

科学研究中的 Method Innovation in the Science Research 方法创新

中国21世纪议程管理中心 著
中国科学院研究生院



社会科学文献出版社
SOCIAL SCIENCES ACADEMIC PRESS (CHINA)

科学研究中的 Method Innovation in the Science Research 方法创新

中国21世纪议程管理中心 著
中国科学院研究生院



社会科学文献出版社
SOCIAL SCIENCES ACADEMIC PRESS (CHINA)

图书在版编目(CIP)数据

科学研究中的方法创新/中国 21 世纪议程管理中心, 中国科学院研究生院著. —北京: 社会科学文献出版社, 2011. 8
ISBN 978 - 7 - 5097 - 2467 - 5

I. ①科… II. ①中… ②中… III. 科学方法论 - 研究 IV. ①G304

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 129476 号

科学研究中的方法创新

著 者 / 中国 21 世纪议程管理中心
中国科学院研究生院

出 版 人 / 谢寿光

总 编 辑 / 邹东涛

出 版 者 / 社会科学文献出版社

地 址 / 北京市西城区北三环中路甲 29 号院 3 号楼华龙大厦

邮政编码 / 100029

责任部门 / 皮书出版中心 (010) 59367127 责任编辑 / 陈 颖 吴 丹

电子信箱 / pishubu@ssap.cn 责任校对 / 邓晓春

项目统筹 / 邓泳红 责任印制 / 岳 阳

总 经 销 / 社会科学文献出版社发行部 (010) 59367081 59367089

读者服务 / 读者服务中心 (010) 59367028

印 装 / 北京季峰印刷有限公司

开 本 / 787mm × 1092mm 1/16 印 张 / 19

版 次 / 2011 年 8 月第 1 版 字 数 / 313 千字

印 次 / 2011 年 8 月第 1 次印刷

书 号 / ISBN 978 - 7 - 5097 - 2467 - 5

定 价 / 59.00 元

本书如有破损、缺页、装订错误, 请与本社读者服务中心联系更换

▲ 版权所有 翻印必究

本书系国家科技基础性工作专项“自主创新知识体系设计和
基础性建设（2007FY140100）”研究成果之一

《科学研究中的方法创新》 编委会

主	编	郭日生			
副	主	周元	周海林	胡志强	
编	委	郭日生	周元	周海林	胡志强
		肖显静	尚智丛	李斌	柯遵科
		孙雍君	孙新章	金吾伦	李醒民
		胡新和	袁江洋		

序 言

方法是科学的本质，是人类探索自然的利器。面对奥妙无穷的宇宙之谜和浩瀚繁复的自然现象，“科学方法是我们借以达到知识的唯一道路”。近代以来，正是方法上的重大革命导致了现代自然科学的产生，也正是方法上的不断创新带来了一次次科学上的重要突破。射电望远镜的发明，把对宇宙的研究带入一个全新的地带；果蝇实验的引入，使得遗传学研究得到突飞猛进的发展；X射线结构分析的诞生，对化学的各分支以及材料学、生物学等都产生了深远的影响；概率论等数学理论的完善，为研究微观世界的物理现象提供了强大的工具。现代科学史不但是科学成果发现的历史，也是发现方法创新的历史。

科学方法并不简单地等同于研究过程中的仪器、技术、程序、设备等手段，也不只是高度概括的理论性的抽象原则，而是与整个科学传统和具体的学科历史联系在一起的，与科学家面临的疑难、问题和目标，与一定时期内一个学科暗含的本体论、价值观假定密切相关。科学方法植根于科学研究的实践中，并随着科学研究实践而演变和发展。一方面，新的方法的出现会改变科学家原有的思路与途径，为解决科学问题提供新的可能性，从而导致一系列新的成果；另一方面，科学知识的积累、科学家研究实践的丰富、新的科学问题的需要也促进新的方法的创造。当达尔文乘坐贝格尔号舰考察归来，对如何解释新发现的各种地质和生物现象茫然不知所措的时候，正是马尔萨斯《人口论》促使他形成了自然选择的概念，从而提出了完整的生物进化论。狭义相对论建立后，爱因斯坦力图把相对性原理的适用范围推广到非惯性系。几年后，在他的同班同学、数学教授格罗斯曼帮助下，他才在黎曼几何和张量分析中找到了表达广义相对论思想的数

学工具，并最终完成了引力的度规场理论。

敏锐的方法意识和方法创新意识，来源于对科学实践不断的、深入的反思。现代科学奠基伊始，哥白尼、伽利略、牛顿等科学巨匠，在对新的科学理论进行艰难探索的同时，也对新的科学方法进行了有意识的反思和总结。在《天体运行论》、《两种科学的对话》和《自然哲学的数学原理》这些经典科学论著里，除了对新的科学理论进行系统阐述外，也为新的科学方法的形成和应用开拓了道路。在此之后，科学家高度重视对科学方法本身的不断探索。达尔文、爱因斯坦、费米、沃森等科学大家，在自传和其他类型的著作中，都有对科研工作中方法创新的体会。

现代西方的哲学家注重从一般性、系统性和批判性的方面，对科学方法进行总结。培根、笛卡尔这些哲学家从哲学的知识论出发，大力批判对方法论的束缚，为新的科学方法进行辩护。18世纪，法国启蒙主义哲学家对于现代科学方法的传播起到了重要作用。不管是经验主义的洛克、贝克莱、休谟，还是理性主义的莱布尼茨和康德等人，都对科学方法的性质、局限性进行过思索。在20世纪物理学革命后，逻辑经验主义哲学家波普、库恩、拉卡托斯、费耶阿本德等人，曾对科学方法进行了专门的研究。

西方现代科学大规模传入中国只有百余年的时间。许多在中国传播科学的先驱者也都非常重视科学方法的地位。严复对西方科学技术的发展曾有过评论，他说：“是以制器之备，可求其本于奈端（牛顿）；舟车之神，可推其源于瓦德（瓦特）；用电之利，则法拉第之功也；民生之寿，则哈尔斐（哈维）之业也。而二百年学运昌明，则又不得不以柏庚氏（培根）之摧陷廓清之功为称首。”任鸿隽把科学方法比喻为“科学的种子”。在他看来，“科学的本质在于方法，不在材料”。一些早期留学归国的科学家在具体从事本学科研究工作的同时，积极撰写科学方法论书籍，包括化学家王星拱（著有《科学方法论》）、现代心理学家胡寄南（著有《科学方法》）、逻辑学家汪奠基（著有《科学方法》）、数学家胡明复（著有《科学方法》）、神经生物学家汪敬熙（著有《科学方法漫谈》）。许多前辈科学家，如华罗庚、竺可桢、钱学森等，都特别注重对研究方法的总结。

但是，长期以来，我国科学界专业划分细致，学科之间界限分明。科学家共同体主要强调数学计算能力或实验操作技能，注重技能层次的方法和手段，对科学方法本身的研究没有得到充分重视，缺少对研究过程中科学方法的作用的高度敏感性，缺少对学科一般方法和特征方法的系统研究，

缺少对前沿方法和现代研究手段的建设规划。我国科技工作者跟踪模仿国外科技发展方向较多,而原始性创新,特别是能够引领世界科技发展潮流的重大科技成果还不多,缺乏重大理论突破和独创性的研究思路,缺乏开创性的学科方向。究其原因,方法意识和方法创新意识的薄弱是重要影响因素之一。

当代科学技术的发展正在呈现出新的态势。数学方法、计算机信息技术、新材料技术的发展以及学科间的交叉融合,改变了各学科的传统方法,使各学科出现了新的面貌,并推动着学科的群体性突破。同时,科学研究的对象、层次、范围在发生新的变化,对自然本身的认识、对科学方法的认识也在出现新的转变,迫切需要方法上的变革。具体讲,体现在以下三个方面:

第一,科学研究从宏观和微观上进一步扩展和深化。天体物理、粒子物理的进展将深化宇宙起源与演化规律和物质世界统一性的认识;极端条件下的物性科学研究进展,将进一步揭示物质状态、结构和相互作用规律;生命科学正在进入生命起源与演化的深层问题;认知科学把人类认识自身作为研究对象。这些对新的探测技术和分析手段有了更强烈的需求。

第二,越来越多的复杂事物和现象正在成为科学研究的对象。自然、工程、生物、经济、管理、政治与社会等各个方面的复杂性进入科学研究的视野。演化、涌现、自组织、自适应、自相似是复杂系统的共同特征。在这种情况下,需要进行跨学科(如生物化学、天文物理学等)、系统科学(如信息论、系统论、耗散结构理论等)和综合科学(如空间科学等)的研究。传统研究方法的局限性正日益显现,复杂现象的分析和预测呼唤着新的方法论范式的出现。

第三,自然和社会相互作用带来的全球问题越来越得到科学研究的关注。气候变化、臭氧层破坏、资源短缺、艾滋病流行等,都是具有高度综合性和全球性的问题。这些问题不仅涉及社会经济增长的目的和方向,也关系科学发展和应用的人文价值取向。这些问题的解决超出了自然科学技术能力的范围,需要自然科学、技术手段和人文社会科学研究方法的协同和综合应用。

加强对科学研究实践的回顾、总结与反思,提高方法意识和方法创新意识,已经成为当前我国科技工作愈来愈迫切的任务。基于这一背景,中国21世纪议程管理中心和中国科学院研究生院组织多位长期从事科技哲学

的专家学者，历经一年多的辛勤努力，完成了《科学研究中的方法创新》一书。本书从科学研究的含义、问题意识、观察实验变革、理论思维、自然观变革以及创造性思维六个方面入手，选用大量近现代和当代科学发展中的典型案例，对科学研究中的方法创新进行了系统的梳理和总结。相信本书对于从事科技史、科技哲学等领域研究的专家、学者、研究生等具有重要的参考价值。

限于我们的知识水平，本书定有不足和疏漏之处，敬请广大读者多提宝贵意见，以便我们更进一步地开展此类工作。

郭日生

2011年4月

目 录

第一章 科学、研究与方法创新	003
第一节 科学、研究.....	003
第二节 科学方法和方法创新.....	013
第三节 方法创新的社会条件.....	032
第二章 问题意识与方法创新	043
第一节 研究始于问题.....	044
第二节 问题发现中的方法创新.....	059
第三节 问题选择中的方法创新.....	071
附件：未来的科学问题.....	084
第三章 观察实验变革与方法创新	097
第一节 观察和实验的兴起.....	097
第二节 两种不同的实验纲领：探究式实验和判决性实验.....	108
第三节 观察和实验的创新之路.....	122
第四章 理论思维与方法创新	143
第一节 理论是科学进步的阶梯.....	143
第二节 从猜测到理论.....	157
第三节 理论的进化.....	168
第五章 自然观变革与方法创新	189
第一节 自然观变革、科学革命与方法创新.....	189

第二节	科学发展、新自然观的形成与方法创新·····	210
第三节	人与自然关系的变革与方法创新·····	224
第六章	创造性思维与方法创新·····	251
第一节	理论素养与方法创新·····	252
第二节	创造过程中的思维策略与方法创新·····	269
第三节	团体合作与方法创新·····	279
后记	·····	295

- 科学研究以理解自然为目标，有独特的范式 and 传统，在这个意义上区别于其他的研究活动。

- 科学方法包括四个层面，即科学推理规则、科学研究的规范性要求、操作性方法和科学研究的战略性方法。科学研究的方法创新是指后两个层面上的方法创新。

- 方法创新与科学研究的重大变革相联系，特别体现为：问题意识、实验与工具变革、理论思维和范式转换。

- 方法创新与科学共同体的社会组织方式有密切的联系，包括科学家的规范和动机、科学家的交流与合作机制、科学共同体的评价与接收机制等。

第一章 科学、研究与方法创新

方法是科学研究的灵魂。科学的兴盛和某一时期暂时的停顿，科学研究过程的艰难和不时出现的惊喜，大都与方法有关。这不但是因为任何人类事业的繁荣都需要有效的方法，更在于科学研究本质上所具有的创造性特征。科学研究就像在丛林探险一样，面对着繁复、幽暗、深奥的世界，看不到地平线，也看不到北极星，穿过一片茂密的树丛之后，可能是陡峭的悬崖，跨过一条湍急的溪流之后，遇到的又是深不可测的峡谷，走出困境的每一步都需要明智的方法和大胆的方法创新。历史上伟大的科学家之所以伟大，不但在于他们具体的研究成果丰富了科学知识宝库，更在于他们在方法上的创新或者开辟了新的方向和路径、或者拓展了已有的研究领域、或者发现了未知的认识疆域，为科学的进步带来新的机会。科学方法和方法创新与科学的目标、人类认知的基本结构、科学的历史路径、个体和群体创造性思维的特征有着密切的联系，因此要理解科学方法和方法创新，就需要澄清“科学”、“研究”的含义，需要理清“科学方法”不同层次的内涵，需要从研究的具体环境出发分析方法创新的主要方面，需要从科学研究的组织过程分析方法创新必须具有的思维和社会条件。

第一节 科学、研究

一 “科学”的含义

现代自然科学是一种独特的探索自然现象的方法以及由此形成的知识体系。在人类文明史上，东西方不同民族文化在形成和发展过程中，大都

积累了有关自然的丰富知识，大都发展出一套自己独有的解释和理解自然现象的概念体系，也都摸索出一些开拓自然知识的方式和途径。公元前6世纪，古埃及人就已经具有了丰富的几何测量知识，巴比伦人就已经积累了大量的天文观测资料。古代中国人在算学、天文、医学等领域也曾取得过辉煌一时的成就。不同民族认识自然的努力以各自不同的方式和渠道对现代自然科学的形成产生过重要影响。但严格地说，现代自然科学诞生于十六、十七世纪的欧洲，有着独特的概念体系和方法论原则，并在此基础上形成了有着内在联系的知识体系。由于现代自然科学的原理和理论在解释和预见自然现象上的成功，也由于现代以来西方文化相对于其他民族文化的强势地位，现代自然科学逐步在世界范围内广泛传播，改变了西方文化之外人们看待自然的态度、理解自然的方式。在非西方的民族文化中，现代自然科学知识和本民族传统的自然知识交织在一起，并常常占据着主导地位。

“科学”一词的含义有一个演变的过程。现代汉语中的“科学”一词对应于英文的“science”。“science”则是从拉丁语词“scientia”经过古法语演变而来的。“scientia”意指“知识”，其动词形式“scire”指“知道”。在希腊语中，对应的词“επιστημη”，来自于动词“επισταμαι”，也是“知道”之意。也就是说，“science”或者“scientia”的最初含义是指一切系统地记录下来的知识，这与“哲学”（philosophy）一词的含义大体相同。

18世纪前，现代自然科学开创之初，英文中通常用“自然哲学”（natural philosophy）来指谓这种用新的方法对自然开展的研究。1833年，哲学家惠威尔仿照“艺术家”（artist）生造了“scientist”这个词，用来指在现代方法意义上系统地研究自然现象的自然哲学家。1870年后，“科学方法”（scientific method）一词开始出现。19世纪后期，“science”才逐步取代了“自然哲学”。也就在这一时期，用科学方法对社会现象进行的研究也包括在“science”一词的指谓之中。因此，“science”的现代意义与用独特的方法对自然和社会进行研究联系在一起。新韦伯斯特词典对“science”的定义是：Knowledge or a system of knowledge covering general truths or the operation of general laws especially as obtained and tested through scientific method.

对中国而言，现代自然科学是外来文化的产物。古代汉语的“科学”一词早在北宋时期编纂的文献中就已出现，但多指“科举之学”，偶尔也意指“分科之学”。明末时期，欧洲耶稣会士把几何学、物理学、天文历法、

地理学、机械技术等知识带到中国，徐光启等将这些知识统称为“格物穷理之学”^①。明末清初学者方以智曾把知识分为“质测”、“通几”、“宰理”三大部类。其中“质测”的意义接近于自然科学。^②19世纪后期，西学东渐，日本哲学家西周和津田真道等人首先使用汉字“科学”一词来指现代对自然与社会的研究。^③而同一时期，中国人把声学、光学、电学、化学等这些现代自然科学的门类统称为“格致学”。1896年，康有为编《日本书目志》，最早从日本引入并使用“科学”作为“science”的意译词。他在1898年6月进呈光绪皇帝请求试士改用策论的奏折中，多次提到了“科学”一词。之后，现代汉语中的“科学”一词才具有了现代英语中“science”一词的含义。

从“科学”一词的历史演变来看，它大体上有两层不同的含义，即一般知识体系的含义和现代自然科学的含义。在我们探讨科学的性质和方法的时候，我们用广义的科学和狭义的科学来区分“科学”的这两层含义。从广义上理解的科学，是指对自然现象和社会现象系统化的、理论性的研究，包括古代和现代、东方和西方一切类似的活动。从狭义上理解的科学，主要是指现代西方自然科学，科学的特征主要由现代西方科学的特征来界定。本书主要是在狭义上来谈“科学方法”的。实际上，“科学”一词的这两层含义都在中文的日常用法中积淀下来。法文中的“science”、德文中的“wissenschaft”也很类似，既保留了一般知识体系的含义，也包含了现代自然科学的含义。明确区分“科学”一词的这两层含义，对于我们理解科学的特征至关重要。在讨论“中国古代是否有科学”或者“中医是否是科学”这样的问题时，常常因为这两层含义的混淆而带来不必要的冲突。

狭义上的科学也即现代西方自然科学，是一个独特的研究传统，有着自己特有的范式，即有关自然界的本体论、价值观和方法论的信念。在这个意义上，现代西方自然科学区别于广义的科学中其他研究传统，包括西方中古之前的研究传统和中国古代的研究传统。而且应当承认，从探索自然的实际历史来看，现代自然科学在对自然现象的解释和预见力上，的确具有其他研究传统所没有的优势。这也是现代以后，现代自然科学逐渐占

① “格物穷理之学”，取《大学》里“致知在格物，物格而后知至”之意。

② 冯天瑜：《“科学”名词探源》，《中国科技词语》2008年第3期。

③ 周程：《“科学”一词并非从日本引进》，《中国文化研究》2009年夏卷。

据研究活动的主流的重要原因。但是，这并不意味着其他研究传统，包括中国古代的科学传统，从此不再具有任何价值，更并不意味着其他研究传统，包括中国古代的科学传统，其概念、方法都是落后的，或是无意义的。

首先，其他的研究传统，包括中国古代科学研究获得的知识和方法本身就是对于人类知识整体的贡献，在现代西方自然科学研究传统形成过程中发挥过重要的影响作用。即使在现代西方自然科学研究传统形成和发展之后，它也没有穷尽所有的知识，各个民族文化的传统知识也在某些局部的范围内发挥着积极的作用。例如，埃及的几何学、巴比伦的天文学、印度的代数、阿拉伯文化中对天文及数学的研究，就曾对现代自然科学的出现产生过重要影响。有着独特的概念体系的传统中医理论，仍然在现代华人文化圈中盛行，且是现代医学理论及治疗实践体系中不可或缺的部分。

其次，现代西方自然科学的研究传统本身也不是一成不变的，有一个演变和进一步发展的过程。其他研究传统包括中国古代科学研究传统中的概念和思维方式，有可能对现代自然科学研究提供借鉴和启发意义，是现代自然科学方法创新的重要源泉。例如，20世纪70年代，吴文俊先生开始涉足中国古代数学史，对《周髀算经》与《九章算术》等中国古代数学经典进行了深入研究，发现了中国传统数学所具有的不同于西方公理化数学传统的特征，即应用性、计算性、构造性和程序性的特征，并将这一思路与现代计算理论结合起来，形成了数学机械化的思想，在初等几何定理证明中取得成功，由吴文俊先生开创的“吴方法”在国际数学界产生了巨大的影响。再例如，复方黄黛片是在中医理论指导下设计的治疗急性早幼粒细胞性白血病的药方。这些年，陈竺院士、陈赛娟院士领导的研究团队，用现代生物化学方法，从分子水平阐明了中医复方黄黛片治疗白血病的多成分多靶点作用机理，找出了中药方剂“君、臣、佐、使”的配伍原则的作用机制，被药理学国际权威专家认为“是一项十分令人感兴趣、具有高度科学意义的研究，开启了用中药复方原理设计联合治疗方案的范例，势必引起学界的极大关注”^①。

① 《我国首次用现代方法阐明中药复方治疗白血病机理》，<http://www.sciencenet.cn/html-news/200831115417994203331.html>。