

科学的进步 ——表现与动力

张九庆 著



科学技术文献出版社
SCIENTIFIC AND TECHNICAL DOCUMENTATION PRESS

科学的进步 ——表现与动力

张九庆 著



科学技术文献出版社
SCIENTIFIC AND TECHNICAL DOCUMENTATION PRESS

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

科学的进步：表现与动力/张九庆著. —北京：科学技术文献出版社，2014. 10
ISBN 978-7-5023-9470-7

I. ①科… II. ①张… III. ①科技发展—世界 IV. ①N11

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 216064 号

科学的进步——表现与动力

策划编辑：丁坤善 责任编辑：赖绳忠 责任校对：赵 媛 责任出版：张志平

出 版 者 科学技术文献出版社
地 址 北京市复兴路15号 邮编 100038
编 务 部 (010) 58882938, 58882087 (传真)
发 行 部 (010) 58882868, 58882874 (传真)
邮 购 部 (010) 58882873
官 方 网 址 www.stdp.com.cn
发 行 者 科学技术文献出版社发行 全国各地新华书店经销
印 刷 者 北京厚诚则铭印刷科技有限公司
版 次 2014 年 10 月第 1 版 2014 年 10 月第 1 次印刷
开 本 710×1000 1/16
字 数 190千
印 张 11.5
书 号 ISBN 978-7-5023-9470-7
定 价 38.00元



版权所有 违法必究

购买本社图书，凡字迹不清、缺页、倒页、脱页者，本社发行部负责调换

序 一

科学是我们认知自然的源泉，也是让我们眼花缭乱的各种新技术、新产品层出不穷的知识基础。她改变了我们所处的这个世界。但科学的本质是什么，科学是如何进步的，是什么样的力量推动科学进步的，这些问题一直是理论界争论和探索的问题。

张九庆的《科学的进步——表现与动力》这本新著，试图通过对一个又一个生动案例的剖析，将这种思考引入更为广阔的历史图景中。他认为：科学的进步在本质上表现为一代又一代科学家给出更加令人信服的描述、解释、预测和实现这些的方法；科学共同体内辩护能力、技术水平、相互之间的竞争和合作，是影响科学进步的内在因素；基础科学的应用、科学带来的巨大利益、政府支持科学发展的制度和科学家所处的时代和地域的社会文化，构成了影响科学发展的外在因素。他的结论是，科学进步是个受多种因素影响的、较为缓慢渐进的过程，这或许为我们理解“近五百年来为什么西方的科学发达而中国的科学较为落后？”这样的命题，提供了某种新的思路和视角。

张九庆从地球形状、光学现象、化学元素发现、量子理论、进化论、望远镜技术、基因研究、中微子科学、密码学、药理学、超导研究、解剖学乃至中医学等学科领域的发展历程引导我们一路看来，通过科学史上的案例来展开和支撑自己的观点。

当然，用个案来分析问题，有一个固有的缺陷，因为其他人很可能找到反例来否定作者得到的结论。仁者见仁智者见智，我认为，张九庆的探索也能为人们带来非常有价值的启示。例如，观察当前中国科学的进步，在注重科学论文数量 and 创新能力总体排位的时候，也要注重一些更为基础的东西，比如：科学家是否真的为科学进步贡献了新的描述、解释、预测和方法？现行的科技人才政策、科技项目管理政策、创新制度和文化环境等因素是否与科学进步的动力机制相



匹配？

张九庆的本职工作是负责编辑出版《中国科技论坛》，这是一本科技部主管、我院主办的在科技政策和科技管理领域颇有影响的学术刊物。在编辑之余，在没有项目和经费资助的情况下，他一直对科学共同体、科学普及、科研不端行为等问题进行着思考并著述甚丰，这是十分令人钦佩的。

我乐见此书的出版，并荣幸受张九庆之邀为此书作序。

王 元

中国科学技术发展战略研究院常务副院长、研究员

序 二

当人们说“以史为鉴”时，通常想到的是政治史、社会史、经济史。其实，在科技领域，科技史对后人的借鉴作用也是巨大的。

从宏观方面说，了解了科技史，就不容易在制定国家科技政策和重大科技计划时犯好大喜功的错误。例如，美国国立癌症研究所在 1981 年制定了“向癌症开战”的计划，期望在五年内治愈癌症，耗资几十亿美元。但直到今天，癌症的发病机制并未彻底弄清，可见，他们当时提出的目标是太不切实际了。

从微观方面说，熟悉了科技史，科技人员就能将本学科、本领域的发展逻辑了然于心，从而对自己的科研选题和研究路径选择大有裨益。尤其是通过了解历史上著名科学家的生活经历、成败缘由，科技人员可以将自己的职业发展之路走得更稳健。

在科技史文献中，科学家传记（包括自传）具有特殊的地位。科技史学的著作需要勾画出历史发展脉络的大轮廓，科学家传记则提供了对科技史上重要人物和事件的“深描”。科技史学著作和科学家传记著作放到一起来阅读，有助于我们真切、具体地把握科技史。

张九庆一向注意研读科学家传记，并从中梳理出值得后人借鉴的东西。早在 2002 年 12 月，他精心撰写的 45 万字的著作《自牛顿以来的科学家：近现代科学家群体透视》就由安徽教育出版社推出。我本人还算是对外科技史比较关注，并不时浏览一些科技史书刊的，但这本书里仍然有不少我不知道的故事，读起来兴味盎然。

最近，张九庆的新著《科学的进步——表现与动力》就要由科学技术文献出版社推出，闻之不胜欣喜。该书共十五章，以地学、光学、化学、量子物理学、进化生物学、天文学、生物学、密码学、解剖学、针灸学等学科发展中的真实故事为案例，论述了描述、解释、预测、方法、辩护、技术、竞争、合作、利益、应用、制度、文化等因素与科学进步的关系，令人眼前一亮。如果说，《自牛顿以



来的科学家：近现代科学家群体透视》主要对科研人员个体有帮助的话，那么现在这本新著则不仅能够给科技史、科技社会学和科技哲学学者以及普通自然科学与工程技术人员提供有趣的资料，还能给科技管理者和科技决策者带来较多的启迪。

张九庆爱写作，不仅涉足鸿篇巨制，也试手文艺小札。他和我的供职单位都属于科技部的下属机构，在科技部系统的春节联欢会上或者群众性文艺演出活动中，我曾欣赏到他创作的小品或相声，有笑破肚皮之虞。所以，诸君可以确信，本书的文字水平是不会差的。

这年头，谁都忙。如果我们没有时间直接阅读大量的科技史著作和科学家传记，则读一读像张九庆写的这样的书，也一定有收获。这好比，做不到多吃蔬菜水果的话，服用一两片维生素药片也行。

中国老话说：“帮人帮到底。”张九庆曾请我对这本书的初稿提修改意见，现在他又嘱我为其写序，在下就当仁不让了。

是为序。

武夷山

中国科学技术信息研究所研究员

第一章 科学进步的表现及其动力——一个概要的框架.....	1
1 关于科学进步的叙述框架.....	1
2 科学进步与科学家动力.....	3
3 科学进步与科学共同体动力.....	5
4 科学进步与社会动力.....	8
5 科学进步的总体表现及其动力.....	10
第二章 描述与科学进步——以地球形状与大小描述为例.....	12
1 描述与科学.....	12
2 基于感官的描述：地球是方的.....	14
3 基于思辨的描述：地球是圆的.....	14
4 基于测量与理论的描述：地球是个扁球体.....	16
5 基于数学的描述：更精确的椭球体.....	18
6 基于卫星技术的描述：梨形地球？.....	19
7 不确定性下的描述：变化的地球形状？.....	20
8 结语：科学进步中的描述.....	21
第三章 解释与科学进步——以光学现象解释为例.....	23
1 解释与科学.....	23
2 解释看见光：基于光的进入说与发出说.....	24
3 解释光的反射和折射：牛顿微粒说更为成功.....	25
4 解释干涉与衍射现象：光是波才是更合理的理论假设.....	27



5	解释光的偏振现象：光是一种横波.....	29
6	解释介质中光速变化与声波不同：光是电磁波不是机械波.....	29
7	解释光电效应：光是一种光量子.....	30
8	光子的特性：解释光学现象的简明基础.....	31
9	结语：什么是科学中的解释.....	32
 第四章 预测与科学进步——以化学元素发现为例.....		34
1	预测与科学.....	34
2	门捷列夫之前元素的发现.....	35
3	元素周期律的发现.....	36
4	门捷列夫对新元素的预测.....	37
5	元素周期表的完善：惰性元素的发现.....	39
6	从原子量排序到原子序数排序.....	39
7	铀后元素大发现：西博格的预测.....	41
8	元素周期表的延伸：元素稳定岛的预测.....	41
9	元素周期表的尽头：119号元素及以后.....	42
10	结语：科学进步中的预测.....	43
 第五章 方法与科学进步——以量子论发展为例.....		45
1	方法与科学.....	45
2	基于观测的归纳：黑体辐射中的实验数据.....	47
3	基于假设的演绎：能量子与光量子的提出.....	47
4	对应原理与类比推理：玻尔的量子理论与德布罗意波.....	48
5	数学推理与美学原则：波动力学、矩阵力学及其统一.....	49
6	基于统计的推理：波函数及其几率解释.....	50
7	非确定与整体论：测不准原理与互补原理.....	51
8	思想实验：EPR悖论与薛定谔的猫.....	51
9	结语：科学的多元方法与科学进步.....	53
 第六章 辩护与科学进步——以达尔文进化论为例.....		55
1	辩护与科学.....	55
2	达尔文以前的进化学说.....	56

3 达尔文的进化论	57
4 达尔文的辩护策略：基于《物种起源》的文本分析	59
5 赫胥黎应对来自宗教的辩护	61
6 科学上的争论与辩护	62
7 进化论者在科学方法上的辩护	64
8 结语：对科学进步的辩护	65
 第七章 技术与科学进步——以望远镜技术与天文发现为例	68
1 技术与科学	68
2 肉眼观测与观天仪器	69
3 折射望远镜及其天文发现	71
4 反射式望远镜及其天文发现	72
5 复合望远镜与望远镜技术进一步发展	74
6 射电天文学望远镜及其科学发现	75
7 空间望远镜及其科学发现	76
8 高能量波段望远镜	77
9 总结：技术如何影响天文科学	77
 第八章 竞争与科学进步——以基因研究为例	80
1 竞争与科学	80
2 竞争中的遗传物质：蛋白质还是 DNA	81
3 竞争中的 DNA 结构	83
4 竞争后的克里克与沃森	85
5 继续竞争中的遗传物质：RNA 还是蛋白质	86
6 人类基因组测序中的竞争	87
7 结语：竞争中的科学进步	88
 第九章 合作与科学进步——以中微子研究为例	90
1 合作与科学	91
2 中微子的预言：两个物理学家的贡献	92
3 中微子的观测：莱茵斯与柯万的合作	92
4 两种中微子：莱德曼等三位科学家	94



5	中微子失踪之谜：戴维斯及其合作者.....	94
6	超新星中微子：小柴昌俊团队与莱茵斯团队.....	95
7	只有三种中微子：佩尔与丁肇中团队.....	96
8	验证中微子振荡：更多、更大的团队.....	97
9	中微子超光速：OPERA 的新发现还是误差.....	98
10	结语：高能粒子研究的特点与未来.....	99
 第十章 应用与科学进步——以密码学为例.....		103
1	应用与科学.....	103
2	密码学的基本知识.....	104
3	人工时代的密码学.....	105
4	机械时代的密码学.....	106
5	电气时代的密码学.....	107
6	计算机时代的密码学.....	110
7	网络与移动通信时代的密码学.....	111
8	未来的密码学发展：量子密码学与生物密码学.....	113
9	结束语：应用是科学进步的动力.....	114
 第十一章 利益与科学进步——以抗微生物药物学为例.....		116
1	利益与科学.....	116
2	微生物与疾病关系的建立：巴斯德与科赫.....	117
3	化学合成药物的出现：606 与百浪多息.....	118
4	抗生素药物的产生：青霉素与链霉素.....	120
5	抗病毒疫苗与药物.....	121
6	未来的抗微生物药物研发.....	124
7	结语：科学进步中的利益驱动.....	125
 第十二章 制度越宽容科学越进步——以超导研究为例.....		127
1	制度与科学.....	127
2	昂内斯发现超导现象：大学的基础研究传统.....	128
3	伦敦方程：被遗忘的兄弟与纳粹对科学的危害.....	130
4	GLAG 超导理论：科学的不幸与幸运.....	131

5 BCS 超导理论：人才流动与自由研究的胜利	133
6 隧道现象与约瑟夫森效应：年轻研究者的学术穿越	135
7 高温超导材料的出现：企业研发与研究竞赛	137
8 结语：制度如何适应科学发展	138
 第十三章 文化与科学进步——以中西人体解剖学发展为例	140
1 文化与科学	140
2 古代解剖学：古希腊思想的传承	141
3 中世纪解剖学：西方大学医学教育的昌盛	142
4 文艺复兴前期解剖学：艺术的影响	143
5 近代解剖学：实验科学的兴起与科学精神的确立	144
6 17 ~ 19 世纪解剖学：科学共同体的出现与解剖的合法化	146
7 20 世纪解剖学：现代科技的支撑与开放的文化	148
8 结语：为什么近代科学未在中国产生	149
 第十四章 科学进步的综合因素——针灸学何以能进步	151
1 中医的存废问题与科学的划界	152
2 针灸学发展进入从传统到现代的过渡时期	153
3 从理论、诊断和治疗比较针灸学与西方现代医学	153
4 现代针灸学进步的核心：描述、解释、预测、方法	156
5 现代针灸学进步的科学家力量：辩护、技术、竞争、合作	157
6 现代针灸学进步的社会力量：利益、应用、制度、文化	158
7 结语：现代针灸学与综合的力量	159
 第十五章 科学进步的未来——一个比喻性的总结	161
1 科学进步与技术创新	162
2 科技创新与经济社会发展	163
3 科技创新面临的内外部威胁	164
4 一个比喻的描述：科技创新的种子、土壤和环境	165
5 中国科技创新的未来	169

第一章 科学进步的表现及其动力—— 一个概要的框架

2012 年，中国科学技术发展战略研究院首次发布了《2011 年度国家创新指数报告》，测算了 40 个国家的创新指数。40 个国家的研究与发展经费占有统计数据的 112 个国家总量的 98%。中国的创新指数排名为第 21 位。其中，主要科技指标排名却要高得多：研究与发展经费总量位居世界第 4 位，研究与发展人员总量位居世界第 1 位，被 SCI（科学引文索引）数据库收录的论文数居第 2 位，论文被引用次数排在世界第 7 位。而 30 年前，被 SCI（科学引文索引）数据库收录的论文数可能排名在第 30 位左右。

这个科技指标的排名结果似乎与人们心目中的中国科学进步期望相差甚远。一个简单的判定是，在代表科学水平最高的诺贝尔科学奖项之中，中国籍的科学家至今仍无一人获奖，而国家创新指数比中国排名靠后的印度、巴基斯坦、南非等国有本国国籍的诺贝尔奖获得者。

显然，判断一个国家的科学进步不能简单地只依靠科研经费投入、科研论文数量和诺贝尔获奖人数这样的定量指标。采取定性描述的方法，可能会更好地理解科学进步的本质特征及其影响因素。

1 关于科学进步的叙述框架

科学既有自己的发展轨迹，又有自己的发展动力。人们需要辨析的是：导致科学进步的内在的、不受外界干扰的真正动力是什么，也就是说，是什么使得科学家在选择一个与此竞争的理论时，认为自己的选择是合理的；或者更宽泛地，应如何理解科学家所宣称的科学发现是进步的，这个进步的科学发现又如何被科学共同体所接受、所左右。人们还需要辨析的是：科学进步在哪些方面、在多大



的程度上以及如何受到经济社会等众多因素的影响。对科学是如何进步的这一问题，已经有很多的学者进行了回答。

科学史学家把科学作为关于自然的系统化知识，通过撰写各个学科史、科学编年史等专著，来回答科学的进步问题。这些科学史学家的作品包括：劳厄的《物理学史》、柏廷顿的《化学简史》、伏古勒尔的《天文学简史》、萨顿的《希腊划时代的科学与文化》、丹皮尔的《科学史》、梅森的《自然科学史》、沃尔夫的《十六、十七世纪科学、技术和哲学史》《十八世纪科学、技术和哲学史》、李约瑟的《中国科学技术史》、席宗泽主编的《科学编年史》，等等。

科学哲学家则把科学当成一种认知活动。通过探讨科学的合理性及其合理性判定规则的变化等，来回答科学的进步问题。这些科学哲学家的作品包括：库恩的《科学革命的结构》、波普尔《科学发现的逻辑》、拉卡托斯《科学研究纲领方法论》、费耶阿本德《无政府主义》、劳丹《进步及其问题》、柯瓦雷《伽利略研究》、查尔默斯《科学究竟是什么》，等等。

科学社会学家则把科学当成一种建制活动。通过描述科学如何职业化、科学知识如何社会化等，来回答科学的进步。这些科学社会学家的作品包括：贝尔纳的《历史上的科学》、默顿的《十七世纪英格兰的科学、技术与社会》和《科学社会学》、齐曼的《真科学：它是什么，它指什么》、夏平的《科学革命》，等等。

还有一些学者，统一在科学技术社会论的旗帜下，交叉融合众多学科的知识，来回答科学的进步问题。贾撒诺夫、马克尔、彼得森和平奇等人编写的《科学技术论手册》集合了这类学者的观点，西斯蒙多的《科学技术学导论》对此类观点做了一个简明扼要的概要叙述。

本章参考这些学者的研究成果，对科学进步的问题，尝试性地给出一个包含 12 个因素的综合叙述框架。在这个框架中，科学可以简单地被认为是一种系统知识和认识论；科学进步表现为描述、解释、预测和方法的进步，科学进步的动力主要来自于科学家；科学也可以被认为是一种社会建制活动和职业化进程，科学进步表现为辩护、技术、合作和竞争的进步，科学进步的动力主要来自于科学共同体；科学还可以被看成是一种权利、权威和影响力的展现，科学进步表现为应用、利益、制度和文化的进步，科学进步的动力主要来自于整个社会。在这 12 个因素的综合作用下，一个国家、一段时期、一个学科领域的科学进步才得以螺旋式上升。

随后的各章将以 12 个领域的科学历史为案例，来概略性地叙述各个因素对科学进步的影响。

2 科学进步与科学家动力

毫无疑问，科学进步最原始、最核心的动力来自于人们对于世界、自然的认知的欲望：这个世界是什么，如何构成？我们见到的现象如何发生，为何发生？我们将来的世界将变成怎样，今天看到的现象明天是否继续发生？诸如此类的问题，需要我们做出回答。当我们回答了上述问题的时候，如何判断我们的回答是正确无误的？使用合理的方法，对自然及其现象进行描述、解释、预测，构成了科学的核心（见图 1-1）。

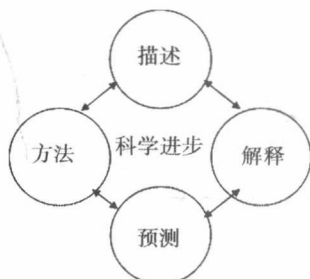


图 1-1 科学家动力图

2.1 描述与科学进步

科学的首要任务是认识自然，回答我们周围的世界是什么、有什么、由什么组成等问题。人类首先通过感官世界也就是视觉、听觉、味觉、嗅觉和触觉来认识自然中的万事万物。把能感知到的东西用语言、符号、图形、文字记录下来，便成为最初的科学描述。如果这种科学描述被别人所接受，那么科学描述就成为科学事实。

科学进步体现为不断增强的科学描述。从描述外部到描述内部，从描述局部到描述整体，从描述静态到描述动态，从模糊描述到精确描述，从定性描述到定量描述，从分类描述到归纳描述，科学家使用的专业术语、概念、公式、模型、理论也越来越复杂，越来越系统，描述的深度、广度逐渐深入。

2.2 解释与科学进步

人们不但要求科学能回答某个具体的问题，解释新发现的事实，而且要能够说明和解释已知的全部事实。科学进步的体现在于，科学家对描述的科学现象和事实提供了越来越强大的解释力。



一个生命体何以有某种行为，这需要科学家提供动机解释；一个组织、一个构件有何用，这需要科学家提供功能解释；某一个因素将导致怎样的结果，这需要科学家提供因果解释；一个事物何以由此构造，这需要科学家提供结构解释。对某一类现象出现的频率需要统计解释。

解释是基于理论的演绎推理。一个科学理论、解释所需要的限制条件越少，就表明它的解释能力越强，这个科学理论越进步。这个科学理论在纳入前一个理论的合理内容之后，将取代前一个科学理论。

2.3 预测与科学进步

如果说解释是面向已有科学事实的研究活动，则预测便是面向未来的研究活动。通过对各种逻辑推理和影响因素的分析，科学家要对尚未发现的事物或现象做出预测，或者对满足某种条件、未来定会发生的现象做出预测。科学进步体现为新出现的科学理论比原来的理论的预测力更大，如预测结果更准、预测数量更多、预测的空间和时间跨度更大，等等（见图 1-2）。

门捷列夫的元素周期表不只是将已经发现的元素进行重新描述，解释了它们的基本性质。更重要的是，元素周期表作为一个科学发现，表现出极大的预测力，预测出了当时未发现的多种元素。

物理学家狄拉克将相对论应用在量子论上导出狄拉克方程式。这个方程具有极大的预测力，预测出每一种基本粒子都有反粒子存在（有时反粒子和粒子是同一种粒子，例如光子）。随后，正电子、反质子、反中子等相继被发现。

$$E=MC^2$$



图 1-2 据说爱因斯坦是在骑车时想到 $E=mc^2$ 的

2.4 方法与科学进步

早期的科学进步来自于感性认识和经验认识，其科学方法主要是观察和试验。近代科学被许多科学史学家认为是从伽利略开始的。自伽利略以来，科学进步走上数理方法和实验方法相结合的道路，无论是牛顿力学还是爱因斯坦相对论，无论是基本粒子理论还是分子生物学。在数理方面，归纳与分析方法、统计与系统方法、模型模拟与虚拟推演等，在科学理论的假设提出中得到广泛应用；在实验方面，实验规模越来越大，仪器精度越来越高，实验种类增加，综合性增强，实验数据分析手段越来越强，使以数理推演为主的科学假设得到验证成为科学理论。

在数理方法与实验方法之间，还有一种思想实验或称为抽象实验的方法，如有名的电磁学中的麦克斯韦、爱因斯坦狭义相对论中的孪生子悖论、量子力学中的薛定谔之猫、量子力学中的爱因斯坦－波多斯基－罗森悖论、人工智能研究中的图灵测试，等等。

3 科学进步与科学共同体动力

科学进步不只是一个或者独立的科学家完成的。从早期的无形学院，到现代的科研组织，科学进步是科学共同体来完成的（见图 1-3）。或者说，科学的进步必然受到科学共同体内认可的科学方法、科学共同体内的竞争和科学共同体的组织化运行等的推动。由于这些进步来源于科学共同体，故可称之为科学进步的“共同体动力”。

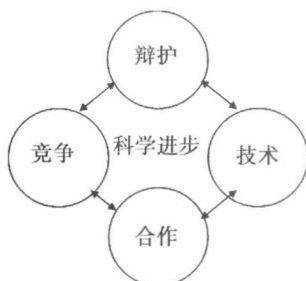


图 1-3 科学共同体动力

3.1 辩护与科学进步

对于科学事实的重新描述和解释，包括：确定这些科学事实所适应的特殊的