



科学教学通论

The General Theory of Science Teaching

袁维新 著

 人民教育出版社



科学教学通论

The General Theory of Science Teaching

袁维新 著

 人民教育出版社

责任编辑:李椒元

装帧设计:肖 辉

责任校对:余 倩

图书在版编目(CIP)数据

科学教学通论 / 袁维新著. —北京:人民出版社, 2013.9

ISBN 978-7-01-012434-6

I. ①科… II. ①袁… III. ①科学教育学-教学研究 IV. ①G40-05

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 187961 号

科学教学通论

KEXUE JIAOXUE TONGLUN

袁维新 著

人民出版社 出版发行

(100706 北京市东城区隆福寺街 99 号)

北京世纪雨田印刷有限公司印刷 新华书店经销

2013 年 9 月第 1 版 2013 年 9 月北京第 1 次印刷

开本:710 毫米×1000 毫米 1/16 印张:41

字数:600 千字 印数:0,001-3,000 册

ISBN 978-7-01-012434-6 定价:68.00 元

邮购地址 100706 北京市东城区隆福寺街 99 号

人民东方图书销售中心 电话 (010)65250042 65289539

版权所有·侵权必究

凡购买本社图书,如有印制质量问题,我社负责调换。

服务电话:(010)65250042

序 言

从 20 世纪 80 年代中期开始,世界发达国家都致力于科学教育理论的创新和科学教育改革。特别是美国联邦教育部和全国性著名教育科学组织在美国大财团的支持下,先后搞了几套雄心勃勃的面向未来的教育改革计划,其中最著名的是由美国促进科学协会制订的《美国 2061 计划》。“2061 计划”始于 1985 年,这年恰巧是哈雷彗星接近地球的时候,而能在 2061 年再次看到它的孩子们正是从这年开始他们的学习生涯。“2061 计划”因此而得名。“2061 计划”的目标是,为了用新的教育思想和教育内容培养美国当今的儿童,使他们适应 2061 年哈雷彗星再次接近地球时科学技术和社会生活的巨大变化。但是,1991 年美国公众的科学知识水平的调查仍然显示:接受调查的一半成年人不知道地球绕太阳一周要花一年时间,不到 7% 的美国成年人可以按照最一般的定义称作是有科学知识的,只有 13% 的成年人有理解科学过程的最低水平,甚至有 40% 的人不同意“占星术终究不是科学”这种说法。^①我国前些年也出现过令人瞠目的现象:那么多高学术水准的、接受过高等教育的学者、教授和知识分子卷入迷信活动,而且其中也不乏学习理工科的。这些人并不缺乏最起码的“科学知识”,但他们所拥有的只是教条的科学结论,缺乏的是科学的精神、对科学过程的认识和对科学客观、理性与实证态度的把握。严格地说,这些人并不真正懂得科学。因此,我国公众的科学认识水平之低也是可想而知的,我国科学教育与科学课程值得反思。

^① [美]杰拉耳德·霍耳顿:《科学与反科学》,范岱年、陈养惠译,江西教育出版社 1999 年版,第 186 页。

为了全面提高我国中小学生的科学与人文素养,新一轮基础教育课程改革倡导科学探究的学习方式,利用文化演进的规律和程序,解决教学过程中学生自主性体现不足、肢解人类文化和学生单向度发展的问题。在这样的背景下,科学教育工作者亟待深入探讨科学的本质,重新认识科学的价值与功能,重建凸显科学本质的科学教育与教学范式。在众多的科学教育研究中,袁维新教授的研究是系统的、深入的和创新的。他先后主持了“基于建构主义的科学教学改革研究”、“科学本质教学的理论与实践研究”、“科学概念发展的学习与教学模式与策略研究”、“科学史哲与科学教学结合的理论与实践研究”、“科学学科领域中的另类概念及其转变研究”等课题的研究,并在此基础上完成了这部专著。

作为第一位读者,我非常荣幸能够在付梓之前阅读了这部专著,让我耳目一新。本书成功地尝试从历史到现实、从理论到实践、从宏观到微观对科学教学中的重大问题进行系统的理论探讨,在科学教学的理论基础、科学教学的教育价值、科学教学的范式转型、科学探究教学、科学概念教学、科学本质教学、科学史教学和科学问题解决教学等方面,进行了卓有成效的研究,提出了许多独到的见解。

本书丰富了我国科学教育教学理论,拓展了科学教学研究的深度。本书作者对国内外各种关于科学本质、科学教育价值、科学教育范式、科学探究、科学概念教学、模型建构教学、科学本质教学、科学史教学、科学创造力教学和科学问题解决教学的观点与策略进行了客观的分析;依据科学哲学阐述了科学的本质,探讨了科学观转变与科学教学范式重建的问题;以科学的社会(工具)价值与科学的人文价值为线索,对科学的价值与科学教育价值进行了多元分析;运用学习心理学理论,论述了科学教学范式如何从科学文化与科学活动的本质出发,摆脱过分强调科学知识接受、忽视科学活动体验的传统科学教学模式,实现从授受向建构、从探究向理解的转变;基于概念重建教学模式和建构性教学模式,提出了“学科学”、“做科学”和“理解科学”的三层面科学教学新范式。作者认为,科学教育目标应该定位于发展学生的科学素养,应该将科学教育内容从科学知识扩大到科学文化,应该将科学教育方式由授受转变为科学探究。英国科学家贝尔纳(J.D.Bernal)早

就指出：“科学是一种研究描述的过程，是一种人类活动，这一活动又和人类其他的种种活动相联系，并且不断和它们相互作用。”^①一位美国学者认为：“人们通常都把科学定义为组织化的知识体系。但是，科学除了事实、原理、定律、理论和假说等内容之外，还包括了观察、实验、沉思、想象、预言以及获得知识的其他手段等活动过程。甚至还涉及包括好奇、客观、诚实和惊异等特殊的态度和感觉。”^②这表明，科学作为一种文化或人类活动，是以科学的语言、符号所记录和表达的科学理论体系及其形成过程，是以物质形态存在的生产和生活工具，是以观念形态存在的科学品质。

本书倡导凸显科学本质的科学教育教学。本书作者认为，科学的本质包含三个方面的内容：作为科学探究的科学，作为科学态度与精神的科学和作为科学知识的科学。查尔默斯曾经深刻地指出：“理论被解释为人类智力试图解决以前的理论遇到的问题，并且对世界或宇宙某些方面的行为作出适当的解释而自由创造的、思辨的、尝试性的推测或猜测。思辨的理论一旦被提出，就要受到观察和实验的严格的、无情的检验。经不起观察和实验检验的理论必须淘汰，为进一步的思辨的推测所取代。”^③库恩的范式理论在客观上起到了消解关于科学绝对真理观的作用。但科学认识也并非完全由主观约定，而是主观与客观的统一；可是，夸大科学的绝对真理性，将科学外推至任何事物（特别是社会生活事物和关于人本身的事物）并企图控制这些事物则也是相当有害的。科学追求“真”、“善”、“美”。“真”反映了人的主观意志之外的事物的内在规定性，“善”显然是指科学之于人和社会的“实用”，反映了人类的志趣和价值追求，“美”则是指科学对和谐世界的美的认识和描述，反映了人的审美愿望和世界的美的品质。科学的“真”并不是无条件的，我们承认科学的“真”是在一定的语境下、一定的事物中、一定的程度上的，因为任何科学理论和原理都有其适用条件。因此，科学的本质

① [英] 贝尔纳：《历史上的科学》，伍况甫等译，科学出版社 1983 年版，第 684 页。

② V. Schmidt, V. Rochcastle: Teaching science with Everyday Things [M]. McGrawhill Book company 1982.p2.

③ [英] A.F. 查尔默斯：《科学究竟是什么——对科学的性质和地位及其方法的评价》，查汝强译，商务印书馆 1982 年版，第 47 页。

主要反映在其发展过程中的四个矛盾或矛盾两极的张力之中,那就是“静”与“动”、“证实”与“证伪”、“真理”与“约定”、“实用”与“实在”之间的矛盾或张力。本书作者认为,教学中凸显了科学本质,就可以防止传统科学教学对人的异化,就可以阐释与守护科学的本来意义,就可以塑造一种人文化的独特的人格气质。凸显科学本质的教学,有利于学生树立正确的科学观,有利于学生理解科学的方法与过程,有利于学生理解科学知识的建构本质,有利于培养学生自由探索精神,有利于学生形成科学道德。可见,本书提出的观点与策略与科学本身具备的“静”与“动”、“证实”与“证伪”、“真理”与“约定”、“实用”与“实在”等本质特征是完全一致的。

本书注重当前科学教学改革和发展问题的探讨,实现了教育理论与教学实践的有机统一。本书作者除了对科学学习与教学理论进行了深入的探索,而且特别强调对科学学习与教学中的实践问题及其解决对策的分析。作者对科学探究学习与教学、科学概念学习与教学、科学模型建构教学、科学本质教学、科学创造力教学、问题解决学习与教学等科学教学关注的实践问题,提出了具体的、可操作的建议和教学要点,并有大量教学案例支持,能有效地指导科学教师的课堂教学实践。例如,在对科学探究教学模式进行反思与批判时,作者认为,囿于经验主义科学观,不能反映科学的本质;把科学教学过程简单等同于科学研究过程,不能反映科学教学过程的本质;强调做科学,忽视学科学,不利于对概念的深层理解;教学操作方法单一化与模式化,不利于学生理解科学的本质。在提出概念转变的教学策略时,作者认为,揭示学生的前科学概念的策略,这是实现概念转变学习的前提;引发学生的认知冲突的策略,这是实现概念转变学习的契机和动力;解决学生的认知冲突的策略,这是实现概念转变学习的关键。对于培养科学创造力,作者提出了培养和激发学生的创造意识;培养学生的好奇心;鼓励和启发学生主动质疑问难;培养学生的批判精神;培养学生的哲学思维;加强思维训练,培养学生的创造性思维;鼓励和启发学生大胆想象,培养和训练学生的创造想象等教学策略。

我认为,袁维新教授的这本新作是在他深入思考、不断实践的过程中“干”和“做”出来的。在理论上,本书努力突破了传统科学教学的客观主义

认识论,确立了建构主义认识论,并以此为基础重建科学教学本质观、科学教学内容观和科学教学过程观。在实践上,本书提出了多样的科学教学模式与策略,能有效地指导科学教师的课堂教学实践。总之,本书是一本理论与实践结合、历史与现实贯通、继承与创新同在的力作。在此,我欣然向广大读者,特别是从事或准备从事科学教育研究的同仁和中小学理科教师,推荐袁维新教授的这本新作,并借此机会祝愿袁维新教授在科学教育研究领域更上一层楼。

是为序。

母小勇^①

2012年3月6日于苏州大学

^① 母小勇系苏州大学教育学院副院长、教育科学研究中心主任、教授、博士生导师、教育学博士、中国教育学会科学教育分会理事和中国教育学会课程专业委员会理事。主要研究高等教育学原理、教师教育理论与实践、科学课程与科学教学理论。

目 录

引言 科学教学与科学教学研究概述·····	1
-----------------------	---

上 篇 总 论

第一章 科学教学的理论基础 ·····	17
第一节 哲学基础——科学观·····	18
第二节 心理学基础——学习理论 ·····	31
第二章 科学教学的教育价值 ·····	69
第一节 科学价值与科学价值观 ·····	69
第二节 科学教育价值与科学教育价值观 ·····	81
第三节 科学教育价值观的演进与重建 ·····	91
第四节 科学教育价值观的批判与科学教育目标的定位 ·····	101
第三章 科学教学的范式转型·····	113
第一节 从授受到建构 ·····	113
第二节 从“探究”到“理解” ·····	124
第三节 从科学知识到科学文化 ·····	134
第四节 从现代到后现代 ·····	146
第五节 从正式学习到非正式学习 ·····	158

下 篇 各 论

第四章 科学探究教学	175
第一节 科学探究教学的历史与现状	175
第二节 科学探究学习与教学的含义及要素	181
第三节 科学探究的基本特征与判别指标	184
第四节 科学探究的过程模型	189
第五节 科学探究教学模式	199
第六节 基于 WebQuest 的探究式科学教学模式	222
第七节 科学探究教学模式的反思与批判	231
第五章 科学概念教学	243
第一节 早期关于科学概念的学习与发展的研究.....	243
第二节 科学概念的形成与发展理论	263
第三节 概念转变的基本理论	272
第四节 概念转变的教学模式与策略	283
第五节 概念重建学习与教学理论	297
第六节 科学概念的建构性教学模式与策略	308
第七节 科学概念教学中的类比与隐喻	314
第六章 模型建构教学	324
第一节 模型和模型建构概述	324
第二节 基于模型的学习与教学活动	336
第三节 模型建构教学的策略	356
第四节 基于计算机的建模及其对科学教学的意义.....	364
第五节 模型建构教学模式及其实施案例	373

第七章 科学本质教学·····	382
第一节 科学本质教学的历史回顾 ·····	382
第二节 科学本质的含义与科学的要素 ·····	388
第三节 科学本质教学的含义与价值 ·····	403
第四节 科学本质的学习范畴与教学目标 ·····	412
第五节 科学本质教学的途径、方式与策略 ·····	419
第六节 开展科学本质教学应处理好的几个关系·····	432
第八章 科学史教学·····	437
第一节 科学史教学的历史回顾 ·····	437
第二节 科学史教育的理论基础 ·····	441
第三节 科学史的教育价值 ·····	452
第四节 科学史融入科学课程原则与方式 ·····	464
第五节 科学史融入科学课程的教学策略 ·····	469
第六节 科学史教学的新发展——HPS 教育 ·····	476
第九章 科学创造力教学·····	488
第一节 科学创造的过程与本质 ·····	488
第二节 影响科学创造力形成的内在因素 ·····	499
第三节 科学创造力教学的含义与价值 ·····	510
第四节 科学创造力教学的原则与模式 ·····	514
第五节 科学创造力的教学策略 ·····	521
第六节 基于问题解决的科学创造力教学与实施案例·····	534
第七节 STEM 教育模式 ·····	542
第十章 科学问题解决教学·····	554
第一节 问题解决学习与教学概述 ·····	554
第二节 科学问题解决的心理分析 ·····	564
第三节 问题解决学习与教学的实施案例 ·····	571

第四节 创造性问题解决学习与教学模式 576

第五节 基于网络的创造性问题解决学习过程设计..... 588

第六节 创造性问题解决教学的案例 594

第七节 基于项目的学习模式 600

参考文献..... 613

主题索引..... 637

后 记..... 641

引言 科学教学与科学教学研究概述

20 世纪以来,科学技术进入了人类有史以来发展最快的历史时期。新一轮科学技术革命使人们进一步认识到科学教学的地位和作用。各国之间的竞争,主要是科学技术的竞争,科学技术竞争的关键是科技人才的竞争,而科技人才竞争的核心却是科学教学的竞争。科学教学的质量成为一国能否在竞争中取胜的关键。所以当代各国都十分重视科学教学,大力开展科学教学研究,不断改革科学教学,促进科学教学的现代化。而我国的科学教学理论与实践在历史上一直发展缓慢,现在虽有长足进步,但和发达国家相比,依然滞后,国民的科学素养还亟待提高,人们对科学教学的认识还存在一些模糊之处,历史和现实都说明,我国的科学教学理论与实践还有待于进一步发展。

一、科学教学的源起与内涵

发生在 14 世纪至 17 世纪的文艺复兴运动,引发了人类在知识、社会和政治等各方面的一系列革命。其后,伴随着资本主义生产关系的产生与发展,科学日益受到重视,科学教学开始被纳入学校教学的一部分,但与人文教育相比,当时科学教学的地位还是比较低下。早期的欧洲大学一般分为文学院、法学院、医学院和神学院,在这些学院中,科学教育所占的比例相对较小,因为在中世纪,科学被看做是神学的婢女。18 世纪发生的产业革命推动了学科的分化和社会的分工,为科学教育和人文教育划定了各自的边界。19 世纪中叶,被称为“近代实科教育奠基人”的英国教育家赫伯特·斯宾塞在《教育论》中讨论“什么知识最有价值”时,主张“教育的目的就是为

完美的生活做准备”,突出了科学知识的价值,他第一个系统阐述了科学教学的思想。20 世纪以后,科学教学得到了迅猛发展,美国、法国等发达国家相继掀起了科学教育改革运动的高潮。总之,从 19 世纪下半叶欧美国开始普及初等义务教育开始,科学教育的发展走过了一百多年的历程。它由最初的实物教学形态演变成为自然学习形态,至 20 世纪 60 年代发生了科学教育革命,从而终于走向真正的科学教学形态。^①

所谓科学教学是指以全体青少年学生为对象,以学校理科教育(基础教育)为主阵地,以自然科学学科为主要内容,包括科学(综合理科)、生物、物理、化学等学科,并涉及技术、科学史、科学哲学、科学文化学、科学社会学等学科的具有科学教育意义的内容,以期使青少年掌握自然科学的基本知识和基本技能,学会科学方法,体验科学探究,理解科学、技术与社会关系,领会科学本质,养成科学精神,培养自由探索精神和科学创造力,进而全面培养和提高学生的科学素养的教学活动。^②

二、科学教学的发展路径

国际科学教学从最初的科学启蒙到最终走向真正的科学教学形态走过了一百多年的发展历程。根据科学教学的内容和价值取向,借鉴库恩的范式转变理论,我们认为,科学教学的发展经历了三个阶段,分别对应于三种范式:发生期——科学知识教学范式、发展期——科学方法训练范式和成熟期——科学素养培育范式。

1. 发生期——科学知识教学范式

从 19 世纪下半叶到 20 世纪初是科学教育的发生期。当时科学教育还没有引起社会的关注,科学家、教育家还在对其含义进行不同角度的阐释。此时的科学教育形式单一,实质上是单一的科学知识教学。它主要关注课堂上对科学概念、科学定律和科学原理的传授。教师讲、学生听是科学教育的主要方法,最终考核也是以知识记忆的多寡为评分标准。美国斯坦福大

① 王世存、王后雄:《国际科学教育发展:路径、问题与对策》,《教育科学研究》2011 年第 10 期。

② 马勇军、吴俊明:《科学教育概念辨析》,《天津市教科院学报》2006 年第 8 期。

学的赫德曾提到的 20 世纪初美国的一个小学科学教育大纲就是一个典型例子：“大纲所列的内容绝大部分是研究周围自然界的生物，植物和动物的特性和生活史……。儿童的学习几乎全是读、写或者听故事和寓言，看图画，描图样和制作模型”；“由于精神训练和官能心理学的强烈影响，导致教师们相信，让儿童死记科学事实比允许他们自由地观察探索事物获得的教育好得多。”^①杜威对该时期科学教学的评价是：“在大体上，科学只是作为一套现成的知识和技能来教的。它的教学不能在方法上提供一切有效的明智行动的榜样。”^②

这一时期，科学教学的目的在于使儿童熟知科学的分类及科学术语的知识，同时也注意了帮助学生学习自然和爱好自然，陶冶儿童的情感。教学方法以讲授为主，没有真正讨论科学过程，以传授科学知识为主要目的。教学指导思想和内容上，由于各国受本民族思想影响较大，表现出较大的差异。如英国受培根思想的影响，比较重视实验教育，轻理论教育；法国受笛卡儿唯理论的影响，轻实际重理论；美国受实用主义哲学的影响，重视实验和实际知识的教学，忽视对事物的理解和应用。

2. 发展期——科学方法训练范式

20 世纪 60 年代以后，科学方法在科学知识形成中的重要意义日益被人们所认识，人们对科学方法的重视日益凸显。随着知识爆炸时代的来临，人们越来越意识到与其死记硬背各种具体科学知识，不如掌握生命力更持久的科学方法。正如 BSCS 课程设计者施瓦布所言：“不要把科学当做证明或证实某些概念、原理的过程，而要把它当做一个发现的过程，一个揭示自然事物的过程和一种提高我们理解力的方式来发现这些事实之间如何联系起来的过程。”^③在这样的社会背景下，涌现出一批新的科学课程和新的教学方法，目的是加强科学方法的训练。

① [美]赫德·加拉赫：《小学科学教育的新方向》，刘默耕译，文化教育出版社 1980 年版，第 28 页。

② [美]约翰·杜威：《人的问题》，傅统先、邱椿译，上海人民出版社 1965 年版，第 282 页。

③ Schwab, J.J. The Teaching of Science as Enquiry [A]. In Schwab, J.J. and Brandwein, P.F. The Teaching of Science [C]. Cambridge, Mass.: Harvard University Press. 1962. 43.

在当时冷战的国际竞争环境下,美国政府率先改革科学教育课程,开展了“科学课程现代化运动”。这次运动产生了十多种至今仍有影响的实验性科学课程。如,SAPA 课程,这个实验课程由美国促进科学协会(AAAS)的科学教育委员会编写,其全称是《科学——一种过程方式》(Science——A Process Approach)。它也是一个完整的初等学校科学教育课程(供幼儿园至6年级的学生学习)。SAPA 课程是注重科学方法训练的课程。其基本假设是:(1)科学是一种智力活动;(2)探索知识带来欢乐;(3)看到自然世界和生命世界的奥秘给儿童带来兴奋;(4)学习科学家解决问题的方法可以使儿童得到智慧;(5)科学教育的主要目的在于激发儿童的欢乐感、兴奋感和科学的理智感。^① SAPA 课程的主要目标是培养儿童从事科学研究的过程技能,即进行科学方法的训练。SAPA 课程是根据美国著名心理学家加涅的学习理论编写的,强调目标教学和目标的递进性。当时的美国大约有9%的学区使用这一课程。这一时期科学教育的价值取向主要是基于科学方法教育,其共同特点是:(1)强调儿童动手在实验中寻找答案,取代由教师提供现成的答案让他们接受;(2)实验课程均以探究作为科学的过程;(3)给儿童提供理解学科结构的机会;(4)实验课程均有助于儿童拓宽对环境的理解;(5)通过科学教育改变儿童的行为。

这一时期科学教育的目标是培养科学家。因而,课程内容注重以现代科学基本概念和规律为核心,强调学科结构,大量增加现代科学研究成果,删减与日常生活有关的应用性知识。教学上,提倡以学生的学习活动为中心,强调学生要通过自己的探索活动,获得科学知识,注重问题解决法、发现法等运用。

3. 成熟期——科学素养培育范式

20 世纪末至今,国际科学教育进入成熟期,出现了以科学素养的培养为科学教学最高宗旨的发展趋势。与前两个时期相比,科学素养比科学知识、科学方法的内涵更深远、更丰富。虽然不同的群体对科学素养概念的内涵有着不同的理解,科学素养内涵随着科学技术的发展也在不断地变化,但

^① 丁邦平:《国际小学科学教育的发展趋势》,《教育研究与实验》1998 年第 3 期。

科学素养的核心内容基本上是一致的。根据克劳普法(L·E·Klopfer)的解释,科学素养是指“每个人所应具备的对科学的基本理解。它有五个方面:(1)了解重要的科学事实、概念原则和理论;(2)把有关科学知识应用于日常生活情境中的能力;(3)具有利用科学探究过程的能力;(4)理解科学性质的一般原理和关于科学、技术与社会的相互作用;(5)具有明智的对待科学的态度以及具有与科学有关的事物的兴趣。”^①很显然,科学素养是一个融科学知识、科学过程与方法、科学情感态度与价值观、对科学本质的理解、科学技术与社会的关系等等多种因素为一体的复合概念。

在此期间,美国科学促进协会提出了有名的“2061 计划”,旨在使所有的学生都具备科学素养。其特色为综合性、长效性和以学生为中心,强调学校应注意因材施教,培养学生的创造性,鼓励学生主动思考问题而不是告诉其现成答案。教师采用多种教学方法,帮助学生发展思维和想象力并解决实际问题。“2061 计划”明确提出:“教育的最高目标是要使人们达到自我实现和过负责任的生活。科学教育是教育的一分子,即传授科学、数学和技术,这些知识可以增进学生的理解,使他们养成良好的思维习惯,变成富有同情心的人,使他们独立考虑怎样面对人生。用这些知识装备他们,同公众一道,全心全意地建设和保卫一个开放的、公正的和生机勃勃的社会。”^②这个时期科学教学的价值取向主要是针对全体公民的教育,学校科学教育的目标是:培养学生在对自然界有所了解和认识的过程中产生充实感和兴奋感;培养学生能在进行个人决策时恰当地运用科学的方法和原理;培养学生能理智地参与那些与科学技术有关的各种问题的公众对话和辩论;培养学生能在工作中运用一个具有良好科学素养的人所应有的知识、认识和各种技能,因而能提高自己的经济生产效率。

三、当代科学教学研究的取向

国内外关于科学教学的研究主要有两种取向。其一是基于认知心理学

① Klopfer, L.E. Scientific Literacy[A]. In: Husen T, Poatlethwaite T N, ed. The International Encyclopedia of Education: Research and Studies v8[C]. Oxford: Pergamon Press, 1985. 4478.

② Depaul, G. Project 2061: Science for all Americans[M]. Washington: National Press Club, 1989. 10.