Twenty-four Suggestions for Scientific Thinking

科学思辨二十四则

叶高翔 / 著

名师讲堂 MASTER'S LECTURES 07

商務印書館 The Commercial Press 创于1897

Twenty-four Suggestions for Scientific Thinking

科学思辨二十四则

叶高翔 / 著

名师讲堂 MASTER'S LECTURES 07

商務印書館 The Commercial Press
创于1897

图书在版编目(CIP)数据

科学思辨二十四则/叶高翔著. —北京：商务印书馆，
2015
（名师讲堂）
ISBN 978-7-100-10694-8

Ⅰ. ①科… Ⅱ. ①叶… Ⅲ. ①科学思维—普及读物
Ⅳ. ① B804-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2014）第 193154 号

所有权利保留。
未经许可，不得以任何方式使用。

科学思辨二十四则
叶高翔 著

商 务 印 书 馆 出 版
（北京王府井大街 36 号 邮政编码 100710）
商 务 印 书 馆 发 行
北京瑞古冠中印刷厂印刷
ISBN 978-7-100-10694-8

2015 年 1 月第 1 版 开本 787×1092 1/16
2015 年 1 月北京第 1 次印刷 印张 9 3/4

定价：36.00 元

致　谢

撰写本书，得到了国家自然科学基金委（项目批准号:11074215；11374082）、教育部高等学校博士学科点专项科研基金（项目批准号：20100101110005）以及浙江大学的资助，作者在此表示衷心感谢！

序

人类科学事业已有数千年的历史。从早期的经验科学到现代精确科学，研究内容由简单归纳实验规律逐渐过渡到理论推演客观真理，研究范围也从地球表面向地下和茫茫太空不断延伸，可谓惊天动地，硕果累累。与此同时，科学精神随之形成并不断完善，成为人类文明的重要组成部分。科学还与哲学、科幻、宗教、艺术、文学、心理等学科或领域关联交叉，相互辉映，并在最高境界达到贯通归一。

本书试图对人类科学探索过程中的诸多科学方法论问题、科学精神以及与其他诸多学科(如艺术、心理学、哲学等)的相互交叉与渗透进行探讨，将其作为一种文化进行一般性阐述，淡化人文社科与自然科学之间的边界痕迹，实现科学与人文社科的完美结合。

对客观真理的感悟和对自然科学美妙的欣赏，不仅仅属于少数科学工作者，而应该同时属于全体大众。因此，本书尝试综合文、理两种表达方式，在文字叙述和实物照片旁证的同时，巧妙采用各种富有新意的曲线、表格、公式、范式等理工科表现手法，以达到生动、简洁、美感、一目了然的效果，使读者不知不觉览胜于科学与人文之间，品味宇宙哲理，优化科学思辨。

在大学从事物理学教学科研三十余年，受益于师长指点、参加中外

学者合作研究、在浙江大学物理系与盛正卯教授合作教学、与液面镀膜实验室师生共同科研以及与历届大学生讨论共勉，本书实为作者多年所学之感悟。盼能以此为交流平台，与广大读者分享教学科研体会及成果，达到引导路径、领悟规律、感受科学美妙之目的，以助读者事业与人生。



2013 年秋于杭州

目　录

引　言 001

第一章　从经验科学到精确科学 005

第一则　定性描述　经验言传 005

第二则　精确定量　数学推演 009

第二章　科学探索的严密逻辑 018

第三则　孤立、片面、静止看问题 018

第四则　“守株待兔”与归纳推理 021

第五则　演绎推理:演绎未经证明的假说 025

第六则　客观、精确定量、任意可重复 027

第七则　科学理论为何与真理齐名？ 030

第三章　科学否定与创新 036

第八则　检验客观真理的唯一标准 036

第九则　科学否定与创新同步 038

第十则　宇宙奥秘是不可穷尽的？ 046

第十一则　科学创新难度的变迁 048

第十二则　思想是第一位的！ 049

第十三则　今天学习　明天创新 052

第四章　科学与科学哲学 059

第十四则　宇宙客观真理的化身 059

第十五则　科学假说:智慧灵感闪烁之光 063

第十六则　有限与无限的相对性 066

第十七则　从定性到定量的飞跃 068

第十八则　两种机理——决定论与概率论 073

第十九则　线性与非线性思维 082

第二十则　时空对称与守恒律 088

第五章　客观真理与主观心理 096
第二十一则　心诚则灵 097
第二十二则　主观认知客观的相对性 103

第六章　科学与艺术 107
第二十三则　最高境界:多学科相互贯通 107
第二十四则　真理与美的关联 122

结束语:人类文明奔向何方? 125

附　录 139

讨论题 144

参考文献 146

引 言

大约在 137 亿年前，一个温度极高、密度极大的奇点发生了猛烈的爆炸，其前沿迅速向四周推进，宇宙开始了它漫长而壮丽的生涯。这便是著名的宇宙大爆炸理论所描绘的宇宙诞生及演化图景。

在二十世纪之前，人们一般认为宇宙在空间和时间上是无限的。现在，由宇宙大爆炸理论可以推断：今天宇宙的年龄应该在 137 亿年左右；宇宙空间也是有限的，其视界半径约为 137 亿光年数量级。如此结论立即导致两个问题：

（1）既然宇宙在空间上是有限的，那么宇宙边缘外面是什么？回答比较抽象：虽然宇宙空间有限，但宇宙四维时空弯曲，当我们身处宇宙之中，没有绝对中心，也不存在边缘，于是，也就没有“边缘外面是什么”那样的问题了；宇宙始于奇点的大爆炸，现在依然处在膨胀过程之中。假如我们能跳出宇宙四维时空看问题，宇宙膨胀前沿尚未到达之处可谓宇宙边缘之外，那里没有物质，因此也没有时间和空间。

（2）从逻辑上讲，既然宇宙有开始那一刻，它的存在必然在时间上是有限的，即有始必有终。那么大爆炸以前的宇宙是什么样的？这个高温高密度的奇点又是谁放在那里的？未来它又将如何结束这一切呢？回答比较简单：迄今尚不知晓。

大爆炸以后，宇宙的范围不断扩大，物质密度和温度逐渐降低；宇宙中的物质疏密分布发生变化，其中的一个个巨大宇宙尘埃不断旋转和凝聚，逐渐形成了一个个星系，如银河系、仙女座星系、猎户座星系等。在整个宇宙中，

类似的星系超过几十亿个。我们所处的银河系是一个不断旋转、直径约为 10 万光年的扁平圆盘形星座，内有类似太阳那样的恒星超过 4000 亿颗。

银河系中有一片宇宙尘埃不断旋转，其形貌逐渐扁平圆盘化，通过万有引力的凝聚作用，圆盘的中间核心部分演化为高温发光的太阳，其余部分逐渐冷却凝聚成一颗颗绕太阳公转的行星，于是太阳自转、各行星自转以及绕太阳公转的角动量方向基本一致，这便是太阳系的形成过程。由此可见，当年牛顿推测的所谓“第一推动力”实际上是不存在的。

太阳系直径约 10 光小时，而恒星太阳的直径约等于 139.2 万千米，其中每时每刻均在发生猛烈的核聚变爆炸，由此产生巨大的能量，通过电磁波、宇宙高能射线等方式向四周辐射能量。太阳温度极高，其中心温度约 1.5×10^7 开尔文，表面温度约 6000 开尔文。太阳系共有八大行星，按照与太阳的空间距离排列，分别是水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星、海王星。

大约在 39 亿年前，不断降温的地球形成其最初的永久性地壳；至 35 亿年前，地球上的大气圈、海水开始形成。今天的地球是一颗半径约为 6400 千米的蓝色星球，其表面五分之四被蓝色的海洋覆盖，她无疑是浩瀚宇宙中最美丽的一颗星球！

地球表面附近有数百千米厚的大气层，其中主要成分是氮气和氧气。地球表面的平均温度约为 15℃，从而使地球表面可存在液态水。地球绕自身主轴自转一周需要 24 小时，计为一天；自转导致地球面对太阳部分不断变化，形成白天和黑夜；在自转的同时，地球还环绕太阳公转，公转一周为一年，形成春夏秋冬四季。距地球约 38 万千米处有一颗直径为 3476 千米的天然卫星，称之月亮，它绕自身主轴自转和围绕地球公转的周期相等，计 27.32 天。

在太阳系的八大行星中，唯有地球显得非常特别，因为地球上具有生命和智慧人类，生机盎然，文明发达。生命存在和文明进步需要诸多苛刻条件，如环境温度合适，存在液态水，大气中要有适量氧气，源源不断的能量供给等。恰巧，我们所在的地球满足所有条件，作为地球人，应该感到幸运啊！

地球上生命的诞生经历了一个漫长的时期。当地球温度逐渐下降至一个合适范围，经过极其复杂的过程，由非生命物质逐渐进化形成生命系统。一般认为，生命的起源可分为四个阶段：

第一阶段：从无机小分子转变为有机小分子。在原始地球的条件下，液态水的存在十分重要，那时的大气中含有氢、氨、甲烷、二氧化碳、一氧化碳和水蒸气等。通过日照海水的蒸发、水蒸气在高空冷却后的下雨以及空中电闪雷鸣等，激发大气中不同气体间发生化学反应，于是地球上开始出现包括组成蛋白质所需的各种氨基酸在内的新有机化合物。

第二阶段：由氨基酸、核苷酸等有机小分子凝聚形成原始的蛋白质、核酸等生物大分子。

第三阶段：由生物大分子逐渐组合成有机多分子体系（或称团聚体），表现出合成、分解、生长、生殖等生命现象，具有明显的新陈代谢功能。

第四阶段：有机多分子体系演变为原始生命。这是生命起源过程中最复杂、最具有决定意义的阶段。不过，迄今科学家们还不能在实验室里验证这一过程。

由于深厚的海水能阻挡或衰减来自太阳的高能射线，原始生命最早应该诞生在海洋深处，并不断进化成低等动物。另一方面，随着大气中各种化学成分的变化，臭氧层、电离层、地磁场等不断形成并共同作用，能有效阻挡、衰减来自太阳的高能射线辐照，或改变高能粒子的入射轨迹，于是陆地上的植物开始生长并不断进化。植物绿叶中的叶绿素可接收来自太阳的中低能光子（即可见光），通过与水等的相互作用，将光子能量转化为碳水化合物，这便是所谓的“光合作用”，它为地球上所有动物的繁衍进化提供了丰富的食物资源。随后，海洋深处的低等动物逐渐向陆地迁徙，陆地上开始热闹起来了，动物与植物之间以及动物与动物、植物与植物之间相互依赖，相互竞争，不断进化，新陈代谢，形成一条完整微妙的生物链。此外，不同动植物之间相互依赖与竞争，遵循“优胜劣汰”原则，导致各类动物以不同速率向前进化。

在漫长的物种进化过程中，众多低等动物不断向高层次进化，以适应周围环境的变迁。在此过程中，生活在大约 1400 万年前的类人猿的进化尤为出众，依靠其独特的体型、结构、大脑等优越条件，逐渐进化成地球上唯一的高等动物——古人类，他们生活在距今大约数百万年前的岁月里。具有高度意识和智慧的现代人类是古人类在大自然中不断进化的产物，他们逐渐承担起地球文明的重任。

大约一万年前，地球文明之火悄悄燃起。在文明初期，人们通过对大自然的不断探索，不断实践，掌握了初步的自然规律，如火的利用、简单工具制造、原始农业兴起等。与此同时，人类的语言也不断丰富发达，并逐渐出现了文字。到了一定发展阶段以后，学科开始形成，诸如宗教、迷信、天文、几何、哲学、艺术、文学、科学等。另一方面，学科之间的壁垒也随之逐渐加深，边界开始清晰，相互之间的关联及影响不断减小。到了现阶段文明的高度发展时期，各学科又开始融合交叉，连成一体。这是一个属于全人类的庞大学科体系，即“地球文明”。

人类的科学事业已经有数千年的历史，从古代我们的祖先利用固相反应原理烧制陶器和瓷器，到现代的超大规模集成电路、核能、宇宙航行等，从早期朴素的自然规律归纳，到现代深奥科学理论的演绎，人类的科学事业经历了一个从经验科学到精确科学的渐进过程，具有独特的发展规律、思维方式和研究方法，惊天动地，硕果累累。与此同时，伴随着人类科学事业的发展，科学精神也随之产生并不断完善，它是地球人类的文化瑰宝，辉煌灿烂，是人类文明的重要组成部分。此外，科学与其他诸多学科有着内在而微妙的联系，自然规律以不同形式隐含在哲学、科幻、宗教、艺术、文学、心理学等学科或领域之中，相互交叉与融合。

自然科学研究的成果具有物质属性；同时，自然科学研究所揭示的宇宙奥秘、思维方式、研究方法、表现形式等还是人类共同的精神财富，可供一般人们直接欣赏、领悟和借鉴，犹如音乐、书画、诗歌、影视一般。

第一章　从经验科学到精确科学

人类的科学事业大致可以分成两个阶段：第一个阶段是公元前 3000 年到十五世纪，我们把它称为经验科学阶段；第二个阶段是从十五世纪到现在，科学发展进入了一个突飞猛进的阶段，称之为精确科学阶段。

第一则　定性描述　经验言传

在经验科学阶段，人类的科学事业处于初级发展时期，科学发展主要依靠人的“经验”。经验从实践中来，一般以定性为特征，即很少采用精确数字描述，基本不用数学，至多也只用初等数学。对于实践经验，意会容易，精确数学表述较难，定量推演一般不易采纳。在古代，经验传授主要通过人与人之间（如长辈与晚辈，先生与弟子，师傅与徒弟等）的共同劳动来实现，具有归纳推理特征。

经验科学范式：因为前人通过 A 过程得到 B 结果，所以后人也可操作 A 过程得到 B 结果。且 A 过程和 B 结果均为定性或半定量描述，带有主观痕迹。

在经验科学阶段，人们采用初等算术和直观几何学，在陶瓷、冶炼、火药、

造纸、古代医术、几何光学、静磁学、静电学、天文学、声学、原子分子学等方面取得了较大突破。

人类材料科学的发展是从陶瓷的烧制开始的。约八千至九千年前，中国人就已经知道用高温烧制某些泥土可获得具有一定机械强度的固体器皿，即陶器，其原理即为现代科学中的所谓“固相反应”。约两千年前，中国人开始烧制真正意义上的瓷器。汉代以后中国的景德镇地区，已有各种各样的瓷器生产。在十七和十八世纪，中国成为世界瓷都，通过海路和陆路，中国瓷器畅销全世界，成为世界性的商品，对人类文明发展起到了积极的推动作用。制备陶瓷的工艺不断进步，代代相传。尽管如此，那时的中国人并不知道陶瓷中各种矿物质的精确含量，也不清楚精确改变矿物质相对含量对产品的颜色、机械强度、耐高温、热胀冷缩等物理特性的影响。所以，陶器和瓷器的发明和发展是经验科学的典型成果。

在古代中国，中医学的发展也带有鲜明的经验科学特征。几千年来，一代又一代中医学家用各类草药和各种方法为中国及周边国家人民医治了大量疾病，积累了丰富经验。像战国时期成编的《黄帝内经》，明朝时期成书的《本草纲目》等均为典型的经验科学论著。中医的明显疗效使人们确信此类经验方法的有效性，并在过去几千年的历史长河中不断发展和传承。

某一药方告知患者在煎药时需要“温度适中”、“文火煎药”、“加水一升”（其实在古代中国，不同地方，对“升”的量化定义可相差一倍以上！）；到药行抓药时，只见药剂师凭借手感，将几两或几钱的某种草药分成数堆；中医学家可用草药治病，但不必知道草药中的具体化学成分，也不知道同种名称但产地不同的草药中化学成分的变化；当老中医将手中的狗皮膏药放在明火上烘烤后贴在病人患处时，老中医并不精确知道此时那张狗皮膏药的实际温度，因此他也不知道药分子从皮肤向内扩散的速度和浓度衰减曲线等。诸如此类的治病方法均带有鲜明的经验特征。

又如明代李时珍发明疟疾寒热治疗方法：“用青蒿一把，加水二升，捣汁

服”。此处的“一把”究竟是多少重量呢？其误差显而易见。现在，青蒿素已走向全世界，其独特明显疗效已被现代科学反复证明。在《三国志》中记载的“刮骨疗毒”以及在《三国演义》中记载的华佗要为曹操开颅医治头痛顽疾的故事，是作为经验科学范畴的中医学对人类外科医学的最早贡献。

应该指出：作为经验科学典型之一的早期中医学不但是成功的，而且有些先进的理念是现代医学需要学习和借鉴的。中医学的最大特点是强调整体，强调联系，强调平衡；采用“医者意也”、“整体调理”、“阴阳平衡”、“以柔克刚”、“以毒攻毒”等有效治疗方法。例如中医学非常注重人体的整体调理，提高整体免疫力；中医学强调以整体治疗效果为主，只要能改善病人的生活质量、延长寿命，哪怕“人瘤共存”也是成效。类似高超的诸多中医治疗理念现在已被整个世界所证实和接受，与现代医学中的影像拍摄、精确物理和化学检测、化学和生物制药、化疗、放疗、手术等治疗方法形成了良好的互补。

古代中医学强调人的患病与周围环境等相关联，具有时间延续性或周期性，如“天人合一”、“冬病夏治”、“治未病”等观点便是典型例子。早在《黄帝内经》中就提出了“不治已病治未病”的防病养生谋略，春秋战国时期名医扁鹊、唐代大医学家孙思邈等均对此有精辟概述。

事实上，绝大多数慢性病均有一个逐步发展过程，古代中医学“治未病”的理念如图 1—1 所示：正常人出生以后没有慢性病，到达一定年龄 T_1 岁时，某些慢性病的病情参数开始上升和波动，并逐渐量变与积累，但此时属于临界期，生活、工作等尚能依旧与自理；到达年龄 T_2 岁时，质变开始，代表慢性病严重程度的病情参数急剧上升，此时已重病缠身，需要即刻治疗。“治未病”理念告诫人们：我们的上策应该是治未病，即在 T_1 岁前积极预防患病，在 T_1 岁与 T_2 岁之间应密切关注病兆变化，小病慎防早治，延缓和控制病情量变；T_2 岁以后治病不仅痛苦且为时已晚，当然还是要积极医治的；要培养良好的生活和工作习惯（包括饮食习惯、营养平衡、劳逸结合、修身养性、心理调节等），适当进行预防性治疗，从而增加 T_1 和 T_2 的值，延长人

的健康周期，改善生活质量。现代医学证明：良好的生活态度及方式，辅加先进预防措施，完全可使绝大多数人的 T_1 和 T_2 值显著增加！

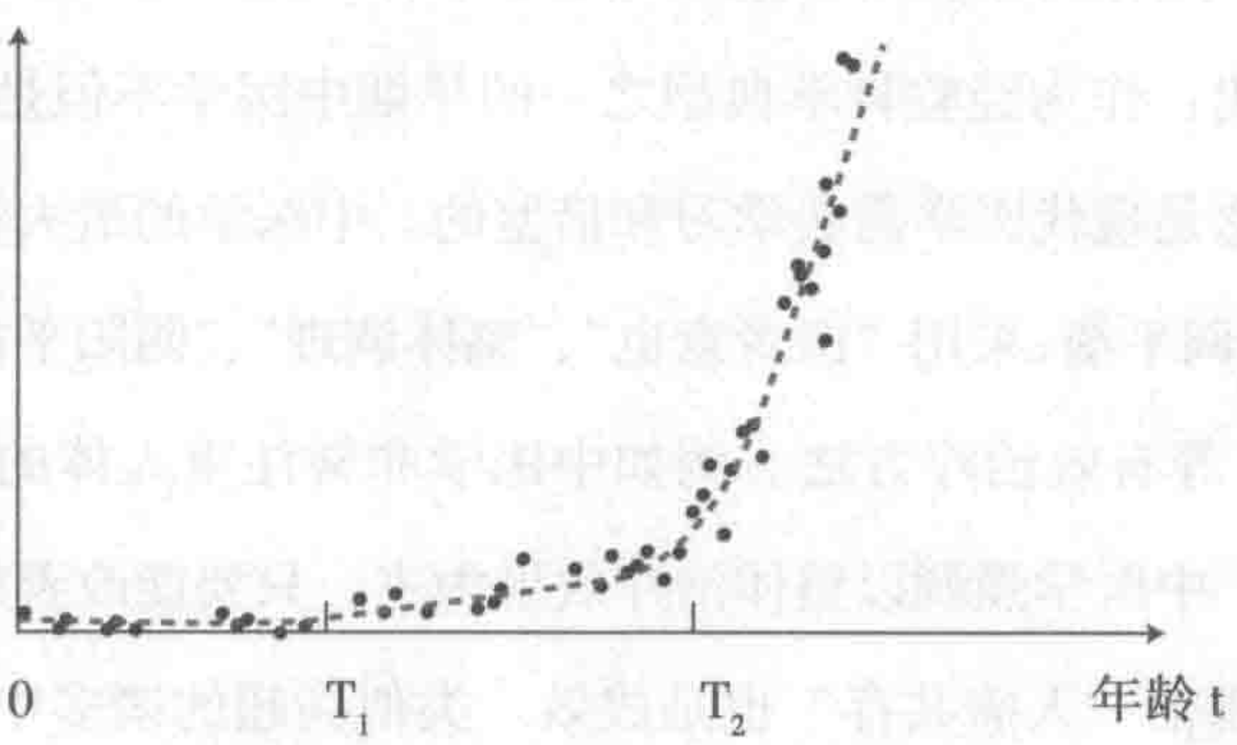

图 1—1　各类慢性病病情参数随人年龄 t 的一般发展过程

在中国古代有一种腌制食品的传统工艺，如咸鸭蛋的腌制方法：将新鲜鸭蛋放在掺有干净泥土的盐水里，盐分子便会通过蛋壳扩散到蛋内。我们的先辈代代相传咸鸭蛋的腌制方法，知道夏天腌制咸鸭蛋较快，而冬天则较慢，但他们不必知道夏天和冬天的精确温度差是多少，也不必知道水中食盐浓度的精确值，更不会去研究温度、食盐浓度与腌制时间的函数关系，因为这样的经验工艺对腌制咸鸭蛋来说已经够用了。现在人们知道，中国古代的食品腌制工艺、狗皮膏药对关节炎的治疗原理等均是后来半导体物理中“原子分子扩散原理”的最早应用，而扩散原理偏微分方程的建立和精确求解则是在牛顿和莱布尼茨发明微积分理论之后完成的。

其他方面，如古代的造纸术、航海、青铜冶炼、蚕丝养殖等均带有鲜明的经验科学色彩。

经验科学一般只注重结果，而不太关注深层原因，即只注重“怎么样”而不关注“为何如此”。因此，经验科学有其很大的局限性。此外，由于经验科学以定性的“经验”为基础，对整个研究过程的推理、判断、相互交流、成果记录及传承等主要依靠文字或粗略的数字，直接导致以下三个问题：

（1）由于“经验”往往带有一定的主观性，故以经验为基础的推理或判断失误概率较大，容易导致错误的结果。

例如在陶瓷的烧制过程中，如果仅仅凭肉眼观察炉火颜色判断炉温，整个烧制过程的升温、保温和降温过程的控制仅仅凭经验进行，那么，由于温度变化曲线无法重复，所获产品的成品率不会很高，其质量重复性和一致性也一定很低。

再如，夏日炎炎，当我们经太阳暴晒后，来到树荫底下，感到凉快；但当我们从空调房间出来，来到同样的树荫底下，我们会感到很热。因为人对温度的感觉不仅仅取决于其绝对值的大小，还要受温度正负变化量的影响。

（2）定性描述导致精确重复实验难度增大，传承成为难题，导致大量优秀经验和技术失传。

例如要完美复制马王堆出土的两千多年前的编钟，使我们人耳听不出原件和复制品的发音区别，那是十分困难的。类似像越王勾践的青铜剑、精美的宋瓷、北京故宫太和殿中的金砖等同样很难被完美复制。

（3）在经验科学阶段，定性的归纳推理成为主要推理范式。由于没有采用精确的高等数学工具，若要通过精确数学演绎获得本质性推论几乎没有可能。

第二则　精确定量　数学推演

十六世纪以后，人类希望更多地了解自然，更深刻地揭示自然规律，于是，诞生了以微积分为代表的现代高等数学。从此，人们可以更加精确地研究自然现象，研究快速变化和不规则的系统。随后，客观、精确定量、任意可重复的诸多学科，如物理学、化学、材料科学、生命科学、地球科学等，迅猛发展，人类的科学事业进入了精确科学阶段。

例如前面我们曾经谈到的烧制陶瓷的话题，事实上，二十世纪之前人类烧制的陶瓷属于“粗陶”和“粗瓷”，因为那时人们并不精确控制陶瓷产品中各种矿物质的含量。直到二十世纪，精密陶瓷诞生，其中各种矿物质成分的百分比逐步精确定量化，实现了真正意义上的所谓“化学配比”，从而使各类精密陶瓷产品的成品率高，重复性好，质量稳定。与钢材等金属材料相比，精密陶瓷在耐高温、防酸碱、抗辐射、轻比重、超硬耐磨等方面有其无可比拟的优越性，其产品在电子、机械、化工、生物、核能、航天等高科技领域得到了广泛的应用。

1. 精确科学范式及特征

精确科学范式：以精确定量描述为基础，以高等数学为主要工具，理论推演与实验可客观、精确定量、任意可重复的验证，其结果具有鲜明的客观性。

抚摸病人额头，确认他体温已属不正常时，医生还需要知道他发烧到摄氏几度，从而判断此病的原因和严重程度，这便是温度的概念。温度计的诞生使人类精确描述温度成为可能。据记载，伽利略是发明温度计的第一人。

现在是什么时候？如果仅仅告知现在是“上午”或“下午”是不够的，还要告知“现在是几点几分几秒”。时钟的发明使之成为可能，伽利略是摆钟原理的奠基者。

始建于 1173 年的比萨斜塔是意大利比萨城大教堂的独立式钟楼，如图 1—2 所示。该塔从地面到塔顶高约 55 米，距垂直地面方向倾斜约 5.5 度，故其顶层偏离地基外沿 2 米左右。传说在 1590 年，意大利物理学家伽利略曾在比萨斜塔上做自由落体实验，将两个大小不同的铁球从塔顶相同高

度同时扔下，结果两个铁球同时着地，由此发现了自由落体运动定律。



图 1—2　比萨斜塔——精确科学兴起的象征

一般认为，伽利略是开创精确科学先河的第一人。

精确度（简称“精度”）是一个测量学概念。当我们需要精确测量某物体长度时，我们可以测得其长度是“1.2 米”，也可以是“1.20 米”，前者小数点后面只有一位有效数字，而后者小数点后面有两位有效数字，后者比前者增加了一位有效数字，因此后者的测量精确度比前者提高 10 倍，科学上称之为“精确度提高一个数量级”。推而广之，当我们测量某物理量时，有效数字越多，测量精确度越高。

一架飞机从北京飞往纽约，飞机的载重量不能超过 X 吨，携带燃油不能少于 Y 吨。这些量不仅需要精确定量，而且需要任意可重复，即第一次飞行和未来第 N 次飞行具有同样的数值。

现代文明创造了一个又一个精确科学的奇迹，如太空飞船与处于恒定轨道上的太空实验室对接、导弹拦截、超大规模集成电路制备、原子分子操作、转基因技术等。

美国的“深度撞击”（Deep Impact）计划是现代精确科学的实验典范：“深度撞击号”飞船携带撞击器于 2005 年 1 月 12 日发射，经过 174 天和长达 4.31 亿千米的飞行抵达大小为 14 千米 ×4 千米的“坦普尔 1 号”彗星，它是一颗周期性“彗星”，现在的轨道周期是 5.5 年。撞击器为重 370 千克的铜质射弹，它以 10.3 千米 / 秒的相对速度准确撞击到这颗彗星上，与预定撞击时间相差不到 1 秒，然后由“深度撞击号”飞船传回大量相关信息。

爱因斯坦相对论是精确科学的理论典范，其各种结论的精确度令世人赞叹不已！迄今为止，诸如引力红移（光波进入引力场后波长增加）、光线弯曲（光线进入引力场后将发生弯曲，改变原来传播方向）等已经得到极高精确实验的验证。此外，还有其他诸多精确的理论预言，如引力波和引力子等，由于精确度太高，实验难度极大，迄今尚未得到实验的直接验证。



图 1—3　屹立在德国乌耳姆城中的爱因斯坦诞生纪念碑
（碑文：1879 年 3 月 14 日，阿尔伯特·爱因斯坦诞生于此地的房屋）

科学对精确度的追求永无止境。目前，量子力学中普朗克常数的最新测量值为 $h = 6.62606876（52）$ 焦耳·秒；电子磁矩的测量值为 $\mu_e = 1.001159652193（10）\mu_B$，其中 μ_B 为一个常数；从伽利略开始，人们对光速测量一直抱有浓厚兴趣，现在测得的最高精确度为 $c = 299792458$ 米 / 秒；目前人类对电压测

量精确度约 10^{-17} 伏特，对磁场的测量精确度约 10^{-15} 特斯拉，对空间距离测量精确度约 10^{-10} 米，对时间测量精确度约 10^{-35} 秒，如此等等。人们仍不满足，测量精确度仍在不断提高。

当然，随着测量精确度的提高，所付出的代价也快速上升。人们不禁要问：为什么要付出如此大的代价，任意可重复地进行如此精确的测量呢？精确的实验测量数据、逻辑严密的高等数学理论推演，可将实验与理论进行客观、精确定量、任意可重复地循环验证。实验数据越精确，与精确数学计算结果越吻合，越能揭示自然规律的本质，由此建立的科学理论也越逼近客观真理。

2. 精确定量的极限

精确是相对的，不精确是绝对！所谓精确，应该是一个相对的概念，并具有鲜明的时代性。

在牛顿时代认为是非常精确的实验，在现代看来是很不精确的。例如在牛顿力学中，描述两个硬球在光滑桌面上完全弹性碰撞时的能量守恒，当时认为是十分精确的，但现在看来，还是近似的，因为诸如碰撞声波能量、碰撞点的形变热能等均未记录在内。当然，在经典力学的范畴内，那时的精确度已经足够用了。

二十世纪二十年代，量子力学诞生，其中的海森堡“不确定原理”告知人们：对于某微观粒子，假如粒子的坐标为 x，动量为 p，能量为 E，寿命为 t，它们的不确定范围分别为 Δx，Δp，ΔE 和 Δt，则满足不确定关系

$$\Delta x \cdot \Delta p \geqslant h$$
$$\Delta t \cdot \Delta E \geqslant h, \tag{1—1}$$

上式中普朗克常数 $h \approx 6.63 \times 10^{-34}$ 焦耳·秒。上式的文字表达如下：微观粒

子的坐标和动量不可能同时被测准；微观粒子的能量和寿命不可能同时被测准。两个不确定量的乘积要大于一个常数，我们永远无法让其中某一个量的不确定范围等于零。由于在上式中的能量和动量均具有不确定范围，所以在这个精确度之下，能量和动量均是不守恒的！当然，由于 h 值很小，这个所谓的“不确定性”是很小的，但这个“不确定性”是客观存在的，无法通过我们提高仪器测量的精确度或提高观察者的素质加以克服。由此我们看到，在不断精确认识客观世界的道路上，人类第一次触及到了宇宙的一个极限，不可逾越的极限！

二十世纪七十年代完善成型的非线性科学告知我们：由于非线性效应，可导致结果对原因微小变化的极其敏感性，其敏感程度是目前任何办法（包括高灵敏探测器、超大型高速计算机等）也无法测量到的。例如所谓的“蝴蝶效应”：北京的一只蝴蝶扇动一下翅膀，有可能引起杭州的一场大风暴！即极小的原因（根本无法探测）可以导致极大的结果；反之，很大的原因也可导致很小的结果。

综上所述，我们终于明白了：生活于天地之间的人类，并不是可以为所欲为的，对大自然各种参数的测量精确度是有极限的。

此外，精确性还应该是一个有关社会的范畴。如何评价一种动物的灭绝对整个生物链和生态系统影响才是精确的？如何计算现代医学中化疗对肿瘤病人的真正利弊才是精确的？如何评价一位教师的优秀程度才是精确的？……回答这些问题非常复杂，除了科学，还涉及人类学、社会学、心理学、哲学、宗教等学科，需要我们不断对“精确度”这一概念进行正确理解。有时候我们可以采用精确数字描述；有时候则需要同时采用数字和非数字两种描述方式；或许在有些情况下我们无法精确定量，只能采用非数字的定性描述；或许对某种现象的描述并不是越精确越好，粗线条或模糊定性描述可能更加确切或“精确”。

在百姓的日常生活中，有时“精确性”并不显得十分重要。例如我们常

说的“很红”、“很早”、“微辣”、“不太咸”、“马上到达”等很不精确的词语也不会引起多大麻烦，因为大家已经习惯了。

为了表达某种强烈意愿，有意识地不精确夸张也是需要的，如“光速回音”、“光速办理”、“火速前往”、“闪电式推广”等。

有时候过分的“精确性”也没有必要。例如厨师烧菜时，没有必要采用天平秤将油、盐、酱、醋等进行精确定量；我们所穿的外衣，当长短相差小于一厘米时，肉眼是看不出来的；某人某天多吃一口饭或少喝一瓢水也是无关紧要的；等等。

有时候，我们希望精确定量，但很难做到。例如像保健品、化妆品、烟、酒、饮料等，一般的广告词均告知消费者：如果长期使用该产品，“脸颊会红润”、“眼角皱纹可减少”、“减轻疲劳程度”、“嫩白肌肤”等。但实际上此类功效是很难被仪器精确检测的，也很难被人眼明显识别。这就是为什么社会上相关伪劣商品屡禁不止、虚假广告甚多的原因。

有证据显示：雨后空气中的负离子或离子发生器产生的负离子可使人体血液中氧含量增加，对修复人体皮肤细胞、促进细胞分裂等确有一定作用。但若要将极少量细胞生长与皮肤“美容”联系起来，精确测量并证明的难度极大。或许，此类负离子确有一定“美容”效果，但此效果恐怕远远达不到人眼所能分辨的程度。

【例】今晚第一节课是几点钟开始的？

教授：同学们，今天晚上我们的第一节课是几点钟开始的？

同学：六点三十分。

教授：是六点三十分吗？还是六点三十分零一秒？还是六点三十分零零零一秒？还是六点二十九分五十八秒？……

同学：是……

教授：其实，我刚才所提的问题没有答案，我们永远无法精确知道这一节课究竟是何时开始的！由此可见，人类测量时间的精确度是有极限的。

同学：哦，那么如何表述此时间呢？

教授：我们可以说“今天晚上第一节课是在六点二十九分至六点三十一分之间开始的”。

【例】身高可以精确测量吗？

教授：请问你的身高是多少？

同学：我的身高是 1.80 米。

教授：是 1.80 米吗？还是 1.801 米？还是 1.7985025 米？……

同学：是……

教授：其实，我刚才所提的问题没有答案，我们永远无法知道任何人的精确身高值！由此可见，人类测量空间长度的精确度是有极限的。

同学：哦，那么如何表述此空间长度呢？

教授：我们可以说“你的身高介于 1.79 米至 1.81 米之间”，在科学上，习惯将其表示为“1.80 ± 0.01 米”。

3. 精确定量——人类文明的发展方向

随着人类文明向前推进，人类的各种活动趋向越来越精确。科学技术在不断精确化，如太空飞船的发射，受控核聚变的实验，基本粒子质量的测量等；工农业生产在不断精确化，如超大规模集成电路的制备，转基因食品的生产，农药的精确使用等；人们日常生活也在日益精确化，如飞机的准点起飞，全球电视的同步转播及收看，食品中微量元素含量的精确标定，中药内含成分的精确定量化；等等。

体育比赛工具以及各种测量也是越来越精确。例如鲨鱼皮泳衣表面的精确仿生设计可将水中阻力降低 10% 左右，并可减少约 5% 的氧气消耗，最终可使成绩提高零点几秒。又如对百米赛跑、速度滑冰等比赛的时间记录已精确到百分之一秒（即 0.01 秒），甚至千分之一秒（即 0.001 秒）等。

未来，在诸如跑步、跳高、划船等比赛中，若要在原有的精确度范围内打破世界纪录将越来越难；但如果我们增加测量精确度，即增加测量值小数

点后面的有效数字位数，则在更高的精确度范围内打破世界纪录相对比较容易。以百米赛跑为例，若要从 9.9 秒进步到 9.8 秒较难，但从 9.90 秒进步到 9.89 秒相对容易。

精确定量化也是许多社会科学的追求趋势：现代经济学、金融学、社会保险等领域大量采用微积分及其他高等数学工具。现代管理学越来越注重精细化管理模式，常有“细节决定成败”之说。一个国家的各种数据统计，如 GDP 指数、CPI 指数、人均收入、人口出生率、失业率等统计也越来越精确，一般可达到百分之零点几的精确度。就连一幢建筑、一辆汽车、一套礼服、一个皮包、一件玉雕饰品等，做工越精致，价格越昂贵！

总之，定量并不断精确化是现代人类文明的发展方向。

第二章　科学探索的严密逻辑

“形而上学”、“归纳推理”和“演绎推理”是科学研究中的一般方法。从逻辑学角度讲，这三种研究方法均存在着本征的缺陷，其逻辑漏洞客观存在且无法消除。但我们不得不承认：在过去几百年的实践中，科学研究所获得的结论是正确的，其成果已大规模得到应用，导致了史无前例的现代文明。采用逻辑上有明显缺陷的方法得到了正确的结论，其中的奥妙究竟在哪里？通过对“伽利略科学研究范式”的剖析，本章试图对这一疑问做出回答。

第三则　孤立、片面、静止看问题

在自然科学领域，要求科学工作者既要学会全面、运动、联系地看问题，也要学会孤立、片面、静止地看问题！

自然科学工作者经常采用一种被称为“形而上学”的研究方法。例如“物理模型”（理想气体、质点、刚体、黑体、周期性边界条件等）、“时间平均”、“n级近似解”、“隔离法”、“微扰法”、“分离变量法”等，它们均采用孤立、片面或静止的形而上学方法对问题进行简化，然后研究其真实物理规律。科学家们还以“抓主要矛盾，略次要矛盾”为理由，对此类做法的合理性问题进行解释。但是什么叫“主要矛盾”？什么又是“次要矛盾”呢？在具体的科学问题中，有时候“主”和“次”并不是十分清晰的。

我们以物理学中的单摆为例，如图 2—1 所示，该理想模型隐含了如下近似：

（1）细绳无质量，长度 l 始终不变；

（2）摆锤为质点，其直径为零且质量 m 恒定；

（3）摆锤的摆动角 θ 很小，趋向零；

（4）摆锤除了受地球引力（重力加速度为 g）之外，其他星球引力、空气阻力等均不存在；

（5）单摆处于严格的惯性参照系之中。

只有在如此孤立、片面、静止的严厉近似下，我们才可得到简单的单摆方程：

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = -\omega^2\theta\ ,\ \ \omega^2 = \frac{g}{l}\ , \tag{2—1}$$

得到美妙的正弦（或余弦）解

$$\theta = \theta_0 \sin(\omega t+\varphi), \tag{2—2}$$

其中 θ_0 是振幅，ω 是角频率，t 为时间，φ 是振动的初位相。

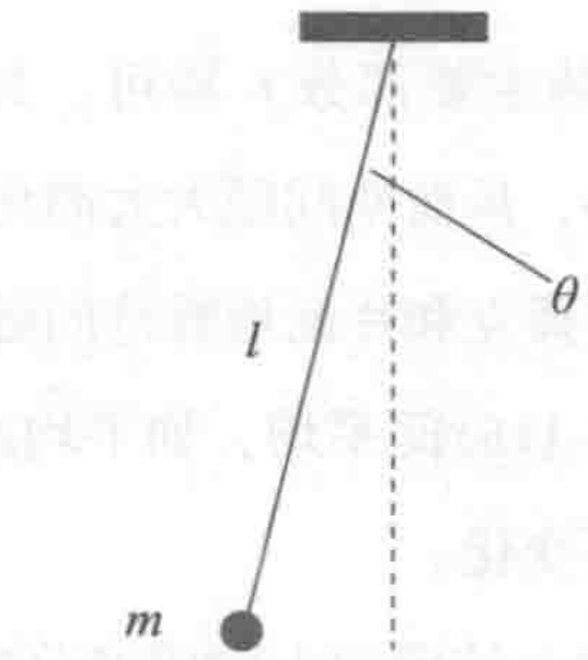

图 2—1　“单摆”示意图

为了理解物理学近似的实质，我们将上述单摆方程的近似过程一般化。对于低速宏观物理系统，假如物体的质量为 m，空间坐标为 $\boldsymbol{r}$，时间为 t，则

牛顿动力学微分方程一般可表示为

$$\boldsymbol{F}=m\boldsymbol{a}=m\frac{d^2\boldsymbol{r}}{dt^2}\ , \qquad (2—3)$$

其中加速度 $\boldsymbol{a}=\frac{d^2\boldsymbol{r}}{dt^2}$ ；$F=f_1+f_2+f_3+\cdots$ ，是作用于该物体上的所有力之和。

对于上面所说的单摆而言，f_1 等于地球对摆锤的吸引力，f_2 等于太阳对摆锤的吸引力，f_3 等于月亮对摆锤的吸引力，f_4 等于金星对摆锤的吸引力……直至穷尽宇宙中的所有天体物质。

又如，当我们计算地球绕太阳公转轨道时，需要考虑太阳对地球的吸引力 f_1，月亮对地球的吸引力 f_2，金星对地球的吸引力 f_3，火星对地球的吸引力 f_4，……

一般而言，若要精确求解微分方程（2—3）式是十分困难的。于是，科学家们采用如下一般近似法则：假如 $f_1>>f_2+f_3+\cdots$ 成立，则上述牛顿动力学微分方程可近似表示为

$$f_1=m\frac{d^2\boldsymbol{r}}{dt^2}\ , \qquad (2—4)$$

即方程中只需计入物体受力的主要部分 f_1 即可，其余诸力之和“$f_2+f_3+\cdots$”可以被认为是“次要”而忽略，从而使问题大大简化，求得我们所需要的解。

上述近似方法是典型的“孤立和片面地看待问题”。此外，“时间平均”则是静止看问题的例子，因为一旦时间平均，如平均速度、平均流量、平均作用力等，该参量将不随时间而变化。

在经典物理学领域，采用上述形而上学研究范式所取得的一个又一个巨大成功使人们对此十分自信和放心，几百年来，很少有人对此近似方法在逻辑上的严密性问题进行深入探讨。

然而，人们不禁要问：与 f_1 相比较，即使（$f_2+f_3+\cdots$）是一个小量，它就

不重要吗？“小量”一定可作为次要因素而被忽略吗？直到二十世纪七十年代以后，由于非线性科学的发展，该问题才得以解决。现在我们知道，“小”并不一定等于“次要”；“大”也不一定等于“主要”；而且在很多情况下，“大”和“小”以及“主要”和“次要”是可以相互转化的。

以飞机为例。在飞机的某些部位拿掉一大块并不会影响其正常飞行，但在某些部位只要拿掉很小一块，哪怕是一颗很小的螺丝钉，飞机便有可能掉下来。在这个例子中，重要性并不能以体积大小、质量轻重以及材料贵贱而论。由此可见，尽管形而上学的研究方法十分有效，但其逻辑漏洞明显存在，有时确实可以导致严重后果。

潮汐的起因是什么？太阳对地球海水的引力为月球对海水引力的 180 倍，但太阳对潮汐的贡献仅为月球贡献的 1/2.18。地球直径约为 1.2 万千米，相对于地球与太阳距离 1.5 亿千米来说此直径可以忽略不计。而 1.2 万千米相对于地球距离月球 38 万千米来说就不能忽略了。根据流体力学原理，导致潮汐的主要原因之一是引力的非均匀性，引力大并不等于它对潮汐的贡献大，引力小也并不意味着它对潮汐的贡献可以被忽略！

总之，经典物理学所取得的巨大成就告知我们：形而上学的研究方法是自然科学领域中的重要研究范式之一，不仅在很多情况下是有效的，而且在很多情况下也是我们所不得不采用的。不过，该方法的逻辑漏洞有时是不能被忽略的。

第四则　“守株待兔”与归纳推理

（不完全）归纳推理的一般过程可归结为如下公式：

S_1 是 P

S_2 是 P

S_3 是 P

…

S_n 是 P

S_1，S_2，S_3，…，S_n 是 S 类的部分对象

所以整个 S 都是 P！　　（2—5）

在上式中，n 是归纳的事例数，如图 2—2 所示。一般而言，为了提高归纳推理的正确率，应该尽可能增加归纳事例数 n 值。

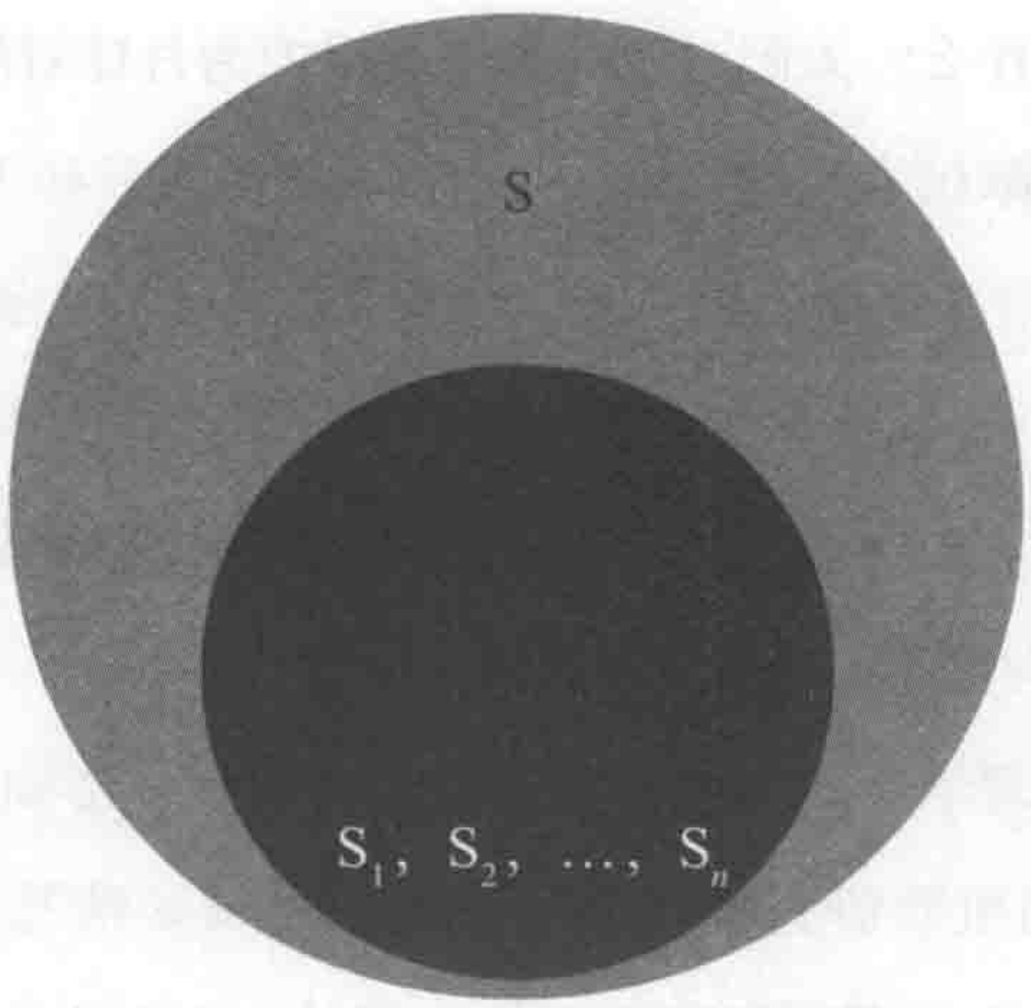

图 2—2　“归纳推理”示意图

我们考察当年牛顿万有引力定律的推理过程：

地球与月球之间是相互吸引的，

地球与太阳之间是相互吸引的，

地球与火星之间是相互吸引的，

太阳与月球之间是相互吸引的，

土星与土星的卫星之间是相互吸引的，

太阳与哈雷彗星之间是相互吸引的，

天狼星与天狼星的伴星之间是相互吸引的，

……

所以，宇宙中任何两个天体之间都是相互吸引的！

在上述例子中，牛顿用已知的几个天体之间存在相互吸引作用的事实和计算数据推出了著名的万有引力定律：宇宙中任何两个天体之间均存在相互吸引作用！作用力 F 的大小与两天体质量 m_1 和 m_2 的乘积成正比，与两天体之间距离 r 的平方成反比，即

$$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}, \tag{2—6}$$

其中 G 是一个宇宙常数。

此类被称为归纳推理的方法在科学研究中十分有效，因而被广泛采用。事实上，在绝大多数情况下也是不得已的，在上述例子中，我们的实验不可能穷尽宇宙间所有天体。

另一方面，由于归纳推理是从有限几个结论推出所有，因此在逻辑上是有严重缺陷的，在历史上曾给人类带来不少麻烦。例如将牛顿力学运用于高速运动物体，或将经典电磁场理论的结论运用于原子内部的电子运动等均为失败案例。长期以来，归纳推理也因此受到了来自各方面的批判和质疑。

著名科学哲学家波普尔曾经这样说过："从逻辑的观点看，从个别陈述中，不管它有多少，推论出一般陈述来，显然是不合理的，因为用这种方法得出的结论总是可以成为错误的。不管我们已经观察到多少只白天鹅，也不能证明这样的结论：所有的天鹅都是白的。"（〔英〕波普尔著，查汝强、邱仁宗译 . 科学发现的逻辑 . 北京：科学出版社，1986 年，第 1 页）

在大学《逻辑学》课程的讲坛上，教授们常常列举如下例子：有一位主人养了一只鸡；主人今天早上喂鸡一把米，明天早上喂鸡一把米，……

三个月过后的第 n 天早上也喂鸡一把米；那么在第 n+1 天的早上，那只鸡等到的是否还是一把米呢？从中我们不难看出逻辑学家们对归纳推理方法的忧虑程度。

传说战国时期的宋国有一位农夫，有一次看到一只野兔在奔跑时不小心撞死在一个树桩上，那农夫十分欣喜，便放下手里的农具在那里长时间地等待，希望今后能一次又一次地得到撞死的野兔(《韩非子·五蠹》)。后人用“守株待兔”这一典故来嘲讽那些存在侥幸心理，幻想得到意外收获的人。

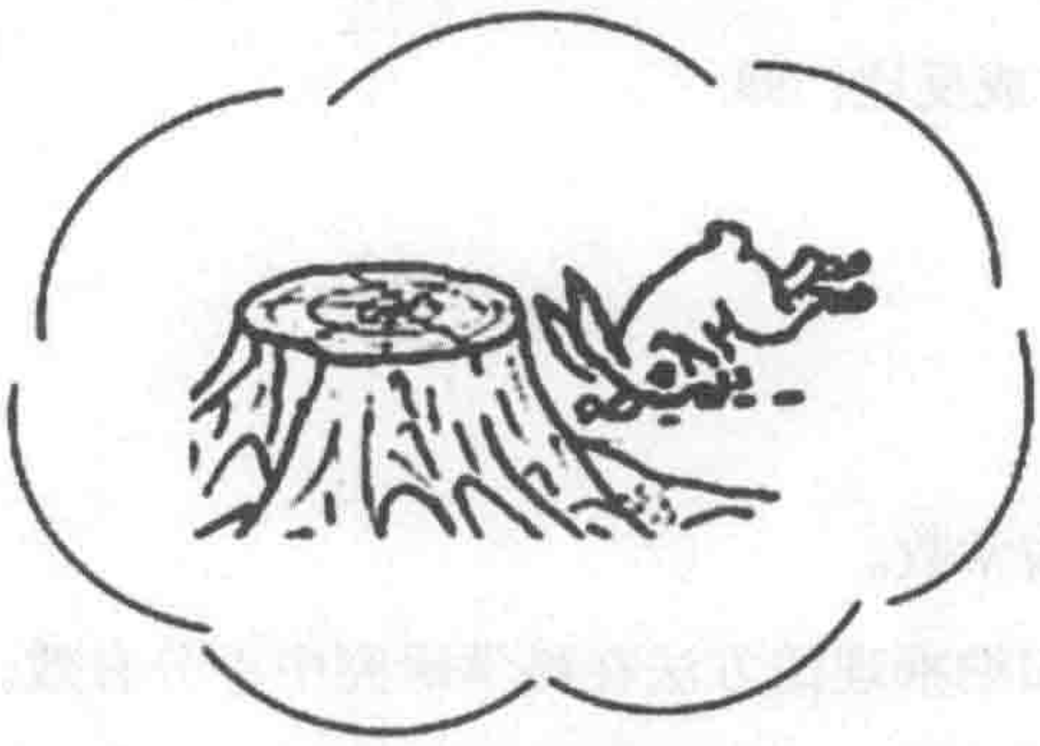

图 2—3　“守株待兔”图

在上述古老的传说中，那位农夫显然采用了归纳推理，其推理过程如下：

因为今天有一只野兔撞在这个树桩上，

所以明天还会有一只野兔撞在这个树桩上，

所以后天还会有一只野兔撞在这个树桩上，

……

很明显，在上述归纳推理中，归纳事例数 n=1。

传说归传说，现实还是现实，在科学技术高度发展的今天，人类应用归纳推理的成功事例比比皆是，且不可避免，但我们对它的谨慎态度是不可缺少的。

第五则　演绎推理：演绎未经证明的假说

演绎推理也是科学研究中常用的方法之一，而且往往与哲学、美学等学科相联系。在相对论、量子力学等现代学科中，演绎推理是主要的推理方法，其结论往往惊天动地，且不可思议，并最终极大地推动了人类文明的进程。

演绎推理是从一般（大前提）到特殊（推论）的逻辑推理方法，如图 2—4 所示。

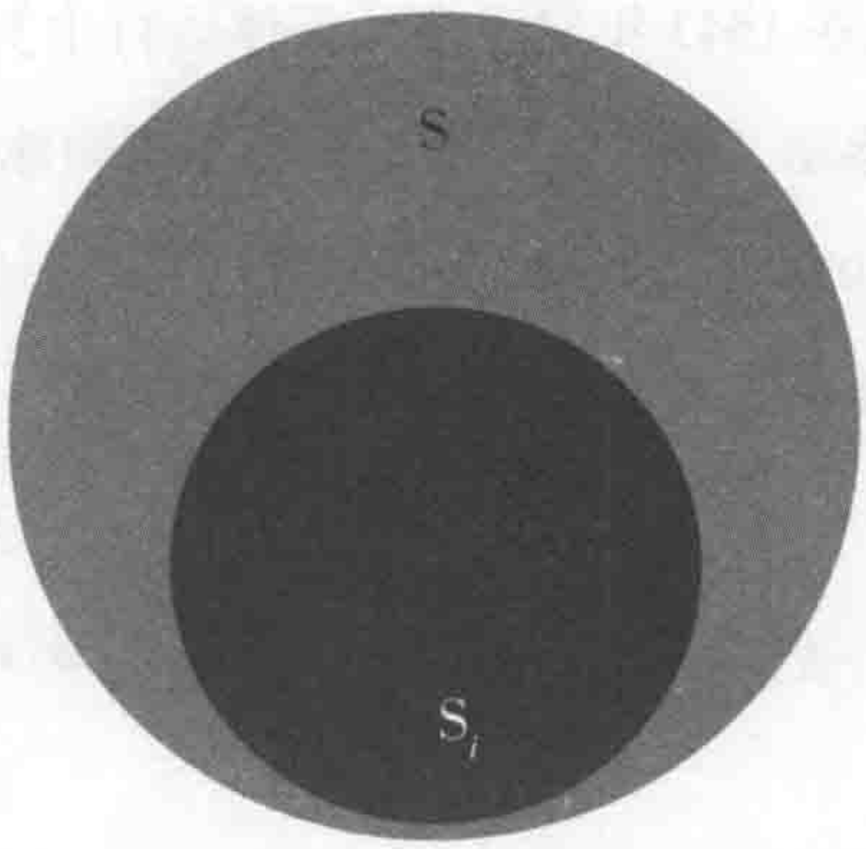

图 2—4　“演绎推理”示意图

其推理公式如下：

$$\frac{\begin{array}{l}\text{所有 S 都是 P。（大前提）}\\ \text{因为 } S_i \text{ 是 S 类的一部分，}\end{array}}{\text{所以，} S_i \text{ 也是 P！（结论）}}\ \text{。} \qquad (2—7)$$

在科学研究领域，大前提（或称“假说”）的提出往往是科学家根据已有的理论知识体系和实验结果“猜”出来的。当然，由于“猜”这个字听起来类似伪科学，所以人们更喜欢用科学家的“灵感”或“直觉”等来取代。此类“灵感”或“直觉”

的产生是基于科学家扎实的理论和实验基础、丰富的科研经历以及非凡智慧基础之上的，它与通常意义上漫无边际的猜测有本质区别。（详见第四章）

著名的日心说推理过程便是一个例子。“自然规律应该是简洁的（大前提），行星运动是自然规律，所以行星应该以最简洁的方式运动（结论）。”波兰天文学家哥白尼当年在观察分析了已有的行星轨迹数据之后，仔细推断轨迹的中心，他认为：如果把太阳放在中心，我们对行星运动的描述将会大大简化（赵凯华、罗蔚茵 . 新概念物理（力学）. 北京：高等教育出版社，1995 年，第 335 页）。于是，他在 1543 年发表的《天体运行论》中，详细阐述了日心说理论，其中，行星运动“简洁性”的思辨过程鲜明地包含其中。

在高能物理中，1926 年克莱因（O.Klein）和戈登（W.Gordon）两人按照相对论的质能公式，提出了著名的克莱因 – 戈登方程

$$-\hbar^2 \frac{\partial^2}{\partial t^2}\psi(\boldsymbol{r}, t)=\left[-\hbar^2 c^2\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2}+\frac{\partial^2}{\partial y^2}+\frac{\partial^2}{\partial z^2}\right)+m^2c^4\right]\psi(\boldsymbol{r}, t), \qquad (2—8)$$

上式是描写自旋为零的基本粒子（如 π 介子等）的场方程。但是该方程对时间和空间均是二阶偏导数，不是最简洁形式。英国物理学家狄拉克（P.A.M.Dirac）于 1928 年提出：从“自然规律应该是简洁的”这一大前提出发，应该可以建立更为简洁的方程。经过不懈努力，他终于得到了震惊世界的狄拉克方程

$$i\hbar\frac{\partial}{\partial t}\psi(\boldsymbol{r}, t)=\left[-i\hbar c\alpha\cdot\frac{\partial}{\partial \boldsymbol{r}}+mc^2\beta\right]\psi(\boldsymbol{r}, t)。 \qquad (2—9)$$

很明显，上述方程对时间和空间采用了更为简洁的一阶导数。后来人们才知道：狄拉克方程是描写自旋为 1/2 的基本粒子（如电子、中微子等）的场方程。

尽管演绎推理在自然科学研究过程中取得了巨大的成功，但其逻辑上的缺陷还是明显的，主要有两方面的问题：（1）演绎推理似乎不能给人以新知识，从大前提“天鹅会飞”推知结论“白天鹅必定会飞”，“结论”本身就包含在“大

前提”之中。(2) 无法证明“大前提”的正确性，因此可导致先验论。

例如:“人之初，性本善”、“二十年后又是一条好汉”、“好有好报，恶有恶报”、“好人坏人有面相”、“自然规律应该是美的”、“自然规律在任何参照系中具有同样的数学形式”（广义相对论假设之一）……或许这些大前提均是正确的，由此推出的结论也可能十分美妙，但要科学证明这些大前提的正确性却十分困难。难怪在很多情况下，人们自然地将演绎推理与先验论等同起来。

不过，在自然科学领域有其独特的证明方法:(1) 首先提出假说，即提出大前提，然后采用数学和逻辑对假说进行演绎，从而获得 N 个推论。(2) 对推论进行实验验证。如果有 n（$n \leqslant N$）个推论被实验证明是正确的，而其他（$N - n$）个推论由于实验条件限制等因素暂时无法证明,则“假说”成立。当然 n 越接近 N，证明越有说服力。此外，只要 n 不太远离 N，其余暂时无法证明的（$N - n$）个推论也会被广大科学家所接受。(3) 在实验证明过程中，只要发现一个推论不成立，则该“假说”被否定。

上述做法看起来似乎合理，但从逻辑学角度讲：错误的大前提也可能推导出部分相对正确的结论；由大前提所得推论也未必是完备的。因此，该方法犯了“循环论证”的错误。换言之，用部分相对正确的推论是无法证明大前提的正确性的。

由于逻辑学方面的本征缺陷，当人们采用演绎推理方法时，失败在所难免。例如：采用大前提“自然规律应该是美的”，我们推不出行星运动轨道，因为我们不知道什么叫“美”,“圆周运动”、“椭圆运动”、“匀速直线运动”……究竟哪个轨道更美呢?

第六则　客观、精确定量、任意可重复

经过上述分析，我们了解了在自然科学中所广泛采用的研究方法的种种

缺陷。从逻辑学角度考虑，此类带有严重缺陷的研究方法是不严谨的，因而由此所得结果的可靠性是有问题的。但另一方面，几百年来，科学家们采用此类研究方法所得到的结果又是十分可靠的，是让人放心的。对于这一点，即使是作为严密性使者的逻辑学家和数学家也是不得不承认的，否则还有谁敢去乘坐危险的飞机，还有谁愿意去购买昂贵的电子产品呢？

用“不严谨”的方法得到了大家放心的“可靠结果”，其中的矛盾是明显的。人们不禁要问：既然“形而上学”、“归纳推理”和“演绎推理”是不严谨的方法，那么为什么由此而得到的结果却又是十分可靠的呢？伽利略所倡导的严谨的科学研究范式为我们做出了回答。

伽利略科学研究范式可归纳如下：

（*a*）精确实验，总结实验规律；

（*b*）提出假说，定量解释实验规律；

（*c*）根据假说，利用数学和逻辑推理，获得推论或预言；

（*d*）对推论或预言进行客观、精确定量、任意可重复的实验检验；

（*e*）修改理论及假说；

（*f*）实验检验假说和理论；

……

上述科学研究范式由伽利略率先倡导，经后人不断完善而成，故得此名。该范式要求对实验和理论进行客观、精确定量、任意可重复地循环对比、修正和提高，从而不断提升理论与实验的精确程度和符合程度，被称之为“科学方法”。其中，所谓的“客观”是指科学实验结果的客观性，即只要实验条件严格一致，实验结果便唯一确定，与谁做，在何时何地做等均没有关系；“任意可重复”是指在科学家的时间允许范围内，任意次重复实验过程，这里并没有要求无限次重复！

世界是物质的，物质始终是运动的，物质的运动是有规律的，这种规律是可以被人所认识的。这是人们公认的一般辩证唯物论哲学原理。自然规律是可重复的，而且是可被客观、精确定量、任意可重复的。伽利略首先倡导的科学研究范式，通过客观、精确定量、任意可重复的实验和理论的循环检验，可逐渐提炼出物质运动的主要因素，逐渐揭示可重复的客观规律，从而使理论不断逼近客观真理！换言之，伽利略科学研究范式将研究方法中的本征缺陷减小到极限。因此，

形而上学 + 伽利略科学研究范式≠形而上学；

归纳推理 + 伽利略科学研究范式≠守株待兔；

演绎推理 + 伽利略科学研究范式≠先验论。　　（2—10）

我们再回过头来剖析一下前面所提到的传说“守株待兔”。仔细分析，那位农夫的推理过程存在两个明显缺陷：（1）归纳事例数 n=1，不能“任意可重复”；（2）推理过程没有精确定量。

假如那位农夫第一天发现有一只野兔撞在这个树桩上，第二天也发现有一只野兔撞在这个树桩上，第三天也发现有一只野兔撞在这个树桩上……第 n（此处的 n 可任意选取，但不要求是无穷大！）天也发现有一只野兔撞在这个树桩上；而且每天撞在树桩上野兔的颜色、形貌、体积、质量、奔跑速度、加速度、角速度、角加速度、运动轨迹、每天出现的时间等参量均可以“客观、精确定量、任意可重复”的话，那么，那位战国农夫在第 n+1 天继续收获一只野兔就完全是有可能的了。

在上述例子中，我们强调了一个十分重要的概念：为了确保归纳推理结论的正确性，要求归纳事例数 n 是一个任意正整数，但不要求是无限大！换言之：科学只要求任意可重复，而不要求无限可重复！

例如对于太阳东升西落而言，只要在我们人类能够看得见够得着的未来

岁月里，太阳能天天从东方升起，我们便可认为“太阳永远从东方升起”。至于几十亿年后太阳的能量耗尽或太阳系毁灭，那和我们人类现实的生活、学习、研究等又有什么关系呢?

此外，我们在本章中所强调的“客观、精确定量、任意可重复”是指“相对精确可重复”。对于任何一个科学实验，要做到“绝对精确可重复”，使之在重复实验时没有任何实验误差，那也是永远做不到的。

显然，科学追求“相对精确任意可重复”，而不苛求“绝对精确无限可重复”！这便是科学的实质，它与数学、哲学和逻辑学有本质区别。

综上所述，只有遵循伽利略科学研究范式，才可能将研究方法中的逻辑漏洞减小到极限，研究所获得的结果才是可靠的，此时的研究方法才称得上是“科学方法”。由于这个原因，直至今日，伽利略倡导的科学研究范式仍然是一切自然科学所必须遵循的。

至此，逻辑问题似乎依然存在：伽利略科学研究范式本身的正确性以及公式（2—10）又是如何严格证明的呢?

在过去几百年里，自然科学一次又一次地采用伽利略科学研究范式，取得了一次又一次辉煌成功，该研究范式也得到了一次又一次客观精确的证明。尽管迄今为止的证明次数仍然没有达到无限次，但已完全满足“任意次”的要求，而且均为圆满证明。因此，我们有理由相信：伽利略科学研究范式已经得到了几百年科学实验的严谨证明，因而是相对可靠的。当然，随着人类科学技术的不断发展，该研究范式也必将迎接更高层次的检验，并继续得到优化和完善。

第七则　科学理论为何与真理齐名?

“科学理论”之所以能与“真理”齐名是因为获取方法的严谨性。严谨的

学风，隐含在科学家的思维中，体现在科学动因、研究过程、人才培养、成果展示、实际应用等每一个环节里。

1. 严谨的科学学风

伽利略科学研究范式能否被严格遵循取决于科学工作者所持学风的严谨程度，也决定了该研究所能到达的最终高度。

严谨学风的基础是认真。一位成功的科学家一定是十分认真对待科学研究中的每一个细节，一丝不苟地操作其中的每一个步骤，否则他不可能走到这一步。认真程度越高，出现错误的概率越小，所得结果也越可靠。一般而言，若要完成一项工作，产生错误的概率随认真程度的增加而单调减小，如图 2—5 所示。

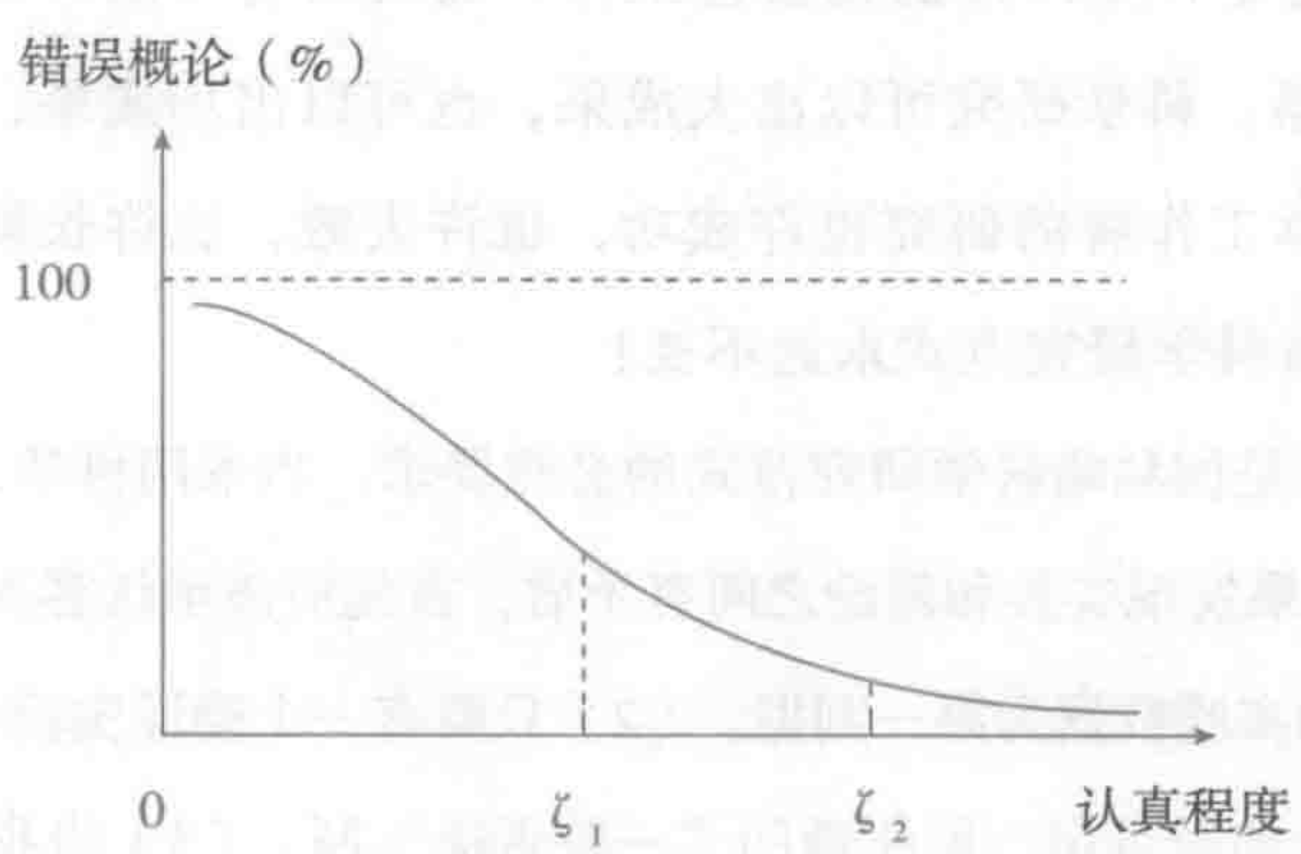

图 2—5　错误概率随认真程度单调下降

当认真程度小于 ζ_1 时，由于出现错误概率太高，所做之事没有意义或负意义；当认真程度大于 ζ_1 且小于 ζ_2 时，所做之事为平庸之作，人人皆可为之；只有当认真程度大于 ζ_2，到达认真极限时，错误概率趋向于零，此时，才可能做出惊天动地的成果而永载史册，如此大事一辈子只要成功一次足矣。

【例】认真到极限！

同学：我的毕业论文初稿已经完成，上周已传到您的邮箱，您收到了吗？

教授：收到了。

同学：麻烦您尽快帮我修改，因为学校要求尽快进行论文答辩。

教授：我现在还不能帮你修改。

同学：为什么？

教授:因为在你的论文初稿中逻辑漏洞甚多，表述不规范，写得极不认真。

同学：只要您能帮我认真修改，肯定就行了。

教授：我会认真修改你的论文，如果你已经认真修改了你自己的论文；我会极限认真地修改你的论文，如果你已经极限认真地修改了你自己的论文。

严谨学风的内涵包括实事求是，推理逻辑，因果对应，证据确凿，判断客观，数学严密，计算精确可靠，实验数据客观、精确定量、任意可重复等，贯穿于整个科研过程的每一个环节和细节中。

科学研究是一项严谨的探索性工作，成败均有可能，但严谨学风不可有丝毫动摇。科学研究可以出大成果，也可以出小成果，但一定要出真成果；科学工作者的研究也许成功，也许失败，也许长期失败，但严格遵循伽利略科学研究范式永远不变！

严谨学风是伽利略科学研究范式的必然要求。当采用科学方法证明某理论时:（1）如果发现实验和理论之间有矛盾，首先应该承认客观、精确定量、任意可重复的实验数据为第一判据。（2）只要有一个确证实验与理论不相符合，则该理论即被否定，即所谓的“一票否决”制。（3）当我们不能证明，也无法证伪时，科学的回答应该说“不知道”，而不能轻易做出肯定或否定的结论,这是科学严谨性的自然要求。像“人之初,性本善”、“人有来生”等话题，现代科学是无能为力做出最后判断的。

在自然科学的学术性论文中，经常可以看到大量客观性语句，如“根据实验结果，我们推论……”、“由图 3 可知，计算结果与实验数据完全相符合，说明……”、“在图 2 中，模拟结果与实验数据完全符合，证明了……”、“这一结论也得到了表 1 中实验数据的支持，因此……”等。科学家们深知：客观、精确定量、任意可重复的实验结果才是检验客观真

理的唯一标准。

在自然科学的学术性论文中，一般不会出现类似“我保证……”、“不管别人信不信，我非常相信……”、“我们强烈认为……”、“有人坚决不相信……”、“绝大部分人相信……”那样的主观性语句，因为在科学研究的全过程，主观必须服从客观。“某研究小组的承诺”、“百名教授坚决反对”，甚至“权威杂志报纸的转载”等均与此事的真伪没有必然的因果关系，也无法逻辑推导出此结论的真与假。

在自然科学的学术性论文中，极少看到类似“孔子曰……”、“中国有句古语……”、“柏拉图指出……”、“牛顿认为……”、“爱因斯坦曾经说过……”那样的权威号召性语句，因为若要证明某理论的真伪，谁怎么说并不重要，重要的是“实验怎么说”，“真理怎么说”！

如果有人说“因为爱因斯坦说煤炭是白的，所以煤炭就是白的”，显然是逻辑错误，这样的强词夺理是证明不了煤炭颜色的（详见第六章）。

我们不能要求任何一位伟大人物在他的一生中必须“句句是真理”，这未免太苛刻了！因此，在某一场合某一伟人所讲的话原则上不能用作后来科学推理的证据，也不能作为演绎推理的大前提，这是不合逻辑的！一般而言，某人的言辞与该事件的真伪之间没有必然的因果关系。

以此类推，让名人、明星等公众人物做广告代言完全有可能出现逻辑问题。

2. 科学方法的局限性

（1）精确是相对的，不精确是绝对的！

上面我们谈到了伽利略科学研究范式把“形而上学”、“归纳推理”和“演绎推理”的本征缺陷减小到了极致，它可使我们的理论无限地逼近客观真理。但是我们必须清醒地认识到：由于我们在实际研究过程中不可避免地采用了“形而上学”、“归纳推理”和“演绎推理”等逻辑上有漏洞的方法，不管我们如何抓住最主要的矛盾，不管我们如何增加归纳事例数 n 的值，也不管我们

如何将演绎推理的大前提设计得如何巧妙，伽利略科学研究范式只能帮助我们把它们的本征缺陷减小，但永远不可能减小到零。因此，科学方法具有不可克服的局限性，科学研究结果必然是近似的，其精确性是相对的。

（2）可重复是相对的，不可重复是绝对的！

伽利略科学研究范式的关键要点是精确实验数据与理论计算值的“任意可重复”验证。其实，“可重复”也是一个相对的概念。

首先，“可重复”的次数是有限的，在科学研究中，由于受研究时间等因素的限制，我们只要求任意次可重复，而不要求（也不可能）无限次可重复！这里所说的“任意”是指要“任意”到科学家研究时间的极限！因此，我们所关心的“可重复”只要涉及人类看得见够得着的未来即可，至于十分遥远而人类根本不可能涉及的未来，我们现在没有必要去“重复”。

其次，所谓“可重复”是指在一定精确度范围内的“可重复”。随着科学技术的发展，实验的精确度不断提高，有些实验的精确度已经达到相当惊人的地步。但是我们必须清醒地认识到：任何一个实验，要“绝对精确地可重复”是永远做不到的！原因是多方面的：我们的测量仪器不可能达到无穷位有效数字；无法全部计入来自各方面对实验测量的各种微小干扰；实验者对实验过程每个细节的心理敏感度和反应速度等均为有限；宇宙中存在诸多不可逾越的精确性极限等。

（3）最后，科学实验的绝对“客观性”也是经常受到质疑的。不管我们如何巧妙设计科学实验，使之尽可能采用精密仪器和客观步骤，但科学实验的每一个环节毕竟是由人设计的，在科学实验的每一个操作过程中，实验者的技术缺陷、心理特征等非客观因素的介入是不可避免的，于是要做到科学实验的绝对客观性也是极有难度的。（详见第五章）

综上所述，科学研究所获得的结果只能是相对可靠，永远不可能做到完全正确和绝对可靠。换言之，科学研究的结果总是有一定的失效概率的，就如同我们人类永远无法保证任何一艘太空飞船的发射会绝对成功一样！在人

类科学发展的历史长河中，任何自然科学理论均不能保证“放之宇宙而皆准”。我们所得到的理论只能逼近客观真理，永远不可能到达绝对真理，如图 2—6 所示。

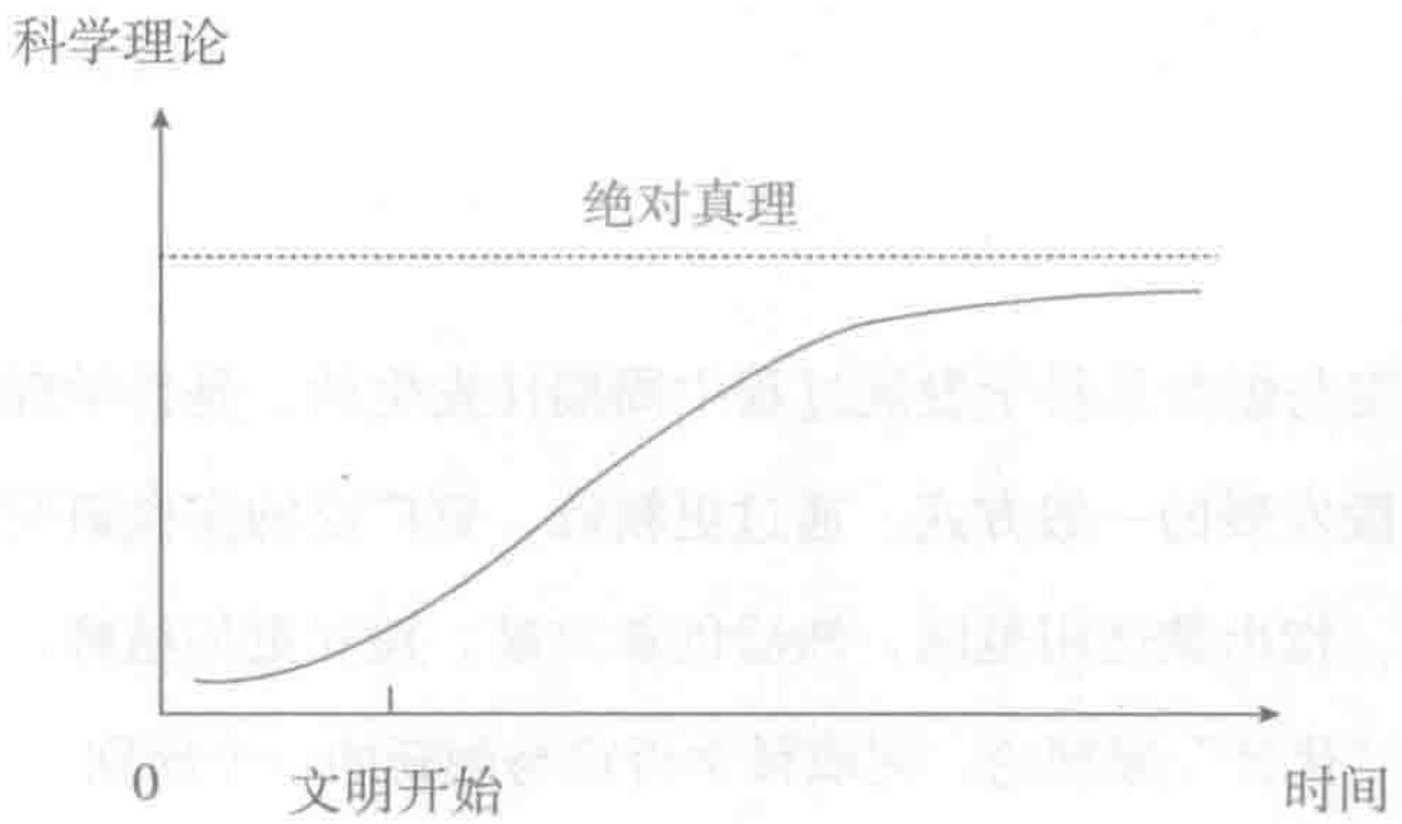

图 2—6　科学理论逼近绝对真理示意图

第三章　科学否定与创新

科学否定与创新是科学发展过程中周期性发生的，是科学理论从低级阶段向高级阶段发展的一般方式。通过更精确、更广泛的实验研究，发现原理论的局限性，指出其适用范围，然后创新突破，建立更加精确、适用范围更广的新理论“代替”原理论，完成科学否定与创新的一个周期。

第八则　检验客观真理的唯一标准

1. 科学实验结果的客观性

在第二章，我们曾详细描述了伽利略科学研究范式的基本内容，它要求科学实验与理论经受客观、精确定量及任意可重复的循环验证，从而使理论不断逼近客观真理。只要实验条件客观且精确定量，所得实验结果应该是客观的，它与某理论的符合程度也是唯一的，与谁做实验、何时何地做实验、该实验重复次数等均没有关系。只要实验条件一致，今年中国人在中国测量出的氢原子直径与去年美国人在美国测量出的氢原子直径是一样；美国制造的飞机在中国同样飞行，因为空气动力学原理全球适用，如此等等。

2. 证实与证伪

若要证实某理论，需要采用客观、精确定量、任意可重复的科学实验数

据对理论进行循环证明，如果一次次地精确符合，便证实了该理论，称之“科学证实”或“科学证明”。当然，按照第二章所述原理，由于所采用的证明方法在逻辑上是有一定漏洞的，而且是在有限的时空和相对精确的实验条件下证实的，因此所获理论为相对真理。例如被我们一次次证明的麦克斯韦经典电磁场理论已经得到了广泛的应用，如电报、电视、无线通信等，但该理论是相对真理，到了微观世界，该理论便失效了。

相反，若要证伪某理论，只要经过客观、精确定量、任意可重复的实验，寻找出该理论所得结论的一个例外，便证伪了该理论，称之“科学证伪”，具有“一票否决”的特征。例如狭义相对论中有一个所谓的“光速不变原理”，即在真空中，光速 c 是一个常数。只要我们在真空条件下发现一个光速变化的事例，则狭义相对论便被否定。

科学实验结果是客观的，它对理论的证明和证伪也是客观的。从这一意义上说，科学与宗教（其结论具有不可证伪性）、科幻（其结论具有现实不可证明和证伪性）、迷信和伪科学（其结论具有可证伪性）、艺术与人文（其结论具有无需证明也无需证伪性）等有很大区别。

3. 实验是检验客观真理的唯一标准

在社会科学领域，人们遵循“实践是检验真理的唯一标准”的原则；而自然科学则强调“实验是检验客观真理的唯一标准”。“实践”与“实验”的根本区别在于后者必须是“客观、精确定量、任意可重复”！

只要实验条件客观且精确定量，自然科学实验结果应该是客观的，而理论（包括理论假说、建立简化模型、数学推理等）则是近似的，且往往带有一定的主观性。如果理论与实验结果不相符合，而且是客观、精确定量、任意可重复地不相符合，则该理论被否定，称之“科学否定”；反之，则被“科学证明”。

由此，在自然科学研究过程中，客观、精确定量、任意可重复的实验结

果是第一判据，是检验理论正确与否的唯一标准！自然科学强调不唯书，不唯师，唯真理；自然科学从来谢绝“少数服从多数，非权威服从权威”、“信则灵，不信则不灵”、“心诚则灵”、“谣言重复一千遍便是真理”等范式。

在科学史上，重大突破往往首先由某位科学家或团队实现，然后公布全世界，供其他科学家学习与理解，当所有同行科学家了解此实验原理和理论结果以后，如果实验与数学逻辑推理等方面均没有漏洞，大家将被理论和实验符合的精确性所折服，于是“全体服从个人”。

【例】尊重实验结果

学生：毕业论文已修改许多遍了，可否递交？

教授：还不行，请参考我的意见继续修改。

学生：按您的意见修改，您能保证一定正确吗？

教授：不能，但我能保证我意见正确的概率比你意见正确的概率高一些。

学生：既然如此，如果我们有意见分歧，听谁的？

教授：我们可以讨论甚至争论，关键看谁有道理，最后任何人必须尊重客观、精确定量、任意可重复的实验结果，服从“真理”！

第九则　科学否定与创新同步

科学否定与创新以实验事实为第一判据。当新实验的结果与原理论之间的矛盾不可调和且日趋尖锐，原理论的局限性不断显露时，科学否定与创新便同步进行。

1. 科学否定是扬弃

在科学研究中，若要否定 A 理论，并不是否定 A 理论的全部，在一定的条件范围内，A 理论永远是正确的；只是超出该范围后，A 理论将不再适用，

要用新理论 B 所替代，即所谓的“扬弃”。科学否定的“扬弃程序”如图 3—1 所示：

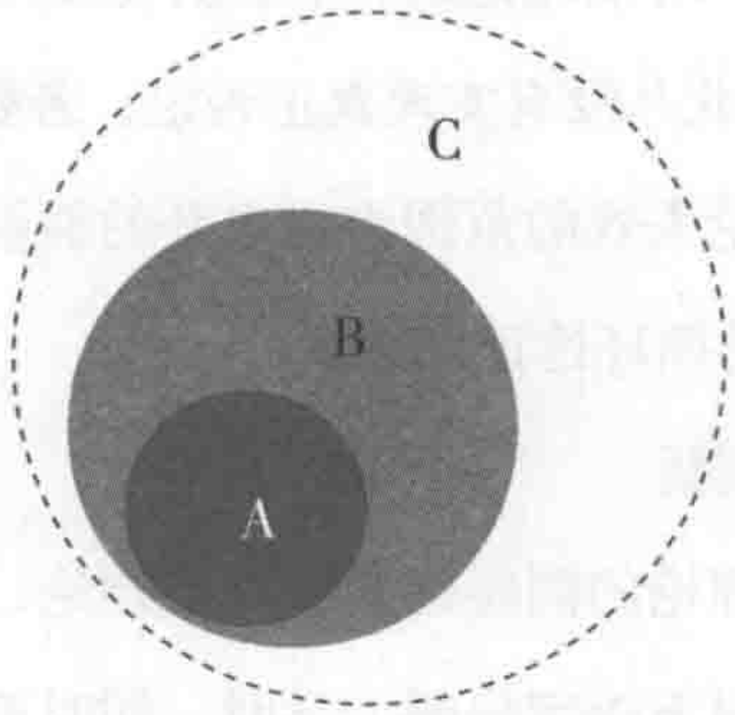

图 3—1　科学否定的扬弃程序

（1）在 A 理论所适用的范围内，A 理论永远是（相对）正确的；

（2）超出 A 理论所适用的范围时，它将被更先进的 B 理论所取代，并且在 A 理论所适用的范围内，要求 A 和 B 两个理论得到同样结果；

（3）B 理论仍然是相对真理，超出 B 理论所使用的范围后，它将被更先进的 C 理论所取代；

……

例如在高速（接近光速）情况下，牛顿力学已被狭义相对论所否定；在微观领域，牛顿力学已被量子力学所取代。但这并不意味着牛顿力学一无是处，在低速宏观情况下，牛顿力学永远是对的，因为这是经过无数科学实验所客观证明了的，目前世界上的卫星、导弹、宇宙飞船等发射的计算方法仍然是牛顿力学。

当速度从接近光速的高速降下来，当系统尺寸逐渐增大至宏观数量级，相对论、量子力学与牛顿力学的结论是一致的，这一点十分重要，也是一个崭新科学理论诞生的必要条件，即上述扬弃程序中规定的第（2）点。因此，科学否定并不是全盘否定，也不是简单地抛弃和改进，而是一种“包容”或“扬弃”，包括保留、否定、发展和创新诸要素。

2. 科学否定与创新同步

当我们试图否定一个理论时，必须以客观、精确定量、任意可重复的科学实验证据为唯一标准，对该理论进行验证并证明其失效。根据上一小节中描述的“扬弃程序”，至此并没有实现真正否定；若要完成这一否定周期，还需要创新突破，在原理论失效的范围内提出新的假说并建立新的理论，从而进入新一轮实验和理论的循环论证周期。

（1）科学否定伴随创新

只有在科学否定原理论的同时创立成功新理论，才真正完成了一次科学否定。当我们在高速情况下否定牛顿力学时，同时诞生了狭义相对论；当我们在微观领域证明经典物理失效后，同时创立了现代量子理论。在很多情况下，否定旧理论和发展新理论是同步进行的。人类科学的发展轨迹由一个个科学否定和创新串联而成，逐渐从相对真理逼近绝对真理。

例如人类对光的本质认识经历了如下过程：

光是一条条线组成的（古代中国）；

光是由一颗颗微粒组成的（几何光学）；

光是一种波动（波动光学，经典电磁场理论）；

光是一种具有波动性的微粒（量子力学）；

光是一种量子场（量子场论）；

光是一种闭合弦（超弦理论）；

……

在上述认识过程中，“否定之否定规律”包含其中：波动光学采用“波动说”否定了几何光学的“微粒说”；而量子力学再一次用“微粒说”否定了波动光学的“波动说”。但量子力学所描述的“微粒”是“具有波动性的微粒”，它与几何光学所描述的类似宏观小球的“微粒”有本质区别。显然，

两次否定并不是回到原位，而是两次突破创新，实现了“否定之否定的螺旋式上升”。

（2）否定与创新过程即积累过程

科学否定与创新要经历积累过程。在否定积累过程中，创新已经开始。一般而言，科学否定与创新的挑战性越大，积累时间也越长，科学家付出也越多。

当人们评价一位成功科学家时，经常听到诸如“他很聪明”、“他很幸运”、“机遇很好”、“偶然发现”等。应该承认：所有这些因素均为他的成功提供了一定的可能性，但还有一个重要因素，即长期积累。

科学研究是一个艰难的探索过程，没有先例可以仿效，失败和挫折在所难免，科学突破是一次次尝试失败积累的结果。在科学研究过程中，每一次失败均要求研究者更加深入地调研与思考，更加广泛地参与学术讨论或争论，不断学术交流，不断相互学习，使研究者的专业基础更加扎实，知识体系更加完备，对该科学问题的实质、难点重点以及技术路线等更加明晰，思维方式更加优越，然后才有可能导致最终突破。这是科学成才的一般路径。

一位优秀的科学家必定长期踏实勤奋，“板凳要坐十年冷”！科学创新过程有其自身规律，不能急功近利！有时候“一分耕耘一分收获”，有时候“十分耕耘一分收获”，有时候“百分耕耘没有收获”。

一位优秀的科学家必定敢冒风险、习惯失败，并且有着顽强的毅力。尝试，失败，再尝试，再失败，……从每一次失败中，他领悟了失败，领悟了失败的原因，更领悟了下一步如何避免类似失败。百分之百的努力为了百分之一的成功概率！

一位优秀的科学家必定不受束缚，智慧敏锐，大胆创新。在一次次科学危机中，发现极其微弱的第一线曙光；在理论与实验的矛盾冲突中，提出全世界同行一时均“坚决反对”的新理论。

【例】博士研究生的烦恼

同学：攻读博士学位一年多了，博士学位论文仍然没有突破，压力很大。

教授：博士学位论文突破的关键是创新。

同学：我也知道要创新，但是不容易啊！

教授：是的，所以要智慧加汗水，长期积累，便会水到渠成。

同学：如果我长期积累，一定能创新成功吗？

教授：不一定。但如果你长期积累，你创新成功的概率将大大增加。

【例】科学研究不能急功近利！

同学：今年暑假我希望到您的实验室参加科研工作。

教授：欢迎。

同学：您能马上给我一个研究课题吗？

教授：可以。

同学：我可以在今年暑假期间做完此课题吗？

教授：可以。

同学：那么今年暑假我可以写一篇论文了？

教授：可以。

同学：是否可以马上投稿发表呢？

教授：可以。

同学：太好了，谢谢教授！

教授：不用谢，因为这篇论文没有任何科学价值。

积累过程即研究者的领悟过程。随着研究时间的延续，研究者的思维方式逐渐优化，对科学问题以及创新含义的领悟经历一个普适过程，如图 3—2 所示。起初，由于积累较少，对什么是创新和如何创新并不十分理解。此时，他可以高呼“创新”口号，也可以不断强调创新的重要性，但所做之事往往是“模仿”或“重复”。只有当积累到达一定程度时，即积累时间到达临界时间 t_c 时，才突然领悟：哦，原来这才是真正的“创新”啊！此时，往往也是他创新成功的时刻。

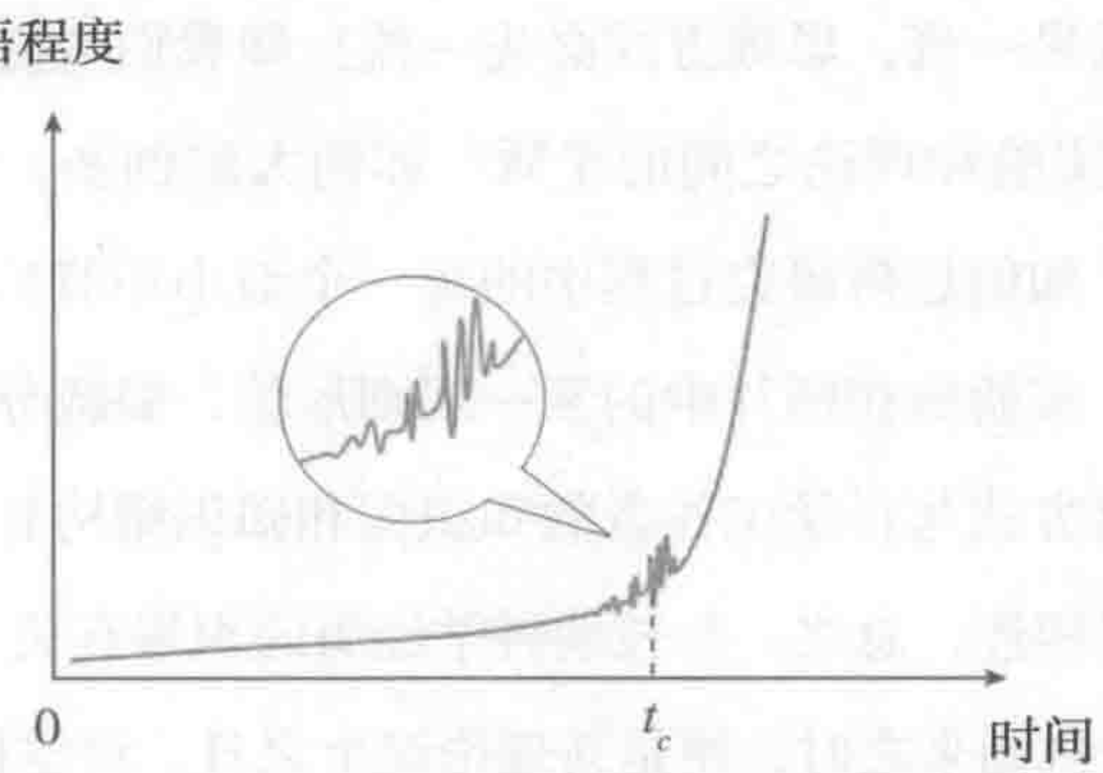

图 3—2　领悟程度随积累时间的变化曲线

细心阅读图 3—2，我们对“失败乃成功之母”有一种更为直观的理解：从 0 至 t_c，通常是一个漫长的探索和积累过程，包含大量的艰辛和失败；某一次尝试失败意味着此次尝试没有达到预期目标，但并不意味着研究没有进展，很大可能是由此失败使整个研究工作向成功时刻 t_c 迈进了一大步。

对于图 3—2，不难发现在接近临界点 t_c 时，领悟曲线伴随有振荡现象，并且曲线振荡的振幅和频率随时间逐渐增大，直至完全领悟（见局部放大图）。从更加精细的时间标度看，在 t_c 附近，所谓的“突然领悟”其实是经历了一个复杂的不稳定瞬变过程：智慧灵感时隐时现，希望曙光间断闪烁，研究者一次次突然感觉领悟了，但经仔细推算和实验又一次次发现不对，周期性重复，领悟曲线不断振荡，直至最后成功。对于研究者来说，发生在 t_c 附近的振荡现象是科学突破的前兆，是胜利的召唤，期待已久，扣人心弦！

根据“扬弃程序”和科学发展事实，若要科学创新成功，一般需要如下积累：

（a）扎实基础引领重大突破！要熟练掌握该领域的基础理论知识，熟悉原理论的来龙去脉、适应范围、长处短处以及与其他领域的关联；要熟知该领域创新成功的种种方法和手段，为突破提供各种途径，如数学、计算机模拟、实验手段等。所有这些均为基础准备，需要科学工作者长期刻苦地广积厚积。

（*b*）若要成果一流，思维方式必先一流！即我们常说的“思想是第一位的”。如何思辨实验和理论之间的矛盾？如何大胆创新，使某理论预言在实验上得以实现？如何思辨研究过程中的每一个细小环节？如实验中的一丝杂音或微光一闪，实验所获照片中的某一规则形貌，偏微分方程的某个奇异解等。优良的思维方式与科学工作者的知识面和知识结构有关，还与其整体科学素养及哲学观相连，总之，与长期科学经历的积累有关。

（*c*）科学危机到来之时，便是新理论诞生之日。科学创新不会凭空而出，需要经过大量科学家的长期研究积累，原理论与新实验之间的矛盾日益尖锐，原理论的局限性逐渐明晰，然后，新理论即呼之欲出。

【例】教授与毕业同学对话

同学：马上要毕业了，感谢母校和老师们的培养！

教授：在大学学习多年，收获了什么？

同学：学到了许多专业基础知识。

教授：此其一也。

同学：综合素养有较大提高。

教授：还有呢？

同学：见识了许多优秀人才，包括老师和同学。

教授：其实，我最为同学们高兴的是你们的思维方式发生了变化。

【例】去外国学中文？

教授：学校正组织同学们赴外国著名高校参加暑期学校学习，你申请了吗？

同学：没有。

教授：为什么？

同学：我是人文学院中文专业，有必要去吗？

教授：如果可能，建议去闯一闯。

同学：去外国学中文？

教授：当然不是。但你可以去学思想，学方法，学态度，学交叉课程，从而优化你的思维方式。

（3）创新过程没有标准范式

在科学史上，创新成功者的成功之路各不相同，每一项创新的因缘也有差异，与时代、学科、年龄、性别、个人专长、人文环境等相关联。导致成功的因素很多，诸如研究者数学天赋极好、智慧灵感突然降临、研究者十分努力、实验室技术人员水平高超、实验条件优越等；有时候，某个关键性实验的失败、实验室条件简陋、某学术权威反对等不利因素也有可能成为创新成功的关键因素。

因此，诸如“为了创新成功，数学究竟要学到什么程度？”、“为了创新成功，学科基础需要扎实和完备到什么程度？”、“为了在该领域有新发现，哪些实验是必做的？”、“在该领域从事创新工作，哪些实验设备是必需的？”等问题，一般无法直接回答，事实上也没有答案，因为创新成功范式不可复制！

统计结果显示：科学创新的最佳年龄段应该是中青年龄；科学创新成功者中，男性比例高于女性比例；全世界科学创新成功的频率随时代而涨落；重大科学创新突破的频率在不同学科之间分布不均衡，且随时代变化；人均创新成功数量在不同民族之间分布不均衡，且随时代变化；……应该指出，所有这些结论均为统计结果，对某一时代科学工作者总体而言有参考价值，但对科学工作者个体来说没有意义，例外比比皆是。

以创新成功概率与年龄的关系为例，如图 3—3 所示。一般而言，一个人在 25 岁之前，由于知识、经验等积累不足，创新成功概率较小；在 28 岁至 60 岁期间是一个人创新成功概率的高峰期，其中科学工作者的概率峰值一般出现在 30 岁至 40 岁之间（实线），人文学者的概率峰值稍稍后移，一般出现在 50 岁左右（虚线）；当年龄超过 65 岁之后，由于体力、记忆力、思维反应速度等逐渐衰退，创新成功概率明显下降。不过，图中曲线只是某时期对大量学者统计结果，对个体学者而言没有意义。在人类科学史上，创新成功概率峰值低于 30 岁或超过 40 岁的科学家有之，60 岁以后在科学研究方面做出重大贡献的科学家也大有人在。

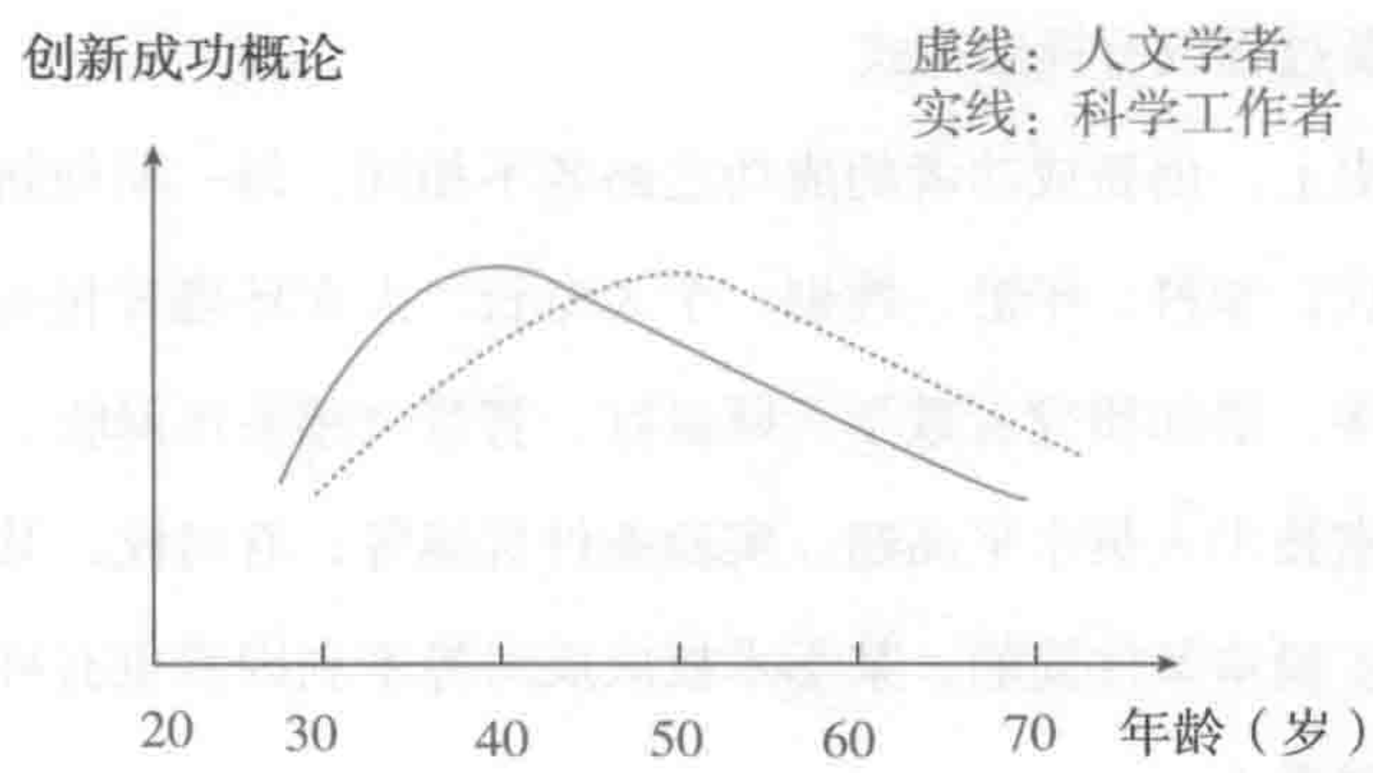

图 3—3　创新成功概率与年龄的关系

另一方面，正因为创新没有统一范式，我们后人取得新突破就有了无限的机遇。根据研究者的积累特长、思维方式以及实际条件，“创新”可以有不同层次：可创新该理论的根基，形成新的理论体系；也可创新该理论的某一个分支；或集成某些理论分支实现交叉创新等。此外，从“创新”的形式上看应该也是多样性的：如内容创新、形式创新、研究方法创新、学习方法创新、传授方式创新、学科本身创新、学科交叉创新、理论创新、应用创新、主流创新、分支创新 ……

第十则　宇宙奥秘是不可穷尽的？

由于近几百年来科学技术突飞猛进，似乎给人一种印象：人类的科学事业已相当完备，科学大厦已经基本建成。如经典电磁场理论、微电子理论及技术、空间物理及太空技术、核理论及技术、基因理论及技术、纳米科技、非线性科学等均已成为一个个庞大的学科体系，为人类解决了大量难题，带来巨大的物质和精神财富。

但另一方面，近百年来，人类科学事业继续迅猛发展，捷报频传，重大发现此起彼伏，一浪高过一浪。以物理学发展为例，如表 3—1 所示：在二十

世纪的第一个十年、中间十年和最后十年，重大突破一个接着一个，突破的频率似乎没有明显变化，从中丝毫看不出“物理学所需解决的问题正在不断减少，物理学大厦已经基本建成”的迹象。因此，那些认为“宇宙奥秘已经被别人发现光了”的担心是没有根据的。

表 3—1　二十世纪不同时期物理学的重大突破列举

1900—1909	阴极射线研究，黑体辐射理论，无线电报，狭义相对论，测定电子电量，光电效应
1950—1959	弱相互作用下宇称不守恒，发现反质子，穆斯堡尔效应，BCS 超导电性理论，全息照相
1990—1999	介观纳米物理，碳-60（C_{60}）及其家族，超弦理论突破，原子操作，巨磁阻效应，原子激光，量子通信

人类科学事业数千年，时代不同，科学突破的层次不同，领域不同，重点及方向不同，但科学突破频率不断增加，此起彼伏，永不停息。真可谓“科学探索什么时候开始都不晚”！

此外，在一个个重大科学问题相继被解决的同时，引出了更多更复杂的科学问题，如生命的奥秘远没有被揭示、资源与环境问题日趋严重、许多重大疾病尚无有效治疗方法、受控核聚变理论及技术难以攻破、宇宙大统一理论远未完成等。毫无疑问，人类目前所面临的重大问题数量仍然十分巨大，要解决这些问题还需要相当长的时间。

总之，至少目前我们还没有任何证据可以说明科学大厦正在逐渐完成，也没有任何迹象可以推出科学宝库正在逐渐枯竭。未来，有两种可能：（1）科学宝库无边无际，也许永远不可能被我们渺小的人类所穷尽；（2）科学宝库是有限的，也许将来可以被人类所穷尽，但从目前情况看，穷尽所需时间还相当漫长。

不管是这两种可能的哪一种，我们现在完全可以认为：宇宙的奥秘是不可穷尽的！这是一个理性而睿智的判断，有百利而无一害，必将极大地鼓励一代又一代科学工作者的昂扬士气。

第十一则　科学创新难度的变迁

1. 科学创新难易程度与时代的关系

随着人类科学事业的发展，科学创新是否将越来越难呢？

有人将科学探索比作采矿：由于易被发现、代价低廉、高效快速等原因，人类首先发现和开采地球表面、含量（即丰度）较高且相对集中的矿藏。当这些廉价矿藏枯竭之后，人类不得不开采地球深处、含量相对较低且分散的矿藏，代价也随之上升。

假如我们相信“宇宙的奥秘是不可穷尽的”，人类的科学探索是否也是由易到难呢？宇宙奥秘中的那些比较容易发明的东西是否均已被别人发明光了呢？接下来的科学创新是否会越来越困难呢？

事实可以说明这一问题：（1）众所周知，最近数十年来，世界上每年科学论文发表数量越来越多，人类重大发现（尤其在交叉科学领域）的频率越来越高。（2）以人类在二十世纪物理学探索为例，如表 3—1 所示：从客观上讲，我们很难说八十年代末和九十年代初碳– 60 及其家族的发现难度比二十世纪初解决黑体辐射理论问题难度更大；九十年代纳米科技的崛起也未必比二十世纪初相对论的创立更难；与二十世纪中叶建立的 BCS 超导电性理论相比，九十年代完成的巨磁阻效应理论并没有更难，如此等等。当然，现在也有很难的问题，如受控核聚变等。一个比较理性的判断是：我们丝毫看不出科学创新的难度随时间有越来越难的趋势。

2. 科学创新难易程度与学科体系完备程度无关？

随着人类对大自然的不断探索，宇宙奥秘不断被揭示，科学学科体系逐个被建立并不断完备，人类的知识宝库越来越丰富。于是，后人要学习前人的发明创造，掌握已有知识体系所需花费的准备时间周期越来越长。例如在牛顿时代，物理学家只要学习和熟练掌握经典力学和微积分之后即可进入创新阶段；而对于现代科学工作者来说，除了经典力学和微积分，还需要熟读

相对论、量子力学、微分几何、非线性科学、纳米科学等，从而使学习和准备周期大大增加，科学创新似乎越来越困难了。这便是为什么在新兴交叉学科领域的突破频率较高的缘故。

上述考虑有一定道理。的确，在知识爆炸的今天，现代人需要学习的知识越来越多，但学习周期是否会因此而越来越长呢？牛顿时代没有计算机，没有因特网，没有移动电话，没有现代高速交通，没有观察微观世界的电子显微镜，没有设在太空轨道上的哈勃望远镜，没有彩色和三维显示，等等。现代社会的学习、实验、通信、交通、学术交流等手段已发生了翻天覆地的变化，现代人获取知识的速度已经大大超过从前。综合上述情况，我们得不出“学习周期越来越长，科学创新的难度系数正在逐渐增加或者不断减小”的结论。

比较理性的判断是：科学创新难度系数与科学学科体系完备程度的关系尚不明确；科学发展迅速，但学科及交叉学科还远不够完备；再者，科学发展本身必定加速科学发展！

第十二则　思想是第一位的！

在自然科学领域，研究条件的争取是一个永恒的话题。要实现创新成功，最基本的研究条件还是需要的，尤其是实验条件。在可能的情况下，我们应该争取尽可能好的研究条件，为科学创新提供更多可能性。但另一方面，研究条件是一个广义的范畴，不能简单将研究条件等同于实验条件，更不能将研究条件与创新成功必然联系。

研究条件的争取要受到各种因素的制约，对于绝大多数科学工作者来说，这毕竟是有限的，有时甚至是无能为力的。一流的思想和思维方式源自于扎实的专业基础知识、完备的知识体系结构以及丰富的科学研究经历，这是每

一位科学工作者可以无限追求的！

思想是第一位的，条件是第二位的！条件好坏与成就大小之间虽然有重要关系，但没有必然关系！有些人是因为条件优越而成功；有些人则是因为条件恶劣才成功；还有人是因为条件优越而不能成功。有时候，恶劣的环境与条件也许正是创新成功的必要条件！

综观人类科学发展的历史，许多重大发现并不是在当时的一流实验条件下获得的，但所有重大发现都是在当时的一流思想指导下取得的！例如二十世纪八十年代人类高温超导研究取得重大突破，中国科学工作者为此做出了重要贡献，其实当时突破成功的研究小组所拥有的实验条件是非常简陋的。

来到群山丛林，一般人感觉的是“山重水复疑无路”，而资深老中医却看到了遍地名贵的中草药！科学创新与知识积累和思维方式相关，非智慧不能取胜！

以液相材料作基底制备金属薄膜和纳米微结构的实验装置十分普通。1996 年，浙江大学物理系的一个研究小组在液相基底表面沉积金属原子，制备金属薄膜和纳米微结构的实验获得成功，如图 3—4 所示，其实验装置仅由一台普通的热蒸发镀膜机和一台光学显微镜组成，在当时的中国乃至全世界，具有类似仪器设备的实验室应该是成千上万！

思想是第一位的！该理念同样反映在“条件”之中。同样的实验规模，可以拥有不同类型的仪器设备，做完全不同水平的科学实验；等量的科研经费，可全部用于购置商业化设备，也可根据创新思想自制具有独特功能的设备。一般情况下，一旦成为商业化产品，该设备在全世界已有成千上万，如果全部使用此类商业化设备从事科学实验，创新空间有限，实现重大突破的可能性较小；如果根据独特创新思想，设计并制备具有独特功能且全世界独一无二的关键性设备，那么实现划时代突破的可能性较大。因而有“科学创新之前，必首先创新设备”之说法。孔子所讲的“工欲善其事，必先利其器”

（《论语·卫灵公》）也是相近的道理。事实证明：实验条件优越重要，实验条件独特并内含创新科学思想更重要！

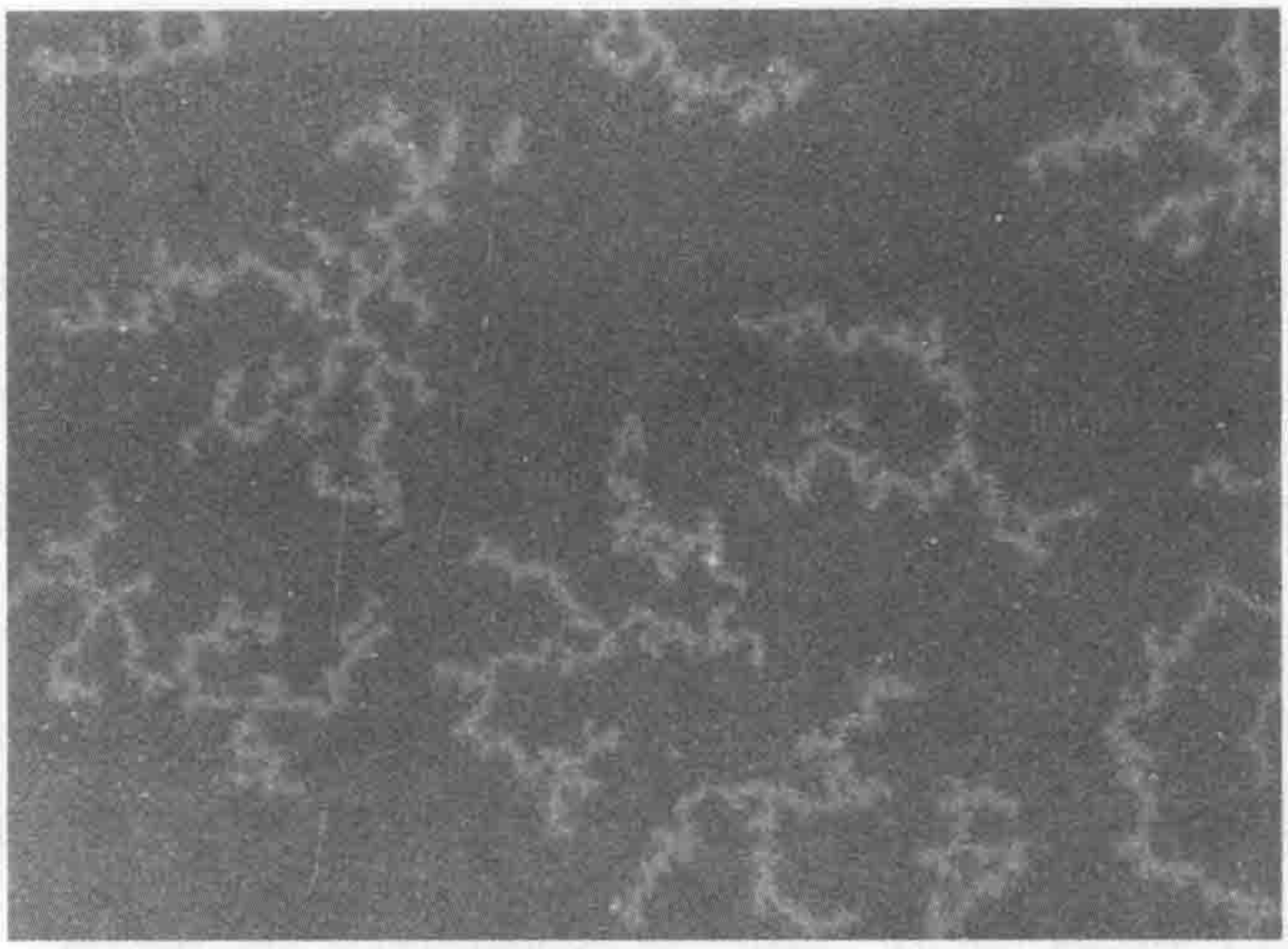

图 3—4　沉积在硅油表面的银原子凝聚成分支状原子团簇（$73\times57\,\mu m^2$）
［详见：*Physical Review* B **54**（20），14754（1996）；*Physical Review Letters* **81**，622（1998）］

还有一种误解：由于不受实验条件的限制，做理论研究要比做实验研究相对容易些。事实并非如此！科学创新成功与否由许许多多因素决定，并不仅仅决定于实验条件，“思想是第一位的”才是普适真谛。

从人类科学发展的历史中，可总结出如下现象：当我们发现绝缘体（电阻率为无穷大）之后，又发现了超导体（电阻率为零）；当我们发现微观粒子具有粒子性之后，又发现它们具有波动性；当我们发现正粒子，又发现与之对应的反粒子；当我们发现磁场可以诱导电场，又发现电场也可以诱导磁场；当我们发现宇称守恒规律，又发现在弱相互作用系统中的宇称不守恒现象；当我们发现电荷相互作用的“同性相斥”规律，又在常规超导体进入超导状态后发现“同性相吸”现象……此外，中国古代的诸多幻想，如上天、入地、点金术、分身术、千里眼、顺风耳、飞毛腿、风火轮……如今均已变为现实。这一个个生动的事例仿佛在提示我们：思想是第一位的！“创新”也许真的是“不怕做不到，就怕想不到”啊！

第十三则　今天学习　明天创新

现代社会，“创新”是一个使用频率非常高的词语，“创新”已成为世界发展的潮流、民族振兴的手段，创新已成为一种独特的文化现象。

1. 创新，在中国古代蔚然成风！

从词义上理解，“创新”即“想前人所未想，做前人所未做”！在古代，中华民族曾有过不少伟大的“第一”和“首创”，构成了灿烂的东方文明，为地球人类文明做出了杰出的贡献。除了我们常说的“四大发明”之外，还有水稻种植、茶文化、丝绸、陶瓷、东方音乐、中国书画、东方哲学、东方文学、中医学、东方建筑学、中国饮食文化、静磁学、静电学、几何光学、天文学等，在人类文明的历史上留下了不可磨灭的功绩，直至今日仍然在世界上享有盛誉。我们为中华民族祖先的“创新”意识和聪明智慧而无比自豪！

在美国首都华盛顿的世界航天博物馆中，陈列着两张有关中国的照片：一张是关于两千多年前的传说“嫦娥奔月”，如图 3—5 所示，向人们展示两千多年前，有一位中国人率先异想天开，要到天上去游览桃红柳绿和楼台亭阁。另一张是关于一件珍贵文物照片，即中国明朝制作的捆绑着火药喷射筒的弓箭，如图 3—6 所示。此文物表明：早在六百年前，中国人率先探索火箭原理，并最早研制成功了利用喷火推动的飞行器，它是火箭的前身，火箭的故乡在中国！

其实在我国明朝，有关火箭的研究水平已经达到了惊人的高度，“万户飞天”是其中一个典型例子，它是人类最早采用喷火作为动力的载人飞行试验：大约在十四世纪末，一位名叫“万户”的人，在一把椅子的背后安装了 47 支当时的火箭。然后他将自己捆绑在椅子上，双手各拿一个大风筝，作为产生辅助升力的翅膀。一切就绪之后，他请家人将 47 支火箭同时点燃，试图借用火箭的力量把他推向空中。据说这是美国人罗伯特·吉姆在 1945 年出版的《火箭与喷射》一书中的叙述。可见，万户是世界上公认的“第一个企图利用火箭进行飞行的人”。



图 3—5　嫦娥奔月图——两千多年前的中国古老传说

“万户飞天”应该是人类历史上第一次载人航天试验！也是人类历史上第一次空难事件！“万户”不仅仅是中华民族的英雄，也是地球人类的英雄！



图 3—6　中国明朝制作的捆绑着火药喷射筒的弓箭

在中国民间，流传着许多美妙的传说，如“盘古开天辟地”、“女娲造人补天”、“牛郎织女鹊桥相会”、“后羿射九日”、“梁祝忠魂化蝶”等。不难想象：在古代中国，人们思维活跃，异想天开，没有禁区，创新风气极为盛行。提出这些伟大想法不仅需要勇气，更需要智慧。优越领先的创新风尚引导了随后无数的发明创造，必将永远激励我们一代又一代炎黄子孙。

2. 创新意识，在中国近代逐渐淡化！

可是到了近代，在世界级科学家发明家的名单中，中国人的名字太少了；在世界级的重大发明列表中，来自中国的标题太少了。中国人对人类近代科技事业的贡献是不够的！

仔细环视一下周围，我们每天在享受的现代科技成果（如电灯、照相机、洗衣机、电视机、收音机、录音机、电子时钟、计算机、因特网、电报、电话、移动电话、微波炉、空调机、X 光透视、核磁共振成像、汽车、轮船、飞机、全息照相、人造卫星、同步卫星、太空飞船、航天飞机、激光、超导体、晶体管、半导体集成电路、核能……）中，哪一件是中国人发明的？实在是太少了！

造成目前被动状况的原因当然是多方面的，有人说是闭关自守的缘故，也有人说是外国侵略的后果，还有人说是连年战乱造成的等，但近几百年来中国人创新意识的淡化无疑是其中的重要原因之一。我们应该为此而感到惭愧，应该努力向先进国家学习，奋力追上去才是。

二十世纪二十年代末期，勇于创新、善于突破的德国人需要修建一条从德国柏林通往法国巴黎的公路，要求全程不能有交叉红绿灯，于是，人类历史上第一条高速公路诞生了，这就是今天德国的 4 号高速公路，如图 3—7 所示。看到这张照片，不由得使人想起了我们中国的第一条高速公路，它从上海伸向郊县嘉定，全长 20 多公里，建于二十世纪八十年代。半个多世纪的差距是如此的明显。



图 3—7　世界上第一条高速公路（德国）

事实上，近代德国曾有过不少划时代的创造发明，如电磁波、X 射线、相对论、量子力学、导弹、计算机等的发明和发现均有德国人的功劳。据统计：仅德国马普研究所获诺贝尔奖的学者就有 30 多人。由此可见，德意志民族勇于开拓创新的精神以及为人类近代文明所做出的杰出贡献的确令人钦佩。

3. 营造创新文化

我们曾千遍万遍地听到“要勇于创新”的口号声，但要领悟创新的真正含义且创新成功并不容易。

在当今社会，与创新有关的文化现象随处可见。走进一座城市，它的一份报纸、一块广告牌、一首流行歌曲、一款流行时装、一个电视节目、一座建筑物的风格、一条街道设计、一尊城市雕塑……均折射出这座城市创新文化的厚与薄！

一座城市建筑物的形貌，非常直观，可从一个侧面看出该城市对创新理念的独特领悟。图 3—8（a）所示的是由长方形和三角形组合而成的诸多建筑物概念图，类似形貌的建筑物在全世界成千上万，因此，不管建造多少此类建筑物，它们均不具有创新意义，也没有学术价值。（当然它们可以具有实用价值！）

1973 年建成的悉尼歌剧院，如图 3—8（b）所示，犹如一组曲线优美的贝壳群，与周围的大海及环境绝妙组合，堪称是二十世纪人类最伟大的建筑！也是该建筑设计者对“创新”一词的最好诠释。

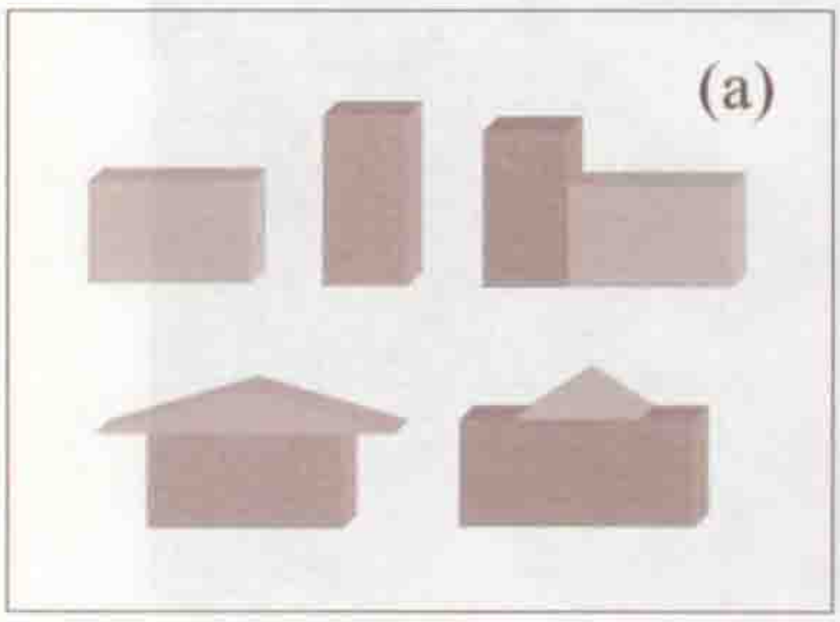



图 3—8　两类完全不同级别的建筑物：
（a）由长方形和三角形组成的建筑物；（b）抒情韵律般的悉尼歌剧院

悉尼这座城市没有太长的历史，也没有太多的人文，但她每年有那么多的国际游客，那么多的国际比赛，那么多的国际会议，其原因仅因为一幢房子！人们相信：如果没有悉尼歌剧院，2000 年奥运会是不会在悉尼召开的！

“创新”的价值和意义在上述例子中得到了充分体现，因为有了独一无二的创新设计，建筑物的造价和它的真正价值天差地别！悉尼歌剧院的每一条优美曲线似乎在提醒我们：如果想让一方水土繁荣起来，也容易，也不容易。有时候，我们没有必要毁掉祖辈留下来的那么多旱涝保收的粮田，也没有必要砍下一棵棵本来就十分稀缺的树木，更没有必要污染那么多子孙后代赖以生存的江河湖海，只要建造一幢房子足矣，唯一的要求就是“创新”！

目前社会上普遍存在着两种现象值得关注：一是“仿古”，诸如“正宗宫廷糕点”、“祖传秘方”、“根据马王堆出土配方”，等等。二是“仿洋”，如“东方新罗马”、“东方夏威夷”、“东方威尼斯”、“东方莫斯科”、“东方好莱坞”、“最新欧美款式”、“纯英式别墅小区”、“西班牙风情小镇”、“西溪深处的巴黎原香”、“来自意大利的浪漫”，等等。

的确，我们的祖先曾有过许许多多的创造发明迄今仍值得我们模仿。但

从总体上讲，人类总是在不断进步的，今天的科技水平已远远超过“马王堆”时代。当今发达国家在许多方面也确实领先我们好多年，但也并非任何东西都是“进口”的好。殊不知我国在许多领域（如杂交水稻、核技术、航天科技等）目前仍领先或接近于世界先进水平。

把当代中国许多城市中出现的大量欧式建筑群视为一种“创新”或庆幸以为“东西方文化交流”，此大谬矣！发达国家在许多方面固然值得我们学习和借鉴，但文化的相互学习和交流应该是内在，外在表现形式永远体现创新且独一无二的民族特色。这就是为什么在欧洲的城市（如伦敦、巴黎、罗马等）和乡村很难见到一座完整的中国式建筑，尽管古朴典雅的中国传统建筑同样如诗如画！

不难理解：当法国巴黎气势雄伟的埃菲尔铁塔建成以后，任何后来建造的铁塔，不管它的高度是全国第几位，还是亚洲第几位，它已没有建塔的科学意义;同样，当世界上第一座斜拉式吊桥建成以后，任何后来建造的斜拉桥，不管它的长度比第一座斜拉式吊桥长多少米，也已没有建造此类桥梁的首创意义（当然，它们可以具有技术意义和实用价值）。因此，当我们使用像“东方金字塔”（指中国的西夏王陵）,“中国的威尼斯”（指绍兴或苏州）,“当代的保尔·柯察金”,“东方的阿尔卑斯山”（指四川的四姑娘山）……等词语时要格外小心，因为此类词语并没有“创新”之意，它们并不能使本来独一无二、世界第一的人或物“高攀”，而很可能是将他们大大贬值了。

在社会上，时而可听到如下言语:“我们中国人比外国人聪明，任何国外进口的复杂仪器设备，只要让我们中国人看一眼，我们便立即可以把它仿制出来”。仔细考虑，此话并不正确！我们是“看了一眼”才造出来的，而发明者是在“没有看一眼”的情况下造出来的，发明者和模仿者的根本区别就在于是否“看了一眼”,这是关键的一眼啊！如果我们中国人仅仅只能“仿制”的话，那么中国人是不聪明的，因为“看了一眼”的模仿者必定要借助于“没有看过一眼”的发明者的智慧,“发明”的聪明远在“仿制”的聪明之上。

正因为如此，像“诺贝尔奖”那样的国际级大奖从来只授予发明者，而决不会授予模仿者；也正因为如此，一个高科技产品的高额垄断利润由该产品的知识产权拥有者获取，仅仅依靠生产该产品所获利润比例是十分微薄的。

对于一个民族而言，暂时的“模仿”无可非议，起步阶段理应如此。但如果没有“创新”的意识和“被模仿”的责任感，如果长期以模仿别人的发明而自觉聪明，以照抄别人的原作而光荣自豪，以享受别人的创新成果而心安理得的话，那么这个民族是没有希望的！

今天学习，明天创新；今天模仿，将来被模仿！

第四章　科学与科学哲学

人类科学事业的发展自始至终与（科学）哲学观念的进步相联系。古今中外，众多科学家成功路径不尽相同，与所处的学科、时代背景、团队结构、研究条件、年龄分布等有关，更与科学家本身所持有的哲学观念相联系。当科学家研究某个具体问题时，也许与他的哲学观念的关系并不很大；但当他的研究到达相当高度之后，他需要审视总体研究方向和选择路径，需要从整体性和内在关联思考问题，此时，哲学观念便成为决定因素了。

第十四则　宇宙客观真理的化身

微积分理论是研究关于变化和联系的精确数学，整个理论体系建立在所谓的“极限”思想基础之上。其中的常微分及导数分别描述一维空间中变量增量以及变化率的概念，如速度是时间增量趋于零时，空间增量与时间增量之商的极限，即空间随时间的变化率，或称之为一阶导数；加速度是速度对时间的一阶导数，或空间对时间的二阶导数等。偏微分及偏导数分别是在二维及高维空间中多变量情况下对变量增量及变化率的描述。

偏微分方程是未知函数及其偏导数（含一阶和高阶偏导数）与多元变量及常量之间的关系式，其解是一个符合该方程的函数。在一维空间，简化为常微分方程；在非线性弯曲时空，演化为张量偏微分方程等。一般统称为偏微分方程。

一般认为：中国古典哲学强调中庸，注重整体和联系；而西方古典哲学则更强调精确，强调形而上学。微积分理论源于精确和极限思想，求解偏微分方程等实际问题则依赖于诸如形而上学那样的近似方法，如第二章中所讲述的那样。因此，微积分理论未能诞生在东方应该不足为奇，由微积分理论所导致的精确科学起源于西方也应该是合理的结果。

1. 宇宙客观真理与偏微分方程

人类在科学探索过程中发现：宇宙客观真理一般由偏微分方程描述。这些方程的结构十分简洁且玄妙，其中仅包含一阶或二阶偏导数，且多数为线性方程。例如宏观低速的机械运动由牛顿方程描述，如公式（2—3）所示；经典电磁场运动规律由麦克斯韦方程组描述；微观世界的低速运动规律由薛定谔方程描述；宇宙中物质、能量、引力、时空的关联及演化由爱因斯坦场方程描述，如图 6—11 所示（见第六章）。

【例】薛定谔方程

量子力学中的薛定谔方程是描述微观、低速情况下物质运动普遍规律的二阶线性偏微分方程，如公式（4—1）所示

$$i\hbar\frac{\partial}{\partial t}\psi(\boldsymbol{r},\mathrm{t})=\left[-\frac{\hbar^2}{2m}\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2}+\frac{\partial^2}{\partial y^2}+\frac{\partial^2}{\partial z^2}\right)+V(\boldsymbol{r})\right]\psi(\boldsymbol{r},t),\qquad(4—1)$$

其中 ψ 为波函数，$\boldsymbol{r}$ 为空间坐标向量，x、y、z 为三维空间坐标，t 为时间，m 为物体质量，V 为势能，虚数单位$i=\sqrt{-1}$，$\hbar=\frac{h}{2\pi}=1.05\times10^{-34}$ 焦耳·秒，称为约化普朗克常数。

薛定谔方程由奥地利伟大的物理学家埃尔温·薛定谔于二十世纪二十年代初建立，是量子力学中的基本方程，其在量子力学中的地位如同牛顿方程在经典力学中的地位一样。如今量子力学已获得巨大成功，科学解释了原子和分子结构、元素周期律、原子分子光谱、各类化学反应等，还导致了一个

又一个高科技产业，如激光、超导、晶体管、纳米科技……

此外，还有两类特殊情况：

（1）类似牛顿万有引力定律［公式（2—6）］那样的宇宙真理，仅仅是未知函数、变量和常量之间的函数关系式，不能算是偏微分方程。其实，此类定律只是更精确理论的近似表述。例如公式（2—6）是广义相对论中爱因斯坦场方程（二阶张量偏微分方程，见图 6—11）在特殊情况（距离较近、引力较弱和速度较慢）下的近似而已。



图 4—1　维也纳大学校园内的薛定谔雕像（碑文即著名的薛定谔方程）

（2）类似量子力学中德布罗意波粒二象性假说（见本章第十五则）那样的宇宙真理，它们是建立相关偏微分方程的基础性假说，已被包含在相应的偏微分方程之中。例如上述薛定谔方程（4—1）式已将德布罗意波粒二象性假说（4—2）式（见第十五则）包含其中；在创立经典电磁场理论过程中，麦克斯韦所提出的“位移电流假说”（见第六章图 6—11 中的“$\mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial \boldsymbol{E}}{\partial t}$”项）

已被包含在麦克斯韦方程组之中等。

那么，为什么宇宙间最基本的客观真理一般由如此简洁的偏微分方程所描述呢？换言之，偏微分方程为什么可以作为宇宙真理的化身呢？根据偏微分方程的诸多性质，其原因可回答如下：

（1）宇宙是不断运动变化的；

（2）宇宙中的常量、变量及变化率之间是相互联系的；

（3）宇宙客观真理是简洁、统一和玄妙的。

2. 宇宙客观真理的揭示、证明及应用

一般而言，科学研究分为三种类型：

（1）揭示宇宙客观真理，建立偏微分方程：首先需要大量前期理论和实验准备，当新实验结果与原理论发生矛盾并日益尖锐化，原理论的缺陷和局限性不断显露，待时机成熟，由极少数科学巨人根据他们独特的哲学观念、敏锐创新的思维方式、扎实的理论功底以及丰富的科研经历，突然“灵感”降临，提出科学假说，建立新的偏微分方程，客观、简洁且玄妙，如此“天机”乃宇宙主宰者“事先设定”，人类可揭示但不可更改。

（2）对新建立的偏微分方程进行求解并实验检验：为了使精确定量的实验检验客观重复任意次，证明过程一般需要几年甚至几十年，需要科学家们的睿智、严谨、耐心和大量投入。

上述两类研究被称之为基础研究。

（3）应用研究：一旦被严格证明，代表某一宇宙真理的偏微分方程可应用于该领域的一切问题，永远相对正确。

当然，在具体应用时，还需要根据具体问题，建立近似模型，设定简化的初始状态和边界条件，一般需要近似求解方程，如公式（2—3）和（2—4）所示。因此，在具体应用过程中，各种近似和主观因素介入不可避免，故仍然需要对所获近似结果进行“客观、精确定量、任意可重复”的实验检验，

以证明此类近似过程的科学合理性。一旦证实，便可将结果应用于现实具体问题，或指导进一步的科学探索，造福人类。

第十五则　科学假说：智慧灵感闪烁之光

与经典物理学相比，现代物理学的研究范式发生了重大转变，从以归纳推理为主转向以演绎推理为主，取得了巨大的成功！现代物理学习惯首先提出假说，所谓的“假说”即演绎推理中的“大前提”，然后利用数学和逻辑获得理论推论，将推论与实验数据进行客观、精确定量、任意可重复的验证。

1924 年，法国学者德布罗意提出了著名的波粒二象性假说：任何微观粒子既是一种粒子，又是一种波动，粒子动量 p 与粒子运动波长 λ 之间满足关系

$$\lambda=\frac{h}{p}\ , \tag{4—2}$$

其中 h 为普朗克常数。德布罗意波粒二象性假说是量子力学的奠基性假说，整座量子大厦建立在其基础之上。

为了创立广义相对论学说，爱因斯坦首先提出了两个基本假说：（1）自然规律对于任何参照系而言都应具有相同的数学形式（广义协变原理）；（2）匀加速参照系可与均匀引力场中静止的参照系等效，反之亦然（等效原理）。它们构成了整个广义相对论学说的基础。

此外，由偏微分方程所表述的宇宙客观真理，诸如牛顿方程［公式（2—3）］、薛定谔方程［公式（4—1）］、克莱因 – 戈登方程［公式（2—8）］、狄拉克方程［公式（2—9）］、麦克斯韦电磁场方程组和爱因斯坦场方程（见第

六章图 6—11）等，并不是科学家们利用数学推导出来的，而是基于部分直接或间接实验结果，在特定哲学思想和科学假说指导下，由科学巨人们“建立”起来的数学方程。所以，描述宇宙客观真理的偏微分方程实际上也是科学巨人们的假说，只是这些假说不是以文字形式表述，而是采用微分方程形式精确刻画。

在现代科学发展史上，以假说为大前提所导致的重大突破举不胜举，有力地说明了采用“假说”加“演绎推理”研究方法的合理性和有效性。那么，科学研究中的假说是如何提出来的呢？“假说”的提出与人们常说的主观“猜测”又有什么区别呢？

1. 科学假说——智慧灵感的具体描述

现代科学研究过程中频频出现的种种“假说”的确带有主观“猜测”的成分，它与科学方法的严谨性似乎格格不入。这些初看起来好像是人为“猜测”出来的假说难道真是随随便便的“猜测”而已？答案当然是否定的。事实上，科学“假说”对客观真理的玄妙、精确和深刻的揭示绝对不是偶然的；“假说”的提出是有其苛刻前提条件的；它是人类极少数科学巨人天才“灵感”（或称为“直觉”）的具体表述，非常人所能为之。剖析一个个成功的科学“假说”事例可以得出如下结论：

（1）科学“假说”的提出或猜测往往是伟大科学家智慧“灵感”的具体表述，以当时的非理性思维为特征。

（2）智慧“灵感”的形成与触发需要扎实的专业基础、完备的知识体系结构、丰富的科学研究经历以及非凡睿智与勇气。

“非凡睿智”还被理解为“天才”、“天赋”、“超感官知觉”、“天人感应”、“神人下凡”等超力量化身。

（3）智慧“灵感”的产生还与时代、学科、环境等以及其他偶然事件相关联。

具备了上述三个必要条件，还需要科学家集中智力和体力，长期聚焦在

某一科学难题上，使该难题的前因后果、问题关键、难点实质、相互关联等清晰可见。然后，经过长期深入的形象和抽象思维，由某些“偶然因素”触发，智慧灵感突然产生。所谓的“偶然因素”表面上看似偶然，其实内在必然！触发“灵感”的形式多样，在思想交流时、在比较及联想时、在梦幻中（见下一章）等都可触发。此外，灵感的触发过程发生在心灵深处，其微观机理迄今不得而知！

关于智慧“灵感”的形成与触发可作一个类比：当你看到一件艺术珍品的某一部分之后，如果此时你对艺术基础理论有很深的造诣，对该艺术珍品的美及含义有深刻的领悟，然后你又有超凡的艺术灵感，则你便能够将此件艺术珍品的其余各部分甚至全貌均描绘出来，即灵感形成并被触发。对一般人而言，这最后一步是极其困难的，只是极少数人的天才之举。

2.“假说”或“灵感”的证明和证伪

从严格意义上讲，所谓的“假说”即演绎推理中的大前提，是不可能被严格逻辑证明的。在第二章，我们描述过自然科学领域对此的证明方法：首先提出假说，采用数学和逻辑对假说进行演绎，从而获得 N 个推论，再对推论进行客观、精确定量、任意可重复的实验验证。如果有 n（$n \leqslant N$）个推论被实验证明是正确的，而其他（$N-n$）个推论由于实验条件限制等因素暂时无法证明，则“假说”成立。在实验验证过程中，只要发现一个推论不成立，则该“假说”被否定。

从自然科学研究角度看，上述方法是十分有效的，并已被广泛接受，取得了巨大成功。但从逻辑学角度讲，该方法犯了“循环论证”的错误，即用部分已被证明为相对正确的推论是无法证明大前提的正确性的。

采用在逻辑上无法证明的假说，却由演绎推理可获得一系列可靠推论，其中的问题究竟出在哪里呢？其实，正如我们在第二章所阐述的那样，自然科学中的所谓“证明”是严格按照伽利略科学研究范式，“客观、精确定量、任意可重复”地将理论和实验进行一次次循环验证和修正，逐渐逼近客观真

理。虽然此种方法仍然没有完全消除演绎推理的逻辑漏洞，但可将该逻辑漏洞减小到极限；只要客观可重复次数足够多，实验与理论的吻合程度足够精确，那么逻辑漏洞便可被减到足够小，所得结果的可靠性便足以满足人类实际需要了，如公式（2—10）所示。

或许，大前提的正确性是永远无法严格证明的，但自然科学中演绎推理的有效性是我们必须承认的。

或许，源自心灵深处科学“灵感”闪烁的产生机理是我们永远无法知晓的，但科学巨人那一个个智慧“灵感”闪烁的光芒将永远照耀着人类文明前进的道路！

第十六则　有限与无限的相对性

根据宇宙大爆炸理论，宇宙在时间上和空间上均为有限。因此，在宇宙中，任何事和物均是在某一时空出现，也必将在另一时空消失；在寿命长短、空间范围、能量大小等方面均是有限的。

对于人类来说，有限和无限应该是一个相对的概念。

若 A 事件在某时空发生，在人类看得见够得着的时空范围内，其结果对人类所关注的问题不会造成任何影响或影响很小而无法测量，则可认为 A 事件发生在距离我们无穷远的时空，或认为 A 事件从来没有发生过，也永远不会发生，于是，在科学研究中可将其作为无穷小量而忽略；反之，则应计入该事件的影响。

在第一章中提到的所谓“蝴蝶效应”：三天前北京的一只蝴蝶扇动一下翅膀，引起今天杭州的一场大风暴是可能的；但三万年前北京的一只蝴蝶扇动一下翅膀，对今天杭州天气是不会有任何影响的。因此，当我们考虑今天杭州天气时，完全可以认为“三万年前北京的一只蝴蝶扇动一下翅膀”这件

事从来没有发生过，或认为那只蝴蝶是在无穷远的时空扇动翅膀的，对今天杭州天气的影响是无穷小，因而可以被忽略。

地球是一颗半径约为 6400 千米的球形天体。但是当我们计算海岸线附近海水波浪传播规律时，我们完全可以认为大海表面是无限平整，且大海的另一端平整伸向无穷远。

地球上石油储量是有限的。根据目前全球勘探数据分析，地球上石油总储量估计还可供人类使用 30 年至 50 年，我们必须认为地球上石油储量是有限的，需要我们从现在开始节省石油，加速开发新能源，因为若要开发一种新的可持续大功率能源（如受控核聚变等），30 年时间未必能完成。

海水中核聚变原料储量是无限的！地球海水中核聚变原料氘的总储量达几百亿吨，其受控核聚变所产生的能量足以为人类提供上亿年的能源消费。由于人类文明迄今不过一万年，我们完全可以认为海水中氘的总储量所能提供的能量是取之不尽用之不竭的。

在海边建造核电站时，必须考虑地震、海啸等对核电站安全运行的影响。当一块小陨石撞击在距地球 38 万公里之外的月球表面时，它对地球上核电站安全运行的影响很小，无法探测；于是，科学家及工程技术人员在设计核电站时，从不考虑这一因素，认为此事从来没有发生过或发生在无穷远的地方。

此外，当科学实验的结果可以被客观、精确定量、任意可重复时，我们便可以认为该实验结果是无限可重复的。

例如我们不可能要求一艘宇宙飞船安全无人发射无限次以后再开始载人发射。实际上，只要故障发生概率足够小，便可以载人发射升空了。在中国的神舟系列飞船科学实验中，从“神舟一号”至“神舟四号”均圆满发射且回收成功；于是，2003 年 10 月 15 日 09 时，“神舟五号”便载人升空，搭乘我国第一位宇航员杨利伟，经过 21 小时飞行，飞船绕地球 14 圈后安全返回地面。

又如当我们试验飞行某种类型的飞机一万次，均为正常，则我们便可以

认为这种飞机是完全可靠的，完全可以投入商业运营。任何一架飞机均不可能无限可靠，若要确定飞机无限可靠、绝对安全后再投入商业运营，那么人类的商业航空业是不会存在的。

总之，在科学与技术领域，只要某故障的发生概率小于临界值 p_0，便可以认为该事件永远不会发生而被忽略。一般而言，$p_0 \neq 0$，因此风险或意外不可避免；随着人类文明不断进步，p_0 值将不断减小，风险也随之趋于零，但永远不可能等于零。

哲学、数学及逻辑学要求严密，追求极限，这是理想状况。而科学是现实和具体的，人类的科学探索在时间、空间、资源、重复次数等均为有限，且相对而言，不可能也没有必要苛刻至极限。从这个意义上说，两者之间有本质区别。

第十七则　从定性到定量的飞跃

1. 定性、半定量、定量

“定性”描述即根据经验积累大致估计或文字表达事物发展规律和各种量的相对大小，在经验科学时代尤为重要。对一些十分复杂的系统，或者是没有必要十分精确判断的事物，直至今日，“定性描述”仍然是必要的。例如在日常生活中常常采用定性描述，因为很难或没有必要定量描述：泡茶时一杯水中放多少茶叶？喝咖啡时掺入多少牛奶或糖？炒菜时加入多少盐？……对于类似问题，一般大致估计一下便可以了。

“半定量”描述是采用粗略的数字和简单数学表达系统变化、发展或各种量的相对等量关系，在科学发展史上同样发挥了十分重要的作用，是经验科学向精确科学进化的必经之路。不过在“半定量”阶段，实施严密数学逻辑

的归纳和演绎仍然是不可能的。

传统的中医学中大量采用“半定量”的方法，如“青蒿一把”、“凡煮汤，欲微火，令小沸”、“用水一斗，煮取四升”等。长辈指导孩子做米饭的半定量简易方法：“一斤米加二斤水”；指导孩子如何腌制咸鸭蛋的半定量方法：“三斤水＋一斤黄泥＋一斤盐＋二斤鸭蛋”等。

“定量”描述是采用尽可能精确的数字和符号表达系统中的常量、变量、变化率及其等量关系，这是经验科学向精确科学跳变的基础。在精确科学领域，系统中的各种参量均需精确定量刻画，它们之间的相互制约机制及演化规律可由偏微分方程描述，从而使严密数学逻辑的归纳和演绎成为可能（详见第一章和第二章）。

例如根据牛顿万有引力定律，采用微积分原理求解牛顿方程，可以获得行星绕太阳公转的精确轨道。为了得到尽可能精确的数据，有时科学家采用极限手段获得当时的极限精确度。例如现代科技对电子所带电量的测量已达到相当精确的程度，其值为 $e = 1.602176462（83）\times 10^{-19}$ 库仑。

从定性描述到定量刻画是质的飞跃！尽管如此，定性、半定量和定量仍然是一组相对的概念。定性的不断重复可转化成为半定量，半定量的不断精确化可成为定量；在一个时代的定量，到另一个时代可成为定性。例如：从近代量子光学精确度看，牛顿几何光学中的“定量描述”应该属于“定性描述”。

精确是相对的，不精确是绝对的！人类永远不可能得到没有误差的实验结果。从这个意义上说，半定量是相对的，定量也是相对的！

2. 精确定量的极限

以上阐述似乎给人一种印象：越精确定量，描述越准确。事实并不完全如此。为了使描述尽可能准确，有时候需要追求极限的精确定量；有时候需要定量和定性相结合；有时候则定性描述就可以了，也许定性描述更为“精确”。

设变量 A 是诸多变量 x、y、$z\cdots$ 的函数，即 $A=f（x，y，z\cdots）$，则

A 的误差取决于所有变量 x、y、z…测量误差的复杂组合。在有限的实验时间、人力、财力和物力情况下，假如我们随意将其中某些变量测量精确，或极限精确，则未必能使变量 A 的最终结果更精确，还有可能导致更加不精确。

例如现代计算机技术对声音和图像的识别，只要抓住几个特征，即可基本达到目的，当然一定大小的错误概率总是不可避免的。假如对未加科学选择的参量进行精确定量，有时候越是精确定量，也许识别错误概率越大。

怎样的食物结构对人体健康最适合？一个人每天应该食用多少微克蛋白质，淀粉，脂肪，维生素 A、B、C、D、E、K？应该每天食用何种微量元素多少微克？何时食用何种成分最有效？食物中各种成分含量是否需要精确到原子或分子？食用某种成分的时间是否需要精确到秒或微秒？……事实上，由于影响健康的因素很多，仅仅对某几个量的苛刻精确定量没有意义！在这种情况下，应该采用定性与定量组合描述方法，“大致各成分均衡”便可以了。

又如采用考试分数衡量一名学生是否可进入大学，看似精确，其实是粗略的。一个人的才华是多方面的，他未来成功与否取决于诸多因素，不可能仅仅用考试分数唯一确定。这便是为什么任何一所大学均可能培养出栋梁之材的原因，一流大学只是成才概率较高而已。

在第一章中我们曾经讲述了非线性系统的例子。现代非线性科学原理告知我们，由于对初始条件的极度敏感性，非线性系统（如气象状况等）的长期精确预报是不可能的。不管我们将初始条件如何全面考虑，如何精确计入，如何超大规模精确计算，均不可能穷尽所有微小因素而达到目的。事实上，对于此类非线性系统初始条件的精确定量也是不可能的。

由此，在精确科学总体强调“精确定量”的时代里，在许多现代高科技领域，尤其是与医学、心理学、生命科学、非线性科学等交叉学科，采用定性、半定量和定量相结合的方法进行描述和研究仍然是必不可少的。

3. 定性描述的陷阱

定性描述有成功的一面，但由于其具有很大的不确定性，因而可能有面临陷阱的危险，如果稍有疏忽，可导致完全不同的结果。

例如在下列（4—3）式中，左右两边的诸多定性词汇的含义似乎很不一样，但如果我们仔细辨别后便会发现：这些定性描述的概念是有重叠部分的，如图 4—2 所示，即等式左边等于右边是可能成立！（当然也有可能不成立！）

基本相同 = 基本不同

差不多 = 差很多

可能升 = 可能降

不会很难 = 不会很易

关系不大 = 关系很大

马上到 = 很迟到　　（4—3）

……

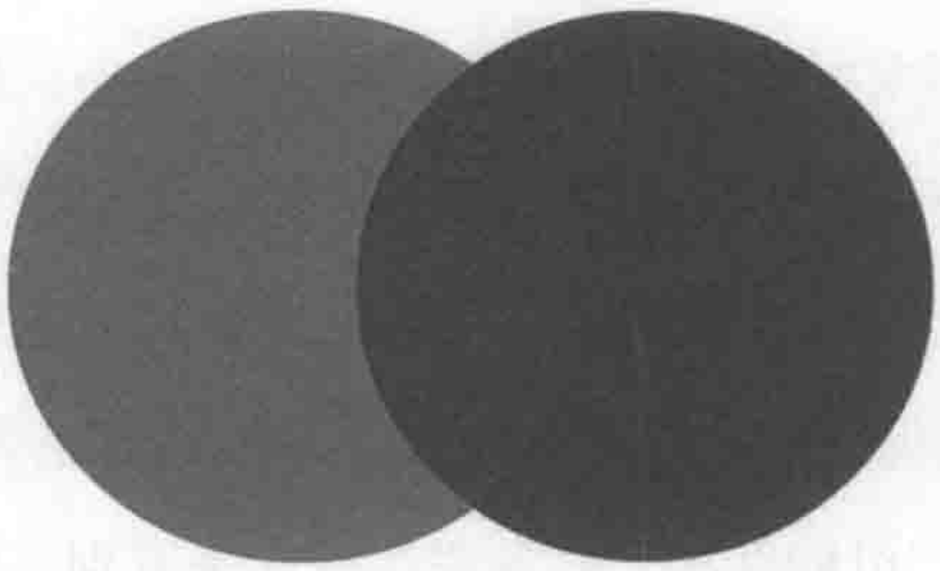

图 4—2　两个概念可以重叠，也可以不重叠

如果（4—3）式成立，有时可造成很大麻烦。例如“下月股票指数可能升”，“本次考试不会很难”，“这两个案子关系不大”等，将令当事人不知所措，有时可误导读者，造成巨大损失。当然，并不否认这些词汇在文学

上的重要作用。

诸如此类的例子很多。请分辨下面诸多含义不清的语句:基本上没有问题、问题不大、没有太大问题、原则上没有问题、一般不会有问题、出问题的可能性极小、发生意外的可能性几乎为零、几乎没有问题、大家都认为没有问题……其实,所有上述语句均为定性描述,只说明了一个意思,即“有问题”!

在许多现代高科技活动中,上述言语的使用要十分小心,有时甚至不被允许。假如来自航天中心发射现场报告“本次宇宙飞船的发射基本上没有问题”,那么总指挥是不会允许发射飞船的,因为他理解这个报告的意思是“发射还是有问题的”!

在科学研究中,我们不可避免要使用下列词汇:可能、有可能、很可能、很有可能、非常有可能、完全可能、估计很有可能、不是完全可能、不是完全不可能、有相当可能、极有可能、大家均相信可能等。仔细分析,这些词汇均为定性描述,相互之间均有重叠部分,且重叠区域大小不清。总体上讲,这些词表达了同一个意思,即“有可能”!因此,在科学上是慎用这些词的,以免误导读者。

此外,还有听起来似乎否定的词汇:原则上不可能、一般不太可能、基本上不可能、估计不太可能、可能性小、可能性很小、可能性极小、可能性几乎为零、几乎没有可能、大家都认为不可能、希望非常渺茫、从来没听说过等,其实它们与上一段中的词汇一样,也代表同一意思,即“有可能”!在科学研究中,要求我们仔细斟酌这些定性词汇的真正含义,以免错过机会。

“可能性大”和“可能性小”两种说法听起来有别,但实际上,由于是定性描述,它们之间具有大小不清晰的重叠区域,在这个区域中,两者没有区别,均代表“有可能”,如图 4—2 所示。

在科学研究过程中,“大”和“小”是相对的。何为“可能性极小”?其实,上述描述中的所谓“可能性极小”等词,并没有精确定量,并没有说清到底是多少,所以说“很小”,但实际上可能并不小,例如 1% 可算“很小”了吧?

但在科学实验中，0.01% 可能是一个很大的成功概率了！

所谓“一切皆有可能”，即“可能性”是存在的，只是没有讲明白可能性的精确值，当可能性小到一定值以下，便等于不可能。当然，有时候也没有必要讲精确，因为这是一个相对的概念，因人、因环境、因时代而异。任何事件的发生均有一定可能性，需要科学工作者用敏锐的眼光去探明其发生的条件是什么，在所有发生事件中该事件出现的概率是多少等。如果发生条件极其苛刻，出现概率极其微小，那么也就是我们常说的“不太可能”；如果发生条件容易满足，出现概率较大，也就是我们常说的“很可能”。

其实，在上述几个例子中，“可能”是一个概率论的范畴，发生概率 P 的取值范围为“$0 < P < 1$”；而“不可能”则是一个决定论的范畴（见下一则描述），发生概率 P 的取值范围为“$P = 0$”。两者是完全可以区分的。可是，当我们在这两个词之前加入诸如“几乎”、“基本上”、“不是完全”、“不太”等定性形容词时，两者之间可形成不明大小的重叠区域，导致不确定性。

第十八则　两种机理——决定论与概率论

对世界上万事万物的描述方式颇多，典型有两种：决定论与概率（几率）论。

1. 决定论描述

决定论又称拉普拉斯信条，描述在自然科学领域“有其因必有其果”的逻辑：只要原因清晰，未来的结果是完全确定并可预测的；反之，如果发生了某事件，就可反推先前发生的原因，于是该事件的发生是不可避免的。由此，采用科学方法便可揭示宇宙自然规律。

最典型的例子要数牛顿力学。牛顿发现了万有引力定律和牛顿三大定律，他十分自信：只要知道系统的初始及边界条件，利用微积分原理求解方程，

后面的一切过程均完全确定。例如只要知道某时刻某行星在它绕太阳公转轨道上的位置，那么以后任何时刻该行星在它绕太阳公转轨道上的位置都是完全确定的。

在决定论中，有因必有果，有果必有因，因果一一对应，因在前，果在后，因果关系不可倒置。这一逻辑被称为决定论因果律，也是人们比较习惯的一种思维方式，直观、理性且符合经验。例如，如果没有将炉子的温度升到一定程度，锅里的水将不会被烧开。在这个例子中，因果关系十分明确，决定论思维方式成立。又如，一辆小车放在山坡上，如果没有刹车，小车将自动下滑，即斜坡必然导致小车下滑，决定论思维有效。

可以想象：如果没有决定论思维，科学逻辑无法推理，法院无法断案，工厂无法管理……

2. 概率论描述

概率论描述则完全不同，它只告知某时刻某地点发生某事件的概率，而不告知该事件究竟何时或何地发生。

举个例子：在一般情况下，每周日上午十点整从浙江大学玉泉校区开往紫金港校区的 16 路公交车上有多少名乘客？应该说车上每一位乘客上车均有明确的原因，但车上乘客人数的精确值是无法预先知道的，只能给出一个大概范围，如 10 至 20 名乘客之间。从概率上讲，出现空车或全校师生同时拥挤上车的情况也有一定可能，但概率极小，以至于可以忽略。

随手抛向空中的一枚硬币，其运动完全符合经典力学原理。但如果问：当硬币落地时是正面朝上还是反面朝上？永远无法事先预料！

又如放射性元素原子核的衰变：某原子核在 t 时刻衰变有一定概率，但是该原子核究竟何时衰变是无法知道的。

显然，在上述三个例子中，决定论描述是失效的。

概率论描述属于精确科学范畴，它与上面提到的定性描述有本质区别：虽然概率论描述不告知我们某事件在某时某地是否发生，但它告知我们该事

件在某时某地发生的概率精确值;在现代概率论描述理论(如量子力学等)中,只要求得某事件发生的概率精确值随时间和空间变化的规律,便可由此推导出其余参量精确的确定值;概率论描述的核心问题是揭示某事件发生的概率精确值随时间和空间的变化规律,一般采用数理统计、偏微分方程求解或计算机数值模拟等方法。

例如将大小、形状和重量完全一样的七个白色小球和三个黑色小球放在一个不透明的罐子里。然后,用手伸到罐子里去取出一个小球:在小球被取出之前,我们无法知道取出的是白球还是黑球,假如第一次取到了一个白球,记录球的颜色,然后将该白球放回;搅拌均匀后,在第二次取球之前,我们也无法知道第二次取出球的颜色,第二次取出后,如果发现是黑球,记录第二次取出球的颜色,再将球放回;然后再取第三次……显然,每次取出球的颜色是无法预料的,但如果按照上述规则,当取球次数 N 足够大时,最后肯定得到一个精确结果:取出白球的次数与取出黑球的次数之比是 7∶3,这便是概率论描述。

人生何时幸运?何时遭难?一般很难预料。假如我们相信:一个人一辈子的运气和晦气的相对百分比(即概率)是固定的,那么当你遇到的麻烦越多,你的前景越光明;相反,当你一路走来,风和日丽,事事顺心,则要特别小心下一步遇到麻烦的概率了。这就是我们平时所说的“大难之后必有大福”、“顺境要小心,逆境有信心”等。老子所说的“祸兮福之所倚,福兮祸之所伏”和《淮南子·人间训》中记载的“塞翁失马焉知非福”也应该有概率论的因素在内吧。

应该指出:决定论和概率论描述是相对的,当概率论描述趋向“0”或“1”的极限时,即为决定论。

在著名的卢瑟福 α 粒子散射实验中,当高能的 α 粒子轰击金箔靶时,发现有很少量的 α 粒子被反弹了回来。理论估算:如果是原子核外电子所为,则其概率约等于 10^{-3500}!从形式上看,这是概率论的描述,但实际上是决定

论描述，因为在该实验观察的有限时间内，如此小的发生概率实际上是不可能发生的，即核外电子是不可能将高速 α 粒子反弹回来的。

如果在锅里放两颗芝麻，一颗白，一颗黑，无论你用铲子如何搅拌，黑白均是分开的；如果在锅里放四颗芝麻，两颗白，两颗黑，然后你用铲子搅拌，当铲子铲到某一铲时，黑白芝麻分开是很可能的；如果在锅里放六颗芝麻，三颗白，三颗黑，然后你用铲子搅拌，当铲子铲到某一铲时，黑白芝麻完全分开也是可能的；……如果在锅里放 N 颗芝麻，$N/2$ 颗白，$N/2$ 颗黑，然后你用铲子搅拌，只要 N 不是很大（例如 $N=20$ 等），当铲子搅拌到某一铲时，黑白芝麻完全分开仍然是可能的；可是当 N 值十分巨大，例如 $N=10^6$ 或更大，那么理论上当你搅拌到某一铲时黑白芝麻完全分开还是可能的，但实际上，由于这种可能的概率很小，在我们实验的有限时间内是无法观察到这种现象的，所以回到决定论描述，即确定实验上是不可能发生的。

决定论与概率论反映两种不同的机理，上述例子说明它们是可以相互转化的，概率论也许更能揭示事物的本质，决定论只是概率论的统计极限而已。

仔细观察周围，采用概率论描述的例子很多。例如现代飞机失事的概率已经很小，但不是零，所以我们对飞机起飞前的各项检查是非常严格的，因为我们无法预先知道究竟哪一次会出现事故；大型科学仪器所包含的每一个零部件或元器件均存在一定的失效概率，整台仪器的具体失效时刻是无法预先知晓的；对于某人的某种疾病，吃某种药或打某种针只能说有效率是多少，治愈率是多少，而不能保证一定有效或一定治愈；购买各类彩票，每个人均有一定的中奖概率，且事先精确计算设定，但究竟谁能幸运中奖是无法事先知道的；现代气象预报往往说一周以后某天某地下雨的概率是多少，至于是否真正下雨是很难完全精确预言的等。

科学研究是探索性活动，成功与否往往由概率论描述。假设某科学实验的成功概率为 P，在一般情况下，$0<P<1$。科学家不会等待到 $P=1$ 时才做此实验，也不会等待到 $P=0$ 时才停止实验，而是当 P 大于某临界值 p_c

时，即 $P > p_c$ 时，实验便开始了。p_c 值的大小由该实验的重要性、成本大小、万一失败对人身安全或对人类未来危害大小等决定。p_c 即判定科学实验是否实施的转折点！

凡事关人身安全的科学实验，必须在 $p_c \approx 1$ 时，实验才可以启动。所以在航天科学实验中，因为有航天员参与，必然提出“万无一失”、“绝对保证”等要求。对于不直接涉及人身安全且对人类未来十分重要的实验，如受控核聚变实验等，完全可能设置 $p_c \approx 0$，即只要成功概率不等于零，便值得科学家尽力尝试，即所谓的“万分之万的努力为了万分之一的成功概率”。

在人类各种活动中，人们对各种风险大小（即意外事故或事件的发生概率）的敏感程度是有选择性的。只要风险小于临界值 $r_c=1-p_c$，尽管事关人身安全，大家可能也会尝试，当然，此处的 r_c 值因人因事因时代而异。例如对于乘坐飞机而言，可初步估计 $r_c \leqslant 10^{-6}$（即 r_c 小于等于百万分之一概率）。

此外，诸如在高速公路上开车、乘坐高速列车、驾船出海打鱼、生活在地震带区域、居住高楼、食用转基因食品、过多使用移动电话等均存在一定风险，但为什么当人们参与时不会有心理障碍呢？其原因是明显的：

（1）风险很小，远小于 r_c，遇上概率很小；

（2）进一步减小风险成本很大或根本不可能；

（3）别无选择，只能冒此较小的风险。

当人类意识到某些活动风险不可避免时，“保险”思想在数千年前开始萌芽。现在，不断精确定量的保险行业已涉及几乎所有风险领域，成为人类社会减小风险、分散灾难、相互扶助的有效方法。

【例】人恐惧危险吗？

威胁健康与生命的危险何时发生？发生概率多大？一个心理健康的人面对危险的恐惧程度有如下选择法则：

（1）不恐惧未来不确定时间或时期、发生概率很小的危险（如地震、车祸、吸烟导致重病等）；

（2）不恐惧未来不确定时间或时期、发生概率很大或一定会发生的危险（如人老患重病、死亡等）；

（3）不恐惧未来确定时间或时期、发生概率很小的危险（如乘坐飞机、载人宇宙飞船发射等）；

（4）唯独恐惧未来确定时间或时期、发生概率大于某临界值 r_c 的危险（如恐怖威胁、战争前大量难民逃离等）！

众所周知，抽烟、酗酒、吸毒、暴饮暴食、过度透支体力和脑力等属于不良生活习惯，威胁人的健康与安全。但在我们社会中，为什么总有一些人不以为然呢？原因很明显：因为此类威胁健康和生命的危险需要经历一个从量变到质变的产生过程，不会在未来确定时间或时期导致发生概率超过一定临界值 r_c 的危险。初步估计：关于此类事件，$r_c \approx 10^{-2}$（即 r_c 约等于百分之一概率）。

为什么像偷窃、抢劫、诈骗、贩毒、受贿等行为时有发生？因为每次作案不一定被抓，侥幸逃脱的先例不在少数，被抓时间或时期不确定；而且，由于作案成功所获利益十分可观，获利增加，r_c 值随之升高，使作案后被抓的概率常常小于临界值 r_c。初步估计：关于此类事件，$r_c \approx 10^{-1}$（即 r_c 约等于十分之一概率）。

【例】某大学生及家长询问是否应该转专业

学生：爸妈让我转专业，怎么办？

教授：你想转吗？

学生：不，我喜欢现在的专业。

教授：你能为你自己的决定负责任吗？

学生：我坚信能。

教授：那好，请按自己的想法做，继续现在的专业。

家长：你为什么让孩子不听我们的话？

教授：因为就此问题而言，你们孩子决定错误的概率远小于你们家长决定错误的概率！

【例】大学教授给毕业生离校之前的特殊赠言

对于毕业离校同学而言，设今后再回母校相见的概率为 $P(X)$，其中 X 为回母校发生事件，则

$1 \geqslant P$（一位同学回到母校）$\geqslant P$（一位同学见到一位老师）$\geqslant P$（一位同学见到多位老师）$\geqslant P$（一位同学见到多位同学）$\geqslant P$（全班同学相聚母校）$\geqslant P$（全班同学与全体老师相聚母校）≈ 0！

因此，建议毕业同学离校前最优先照相应该是“合影”！——母校永远与毕业同学在一起！

【例】大学生询问健康与锻炼身体之关系

教授：近几年我校患重病同学较多，失眠、神经衰弱等同学也不少，令人担忧！盼同学们加强体育锻炼，培养良好的学习和生活习惯。

同学：我很少参加体育锻炼，但我现在也没生病啊！

教授：我希望你未来 30 年到 50 年不生病。

同学：如果我按您要求做，您能保证我今后 50 年不生病?

教授：不能，但如果你按要求做到了，我能保证你未来 50 年不生病的概率大大增加。

3. 决定论和概率论的关系

有关决定论和概率论的关系，主要有如下三种观点：

（1）因为我们目前还没有掌握事件发生的所有动力学机理，还没有穷尽宇宙间一切深层次根源，所采用研究方法的逻辑漏洞也没有趋于零，计算量有限，所以概率论描述是需要的。未来如果我们做到了这一切，决定论必将替代概率论。

以前面提到过的抛硬币为例：当我们随意向空中抛出一枚硬币，最后硬币落地后是正面朝上还是反面朝上呢？一般认为：因为影响的因素太多，太复杂，我们目前的测量、计算等精确度还远远达不到足够精确控制的程度，所以我们不能预测每一次抛硬币的结果，或者说是由上天决定的。

未来，如果我们能将作用于硬币的所有因素（包括作用于硬币的空气分子动量、光子辐照、硬币内原子缺陷运动、硬币的热辐射等）全部十分精确计入，对相应的牛顿方程进行超大规模计算，完全可以理论算出或理论预言每一次硬币落地后是正面还是反面朝上，此时概率论便转化为决定论了。即我们常说的“偶然性背后有必然性支配”！

（2）概率论描述是本质的：不管我们今后如何掌握所有动力学原理，我们永远不可能穷尽宇宙间一切动力学因素，不可能将研究方法的逻辑漏洞趋于零，概率论描述是本质的，永远不可能被决定论描述所替代！

在上述抛硬币的实验中，大量影响硬币落地结果的因素具有随机性，不可能穷尽和精确，根据统计原理，我们只可获得每次硬币落地时出现正反面的概率各为 50%。

（3）在决定论系统中，由于非线性效应，在一定条件下可导致概率论行为，称之为混沌（Chaos），它既不完全确定，也不完全随机，而是介于二者之间。例如，大气运动规律由偏微分方程组（Lorenz 方程组）决定论描述，但在一定参量条件下其结果可表现出概率论行为，因果关系极其敏感。因此，长期天气预报只能是概率论描述，而不可能是决定论描述。由此可见，决定论和概率论两种描述是对立统一的。

4. 量子力学中统计概率论

二十世纪二十年代，作为微观世界相对真理的量子力学诞生，这是人类科学史上的一次革命，也是哲学史上的一次革命。量子力学的基础是所谓的“微观粒子波粒二象性假说”：任何微观粒子既是一种粒子，又是一种波动。而这种波动被称为“物质波”（或德布罗意波）：微观粒子在空间某时某处以一定的概率出现，具有所谓的“自干涉”特征。根据量子力学物质波的思想，微观粒子没有确定的空间位置和运动轨迹，从宏观角度“观察到”的微观粒子的位置和运动轨迹其实是对其在全空间不同位置存在概率的统计平均值，即在没有测量时，它以一定的概率出现在空间各处，一

旦测量，便得到该粒子在空间各处的统计平均值，这便是量子力学中特有的“统计概率论”。

那么，某时刻某微观粒子究竟在空间的哪一点？它又是如何从一处运动到另一处的？其实，量子力学不回答也没有这样的问题，因为描述物质波无须采用“轨道”，而只采用概率，量子力学可给出微观粒子在任何时空出现的概率精确值，由此便可求得其余参量（如能量、动量等）精确的确定值。

上面曾经提到是否有可能精确预言硬币落地时的正反面，而这里所说的统计概率论与此有本质区别：例如氢原子由一颗电子和一颗质子（核）组成，电子在质子周围空间以概率形式出现，某时刻它的空间位置是本征的不确定，也没有运动“轨道”，与测量设备的先进程度无关，也与测量者的实验技术水平高低无关；一颗电子可以同时在不同空间具有一定的出现概率，也可以同时“通过”相互平行且相距很近的两条狭缝（双缝）等。所有这些“分身术”均是微观粒子的真实内在属性，是“微观粒子波粒二象性”的必然结果，不可能用任何精确计算或精确测量加以避免。

由于微观粒子不是以“轨道”形式运动，而是同时在不同空间具有一定的出现概率，故量子力学中有所谓的统计因果律：微观粒子的单次运动不受因果律支配；但大量粒子运动的统计平均或单颗粒子多次运动的统计平均符合因果律。

关于上述统计因果律可做一个类比：当我们观看篮球比赛时，运动员 A 将篮球传递给运动员 B，运动员 B 再将篮球传递给运动员 C，……整场比赛的所有原因和结果均是清晰的，因为在比赛过程中篮球在空中随时间运动的轨道是可以看见和记录的。假如篮球在空间的运动符合物质波特征，即没有可见轨道，篮球可以同时以一定概率出现在每一位运动员手中，那么整场比赛中的任何动作之间均没有因果律可言了。

综上所述，微观世界中的物质波远比我们熟知的经典波动（如水波、声波等）要复杂而深刻，统计概率论与上面所说的决定论和（经典）概率论有

本质的区别，其特殊的哲学思想也向我们展示了统计概率论的神奇魅力！至于对统计概率论根源的看法目前还有分歧，主要有两种看法：

（1）因为我们目前还没完全掌握微观世界的各种规律，没有完全知晓微观粒子运动和转化的各方面根源及机理，计算手段还不够强大，计算及测量结果不够精确，将来科学发展了，统计概率论应该可以转化为决定论。

（2）世界的本源是概率的，决定论只是统计概率论的统计平均而已。

从目前情况看，此两种说法也各持理由，对实用科学研究也无实质性影响。不过，从现代科学发展的成果看，后者正确的概率似乎更大一些。

第十九则　线性与非线性思维

所谓线性系统是指输入和输出成正比的系统，如果输入和输出不成正比，则被称为非线性系统。从这个定义讲，线性系统是非线性系统的特殊情况，非线性系统更具有普遍性。

采用数学语言，如果因变量 y 是自变量 x 的函数，它们之间满足一次函数关系，即 $y = ax+b$，其中 a 和 b 为两个常数，这样的两个变量之间的关系就是“线性关系”，如下图 4—3 所示，是一条直线；如果不是一次函数关系，下图中便不是直线，而是“非线性关系”。

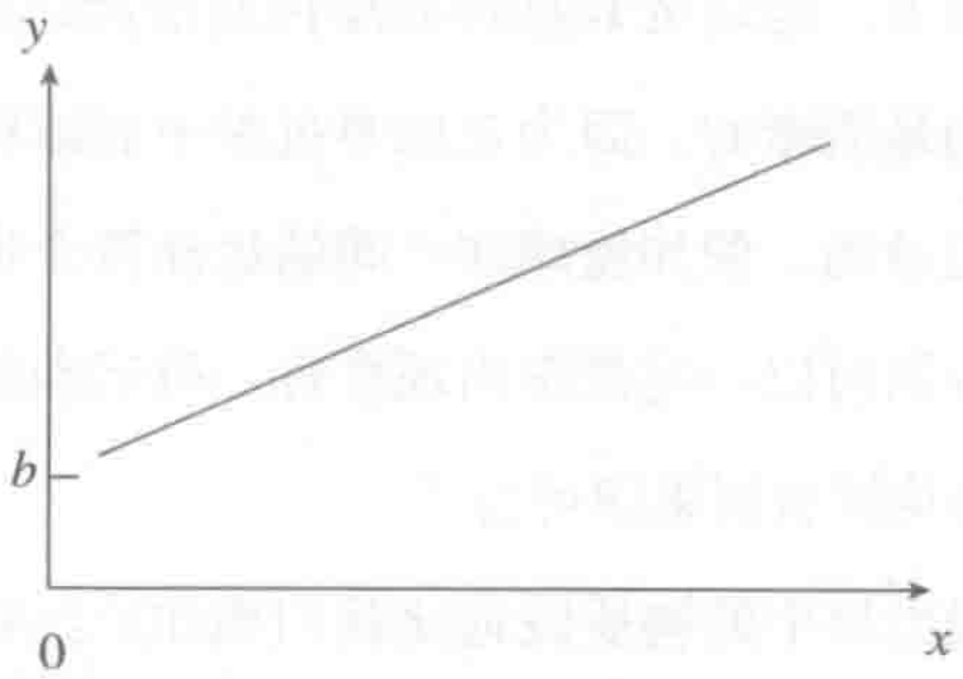

图 4—3　在函数 $y = ax+b$ 中，因变量 y 和自变量 x 之间为线性关系

从直观角度看，如果因变量 y 随自变量 x 变化而变化，“线性关系”意味着增量 Δy 是增量 Δx 的 a 倍，即 $\Delta y = a\Delta x$，只要增量 Δx 相等，增量 Δy 也相等。

当弹簧伸长较小时，其恢复力 F 与伸长位移 x 的关系近似满足 $F = kx$，其中 k 为常数，这便是著名的胡克定律，是典型的线性关系。

单摆的受力 F 与摆动角 θ 之间满足 $F = k\sin(\theta)$，k 为常数，显然这不是线性关系。但是当 θ 很小时，根据微分原理，正弦 $\sin(\theta) \approx \theta$，于是 $F \approx k\theta$，即 F 和 θ 近似呈线性关系，于是才有线性微分方程（2—1）式成立（见第二章）。

假设因变量 y 是自变量 x 的函数，即 $y = f(x)$。对于连续函数 f 且存在任意阶导数，不管它的形式如何复杂，在数学上总是可以将其在 x_0 附近展开成无穷泰勒级数：$y = a_0 + a_1(x - x_0) + a_2(x - x_0)^2 + a_3(x - x_0)^3 + \cdots$，其中 x_0、a_0、a_1、a_2、a_3…均为常数。当 x 很接近 x_0 时，$(x - x_0)$ 的高次方项可被忽略，于是得近似线性函数 $y \approx a_0 + a_1(x - x_0)$。此式的意思是说：线性与非线性是相对的，对于上述非线性系统，只要尺度足够小，我们便可认为是近似的线性系统。

例如由于强大的引力场，太阳附近的空间是严重弯曲的，非线性的。但是只要我们所选取的空间足够小，我们完全可以认为该足够小的空间是线性的。犹如一条曲线，任意连续弯曲，只要我们选取足够小一段，便可以近似认为是直线。

从上述诸多例子可见：如果适当近似简化，系统便可近似看成线性系统，如图 4—3 所示；但如果不做任何近似，则为非线性系统。应该指出：随着科学技术的不断发展，实验测量越来越精确，计算速度越来越快，所能计入的因素越来越多，越来越复杂，最终获得结果当然也就越来越精确。从严格意义上讲，只要我们的研究足够精确，一切系统均为非线性系统。

在自然科学领域，非线性现象十分普遍，如气象预报、湍流问题、昆虫繁殖速度、高速运动过程中的空气阻力、量子力学中的多体问题等均为

典型的非线性系统。此外，在日常生活和社会活动中，非线性例子也是举不胜举：

如果买一个苹果是一元钱，买两个苹果是两元钱，…… 买十个苹果是十元钱……这就是线性关系；相反，若买一个苹果是一元钱，买十个苹果是八元钱，则就是非线性关系。

某科学工作者今天工作八小时，明天工作八小时，其效果并不等于他今天工作十六小时，明天休息一天。

一位科学工作者科研两天并不等于两位科学工作者工作一天。

如果你今天锻炼一小时，明天锻炼一小时，其效果并不等于你一天休息，另一天锻炼两小时。为此医生一般建议锻炼身体要持之以恒，细水长流。

【例】课时的非线性叠加

同学：不少同学中秋假期要回家，假期前一天晚上我们班的两节《国史概要》课是否可以暂时不上？假期结束后我们可以连续上四节《国史概要》课。

教授：不可。

同学：为何？

教授：首先，违反学校规定；其次，违反教育规律，就教学效果而言，$2+2 \neq 4$，那是非线性叠加！

线性是相对的，非线性是绝对的！线性意味着系统的简单性；而世界上的万事万物是联系的，这种联系一般是复杂的，是非线性的。只有在某些特殊条件下，才可能近似认为是线性的，所以“线性”只是“非线性”的特殊情况。

【例】人间万事，若要追求卓越，所付出的努力是非线性剧增的，如图 4—4 所示：从 70 分增至 80 分，从 80 分增至 90 分，同是增加 10 分，但所付出的努力是完全不同的，即 $\Delta b >> \Delta a$；若要达到完美的极限 100 分，则需终生极限努力！可将此非线性范式应用于如下两个具体事例：

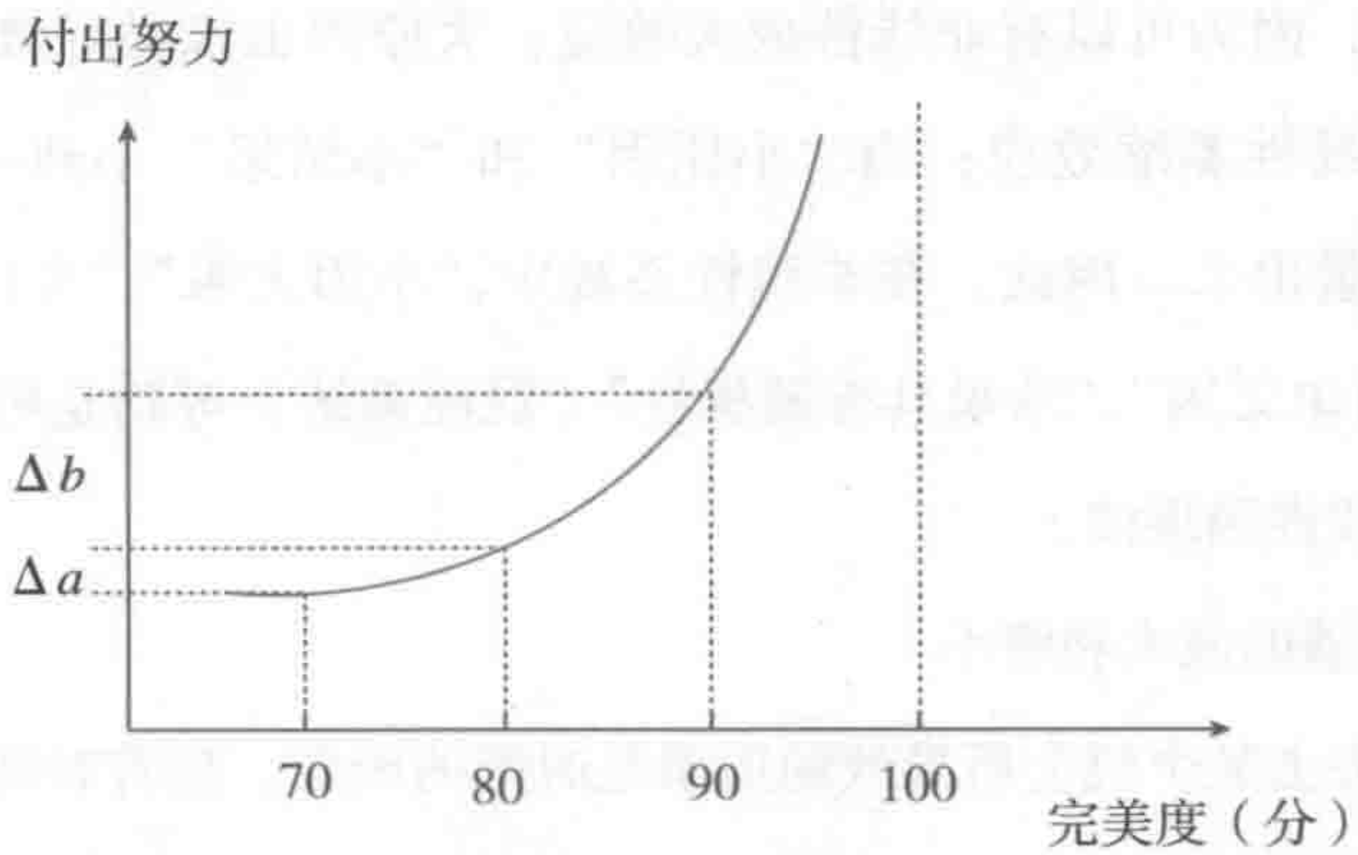

图 4—4　在逼近完美度 100 分的过程中，所需付出努力呈非线性剧增：$\Delta b >> \Delta a$

（1）若要参加多门课程的考试，最后取总分决定成败（如报考大学，研究生入学考试等），同学们不能太偏课，应该努力使每一门课程的考分不低于 70 至 80 分，从而使总分趋向极大值，方能事半功倍，最后取胜。

由此得均衡极大范式：设某项工作由诸多部分组成，需要在一定时间内完成。假如评价该工作每一组成部分的分数权重相等或基本相等，最后由总分高低评价完成该工作的优秀程度。那么，完成者应该努力使每一部分工作得分比较均衡，同样的努力便可使总分达到或接近极大值，从而获得事半功倍的工作绩效。

（2）对于正在拼搏创业的青年朋友而言，如果一生所做事情太多，能量分散，必然平庸。建议聚焦毕生能量做一件或几件事情，使其十分接近完美度 100 分，后人不可超越。无数平庸不如一事卓越！

【例】当你没有成功时，感觉成功距离你十分遥远；当你一旦成功之后，你会觉得“成功没有想象的那么难”，因为你原来的想象是线性思维，而实际发生在你身边的是非线性加速。因此，顺利时，要警觉不会连续线性顺利下去；逆境时，要设法尽快非线性扭转至顺利状态。

与线性系统相比，非线性系统更复杂，内容更丰富。非线性系统的重要特征是输入和输出之间不成比例，输出值可以对输入值的变化极其敏感或者“麻木不仁”：“小”并不等于次要，“大”也并不等于主要；小原因未必

导致小结果，因为可以有非线性放大效应；大原因也未必导致大结果，因为可以有非线性萎缩效应；当“小原因”和“小结果”小到一定程度时，未必能被测量出来。因此，在非线性系统中，“小因大果”、“大因小果”、“有因无果”、“有果无因”、“结果具有随机性”（混沌系统）等均是可能的，这便是所谓的非线性因果律。

【例】机遇的放大和缩小

抓住或失去某个机会所导致的后果是时间的函数。随着时间的进展，有时候抓住一个机会，永远是一个机会；有时候抓住一个机会可因此得到接下来的一连串机会；有时候抓住一个机会就赢得了未来！同理，随着时间的进展，有时候失去一个机会，即永远失去这一个机会；有时候失去一个机会可因此失去接下来的一连串机会；有时候失去一个机会便失去了永远！这是一个典型的非线性放大效应的范式，由此可见：某个机会对一个人或一个团体未来正面或负面的影响可随时间而放大，在很多情况下，我们很难精确判断某个机会的真正价值或意义。故有“机不可失，时不再来”的说法。

【例】小延误的后果

如果某人从时间 t_0 开始做某项工作，圆满完成该工作所需总时间为 T。由于一个很小的失误，延迟时间 Δt，即从时间 $t_0+\Delta t$ 开始做该工作，于是他完成该工作所需总时间为 T'。

在线性情况下，$T'=T$。此类情况一般是该工作在完成过程中不受他人或外界变化影响，自身条件也无明显变化，只要自己合理安排时间，推迟时间 Δt 开始工作，推迟同样时间 Δt 完成工作。

在非线性情况下，$T'\neq T$。假如完成此项工作要受外界限制或与外界协作，由于开始时间被延迟 Δt，外界情况变化对该项工作进展的相互匹配发生了改变，于是，该工作的每一步进展并不是线性延迟，而很可能产生强烈的非线性效应：

（1）$T'\leqslant T$，即由于失误而延迟开始工作，反而导致提前或仍然按时完

成该项工作。此类情况被认为“好运气”，在民间有非常生动的谚语描述，例如“迟到和尚喝稠粥”、“勤劳人反被懒惰人笑”等。

（2）$T' > T$，即由此很小失误，延迟了开始工作的时间，将导致较大损失，或需要花费很大代价才能弥补，尽管 Δt 很小。

（3）$T' \to \infty$，即由此很小失误，延迟了开始工作的时间，他将永远无法完成该项工作，永远失去此次机会，尽管 Δt 很小。

上述非线性范式所代表的事例很多。以在互联网上递交申请表格为例，设递交申请表格的截止时间为 t_0。由于一个很小的失误，某人在时间 $t_0 + \Delta t$ 递交表格，延迟时间 Δt：也许没有关系，他递交成功，并最终获得批准；也许已经无法递交，他将永远失去此次宝贵而重要的机会，尽管 Δt 很小。此外，像危重病人急救、交通事故处置、商业竞争、自然灾害降临、两军交战等，某举措延迟时间 Δt，也许就事关生死存亡了。

总而言之，Δt 也许是一个很小的原因，但由此引起的后果可能十分巨大，这是一个典型的“蝴蝶效应”例子。（见第一章第二则）

【例】多因素叠加，容易导致“蝴蝶效应”

同学：在校运动会的乒乓球比赛中，A 同学胜 B 同学，B 同学胜 C 同学，但最后 C 同学又胜 A 同学，出乎预料！

教授：类似现象甚多，不足为奇。数学关系式“A > B，B > C，则 A > C”并不一定成立！

同学：为什么？

教授：在此种情况下，决定胜败的因素很多，如比赛时运动员的身体因素、心理因素、双方各种技术强弱的对称性因素等。根据非线性因果律，只要原因是由诸多不确定因素组成，则各种结果均有可能，不可精确预测，此“蝴蝶效应”之谓也。

由于非线性效应，从“原因大小”未必能够判断“结果轻重”。由此，力求“精确定量”与采纳“定性描述”、强调“细节决定成败”与“抓主要

矛盾”、提倡“全面看问题”与“突出重点”等思维方式均有道理，只是适用场合不同而已。

第二十则　时空对称与守恒律

1. 时空定义

空间是物质及其运动的广延性参量，具有三维性；时间是物质及其运动的持续性参量，具有一维性和不可逆性；时间和空间与物质运动不可分离。物质是关于质量能量总和的参量。

在经典物理学中有所谓的“绝对时空观”：一维时间与三维空间之间没有关联，相互独立；一维时间和三维空间与周围物质分布及相对速度也没有关联，绝对独立；三维空间绝对均匀延伸；一维时间绝对恒速流逝。

在相对论中有所谓的“四维相对时空观”：从物理和数学角度而言，时间和空间均具有同等地位；空间大小是相对的，时间流逝快慢也是相对的，时间和空间是联系的，与周围物质分布有关，与物质运动的相对速度有关；由于物质运动和分布，时空是弯曲的，不均匀的。应该指出：四维相对时空观的精确度远远超过经典物理学中绝对时空观的精确度。

在自然科学领域，往往把空间维度理解为独立变量，如果某系统有 N 个正交独立变量，则可理解为 N 维空间。当 N=3 或 N=4 时，此定义与上述绝对时空观和四维相对时空观相一致；在统计物理学中，经常将三维坐标空间与三维动量空间合在一起，组成六维空间，或称六维相空间；量子力学中采用所谓的主量子数（n）、角量子数（l）、磁量子数（m_l）和电子自旋磁量子数（m_s）完备描述原子中的电子运动，也称四维（不连续）空间……我们可以将这样定义的空间看成是一种数学表述，不过实际上，它们是具有深刻科

学含义的。

如果某空间的属性在标度（或量尺的长度）变化时具有自相似或自相像结构（如云彩、曲折的海岸线、动物体内的毛细血管丛等），可称之为分数维空间，它们具有许多独特的空间属性。例如当我们用直尺度量曲折海岸线的长度时，由于海岸线是弯曲的，因此直尺度量出的结果并不精确，测量值一般小于实际值；直尺的长度越小，测量所获得的值越长，越趋向实际值。此类具有分数维度的系统在非线性科学领域中比较常见。

2. 时空对称性

空间对称性是指一个物体或图形在某种变换（如球体绕其直径旋转、物体绕其质心转动、物体对于某一镜面反演等）下，其自身形状保持不变的现象。

例如：一个篮球绕其直径旋转或绕其圆心转动，不管转多少角度，其形状保持不变；或曰：不管我们从哪个角度看，篮球的形状均是一样的。

又如：晶体中的原子是按某一规律周期性排列的。假设沿 x 轴方向的周期为 a，如果将该晶体沿 x 轴正方向或负方向平移距离 na（n 为整数），则整个晶体中的原子是重叠的，保持不变。对于宏观大小的晶体，由于原子在任何方向的排列数目甚多（约 10^{23} 数量级），一般不必计其边缘效应。

在科学领域，时空对称性意味着科学定律在某种时空变换下保持不变。科学定律的时空对称性还与其守恒律相对应。例如空间平移对称对应动量守恒，时间平移对称对应能量守恒，空间旋转对称对应角动量守恒，空间反演对称对应宇称（parity）守恒，等等。

对称性对应守恒律的思想最早由德国数学家艾米·诺特（A. E. Noether）在 1918 年提出，称之为诺特定理（Noether theorem）。如今，这一思想已经成为科学探索的一种思维范式，对称性的含义也远远超出了时空对称性的范畴，通常将“对称性”定义为在某种数学对称操作下的不变性。例如：“在惯性参考系变换操作下，物理规律保持不变”，即为狭义相对论中的狭义相对性原理；

推而广之，“在任意参考系变换操作下，物理规律保持不变”，即为广义相对论中的广义相对性原理。

3. 时空对称性与守恒律

在牛顿的绝对时空观基础上，建立了庞大的经典力学体系，取得巨大成功。从理论上可以证明：时空的诸多性质往往与各种守恒律相关联。由于绝对时空观是相对真理，故经典力学及其中的各种守恒律也只是相对精确。

（1）科学研究发现：著名的动量守恒定律与惯性参照系的空间对称性（或均匀性）有关，它可由空间平移不变性直接推得。如图 4—5 所示，t 为时间坐标，x 为空间坐标，在 x_1 与 x_2 处有两个空间 S 和 S'。假设空间具有均匀属性，于是 S 和 S' 应该是完全等价的。也就是说，当我们将空间坐标 $x=x_1$ 移至 $x=x_2=x_1+a$ 之后，一切自然规律不应该有任何变化。这种空间平移不变性便是导致动量守恒的根本原因。

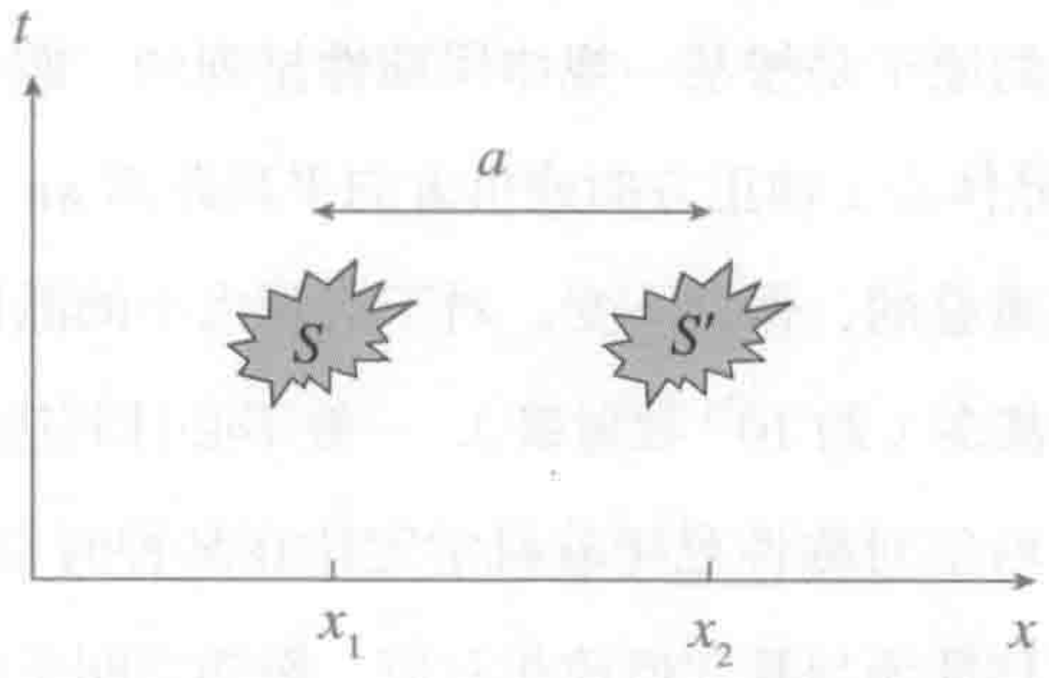

图 4—5　空间平移不变性示意图

假如空间平移不变性具有绝对精确的意义，那么我们可以做如下推论：从地球出发，向某方向的宇宙深处平移若干距离，由于那里的空间与地球周围空间的任何属性均完全一样，根据相对论原理，那里的物质分布及相对运动速度等也应该完全相同，于是在那里也应该有一个地球。如此类推，宇宙中应该还有无数个地球，这些地球上也应该有人类，也应该有中国，也应该有浙江大学……这样一个大胆推理所获得的结果当然令人难以置信。事实上，

根据现代宇宙学原理，宇宙在空间上的有限性和物质分布的不均匀性使宇宙空间是弯曲的，不可能处处均匀等价，从而上述空间平移不变性以及经典力学中的动量守恒定律应该具有相对的意义。

（2）从本质上讲，宇宙中存在能量守恒的起因是时间对称性（或均匀性），即能量守恒定律可由时间平移不变性直接推得。如图 4—6 所示，由于时间流逝的均匀性，在 t_1 和 t_2 处的两个时间间隔 T 和 T' 是完全等价的，也就是说，当我们将时间坐标从 $t = t_1$ 移至 $t = t_2 = t_1 + \Delta t$ 之后，一切自然规律不应该有任何变化。这便是导致能量守恒的根本原因。另一方面，由于“时间平移不变性”应该是一个相对的概念，因此，能量守恒也不可能是绝对的。

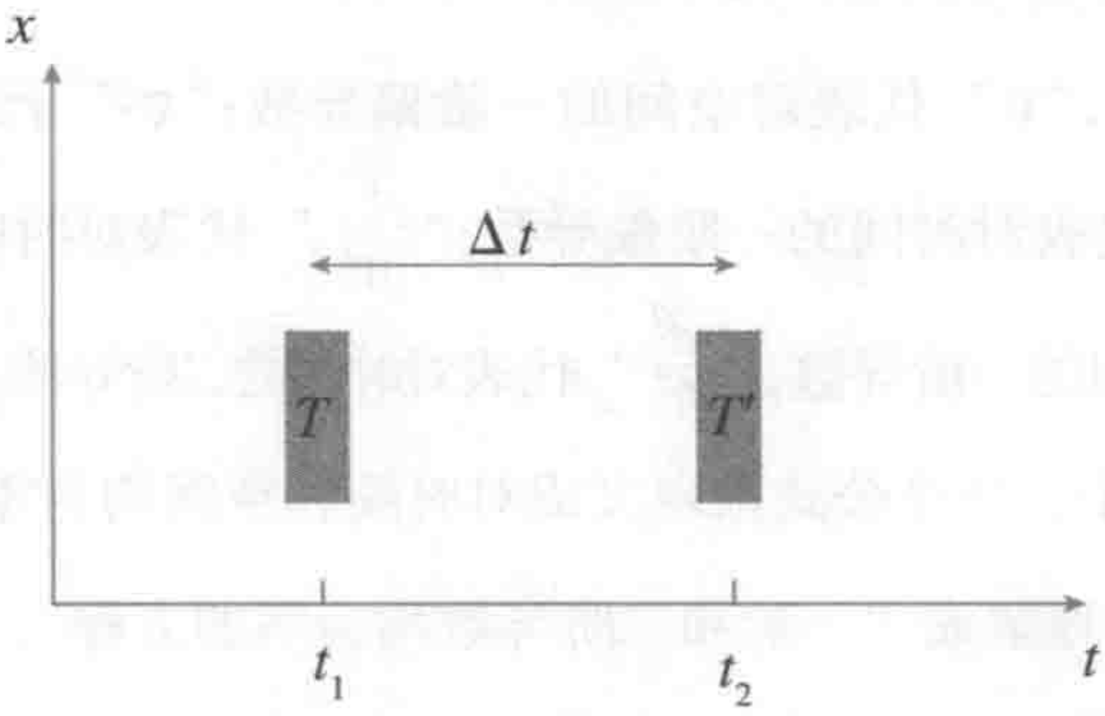

图 4—6　时间平移不变性示意图

假如上述时间平移不变性具有绝对精确的意义，那么我们可以推论：从现在某时刻 t 出发，向后或向前平移某时间间隔 Δt，由于那时的时间与现在的时间的各种性质完全一样，根据相对论原理，那时的物质分布及相对运动速度等也应该完全相同，因此在地球诞生之前或将来地球毁灭之后，宇宙中还会一次又一次地重复出现完全一样的地球，且重复次数为无穷大，在这些地球上也应该有人类，也应该有中国，也应该有浙江大学……如果这一推论正确，则“二十年后又是一条好汉”的豪言便可得到证实，人们也无须为不能“返老还童”而忧愁。然而，上述推论虽然无限诱人但毕竟不是事实。由于宇宙在时间上的有限性以及时空弯曲和相对性，宇宙中时间平移不变性以

及经典力学中的能量守恒定律均具有相对的意义。

上述结论不足为奇，在第一章的叙述中，我们曾提到微观世界的能量和动量守恒律是相对的，是可以被打破的，即（1—1）式。

4. 偏微分方程中的时空对称性

宇宙客观真理一般由偏微分方程描述，而且对时间和空间的导数一般仅为一阶或二阶，具有时空对称特征。在表 4—1 中，我们将物理学领域中主要的偏微分方程归纳排列，其中横向坐标表示对空间的零阶、一阶和二阶导数；纵向坐标表示对时间的零阶、一阶和二阶导数。在横向和纵向坐标所对应的各个方框中，给出具有相应时空导数的微分方程。

在表 4—1 中，“∇”代表对空间的一阶偏导数；“∇^2”代表对空间的二阶偏导数；“$\frac{\partial}{\partial t}$”代表对时间的一阶偏导数；“$\frac{\partial^2}{\partial t^2}$”代表对时间的二阶偏导数；“$\frac{d}{dt}$”代表对时间的一阶导数；“$\frac{d^2}{dt^2}$”代表对时间的二阶导数。此外，在表 4—1 中的左上角方框中，三个公式被定义成对时间和空间均为零阶导数的“特殊偏微分方程”，或理解成“一阶和二阶导数均为零的方程”，可将其视为一种数学表示形式，但事实上如此表述是有科学依据的（见本章第十四则）。

仔细阅读表 4—1，有诸多令人费解的问题，或者说可得到某些暗示：

（1）如果将所有微分方程看成一个整体，它们对时空导数是对称的。即有对时间二阶导数、对空间零阶导数的方程（左下角的牛顿方程），也有对空间二阶导数、对时间零阶导数的方程（右上角的定态薛定谔方程）；有对时间一阶导数、对空间二阶导数的方程（薛定谔方程），也有对时间二阶导数、对空间一阶导数的方程（静电场中带电粒子所满足的牛顿方程）；等等。我们看到：在已经发现的微分方程大家庭中，时空对称性是客观存在的，那么它究竟告知我们有关宇宙客观真理什么样的奥秘呢？对人类未来的科学探索是否存在某种启示呢？

表 4—1　物理学偏微分方程中的时空对称性

物理方程 / 空间导数 / 时间导数	对空间零阶导数	对空间一阶导数	对空间二阶导数
对时间零阶导数	质能关系式：$E=mc^2$ 德布罗意公式：$\lambda=\frac{\hbar}{p}$ 万有引力公式：$F=G\frac{mM}{r^2}$	库仑定律：$\nabla\cdot E=\frac{\rho}{\varepsilon_0}$ 高斯磁定律：$\nabla\cdot B=0$	定态薛定谔方程：$[-\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2+V(r)]\psi(r)=E\psi(r)$
对时间一阶导数	牛顿方程（动量定理）：$\frac{dp}{dt}=F(r,t)$	狄拉克方程：$i\hbar\frac{\partial}{\partial r}\psi(r,t)=[-i\hbar ca\cdot\frac{\partial}{\partial r}+mc^2\beta]\psi(r,t)$ 电磁感应定律：$\nabla\times E=-\frac{\partial B}{\partial t}$ 麦克斯韦－安培定律：$\nabla\times B=\mu_0 J+\mu_0\varepsilon_0\frac{\partial E}{\partial t}$	薛定谔方程：$i\hbar\frac{\partial}{\partial t}\psi(r,t)=[-\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2+V(r)]\psi(r,t)$
对时间二阶导数	牛顿方程：$m\frac{d^2r}{dt^2}=F(r,t)$	静电场中带电粒子满足的牛顿方程：$m\frac{d^2r}{dt^2}=-q\nabla\phi$	克莱因－戈登方程：$-\hbar^2\frac{\partial^2}{\partial t^2}\psi(r,t)=[-\hbar^2c^2\nabla^2+m^2c^4]\psi(r,t)$ 爱因斯坦场方程：$G_{\mu\nu}=R_{\mu\nu}-\frac{1}{2}g_{\mu\nu}R=-KT_{\mu\nu}$

（2）在表 4—1 中，所有方程只出现对时间和空间坐标的零阶、一阶或二阶导数。在现代工程技术领域已经发现了诸多内含三阶或更高阶导数的微分方程，那么为什么不能由三阶或更高阶导数所组成的方程来描述宇宙客观真理呢？含有更高阶导数的宇宙客观真理是否真实存在呢？迄今为止，我们所依据的大前提是“宇宙客观真理应该是简洁的”，但这只是一个永远无法严

格证明的大前提。

（3）在表 4—1 中，每一个方框均已被填充，也就是说，对于时空的零阶、一阶和二阶偏导数的不同组合，表中所有九个方框已经被穷尽，均由各自的代表性方程所填充。那么，宇宙客观真理是否已被穷尽呢？回答当然是否定的！我们不能忘记：迄今为止人类所获得的所有客观真理均为相对真理。随着科学探索的不断深入，研究领域不断扩大，实验环境不断创新，所有微分方程的局限性将会被逐个揭示，然后诞生更加精确、适应性更广的线性或非线性偏微分方程，它们也许能被填写到表 4—1 中某一个方框内，也许不能！

宇宙的浩瀚与美妙是无穷的，远远超出我们的想象。未来科学家一定会发现更多更美的描述宇宙客观真理的偏微分方程，充实和丰富表 4—1。

5. 时空标度

当空间尺度变化时，所发生的很多情况与我们平时司空见惯的印象不同了。其实空间并不像我们习惯那样均匀和线性，它可直可曲、可密可疏。当我们用不同长度的尺（即不同空间分辨率）去看待世界时，所看到的世界是很不一样的。例如：如果放大倍数足够大，所有物质均为不连续；只要将空间尺度不断放大，任何弯曲的空间便是直的，线性的。

同理，当我们采用不同时间尺度（即不同时间分辨率）去观察世界时，所看到的世界也很不一样。例如只要测量（拍摄）速度足够快，世界上的一切将变为静止；只要时间尺度足够大，世界上发生的一切事件将是瞬间脉冲，并快速趋向零；只要时间尺度足够精细，一切“质变”将变成“量变”或“不变”！

因此，当我们描述时空均匀性问题时，不能忽略度量时空的标度，即不能忽略所讨论问题的时空跨度。在本章开始的第十四则中我们曾经提到：宇宙中的客观规律（或真理）一般由偏微分方程所描述，这些方程十分简洁，其中仅包含一阶或二阶偏导数，且大多为线性方程。那么哪些方程是非线性方程呢？

广义相对论中的爱因斯坦场方程就是一例，该方程所要解决的问题是宇宙间引力、时空和物质运动的演化规律，其空间跨度起码是恒星系直径数量级或宇观尺度，在这样的空间跨度内，时空、质能分布等均为非线性。于是，采用非线性方程，求解非线性问题，获得非线性结论，自然合乎一般逻辑。

第五章　客观真理与主观心理

很久以前，生活在北美的印第安人制备一种精美的传统手工艺品，名曰“捕梦网”，如图 5—1 所示。传说它可以帮助人们消除噩梦，实现美梦，故印第安人将其挂在小孩床头，期盼孩子们不做噩梦，美梦成真。



图 5—1　北美印第安人发明的“捕梦网”

睡眠的香甜程度取决于小孩的身体素质，应该与健康管理学、生理学、神经科学等学科有关，而“捕梦网”的功效显然属于心理暗示，它可在一定程度上有效改善儿童的睡眠状况。可以想象：早期生活在北美的印第安人应

该没有正规研究心理学的历史，也不太可能知道自然科学与心理学之间的关联。不过，品味“捕梦网”的设计思想足见印第安人的高度智慧。

心理学是研究人（或动物）的心理活动及现象发生、发展规律的一门科学，但它有别于纯自然科学。人的心理活动是主观对客观物质世界的反映，一般具有主观性，它经历一个发生、发展和消失的过程，由各种感官认识外部世界事物及规律，通过大脑活动思考事物的因果关系，并伴随着喜、怒、哀、乐等情感体验。

本书前面几章已详细阐述了自然规律的客观性，体现在自然规律可被客观、精确定量、任意可重复的自然属性之中。当然，所谓的“精确”和“可重复”应该具有相对的意义。当具有主观意识的人试图认识客观规律时，主观与客观必然要发生相互作用，心理活动可导致相关科学问题变得随机或不确定。由于此类问题同时牵涉多门学科，综合交叉及整体研究才有可能理解它们微妙叠加后丰富多彩的效果。

第二十一则　心诚则灵

心理因素对某些科学结论有明显影响，尤其在药学、医学、生命科学等领域，主观对客观产生明显的反作用。例如药物使用的有效率对不同病人具有不确定性，即所谓的“个体差异”。现代医学证明：病人患病吃药，他对该药疗效的信任度可明显影响用药的有效率。一般而言，信任度越高，有效率增加，对不同病人有效率的涨落也有所增加，如图 5—2 所示。其原因是当病人十分相信此药时，他便会积极配合医生治疗，心态显得放松和充满希望，心情好转，食欲增加，睡眠质量提升，从而可导致病人免疫力上升，使用药有效率增加；用药有效率增加的百分比当然是因人、因药、因病情而异，一般可明显高于平均有效率 a_0 值，效果相当可观！

现代医学证明：愉悦超脱的心情对许多病情（如癌症扩散、人体衰老、抑郁症等）的治疗及病人康复十分有益，有时甚至可产生奇迹，所谓的“笑一笑，少一少”就是这个道理。

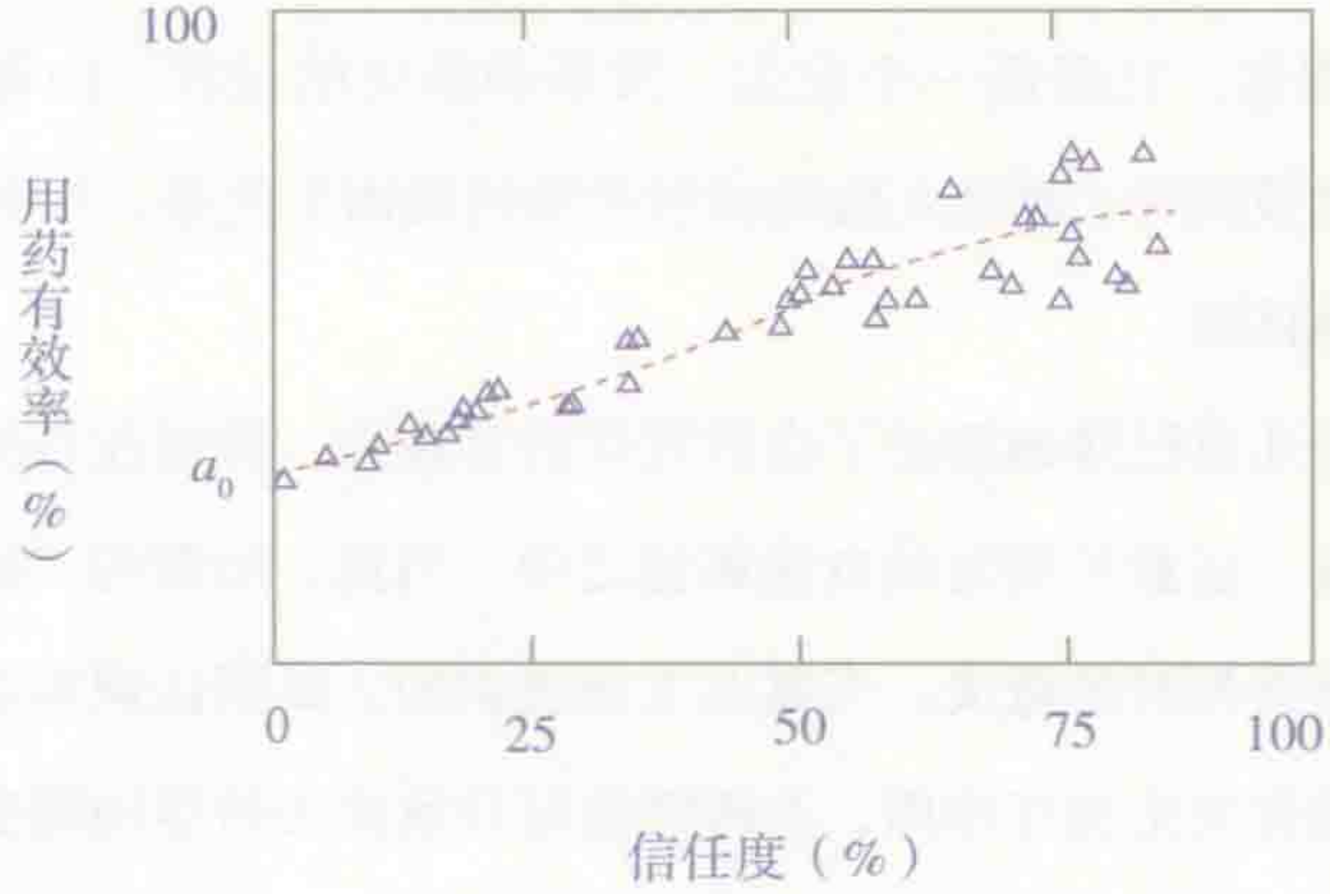

图 5—2　用药有效率随病人对用药信任度的变化曲线

古老的中医学最早知道并使用上述原理，将药物治疗与心理优化及治疗相结合。中医学强调以健康的生活态度和方式“治未病”，如图 1—1 所示；中医学坚持“医者意也”，医生先要全面“观病之人”，而后仔细“察人之病”，即通过所谓的“望、闻、问、切”实际察看病人的精神状况，仔细诊断病人的病情，然后方可得出正确判断。

现代女士们的高档化妆品十分昂贵。当经过长期积蓄，高价购买世界顶级品牌的化妆品，按照使用方法，认真仔细地涂在自己脸上，心理十分满足，出门上班时处处自信心倍增，活泼开朗，由此对提高美貌程度的贡献也许大大超过化妆品本身的功效。

【例】传说有这么一个故事：在病房里，病人狂叫很痛很不舒服，医生检查后安慰说，问题不大，只要打一针，马上就会好的。于是医生让护士给这位病人打了一针。过了几分钟，那病人真的感觉好多了，病人及其家属称赞这一针的高明疗效。其实这位医生让护士给那位病人打了两毫升蒸馏水。

在第三章中我们曾经讲过：由于自然科学结果是客观的，自然科学从来谢绝类似“信则灵，不信则不灵”等说法。在现实社会中，人们也常常对此投以简单否定或怀疑的目光，认为它们属于唯心主义言论，带有强烈的宗教、迷信色彩，不符合科学上要求的“客观、精确定量、任意可重复”原则。

事实恰恰相反，此类言语有时是很有科学道理的。要特别注意有些问题并不是一个纯粹的自然科学问题，而是一个自然科学和心理学相互叠加的交叉问题。凡是涉及主观与客观之间具有相互作用的交叉科学问题，主观对客观的反作用是必须要考虑的。“信则灵，不信则不灵”在一定程度上是有效的，上述几个例子充分说明了这一点。不过，由于人的心理和生理因素十分复杂，个体差异一定存在。“信”到什么程度才会“灵”到什么程度？其间的函数关系因人的心理成熟程度而异，还与人的身体状况、周围环境以及时代背景等相关联，这是一个无法直接表述的特殊函数关系！

“心诚则灵”也是同理。医生“心诚”，表现出乐观、自信、一丝不苟，熟练采用最佳治疗方案，使病人信心增加，心情好转，免疫力提高，积极配合治疗，提高治疗的有效率和治愈率。科学家及团队“心诚”，他们坚信研究方向的正确性，不畏艰难，团结协作，充分发挥集体的智慧，以顽强的毅力尝试再尝试，最后赢得成功。相反，如果科学家的心还不够“诚”或“三心二意”，遇到困难或挫折简单放弃，很可能痛失良机。

“心想事成”是另一个类似例子：“心想”即愿望，强烈愿望驱使人深入思考，长期深入思考可大大增加触发智慧灵感的可能性，创新火花由此产生；此外，当一个人十分渴望成就某事，他便会抓住一切机遇，勇于尝试，敢冒风险，决不放弃，尽到极限努力，其自身各种潜能可得到很大程度的发挥，于是成功概率便会大大增加，如图 5—3 所示。由此可见，我们平时所讲的“心想事成”并不是一种简单的鼓励或恭维，而是真有其科学依据的。

应该指出：在图 5—3 中，当愿望强度等于 0 时，成功概率趋向 $x_0 \neq 0$，即“无心插柳柳成荫”的可能性也是客观存在的，只是概率较小而已。

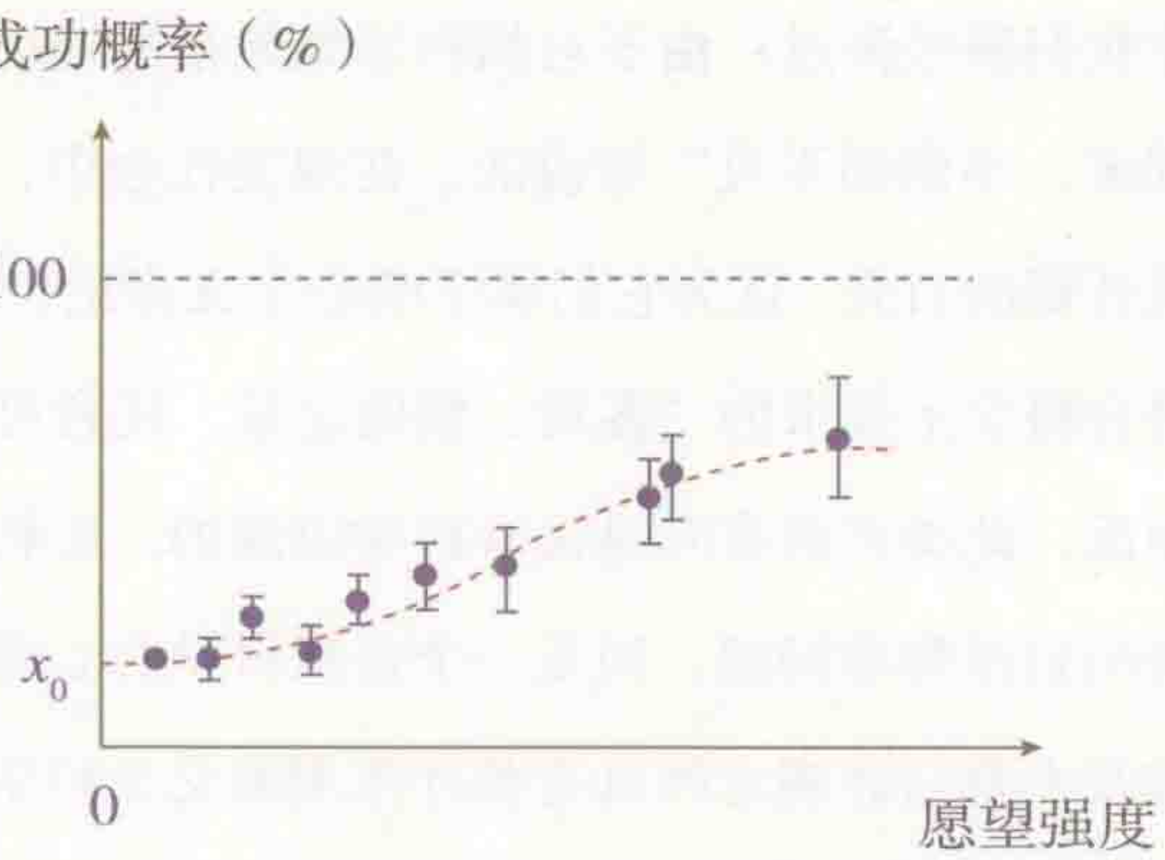

图 5—3　“心想事成”曲线

“心想”还与“梦想”相联系。日有所思,夜有所梦！白天思考某问题多了，夜晚就会做与此问题相关的梦。有时候,“做梦”可触发智慧灵感，导致问题的解决甚至重大突破，创造奇迹！

当年，德国化学家凯库勒（FriedrichA Kekule）长期从事苯分子结构的研究。有一天晚上他在书房工作劳累便开始打瞌睡，梦中出现的碳原子长链像蛇一样盘绕旋转，忽见一条蛇咬住了自己的尾巴，犹如电光一闪，使他猛然惊醒。神奇梦幻触发了他的智慧灵感,导致了苯分子环状结构的发现。类似“梦想成真”事例在科学史上并不罕见。

“梦想”与“现实”是联系的,“梦想”可神奇增加现实可能性！

“虚”与“实”、“微观”与“宏观”、“本质”与“现象”等均相互关联，不可分割，对它们之间微妙关联的揭示程度取决于我们的认识深度！

从逻辑上讲，人的思维过程在大脑中应该有记录有痕迹，因此才有了“回忆”。所以,“日有所思”自然可成为“夜有所梦”的诱因。那么,为什么有时“做梦”可触发智慧灵感呢？对于这一问题在古代就有很多研究与猜测，如中国民间广为流传的“周公解梦”、中国古代哲学中的“天人感应”、道教中的“神灵托梦”等，在其他宗教中也有相似概念。现代科学对此也研究颇多，不过迄今尚无客观、精确定量、任意可重复的决定论或概率论描述。

其实，“做梦”是一种带有愿望、忧虑、思念、怜悯、恐惧等情感色彩的心理活动，也是一种无拘无束的全自由思维方式，容易使人摆脱传统观念与现实的束缚，通过自我暗示导致创新火花的迸发！

话还要说回来，“心想”或“梦想”也要有度，超过了一定的度可走向反面。强烈愿望使人的精神压力增加，从而激励人去思考、去尝试、去拼搏，导致人的潜能发挥率增加，进而使成功概率增加。因此，比较强烈的愿望和一定的压力对一个人的事业发展是必需的。但另一方面，根据心理学原理，如果心理压力过大而超过临界压力值 F_c 时，潜能发挥率将急剧下降至零，如图 5—4 所示，此时人便被压垮了，这是不可取的。

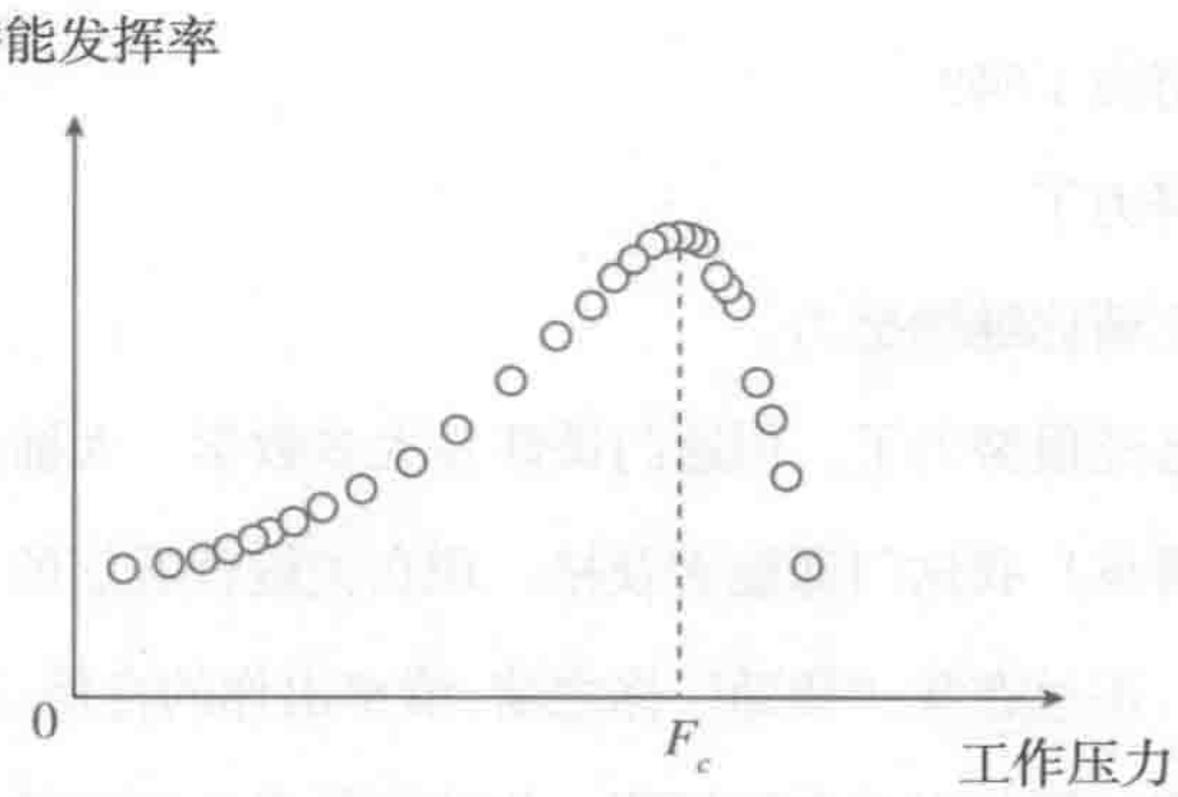

图 5—4　工作压力与潜能发挥率的关系

研究表明：对于不同的人，临界值 F_c 的高低是不同的。F_c 值越高，人的素质越好，越可以担当大任；对于 F_c 值过低的人，则属于需要心理援助的对象。因此，应该结合每一个人的实际情况，施加适当压力，但不能超过临界值 F_c。

例如，当飞机（或宇宙飞船）在飞行途中出现故障，需要操作者在极大的心理压力下排除故障，经受考验。如果操作者的 F_c 值足够高，他便能临危不惧，沉着应对，发挥各种潜能，极大提高在短时间内正确判断并修复故障的可能性。

综上所述，诸如“有梦想就会有希望”、“今天的梦想，明天的可能”、“不怕做不到，就怕想不到”、“狭路相逢勇者胜”、“信心比黄金更珍贵”、“胸怀多大，事业多大”、“有志者，事竟成”等说法均有一定的科学道理，其中妙用了心理自信心正效应和无束缚全自由思维虚因素，实现了体力、智力、免疫力等潜能的极大发挥，导致成功概率提升。可千万别小看这一提升，有时候，如何充分利用其神奇功效便是大事成败之关键，因为人的潜能是巨大的，远远超出我们的想象！

【例】自信心激发潜能

同学：《原子物理学》期中考试我不及格，很担心期末考试通不过，怎么办？

教授：你努力了吗？

同学：我努力了。

教授：那么请你继续努力。

同学：我已经很努力了，但这门课涉及太多数学，太抽象，学了几个月，一颗原子也没看见！我这门课能否及格，现在关键就看您的“帮助”了。

教授：好的，不过在我“帮助”你之前，请拿出你的自信、勇气和顽强毅力，激发你最大潜能，请你以此向我证明：你的确是考不及格的！

【例】站着讲座（或讲课）累吗？

同学：两个小时的讲课很精彩，同学们反响很热烈，您累了，坐下休息一会儿吧。

教授：谢谢！其实我不累。

同学：仅仅站立两小时已经很累，您还要动脑筋讲课，怎么会不累？

教授：仅仅站立两小时的确很累，但站着讲课两小时并不一定很累。

同学：为什么？

教授：做一件事的劳累程度与做该事时的精神状态有关。当一个人聚精会神且心情愉悦地做某件事时，他的劳累程度可大幅度降低。

第二十二则　主观认知客观的相对性

物质运动是有规律的，是客观的，是可以被客观、精确定量、任意可重复的。但是客观规律需要人去探索，去发现。于是便存在一个“主观认识客观”的过程，在这一过程中，主观与客观之间必然要发生相互作用，主观是否能真正精确地、完完全全地认识客观规律呢？为此，哲学史上曾有许多争论，如“唯物主义”与“唯心主义”之争、“可知论”与“不可知论”之争等均与此有关。

1.“相对可知”的可能性

从自然科学本身来讲，该问题显得相对简单。我们在第二章中所描述的“伽利略科学研究范式”已经较好地解决了这一问题，其中的所谓“客观、精确定量、任意可重复”研究范式确保科学实验及其结果的客观性，即只要实验条件严格一致，实验结果便是唯一确定的，与谁做、在何时何地做等均没有关系。当然，在伽利略科学研究范式中，我们所采用的科学研究方法毕竟有一定的逻辑漏洞，所谓的“精确”和“可重复”也是相对的，且其结果还可能受到探索者主观因素的干扰，所有这些均是我们永远无法绝对避免的，人类所获得的客观真理总是相对正确的。

从这个意义上讲，主观认知客观是可能的，并具有相对的意义。只要我们严格按照伽利略科学研究范式从事科学研究，必定可将研究方法的逻辑漏洞减小到极限，必定可将研究过程中探索者的主观因素（包括思维方式和心理过程）干扰减小到极限，最终所得结果的精确度之高、正确率之高、错误率之低，已经完全在人们的可接受范围之内，完全可应用于人类社会的实际需求。

2. 心理活动的起源

心理活动发生在心灵深处，与人脑、神经元、中枢神经系统等相关部位的物质运动有关，其中包括原子分子的排序及运动、能量传递、电场极化、磁场取向等，从而可使信息按一定规则得以接收、加工、反馈、传输等，然

后指导人的行为。这一过程与计算机中的信号存储、加工运算、读出等有些类似。因此，作为生命运动的一个组成部分，心理活动应该是物质运动的一种形式。

但与宏观物质运动不同，心理活动是一种微观物质运动，其每一次运动结果不具有决定论属性，个体差异大，精确重复困难，迄今为止，概率论描述是行之有效的。从这个意义上说，心理学仍然属于科学的范畴，一般由概率论描述，尽管它具有浓厚的人文社科色彩。

现代量子力学是描述微观世界物质运动规律的科学。不过，量子力学是否可被用于解释心理活动？目前还远远不能定论，原因有如下几个方面:（1）与生命运动的复杂性相比，量子力学目前所解决的问题还十分简单和有限，还远没有涉及心理活动那样深刻而复杂的问题;（2）迄今为止，有关心理活动复杂性的起源仍不清楚，类似“神经元是如何兴奋和传导的？”那样的问题还远没有获得满意的答案。科学家往往将其与原子、分子及其他微观粒子的多体相互作用以及集体效应相关联，但也有人更赞同将其与“天人感应”等超力量相联系。

3. 心理活动的优化

尽管心理活动的起源及机理目前尚不明晰，心理活动的优化仍然是可能的。事实证明：通过适当的心理教育及干预（如减小压力、放慢节奏、减少听觉、视觉和触觉刺激强度等）或比较长期正规的科学研究训练，可以使科学工作者的心理活动朝着更加正确稳定地反映客观规律、提高实验成功概率、减少操作失误率等方向发展。

由此，现代社会的心理健康优化教育越来越重要，一般有两种模式：

（1）健康优越的心理状态一般表现为乐观开朗、意志顽强、宽容协作、取舍有度、学会放弃等。通过适当形式的心理优化教育和训练，可使一般人的心理活动朝着更加有利于自身健康和事业发展的方向进行。

（2）在科学研究过程中，为了实现某一既定目标，减小因心理因素所造

成的科研结果不确定性或失败概率，需要科研人员具有沉着冷静、遇事镇定、反应迅速、毅力顽强、决不放弃等稳定心理活动模式，可通过一次次曲折复杂的科研经历和心理优化训练，逐渐达到目的。

以“神舟十号”飞船与“天宫一号”对接的两种模式为例：自动对接是按照计算机程序进行，只要各仪器工作正常，对接结果是一致的；而航天员在操作手动对接时，他的每个判断均带有主观心理活动，因此必须事先进行百次千次重复训练，使其形成稳定正确的心理活动模式和优越思维过程，沉着应对，遇事不慌，不畏万难，使操作万无一失。

在本书前面几章的讨论中主要涉及思维方式问题。与此相比，本章所讨论的心理过程还包含有人的情绪、意志等，其优化过程具有独特的专业及艺术性要求。不过，科学研究的曲折经历同样能提高学者沉着冷静、习惯失败、不畏艰难、耐心不躁等心理素质。从这个意义上讲，一次次科研失败经历可使人不断走向成熟，也是“失败乃成功之母”的另一种角度的解释！

大学入学考试分数高低牵动着考生和家长的心。无论事先模拟考试多少次，考生最终得分总在一定范围内波动，不可精确预测，属于概率论描述。考试分数波动的大小与考生实际水平有关，与考卷形式和内容有关，还与考生的健康体力和心理素质有关。假如某考生的实际水平为 600 分，那么由于心理因素，他实际得分在 600 ± 30 分之间均属常见，还有可能出现更大偏差。因此，在考试时“正常发挥”或“超常发挥”是考生和家长所热切期盼的。

在乒乓球、羽毛球、围棋等世界级比赛的决赛中，在多数情况下，两位参赛选手的各种技术水平十分接近，最后究竟谁是冠军？在很大程度上，取决于选手的心理素质。

同样，从事高尖端科学实验时，科学工作者的心理素质是否优越对最后科研结果十分关键。在诸如航天员出舱太空行走及作业、科学家操纵原子或分子、高难度外科手术、现代遗传基因技术等事例中，实验者心理状态及过程是否优越和稳定显得尤为重要。

一般而言，科学实验的总体设计主要依赖于科学家的思维方式；当科学工作者具体实施操作时，则更多依赖于心理状态。

科学家们越来越清醒地认识到，人类的科学探索并不是万能的，在许多方面有其局限性，应该区别对待，以求最高效益：

（1）面对不确定关系（公式 1—1）和非线性效应（见第十九则）那样的宇宙极限，人类无力突破，必须严格遵守。

（2）对于科学研究方法的本征缺陷以及主观认知客观时的个体差异，可采用伽利略科学研究范式将其逻辑漏洞或个体差异减小到允许范围之内。

（3）有关人的心理因素，一方面应该充分利用心理过程神奇的正面效应，如图 5—1 至图 5—4 所示，实现尽可能高的正向期望值；另一方面，可通过适当的心理健康优化训练和长期正规科研训练，使科学工作者在严格按照伽利略科学研究范式开展工作的同时，具有沉着冷静、信心乐观、毅力顽强、胆大心细、反应正确敏捷等优良心理素质，尽可能减少失误率，使科学研究获得最大的成功概率。

第六章　科学与艺术

艺术是人类以情感和想象为特性，把握和反映世界、自身以及二者关系的特殊表现形式。艺术的形式很多很广，包括音乐、绘画、雕刻、建筑、文学、戏剧、舞蹈、电影、激光装饰、三维全息影像等，侧重对人与自然及其联系的整体揭示、表达和诠释。科学是反映客观事物规律和本质的知识体系，揭示自然美的内在规律以及深层机理。

从定义上讲，科学与艺术有很大区别；但另一方面，科学与艺术又相互联系，它们均是对人类与客观世界真、善、美的揭示和映射。艺术和科学求真，反映人和事物的本源，反映客观规律与认识形态；艺术和科学求善，揭示人生哲理、思维活动以及思维与物质的关联，造福人类；艺术和科学求美，追求归一的美学要素，诸如简洁、对称、平衡、有序、玄妙、恰当、和谐统一等。

第二十三则　最高境界：多学科相互贯通

在人类文明的近一万年间，人类的科学、艺术、哲学、宗教、科幻等不断发展，相互融合、相互促进，使人类文明不断进步，逐渐趋向宇宙之魂。

1. 艺术隐含科学

艺术表现充满着科学的原理及规律。先说音乐，首先是物体的振动产生声音；声音以波的形式在媒介（如空气，水，钢材等）中传播，又名声波，

类似水中的波动，声波在媒介中一圈一圈向外传播，将振动能量传向远方。音乐是许许多多不同振幅及频率的声波按照一定时序和强弱组合而成，不同音乐具有不同的随时间变化的频谱及振幅。

通常，音乐分为管乐、弦乐、打击乐等，它们的频谱是不同的，各自具有独特的艺术表现力。如管乐中的笛子，由管内空气柱振动发出声音，空气柱的长短改变使声音频率和频谱发生变化，空气柱越长，发声频率越低；弦乐中的古筝与钢琴的发声原理是一样的，均是利用钢丝的振动发出声音，钢丝的长短与张力大小决定声音频率和频谱，要使声音频率升高，钢丝的振动部分要缩短，钢丝中的张力要增加；打击乐也类似，战国时期的编钟，棒槌打击使其振动而发出声音，编钟是椭圆形的，钟内可形成两个长短不同的空气柱，分别对应椭圆的长轴和短轴，从而可发出两种不同频率的声音，两千多年前的巧妙设计令现代人赞叹无比。

从科学角度讲，音乐、语音、噪声、杂音等均为不同频谱及振幅的声波，其传播规律满足所谓的波动方程，根据一定的边界条件，解此偏微分方程后可得所需结果。作为一种波动，声波在传播过程中具有反射、折射、透射、干涉、衍射等波动现象，均可在波动原理知识框架内通过求解偏微分方程等方法得到完美的理论解释。

例如北京天坛公园中的回音壁：利用声波在墙壁上不断反射而传播声音。

在群山之中发出一次吼声后，可连续听到随后多次吼声，原因是不同距离的大山对声音的反射所致。

如果设计不佳，音乐大厅内不同座位听到的音乐有较大差别，还可产生回声、声音盲区等，此类问题由声波在大厅内不同墙面的反射、干涉等所致，因此音乐大厅的声学设计是十分讲究的，理想情况应该让音乐大厅内的每一个座位听到同样的声音，其难度可想而知。

立体声是将各种频率声波的振幅和位相（即振动的相对角度）同时记录下来，然后还原播出，使人耳能感知每一件乐器及演员的空间位置，犹如现场直接欣赏一般。

歌星在舞台上演唱时，如果他（她）不断来回走动，或随时间改变手中话筒与发声声带之间的距离，则其歌声的频谱将向高频和低频做相应移动，这便是声学中的多普勒效应。

声音在不同物质中的传播速度是不同的。在温度为 15℃的空气中，声速约为 340 米 / 秒；在温度为 25℃的海水中，声速约为 1530 米 / 秒；在大理石中，声速约为 3810 米 / 秒；在钢轨中，声速约为 5200 米 / 秒等。由于空气是声音传播的一种媒介，所以生活在空气里的人们可以欣赏音乐或用语言相互交流。

人的耳朵对声波的响应是有局限性的，频率在 20 赫兹到 20000 赫兹之间的声音，人耳可以听到，超出此频带范围，人耳便听不到声音。

悉尼歌剧院是世界顶级的音乐殿堂，犹如颗颗贝壳亭亭玉立于海边，其几何造型如诗如画，建筑曲线极具艺术魅力，如图 3—8 和图 6—1 所示。作为人类现代艺术殿堂，悉尼歌剧院有许多科学之最。首先在声学方面，悉尼歌剧院的完美设计力求让大厅内的每一个座位均能听到同样的立体声，没有人耳能感觉的音乐盲区和回声，声波反射和干涉现象减小到极限。一片片洁白的瓷砖，犹如层层鱼鳞覆盖在悉尼歌剧院优美的屋顶曲面，从远处眺望，犹如蓝天白云，美不胜收。瓷砖表面微观结构独特，十分光滑，空中尘埃很难黏附其上，可减少清洗次数，有利环保等。可以说，一件现代艺术极品往往同时也是诸多高科技成果的集成。



图 6—1　悉尼歌剧院的曲线之美

在德国波恩建有高规格的音乐巨人贝多芬纪念馆，门口的贝多芬雕像拥有非常独特的艺术设计，从不同角度近看和远看的视觉效果很不一样，如图6—2所示：综合抽象艺术和具象艺术风格，通过巧妙的几何凹凸设计，产生奇特视觉效果，如一串串音符正从贝多芬脑海深处飞出，似钢琴键盘正被他熟练弹奏，还像是他与命运顽强抗争后留下的坎坷伤痕。除了具有高超的艺术造诣之外，设计师应该对视觉光学原理有很深入的研究。



图6—2　德国波恩的贝多芬雕像

书画艺术同样隐含科学原理：丝丝柳枝的飘摆锐角赞美了春风柔缓的速度；船夫划桨支点的选取告知了用力的大小与方向；天空中远近云彩浓淡及色彩变化遵循太阳光在云彩中的反射、折射和散射原理；帆船水中倒影的扭曲演示了水面波动传播的规律；月亮在空中的位置及月相确定了画中故事的时间；雄鹰展翅的姿势说明了此刻它飞行加速度的大小与正负；……

中国书画的独特魅力在于写意与抽象，其鲜明特色与宣纸的发明密不可分。传说，东汉蔡伦的徒弟，一位名叫孔丹的造纸工匠发明了宣纸，距今已有近两千年的历史；西方油画精确逼真，遵循近大远小透视原理，且在颜色使用方面十分讲究，是几何学、光学和色度学等研究的范畴。

为了保护传统书画的颜色与寿命，需要将书画储藏在恒温（10℃ ~18℃）恒湿（相对湿度为50%~60%）且通风的环境中，还需选用具有独特光谱的光源进行照明，设计博物馆的科技含量极高。

在传统艺术的基础上，现代艺术发展迅猛，是“大艺术”的概念，其中人类科技的发展不断给艺术增添新的内涵与可能。例如，1960 年激光的发明，导致了随之而来的现代激光艺术，在舞台表演、庆典装饰、三维全息影像等方面已得到广泛应用。由于激光的艳丽色彩、小发散角、亮度高、传播距离长、相干性好等优点，使激光艺术独具魅力。

近几十年来“微艺术”发展迅速。现代光刻技术已可雕刻 10^{-7} 米（亚微米）数量级甚至更小的精美艺术品；原子操作时代的到来开创了人类艺术的新领域，现在采用不同种类的原子分子绘画、用一颗颗原子书写文字的所谓“原子书法”等已不是什么稀罕事了。如果与“在一颗大米表面雕刻若干首唐诗”的传统工艺相比较，“原子书法”的集成度提高了百万倍以上！

2011 年，美国好莱坞大片《盗梦空间》引起了全世界的关注，原因是它将科学、科幻与艺术紧紧结合在了一起，表现手段极大创新。贯穿影片的“潜入他人睡梦”、“窃取潜意识”、“植入意念”等均为科幻设计；而时空转换与穿越则是科学的最新成果：电梯到达不同楼层是地球和宇宙中的不同地方；一座城市突然被卷曲起来，导致翻江倒海的灾难等，类似设计概念取自于广义相对论的弯曲时空理论。

近几十年来，将科学中诸多概念运用于艺术创作中，似乎是一种潮流，自然科学的基本知识和原理可对艺术创作有别样的帮助。

当然，对于理工科学者，如果多一些人文艺术修养，同样也十分受益。就像设计类似悉尼歌剧院（图 3—8 和图 6—1）那样的传世之作，设计者仅仅掌握“建筑设计原理”是远远不够的。

2. 科学显含艺术

科学与艺术同样紧密关联，自然规律的艺术神韵和无处不在令人赞叹不已！自然形成的雪花是六角对称的；晶体中的原子是周期性排列的；由六十颗碳原子组成的 C_{60} 是一个完美对称的球形分子，堪称是“二十世纪末上天

送给人类的最完美礼物”（如图 6—3 所示）。



图 6—3　浙江大学校园内的 C_{60} 球形分子模型

保存在耶路撒冷以色列人文和自然科学院的爱因斯坦《广义相对论基础》手稿，本身就极具艺术价值，可把它理解为科学巨人的书法，也可理解为高度智慧的绘画，美不胜收。

二十世纪七十年代，科学研究领域直逼非线性区域，非线性科学悄然兴起，现已成为十分重要的科学领域。人们发现，在非线性研究领域中，内容十分丰富，涉及的领域十分广泛，极大地扩展了人们的视野。同时，非线性科学的艺术魅力也同样令人惊叹。

在非线性科学中有一种叫“分形子”的集合体，它具有无限的自相似结构：一根线，如果将其放大，发现它是由三根线组成的；如果再放大，其中的每一根线又是由更细的三根线组成的；如果再放大……直至无穷，而且所有这些线均集中在一定空间范围内，相互之间没有任何交叠。这是艺术还是科学？

当我们从飞机上俯瞰大地，有一幅幅山脉、河流与森林的分布图；不断接近森林，先看到绿色一片，然后看到一棵棵大树小树，最后可看到每一棵树的树叶树干等细节。如果我们用原子力显微镜观测物质表面，有时看到的一幕幕景观也与此相像，类似一幅幅山水画。在非线性科学中，此类现象被

称作在标度变换下的“自相似性”。

玄妙是科学艺术性的突出体现。在浩瀚的宇宙中，美和妙似乎不可分割，科学中的玄妙到达了绝无仅有的地步：一个仅由几个字母组成的偏微分方程代表着宇宙间物质运动、相互转变以及形态演化的规律；一个假说推出了一个庞大的科学理论体系；一个对称不变性解释了宇宙中所有元素的周期律；一个表象变换解决了数量级在 10^{23} 颗粒子的多体相互作用问题；一条实验曲线导致了一个史无前例的高科技产业；一篇论文引发了人类文明进程的重大突变……长期以来，人类对科学玄妙之美的逐步认识与科学探索的不断深入同步进行。

3. 最高境界，科学与艺术相互贯通

在现代学科分类目录中，科学与艺术被分在两个不同类别，各自拥有独特的学科体系、研究方法、教学模式等。难道它们之间真有那么深的鸿沟吗？

（1）科学与艺术的贯通与融合

现代文明，学科之间的相互贯通与融合现象已是十分普遍，在很多情况下，我们已很难分辨这是科学还是艺术。

【例】冬日畅想

漫步在草坪间的小路上，
接收来自太阳的光子，
俗称“晒太阳”或“日光浴”。
小路弯曲延伸，
来到平静的小河边，
接收来自天上太阳和水面反射太阳的光子，
同时晒着两个太阳。
忽然，

一阵和风吹过，

刹那间水面皱褶一片金光，

啊！

我沐浴着无数个太阳。



图 6—4　水面上反射出无数个太阳

【例】五彩缤纷的煤炭

煤炭是什么颜色？

常温下，

煤炭吸收所有可见光波段的光波，

几乎零反射，

呈黑色。

在氧气中剧烈燃烧，

煤炭发出耀眼的光芒，

同时辐射可见光所有波长的光波，

显白色。

氧气含量逐渐降低，

煤炭燃烧辐射可见光波的频谱随之变化，

五彩缤纷！



图 6—5　五彩缤纷的煤炭

【例】赏桂随想

桂花，

色淡花小，

被一片片绿叶遮盖，

含蓄而低调；

芳香阵阵从花蕊中涌出，

时隐时现，

内涵高雅而深刻；

盛开在温度湿度宜人的秋天，

体贴而好客。

走近桂花树，

一阵浓郁的芳香扑来，

啊！

我仿佛看见，

一颗颗桂花芳香分子在花蕊表面瞬间合成，

光速飞出，

在空中凝聚成绚丽的云彩，

将整座城市隐含其中。



图 6—6　色淡花小的桂花

上述三个例子是诗歌，是艺术，也是科学，似乎是三者合一，此处，科学与艺术没有明显的边界线。

（2）神奇的自然规律之美

大自然规律简洁、玄妙、对称、和谐统一等，包含美的要素。

太阳系中各大行星围绕太阳做周期转动，其轨迹为椭圆，太阳位于椭圆的一个焦点，如此美妙的运动规律可用牛顿方程和万有引力规律精确求解。

氢原子核外有一颗电子绕核周期性运动，所发光谱及其规律如下：

赖曼系：$\tilde{\nu}=R_H\left(\frac{1}{1^2}-\frac{1}{n^2}\right)$，$n=2$，3，…，紫外区

巴尔末系：$\tilde{\nu}=R_H\left(\frac{1}{2^2}-\frac{1}{n^2}\right)$，$n$=3，4，…，可见光区

帕邢系：$\tilde{\nu}=R_H\left(\frac{1}{3^2}-\frac{1}{n^2}\right)$，$n$=4，5，…，红外区

布喇开系：$\tilde{\nu}=R_H\left(\frac{1}{4^2}-\frac{1}{n^2}\right)$，$n$=5，6，…，红外区

普丰特系：$\tilde{\nu}=R_H\left(\frac{1}{5^2}-\frac{1}{n^2}\right)$，$n$=6，7，…，红外区

其中的 $\tilde{\nu}=\left(\frac{1}{\lambda}\right)$，λ 为光波波长，里德堡常数 $R_H=109677.58\ cm^{-1}$。我们暂且不必关注这些符号和数字的科学含义，但从这些符号所构成公式的有序性以及这些数字的规律中，我们看到了自然之美的存在！

原子或分子按某一规律周期性地排列，即为晶体。晶体不仅在科学研究中有重要用途，而且深受人们的喜爱。红宝石是三氧化二铝（Al_2O_3）晶体，因含微量元素铬（Cr^{3+}）而呈高贵红至粉红色；蓝宝石是三氧化二铝（Al_2O_3）晶体，因含微量元素钛（Ti^{4+}）或铁（Fe^{2+}）而呈典雅蓝色；水晶是无色透明二氧化硅（SiO_2）晶体；钻石（金刚石）是碳（C）原子按照一定周期规则排列的晶体，其物理特性（如导热率、坚硬度等）十分优越，纯净透明，高贵无比，如图 6—7 所示。

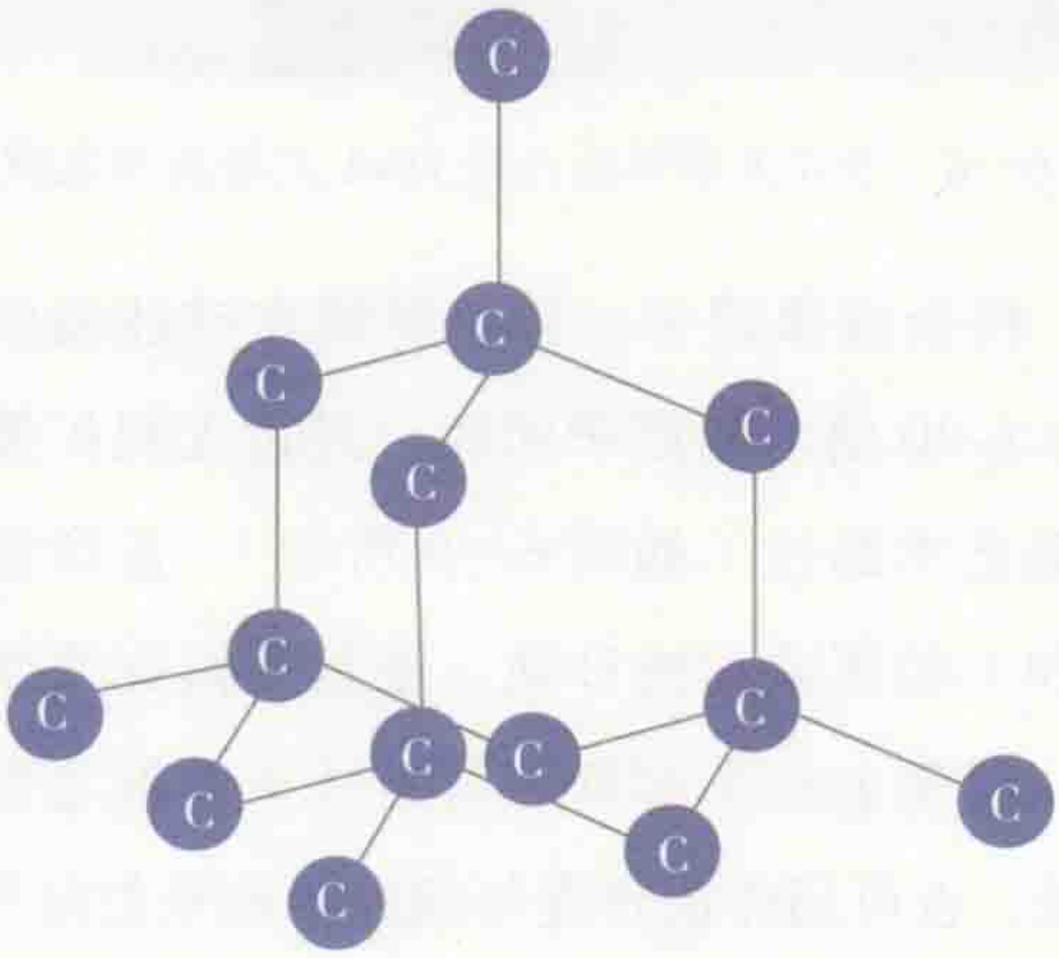

图 6—7　钻石中碳原子排列结构示意图

DNA 双螺旋是一种核酸的构象，如图 6—8 所示，两条主链似“麻花状”绕一共同轴心以右手方向盘旋，相互平行而走向相反形成双螺旋构型，犹如一把天梯将人类与生命奥秘宝库联系在一起，极具艺术之美！



图 6—8　浙江大学校园内的 DNA 双螺旋构象模型

在真空室内，将金或银原子一颗一颗洒在硅油表面，它们很快相互凝聚成直径约为 30~80 纳米的原子团簇。经过无规扩散和旋转，原子团簇的凝聚图案极具艺术品位（如图 6—9 所示）。盖章签名后，再注明原子力显微镜（AFM）拍摄成功的日期，便是一幅有关原子凝聚规律的科学艺术巨画，配以精美的红木画框，可悬挂于大雅之堂；如果将其理解为中国龙的抽象版，也可用作庆贺龙年或蛇年到来的新年贺卡，高雅且富有新意。

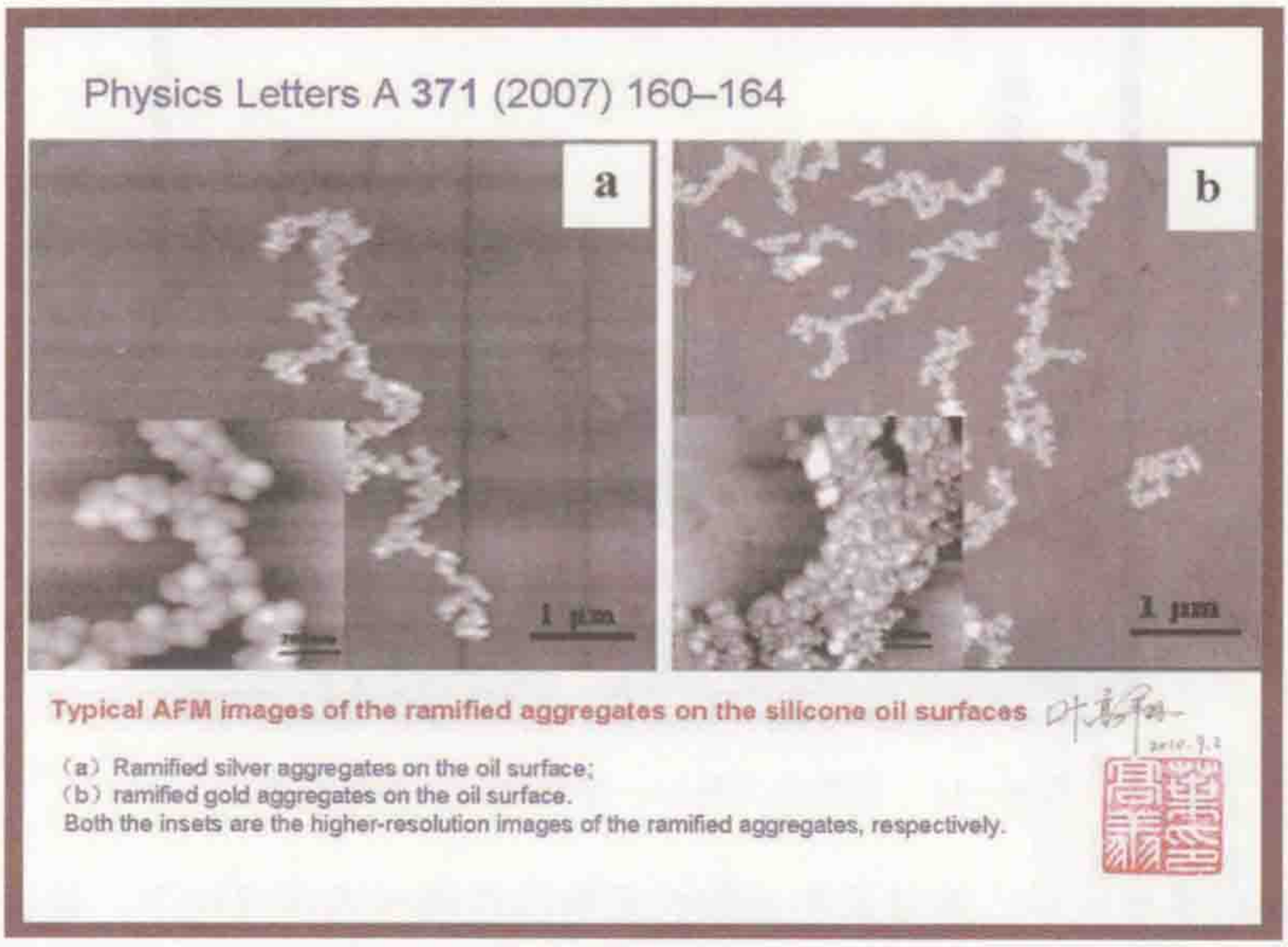

图 6—9　由金和银原子分别组成的“中国龙”

（3）极具艺术品位的科学表现方法

科学研究所获真理需要记录和展现，所采用的形式和方法应该精确、形象、逻辑、简洁和完备，显示独特的艺术之美。科学研究中经常采用诸多数学符号，如偏微分、积分、求和、求极限、矩阵等，需要满足简洁、精确、抽象、美观等要素，如图 6—10 所示。

$$\frac{\partial y}{\partial x}、\int_a^b f(x)dx、\sum_{i=1}^{n} f_i、\lim_{x\to x_0} f(x)、|\lambda_1，\lambda_2，\cdots\lambda_n\rangle$$

图 6—10　形态优美的数学符号

由数学符号组合而成的偏微分方程内含玄妙、对称、简洁、统一、抽象等美学要素，如图 6—11 所示。它们是美的代言，是宇宙真理的数学化身！

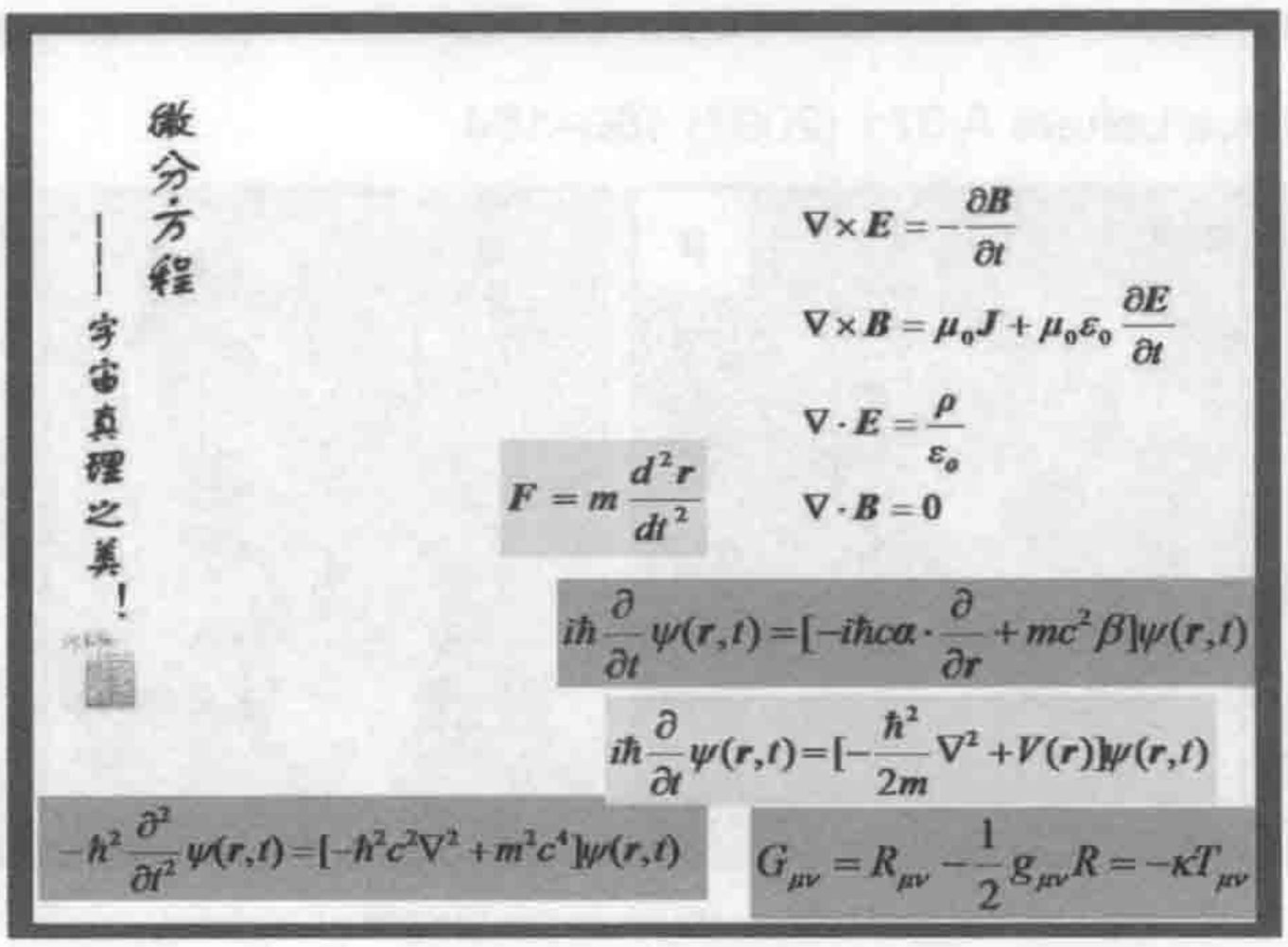

图 6—11　偏微分方程——宇宙之美，真理化身！

在科学研究中，常常采用函数关系曲线精确描述客观规律，显示自然之美。如图 6—12 所示，超导材料电阻率 ρ 随温度 T 的变化曲线简洁、独特而深刻，是极低温情况下宇宙真理的艺术展示；在图 6—13 中，生长在液体（硅油）表面的线形银原子团簇在室温下自发形变弯曲，最后演变成直径约等于 3.5 微米的闭合圆圈，被誉为“微型银戒指”，其间的微观结构演化规律及内在机理深刻而玄妙，由下方的曲线述说，微观世界充满艺术的浪漫和神韵。

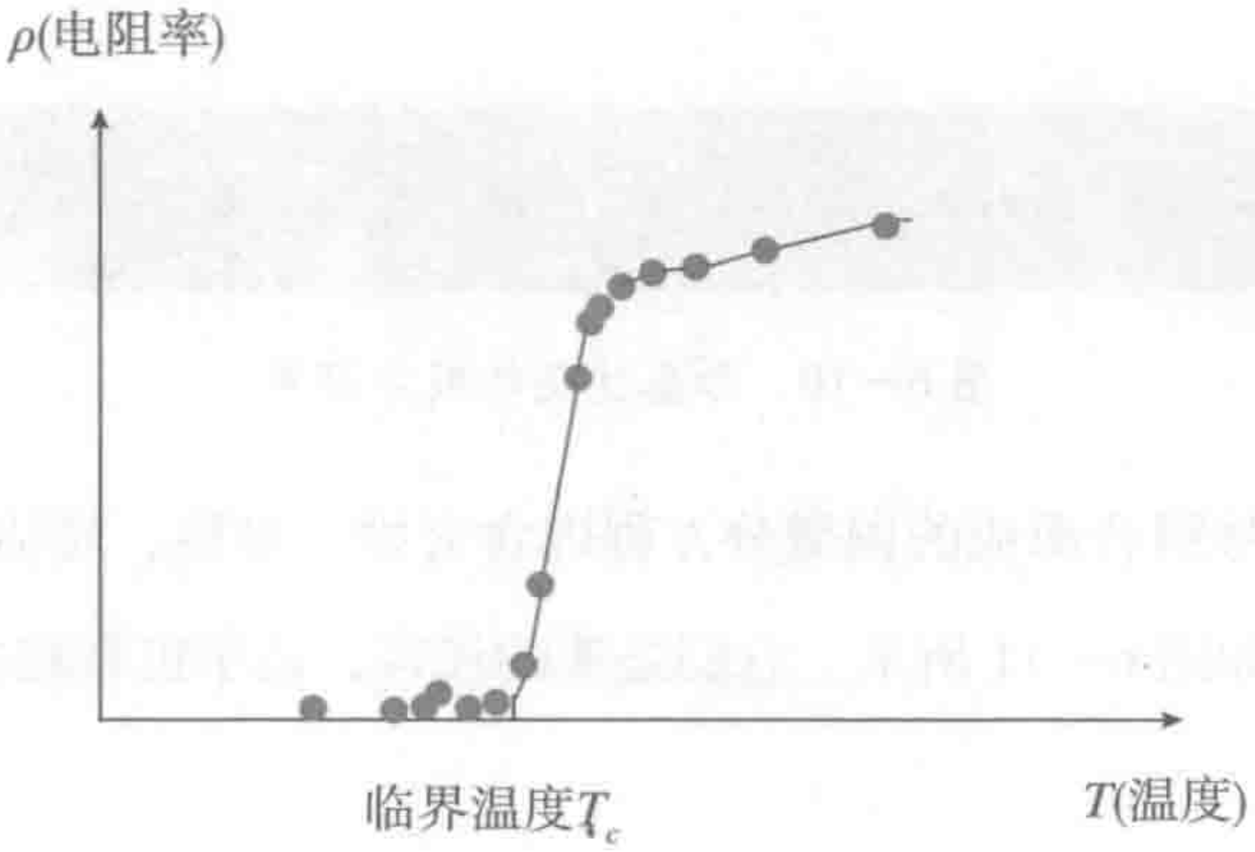

图 6—12　超导材料的电阻率 ρ 与温度 T 的关系曲线

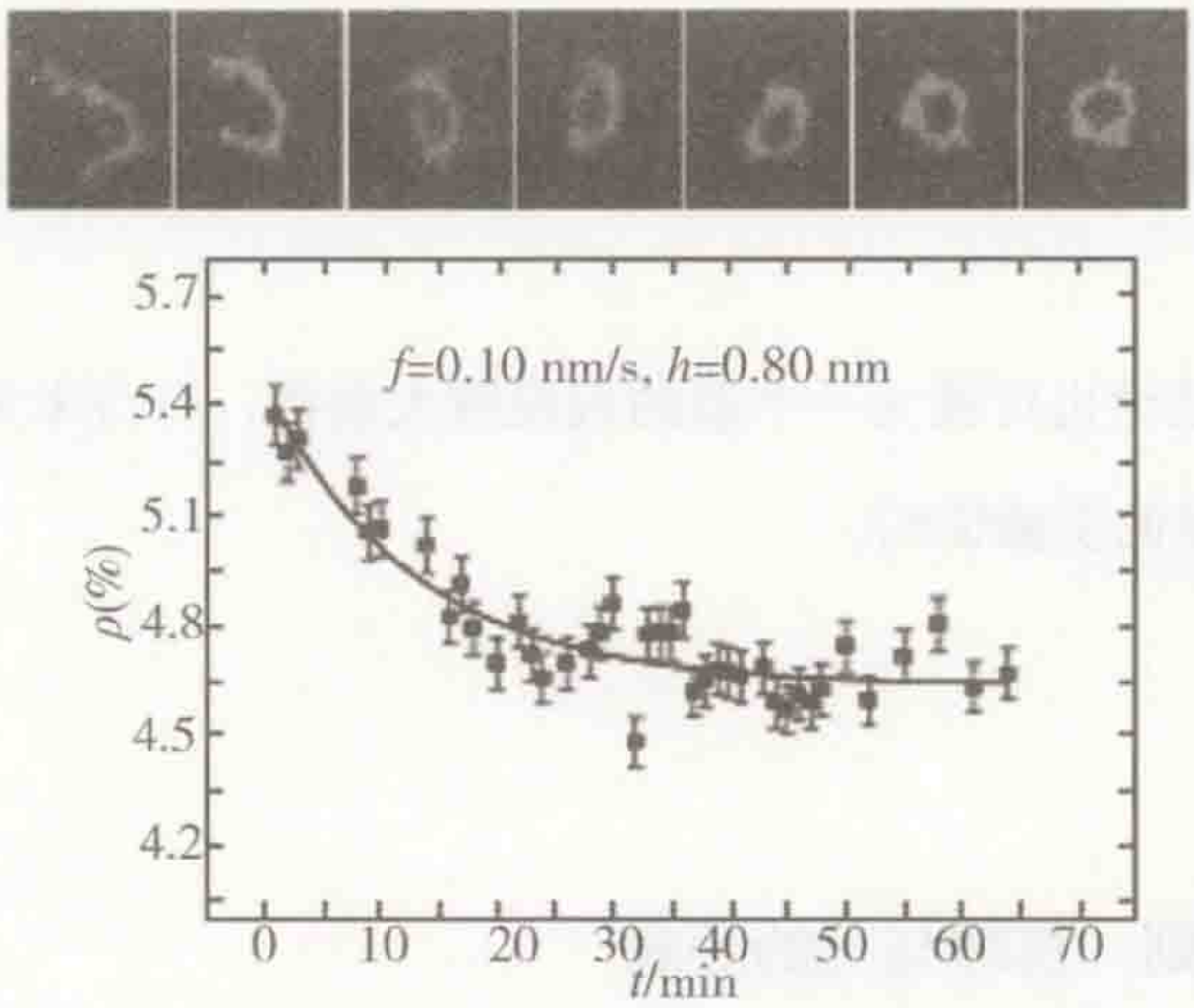

图 6—13　硅油表面线形银原子团簇演变为闭合圆圈过程中覆盖率 ρ 随时间 t 的变化规律。系列照片所对应的测量时间 t= 1，8，20，22，28，34，57 min。照片尺寸均为 $8.8\times13.5\,\mu m^2$。［详见 *Chinese Physics* B20（6），（2011）066103］

在本书中绘制有风格独特的诸多半定量曲线图，如图 1—1、图 3—3 等，尝试采用优美的科学曲线表达方式，定性或半定量描述某种规律或哲理，展示量与量之间美妙的近似函数关系，简洁、生动、一目了然，具有“曲线漫画”之功效。可以认为这些图中的曲线描述是近似的，因为它们均是大量经验和简单统计结果；也可以认为这些曲线描述是精确的，因为所有图中曲线的纵坐标并没有注明精确标尺及非线性程度。此外，这些优美曲线还具有夸张、讽刺、幽默等艺术表现功能，“曲线漫画”创意的美与妙便由此可见。

本书还大量采纳了科学研究中常用的“范式”概述方式（如第十九则等），即采用精炼语言、符号或数学公式，将某种规律或哲理抽象成严密的一般性范式（或称之模型），适用于诸多领域，代表大量实际事例，严谨、简洁、高度概括。

此外，科学研究所获得的各类照片（如图 3—4，图 6—9，图 6—13 等），千姿百态、五彩缤纷，揭示了客观世界的种种规律，同时也展示了大自然鬼斧神工的无比威力，可应用于大厅、服装、文具、庆典等科学艺术装饰，独具魅力。（见附录）

艺术隐含科学，科学显含艺术，在很多情况下，科学与艺术不可分辨，

高度贯通与融合。采用归纳推理，由此可见一般：

在宇宙之魂的最高境界，科学、艺术、哲学、科幻、宗教等一切学科均相互贯通！

上述一般结论也可视为一个新的假说或大前提，有待未来客观、精确定量、任意可重复的实验证明。

第二十四则　真理与美的关联

我们在第四章中曾经讲到宇宙中客观规律（即真理）一般由偏微分方程所描述，如牛顿方程，薛定谔方程，狄拉克方程等，而且，它们均内含对称、简洁、统一、玄妙等美学要素。我们不禁要问：真理和美之间究竟是怎样联系的呢？

1. 真理与美

一般认为，简洁、对称、平衡、有序、玄妙、和谐、统一、色彩、光照等均是美的要素。而人类对客观世界的探索结果告知我们：真理是美的！

牛顿方程十分简洁，将天地统一起来；麦克斯韦电磁场方程组将电、磁、光完美统一起来；相对论量子力学中的狄拉克方程具有明显的时空对称性和简洁性；等等。

在人类科学史上，在美学原理指导下取得的重大突破举不胜举。例如，当年法拉第发现交变磁场可以产生交变电场，即法拉第电磁感应定律；法拉第的学生麦克斯韦对称性思维：既然交变磁场可以产生交变电场，那么交变电场也应该可以诱导交变磁场。经过多年努力，麦克斯韦建立了完整的经典电磁场理论，将电、磁、光完美地统一起来，并得到了后来实验的验证，导致了电磁波的发现。

又如，狭义相对论的原理只适用于惯性参照系，爱因斯坦对此十分不满意，他认为：自然规律应该是统一和普适的，物理学原理应该在所有参照系中具有相同的形式，于是他创立了具有里程碑意义的广义相对论学说。

在第二章，我们曾经描述过哥白尼“日心说”的发现过程，还列举了克莱因－戈登方程以及狄拉克方程的诞生思想，均说明美学原理对科学发现的重要意义。

综上所述，科学重大突破与探索者的哲学、艺术等方面的造诣相关联。

2. 真理与美，没有必然联系！

既然在“美”的指导下取得了诸多重大突破，那么真理与美之间是否有必然联系呢？

（1）人类所获得的“真理”均具有相对的意义。

在第二章中，我们曾经讲到科学探索需要采用一定的研究方法，如形而上学、归纳推理、演绎推理等。从逻辑学角度讲，尽管我们采纳了伽利略科学研究范式，此类研究方法的逻辑漏洞也是不可能彻底消除的。因此，人类所获得的客观规律只是相对正确，所获得的客观真理也具有相对意义，永远不可能到达绝对真理。

众所周知，牛顿方程十分简洁，但它并不能统一宏观和微观规律；量子力学已经取得了巨大的成功，著名的薛定谔方程是其中的奠基性方程，但该方程对时空并不具有对称性；量子力学和相对论各自成体系，非常成功，但当将量子理论应用到由广义相对论所描述的引力问题时，在引力的量子化问题上却遇到了巨大的困难：在这两个非常基础、非常关键的理论之间存在着无法克服的不自洽性。

如此，假如我们相信“真理是美的”，那么人类所获得的客观真理的美应该也是相对的，或者说科学真理之美是残缺的、不完整的。

（2）“美”是自然现象，也是社会现象。对于同一事物，不同的人会有不

同的看法，有时甚至可能会有截然相反的看法。对称美，不对称也美；写意美，写实也美；简洁美，复杂也美；高雅美，朴素也美。不同民族对颜色的理解和美感程度可以很不一样；年轻人一般喜爱节奏较快的音乐，而年长者往往喜欢节奏缓慢的音乐；有些人酷爱李白的诗，有些人则更爱杜甫的诗；有些人喜欢欣赏喜剧，有些人则更愿意泪洒悲剧；……

（3）“真理”与“美”之间有动态联系，但没有必然联系！综上所述，我们不可能用“是”或“非”简单描述如此复杂的联系。我们相信具有真理意义的科学理论是“美”的，但“美”的理论未必就是真理！因此我们可以在“美”的思想指导下去探索客观真理，但我们无法用美学原理来“制造”客观真理，否则“科学研究”岂不就变成“美术创作”了？

科学中有艺术，艺术中有科学，自然规律隐含在宗教、艺术、哲学、文学、科幻等之中。未来社会，盼望有越来越多的人，尤其是越来越多的普通人，不仅能够欣赏音乐、诗歌、电影、书画、小说等，还能够充分享受科学的美与妙。例如能够让普通民众亲耳聆听一百多亿年前宇宙诞生后发出的第一声音乐；能亲眼目睹由三氧化二铝分子的奇妙凝聚导致红宝石晶体生长的微观过程；能“亲临”原子内部探秘或“登陆”原子核表面旅游；能亲手操作原子分子，创作微型雕塑；能遥控颗颗天体运动，飞架浪漫“银河鹊桥”；能知晓宇宙中的黑洞是如何形成的；能领略“量子计算”的奇妙思想；能在宇宙航行时体会“生命延长”、“空间缩短”、“人的体积和质量发生变化”的神奇效应等。这是人类文明的更高阶段，是人类通向宇宙之魂的下一个中转站。

结束语：人类文明奔向何方？

从宇宙诞生，太阳系形成，地球人类文明所需各种矿产资源的准备以及地球上生物和智慧人类的进化等，给我们一种强烈的印象：地球文明的诞生和发展似乎是精心安排和巧妙设计的！为什么在宇宙大爆炸 137 亿年后，在太阳系中的地球上创造出如此辉煌的文明呢？它是宇宙中唯一的文明种子吗？地球文明的种子是否还将向整个宇宙播撒？将来整个宇宙是否将进入高度的文明？

一、地球文明所需各种条件的准备

地球文明所需条件甚多且十分苛刻，如源源不断的能量供给及接收系统，矿产资源保障系统，微妙生物链系统，地球生物保护系统，等等。仔细分析不难发现，这一切均在人类文明之前一一备齐，整个过程似乎是精心设计和巧妙安排的。

1. 太阳——人类文明的能源

太阳位于地球公转椭圆轨道的一个焦点，每时每刻向地球辐射基本恒定的能量，维持着地球表面的平均温度和大气环流，提供地球文明所需的几乎所有能源。

太阳以辐射电磁波和高能粒子的形式向地球输送能量，除了可见光、红

外线等低能电磁波之外，还有紫外线、X 射线、伽马射线等高能粒子。如果没有地球上空的大气层、臭氧层、电离层、地磁场等对这些高能粒子的阻挡，地球上是不可能有生命存在的。

在几十亿年前，为人类文明准备所需能源的计划已经开始！

地球形成后，温度不断下降，地球表面形成了液态的水。通过不断进化，地球上的绿色植物开始生长，它们不断吸收太阳辐射来的光子能量，使自己不断生长壮大，逐渐形成参天大树和原始森林。然后通过一次次地震的办法，将巨大的树木埋到地层表面之下，在那个特殊的压力和温度环境中，经过几千万年至几亿年的时间，形成了煤炭；经过水中大量浮游生物和动物的繁殖和快速生长，形成了规模巨大的动物群，然后通过翻江倒海和地震的方法，将这些动物群埋在地下或海洋的沙石下面，在那个特殊的压力和温度环境下，经过几百万年到几亿年的时间，石油形成了。

在植物的绿叶中，有一种叫叶绿素的光合色素，它的出现对地球文明十分关键。叶绿素能接收来自太阳辐射至地球的可见光范围的光子能量，进行所谓的“光合作用”，以提供能量使植物本身不断长大，并将部分光子的能量转化成碳水化合物，如淀粉等，成为动物的食物，是维持动物繁衍生息的能量。所以，是太阳辐射至地球的一颗颗光子提供了地球上生物繁衍进化的食物能源。常言道“天上不会掉馅饼”，殊不知地球上所有动物（包括人类）每天享用的所有食物均是从天上掉下来的。

太阳洒向地球的光能量不仅给地球带来了温暖，还为地球生物的繁衍进化提供了充足的食物能源。早在人类文明的初期，人们已经深知太阳的重要性和“万物生长靠太阳”的道理，人类每天所需食物来源离不开太阳。人类祖先对太阳的崇拜有很多证据，例如 5000 至 7000 年前，在中国浙江余姚及周边地区诞生了古老的河姆渡文化，在发掘的众多文物中，有一块刻有“双鸟朝阳”图案的象牙饰品尤为引人注目，如图 7—1 所示，它体现了河姆渡人感恩太阳的习俗。此外，太阳还是地球上丰富多彩天文现象的主角，如日升、

日落、朝霞、晚霞、蓝天、白云、日食、月食、台风、龙卷风、月亮及其他行星发光等。



图 7—1　5000 年前河姆渡人象牙装饰品上的“双鸟朝阳”图案

太阳还是地球人类文化的重要元素。有关太阳的神话、宗教、迷信、哲学、文学、美学等举不胜举。各种民族均把太阳看成是宇宙无穷力量的象征，看成是人类命运的主宰者。

传说在 6000 年前，是古埃及人最早发明太阳历，即日历或阳历，后来传到欧洲。它是以地球相对于太阳公转轨道为基础，利用地球在公转轨道上不同位置确定一年不同时期的时间表，是目前世界各国使用最多的时间表。

2. 月亮——走向宇宙的中转站

月亮（月球）的存在给地球人类的精神文明带来巨大源泉，也是人类文化的重要元素。月亮的阴晴圆缺以及她与太阳、星星、蓝天、白云等巧妙组合，形成了变幻无穷的美丽画卷，为地球人类带来无限风光！在古代，人类许多民族的哲学、文学、宗教、艺术、历法等均与月亮有关。我们无法统计世界上有多少诗词、小说、传说、古迹、音乐、绘画、哲学思想等涉及相关月亮的内容。没有月亮，就没有“春江花月夜”、“平湖秋月”、“三潭印月”、“花

前月下”等的美景，也没有“床前明月光……”、“月是故乡明”、“月亮走我也走”等思乡之情的抒怀。

夏历是中国传统文化代表作之一，在4000年前的夏朝已相当完备，其精确度与美妙，常常被中国人视为骄傲。在世界上，中国是最早发明历法的国家之一，对中国古代农业、手工业、文化等发展有重大影响。几千年来，夏历是中国传统历法之一，也被称为“农历”、“古历”、“阴历”和“旧历”等。

事实上，夏历属于阴阳历并用。一方面以月球绕地球运行一周为一“月”，平均月长度等于“朔望月”，这一点与阴历原则相同，所以也叫“阴历”或“月历”；另一方面设置“闰月”以使每年的平均长度尽可能接近回归年，同时设置二十四节气以反映季节的变化特征。因此夏历集阴、阳两历的特点于一身，也被称为“阴阳历”。至今几乎全世界所有华人以及朝鲜半岛和越南等国家，仍使用农历推算传统节日，如春节、中秋节、端午节等。所以，夏历既体现日历的基本要素，又包含月历的独特优点，在预报潮汐、气温、日食、月食等方面，迄今仍然是其他历法所不可比拟的。

此外，月球还将为人类文明提供巨大的物质财富和必备条件。月球是地球的唯一天然卫星，是距离地球最近的天体。据现代科学探测，月球上富含大量矿产，如铁、钛、钾、磷、稀土、固态水等，还有多达上百万吨的 He_3 燃料，其所产生的能量可供人类用一万年以上。从月球与地球的距离、月球的大小、月球上固态水存在、大量能源以及大量矿产存在等方面看，月球无疑是人类未来飞离地球、飞离太阳系的极好宇宙航行“中转站”，未来人类将从地球出发，在月球中转，飞向宇宙深处，将文明的种子传播到宇宙的各个角落。

在地球周围安排月球的存在是绝妙之举，可谓精心设计！

3. 矿产资源

人类文明的先决条件之一是矿产。研究表明：通过地球内部高温岩浆向

外喷射和流动，与空气或海水进行化学反应和热量交换，使某种金属原子选择性地在某些地方沉积下来，并渗入周围的岩石缝隙，日复一日，年复一年，经过几亿年甚至几十亿年的循环，形成了地球上各种金属矿产。我们在前面曾经提到，太阳制备石油和煤炭的方法同样十分巧妙，耗时亿年之久。

如此看来，今天人类文明所需的各种矿产资源，早在几十亿年前已经开始准备，其制备方法之巧妙令人惊叹不已！而且所制得的矿产资源基本置于地球表面，使人类在不同文明阶段可以轻易地发现并利用它们。

4. 生物链

地球生命的起源及进化微妙而神奇，“新陈代谢”、“适应环境”、“优胜劣汰”等是基本法则。地球文明之火的燃起和不断发展还需要各类生物分工负责，形成相互依赖相互制约的生物链。

作为生物链的顶端，智慧生命的诞生及其进化法则令人不可思议！人类已经认识到自己正在不断向更高层次进化，人类社会正在不断迈向更高文明阶段，但究竟是谁在幕后主宰这一切呢？现代科学还远远不能回答此类问题，或许人类永远没有能力回答，或许宇宙超力量的存在是一种解释。

处于生物链中不同位置的各种生物为人类提供了大量食物，如各类蔬菜、水果、猪、牛、羊、兔、鸡、鸭、鹅等；还提供人类欣赏的动物和植物，如各种各样的花卉和鸟类等；还提供人类制作各种用具的材料，如各种树木、竹子、象牙、兽毛、兽皮等；还提供人类各种治病的药材，如各类中草药、毒蛇、蝎子、虎骨等；还为人类提供了各种强壮的动物，作为动力援助，如用于运输的马和骆驼、耕地使用的牛等。

地球上每一种动物、植物和微生物均承担起一定的维持人类文明延续的职责。一棵棵小草，它们的职责是将来自太阳的光子转化成碳水化合物，成为羚羊的食物；而羚羊的职责是将碳水化合物转化成肉类，成为狮子的食

物；……于是，十分精巧微妙的生物链形成了，维持着地球上整个生命系统的连续繁衍，使人类能向着更高智慧层次不断进化，承担起“宇宙文明”的重任。

生物链中的动物、植物和微生物品种繁多，相互之间可以“一对一”关联，也可以“一对多”关联，错综复杂，奥妙无穷！人类对其的真正认识还需要相当漫长的时间，人类要想设计更佳“关联”更是难上加难！因此，保护地球上每一个物种是人类当前理智的选择和紧迫的任务！

5. 能源供给的接力赛

现代宇宙学证明：恒星的诞生、发展、衰老和死亡，有一漫长且有规律的过程。目前，我们的太阳正处于中青年时期，在未来几十亿年中，太阳向四周辐射的能量和电磁波谱不会有明显变化，太阳将继续以电磁辐射（包括可见光）的方式，源源不断地向地球输送基本恒定的能量，即太阳能。

另一方面，由于太阳每天辐射至地球表面的太阳能是有限的，而且目前人类利用太阳能的效率极低，绝大部分没有得到有效利用，因此，仅仅依靠每天来自太阳的太阳能不能满足现代和未来人类文明的发展需求，于是，早先储存在地球表面附近的各种形态能源显得十分重要。然而，随着人类文明走向更高层次，人类在地球表面附近开采和利用各类能源不断加速，储存于地球表面附近的能源必将逐渐枯竭。

早在文明初期，地球人掌握了火的利用技术，于是人类主要靠伐木获取能量，其副作用是大片森林消失和土地沙漠化。后来，文明进步科技发展，单靠伐木所得能量已远远不够了，于是人们发现了煤炭和石油的开采技术，大规模开始利用煤炭和石油获取能量，其副作用是大气及水土污染。

现代文明所需的能量更多，形式也多样，如化学能（即燃烧煤炭、石油等所产生的热能）、核裂变能、风能、水电能、潮汐能、生物能、地热、可燃冰、太阳能等。目前，全世界能源总消耗量还在快速上升，能源供给

主体仍然是煤炭、天然气和石油。按照目前的消耗速度，已探明能源可持续时间如下：

表 7—1 各种能源的储藏量

石油：50 余年；
天然气：60 余年；
煤：160 余年；
铀（^{235}U，用于核裂变反应）：200 年左右；
氘（D，用于核聚变反应）：从海水中提取，可以认为取之不尽！

在表 7—1 中，除了氘元素可从海水中取之不尽之外，所有其他经过几亿年形成的矿产能源，将在百年数量级的时间内被消耗殆尽！

与核裂变能相比，使用核聚变能有三个重大优点：（1）地球上蕴藏的核聚变能源远比核裂变能丰富。海水中氘的含量为十万分之三，即 1 升海水中含有 0.03 克氘。这 0.03 克氘聚变时释放出的能量相当于 300 升汽油燃烧的能量。地球上海水总体积约为 13.7 亿立方千米，所以海水中总共含有几百亿吨的氘。这些氘的聚变能量，足以保证人类上亿年的能源消费，可以说是取之不竭的能源。（2）干净和安全。核聚变过程不会产生污染环境的放射性物质，也没有二氧化碳排放；同时受控核聚变反应可在稀薄的气体中持续地稳定进行，所以是安全的。（3）从海水中提取氘的方法简便，成本较低。

当然，麻烦也是有的：实现受控核聚变，主要采用“托卡马克”型磁场约束法或强激光惯性约束法两种类型，其装置十分复杂，迄今在技术上还有许多困难，人们已经为之奋斗了半个多世纪，预计还需 30 至 50 年，受控核聚变发电站才可投入商业运行。

如果上述预计正确，根据表 7—1，煤炭和石油等还可以维持地球文明上百年，那么未来人类文明所需的能源衔接应该没有问题，这又是一个绝妙的设计。在人类文明的进程中，宇宙主宰者似乎从来不设“绝人之路”！

二、两次危机

1. 恐龙家族的兴衰

恐龙家族最早出现在两亿四千五百万年前的三叠纪，在六千三百万年前突然全部灭绝。恐龙体量大、贪吃、好斗，没有智慧。虽然它们当时统治了几乎整个世界，却无法承担起“地球文明”的重任。一般认为，当时有一块从天外飞来的直径大于十公里的天体撞击地球，顷刻之间，地球表面的很多地方成为一片片火海，这种威猛的庞大种群消失了。

恐龙家族灭绝后，新一轮动物进化开始，这一次成功了，数千万年后，具有高度智慧的人类诞生在地球上。经过长期的进化，人类的智慧不断发展，逐渐向更高的水平迈进。当人类的智慧明显高于一般的动物时，人类与一般的动物分离开来，逐渐成为地球的统治者。大约一万年前，波澜壮阔的地球人类文明开始了。

2. 科学发展速度与人类自身人文进化同步

随着人类文明不断向前发展，人类的能力越来越大，所能做的事越来越多，所涉及的范围越来越广，如果没有与之相匹配的人文进化，尤其是统治者对人类未来如果没有足够的责任心和理智的话，人类每天的所作所为将有可能对地球产生毁灭性的恶果，从而导致地球文明的夭折。

地球文明初期，人们不懂得生物链、大气环流、光合作用等科学道理，不懂得地球资源的有限性，不懂得对地球未来拥有的责任。后来科学技术不断发展，导致了当时青铜器和铁器的使用，使乱砍滥伐成为可能，于是大片森林被砍伐，造成了严重的后果，中国的黄河就是一个例子。不过问题也不是很大，因为那时尽管人们使用了青铜铁器，但总体的科技水平低下，没有原子弹，没有化学污水等，人们无法用大刀、木棍、马匹等短期内污染江河湖海，也不可能在短期内灭杀地球上的种种动物。即当时人类对地球生态的

破坏速度小于地球生态的自修复速度，人类的科技发展水平与人类文明进化程度总体上是相匹配的。

现在情况大不相同了，伴随着科学事业的发展，人类能力越来越大。据统计，目前人类所拥有的核武器足以毁灭人类自己好几次；如果需要，人类可以在短期内污染任何一条江河，也可使任何一片土地寸草不生；如果愿意，人类还可以灭绝地球上任何一种动物和植物，当然也可以生产出地球上从来没有过的动物和植物……

面对自己越来越大的能力，人类的一切行为必须有同步和相应严厉的人文制约，人类各种重大决策必须依靠专家、遵循客观规律、科学民主、理智负责，否则后果将不堪设想。遗憾的是在过去几十年中，在地球上的许多地方，出现了对环境的严重污染、矿产资源的极大浪费、野生动物的残酷灭杀等恶劣现象，此类对子孙后代极不负责任的行为，似乎让人看到了当今世界的人文进化步伐严重落后于科技发展的速度，形成了明显的错位，已经给子孙后代造成了不可挽回的损失，极大地威胁着地球人类的未来，人们惊呼：地球文明还不到一万年，是否还能持续一万年呢？

当然，从比较乐观的角度，我们也应该看到：地球上国与国之间相互制约的局面正在形成，地球人的人文进化速度正在加快，如联合国以及绿色和平组织的建立，各类国际和平奖的设立，各种环保组织的不断涌现和其力量的不断增强等。现在，拥有原子弹的国家已经很多了，但谁要想使用一颗原子弹，难度是极大的。所有这些均让我们看到了地球文明作为宇宙文明种子的希望。

总之，从人类文明开始到现在的近万年间，人类的科学技术事业发展速度与人类本身的人文进化基本上是同步的，没有发生严重的错位，如表7—2所示，这是人类之大幸啊！我们可以想象：假如当年的楚霸王项羽掌握了原子弹，两千多年前的战场将会是什么样子？现在的世界又会是什么样子呢？如果当年的希特勒掌握了原子弹、超强功率激光、基因技术、反物质技术等，

现在的地球又将是怎样一幅悲惨的情景呢？

表 7—2　不同文明时期人类所拥有的科学技术

一万年前的史前人：石头工具；
一千年前的人：铁器、铜器；
一百年前的人：电、磁、光、化学能热机等；
现代人：原子核裂变能、激光、转基因食品等；
未来人：受控核聚变、遗传基因技术、反物质技术等。

宇宙的主宰者应该最为明白：时代最尖端的科学技术必须永远掌握在具有超群智慧、高度责任心、理智、文明、博爱的人群手中，他们是地球人类人文进化的领跑者！

三、逼近绝对真理

人类是大自然进化的产物。反过来，出于自身延续、发展和好奇心的需要，地球人类又将自身的进化原理和文明过程一一道明；现在又试图探索宇宙之魂，逼近主宰整个宇宙的绝对真理！所采用的方法是更加精确定量、更多次重复、更广的研究范围。

在人类文明初期，人们研究对象的空间尺度一般在 10^{-3}~10^{2} 米数量级，如建造杆栏式房屋、打磨简单石器、雕刻玉器和象牙饰品、制备陶器、种植水稻等，注重实用，并不关心其微观机理问题。现代人类文明研究的空间范围是 10^{-17}~10^{27} 米数量级，从基本粒子尺度到宇宙视界半径，四十多个数量级的跨度！空间研究的精确性也在不断提高，现代人类的最高分辨率显微镜已可清晰拍摄直径为 10^{-10} 米数量级的原子照片。

在人类文明初期，人们对时间尺度的关注范围约为几秒到几年数量级，如一个人的寿命是多少？几天制备一个陶器或打磨一个玉器？多少时间可以追上猛兽等，注重实用，并不关注时间的精确性问题。现代人类文明研究的

时间范围是 10^{-25}~10^{17} 秒，从基本粒子寿命到宇宙诞生，四十多个数量级以上的跨度！时间研究的精确性仍在不断提高，发射太空飞船的时间精确到秒，导弹拦截需要将时间精确到千分之一秒以上等。

人类探索大自然的范围越广，精确度越高，重复次数越多，越能揭示深层次自然规律，使理论逐渐逼近宇宙绝对真理。但另一方面，好像也不完全是那么简单：当牛顿计算出行星运动轨道后，却无法解释“第一推动力”的问题；当现代宇宙大爆炸理论解释了行星运动的“第一推动力”之后，又无法回答宇宙大爆炸前是怎么一回事？人们对分子、原子、原子核、核子、夸克……的探索也很类似，一次又一次的成功，但越深入微观世界，问题越多，永无止境。人类文明一万年，科学探索解决了许多科学难题，但旧的问题解决了，新的问题又出现了，困扰人类的科学难题并没有因为人们的努力而减少，而是越来越多，越来越复杂。

种种迹象表明：人类对宇宙万事万物的认识还远远没有到达尽头，人类可以逐渐逼近绝对真理，但距离绝对真理究竟还有多远我们不得而知，也许永远无法到达。换言之，宇宙的主宰者是不会允许人类到达绝对真理的，犹如机器人设计者的智慧永远高于机器人智慧一样！

四、宇宙中是否存在其他文明？

关于在宇宙中是否存在和我们地球人类相似的文明，目前有多种看法。

近百年来，诸如 UFO、外星人登陆地球等消息时有报道。此外，地球上目前还有许多谜团不能解释，例如位于秘鲁南部绵延数公里的纳斯卡线条（Nazca Lines），在大地上勾画出各种生动的图案，至今仍无法知道究竟是谁创造了这一奇迹，于是有人将其与外星人来访相联系。不过迄今为止，人类还没有确凿科学证据，可以证明这些说法，我们也不知道宇宙中有多少智慧

生命正在尝试与我们联系，或正在飞向地球。

宇宙大爆炸以后，范围不断扩大，温度逐渐降低，一个个巨大的星系相继形成，物质分布总体上应该是相对均衡的。在银河系或在宇宙中的其他星系，类似太阳系那样的恒星系统数量应该是十分巨大的，它们在演化方式、形成时间、物质分布、降温速度等方面应该是相似的。从已有的天文观察资料分析，在银河系乃至河外星系，我们所居住的太阳系并没有什么特殊之处。假如在温度和大气压适合的行星表面有液态水存在，那么，水蒸发以后形成云彩，导致电闪雷鸣和暴雨倾盆，然后出现构成蛋白质所需要的各种氨基酸等，均属于一般的自然现象。一种比较逻辑的猜想：既然在太阳系的一颗行星上已经燃起了文明之火，那么为什么在别的恒星系统就不可以呢?

在过去数十年里，在太阳系及附近区域，科学家们一直努力寻找适合生命存在的行星。2007 年 4 月 24 日欧洲天文学家宣布，首次在太阳系之外发现一颗可能适合人类居住的行星，它的运转轨道处于“可居住区”之内，如果其他条件合适，就有可能存在地表水和生命。这颗行星的质量大约为地球的五倍，距离地球 20 光年，围绕一颗名为“Gliese 581”的红矮星运转，因此被命名为“Gliese 581c”。迄今为止，科学家已经在太阳系以外发现约 200 颗行星，其中 Gliese 581c 星的质量最小。

这是一个令人振奋的消息：从天文探测角度看，“1/200”是一个非常巨大的概率。如果可以线性推测，如果考虑到宇宙中有超过几十亿个巨大的星系，每个星系拥有数千亿颗恒星，每颗恒星周围所有行星数量总和将是十分巨大的，这些行星均已存在数十亿年数量级，那么这“1/200”的概率似乎在提示我们：在浩瀚的宇宙中，文明之火燃起为“多起点”的可能性大于“单起点”的可能性！这是现阶段理性而智慧的判断。

从宗教信仰角度讲，诸如“宇宙主宰者”、“上帝”、“神”、“佛”、“玉帝”、“真主”等超力量是确实存在的，牛顿当时提出的“第一推动力”学说也是从宗教角度看问题的。尽管从科学角度看，迄今我们还无法理解这些超力量的存在，不过作为不同民族的信仰，它们的威力是十分强大的。究竟是谁在操控

或主宰着整个宇宙的演化进程？比较超然的理解，或许可将这种超力量视为宇宙间的绝对规律，或视为宇宙之魂的选择法则，那么，我们对宇宙进化、文明之火燃起以及对当今世界诸多宗教信仰学说等便不难理解了。

五、将文明种子洒向整个宇宙！

十九世纪，俄罗斯伟大的科学家康斯坦丁·齐奥尔科夫斯基有句名言："地球是人类的摇篮，但是人类不会永远生活在摇篮里，开始他将小心翼翼地穿出大气层，然后便去征服太阳系。"语言惊天动地，发出了人类进军整个宇宙的号令。百年过去了，我们高兴地看到：现代人类正在不断向宇宙深处进发。

现代人的寿命一般小于 100 岁，有人预言未来人的寿命可能突破 150 岁，这当然是一种可能。但无论如何，人的寿命是百岁数量级的断言是不会有问题的。另一方面，现代科学告诉我们：宇宙之大，约百亿光年数量级！那么未来人类如何奔赴别的恒星系访问或将文明传播出去呢？

在太阳系中，迄今我们还没有发现其他行星上有生命存在，因此，若要知道是否有外星生命存在，需要去别的恒星系统寻找。而距离太阳系最近的恒星称为比邻星，相距太阳 4.22 光年。我们现在的火箭速度约为 10 公里 / 秒数量级，如果要乘坐此类火箭到 4.22 光年以外的比邻星系访问，我们活到"百岁"是不够的，"千岁"也不够，"万岁"仍然不够，至少要活 10 万岁以上。

如此，对于一般寿命小于一百岁的人来说，今后如何航行至宇宙的每个区域去传播文明种子呢？相对论的诞生让我们乐观起来。如果我们未来的火箭速度可以更快，例如光子火箭的速度可接近宇宙中的极限速度——光速，那么乘坐光子火箭的宇航员寿命便可大幅度延长，空间距离可以大幅度缩短。根据相对论原理，只要火箭速度足够接近光速，相对寿命可延至足够长，两颗恒星之间的相对距离可减少至足够短，从而可使任何人在不到百岁的有生之年到达宇宙的任何区域。

从实际情况看，对火箭速度的苛刻要求还可以适当降低，因为人类没有必要一步跨越整个宇宙，只要能逐渐地从一个恒星系到达另一个恒星系即可，一站一站地向外延伸，人类便可将文明的种子传播到宇宙的任何一个角落。此外，假如前面有关宇宙文明之火燃起的“多起点”预言正确，在宇宙中各文明起点之间还可以相互配合，采用“接力”形式将文明火种传向整个宇宙。

总之，欲将地球文明的种子传播到整个宇宙，起码在理论上是没有问题的。

附　录

科学探索所获客观规律（即真理）可体现在一幅幅精美的图片之中。在此展示作者及其小组在长期的科学研究过程中所获得的部分富有艺术韵味的照片，以展示科学之美。（照片中标有简洁文字，告知其中物理内容及发表杂志。）

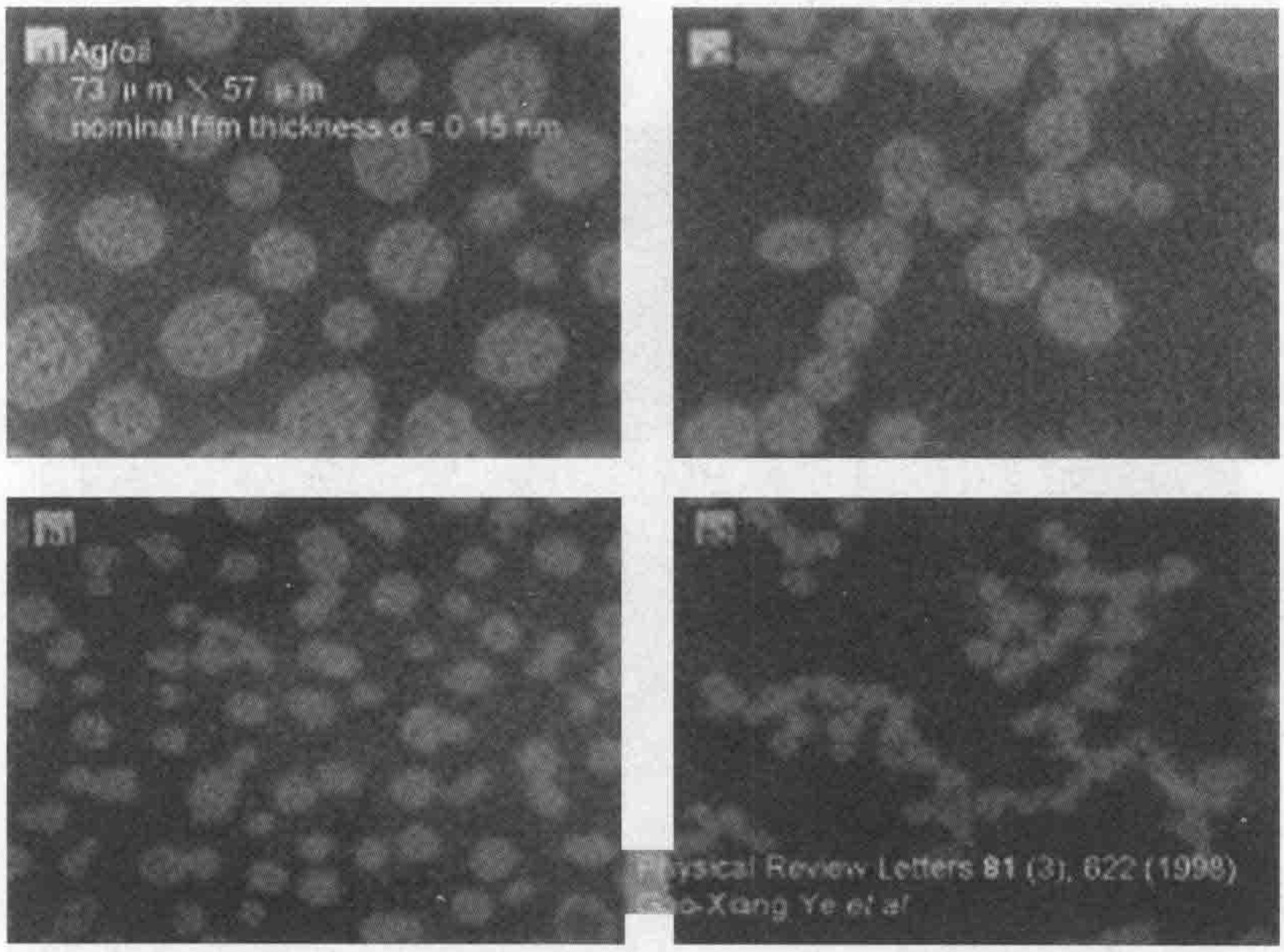

图 1　沉积在硅油表面银原子的凝聚规律系列照片

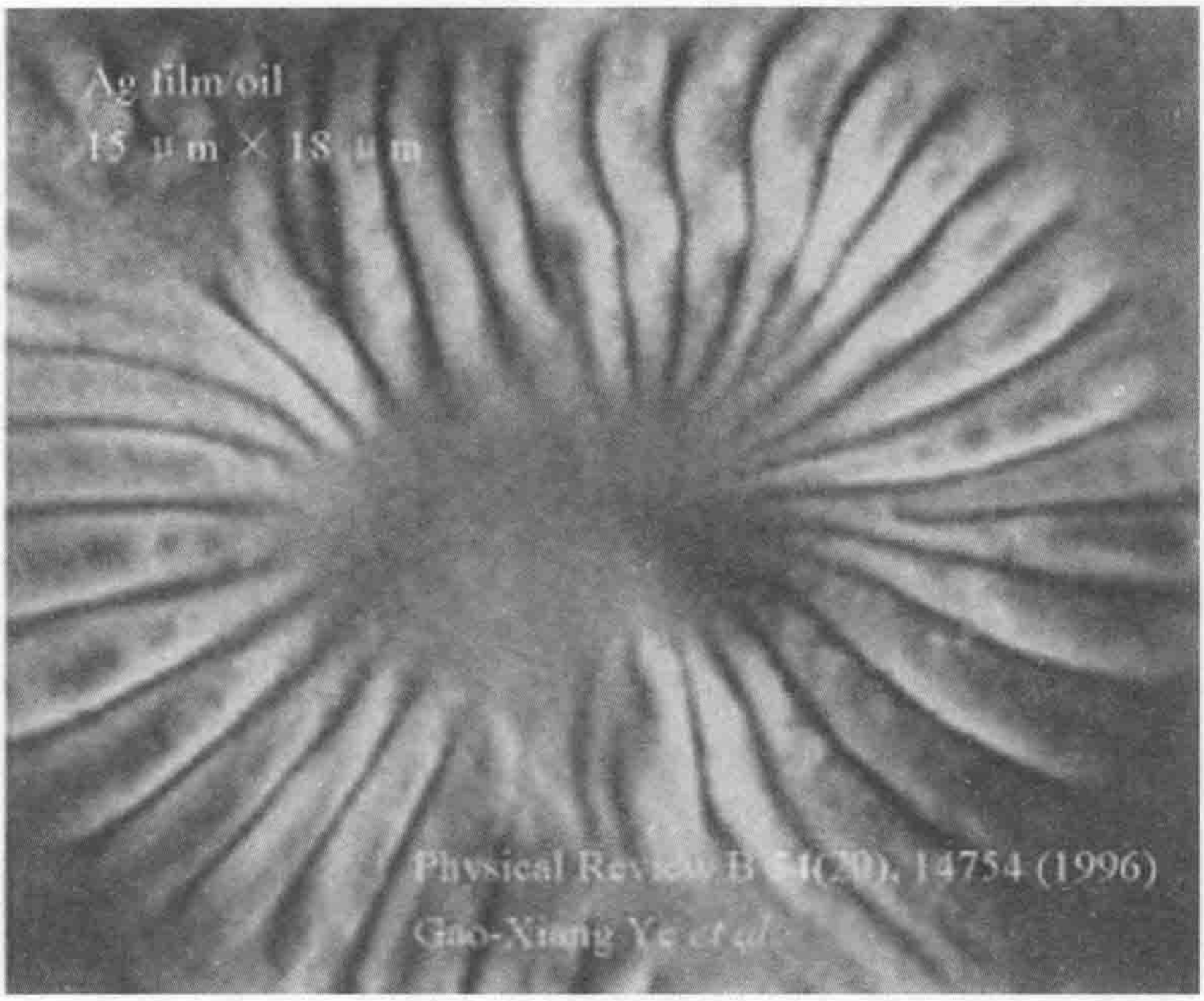

图 2　硅油表面的银原子所凝聚成的“菊花状”连续薄膜

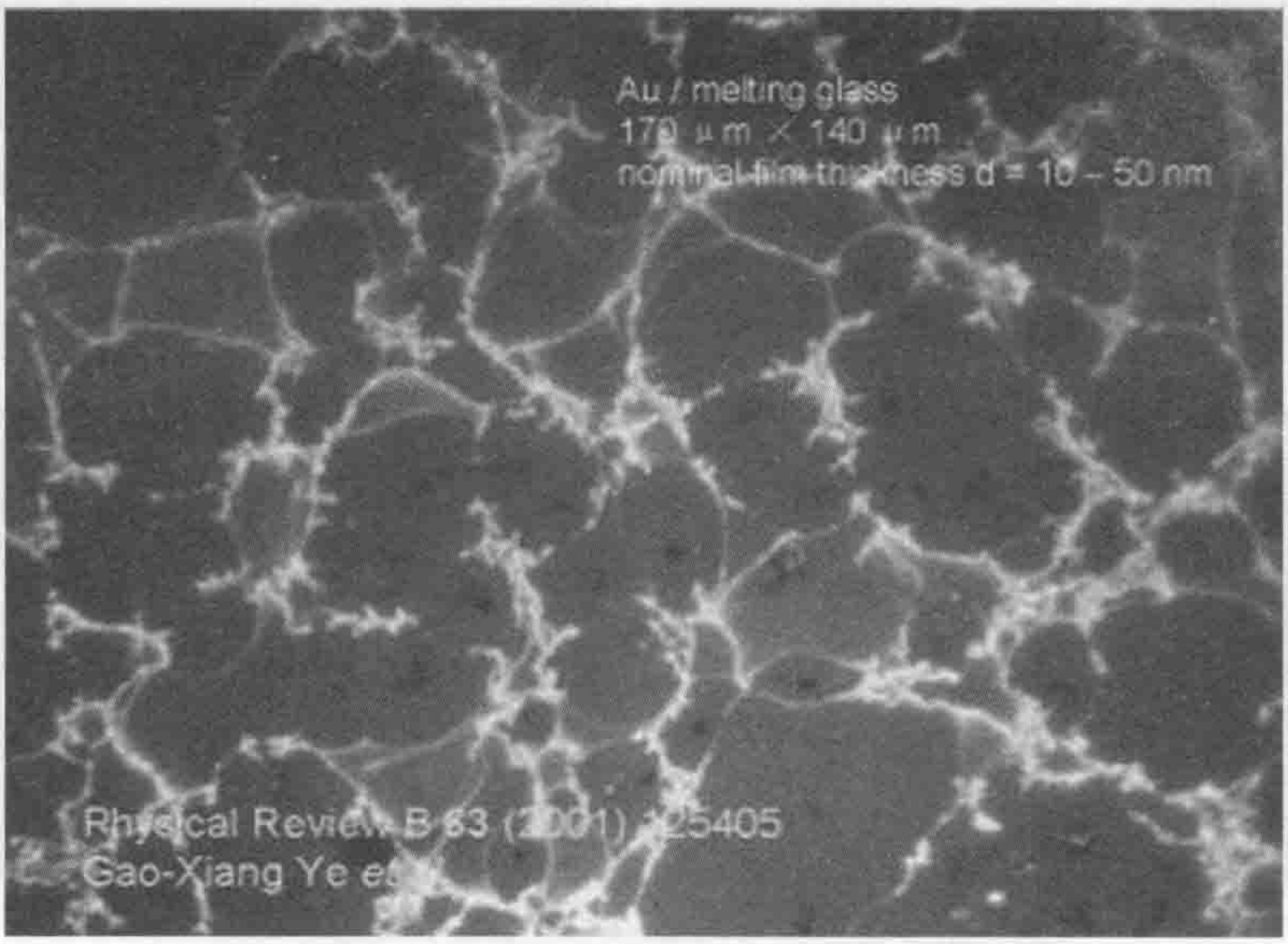

图 3　熔融玻璃表面金原子的凝聚图案似颗颗珍珠串联而成

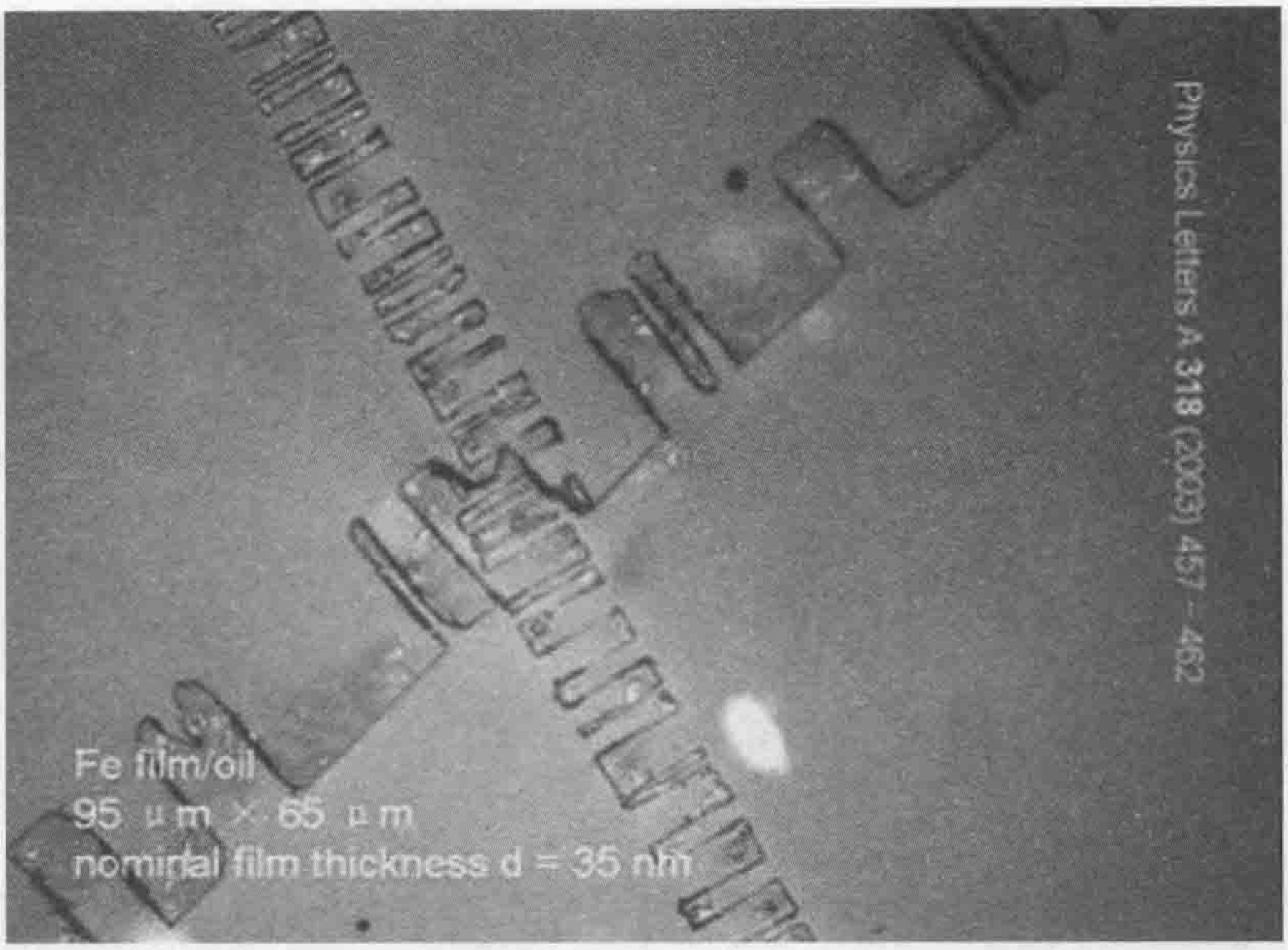

图 4 硅油表面连续铁薄膜中的准周期内应力分布图案

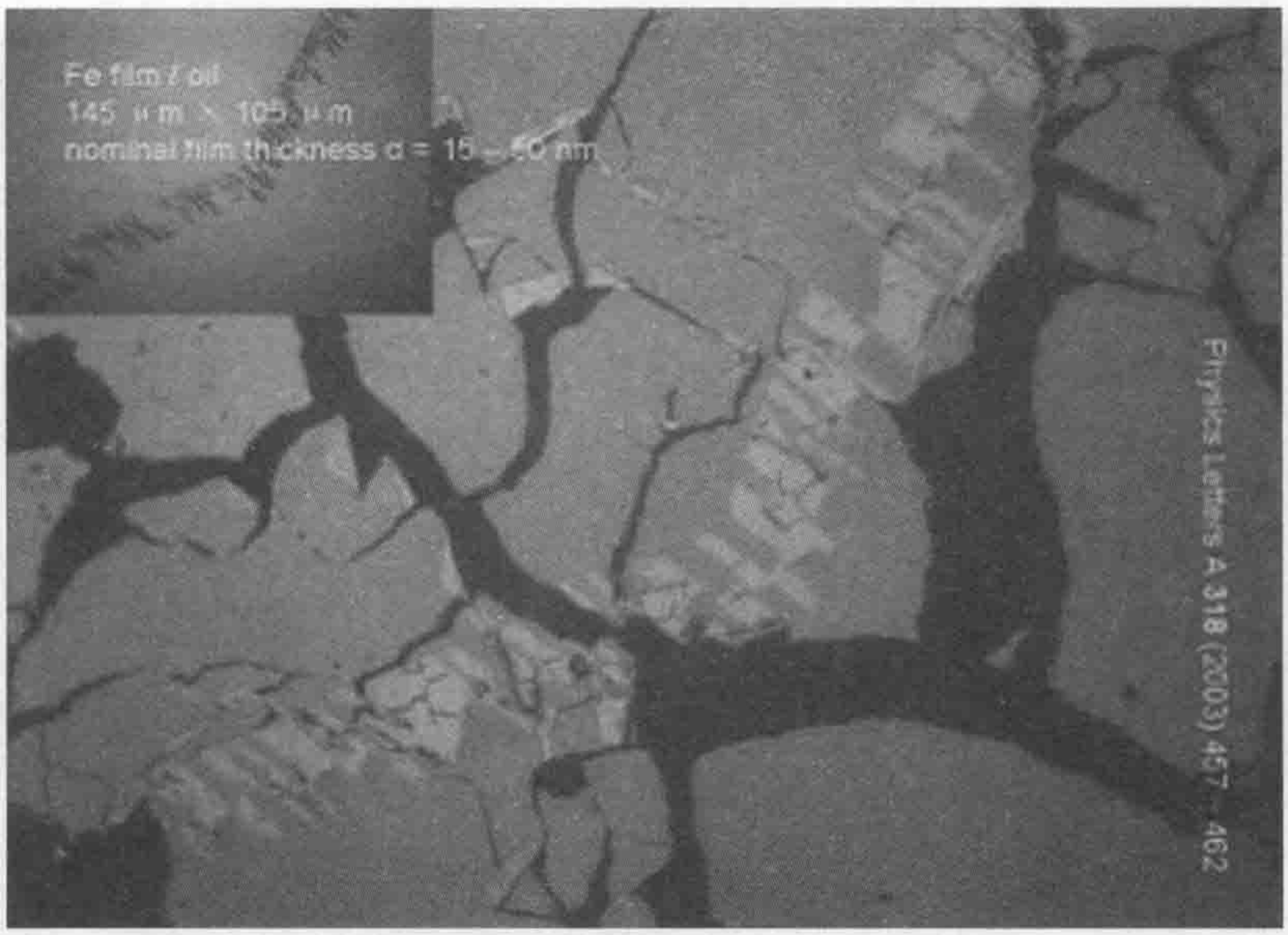

图 5 硅油表面连续铁薄膜中所呈现的酷似浙江大学“求是鹰”形貌的内应力分布图案

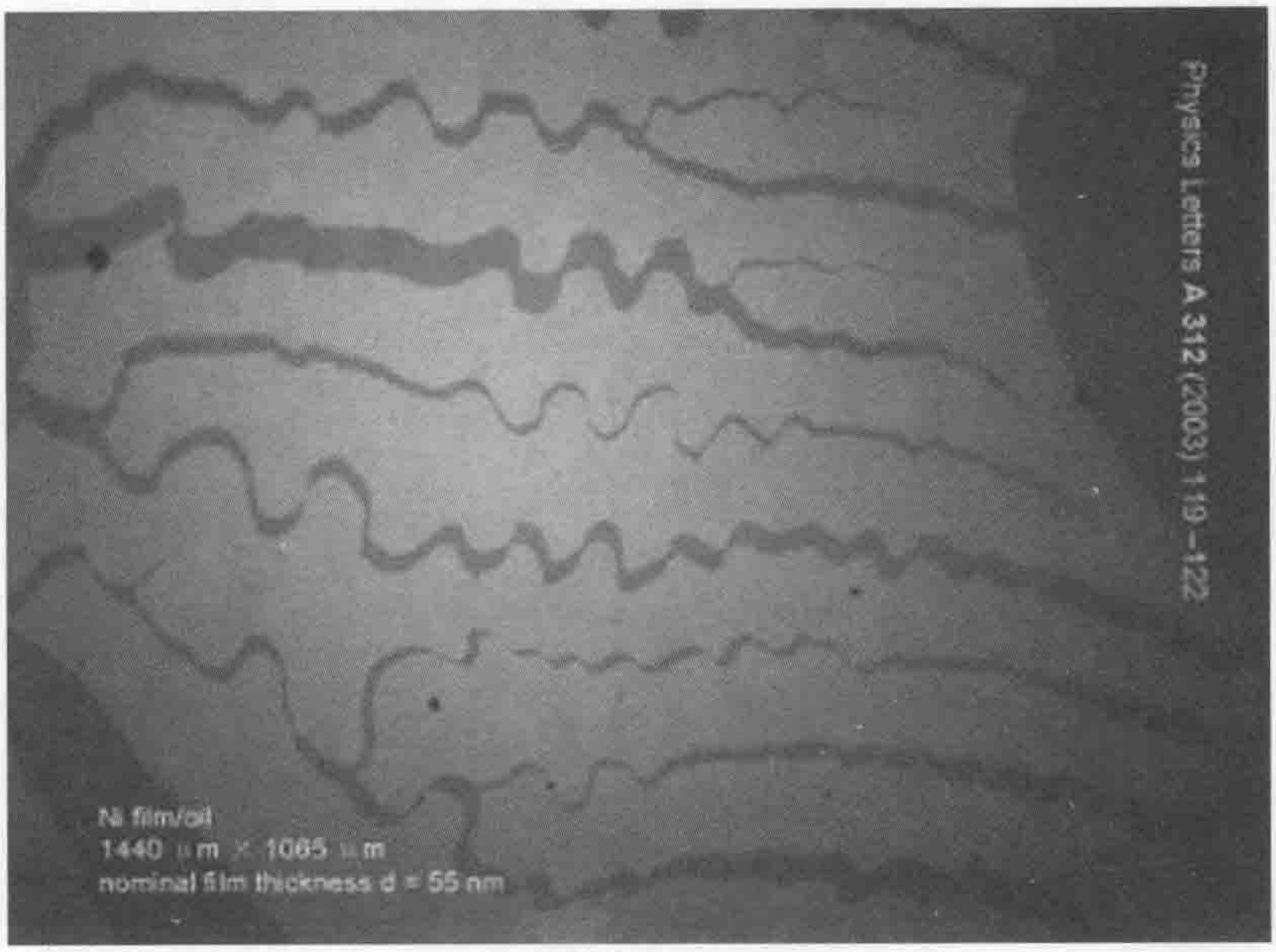

图 6　生长在硅油表面连续镍薄膜所呈现的振荡式内应力分布图案

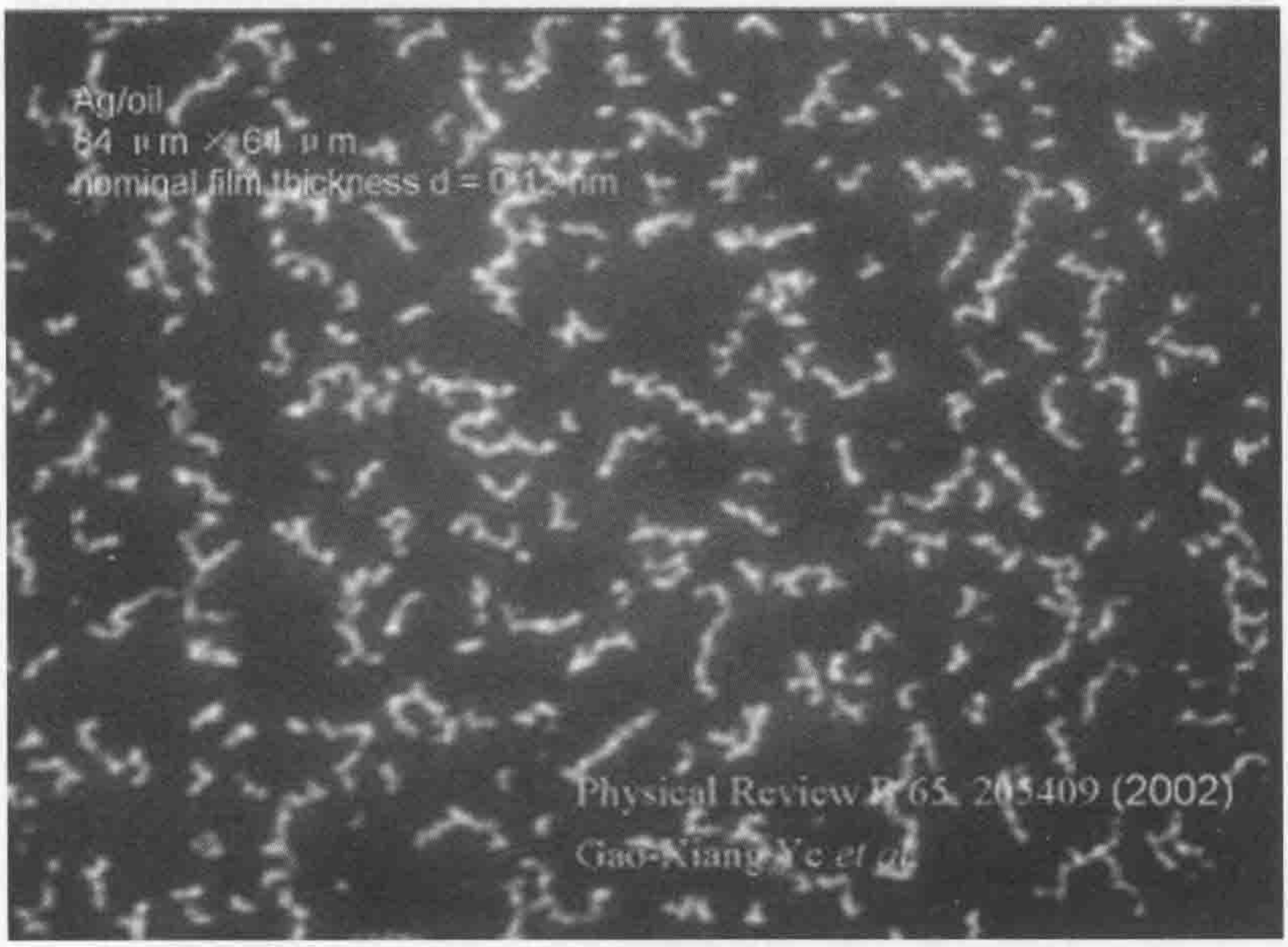

图 7　生长在硅油表面的“窗花式”银原子凝聚体

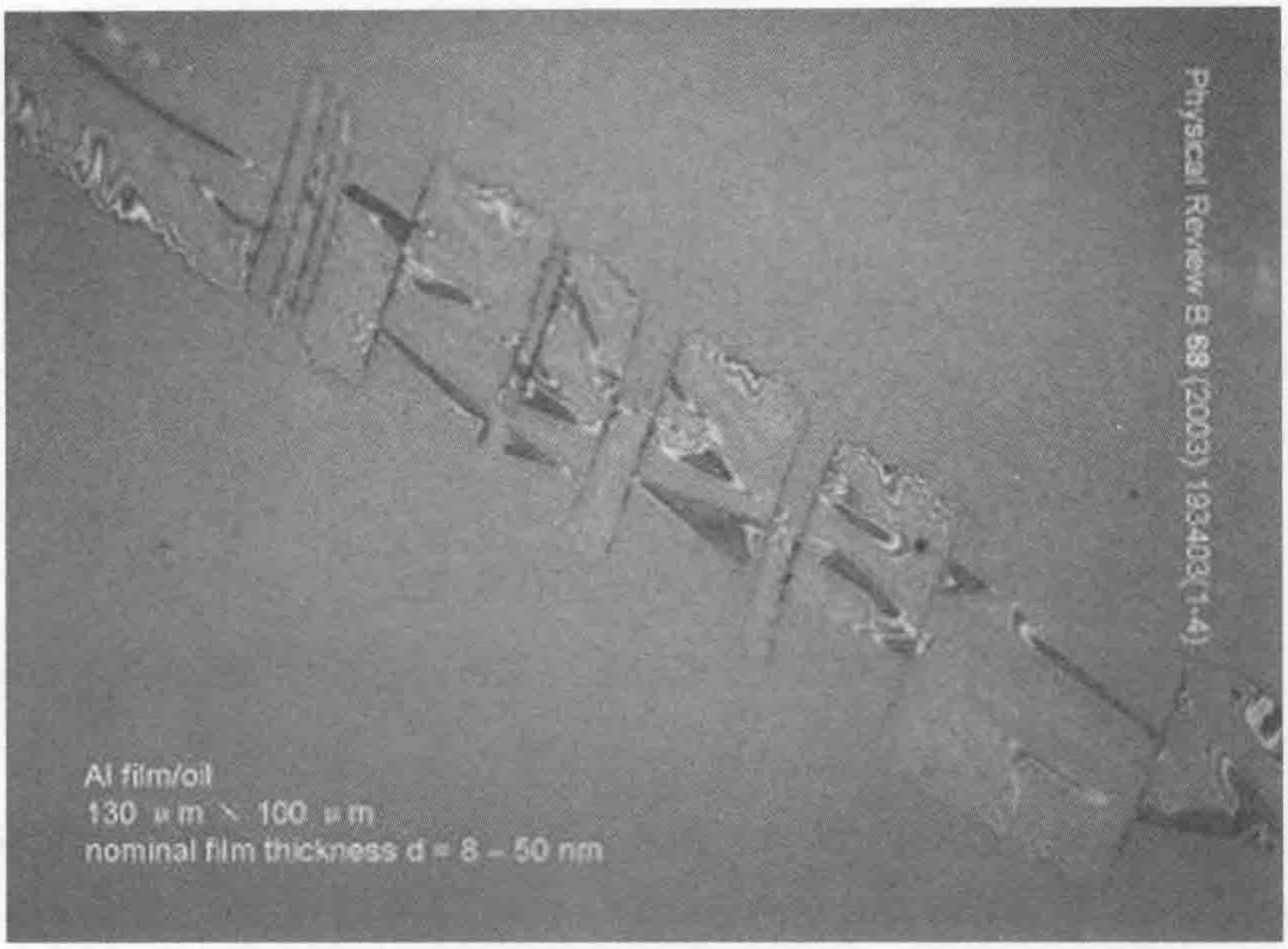

图 8　硅油表面连续铝薄膜所呈现的准周期内应力分布图案

讨论题

1. 经验科学和精确科学各自有何特征及优缺点?

2. 何谓伽利略科学研究范式? 其有效性如何证明? 它对精确科学的发展有何作用?

3. 在科学研究过程中,“客观、精确定量、任意可重复”的实验是检验客观真理的唯一标准,此话与我们常说的“实践是检验真理的唯一标准”有何区别?

4. 在科学研究中,实验规律的“任意可重复”与“无限可重复”的区别在哪里? 有何意义? 为什么说“可重复”是相对的,“不可重复”是绝对的?

5. 从事科学研究,既要学会全面、联系、运动地看问题,也要学会片面、孤立、静止地看问题,为什么?

6. 何谓归纳推理、演绎推理和形而上学研究方法? 它们各有哪些不可避免的逻辑漏洞? 为什么它们仍然被广泛采用?

7. “科学否定”有哪些主要特征?

8. 在科学创新过程中,“思想是第一位的!”谈谈你对此的看法。

9. 试论述“条件好坏”与“成就大小”之间的辩证关系。

10. 宇宙的奥秘是不可穷尽的?

11. 宇宙客观真理往往由偏微分方程描述,且显含对称、统一、简洁等美学要素。为什么?

12. 为什么微积分理论及精确科学源自西方而不是东方?

13.“科学假说”的“猜测”需要哪些前提条件？科学“灵感”是如何产生的？

14. 试论述“定量”与“定性”之间的区别及辩证关系。

15. 试论述“有限”与“无限”之间的辩证关系。

16. 试论述“决定论”与“概率论”描述之间的本质区别及关联，它们各自的根源是什么？

17.“精确是相对的，不精确是绝对的！”谈谈你对此的看法。

18.“线性是相对的，非线性是绝对的！”谈谈你对此的看法。

19. 宇宙真理与美之间是否有必然联系？

20.“在宇宙之魂的最高境界，所有学科相互贯通！”请你谈谈对此的看法。

21.“心诚则灵，不诚则不灵！”请从科学角度谈谈你对此的看法。

22.“人类科技发展必须与人类自身人文进化同步！”谈谈你的看法。

23. 宇宙文明之火燃起是“多起点”还是“单起点”？哪一种可能性更大？谈谈你的见解。

24. 宇宙演化全过程的“主宰者”是一种规律吗？地球及宇宙文明是否事先精心设计？

参考文献

[1]〔英〕波普尔著，查汝强、邱仁宗译 . 科学发现的逻辑 . 北京：科学出版社，1986

[2]〔英〕休谟著，关文运译 . 人类理解研究 . 北京：商务印书馆，1957

[3]〔美〕托马斯·库恩著，金吾伦、胡新和译 . 科学革命的结构 . 北京：北京大学出版社，2003

[4]〔美〕詹姆斯·格雷克著，张淑誉译 . 混沌：开创新科学 . 北京：高等教育出版社，2004

[5] 赵凯华，罗蔚茵 . 新概念物理（系列丛书）. 北京：高等教育出版社，1998—2008

[6] 盛正卯，叶高翔 . 物理学与人类文明（第二版）. 杭州：浙江大学出版社，2006

打破文理界限，用浅显的文字讲述深刻的科学思想；促进学科交叉，用综合的思维展现深邃的科学哲理。

在本书的二十四节思辨课程中，作者淡化人文社科与自然科学之间的界限，将科学与哲学、艺术、文学、心理学、科幻等诸多学科相互关联，并将科学法则、思辨范式、探索规律、科学与人文融合等作为一种文化进行理性阐述。因之，本书适合作为大专院校大学生的文理交叉类通识课程教材，也适合人文、理工科以及社会科学工作者阅读。



上架建议：哲学·教育

ISBN 978-7-100-

9 787100 106948 >

定价：36.00元