



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

中国物理教育研究丛书

郭玉英 主编

范佳午 著

科学探究能力模型 与培养研究

KEXUE TANJIU NENGLI MOXING
YU PEIYANG YANJIU

 广西教育出版社



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

中国物理教育研究丛书

郭玉英 主编

范佳午 著

科学探究能力模型 与培养研究

KEXUE TANJIU NENGLI MOXING
YU PEIYANG YANJIU



广西教育出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

科学探究能力模型与培养研究 / 郭玉英主编. — 南宁: 广西教育出版社, 2016. 12

(中国物理教育研究丛书)

ISBN 978-7-5435-8213-2

I. ①科… II. ①郭… III. ①中学物理课—教学研究
IV. ①G633.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 320636 号

策 划	黄敏娴	黄力平
责任编辑	潘 安	潘姿汝
装帧设计	刘相文	
责任校对	杨红斌	何 云
责任印制	蒋 媛	
封面题字	李 雁	

出 版 人: 张华斌

出版发行: 广西教育出版社

地 址: 广西南宁市鲤湾路 8 号 邮政编码: 530022

电 话: 0771-5865797

本社网址: <http://www.gxeph.com>

电子信箱: gxeph@vip.163.com

印 刷: 广西壮族自治区地质印刷厂

开 本: 787mm × 1092mm 1/16

印 张: 15.75

字 数: 234 千

版 次: 2016 年 12 月第 1 版

印 次: 2016 年 12 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5435-8213-2

定 价: 35.00 元

如发现印装质量问题, 影响阅读, 请与出版社联系调换。

序

20 世纪 90 年代,广西教育出版社出版了《学科现代教育理论书系·物理》,由我的导师阎金铎教授担任主编,在物理教育领域产生了重要影响,已经成为本学科专业发展的里程碑。二十多年过去了,随着新世纪中国基础教育课程改革的全面推进,物理教育研究呈现出前所未有的繁荣景象,涌现出丰富的研究成果。当 2014 年该社提出要我组织编写一套《中国物理教育研究丛书》,汇集新时期的标志性成果时,我认为这是一个现实与历史意义兼具的重要选题,同时也感到是一个非常艰巨的任务,责任重大。

我国的物理教育有研究与教学紧密结合的优良传统,许多优秀的中学物理教师和教研员植根于教学实践开展研究,积累了大量本土化、原创性的研究成果,展示出物理教育的中国特色。近十几年来,随着研究生教育的发展,物理教育的国际交流不断拓展和深化,越来越多的年轻学者借鉴国际科学教育研究的经验和方法,针对我国物理教育实践中的问题,开展了多角度、多层次的具体深入的实证研究,如围绕新课程倡导的科学探究和探究教学的研究,针对物理学科核心概念和关键能力展开的学习进阶研究,促进学生发展的课堂教学模式的研究,关于物理课程和教材的深入研究和国际比较研究,关于物理教育测量和评价的研究,物理教育与信息技术整合的研究,针对物理教师观念的研究等。研究内容涵盖了课程与教学论的各个分支领域,研究对象从课程教材到课堂、学生、教师、试题,研究视角从哲学到物理、心理、技术,研究方法从思辨到定量、实证,呈现出多元化和多样化的研究取向,拓宽了物理教育研究的视野和范围,为我国物理教育理论和中学物理教学实践提供了

研究基础和方法论指导。

本丛书的选题力图涵盖上述诸方面的主要研究成果,简要介绍如下。

在来自一线教师和教研员的研究成果中,包含了从哲学层面到物理课堂教学操作层面的四本著作。《物理与哲学——中学物理教学的视角》呈现了中学物理教师的哲学思考。作者从物理与哲学的关系入手,结合中学物理教学的具体内容,论述了哲学的洞见与物理教学实践密不可分,将中学物理教学上升到哲学高度。在实验教学方面,毕生从事高中物理实验教学与研究的专家撰写了《高中物理实验教学研究》,从科学技术发展和教育理念进步的角度,突出了以学生为主体的教育理念和学科素养在实验中的表现及培养的途径,重点探讨了高中物理实验教学的目标、内容和方法策略方面的热点问题。在课堂教学实践层面,《中学物理习题教学研究》凝聚了中学物理特级教师的经验和智慧,从习题和试题的不同功能出发,以大量的题例阐述了习题和试题的编写要领,论述了优化习题教学的各种途径,提出了科学实施习题教学的策略,把习题教学的目标落实到提高学生解决问题的素养上来。《中学物理教学疑难问题研究》则来自基层教研工作者,从一线教学实际和物理教师的需求出发,对新课程实施过程中遇到的多方面的具体疑难问题进行了深入分析和探讨。

丛书围绕新课程实施以来物理教育研究领域关注的重点——科学探究和探究教学呈现了三个不同视角的研究成果。《科学探究能力模型与培养研究》系统介绍了国际科学教育领域对科学探究能力及其培养的研究和实践,构建了基于知识和技能的科学探究能力结构模型,结合案例论述了在中学物理教学中如何利用探究式教学法培养学生的科学探究能力。《促进认知发展的物理探究教学研究》聚焦目前中学物理探究教学中亟待解决的核心问题,从物理学科自身特点出发,构建了促进认知发展的探究教学模型,并对实施该探究教学模型的教学策略进行了探讨。《中学物理教师的探究教学观研究》则聚焦教师观念和行为,基于对探究教学的理论探讨,提出了教师探究教学观的分析框架与研究方法,从语言表达和教学行为两个层面研究了物理教师的探究教学观现状及其影响因素。

围绕学科核心概念展开的对学生认知和能力发展的研究是近几年的研究热点,学习进阶是将学生核心素养的发展与课程、教材和评价紧密

联系在一起的桥梁,是具有发展潜力的新兴研究领域,丛书呈现了其中四方面的最新研究成果。《高中物理概念学习进阶及其教学应用》针对我国概念教学中存在的问题,构建了核心概念统领下的物理概念层次结构模型和概念学习进阶模型,以静电场核心概念为例进行了实证检验,并应用于教师培训。中学物理中的能量概念既是物理学科的核心概念,又是与社会发展和技术进步密切相关的共通概念,对于学生的发展至关重要。《中学物理能量学习进阶研究》构建了以学生为中心、具有实证有效性的“能量”进阶框架,并以此对学生“能量”概念的认知状态和发展情况进行了刻画和阐释,针对如何帮助学生提升“能量”概念的认知水平给出了相关建议。《中学物理课程中科学解释学习进阶及其教学应用》结合科学哲学的相关理论,提出了科学解释的“现象—理论—资料—推理”框架,确立了学习进阶的二维进阶模式及其进阶变量,通过跨年级测试建构了科学解释的学习进阶,并结合能量学习进阶进行了准教学实验研究。《基于学习进阶的中学物理教学设计研究》将物理概念和能力学习进阶的研究成果与现代教学设计理论相结合,建立了教学设计模型,结合大量中学物理教学案例,论述了如何基于学习进阶的研究成果开展以学生为中心的教学设计,从而促进学生物理核心素养的进阶发展。

关于课程和教材的研究呈现了两方面的研究成果,分别体现了不同的研究范围和方法。《高中物理量子理论课程研究》聚焦中学物理中的量子内容,从课程角度开展研究。采用理论和实证研究相结合的方法,对高中物理课程中量子理论的地位与教育价值、课程发展历程与现状进行了系统深入的探讨。《中学物理教材比较研究》选取中国、美国、俄罗斯、英国、法国、德国、日本、韩国、新加坡和澳大利亚十个国家的初中物理主流教材为比较对象,对教材的难度、广度、平均深度进行了比较研究,并分别比较了教材中的实验内容、例题和习题及拓展内容情况,分析了教材特点并提出了教材建设的启示与建议。

学生物理核心素养的测评一直是本领域关注的重要问题,特别是像高考、中考这样的高利害考试的有效性已经成为全社会关心的热点。《大学入学物理考试内容效度研究》对大学入学物理考试的内容效度进行了多方面的定量研究。一方面以高中物理课程标准为效标,研究比较和评估了我国(包括台湾和香港地区)大学入学考试物理试卷的内容效度;

另一方面从比较我国的高考物理考试与美国 AP 物理考试、英国 A-Level 物理考试出发,研究评估了我国大学入学物理考试的内容效度,提出了对我国现行高考制度的改革建议。

《中学物理教学与信息技术整合研究》展示了跨领域的研究视角,凸显了现代技术特色。在“数据探究”理论指导下,探讨了信息技术与中学物理教学深度融合的基本概念、理论等问题。同时还根据物理学科教学的特点,选取了几何画板软件、物理虚拟仿真实验软件、Camtasia 视频制作软件、FrontPage 网站制作等技术,用案例说明了信息技术在物理教学中的实际应用。

大学物理教学研究是我国物理教育研究领域中正发展的研究方向,关于心智模型和建模教学的研究也是新的研究热点。《基于学生心智模型进阶的物理建模教学研究》介绍了国内外关于模型与学习进阶、建模与建模教学的相关研究。在此基础上整合心智模型、学习进阶和建模教学的研究,结合我国物理教学的实际,从教学要素和学生心智模型进阶两个维度建构了基于学生心智模型进阶的导引式建模教学模式,并以大学物理“静电学”为例展开实践研究。其研究内容和方法对中学物理教学与研究均有参考价值。

十几位学者参与了本套丛书的编著工作。他们有的是长期从事物理教育研究和中学物理教学的专家,凝聚毕生研究之学术精华;有的是具备海外学习经历的年轻学者,用现代科学教育研究方法研究我国的实际问题。其中多数作者为本领域的博士。作者们都为丛书的出版付出了艰辛的劳动。本丛书从策划、编辑到出版面世,得到时任广西教育出版社副总编黄力平编审、编辑部主任黄敏娴副编审和各书责任编辑的大力支持,也得到不少同行的关心和帮助,其中参阅引用了大量相关的研究成果,均已在参考文献中列出,在此一并表示感谢!期望本丛书的出版有助于物理教育研究领域的繁荣与发展,也期望这些研究成果能够在物理教育实践中得到进一步的检验、修正和完善。

郭玉英

2016年11月于北师大

前言

科学探究是国际科学教育领域共同重视的课题。探究不仅是一种教学方法，也是教学目标和教学内容。学生具备一定的科学探究能力是科学素养的基本要求^[1]。发展学生的探究能力成为世界各国物理课程的目标。同时，科学探究与物理知识的建构是统一的过程^[2]，较高的科学探究能力能促进学生更好地建构知识，更深入地理解知识，更自主地学习新知识。

然而，科学探究能力是一种复杂的综合能力，对探究能力的构成和发展的认识也存在各种不同观点。这些观点直接影响着课程设计和教学实践，构成了课程与教学的理论基础。例如：有的学者认为探究能力可以分解成诸如观察、分类等一系列技能，这些技能是独立的并可以通过训练发展的，学生发展了这些技能就提高了探究能力；有的学者根据我国物理课程标准中的“七要素”，将探究能力分解为提出问题的能力、猜想与假设的能力、制订计划与设计实验的能力、进行实验与收集证据的能力、分析与论证的能力、评估的能力、交流与合作的能力，并通过教学培养这些分能力来发展科学探究能力；有的学者则侧重于研究一些重要的科学思维的发展，如控制变量、证据评估等；也有学者将科学探究的过程视为问题解决的过程。这些不同的切入点表明了探究能

[1] 阎金铎，郭玉英. 中学物理教学概论 [M]. 北京：高等教育出版社，2011：10.

[2] 郭玉英. 用科学探究思想指导高中物理教学改革 [M] // 陈炯. 物理课程与教学研究 (1979—2009). 南京：南京师范大学出版社，2011：32-36.

力的复杂性,也说明探究能力的构成要素和形成过程是一个尚需深入研究的课题^[1]。

从课程设计的角度来看,在目标上,对完成了基础教育的高中毕业生的探究能力应提出什么水平的要求?在内容上,应让学生掌握哪些知识、技能,获得哪些经验,从而培养其探究能力,实现课程目标?这些都是课程开发时需要考虑的重要问题。心理学指出,知识和技能是能力形成的基础。仅仅在课程目标上提出对探究能力的要求还不够,还需给出要达到目标而需要掌握的知识和技能。对上述问题的回答需要大量的研究与实践积累,目前有许多问题仍有待进一步研究和教学效果的检验。当前世界各国和地区的课程文件可以认为是在集体智慧的基础上对已有研究和实践经验的力所能及的最好总结,对它们的分析可以为我们提供借鉴,是一条可行的、相对便捷的途径。

本书在继承和审辩已有对探究能力的研究的基础上,从课程与教学的角度,提出基于知识和技能的科学探究能力的结构模型,并用于指导探究能力的培养和评价。在模型中提出探究图式的概念,并通过访谈和专家-新手对比的研究方法探测学生和专家的探究图式的特点。在模型指导下,通过对不同国家或地区共38份课程文件的分析与比较,揭示各国基础教育课程中对科学探究能力的目标和内容要求及其随学段增高的进阶发展,从而一方面丰富和具体化模型,一方面为我国科学或物理课程的设计提供理论的参考和可借鉴的素材。

北京师范大学郭玉英教授在本书的写作过程中给予了全程指导,黄敏娴副编审、潘安编辑、潘姿汝编辑对书稿的修改提出了宝贵的建议,在审校过程中付出了大量心血,在此向他们致以衷心的感谢!

范佳午

于2016年10月

[1] 阎金铎,郭玉英. 中学物理教学概论[M]. 北京:高等教育出版社,2011:14.

目 录

绪 论 / 1

第一章 科学课程中的探究 / 5

第一节 科学探究的提出和发展 / 6

第二节 培养探究能力成为各国科学课程的目标 / 10

第三节 科学探究能力的系统培养仍需深入研究 / 12

第二章 科学探究能力的相关理论和研究 / 14

第一节 心理学和教育学对能力的认识和理论 / 15

一、“能力”概念辨析和本书中的界定 / 15

二、关于一般能力的理论及其与教育的关系 / 15

三、教育和学科教育研究中作为“成就”的能力 / 20

四、图式与能力 / 22

第二节 关于科学探究能力的研究和理论模型 / 25

一、将科学探究能力视为“过程技能的集合” / 25

二、将“科学思维和科学推理能力”视为科学探究能力的
核心 / 26

三、将科学探究能力按探究过程要素分解为一系列分能力
/ 36

四、将科学探究过程视为问题解决过程 / 39

	第三节 对其他国家科学课程文件中的探究能力模型的 比较研究 / 42
	一、对国外课程文件研究和比较的方式 / 42
	二、对课程文件中的科学探究能力的研究 / 43
第三章	基于知识和技能的科学探究能力结构模型 / 46
	第一节 对已有理论观点的分析和反思 / 48
	一、基本科学过程技能与科学探究能力 / 48
	二、科学探究能力与按“课程标准中的探究要素”划分的 分能力 / 53
	三、科学思维、科学推理能力与探究能力 / 57
	第二节 基于知识和技能的科学探究能力结构模型——从 课程与教学的角度 / 63
	一、知识和技能是科学探究能力的重要基础 / 63
	二、基于知识和技能的科学探究能力结构模型 (KSMIA) / 64
	三、KSMIA 对科学探究能力的认识 / 74
	四、KSMIA 与科学探究能力的培养 / 79
第四章	对科学探究能力要求的国际比较研究 / 83
	第一节 课程文件的选取 / 85
	第二节 对探究能力要求和表述的整体特点的国际比较 / 89
	一、整体分析的维度和结果 / 89
	二、不同特色课程文件的案例分析 / 92
	三、总结 / 97
	第三节 对探究能力的具体要求的国际比较 / 99
	一、科学探究的要素 / 99
	二、对探究的理解 / 124
	三、领域共通的知识 and 技能 / 132

四、对探究能力具体要求的比较结果汇总 / 141

五、基础教育发展科学探究能力要求的重要知识、技能和外部表现 / 145

第四节 科学课程中探究能力的进阶发展的比较研究 / 148

一、“进阶”的分析方法及课程文件的选取 / 148

二、对探究要素的进阶的分析 / 150

三、总结 / 165

第五章 专家与中学生的探究图式的比较研究 / 167

第一节 研究的设计和实施 / 168

一、研究的设计 / 168

二、访谈的材料和问题 / 168

第二节 专家—新手的探究图式分析 / 172

一、新手的探究图式 / 173

二、专家的探究图式 / 179

第三节 专家、新手的探究图式的特点 / 184

一、探究过程图式的分析与比较 / 184

二、对理论和实验关系的认识的比较 / 186

三、图式中的样例的比较 / 187

四、总结 / 189

第四节 对 KSMIA 和我国科学课程与教学的启示 / 190

第六章 科学探究能力结构研究的结论和讨论 / 192

第一节 研究的结论和启示 / 194

一、科学探究能力的结构和培养 / 194

二、基础教育阶段课程文件对探究能力的要求及为我国提供的借鉴 / 195

三、专家—新手的探究图式的特点及对探究能力培养的启示 / 197

四、总结论——对本书提出的问题的回答 / 198

第二节 研究的价值和局限性 / 200

一、研究的创新点和意义 / 200

二、研究的局限性和展望 / 200

第七章 通过探究教学培养科学探究能力 / 202

第一节 中学科学探究教学概述 / 203

一、科学探究教学的特征 / 203

二、科学探究教学的实施策略 / 207

第二节 通过探究教学培养学生的科学探究能力 / 210

一、通过探究教学培养科学探究能力的实践策略 / 210

二、课堂教学中的探究和真实科学探究的差异 / 212

三、培养学生科学探究能力的探究教学案例 / 216

参考文献 / 226

绪 论

1. 研究的问题

本书研究的出发点是探索怎样通过课程和教学培养学生的科学探究能力。培养探究能力，首先要认识清楚科学探究能力的构成和结构。因此，本书试图解决的第一个问题是：科学探究能力的构成和结构是怎样的？（Ⅰ）

理解科学探究能力的构成和结构，是为了在理论的指导下，更好地通过课程和教学发展学生的探究能力。因此，本书试图回答的第二个和第三个问题是：在基础教育科学课程中，应当培养科学探究能力中的哪些重要构成成分，应对学生进行科学探究的行为表现提出怎样的要求？（Ⅱ）构成学生科学探究能力的内在成分应形成怎样的组织结构（探究图式的结构）？（Ⅲ）

在基础教育阶段，学生的探究能力不可能是一蹴而就的，那么，随着年级的增长，学生的科学探究能力应是如何逐步发展提高的？（Ⅳ）这是本书试图初步回答的第四个问题。

2. 研究思路和采用的方法

理解科学探究能力的构成和结构，是分析如何培养学生科学探究能力的基础。不同的理论观点，对如何培养科学探究能力、培养探究能力的策略有不同的假设。因此，本书首先综述、分析已有关于科学探究能力的理论观点，在继承的基础上展开反思。然后结合教育心理学的相关理论，以及对科学史和科学探究的特点的分析，

从课程和教学的角度提出基于知识和技能的科学探究能力结构模型,该模型是对问题 I 的回答。

本书提出的模型认为科学探究能力是基于探究活动中发挥不同作用的不同类型的知识(广义知识^[1])或技能发展而成,但是模型提出的每一类知识和技能又具体包含哪些内容?尤其是基础教育阶段发展学生的科学探究能力应达到什么水平,构成这种水平的探究能力对知识和技能又提出哪些具体要求?一方面,本书提出的模型是一个理论架构和框架,它本身有待具体内容的填充和丰富;另一方面,只有填入了具体的知识和技能,模型才能有效地指导课程和教学实践,培养学生的科学探究能力。因此,接下来的工作是在模型的指导下,分析国际上的课程文件中对科学探究能力的各个方面的知识和技能的要求,进一步丰富和具体化模型,同时关于科学课程文件的分析对我国物理和科学课程的设计及课程标准的修订有一定的参考意义。因此,本书通过对课程文件的分析来回答问题 II。另外,科学探究能力的发展不是一蹴而就的,对国际上的科学课程文件在不同学段对探究能力要求的差异和发展的分析,可以初步探索对问题 IV 的回答。

本书提出的理论模型认为仅有知识和技能不能形成科学探究能力,知识和技能的组织结构对形成科学探究能力有重要影响。对课程文件的分析能够找出基础教育阶段培养科学探究能力需要的重要知识和技能的内容,但无法得知它们应形成怎样的相对合理的结构。通过访谈的方法可以在一定程度上探测到专家对科学探究的核心认识及认识的组织结构(即模型中提出的探究图式的概念)。通过专家-新手的对比,能够分析专家和新手对科学探究的核心认识的差异,以及在对探究的认识的组织结构上的差异。专家-新手比较分析的结果一方面进一步丰富、具体化了本书提出的模型(不仅在专家和新手所掌握的知识和技能的内容的深度和广度方面,还在知识的组织结构方面丰富了模型);另一方面也揭示了课程和教学应朝怎样的方向努力,从而促使新手(学生)逐渐向着专家的方向发展。因此访谈和专家-新手比较的结果也能够为科学课程的设计提

[1] 皮连生. 论智力的知识观[J]. 华东师范大学学报(教育科学版), 1997(3): 52-58.

供参考。访谈和专家-新手比较的研究可以初步回答问题Ⅱ和问题Ⅲ。

本书通过对已有文献的继承反思,提出基于知识和技能的科学探究能力结构模型,然后主要采用文本分析法、访谈法和专家-新手比较的研究方法来进行研究,最终的目的是为我国科学课程培养学生的科学探究能力提供理论参考和具体化的建议。

3. 研究的创新点和意义

关于科学探究能力,当前已有一些较有影响的观点和认识,这些观点和理论是本书研究的重要基础。同时,仍有一些问题有待解决。例如,有的观点假设可独立培养的“探究分能力”其实并不独立,有的观点对如何通过课程和教学培养科学探究能力无法给出直接而明确的指导,有的观点无法解释学生表现出的“探究分能力”的情境依赖性,等等。本书首次明确地从课程和教学的角度,提出基于知识和技能的科学探究能力的结构模型。该模型尝试解释和解决已有理论在探究能力独立性、对教学的指导性、解释情境依赖性方面遇到的困难,有较大的理论意义和指导教学的实践意义。

对国际上近年来科学课程文件中科学探究能力的要求的分析是一项对我国科学或物理课程设计有参考意义的工作,从科学探究能力的角度进行的分析也是需要深入研究的工作。同时,这项工作是对本书提出的理论模型的丰富和具体化。

本书提出的模型认为,学生掌握的对科学探究的认识与相关操作的知识和技能的数量、质量及其组织结构都对能力的形成和发展有重要影响。通过访谈和专家-新手对比的研究,不仅能初步探测学生相关知识的数量和质量,更重要的是初步研究了专家和新手在关于探究的认识的组织结构上的差异。关注对探究的认识的组织结构上的差异也是本书的创新点。同时,本书还提出了“探究图式”的概念,来描述专家和新手对探究的认识在数量、质量以及组织结构上的整体的不同。访谈和专家-新手比较的研究在理论上丰富、具体了本书提出的模型,在实践上进一步为我国科学课程的设计提出建议。

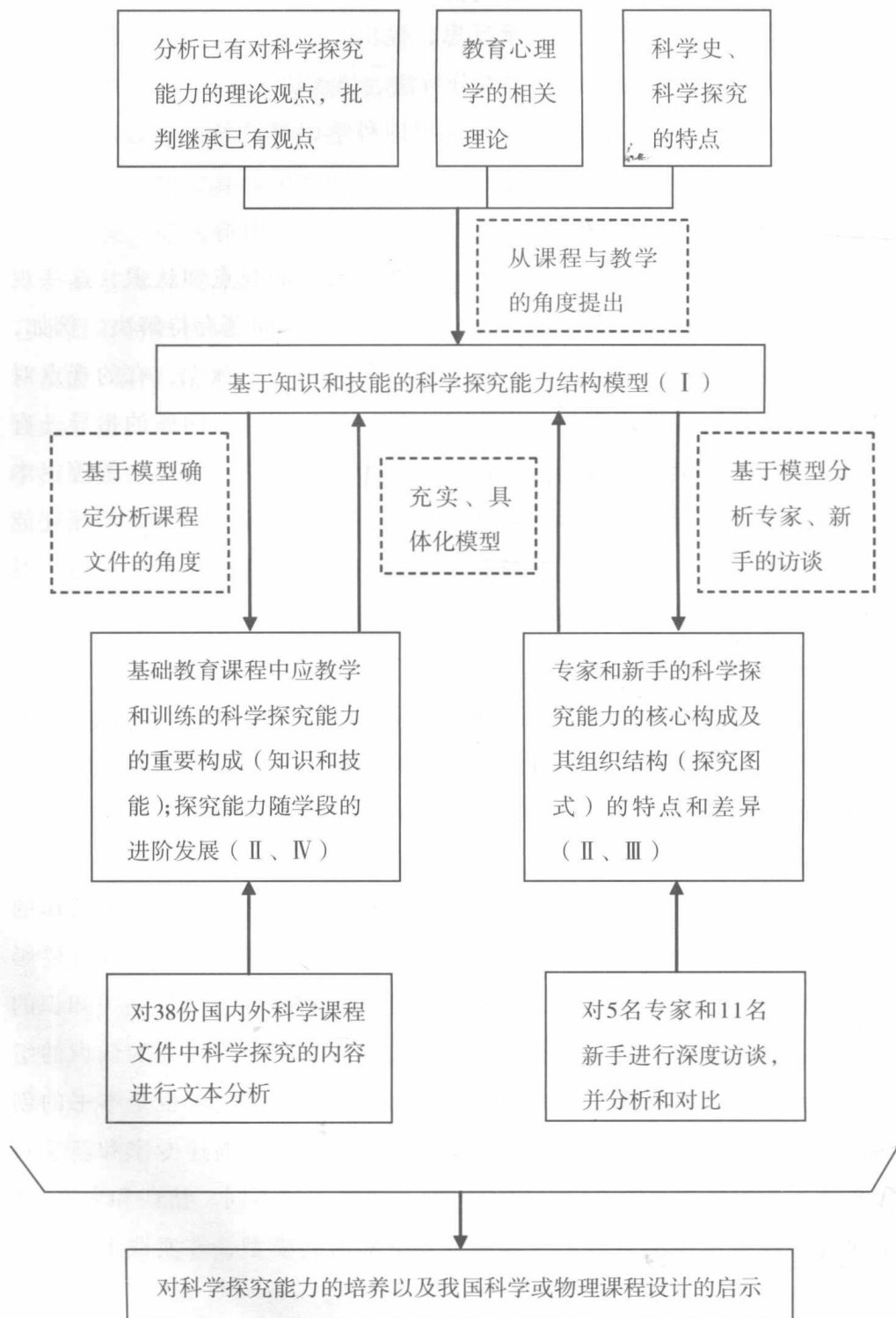


图1 研究的整体思路