻石，在天幕上是最亮的星星。金星在我国古代称为太白，早上出现在东方时又叫启明星、晓星、明星，傍晚出现在西方时也叫长庚星、黄昏星。在希腊与罗马神话中，金星是爱与美的化身。罗马人称金星为维纳斯（Venus），维纳斯是爱神、美神，同时又是执掌生育与航海的女神；在希腊神话中她叫阿佛罗狄忒（Aphrodite）——爱与美的女神，金星的图腾符号是维纳斯女神化妆台的镜子。金星一直都被稠密卷曲的云层笼罩在神秘的面纱中。金星是一个普通的、体积很小的行星，不是发光发热的恒星，但却是最亮的星星。太阳系的类地行星按照距离太阳由近而远的顺序，依次是水星、金星、地球与火星。金星的半径约为6073千米，只比地球半径小300千米，体积是地球的88%，质量为地球的87%，平均密度为地球的95%，在类地行星中，金星与地球的大小、质量最接近，是地球的姊妹星。金星比地球更靠近太阳，在金星上看太阳，太阳的大小比地球上看到的大1.5倍，金星的位置接受太阳的光和热的辐射常数比地球大1.9倍。由于金星被一层稠密的100多千米厚度的大气层所包裹，特别是距离金星表面47—70千米高度的白中透黄的反光云层，使到达金星的阳光大约70%被反射到太空，使金星在天穹中成为最亮的星星，甚

至比最亮的恒星天狼星还要亮。

望远镜看不到金星的真实面貌。金星周围有浓密的大气和云层，金星的大气压强非常大，为地球的90—99倍，相当于地球海洋中1千米深度时的压强。在100多千米厚的金星大气层中，夹有一层厚达20—30千米厚的浓硫酸组成的浓云，使金星的天空呈现橙黄色，经常下硫酸雨。这些云层挡住了各种光学望远镜对金星表面的观察，往往只能观察到金星表面的云层呈现的带状风系统，这种带状风是太阳照射所造成的对流。

上世纪60年代初以来，美国和苏联分别发射了“水手号”和“金星号”等一系列探测器，迄今为止发往金星或路过金星的各种探测器已经超过40个，获得了大量的有关金星的科学资料，但是对金星面貌的了解仍然模糊不清。1991年，美国发射的轨道飞行器“麦哲伦号”绕金星运行，成功应用合成孔径雷达对金星表面成像，首次获得分辨率为300m覆盖金星表面99%的图像，金星的面容才真实地显露出来。

金星一天的时间比一年还长。金星绕太阳运行轨道接近于正圆，金星公转的轨道面与黄道面接近重合，公转周期为224.701个地球日。金星的自转速度很慢，自转周期为243.01个地球日。金星公转一周为金星的“一年”，自转一周为金星的“一天”，金星“一天”的时间比金星“一年”的时间还要长18.3个地球日。

金星为反向自转。太阳系的行星（金星除外）自转的方向与公转的方向（反时针方向）一致，唯有金星是反向自转（顺时针方向），自转与公转的方向相反，因而在金星上太阳是西升东落，与地球上的太阳是东升西落完全相反。太阳系8大行星的自转轴与黄道面都不是垂直的，水星接近垂直，其他行星的自转轴与垂直黄道面法线都有大小不等的夹角。一般的解释是当太阳系各行星形成不久，受到不同大小、速度和入射角的小行星撞击，使受到撞击的各个行星的自转轴不同程度的倾斜，甚至像金星那样倒转。理论计算各个行星的自转轴不同程度的倾斜并不困难，但要找到撞击的科学证据还有待进一步研究。

金星的大气主要由二氧化碳(96.5%)和氮(3.5%)组成,还有极痕量的 H_2O 、 SO_2 和 H_2S 。地球的大气主要由 N_2 (78.1%)和 O_2 (21.0%)组成, CO_2 只占0.033%。为什么大小和质量相近的金星与地球,大气的成分差别极大?在太阳系形成初期,类地行星(水星、金星、地球、火星)的原始大气层中的气体都被强烈的太阳风驱赶殆尽,行星的大气层是通过初期行星大面积的火山爆发喷发出来的火山气体组成,类地行星的大气层是次生的。在类地行星中,地球和金星的质量最大,可以将更多的内部排出的气体“束缚”在它们表面,因此它们的大气有着复杂的组成和较大的密度。

金星的表面高达 $450^{\circ}C$ — $480^{\circ}C$ 的高温。温室效应是指在透射阳光的密闭空间内,由于与外界缺乏热交换而形成的保温效应。金星的大气密度是地球大气的90倍,且大气中97%以上的二氧化碳是“保温气体”。二氧化碳只许太阳光通过,却不让热量散发到太阳系空间。被封闭起来的太阳辐射使金星表面变得越来越热,温室效应使金星表面温度高达 $450^{\circ}C$ — $480^{\circ}C$,并且基本上没有地区、季节和昼夜的差别。金星大气中还有一层厚达20—30千米由浓硫酸组成的浓云,浓云一方面阻止金星表面热量的散发,增强了温室效应;但是另一方面浓云把70%入射的阳光都反射回了太空,使金星表面接受到的太阳光比较少,大部分阳光都不能直接到达金星表面,因而大大减弱了金星的温室效应。如果金星没有这些浓云层,金星表面的温度还会更高。

金星是太阳系中拥有火山数量最多的行星。“麦哲伦”号雷达的探测数据表明,至少85%的金星表面被火山喷发的熔岩流覆盖,显示金星在距今的8亿—10亿年以来,火山活动仍很活跃。在金星表面发现有几百个大型火山地貌,还零星分布着十多万座小型火山,金星是太阳系中拥有火山数量最多的行星。金星表面古老的地形地貌和地质构造特征绝大部分被后期的熔岩流覆盖,为分析研究金星的地质构造演化历史带来了更大的困难。

在地球上,有些火山爆发时由于内部含有大量的气体和水,将促使火

山熔岩剧烈喷发。金星的火山熔岩里缺乏水，且由于金星表面的大气压很高，金星的火山似乎没有剧烈爆发和喷射火山灰的迹象，只发现熔岩流的溢出和流淌。根据“麦哲伦”号雷达的探测，85%的金星表面覆盖着火山熔岩流，大量的火山熔岩流经几百千米，填满低地，形成了广阔的平原。

金星没有板块运动。按照地球的板块构造理论，板块运动的发现是源于海底扩张，大陆漂移；板块运动的机制是刚性的岩石圈板块在软流圈对流的驱动下产生漂移。在板块交界处板块碰撞造山，岩石圈板块插入软流圈，火山—地震带的形成等。金星的内部结构，目前直接探测资料极少，只能参照地球内部结构推测金星内部有一个半径约3100千米的铁—镍核，中间一层是主要由硅、氧、铁、镁等化合物组成的幔，而外面一层是主要由硅、铝、氧化合物组成的很薄的壳。来自“麦哲伦号”探测金星的数据表明，金星的“地壳”比起原来所认为的更厚也更坚固。金星没有海洋，更没有发现海底扩张产生的对称磁条，没有线性的火山链，没有明显的板块消亡地带等。推测金星没有像地球那样产生过可移动的板块构造。

金星自转速度很慢，自转一周的时间为243.01个地球日，金星赤道处的自转速度为每秒1.81米。金星表面大气的风速只有每秒1米或更小，随着高度的增加，金星大气旋转的速度增大。在16千米高度时，大气的旋转速度达到每秒20米，大大超过金星自转的速度。在70千米高度大气的旋转速度大约为每秒100米，绕金星一周旋转的周期只有4—5个地球日。如此快速转动的上层大气，被称为“超旋”，至今仍是个令人不解的谜团。

金星是一颗神秘的行星。金星的天空呈橙黄色，高空云层浓密，雷鸣闪电，阴森恐怖；金星表面高温高压，火山熔岩流淌，强酸雨沉降，没有海洋，没有河流，没有一滴水；金星没有任何生命活动的迹象，是一个严酷的、死寂的世界。

国际上已经开展了40次金星探测，但目前有关金星大气层的水逃逸机制、大气超旋的成因等仍是未解之谜。此外，对金星大气进行分层和特定层位的就位精细探测具有重要意义，然而由于金星具有极高的大气压、较

厚的二氧化硫云层、很高的表面温度等环境特点，大大限制了光学探测手段的应用，必须采用雷达探测技术并结合浮空器探测，以获取金星地形地貌、局部大气特征、表面矿物组成等基本科学信息，填补金星浅层结构、区域物质成分等探测的国际空白。

金星探测是一项巨大的系统工程，必须陆续实施而最终完成。我国金星探测仍然可以采用环绕和浮空探测，实现对金星大气层整体性的探测和局部区域的就位探测，以及金星表面地形地貌与次表层物质结构的全球性探测，获得金星大气的组成与结构、温度场、电离层与磁层、地形地貌与物质组成等的探测数据。开展金星大气层的闪电和气辉，温室效应，大气环流等的成因机制以及大气整体演化过程，大气层、电离层与太阳风的相互作用过程，水逃逸机制等研究；开展金星表面改造的地质营力和地质构造演化史的研究；开展金星内部结构的综合性研究。

木星系统探测的科学畅想

木星的质量是其他七大行星总和的2.5倍多，目前已发现有60余颗卫星，构成了木星系统。木星具有强大的磁场，影响着整个木星系统；木星大气、电离层与太阳风的相互作用对木星的演化起重要作用；木卫二、木卫三都有液态水，是可能存在地外生命的天体之一。探测和研究木星的磁层与太阳风的相互作用、木卫二的地下海洋及其可能支撑生命存在的环境，具有重要的科学价值，对探索生命起源具有重要启示。

我国木星系统探测可以环绕探测方式重点对木星磁层结构、木卫二的大气和冰层、行星际空间环境等进行探测，并进行地球生命的地外生存演变特性的观测。通过木星系统环绕探测，获取木星的磁层结构、大气环流等探测数据，研究太阳风与木星磁场的相互作用、大气环流模式与动力学机制；探测木卫二空间环境和表面冰层形貌，研究冰层厚度分布特性、木星潮汐作用对木卫二地下海洋的加热效应。通过巡航段行星际太阳风结构探测，研究太阳风在行星际空间的传播特性。通过巡航段生物舱试验，研究地球生命在地外环境的生存特性。首次木星系统探测工程通过借力金星，对木星和木卫二进行环绕探测，开展多目标、多任务的科学探测任务，主要科学目标包括：研究木星磁层结构、木卫二大气密度、温度、

风场、成分和磁场、等离子体、高能粒子辐射；探测木卫二表面地形起伏、冰层形貌及其厚度分布；探测木星和木卫二的电离层（电子流、密度等），以及电离层与太阳风相互作用所产生的感应磁场；探测金星—地球—地球—木星间的磁场、等离子体、电场及其随时空的分布特征；开展木星系统探测器飞行期间的微型遥测遥控生物科学试验，获取不同飞行段生物的生命特征现状、变化等信息。

让中国飞得更远

对未知世界的探索，是人类文明和科学技术进步发展的永恒推动力；对茫茫宇宙的探测，则是人类认识宇宙、探索宇宙的起源、拓展生存空间的必由之路。深空探测可以进一步解答地球如何起源与演变、行星和太阳系的形成和演化、地球是不是宇宙中唯一有生命繁衍的天体等一系列问题，帮助人类研究太阳系的起源、演变和现状，进一步认识地球环境的形成和演变，认识空间现象和地球自然系统之间的关系，有利于人类积极开发和利用空间资源。

深空探索的不断发展将为人类的共同发展提供更多的空间和机会，为人类了解地球和探索未来提供更多的机遇和挑战。同时，深空探测也是当今世界高新科技领域中极具挑战性和创新性的活动，推动着国家科技经济进步与社会可持续发展，将是21世纪人类进行空间资源开发与利用、空间科学与技术创新的重要途径。

尽管在深空探测的道路上充满挑战与风险，也曾遭遇失败，但这依然无法阻止人类迈向深空脚步，人类对未来探索太空的奥秘充满了坚定的信心。

纵观国际深空探测的历史和发展，未来深空探测活动将进入以科学引

领为主、科学与技术协调发展、互相促进的新阶段——

未来，将有更多的国家参与到深空探测活动中，国际合作将更加广泛。人类探索的空间对象将更加多元化，探测的距离将延伸向更遥远的空间；人类探索太阳系的探测方式将更加多样化，探测手段也将不断扩展。深空探测的内容将更为丰富，科学牵引作用将不断增强；太阳系与宇宙的探索将永无止境，人类的足迹终将探测整个太阳系，奔向更遥远的宇宙空间。浩瀚的宇宙蕴藏着人类永远探索不尽的未知奥秘，在未来的道路上，随着航天事业和科学技术的不断进步与发展，人类将更加着眼于地球长远的生存环境，充分开发利用地外资源与能源，建立月球与火星基地，拓展人类生存与发展的空间。届时，人类的探索终将奔向更遥远神秘的太阳系空间和宇宙空间。

太阳系探测开拓、保障与丰富了人类的美好未来！中国应该飞得更远！应该为人类做出更大贡献！