

## 中国建国以来科学教育改革的回顾与反思

王晶莹

华东师范大学课程与教学研究所

中国 200062 上海市中山北路 3663 号

电邮: [wangjingying8018@126.com](mailto:wangjingying8018@126.com)

收稿日期: 二零零八年九月二十八日(于十二月十五日再修定)

---

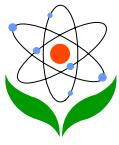
### 内容

- [摘要](#)
  - [引言](#)
  - [有关科学教育改革的诠释](#)
    - [当代科学教育的理念](#)
    - [科学教育的结构性分析](#)
    - [科学课程的组成要素及类型](#)
  - [科学教育的主轴——科学课程的历史回顾](#)
    - [中国科学教育的三次浪潮](#)
    - [中国科学课程的历史回顾](#)
  - [中国科学教育的思考与反思](#)
    - [功利主义科学课程的价值取向依然存在](#)
    - [实证主义和建构主义二元对立的科学教育观](#)
    - [科学教育研究和专业人才培养的滞后](#)
    - [科学教师教育建设发展的不平衡](#)
    - [科学课程学业评价改革的脱节](#)
  - [致谢](#)
  - [参考文献](#)
- 

### 摘要

本文通过对科学教育改革和科学课程内涵的诠释, 分析了建国以来的三次科学教育改革浪潮, 回顾了中国科学课程改革的六个阶段, 并对中国的科学教育改革进行了思考。

**关键词:**科学教育; 课程改革; 教学大纲; 课程标准



## 引言

科技发达的国家都十分注重国民的科学素养,它关系到人才的综合素质和创造力以及国家的综合竞争力。当代科学教育的目的在于培养和提高公众的科学素养,发展科学探究能力,养成科学精神和态度。这一目标远远超出了以往科学知识的范畴,其理念在于引导人们认识科学的本质和理解科学的价值,培养公民的生存和发展能力、用科学的思维方式进行信息选择和鉴别以及参与决策和讨论。本文首先对科学教育改革进行诠释,然后进一步探讨中国建国以来的科学教育改革。

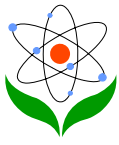
## 有关科学教育改革的诠释

科学教育有狭义和广义之分,狭义的科学教育通常包括数学和自然科学(物理、化学、生物和地理),也就是中国基础教育阶段提及的理科教育,而广义的科学教育除数学和自然科学外,还包括环境教育、技术教育、工程教育等;就实务运作层面,科学教育包括政策、目标和理念、课程和教材、教与学、评价、师资教育,乃至全民科学素养的培养等,本文针对狭义的科学教育,主要是中小学阶段的理科教育。

### 1.1 当代科学教育的理念

毕比和德波尔(Bybee, R. & DeBoer, G., 1994) 通过科学教育发展史的分析,认为科学教育改革一直围绕着三个科学课程目标,即促进个人和社会的发展,掌握科学事实和原理性知识,体验科学过程和理解科学的应用。[1] 这三个目标在国际科学教育改革中不断变化并重复,影响着科学课程和教学实践。托宾、蒂平斯和盖拉德(Tobin, K., Tippins, D., & Gallard, A.J., 1994) 认为当代科学教育的理念是将科学作为一种过程来理解,学生能够用科学的思维方式来认识世界。[2] 霍斯利等 (Horsley, et al., 1993) 指出建构主义是当今科学教育改革的哲学理念,它要求教师改变传统的教学方式,与实证主义范式相对。[3] 实证主义是传统科学教育理念的哲学基础,它认为科学知识是既定的、已经证明的、被社会广泛接受的,可以简单的通过传授的教学方式教给学生;学业评价以识记事实性知识和符号为基础,以学生掌握知识为标准。实证主义的核心是不同的学习情境,包括学习内容、活动和教科书,而建构主义关注的焦点是学习者。夏皮罗 (Shapiro, B., 1994) 谈到科学是一种文化,具有特殊的理解自然世界的功能,科学教育的一个目标就是构建儿童生活经验和科学文化之间的桥梁。[4] 实际上学生学习科学的过程是他们的概念不断顺应和同化的过程,只有学习者将他们的实际经验和学习结果相联系的时候,他们才有真正意义上的理解。学习是通过不断的对话和反思来完成的,而不是简单的传授和消极的接受。可见,国外学者对科学教育改革理念的主张与认识也是多元的,有不同的侧重点与特色,下文将介绍中国建国后在国际多元背景影响下的科学教育改革。

### 1.2 科学教育改革的结构性分析



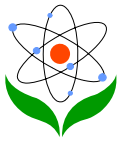
史密斯和欧黛(Smith, M. S. & O'Day, J., 1990&1991) 倡导系统改革中教育政策变革的重要性, 他们认为自上而下的科学教育改革需要具备科学教育政策制定的一致性, 而自下而上的改革则需要将学校本身的行动与需要及时反映给州政府以及其他主管机构。[5][6] 关于自上而下的科学教育改革, 主要包括六个方面: 即(1)一致性的视野和目标; (2)连贯性的教学指导; (3)学校课程; (4)教师的专业发展(职前和在职); (5)学业评价; (6)重建管理系统(学校、地区以及州的不同层面)。富兰(Fullan, M.G., 1991&1996) 认为教育改革只是一个旅程, 而不是一个蓝图。他指出系统改革应该注重所有学生的学习目标, 相应的教学运作、管理和评价的方法, 以此来达到新的学习目标; 只有澄清和取得这些问题的一致时, 教师才能有机会成功地执行改革的理念。[7][8] 康利(Conley, B.T., 1993) 在论及科学教育改革时提出了一个详尽的框架, 即科学教育系统改革包括三个要素, 中心、授权和支持。[9] 学习者的学习结果、课程、教学以及评价是中心变量, 学习环境、技术、学校或共同体的关系、时间是授权变量, 上级管理、教师领导、个人结构、工作关系是支持变量。他认为上级管理是改革的主要支持要素, 同时要考虑学习者的学习成果、课程、教学以及评价的相互作用。国外学者从不同的侧面对科学教育改革的结构进行了分析, 中国的科学教育改革无论从课程标准的制定、改革理念的确立、评价方法的倡导、教师专业化的发展……都受到了国际科学教育改革的影响, 其中美国的影响最大。

根据相关学者的研究[10]以及教育改革的基础性认识, 笔者认为, 科学教育改革可以分为三个方面, 即课程(包括教材、教学和学习)的改革与发展, 科学学业评价的改革, 科学教育学术研究的发展。其中课程是学校教育的核心, 所有的教育改革必然涉及课程改革。

### 1.3 科学课程的组成要素及类型

一套完整的科学课程通常由以下要素组成: (1)科学课程的哲学理念和心理学基础; (2)科学课程的长程、短程和教材目标; (3)教材内容; (4)教学策略及教学模式; (5)教学资源; (6)教师的教和学生的学; (7)学业评价; (8)预期学习成果。[10]

根据科学课程的内容和组织形态, 可以分为三种类型, 即(1)内容知识导向的课程: 重视学科的基本概念结构和知识的累积, 注重科学的结果而不是过程, 教学的目的在于传授科学知识, 培养学生的认知技能, 实验活动以验证式为主; (2)过程导向的课程: 强调科学作为一种过程, 注重知识产生过程的教学和学生的技能, 学习内容包括科学概念知识、科学过程技能和科学态度、情感以及价值观等方面, 实验活动兼顾探究式与验证式; [10] (3)综合课程: 课程内容既有科学知识, 也有学生获得的主体经验, 以统整或去边界的方式依据课程内容之间的内在逻辑关系, 将其组织起来, 消除学生原有知识体系中各类知识的界限, 使学生形成关于世界的整体性认识和完整性观念。



## 科学教育改革的主轴——科学课程改革的历史回顾

在中国半个多世纪以来的科学教育改革中, 课程的改革是主轴, 本文在回顾科学教育改革时, 必然要以科学课程改革的演变作为论述的核心。

### 2.1 中国科学教育改革的三次浪潮

新中国成立以来, 中国的基础科学教育在演进发展的道路上, 经历了三次较大的改革浪潮。

#### 2.1.1 第一次浪潮——“双基”的教育观

1952 年教育部颁布建国后第一个中学课程标准草案, 以当时苏联的教学大纲为蓝本制定了中学物理、化学等学科的教学大纲。[11] 这一阶段在改造旧中国教育制度的基础上, 学习苏联的教育体制和经验, 确立了以注重科学基础知识和技能以及系统性为核心的“双基”教育理念, 对中国科学教育的方向产生了深远影响。

#### 2.1.2 第二次浪潮——科学能力的教育观

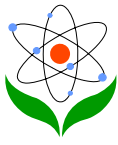
这次浪潮始于 20 世纪 60 年代, 培养科学能力是这次改革的突出特征。1963 年制订了中小学各科教学大纲, 加强“双基”、注重培养学生分析和解决问题的能力。在经历“文化大革命”的曲折后, 注重基础、培养能力、实施素质教育。教学大纲把培养和发展科学思维能力, 观察、实验的能力和自学能力作为教学的基本目的。开始重视科学-技术-社会(STS)教育和综合课程, 但是以学问为中心的思想仍然占主导, 强调知识的系统性、巩固知识的教学观盛行, 布鲁姆的掌握学习教学法以及布鲁纳的学科结构课程理论影响着这一时期的科学教育。[12]

#### 2.1.3 第三次浪潮——科学素养的理念

这次浪潮始于 90 年代, 主要包括三个方面的转变: 一是科学教育的目的观转向面向全体学生、立足于人的科学素养发展, 培养创新精神和实践能力; 二是科学教育的课程观体现普及性、基础性和发展性, 注重课程与学生的生活世界、经验以及社会科技发展的联系, 促进学科之间的渗透、提倡跨学科的综合学习; 三是科学教育的实践观转向理解科学的过程和本质、认识科学的价值、培养科学探究能力和科学情感、态度与价值观。这些转变革新了传统“双基”教育观的局限, 同时对科学能力的教育观有了新的突破。

从科学教育改革的发展可以看到, 改革往往起因于国家和社会对高素质科技人才需求的增加, 而科学教育系统所提供的教育内涵无法满足国家、社会科技发展的新需求。针对这一问题所进行的科学教育改革, 往往着手于科学课程及教育政策, 而另外两个问题也不可忽视, 即①课程是达到教育目标的工具, 不是教育的所有内涵; ②教育政策的变革需要落实在学校、社会及客观教育环境的支持之下。





## 2.2 中国科学课程改革的历史回顾

通过分析中国科学教育的三次改革浪潮, 纵观科学课程改革, 大致经历了六个时期, 反映了中国不同时期的政治、经济、教育的发展和需要, 也表明了中国科学教育发展与教学改革的探索历程。[13][14][15][16] 下文具体回顾建国以来科学课程教学大纲和课程标准的演进。

### 2.2.1 学习苏联时期 (1949 年—1956 年)

1950 年 8 月教育部颁发了《中学暂行教学计划(草案)》, 这是新中国第一份教学计划, 设置了包括自然科学在内的门类齐全的学科课程。1952 年 4 月教育部发布了建国后第一个中学课程标准草案, 受苏联的影响, 把课程标准中规定教学科目及其安排的部分作为“教学计划”, “课程标准”改为“教学大纲”, 在最近一次课改中才将二者合并为课程标准。这一阶段的教育目标是传授科学课程的基本知识和技能及其在生产中的应用; 培养学生使用仪器和工具的实际技能, 并强调解答习题是学习的有效方法; 培养学生辩证唯物主义、爱国主义和国际主义情感。

### 2.2.2 探索徘徊时期 (1957 年—1965 年)

这一时期是中国开始摆脱苏联的影响, 进入“独立自主、自力更生”的阶段, 照搬套用苏联教育经验所带来的学校系统、教学体制方面的矛盾在这一时期爆发出来。1958 年“大跃进”引发了“教育大革命”, 缩短学制、精简课程, 增加劳动, 注重思想教育, 还出现了多种学制的改革试验。[17] 这一阶段的教育目标是传授基本知识及其在工农业生产和其他方面的应用, 扩大科学教育的知识面; 培养学生的实验技能和计算能力; 培养学生辩证唯物主义、爱国主义、民族自豪感和国际主义情感。

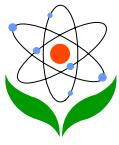
### 2.2.3 十年动乱时期 (1966 年—1976 年)

这一时期科学教育走上了以产品带动教学的道路, 提倡典型生产引路, 例如, 物理教育围绕“三机一泵”, 生物课的重点是“农业基础知识”, 而化学课则改名为“工业基础知识”, 这一时期中国的科学教育发展遭到极大的破坏。

### 2.2.4 调整尝试时期 (1977 年—1987 年)

1978 年邓小平指出科学技术是第一生产力, 号召大力发展科学研究和科学教育。这一时期的教育目标是为提高全民族的素质, 为现代化建设培养四有新人。注重传授现代科学技术必须的科学基础知识和实际应用, 对学生进行观察、思维、科学态度和方法的训练, 培养学生的实验技能、运用数学解决科学问题的能力, 重视课堂练习和课外作业; 注意培养学生的学习兴趣, 启发他们自觉能动地学习知识; 培养学生辩证唯物主义观念。教学大纲中指出, 教学改革首先是教学思想的改革, 要克服违背教学规律的单纯追求升学率的偏向, 破除只重视传授知识的传统教学观, 教学方法改革的重点在于调动学生学习的主动性和积极性。[13]

### 2.2.5 全面发展时期 (1988 年—2000 年)



中国自改革开放以来，随着高速发展的科学技术，制定了科教兴国的发展战略。1992年义务教育制度在全国推广，随之兴起的素质教育改革促进了中国科学教育的发展。这一时期大纲中的教育目标是培养德智体美劳全面发展的公民，从“精英教育”模式向“大众教育”转变，强调“双基”，注重培养学生观察、实验、思维能力，分析和解决问题的能力；培养学生的学习兴趣、实事求是的科学态度、科学方法、独立思考和创造精神，辩证唯物主义和爱国主义情感。科学-技术-社会（STS）教育在这一时期也得到了发展，但编制和实施方面存在很多问题，一直未能取得突破性进展。 [11]

### 2.2.6 理念变革时期（2001年至今）

这次科学课程改革主要借鉴美国的“2061计划”、《美国国家科学教育标准》等档，关注学生的科学素养，把科学作为人类的一种活动、一种思考和了解的方式，重视学生的质疑能力、信息能力、分析和解决问题的能力、合作能力、自主学习的能力等，强调学生从科学概念中体验、自我建构。在新一轮基础教育课程改革中，沿用了几十年的教学大纲悄然隐退，取而代之的是国家课程标准。科学学科课程标准的基本理念包括：面向全体学生、立足学生发展、突出科学探究、体现课程综合化、反映当代科学成果。强调学生领会科学的本质，养成关注科学、技术与社会问题的习惯，形成科学的态度和价值取向，树立社会责任感，更多地学习终身必备的科学知识，体验科学探究的过程，学会科学的思维方法，解决自我及社会决策的问题。

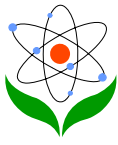
中国科学课程教学大纲的制定，是由国内政治、经济形势决定的，为巩固和建设国家而培养人才。从教学大纲的演变可以看出，科学课程逐渐向强调知识应用、能力培养、非智力因素，注重学生发展和提高科学素养等方向转变。 [18] 中国科学课程的类型主要还是内容知识导向，综合课程和过程导向的课程在实践中遇到很大的困难和阻碍，科学课程改革任重而道远。

## 中国科学教育改革的思考与反思

纵观建国后科学教育改革，我国的科学教育不断发展和进步，在以往科学课程改革的探索和发展中，既有对中国科学教育传统的继承，如强调科学基础知识和基本技能，重视德育的渗透；又在智力发展、思维训练与能力培养方面，从知识识记为主转向独立思考、以创造性思维为主的趋势。改革中也重视科学素养的培养，例如科学本质观、科学过程、科学探究等，这些观念在实践层面冲击了以知识、教师和课堂为中心的模式，在我国科学教育改革不断进步的同时，我们需要看到影响中国科学教育的主导思想还是双基的教育观，科学教育的发展仍然存在着一定的问题。 [19]

### 3.1 功利主义科学课程的价值取向依然存在

中国一直以来的课程价值取向表现为一种功利主义，这种价值观可分为社会功利主义和个人功利主义。功利主义的科学课程观重视课程的训练价值，突出科学课程对于社会政



治、经济发展以及个人适应社会生活的价值, 却忽视了全人发展的价值取向; 它虽然提升了科学教育在社会生产中的作用, 却忽视了对科学教育本质的把握。因此, 中国传统的科学教育是一种唯知识、唯能力和唯技术的教育, 与人文教育相隔离, 片面地理解科学文化, 忽视科学价值观, 抹杀科学文化的内在精神和人文价值。科学教育改革的新理念不断冲击着功利主义的价值取向, 向着人本化、生活化、多元化的方向发展, 但是功利主义的阴影还根深蒂固。

### 3.2 实证主义和建构主义二元对立的科学教育观

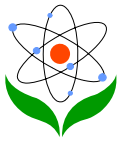
目前国内强调以建构主义理念为核心的科学教育观, 人们容易将传统的实证主义和建构主义割裂开来, 在强调建构主义的同时, 忽略或抛弃实证主义, 或者固执的维护所谓的“实证主义”, 采取极端的态度来看待科学教育的新理念, 这种现象很大程度上由于实证主义和建构主义科学教育观的二元对立。科学课程中的基本哲学问题是科学知识的价值是什么? 我们应该提供给学生什么样的科学观? [20] 在传统科学课程中, 科学的技术理性成为统治课程设计的核心思想, 而忽视了科学的人文价值和社会意义, 科学课程的实践理性和解放理性被忽略, 过于强调传统实证主义关于科学性质和认知方式的理解, 科学课程以教师为中心, 注重结果取向, 而忽视了课程的过程取向。只强调建构主义又忽略了科学课程的科学性和实证性, 因此我们需要平衡的科学观, 理性的认识到科学教育的不同价值观取向。

### 3.3 科学教育研究和专业人才培养的滞后

科学教育改革从教育政策的制定、课程的开发到探究教学的实施、课程与教学评价的运作, 以及科学教师的专业发展, 都迫切需要相应的科学教育学术研究来支撑, 但中国科学教育的学科建设还很薄弱。[21] 欧美国家十分重视科学教育的研究, 已取得了许多对科学教育改革有影响的理论和实践成果, 如建构主义理论、学生科学概念认知、科学本质和科学探究的研究等。这些成果不仅对科学教育政策的制定起到了指导作用, 也为科学教育的实践与改革提供了新的思路, 中国科学教育改革亟需本国文化基础的科学教育研究成果作为理论和实践的指导。另外, 中国大陆地区科学教育人才的培养分散在理科的课程与教学论专业中, 只有为数甚少的博士点, 具有理科背景的专业人才无法进行深入和系统的专业培养和研究, 更为严重的问题是大陆地区的科学教育研究还不能很好地与国际科学教育界接轨。

### 3.4 科学教师教育建设发展的不平衡

中国以往只注重“双基”的科学教育观, 教师和学生不知道科学究竟是什么, 非科学和伪科学的做法常常出现在科学课堂和日常生活中。随着中国新课程改革的深入, 以往科学



教育中存在的深层次问题和困难逐步暴露出来。从表面上看, 主要是不少教师的科学知识不够扎实, 实际隐藏在这些现象背后的深层次问题是教师对科学的本质、科学与其他学科的差异究竟是什么还没有完全理解, 更为困难和复杂的是, 科学知识是容易培训的, 而对科学本质的理解和认同, 是与一个人的价值观和文化背景密切相关的。[22] 因此, 中国科学教师教育是迫在眉睫的问题, 不仅需要提高教师在理论和实践中的科学素养, 包括提升他们对科学本质和科学探究的理论认识, 而且需要关注教师在学科知识的科学性, 科学本质和科学探究的具体内容等方面的认识和理解, 需要对教师进行这些基本概念和操作的基础性培训。

### 3.5 科学课程学业评价改革的脱节

科学课程评价是科学教育的重要环节, 是科学教育活动沿着制定的目标前进的保证。科学课程改革的顺利开展离不开学业评价的变革, 二者相辅相成。中国科学课程需要多元的评价方式, 例如科学探究就需要表现性评价的发展, 而只有学业评价的改革进一步发展和突破, 才能更好地促进中国科学教育改革的推进。

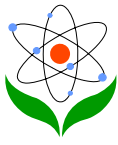
凯尔(Kahle, J. B., 2007) 在回顾美国 50 多年系统改革时谈到, 从苏联卫星上天到科学教育管理计划“人作为过程的学习研究”(Man: A Course of Study, MACOS), 从《国家在危险中: 教育改革势在必行》到《国家科学教育基准》, 从“以州为系统的计划”(Statewide Systemic Initiatives, SSIs) 到《不让一个孩子掉队》, 教育理念和实际政策的相互作用影响了改革的发展以及关于改革的研究, 改革的目标始终在现实与理想中徘徊。[23] 她认为 50 多年的改革研究和经验表明两点, 一是大规模的科学教育改革需要较长的时间来实施, 二是改革必须包括自上而下和自下而上两种途径共同作用。比毕(Bybee, R.W., 1993)在论及 20 世纪末的科学教育改革时指出, 美国的科学教育系统庞大、构成复杂、权力分散, 改革要想取得成功就必须处理好规模、差异性 & 权力这三方面的问题。并建议改革以如下方式进行: 所有科学教育工作者包括师范教育工作者、科学家、工程师、决策人士、研究者、教师等都作改革的主人, 对改革负责, 先对科学教育有一个共同的构想, 接着制定包括长、短期目标的实施计划, 然后密切配合, 进行实际改革。[24] 我们可以看到, 国外的科学教育改革虽然取得了瞩目的经验和成果, 但是仍然存在很多问题, 我国在引入国外先进理念的同时, 还要吸取国外系统改革的经验和教训, 不但要具有国际视野, 还要立足本土, 针对中国国情进行科学教育研究, 以此作为必要的学术支撑, 而且科学教育改革需要自上而下与自下而上的改革理念共同推进。

## 致谢

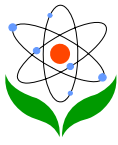
感谢华东师范大学 2008 年优秀博士研究生培养基金(编号: 20080020)的支助。

## 参考文献





- [1] Bybee, R. & DeBoer, G. (1994). Research on Goals for Science Curriculum. In D. Gabel (Ed.), *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*, 357-387. MacMillan. New York.
- [2] Tobin, K., Tippins, D., & Gallard, A.J. (1994). Research on Instructional Strategies for Teaching Science. In D. Gabel (Ed.), *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*, 45-93. MacMillan. New York.
- [3] Loucks-Horsley, S., Harding, C., Arbuckle, M., Murray, L., Dubea, C., & Williams, M. Teacher Institutes. (1993). In *Continuing to Learn: A Guidebook for Teacher Development*. Regional Laboratory for Educational Improvement of the Northeast and Islands and the National Staff Development Council.
- [4] Shapiro, B. (1994). *What Children Bring to Light- A Constructivist Perspective on Children's Learning in Science*. Teachers College Press. New York, NY.
- [5] Smith, M.S. & O'Day, J. (1991). Putting the Pieces Together Systemic School Reform. CPRE Policy Briefs RB-0649, 1, 1-12.
- [6] Smith, M. S. & O'Day, J. (1990). Systemic School Reform. *Politics of Education Association Yearbook* (1990), 233-267.
- [7] Fullan, M.G. (1991). *The New Meaning of Educational Change*. New York: Teachers College Press.
- [8] Fullan, M.G. (1996). Turning Systemic Thinking On Its Head. *Phi Delta Kappan*, 1996(6), 420-423.
- [9] Conley, D.T. (1993). *Roadmap to Restructuring: Policies, Practices and the Emerging Visions of Schooling*. Eugene, OR: Eric Clearinghouse on Educational Management. ED359593.1993.
- [10] 郑涌涇. 我国科学教育改革的回顾与展望[J]. 科学教育月刊,2005:2-22.
- [11] 袁运开,蔡铁权.科学课程与教学论[M].杭州: 浙江教育出版社,2003.
- [12] 彭蜀晋,林长春.科学课程与教学论[M]. 北京: 高等教育出版社, 2005.
- [13] 20 世纪中国中小学课程标准•教学大纲汇编, 物理卷[M]. 北京: 人民教育出版社,2001.
- [14] 20 世纪中国中小学课程标准•教学大纲汇编, 生物卷[M]. 北京: 人民教育出版社,2001.
- [15] 20 世纪中国中小学课程标准•教学大纲汇编, 化学卷[M]. 北京: 人民教育出版社,2001.



- [16] 20 世纪中国中小学课程标准•教学大纲汇编, 地理卷[M]. 北京: 人民教育出版社,2001.
- [17] 胡卫平, 韩琴, 严文法. 科学课程与教学论研究[M]. 北京: 高等教育出版社, 2007.
- [18] 司德平.建国后我国中学物理教学大纲的变化规律[J]. 教学与管理,05(1):70-72.
- [19] 刘德华.科学教育的人文价值[M].成都:四川教育出版社,2003.
- [20] 孙可平, 邓小丽. 理科教育展望.上海:华东师范大学出版社,2002.
- [21] 丁邦平,罗星凯.论科学教育改革与科学教育研究[J]. 教育研究,08(2):75-81.
- [22] 张红霞.科学究竟是什么.北京:教育科学出版社,2003.
- [23] Kahle, J. B. (2007). Systemic Reform: Research, Vision, and Politics. In Abell, S.K. & Lederman, N.G. (Eds.), Handbook of research on science education, 911-935. Lawrence Erlbaum Associations, Inc.
- [24] Bybee, R. W. (1993). Reforming science education: Social perspectives & personal reflections. New York: Teachers College Press.