教学论坛

科学探究本质之辩证

蔡铁权 （浙江师范大学科学教育研究中心 浙江 321004）
杨亚芳 （绍兴市教育教学研究院 浙江 312000）

摘 要 鉴于我们对科学探究几十年的理论研究和实践探索，针对当前基础教育在实践过程中出现的科学探究的现实状况，考察国际上百余年科学探究中的历史经验，认真研读了国内外大量相关文献，提出了科学探究本质的内涵结构，在构建了研究科学探究本质理论基础的前提下，对这一内涵结构做了细致的分析与阐释。提出了物理教育中科学探究应指向物理观念的主张。

关键词 核心素养 物理观念 科学探究 科学探究本质 内涵结构 内涵分析
文章编号 1002－0748(2024)5－0002 **中图分类号** G633·7 **文献标识码** B

科学探究理念在我国的引入与逐步推行，早在20世纪70年代就开始了。到20世纪90年代进入了大面积实施阶段，2001年开始的基础教育课程改革，在理科各学科的国家课程标准中，明确提出实施科学探究的学习方式，并波及人文类与艺术类学科，一时间，探究教学成为了课堂教学规范转型的主旋律，成为课程改革中的热词。2017年，新一轮基础教育课程改革在中华大地掀起，科学探究再度成为基础教育阶段理科各学科核心素养的重要组成部分，成为培养学生必须具有的关键能力之一，其地位和价值得到进一步的确认。今天，在基础教育的课堂中，几乎到了课课有探究，事事讲探究的境地。开展的形式也不断丰富，与发现学习、研究性学习、跨学科学习、项目式学习、问题解决学习、STEAM教育、SSI主题学习、STSE议题等相融合，课内、课外，校内、校外相结合，甚至有的走进科学实验室，与科学家一起参与真实的科学研究活动，琳琅满目。显然可见，我国基础教育教师对科学探究的高度关注和认同，对科学探究运用的热诚，对课程改革的积极态度。同时，我们通过对大量课堂教学的观察与现实教育状态的考察，深感对科学探究的理论研究和实践现状需要做冷静的思考，从各个维度做出分析，尤其是从科学探究本质的视角来观照，以促使科学探究的进一步推进。

1 科学探究的内涵解析

对科学探究的内涵，不同的学者有不同的界定和阐释，本文不是为了厘说这一方面的理论，只是想给出一个基本的理解。

《普通高中物理课程标准(2017年版)》指出：科学探究是指基于观察和实验提出物理问题、形成猜想和假设、设计实验和制订方案、获取和处理信息、基于证据得出结论并作出解释，以及对科学探究过程和结果进行交流、评估、反思的能力[1]。《义务教育科学课程标准(2022年版)》认为：科学探究是人们探索和了解自然、获得科学知识的主要方法，是提出科学问题，形成猜想和假设，获取和处理信息，基于证据得出结论并作出解释，以及对科学探究过程和结果进行交流、评估、反思的能力[2]。显然，两种课标的定义，其实质是一致的，内容是类似的，对科学探究都定位在“能力”上。这是我们理解和解析科学探究内涵的基本依据。

李德曼(Norman G. Lederman)的定义：探究式科学教学涵盖让学生运用批判性思维技能，包括提出问题、设计和实施研究、解读数据作为证据、产生论证、建立模型以及运用逻辑和关于自然世界的证据来交流研究发现，以加深他们的理解。并强调指出要避免对探究的几个方面的误解：①所有的科学学科内容都应通过探究来教授；②真正的探究只发生在学生自己提出问题并进行探索的时候；③通过动手操作或使用素材包形式的教学材料，探究式教学很容易进行；④学生参与动手活动就保证了探究式教学和学习的发生；⑤探究可以在不关注学科内容的情况下教授。李德曼也坦言，要想成功地使用这种方式进行教学面临着许多障碍[3]。

美国《国家科学教育标准》的界定是：科学探究是指科学家们用来研究自然界并根据研究所获事实证据做出解释的各种方式。同时，它也指学生构建

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

科学知识、形成科学观念、领悟科学方法的各种活动。《标准》同时对K—12年级的科学内容标准做出了具体的规定，对科学探究的目标进行了详尽的阐述，对各个学段的科学探究的标准都给出了明细的内容，具有很强的操作性[4]。

我们从上述几个权威的科学探究内涵界定中，可以认识到：科学探究可以是现代科学如何进行研究的基本原则，科学家的职业特征和科学家共同体工作的特点，科学研究的规则与途径，与科学本质密切相关的科学知识形成的过程和特殊的思维方式；也可以是科学教与学的过程和方式，由此获取科学知识，领悟科学思想，养成科学观念，学习科学方法，培养科学态度，发展科学思维，拥有科学能力的教学。在探究教学的含义中，又包括以探究为学习方式和以探究为课程内容的教学，两者不可偏废。

我们认为要有效进行科学探究的教学，首先要对科学探究有全面的科学化的认识，对科学探究的本质有确切的理解，当我们对科学探究尚不具备正确的认知时，要在科学教学中实施名副其实的真探究是十分困难的，而且，众多弊端也由于对科学探究的误会和曲解而产生。

2　科学探究本质认识的理论基础构建

为全面构建科学探究本质(nature of scientific inquiry)的内容，应从科学教育的目标和本质来认识，从各个相关的维度作出观照，而各个维度又有一组学科群构成，由此构建科学探究本质认识的理论框架。

科学教育的根本目标是提高公众的科学素养，科学素养要体现科学本质，科学探究是其重要途径，两者又都是科学素养的核心命题，而科学本质和科学探究都属于科学认识论的范畴。我们用图1所示的框图表征这种关系。

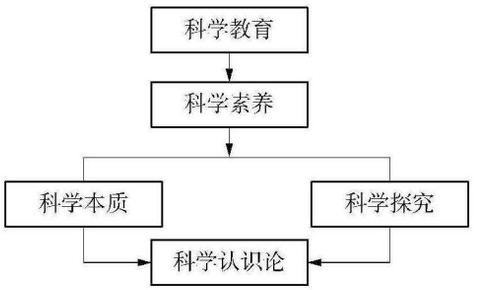

图1　科学探究与科学教育关系的框图

在这样的基本架构下，我们可以建立科学探究本质的理论基础。科学探究本质与科学本质具有内在的一致性，构成科学本质理论的基本学科主要包括科学学科、科学哲学、科学学、科学史、科学思想史、科学社会学和科学心理学；要理解科学探究本质的内容，离不开科学知识观、科学认识论、科学方法论、科学价值论、科学思维学、科学伦理学、科学文化学及STS研究；而科学认识论建基于人类学、社会学、社会心理学以及非线性科学、系统理论之上；从科学教育的视角观照，那么，认知心理学、认知神经科学、学习科学、信息科学、科学课程论、科学教学论及教学设计的理论等都是不可或缺的。这种复杂的关系我们用图2所示的思维导图作出表示。

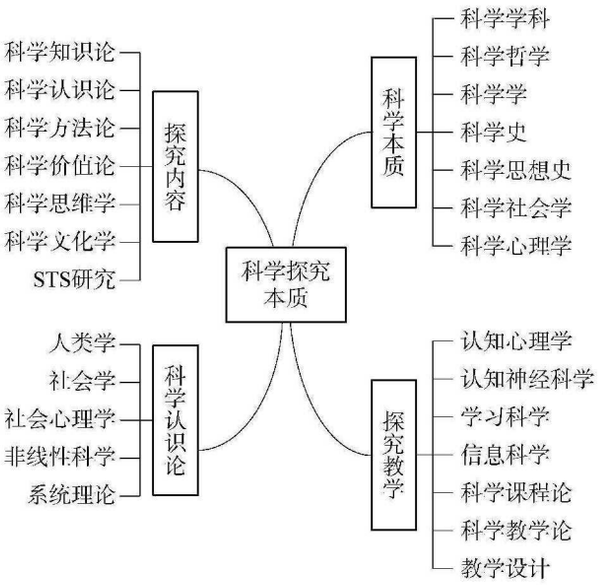

图2　科学探究本质理论基础的思维导图

这是一个丰富的复杂的理论体系，而这些理论之间又是非空交集的关系，这些理论随着科学技术的发展、社会的前进、教育的改革而发生变化，它们和科学探究之间的相关度及其关系也会变化。在这样的理论背景下，又参照科学探究在一百多年发展的历程中经历的起伏不居的曲折过程，构建我们对科学探究本质的认知。

3　科学探究本质的内容结构及其诠释

科学探究在学校科学课程中兴起已有百余年之久。早在20世纪初，杜威(John Dewey)就提出作为学科内容和科学方法的科学探究。强调科学学习的过程和方法，提倡“做中学”。杜威视怀疑和假设是科学方法的核心，提出在近代科学实验的方法上发展思维品质，呼吁对思维的重视。认为科学探究过程包含感知问题情境、将问题进行分类、形成尝试性假设、检验假设、修订假设、按照方案进行研究等步骤，后来又将其修改成陈述问题、形成假设、在实

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

验过程中收集数据、形成结论四个步骤。促使科学探究教学20世纪20、30年代在美国进入科学课堂。

20世纪50—60年代，美国实行了大规模的科学教学变革，在这次科学教学变革中，科学探究教学改革对当时和后来的美国科学教育及社会发展都产生了重大影响，今天，甚至在全球成为广为熟知和实践的一个重要理念[5]。

美国这次科学教育变革的目的是要把“科学当作科学来教”，让学生学会科学探究，培养能够理解探究、具有探究能力的未来公民。施瓦布(Joseph J. Schwab)对这次科学教育改革作出了很大的贡献。他的一系列重要的论文和论著都发表于此期间，充分地反映了施瓦布独特的科学探究教育学思想[6,7]。同时，一些学者也高度评价和阐释了施瓦布的科学探究教学思想[8]。

施瓦布“科学即探究”思想是他的科学探究教学思想提出的理论基础，正如芬斯特马赫认为的，施瓦布是试图“使用解释学的手段去解释科学的本质”。施瓦布认为，科学新进展对传统的科学结论及其科学研究方法论进行了反思与修正，新的科学进展证明了原有某些科学结论的错误，这些新结论是用探究的方法进行观察、分析与得出的。科学是发展的，是不断探究的，因此，“科学即探究”。施瓦布提出稳定的探究(stable enquiry)，用以解释当前科学知识不断增长的空白，动态的探究(fluid enquiry)是用以概念结果引发的科学发展。此外，他还提出了“探究的探究”和“叙述探究”，前者可以看成是一种教学方式或课程内容，后者发展成了个人经验的研究方法。

对科学探究本质的研究，国外很早就对此有了不少成果。如汉逊(Lisa M. Hansen)对课堂探究的基本特点及其变化做了细致的梳理[9]。林(Marcia C. Linn)的研究表明探究教学打破了传统的科学教育的结果是“仅存在教室中的科学魔咒”，破灭科学的神秘感，增进了学生对科学的一致性理解[10]。罗德瑞格兹(Alberto J. Rodriguez)研究了《美国国家科学教育标准》的理论基础，提出科学探究的理论依据是建立在认知心理学之上的，包括建构主义[11]。海伦(Marshall D. Herron)在大量叙述了杜威和施瓦布的工作后，提出了对探究教与学的评价量表，分级论述科学探究的方式和本质[12]。李莎(Karagianni Hrisa)从认识论角度研究探究的非线性本质[13]。雷思(Marco Reith)研究了科学推理和科学探究本质观点之间的关系[14]，等等。科学探究发展的百年历程中，对科学探究本质的认识不断丰富和深化，积累了从不同的视角研究科学探究本质的大量成果，我们从这样纵、横两个维度进行综合梳理，同时根据我国几十年来对科学探究的理论探索和实践经验进行了总结，提出我们对科学探究本质的内涵认识，如图3所示。

对科学探究本质内涵的分析说明，具体呈现在表1中。

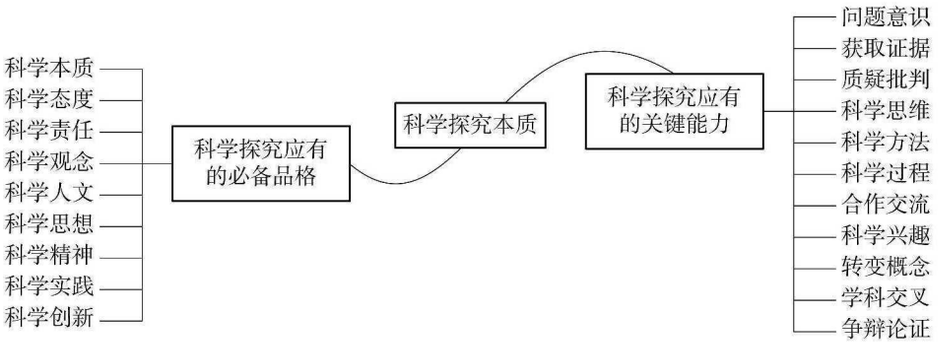

图3　科学探究本质内涵结构图

表1　科学探究本质内涵的分析说明

科学探究本质维度	科学探究本质的内容诠释
问题意识	科学探究以问题为起点，以问题解决为核心，当已有认知与客观现象与事实产生不一致时，认知冲突就会产生，科学问题是科学探究的原动力，并引领最终对探究结果做出的决策
获取证据	设计并制定探究的方案，对设定的假设要进行论证，需要收集或动手动脑获取有关的数据、事实和证据，要充分运用实验手段，要学会利用各种资源和现代化工具，掌握必要的技能和方法，并对所获取的数据、事实和证据进行分析、分类、鉴别和选择
质疑批判	敢于挑战权威，敢于质疑已有结论，坚信科学是不断发展的，已有结论会被修正，批判精神是创新的前奏，质疑是批判的条件，没有质疑批判，不可能发现问题、提出问题，墨守成规不可能发展，有条件有依据有价值的质疑批判是关键
科学思维	科学探究过程就是科学思维的过程，思维是智力与能力的核心，科学探究需要运用科学思维的各种方式[15]以便完成探究的各个环节，缜密的思考、严谨的推理、科学的解释、理性的争辩、合理的结论，及时的反思都提出了高阶思维的要求[16]

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

续 表

科学探究本质维度	科学探究本质的内容诠释
科学方法	科学方法是通向科学成果和技术创新的关口，方法正确，事半功倍，科学推动科学认识，科学方法致使科学探究成功，科学方法内容十分丰富，各种方法有不同的运用条件、环境、对象，要正确选择和正确运用科学方法[17]，科学方法是科学探究的灵魂，但没有万能的方法
科学过程	科学探究是对自然客观现象的认识过程，科学探究作为一种认知活动和科学教与学的方式，有一定的活动程序和阶段，特定的科学探究活动过程决定了探究的性质、本质与特征
合作交流	探究的成果必须公开，彼此之间充分的合作和广泛的交流，相互质询、相互印证、相互检验，巩固、深化或修正对概念、规律的理解，养成必备的合作能力、互动交流的能力，形成良好的行为方式及价值观念，开阔视野，容纳百川，具有团队意识
科学兴趣	对自然界的现象、事物有强烈的好奇心，对科学有浓厚的兴趣，有高度的科学学习内驱力、自主性和主观能动性，对科学现象和变化有高度的敏感，关注日常事物中的科学现象，对探究永不懈怠，孜孜以求，精益求精
转变概念	像科学家那样看待和思考问题，转变前概念，尤其是转变迷思概念，将日常经验和直观认识转化成科学概念，杜绝科学概念沦为生活经验，又反对与生活世界和现实世界相隔离，由此获取内化了的真正理解了的科学知识，逐步形成科学化的知识体系
学科交叉	学科与跨学科(即学科交叉)之间具有辩证统一性，跨学科不是解构学科，是对学科之间的互鉴与整合的推动，专业精深的学科功底是有效跨学科探究的基础和条件，学科交叉的探究，以带动学科探究既深入科学世界，又观照现实世界，促进自身的开放性发展
争辩论证	根据数据、事实和证据，对观察和假设形成验证或证伪与否定，透过现象看本质，揭示自然的奥秘，正确理解观察与理论的关系，以争辩论证培养理论性探究的能力，主动、自如地在证据和推理的基础上建构和完善科学认知与科学观念，体味科学知识的创造性本质，领悟科学理论的评价标准，经历科学知识形成和获取的曲折历程
科学本质	科学探究与科学本质具有内在的一致性，科学探究必须遵从科学本质，教师在体现科学本质的科学探究教学中，学生对科学本质获得了真切的体验和领会，即通过探究去实现对科学本质的理解，并从中得到愉悦，激发科学学习的兴趣[18]
科学态度	谦虚谨慎、实事求是的行事方式和原则，在科学探究的过程中求真、务实、有恒、批判、开拓、专注、谦恭、奋斗、创新，敢于担当、百折不挠、睿智审慎、真诚理性、探赜索隐、无所畏惧、勇于献身、好奇敏求；为科学而科学，为求知而求知，宁静澹泊，不贪名利，不求闻达，不唯实用
科学责任	自觉承担对他人、集体、社会和国家所应负的担当与贡献，如强国富民，捍卫国家利益，遵守科学伦理和道德，正确处理科学、技术、社会和环境的关系，热爱自然、珍爱生命、合理利用资源和爱护自然资源，节约能源，保护生态
科学观念	不计私利地热忱自由地追求真理，注重实效和严谨求实，理性思维和经验实践验证并重，科学文化与科学人文相融合，坚持科学探索，不断地随着科学技术日新月异的发展及时更新科学观念，正确认识科学对人类的贡献和限度，在科学知识的基础上提炼升华成科学观念
科学人文	消弭科学与人文的悬隔，科学与人文具有互渗和互补的一面，人文观念往往为科学活动提供范导性的原则，科学与人文之间要保持深层面的对话，科学的运作与人文意义的追求及理想的价值目标保持一致，确认科学的价值，理解科学的世界图景，力求科学精神与人文素养的统一，发扬科学内蕴的人文价值，人文地理解科学
科学思想	科学思想是科学探究和科学成果的灵魂，科学思想由科学知识转化而成，依仗科学活动而得到，在科学探究过程中逐步形成、升华出来，科学思想是科学素养的核心内容，是我们认识自然界的思想观念和思维方法，是人类对自然界统一的认识、观点、信念，是科学教育的关键，是科学教育改革的要素之一
科学精神	弘扬科学精神的精髓：科学的优良传统、自主意识、价值取向、精神气质、认知模式、道德律令和行为准则；在科学探究的过程中，立足客观依据、理性的怀疑、多元的思考、平权的争论、实践的检验、宽容的激励[19]
科学实践	从静态的知识转向动态的知识，转向知行合一，科学实践是理解科学观念的内在要求，科学观念的本质是科学实践，科学实践是科学知识创造和发展的过程，要践行关键能力，只有付诸实践，高阶目标的实现，包括高阶思维、迁移创新等，实践能使探究得到丰富和发展，学思结合、品格凝炼，理论结合实践，理论应用于实践，实践检验理论，实践深化理论[20]
科学创新	对现有知识的开放态度和创新意识，科学是不断发展的，知识具有暂时的正确性，是可变的，随着科学技术的日益发展，现有理论日益暴露其主观性和局限性，因此，敢于质疑权威，质询已有结论，敢于创新是科学探究重要的本质特征，要勇于在新情境中、新条件下，新的真实环境下，面对新问题，解决新问题。社会形态、生活习俗、地理环境、科技发展、历史文化、民族传统都将影响人的感知及经验，产生不同的思维方式，形成各异的创新模式

科学探究本质内涵的各维度之间是相辅相成的，彼此促进的，形成一个统一的整体，共同反映了科学探究的本质与特征。

4 指向物理观念的物理教学中的科学探究

我们在阐释科学探究本质的内涵时，就强调了科学观念，在中学物理教育中，物理教育的核心目标就在于形成物理观念。物理观念是物理学科众多概念、规律、原理及理论结合成的统一整体的科学核心概念，是对物理学习内容的提炼和概括、归纳和提升，它有助于学生对物理学、对自然界、对世界、对人生的认识和形成观点。同时，物理观念的核心内容是认识科学本质(nature of science)。物理观念的教学形成过程与科学探究过程具有内在的一致性[21]。而且，只有经由科学探究的途径，学生在科学探究的过程中，亲历科学探究的体验，才能理解物理观念，才能内化成素养。

我们提出物理教育的新理念——“观念为本”[22]，“观念为本”的物理教学中，如果学生获取知识的方式

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

仍停留在传递、灌输、记诵的方式，没有深度参与知识的建构，没有深切地体验，没有深刻地领悟，没有深入地思考，批判、创新成了面壁虚构的空中楼阁，这样的知识不可能转化为素养，也形成不了物理观念。科学探究正是对这种学习方式的彻底变革，显然，没有科学探究，不经由科学探究的途径，“观念为本”的物理教育不可能实现，核心素养不可能有效落地。反之，在物理教学中，科学探究没有指向物理观念，科学探究就失去了正确的导向，科学探究也将偏离其本质。

5　结　语

通过构建科学探究的理论基础，根据对国际上科学探究百余年曲折发展历程的考察，参照我国近几十年对科学探究的理论研究与实践探索，参考了国内外学者大量研究科学探究本质的成果，提出了对科学探究本质的内涵认识，并进行了分析阐释。我们的目的，不是认为探究必须遵从这些本质内涵，这样做既无可能也无必要。我们认为，真正的科学探究不应该违背或悖反这些本质内容，否则，探究将会蹈入盲动化、形式化、程式化、主观化或个人化探究的危险。

科学探究过程中，必要的环节、基本的规范、共同的特征、适切的程序、关键的要素、正确的认知方式是不可缺少的，否则构成不了科学探究的活动过程，形成不了科学探究具体的内容，但仅仅局限于此，则科学探究变得有形式而无内涵，有过程而无实质，也是对科学探究的曲解和误解。

科学探究应该形式多样，风格各异，百花齐放，不拘一格，但其关键的核心问题，则是把握科学探究本质，对科学探究的正确认知，同时，培养学生科学探究的能力，谙熟科学探究的方法。在此前提下，研究有效的科学探究模式或方法，探究也不是可以随心所欲、心之所至地信马由缰地进行的，也不可以那样地随意和浪漫。

一线教师对科学探究的热情和艰辛探索，我们是十分赞赏和由衷敬佩的。我们提出科学探究本质内涵，是提供给基础教育一线教师一个坐标系，一个参照物，一个标尺。我们真诚地企盼我国的科学教育、物理教育改革的成功。

参考文献

[1] 中华人民共和国教育部. 普通高中物理课程标准(2017年版)[S]. 北京：人民教育出版社，2018：5.

[2] 义务教育科学课程标准修订组. 义务教育科学课程标准(2022年版)解读[M]. 北京：高等教育出版社，2022：44.

[3] Norman G. Lederman，Sandra K. Abell. 科学教育研究手册(扩增版)(上卷)[M]. 李秀菊，刘晟，姚建欣，译. 北京：外语教学与研究出版社，2022：726－757.

[4] 国家研究理事会. 美国国家科学教育标准[S]. 戴守志，金庆和，梁静敏，等译. 北京：科学技术文献出版社，1999：125－164.

[5] Fouad Abd-El-Khalik，et al. Inquiry in Science Education：International Perspectives [J]. Science Education，2004，83(3)：397－419.

[6] Joseph J. Schwab. Inquiry，the Science Teacher，and the Education [J]. The School Review，1960，68(2)：176－195.

[7] Joseph J. Schwab. Decision and choice：The Coming Duty of Science Teaching [J]. Journal of Research in Science Teaching，1974，11(4)：309－317.

[8] Gary D. Fenstermacher. The Nature of Science and Its Use for Education：Remarks on the Philosophical Import of Schwab's Work [J]. Curriculum Intuiry. 1980，10(2)：191－197.

[9] Lisa M. Hansen. Defining Inquiry [J]. The Science Teacher，2002，(2)：34－37.

[10] Marcia C. Linn，Libby Gerard，Camillia Matuk，Kevin W. McElhaney. Science Education：From Separation to Integration [J]. Review of Research in Education，2016，40(3)：529－587.

[11] Alberto J. Rodriguez. The Dangerous Discourse of Invisibility：A Critique of the National Research Council's National Science Education Standards [J]. Journal of Research in Science Teaching，1997，34(1)：19－37.

[12] Marshall D. Herron. The Nature of Scientific Enquiry [J]. The School Review，1971，79(2)：171－212.

[13] Karagianni Hrisa，Dimitris Psillos. Investigating the effectivenss of explicit and implicit inquiry-oriented instruction on primary students' views about the non-linear nature of inquiry [J]. International Journal of Science Education，2022，44(4)：604－626.

[14] Marco Reith，Andreas Nehring. Scientific reasoning and views on the nature of scientific inquiry：testing a new framework to understand and model epibtemic cognition in science [J]. International Journal of Science Education，2020，42(10)：1－26.

[15] 蔡铁权，谢佳莹. 物理教学中的科学思维阐释[J]. 物理教学探讨，2022，40(8)：15－19.

[16] Arthur Lewis，David Smith. Defining higher order thinking [J]. Theory Into Practice，2009，32(3)：131－137.

[17] 蔡铁权，薛真. 践行科学方法的科学教育[J]. 浙江师范大学学报(自然科学版)，2024，47(4).

[18] Valarie L. Akerson，Deborah L. Hanusain. Teaching Nature of Science through Inquiry：Results of a 3-Year Professional Development Program [J]. Journal of Research in Science Teaching，2007，44(5)：653－680.

[19] 蔡铁权. 科学教育中科学精神的地位及养成[J]. 全球教育展望，2016，45(4)：79－93.

[20] Cyrus C. M. Mody. Scientific Practice and Science Education [J]. Science Education，2015，99(6)：1026－1032.

[21] 杨亚芳，蔡铁权. 物理观念的教学思考[J]. 物理教学，2024，46(1)：2－6.

[22] 蔡铁权，郑瑶. 构建“观念为本”的物理教学设计模式[J]. 浙江师范大学学报(自然科学版)，2021，44(1)：100－108.

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net