

青少年科学人文素养丛书



科学探究

王顺义 编著

上海科学技术出版社



青少年科学人文素养丛书

科学探究

王顺义 编著

上海科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

科学探究/王顺义编著. —上海:上海科学技术出版社,
2010.1

(青少年科学人文素养丛书)

ISBN 978-7-5478-0038-6

I. 科… II. 王… III. 科学知识—青少年读物 IV.
Z228.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 183158 号

策划编辑 戚越然

武时勉

责任编辑 闵珏

雷炳坚

装帧设计 戚永昌

本书由上海文化发展基金图书出版专项基金资助出版

上海世纪出版股份有限公司 出版、发行
上海科学技术出版社

(上海钦州南路 71 号 邮政编码 200235)

新华书店上海发行所经销

苏州望电印刷有限公司印刷

开本 889×1194 1/32 印张 8.75

字数: 180 千字

2010 年 1 月第 1 版 2010 年 1 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5478-0038-6/G·4

定价: 18.00 元

本书如有缺页、错装或坏损等严重质量问题,
请向工厂联系调换

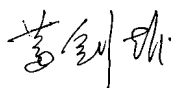
内 容 提 要

本书是“青少年科学人文素养丛书”之一种。

科学探究是科学知识建构的本质特征,是科学活动的过程。我国要建设创新型国家,就要在全社会广为传播科学知识、科学方法、科学思想、科学精神,全面提高国民的科学素养。青少年是祖国的未来和建设创新型国家的后备军,更要全面培养其科学素质和能力。

本书以适合青年学生阅读的对话形式作为切入点,以培养青年学生科学人文素养作为出发点,以围绕科学探究广泛收集史料作为支撑点,从各个不同的视角讲述了科学探究的丰富内涵,歌颂了为科学作出贡献的人们。从而使青少年体验科学探究的过程、发展科学探究的能力、增进对科学探究的理解、养成通过科学探究进行学习和解决问题的习惯,为终身学习与发展奠定基础。

本书的读者对象为大中学校学生和学校中的思想品德教育工作者。



自 1977 年我国恢复高考,教育一直受到全社会的关注。但改革开放以来,教育方面的每一项新举措几乎都会引起激烈的争论。到了今天,教育主管部门更成了受批评最多的部门之一。但多年前我就写过一篇题为《不是教育的教育问题》的文章,认为那些备受批评的教育弊病,其实并非单纯的教育问题,其根源并不在学校、教师和学生,而是在整个社会。所以,仅仅在学校就事论事,非但无法根除这些弊病,而且会愈演愈烈,或者以新的方式继续存在。

近年来,大学的毛入学率已经超过 20%,但高考的压力丝毫没有减轻,中国人对大学、名校、高学历、高学位的追求达到了空前热烈和激烈的程度。竞争的“起跑线”已经由高中、初中、小学提前到幼儿园甚至“胎教”,由国内扩大到海外。不可思议的是,一些对读书毫无兴趣、或的确不具备进入高一级学校的学生,也被家长软硬兼施向大学驱赶;一些贫困家庭不计后果地供养子女上大学,一些家庭不惜巨资送落榜子女出国留学。

本来,即使在发达国家也不是每个人都上得了大学,而且并不是每个人都需要上大学,或者都适合上大学。那么为什么中国会出现这样一种几乎失去理智的“大学热”呢?原因很简单,众人的回答是:“不上大学,还有什么出路?”“不上名校,不拿最高学位,还没有开始竞争就输了。”的确,除非属“富二代”,或拥有超强的背景或人脉,或本人属商业

或某种奇才，绝大多数青年已经很难在上大学之外找到一条差强人意的出路。人往高处走，现实的选择不需要过多的理论分析和抽象调查。六十年来，参军、提干、留学、出国、下海都曾是有条件的青年的首选，如今只选大学，大学只选名校，毕业后首选考公务员，就是中国现实的最好反映。

我们不得不承认，社会各阶层间的差距在扩大。普通劳动者的经济收入、社会地位和政治权利基本都处于底层，而要进入精英阶层或上层，除了本身就拥有权力或金钱之外，唯一的途径就是大学学历和学位，甚至包括假的。教育界也在适应社会需要，技工学校、中专、师范日益萎缩以至绝迹，各类职业学校、民办学校惨淡经营，而学院全部升格为大学、综合大学，甚至要办成研究性大学，原来的综合性、研究性大学早已盯上了世界一流的目标。

正因为如此，无论各级教育主管部门想出多少高招，无论各级各类学校如何强调素质教育和人格的培养，无论教师学生如何自觉抵制外界的干扰，如果没有社会导向的改变，往往于事无补。

但这并不是说，学校、教师、学生、家长在这样的潮流面前只能随波逐流，听之任之。且不说社会总会回归理性，就算这种恶性竞争持续下去，到了全民大学的时代，大学毕业生或博士之间又会出现新的竞争点。而以不变应万变的最好办法，就是从小注意提高自身的素质——不仅是为了在竞争中立于不败之地，更是为了做一个自由自在的人。我相信，这应该是今天的青少年和培养他们的家长、教师，关心他们的同学、亲友和社会各界人士的共同愿望，无论这些

青少年今后会选择何种职业,从事何种工作。

本着这样的信念,当上海科学技术出版社提出编写“青少年科学人文素养丛书”时,我与几位同人欣然应命,选定了《人文精神》《科学精神》《民族精神》《创新意识》《人格发展》和《科学探究》这六种。如果这些小册子能为青少年成长、为自由自在的人提供一些帮助,如果他们在人生的旅途中能够受益,出版社功德无量,我们也将无比欣慰。

2009年12月8日于京华旅次

(作者为全国政协常委、历史地理学家、复旦大学教授)

导 言 科学探究能力：科学素养的一种核心能力 1

1. 从汤飞凡发现沙眼衣原体说起/ 2
2. 科学探究是科学知识建构的本质特征/ 5
3. 探究式学习，是科学成才的一种有效途径/ 9

第 1 讲 追根溯源：科学家探究的方法论过程 13

1. 亚里士多德是怎样进行科学探究的？ / 13
2. 罗吉尔·培根对亚里士多德探究程序的发展和
完善/ 23
3. 伽利略是怎样探究匀加速直线运动定理的？
/ 26
4. 牛顿对科学探究过程的总结/ 29

第 2 讲 另辟蹊径：科学探究方法论过程的多元性 32

1. 库仑定理是怎样建立的？ / 32
2. 爱因斯坦是怎样建立狭义相对论的？ / 36
3. 科学探究过程和方法的层次之分/ 42

第 3 讲 微观过程：科学解释和发现的认知调节 机制 46

1. 科学解释和科学发现的认知水平/ 47
2. 科学解释的自稳控制机制/ 51
3. 认知建构的自组控制机制/ 54
4. 科学发现的自组控制机制/ 58

第 4 讲 典型案例：科学探究的认知结构和控制

机制 63

1. 科学探究认知背景的多元性/ 64
2. 注重反常是科学发现的起点/ 69
3. 科学理论发现的认知结构调节模式/ 74
4. 认知调节的理性原则/ 80

第5讲 科学理论：科学知识的本质和结构 88

1. 科学知识表述的若干原则/ 88
2. 科学理论的本质特征/ 101
3. 科学理论的逻辑结构/ 108

第6讲 理论评价：评价的类型及其标准 117

1. 科学理论评价的类型/ 117
2. 单个理论评价的标准/ 121
3. 理论系列的评价标准/ 129
4. 结论：“结构—功能”的综合评价标准/ 134

第7讲 如何猜想：科学探究中的创造性思维方法 138

1. 直觉、灵感、顿悟思维方法/ 139
2. 科学想像思维方法/ 144
3. 科学抽象思维方法/ 147

第8讲 探究战略：科学探究的理论路径 152

1. 数学基础问题/ 152
2. 布劳威尔的探究战略/ 157
3. 罗素的探究战略/ 161
4. 希尔伯特的探究战略/ 165

第9讲 价值取向：再谈科学探究的认知调控原则 173

1. 常规科学时期科学探究的特点/ 174

2. 常规科学时期的认知价值取向/ 178
3. 科学革命时期科学探究的特点/ 184
4. 科学革命时期的认知价值取向/ 189

第 10 讲 科学精神：科学探究的社会价值维系 192

1. 社会责任感：重大科学探究活动的发生/ 193
2. 精神气质：科学探究活动的有序/ 200
3. 学术制度：科学探究活动的有效/ 203
4. 科学精神的主要内涵/ 206

第 11 讲 社会建构：科学探究的社会因素 213

1. 科学事实的社会建构/ 214
2. 科学探究过程中的社会建构方式/ 218
3. 科学探究中掺和的社会因素/ 223
4. 国家科技政策对科学探究活动的影响/ 230

第 12 讲 科学与艺术：科学探究中对美的追求 241

1. 两种不同的文化形态/ 242
2. 科学研究中存在着对美的追求/ 248
3. 科学与艺术在审美观念层面的融合/ 257

导言 科学探究能力：科学素养的一种核心能力

学生：2005 年国家制定了《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020)》^①，提出要“实施全民科学素质行动计划”。纲要明确地提出，用 15 年的时间通过加强自主创新使我国进入“创新型国家”行列。这是我国科教兴国主战略中的一个宏伟而神圣的目标。老师，您能说一下建设创新型国家与提高全民科学素质的关系吗？

教师：好的。建设创新型国家呼唤全民科学素质的提高。增强我国自主创新能力，建设创新型国家，其关键首先在于拥有一个杰出科技人才群体。所谓“杰出科技人才”是指“国际一流”的科技尖子人才、“国际级”科学大师和科技领军人物。美国之所以位处世界创新型国家第一名，原因之一是它拥有为数可观的杰出科技人才，例如其诺贝尔奖获得者就有 200 余人，约占全世界获奖者人数的二分之一。我国科技人力资源总量和研发人员总数，虽然位居世界前

^① 中华人民共和国国务院，《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020)》。

列,高级科技人才很多,但是杰出科技人才却为数不多。这是我国科技人力资源的软肋。

如何从高级科技人才中涌现出更多的杰出人才,这是我国当前面临的一个紧迫任务。高级科技人才与杰出人才的主要差别在哪里?从国际上科学技术史的案例分析和统计结果来看,其差别主要不在于科技知识方面,而在于他们在科学思想、科学方法、科学精神素质等方面。例如爱因斯坦比别人更强调科学方法,希尔伯特比别人更关注科学思想,居里夫人比别人更具有科学精神,这是他们成为国际级科学大师的重要原因之一。大凡杰出科技人才,在科学素质方面都是全面的。有关调查资料表明,我国科技人员队伍中相当一部分人,注重科学知识的提高,但在科学思想、科学方法、科学精神等素质方面,与“国际一流”的要求还存在一定的差距。所以,全面提高自己科学素质,这是我国科技人才从高级走向杰出必须解决的问题。

为此,我国要在全社会广为传播科学知识、科学方法、科学思想、科学精神,在全面提高国民的科学素养上下大工夫。青少年是祖国的未来和建设创新型国家的后备军,更要注重全面培养其科学素质。

科学素质包含科学知识、科学思想、科学精神和科学方法四个方面,每一个方面的内容都极为丰富。但我在这本书中要阐述的不是这四个方面的全部,而是其中培养科学素质的一种核心能力——科学探究能力。

1. 从汤飞凡发现沙眼衣原体说起

学生:老师,您为什么要强调培养“科学探究能力”呢?



教师：为了解释这个问题，我想从汤飞凡发现沙眼衣原体谈起。

汤飞凡(1897—1958)，我国著名医学病毒学家，医学病毒学的开拓者，中国科学院学部委员。1954年，沙眼病在世界上大暴发，我国是高发区，一半以上的国人患有沙眼，而且患者中致盲率达5%，危害极大。面对沙眼病肆虐，汤飞凡决心探究沙眼病原，为民除病。

早在20世纪30年代，汤飞凡就意识到，微生物在自然界是一个从小到大的系列，在已知病毒和细菌之间存在着“过渡微生物”，由此推断沙眼衣原体是比牛痘病毒更大，而接近立克次体的病毒。这已经显示出一个杰出科学家的非凡的洞察力和敏锐性。1954年6月，汤飞凡的科学探究工作从揭示沙眼衣原体开始。他采集了200例典型病例样品，在48例中找到沙眼包涵体，并发现包涵体有四种形态：散在型、帽型、桑葚型和填塞型，阐明了它们的形成和演变过程。

此时，病毒分离的工作也在紧张进行。经过一年的努力，他们采用当时各种病毒分离技术，结果无一成功。汤飞凡在思索，为什么沙眼病毒学说提出几十年来，却没有一个人能分离出一株沙眼病毒(沙眼衣原体)呢？有一天，他突然想到一个新的线索：分离不出沙眼病毒，会不会是做试验时使用了青霉素和链霉素的结果呢？根据临床经验，青霉素可以抑制革兰氏阳性细菌生长，链霉素可以抑制革兰氏阴性细菌生长。过去病毒学家都认为，各种病毒对所有抗生素都不敏感。因此，那时国内外分离病毒有个常规，都要使用青霉素和链霉素。分离沙眼病毒也不例外。当把沙眼

病人的结膜材料接种到鸡胚上去时，也要加入青霉素和链霉素，为的是控制眼结膜里夹杂的细菌感染。

对这个常规，所有病毒学家都习以为常，从来没有人怀疑过。但是，汤飞凡提出了问题：沙眼病毒是不是同其他病毒不一样，对抗生素是敏感的，在做试验的时候被青霉素和链霉素杀死了，所以分离不出病毒株来呢？综合大量调查，他得到一个初步印象：链霉素对治疗沙眼，基本上是无效的，说明它对沙眼病毒没有伤害；青霉素对治疗沙眼有无效果，说法不一，不能肯定。汤飞凡继续进行更深入、更周密的调查研究，终于从浩瀚的资料中查到一处有关青霉素与病毒的论述，其中指出：青霉素能控制沙眼症状的发展。

于是，汤飞凡就把研究的重点，集中到了青霉素的使用上。1956年6月12日一清早，他和助手来到实验室，按新的思路作一次与往常不同的分离沙眼病毒的实验。实验开始，他熟练地将沙眼结膜材料进行接种，然后只注入原用量五分之一的青霉素，结果，世界上第一株沙眼病毒被分离出来了，汤飞凡命名其为 TE8。汤飞凡成为世界上发现重要病原体的第一个中国人。

汤飞凡认识到，一次成功，还不能排除其他偶然因素，而偶然性是不能成为科学的依据的。接着，他们又作了一次新的实验，完全不用青霉素，而把链霉素的用量增加一倍。实验又成功了。不久，他们又作了第三次、第四次实验，沙眼病毒也都分离出来了。为证实所分离的病毒就是沙眼衣原体，汤飞凡命令助手将沙眼病毒种入自己眼里，引起典型的沙眼症状与病变，继而从自己眼里分离出这种病毒，在其后的 40 天内，坚持不治疗，直至证实所分离培养沙



眼病毒的致病性确定无疑。至此沙眼由病毒所致的理论完全彻底地确立了。之后,英国科学家首先证实了汤飞凡的成果,从此,沙眼病毒被称为“汤氏病毒”^①。

汤飞凡探究沙眼衣原体的活动表明了,他具有非凡的科学探究的能力。正因为如此,他能够鹤立鸡群,在全世界率先揭示沙眼病的病因,率先分离出第一株沙眼病毒,为人类摆脱沙眼病的困扰作出了杰出的贡献。重提这件事情,对我们至少有两点启发,一是科学探究能力的重要性。在遇到一个新问题、新现象时,人们应该采取像科学家那样的方法去探究,在中华民族中,像汤飞凡那样具有很强科学探究能力的人越多,则中华民族的复兴越能早日实现。二是搞好科学探究,不仅是一个科学方法素质问题,而且也包含了科学精神、科学知识和科学思想这些要素。在汤飞凡的探究活动中,表明了他强烈的社会责任感、为科学而献身的精神和不断吸取新知识、新思想的态度。因此,本书强调“科学探究”,就是牵一发而动科学素质的全身。

2. 科学探究是科学知识建构的本质特征

学生: 汤飞凡的事迹从社会需求的角度,阐述了科学探究能力的重要性。那么,从科学内部来看,科学探究是否也十分重要呢?

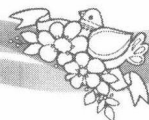
教师: 从科学内部来看,科学探究是科学知识建构的本质特征。自从有了人以后,各种文化形态如神话、宗教、艺

^① 邱佩芳,《国家的科学公仆——记中国第一代医学病毒学家汤飞凡》,上海档案馆网站。

术、历史、哲学和科学就相继应运而生，它们各自都是人的认知活动。而且这些文化形态都曾经在一定程度上刻意描述和说明自然现象，试图具有认识自然界的功能。例如，在《圣经》中就有上帝创造人和各种生物的说法，试图以此来解释生物和人类的起源；在中国古代哲学中就有“阴阳说”，以此来说明自然界万物运动变化的原因。但是历史证明，在众多的文化中只有科学才为人类提供了认识自然的精确的、有效的工具。虽然科学理论不是绝对真理，但是自从科学产生以来，人类对自然界的认识就愈来愈正确，愈来愈深入。为什么科学较之其他文化形态而言在认识自然上有这么大的神奇功效呢？这是因为科学在认知自然时所具有的一种“探究性”使然。探究性是科学知识形成过程的本质特征。

首先，对自然现象的认识不停留在事实的层次上。

在人类追求“真、善、美”的文化活动中，科学的目标在于求真。认识自然界运动变化的规律即真理，是科学的根本任务。事物都有它的现象和本质。现象是指事物的外部形态、外部联系；本质是指事物内部的矛盾运动、内部联系。本质隐藏在现象背后，不能为人们直接感知。科学家认为对自然现象的认识不停留在事实的层次上，常常要透过现象，深入里层，抽取有关事物的本质，并且舍弃一切非本质属性的结论，即提炼出反映事物本质属性和内在客观规律的各种“概念”和“定律”。这个过程就是通过探究来完成的。例如，人们常常看到木材在空气中燃烧的现象：当人们用火点燃一根木材时，它先是冒烟，接着便被点燃起火，然后燃烧，有熊熊的火焰，直到最后燃尽剩下一点灰渣。如果



将这个过程记录下来,就是有关木材燃烧的经验事实。一般人对燃烧的认识通常是仅仅满足于在现象层面上对其过程的了解,但是历史上的化学家则不同,他们还要进一步探究这种燃烧现象背后隐藏的事物运动变化的规律。经过长期的研究科学家认识到,木材燃烧现象实质上是一种物质的氧化现象,木材中含有碳元素,空气中含有氧元素,这两种元素在高温下会进行化合反应生成二氧化碳并放出热量,这就是木材在空气中燃烧现象背后的规律。从这个意义上来说,科学从本质上来说是探究自然现象背后规律的文化活动。

其次,对自然现象的规律性认识也不能通过对经典的注释而得出。

在人类的一些文化形态中,如宗教、政治意识形态等,引经据典、诠释经典,然后逻辑演绎出要得的结论,这是它们的主要认知方法。在中世纪,经院哲学曾提倡的研究方法是引经据典、诠释经典,然后逻辑地演绎出关于自然现象的论述。这种研究方法忽视科学探究及其经验基础,严重地阻碍了人们对自然界的有效认识。这种错误的方法在文艺复兴运动中开始被纠正。首先人们开始批判中世纪这种极端理性主义的方法论。这种方法后来被英国哲学家弗兰西斯·培根(Francis Bacon, 1561—1626)批评为,“人们所醉心的一切‘像煞有介事’的沉思、揣想和诠释,等等,实如盲人暗摸,离题甚远……正如现有的科学不能帮助我们找出新事物,现有的逻辑亦不能帮助我们找出新科学……现在所使用的逻辑,与其说是帮助着追求真理,毋宁说是帮助着把建筑在流行概念上面的许多错误固定下来并巩固起