

科学技术 方法

丁长青※编著

KEXUE JISHU FANGFA

河海大学出版社

科学技术方法

丁长青 编著

河海大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

科学技术方法/丁长青编著. —南京:河海大学出版社,2003.10

ISBN 7-5630-1961-8

I. 科... II. 丁... III. 科学技术—研究方法
IV. G304

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 092964 号

书 名 / 科学技术方法

书 号 / ISBN 7-5630-1961-8/B·33

责任编辑 / 谢业保

封面设计 / 步江华

出 版 / 河海大学出版社

地 址 / 南京西康路 1 号(邮编:210098)

电 话 / (025)3737852(总编室) (025)3722833(发行部)

经 销 / 江苏省新华书店

印 刷 / 南京理工大学印刷厂

开 本 / 850 毫米×1168 毫米 1/32 10.375 印张 267 千字

版 次 / 2003 年 10 月第 1 版 2003 年 10 月第 1 次印刷

印 数 / 1~5000 册

定 价 / 16.00 元(册)

目 录

绪 论	1
-----------	---

第一篇 科学研究方法

第一章 科学问题与科研选题	17
第一节 科学始于问题	17
第二节 问题的来源和意义	20
第三节 怀疑精神	26
第四节 科研选题的原则	31
第五节 科研选题的程序和评价	45
第二章 观察与实验	50
第一节 观察意识	50
第二节 观察能力	52
第三节 观察要求	56
第四节 实验的作用	58
第五节 实验的类别和构成	62
第六节 实验的机遇	67
第三章 科学抽象与逻辑方法	71
第一节 抽象的特征	71
第二节 抽象的模式	74
第三节 研究方向与叙述方向	78
第四节 逻辑的大门——比较方法	79
第五节 归纳与演绎	83
第六节 分析与综合	90
第四章 创造方法	100
第一节 创造、创造力、创造学	100

第二节	创造工程	102
第三节	大脑分工与创造性思维	108
第四节	创造性思维方法	112
第五节	创造型人才	117
第五章	假说与理论	121
第一节	假说的特征	121
第二节	建立假说的原则	123
第三节	理论的特征	126
第四节	理论的结构	129
第五节	理论的修改与完善	133
第二篇 技术实践方法		
第六章	技术预测	139
第一节	技术预测的原则和程序	139
第二节	专家预测法	142
第三节	趋势分析法	145
第四节	系统动力学预测法	154
第七章	技术构思	158
第一节	技术构思的基本原理	158
第二节	技术构思模式	162
第三节	技术构思方法	167
第八章	技术发明	172
第一节	发明的特征和类型	172
第二节	发明的常用方法	174
第三节	物场分析法	187
第九章	技术设计	192
第一节	技术设计的意义、特征和原则	192
第二节	工程设计	197
第三节	优化设计	198

第四节	功能与功效设计	200
第五节	工业设计	203
第十章	技术评估	206
第一节	技术评估概述	206
第二节	技术评估的对象	209
第三节	技术评估的原则和步骤	211
第四节	技术评估的方法	214
第十一章	技术开发	225
第一节	技术开发及其类型	225
第二节	技术开发的原则和过程	230
第三节	技术转移	234
第四节	技术引进的原则	240
第三篇 系统综合方法		
第十二章	“三论”方法	245
第一节	信息方法	245
第二节	系统方法	258
第三节	控制方法	274
第十三章	自组织方法	286
第一节	自组织现象	286
第二节	耗散理论	291
第三节	协同学	294
第四节	突变论	297
第五节	自组织方法的社会应用	301
附论	科技成果的表达方法	305
I.	一般要求	305
II.	主 题	309
III.	论 证	314
IV.	结 论	319

绪 论

工欲速，必先利其器。方法即工具，即科学思维的利器。它的希腊文μεταδος，词意即“沿着道路走”，也就是为科学的征程指明其最佳途径的意思。

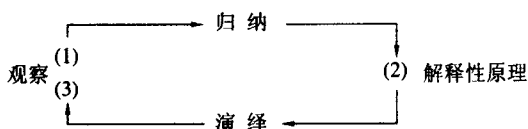
俄国生理学家巴甫洛夫(Павлов 1849—1936)说：“科学是随着研究方法所获得的成就而前进的，我们头等重要的事情就是制定研究方法。”德国天文学家拉普拉斯认为，“认识一位天才的研究方法，对于科学的进步，并不比发现本身更少用处”——黄金再贵，也不如点金术之贵，这个道理是人人都很明白的。

科学技术方法即我们认识世界、改造世界的手段。根据黑格尔的看法，手段是一个比目的更高的东西。作为耕作手段的犁，要比它获得的粮食这种用来消费的东西显得更为尊贵些，目的实现便意味着目的之消失，而手段却作为人类的创造成果保存下来，发挥着推动历史的功能并显示着智慧的荣耀和神圣。因而著名科学家C·贝尔纳(Bernal)、B·罗伯逊(Robeson)、M·劳厄(laue)等普遍认为，在世界的进步中，起决定作用的不是我们的才能，而是我们如何去运用这种才能；良好的方法将使我们能充分地发挥才能，而拙劣的方法则会阻碍才能的发挥。理论成果无论怎样重要都是十分有限的东西，而行之有效的方法，却可以应用于各种目的，并使它的实现事半功倍。

德国物理学家W·K·伦琴(Röntgen, 1845—1923)因1895年发现X射线而荣获了1901年首届诺贝尔物理学奖金，这与其说是奖励这一重要的开创性的发现，还不如说是奖励他这一发现的方法——通过密封像纸来搜寻人工射线或天然物质中的未知射线这一

方法,在其后的几年时间中就连续发现了四种放射线。同样,拉瓦锡(A. L. Lavoisier, 1743—1794)的最高成就并不是发现了氧,而是以天平进行的定量分析方法;戴维的最杰出贡献也并不是钾和钠的发现,而是创造了电解法。因为这些方法百余年来迄今仍在使我们的科学探索和技术操作得以点石为金。

对方法的研究及其重大意义的显示,其实古已有之。早在古希腊时代,毕达哥拉斯便以数学方法的“先定和谐”来解释世界。以泰勒斯、德谟克里特为代表的原子论派则以模型构造和还原论的方法来推测自然界的层次结构。亚里士多德不但研究了科学认识的一般程序及其方法,而且给出了“归纳——演绎”的模式:



两千多年以来,它一直是思维遵循的基本路线。在亚氏的“后物理学”即形而上学(metaphysics)部分里,方法成了他的专门研究领域。欧几里德的公理化方法、阿基米德的实验方法同样成了厚惠科学两千年的奠基性贡献。

即使在黑暗和停滞的中世纪时期,对方法的研究也未完全中断。R·格罗斯代德、R·培根、J·司各脱和奥特科特的尼古拉斯等人不但进一步研究了归纳与演绎,而且还研究了实验与理论的相互关系。

随着哥白尼(N. Copernicus, 1473~1543)《天体运行论》这一“独立宣言”的发表,自然科学从哲学和神学的统治下解放了出来,从近处去看清自然界的每一细部的要求使分门别类的众多学科雨后春笋般地生长起来,一批自然科学的巨匠伽利略、牛顿、笛卡尔、培根、休谟、康德、缪勒等不但从不同角度不同路线上去探索大自然的底蕴和奥秘,而且也沿着“实验——归纳——推理”这一主线对方法及其理

论进行了大量的研究,揭示和确立了自然现象背后严格的因果性,用决定论的框架来“为自然界立法”成为科学家的基本的追求和思路,归纳主义与因果必然性观念及其方法成了科学界因循数百年的传统。1620年F·培根(Francis Bacon, 1561—1626)的《新工具》和1637年笛卡尔(R. Descartes, 1596—1650)的《方法谈》则成了专题研究方法问题的典型著述;伽利略的“实验+数学”成了整个近代科学立地的基石;康德的“先验立法”、休谟的“非理性归纳”也都把各自的信念推崇并似乎完善到了极致。

19世纪末,随着电子、X射线和天然放射性的发现,看似晴空万里的物理世界忽而天低云暗、风雨交加。在这场深刻危机中爆发的以量子论和相对论为代表的物理学革命,不但动摇了经典物理学的基础,而且也使整个的科学观念和方法传统改弦易辙。刚性的必然因果链软化下来,几率性的或然因果观成为思想的主流。

但是,传统是一种有巨大惯性的东西,归纳主义传统也同其他传统事物一样延伸到了新产生的历史层面中去,在它最初接受的重新审查中是被肯定的态度予以重新界定的。以马赫、阿芬那留斯为代表的实证主义(经验批判主义),以罗素、维特根斯坦为代表的逻辑原子论和以石里克、卡尔纳普、莱欣巴哈为代表的逻辑实证主义均以可证实性原则覆盖了这一时期的方法大厦,但同时也提出了归纳的确证度或信念函数、可靠性函数、概率函数问题,企图用一门严密的理论重新审查一切概念和命题,对科学进行“逻辑的重建”。这一时期的方法论研究,开始形成为“科学哲学”(Philosophy of Science)这样一个独立的研究领域。

20世纪三四十年代,波普尔(K. Popper, 1902—)的《科学发现的逻辑》开始一反归纳和实证的原则,提出了“观察渗透理论”和证伪主义的原则,形成了影响着一代科学家的科学思潮,被认为是有史以来无与伦比的科学哲学家。诺贝尔奖金获得者、澳大利亚神经生理学家艾克斯斯在他的《面对现实》一书中写道:“我的活力主要归之

于1945年的转变……归功于波普尔关于科学研究方法的教导。”他还同波普尔合著了《自我及其大脑》一书。当波普尔的否定法被匈牙利的犹太籍科学哲学家拉卡托斯(Lakatos, 1922—)发展为精致的证伪主义之后,这一清新锐利的思想方法再也未退出过科学界。

随着美国科学史家托马斯·库恩(Thomas Kuhn, 1922—)的《科学革命的结构》一书的出版,以他为代表的历史主义学派曾占据过统治地位,但很快,它就被拉里·劳丹(Larry Laudan)和郭德莱·夏佩尔(Duundley shapere)为代表的新历史主义学派所调和。强调社会历史因素的“范式”(Paradigm)理论与理性主义的分析哲学在走向统一,马克思恩格斯奠定的唯物辩证法似乎得到了再一度更为突出的表现。

方法作为科学研究、科学思维和技术操作的“软件”(Software)工具,其作用与影响是很显然的。而当我们深入表层,去透视科技自身的本性时还会发现,科学技术本身就是方法。至少,应用性的科学技术是这样。

科学无非是一套认识方法及其成果。二者相较,成果是一个水到渠成的东西,而获取成果的方法,却需要脚踏实地的艰苦的长途跋涉。无论是一把沉甸甸的麦穗抑或是一部飞速运转的机器,作为成果来说,它们显示的决不是它本身的价值,而是它所包含的人类智慧与人类劳动的价值。成果纯粹只是产生它的方法与劳作的代身,除去后者,它便消解为零,不复存在。不管是有意识还是无意识,不通过一定的观察、实验、认识方法,我们就不可能获得任何一条科学定理,而定理定义等成果,又只不过是规范和指导更进一步去了解对象的认识方法而已。因而,英国天文学家邦迪直接了当地说:“科学就是科学方法。”

对于应用科学及技术来说,情况就更为显而易见了。无论是采矿、冶金、制作还是装配,一切应用性科学技术的目的和功能无非都

是教给我们一套套改革对象、制作产品的方法而已。因而最初的科技工作者其实是以法术之士的形象出现的，它对科技的方法本性是一个自发性的说明。

方法在科学体系中的位置不容否认，方法在历史沿革中也联结为一个系列，但人们仍不免会发问：方法对于个人来说，特别是对个人的每一具体的思考行为来说，有什么意义吗？有趣的是，意义恰恰就在于此。

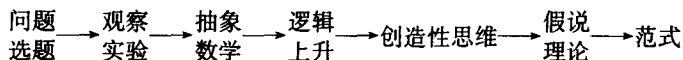
个体是群体的缩影，个体发育会以压缩的形式表现群体发育的全程，这个现象几乎是人所共知的。恩格斯在《自然辩证法》导言中还提供过一个时空比照的重要方法：“无限时间内宇宙的永远重复的连续更替，不过是无限空间内无数宇宙同时并存的逻辑补充。”^①这就揭示了我们在平时的思维活动中或许只是朦胧意识到的东西，即：个人的思维及个人的每一次思维，都会粗疏隐约地使用多种方法，并且基本上顺序通过它们列成的每个环节。只不过，方法系列与个人思考之间，一个是被开掘、完善到了精微备至的程度，一个却是它的疏散而模糊的投影；一个是在漫长的数千年历史中形成，一个却是在短暂的转瞬之间闪现罢了。正如，语法研究是一门博大的学问，并且是在上百万年的演进中形成的，个人语言，哪怕是最简单的一句用语，也不能不遵循那整套的无形的语法规则。

不过，既然不学语法也会讲话，不学方法也懂方法，那又何必去研究、学习方法呢？这就和每个人从一开始上学就必须学习语法知识一样了：未经雕刻的语言同未经训练的思想那样，只能应付生活，不能应付科学。语言需要语法的雕琢，思维需要方法的刻画，当方法的学习、掌握，使浑沌状态的每个丫叉、每个枝节都清晰可鉴、节次分明的时候，我们就能“在每一个环节里都作逗留”（黑格尔语），就能发

^① 恩格斯：《自然辩证法》第23页。

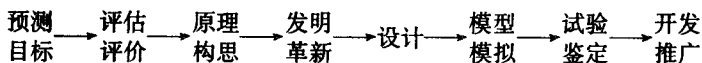
现哪怕是路边一朵最不起眼的小花中所蕴藏的大自然的秘密，而不会再如往常那样走马观花，一掠而过，最后却视而不见、一无所获了。

如果说，我们按照逻辑关系或思维程序把方法体系排为一个系列的话，那么科学方法大约可以简略地示意如下：



借助于这套方法而逐步完善起来的科学理论，在最后的“范式”形态下似乎达到了“顶峰”，如果再前进一步的话，它也就不可能不是下坡路了。于是，理论在它的颠峰上爆发危机，导致革命，然后再从问题开始，进入下一周期的循环上升。

技术方法是可以包容在科学方法这个总体概念之下的，但它又具有一些特征，可以自成系统，如果我们也给予它一个粗略的轮廓的话，那么就可以示意如下：



当一项技术得到了充分的开发推广之后，它也必然面临根本性的更替变革，在下一轮的周期性循环上升中更新换代。科学与技术及其相应的方法体系就是在这样的周而复始、循环往复中波浪式发展，螺旋形上升，体现出一般事物的辩证发展本性的。

对于信息论、控制论、系统论这样的综合学科、横断学科来说，与其说他们是科学思维与技术创造的某一阶段上的方法，还不如说它们是在每一阶段、每一方法中都须将对象综合性地、整体性地予以研究的方法。因为一事物与它事物及任一事物内部相互关联、相互作用的有机性乃是一切事物的本性，思维在把握对象时也自然要因投影和比附它的对象而必需具备这种特性。对思维所物化、设计的人或者物或人工对象来说，也必然因不得不尊重这种特征而具备这种

特征。而且,它还是人为事物之完善化、高级化的标志。

耗散理论、超循环理论、协同学、突变论这样的自组织、自发生理论,它们原本是自然事物的自发发现象,但我们在建构一种人为的思想事物或实体事物时,也未必不可以把它们的规律性特征当作有意趋赴的目标而移植为方法。

这样,我们就有了科学方法、技术方法和综合方法这样三类。当然,在具体运用中,不但三类之间并无严格的界限,可以相互借用,就是在每类方法的内部,也是可借代、拼合、跳跃或颠倒的。它们的划分和排序在不同著作中是不尽相同的,但都像本书一样,均是为了反映方法体系自身的逻辑结构和人们最合理最有效的思维程序而已,不过在研究的角度、突出的重点与应用的目的上各有所是罢了。

不过,通行的方法及方法论研究基本上只包容科学方法及综合方法两部分,并统称为科学方法或科学方法论。在国外,这一研究被包罗在 Science of science(Науковедение)、philosophy of Science 或 Theory of science and technology 领域中。在国内,它被包容在自然辩证法中,并在研究生的自然辩证法必修课中日渐成为重头部分,也成了本科生、专科生和其他软科学(Softscience)教育中的主导内容。但是,技术方法始终只被当作技术论的一部分,而很少在方法论中涉及,至少,还未成为方法论课程设置中的重要部分,这不能不说是失之偏颇。因为,对于我们的国情和现状来说,技术及其方法有着更为迫切的重要性。何以见得呢?其原因在于:我们是一个发展中国家,中国科技面临的最要紧、最迫切的任务就是解决当前的国计民生问题,穿衣吃饭问题,实际应用问题,亦即实用技术问题。基础科学当然是重要的,基础性的,但这主要是对科学总体而言的,可以说是对世界的科学总体而言的。基础科学中的任何一个突破都是极其艰难的,任何国家都不应该企图仅仅依靠自己的力量来搞科学,特别是基础科学。因为基础科学不但不能依靠一国一地的有限的人力物

力和财力,而且它有着最为突出最为鲜明的“公有性”:一次基础理论的成果必须争分夺秒地发表、传播、公诸于世,否则,诺贝尔奖或任何荣誉都将名归他人。科学的发现是不可能像技术的发明那样进行保密或获取专利的,因而在对待科学态度与方针政策上,我们永远也不要忘记:科学没有国籍,它是真正的“公有制”,它属于全世界、全人类。

技术虽然具有同样的本性,但却有一个从个人专有到全球共有的推广、转移过程,一国并不能毫无代价地从他国最新颖有效的技术发明中直接获益。也就是说,他必须依靠自己的力量来发明,或引进、改造,使之适应于自己的生产条件和社会需求。而他国,在很多项目、很多情况下是很难越俎代庖的。技术又是一种实用技巧,技术的发明、创造、革新几乎可以指向我们的生产环境或生活环境和任何一个目标,它并不像科学发现那样,差不多总是在训练有素、学识渊博,业已站到了科学前沿上去的少数科学家中才有,而是可以属于每一个科技工作者甚至每一个普通人。也就是说,一个国家甚或一个人,依靠自己的力量搞科学是失策的,而依靠自己的力量搞技术,则是可取的。因此,技术发展所需要的方法研究,就不但不能偏废,而且还应特别加强了。这也就是本书设置技术方法这一部分的缘由。

在迈入科技方法领域的学习与研究之前,我们还须解决的一个问题就是:方法与方法论是一回事么?是等同的么?显然不是。但在通常所见的方法或方法论著述中,却几乎是将二者等同起来了。

“方法论”是最常见的名谓,但无论它是作为自然辩证法的一部分还是独立成章成著,我们发现,在它之下的实际内容却是“方法”,而非“方法论”。也就是说,对方法的研究和介绍是实体,而对方法这一工具,却“论”之甚少,他们的“方法论”,讲的其实是方法。方法是我们最需要的,但不应冠之以“方法论”,因为两个概念根本不同,作为科学研究的专业术语来说,必须予以区分和界定,而不应混用。

我们知道,“方法”(method, Merog)即方式、办法、条理;而方法

论(The theory of method, Methodology)则是关于方法的理论、议论、论述。它不是介绍具体的方法,而将方法作为一个考察、研究的对象,阐述对于“方法”的见解。因而,方法论研究无疑带有很重的哲学色彩、抽象色彩。可以说,它是对方法的哲学考察,是对方法的理论态度,其考察是理论的需要和认识的需要,而不是应用上的需要。简言之,方法论是处于哲学和实用方法之间的中介体,与方法并不处于同一层次。

与方法论的研究目的相反,方法研究不是为认识和理解“方法”,而是为了介绍,提供出具体的方法,供人使用。它处于方法论的下一层次,直接地称之为“方法”或“方法学”才更为恰当,而把它称之为“方法论”则显然是不妥的,可以说是一种误用。

当然,这样的方法仍然不是各门学科的最直接最具体的操作性的方法,而是对整个自然科学或技术体系起普遍作用的一般性方法,它是反映科学技术共性特征的通用方法,因而仍具有一定的理论性和抽象性、普遍性。由于它的这一特征,它从两个方面受到了削弱:对它的上一层次来说,由于它缺乏发人深思或饶有趣味的理论设想而显得干枯,少有魅力;对它的下一层次来说,又由于它未必能解决各门学科所要解决的具体问题而显得悬浮,不被重视。其实,这两个倾向反而说明了它的双倍的意义:它是理论走向实践的最后阶梯,也是实践产生真知的最初升华。理论如果不从它的天堂降落到地面的话,那么除了它使人获得精神遨游的欢娱之外,其功用就是十分有限的;而人们在最直接的操作活动中若从不抬起头来作一番自我审度的话,他就可能永远不知道自己是在做什么,也就不可能把它做得更好。

因此,科技方法是一个最需要充实、强化的环节,我们的“方法论”研究其实就是在做这一工作,而且已经做了大量的工作,只不过我们要还它以顶戴,为之正名谓“科技方法”或“科技方法学”罢了。

方法是规矩、规范,但不是捆缚手脚的绳索,它的最终目的是把人们引入真正自由的科学天地,任凭你驰骋遨游。奥地利的科学“怪杰”费耶阿本德(Feyerabond, 1924—)在他的《反对方法:无政府主义认识论纲要》中说,“我的方法,就是‘怎么都行’”。他认为,科学的本性就是自由,理论观点的混乱不一,正是科学的生命力所在。随机性是科学的最大特征,那么随时随地地利用某一偶然性的机遇就能发挥科学的最大功能,而不可能遵循什么必然性的渠道和模式来取得成功。科学的发展是多元化的,是无固定模式的,没有什么绝对一致、一律的东西,关键是选择、开放,并应从外部、从门外汉甚至疯人那里引入新想法;科学始于游戏类,应包含神话、文化内容;科学的一元化和沙文主义是科学的最大障碍。费耶阿本德以极端化的观点反映了方法论研究与教学中一个必须注意的问题,即:方法是科学征程的路径、舟楫与风帆,它的根本使命和基本功能就是为人们开辟更广阔的科学视野,更广大的思维空间,在最多的可能选择中找到最佳的路线,从而最便捷有效地达到目标,并在实现目标的过程中使你可以纵横捭阖,随心所欲。

但是,为了实现这一点,为了使你在知识的海洋中能够自由地游泳行船,你就必须学习游泳术,必须学习驾驶方法。游泳的每一个动作,驾驶的每项操作都是为了使你取得渡海的自由,但为此你就必须掌握每一项技巧,掌握每一种方法,熟练每一步操作。否则,自由就不能取得,目标就不能到达。因此,方法是不可取消的,方法是不可缺少的,“不要方法”是不行的。为了掌握方法,运用方法,就必须“忍受”方法所带给人的磨难,不能不牢记它的要领,遵守它的规则,服从它的要求,慎重对待它的每个环节。只有对方法的应用达到了精熟练达、融会贯通的地步,对科学的研究探索才能达到举一反三、触类旁通的程度。这时,你便不会再感到方法的存在,正像对于一个游泳健儿或一驾驶好手来说,已经不会再感到有什么游泳术或驾驶方法存在了。这时,你真正地达到了炉火纯青,达到了自由。但不可忘记

的是,这种“丧失方法”,“不要方法”的状态,正是能最熟练、最得心应手地掌握方法所致。也就是说,要想达到一种出神入化的“失神”的凝神状态,达到一种出神入化的“无方法”的用方法境界,就必须认真踏实、一丝不苟地学习方法。

科技方法除却它的一般功能之处,对于不同的使用对象来说,还会有不同的意义、作用和不同的用法。

对于站在科学前沿的开拓性的科学家和高级工程技术人员来说,不管他们是否有意识地掌握和运用这些方法,方法都是他们事业的生命。

科学是一种探索活动,它要揭示大自然奥秘,化未知为已知,近似于一种“猜谜”活动。因此,对于科学研究特别是科学前沿上的探索活动来说,寻找道路、开辟航线就是它的使命,而创造性思维方法和假说方法也就成了这种探索活动的灵魂,对于技术发明、技术创造来说,情况也类同。因为,这必须从现实世界的已有对象中,找到缺陷,又找到希望点和入手点,并在头脑中构想出“观念的存在物”,进而将之化为现实的存在物,离开了突破框架、挣脱束缚的创新意识和创造方法,是不可能实现的。

科技前沿尤为需要方法的另一个原因是在这一前沿上最容易出现错误,最容易误入歧途,也就特别需要方法的引导。我们知道,科学前沿就是已知与未知的交界线,就是在黑暗中摸索道路,而方法就是道路,没有方法就没有道路,那么探索也就永远只是黑暗中的胡乱摸索了。为了尽可能地避免错误,为了尽可能地避免误入歧途甚至南辕北辙,就必须借助于探路的手杖和路标,借助于科技方法的指点和引导。故而,弗兰西斯·培根说,“跛足而不迷路能赶过虽然健步如飞,但误入歧途的人”;法国生理学家贝尔纳(Claude Bernard, 1813—1878)也说,“良好的方法能使我们更好地发挥运用天赋的才能,而拙劣的方法则可能阻碍才能的发挥。因此,科学中难能可贵的