

基于探究经历的科学教师教育： 美国的经验与启示

马冠中^{1*} 张 军²

(1. 南京大学教育研究院，南京，210023；

2. 西南大学教师教育学院，重庆，400715)

摘 要：为提升科学教师探究教学的实施能力，美国构建了一系列以探究经历为基础的教师教育项目。此类项目的设立，旨在回应教师缺乏探究经验、教学难以有效转化的现实问题，强调科技界与教育界协同，为教师提供多样化的探究机会。实践路径主要包括暑期研究项目、教学法课程中的探究模块以及理科专业课程的探究活动，帮助教师在亲身参与科研的过程中深化对科学本质的理解，并对自身教学进行反思。项目设计着眼于提升教师的教学自信，激发其对传统教学模式的反思，从而重塑科学教学核心理念。尽管项目取得一定成效，但在探究课题与教学内容的相关性、项目时长以及科学家参与的专业匹配等方面仍存在挑战。美国经验表明，科学教师教育亟须拓展多元化探究路径，完善反思机制，同时积极探索跨界协作模式，这为我国深化教师教育改革提供了可行思路与实践启示。

关键词：科学教师；教师专业发展；探究经历；教师教育

系统构建科学教师教育体系，是提升基础教育科学教学质量的重要保障。近年来，教育部通过“国优计划”等政策工具，聚焦高素质科学教师队伍的培养与支持。2022年，教育部印发《关于加强小学科学教师培养的通知》，明确提出系统推进科学教师队伍建设的目标与路径。同年起，教育部联合中国科学院、中国科协等机构，共同实施“全国科学教育暑期学校”“特色科学教师研修班”等一系列教师专业发展项目，组织教师深入科研院所，参与真实科研过程，掌握科学研究方法，深入理解科学精神内涵。这类项目成为推动科教融合、探索科技界参与教师培养机制的初步尝试。然而，如何更高效地整合科技界资源、构建支持科学教师队伍发展的协同机制，仍是我

* 马冠中，guanzhongma@hotmail.com。

国科学教师教育领域亟须解决的现实问题。长期以来,“探究教学”始终被视为科学教师专业发展的核心能力之一。《义务教育科学课程标准(2022年版)》^① 明确强调以科学探究和实践为主要教学方式,旨在提升学生的科学思维、探究能力与科学本质理解。尽管各地教师发展机构已广泛开展面向探究教学的专业发展项目,教师在实际教学中仍普遍面临探究活动设计困难、实施策略有限等挑战,制约了教学转型的实效性。

美国在科学教师教育领域亦面临教师探究教学能力不足、实践转化困难等结构性难题。为回应这一挑战,美国教育界与科研界共同发起了一系列以“探究经历”为核心的教师教育项目,开发并实施系列项目,依托科学家资源与科研机构平台,使在职教师与职前教师亲身参与真实科学探究过程。在参与过程中,教师不仅体验科学实践的基本过程,更在反思自身探究经历的基础上深化对“科学探究”及其教学意义的理解。多项研究表明,该类项目能够有效促进教师教学理念的转变,增强其在教学中设计与实施探究活动的能力。本文旨在系统梳理此类教育项目的实践背景、实施路径与核心特征,分析其运行过程中所面临的主要挑战,进而提炼出可为我国科学教师教育改革提供经验的启示。

一、基于探究经历的科学教师教育模项目的背景

美国科学课程改革始终强调学生应参与真实的科学探究过程,将其作为培养科学素养的核心路径。美国《国家科学教育标准》(National Science Education Standards)^② 明确指出,科学探究在学生学习中的核心地位,主张通过探究真实问题促进学生科学概念的建构与科学本质的理解。2013年颁布的《下一代科学教育标准》(Next Generation Science Standards)^③ 进一步提出,学生应掌握提出问题、构建并应用模型、设计与实施实验等科学实践方法,以深化对自然世界的理解。这要求教师不仅帮助学生理解科学概念,还应引导学生经历科学家在真实世界中所开展的探究过程。然而,大量实证研究表明,多数教师不使用探究的教学方式^④,或在指导学生探究过程中遭遇多重困难^⑤。即便配备了高质量、以探究为导向的教材,教师仍可能因教学惯性或认知限制,对教材内容进行修改或简化,最终回归传统的教师中心教学方式^⑥。对于职前教师而言,实施探究教学尤具挑战,常因缺乏教学经验而在“学生自主探索”与“教学目标达成”之间难以平衡,并伴随显著的教学焦虑^⑦。即便是经验丰富的教师,在组织和引导高质量探究教学时,也常常面临教学情境适配的复杂问题与实际操作上的困难。

美国科学教育研究者普遍认为,科学教师在教学中较少采用探究式教学的背后存在多重原因。其一,教师普遍担忧课时紧张,难以在有限的教学时间内通过探究方式覆盖课程所要求的科学知

① 中华人民共和国教育部. 义务教育科学课程标准(2022年版)[M]. 北京:北京师范大学出版社, 2022: 11-13.

② National Research Council. National Science Education Standards [M]. National Academy Press, 1996: 104-115.

③ National Research Council. A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas [M]. National Academies Press, 2012: 83-218.

④ Windschitl M. Inquiry projects in science teacher education: What can investigative experiences reveal about teacher thinking and eventual classroom practice? [J]. Science Education, 2003, (87): 112.

⑤ Peeters M, Meijer W. Onderzoekend leren: Hoe stel je een onderzoeksvraag op? [J]. Jeugd in School en Wereld, 2014, (9): 6.

⑥ McNeill K L, González-Howard M, Katsh-Singer R, Loper S. Moving beyond pseudoargumentation: Teachers' enactments of an educative science curriculum focused on argumentation [J]. Science Education, 2017, (101): 426.

⑦ Hayes M T. Elementary preservice teachers' struggles to define inquiry-based science teaching [J]. Journal of Science Teacher Education, 2002, (13): 147.

识点^①；其二，部分教师对学生的探究能力持保留态度，认为其缺乏自主开展探究活动的基础能力^②。除了时间限制和学生能力等外在因素，更深层的障碍则是教师自身缺乏亲身参与科学探究的经历。基于探究的教学要求学生以解释自然现象为目标，通过提出问题、设计实验、发展理论等认知过程，逐步构建对自然现象的科学解释。然而，多数美国科学教师，尤其是小学教师，缺乏完整参与科学探究的经历^{③④}，甚至缺乏理科专业背景^⑤。在职前教育阶段，科学知识多以讲授方式传授，职前教师难以通过探究方式自主建构知识；实验课程多为验证性设计，学生通常只是机械重复既有实验步骤，难以体验科学家探索原理的思维过程^⑥。即便在科学教学法课程中，教学重点仍聚焦于“如何教探究”，而非“亲身经历探究”，导致教师在教学实践中难以真正理解和把握探究的本质^⑦。

研究表明，教师难以采用自身从未亲身经历的方式进行教学^⑧。基于这一认知，美国科学教师教育界长期倡导为在职教师与职前师范生创造真实参与科学探究的机会，以弥补其探究经验的缺失，夯实其科学探究教学的认知与实践基础^{⑨⑩⑪}。在这一背景下，美国各地陆续启动了一系列以“探究经历”为核心的教师教育项目。此类项目旨在通过亲历式探究活动，使教师深入理解科学探究的过程逻辑与知识建构机制，同时提供教学设计与实施层面的支持，增强教师在实际教学中开展探究式教学的能力。

二、基于探究经历的科学教师教育项目的实践样态

（一）科技界与科学教育界的协同支持

美国在推进科学教师教育改革过程中，通过政策引导与跨界合作，系统整合科技界与教育界

① Crawford B A. Embracing the essence of inquiry: New roles for science teachers [J]. Journal of Research in Science Teaching, 2000, (37): 916.

② Lotter C, Harwood W S, Bonner J J. The influence of core teaching conceptions on teachers' use of inquiry teaching practices [J]. Journal of Research in Science Teaching, 2007, (44): 1318.

③ Shapiro B L. A case study of change in elementary student teacher thinking during an independent investigation in science: Learning about the "face of science that does not yet know" [J]. Science Education, 1996, (80): 535.

④ Windschitl M, Thompson J, Braaten M. How novice science teachers appropriate epistemic discourses around model-based inquiry for use in classrooms [J]. Cognition and Instruction, 2008, (26): 310.

⑤ Loucks-Horsley S, Love N, Stiles K E, Mundry S, Hewson P W. Designing professional development for teachers of science and mathematics [M]. 2nd ed., Corwin Press, 2003.

⑥ McDermott L C. A perspective on teacher preparation in physics and other sciences: The need for special science content courses for teachers [J]. American Journal of Physics, 1990, (58): 734.

⑦ Lustick D. The failure of inquiry: Preparing science teachers with an authentic investigation [J]. Journal of Science Teacher Education, 2009, (20): 583.

⑧ Loucks-Horsley S, Love N, Stiles K E, Mundry S, Hewson P W. Designing professional development for teachers of science and mathematics [M]. 2nd ed., Corwin Press, 2003.

⑨ Windschitl M. Inquiry projects in science teacher education: What can investigative experiences reveal about teacher thinking and eventual classroom practice? [J]. Science Education, 2003, (87): 112.

⑩ Bencze J L, Bowen M G. Learner-controlled projects in science teacher education: Planting seeds for revolutionary change [C]. Annual Conference of the National Association of Research in Science Teaching, St. Louis, MO, 2001.

⑪ Van Zee E, Lay D, Roberts D. Fostering collaborative research by prospective and practicing elementary and middle school teachers [C]. Annual Meeting of the American Educational Research Association, New Orleans, LA, 2000.

资源，为科学教师的专业发展提供了持续性支持。具体而言，科技界的深度参与主要体现在以下三个方面：

第一，科研场所向教师开放。以真实科研项目为基础的教师专业发展项目，通常对实验条件和仪器设备提出较高要求，而这些资源在常规中小学环境中往往难以获得。为此，美国多类科研实体，包括能源部下属国家实验室^①、高校实验室^②、生物田野站^③面向教师开放科研场所，提供完成探究任务所需的物理环境与技术支持，使教师得以在真实科研语境中开展项目实践。

第二，科学家深度指导教师参与科研全流程。由于多数教师缺乏科研训练，相关领域的专业知识储备亦有限，因此在多个项目中，科学家作为指导者与合作者全程参与教师的探究学习过程。他们不仅协助教师确定研究主题与问题，还共同研讨研究设计、数据分析乃至成果撰写^{④⑤}，为教师探究能力的形成提供专业保障。

第三，科学家与科学教育者协同开发教师培养课程。如 Hafner 与 Zembal 所指出，科学教师的培养不应仅由教育学院单独承担，高校理工科院系亦应积极参与^⑥。在多个职前教师教育项目中，科学家与科学教育研究者共同设计课程，引导师范生通过探究方式学习专业知识、体验科学实践。例如，有研究报道一门面向职前小学教师的生命科学课程由科学教育系与昆虫学系教师联合开设，课程围绕昆虫文化主题，以探究为主线，支持师范生在实践中建构科学理解^{⑦⑧⑨}。

（二）以探究经历为基础的专业发展项目和课程

美国开展以探究经历为基础的科学教师教育，主要包括面向在职教师的暑期专业发展学校，以及面向职前教师的科学教学法与理科专业课程。

1. 面向在职教师的暑期专业发展学校

数十年来，美国持续开展“教师研究经历（Research Experience for Teachers, RET）”项目，其核心目标在于让教师亲身参与科研活动，帮助其深刻理解科学知识的形成过程^⑩。在国家

① Varelas M, House R, Wenzel S. Beginning teachers immersed into science: Scientist and science teacher identities [J]. Science Education, 2005, (89): 492.

② Pop M M, Dixon P, Grove C M. Research experiences for teachers (RET): Motivation, expectations, and changes to teaching practices due to professional program involvement [J]. Journal of Science Teacher Education, 2010, (21): 127.

③ Blanchard M R, Southerland S A, Granger E M. No silver bullet for inquiry: Making sense of teacher change following an inquiry-based research experience for teachers [J]. Journal of Research in Science Teaching, 2009, (93): 322.

④ 同③.

⑤ 同②.

⑥ Hafner L A, Zembal-Saul C. Learning by doing? Prospective elementary teachers' developing understandings of scientific inquiry and science teaching and learning [J]. International Journal of Science Education, 2004, (26): 1653.

⑦ Boardman L, Zembal-Saul C, Frazier M, Appel H, Weiss R. Enhancing the science in elementary science methods: a collaborative effort between science education and entomology [J]. Association for the Education of Teachers of Science, Austin, TX, 1999.

⑧ Salter I, Atkins L. Student-generated scientific inquiry for elementary education undergraduates: Course development, outcomes and implications [J]. Journal of Science Teacher Education, 2013, (24): 157.

⑨ 同⑥.

⑩ Campanile Faurot M, Lederman N G, Jacobs E R, Brey E M. Defining the roles of graduate student mentors and faculty advisors in undergraduate research programs [C]. National Association for Research in Science Teaching, Boston, MA, 2014.

科学基金会 (National Science Foundation, NSF) 的资助下, 在职教师与职前师范生被安排进入高校或科研机构, 围绕实际课题与科学家、研究人员及研究生等科研工作者协作开展研究, 采用类似指导初级科研人员的方式进行“做中学”的探究实践^①。针对在职教师的 RET 项目通常采用暑期集中培训模式, 持续时间为 6 至 8 周, 项目规模不一, 小至 1—2 名教师进入实验室, 大至数十人参与同一科研平台。在项目实施过程中, 教师全程融入科研团队, 参与实验操作、数据分析、研究记录与成果交流等日常科研活动。同时, 他们还需参加课题组会议、专题讲座、同伴研讨和教学反思等环节。项目强调教师完整参与科研流程, 包括确立研究问题、设计方案、采集数据、分析结果以及撰写与汇报研究成果, 力求为教师提供完整的探究体验。项目所涉研究领域涵盖物理、化学、纳米技术、生态学等多个学科, 依托具体科研机构的专业资源而定。

在项目中, 教师不仅亲身经历科研实践, 还在教育者指导下持续反思探究过程, 将对探究本质的理解转化为教学认知, 并尝试据此重构课程设计。例如, 在某项以海洋生态为主题的项目中, 教师在湿地环境中开展田野研究, 围绕海洋生态问题提出研究假设、制定方案、实施实地观察与数据采集^②。在研究初期, 教师与科学家协同提出研究问题, 并在实践中反思各自在提出问题过程中的行为特征, 从中理解科学问题形成的思维过程。项目还引导教师将自身的探究经验转化为教学设计, 思考如何在一节课中复现学生可经历的各个探究阶段, 从而提升学生科学思维与实践能力。项目结束后, 教师将参与期间开发或改进的教学方案带回原校实施, 实现从科研经验到课堂教学的有效迁移。

2. 面向职前教师的科学教学法与理科课程

科学教学法课程是职前科学教师培养体系中的核心组成部分, 旨在培养职前教师科学教学能力, 发展他们的科学教学内容知识。然而, 多数教学法课程仍沿用教师中心的讲授模式, 将“探究教学”作为对象进行讲解, 而非以探究方式作为教学本身的路径。这种教学设计缺乏为职前教师提供亲身探究经历的机制, 难以促使其真正理解探究的本质或掌握基于探究的教学实践。为弥补这一缺口, 美国部分科学教师教育者在科学教学法课程中嵌入“探究模块”, 支持职前教师通过项目式学习获得探究经历。部分课程借助理科院系科研人员的指导, 使师范生围绕真实课题 (如昆虫文化) 开展科学研究^③; 另一些课程则以中小学课程内容为依托, 设定开放性主题, 引导师

① Boardman L, Zembal-Saul C, Frazier M, Appel H, Weiss R. Enhancing the science in elementary science methods: a collaborative effort between science education and entomology [C]. Association for the Education of Teachers of Science, Austin, TX, 1999.

② Blanchard M R, Southerland S A, Granger E M. No silver bullet for inquiry: Making sense of teacher change following an inquiry-based research experience for teachers [J]. Journal of Research in Science Teaching, 2009, (93): 322.

③ Lustick D. The failure of inquiry: Preparing science teachers with an authentic investigation [J]. Journal of Science Teacher Education, 2009, (20): 583.

范生独立完成探究项目^{①②③④}。与实验室科研项目相比,这些探究项目在知识深度与复杂度上更贴近基础教育实际,但仍保留科学探究的核心特征。

在这些课程中,教师会经历完整的探究过程——从提出问题、设计研究到数据收集与分析,再到成果汇报,并持续撰写学习日志记录各阶段体会^⑤。日志内容涵盖探究过程中的策略调整、遇到的困难、认知冲突、错误修正与进展反思,成为其反思性学习的重要工具。通过日志撰写与教师引导,职前教师进一步反思科学家工作的特点及科学知识建构的过程^⑥,并探索如何将自身的探究经验迁移至未来教学实践中^⑦。比如,在一门科学教学法课程中,六名职前教师在一周时间内观察本地自然环境,自主提出研究问题,主题涵盖动物行为、气象现象与物质特性(如鸟类喂食行为、日落规律、水果的导电性等)^⑧。其后,参与者在六周内开展研究设计、实验操作、数据分析与成果汇报,并通过答辩形式进行成果呈现。在项目过程中,教师撰写探究日志,翔实记录研究流程、开放性探究中遇到的挑战、阶段性反思与认知修正过程。此类课程通过“做中学”的方式,有效促进了探究式学习,为职前教师未来实施探究教学打下了坚实的实践基础与思维模式基础。

除科学教学法课程外,美国一些高校在本科阶段的理科专业课程中亦系统引入探究经历作为科学教师职前培养体系中的关键环节。这类课程通过模拟科学实践过程,使职前教师在进入教学实习之前,获得基于实践的科学探究体验,为其后续教学奠定科学理解与方法论基础。Salter 与 Atkins 所报告的一门面向职前小学教师的本科课程为此类实践提供了典型案例^⑨。该课程由三个相互关联的模块构成:小组研究、全班讨论与课堂反思。课程设计以“感知”相关的复杂科学现象为载体,例如针孔照相机原理、人眼结构、色彩混合机制等。在小组研究环节,学生以研究小组形式围绕指定现象提出问题、开展实验、构建解释模型,并在全班讨论中对研究进展进行汇报与理论整合。课程通常按单元组织,每个单元聚焦一个科学主题,历时约4至5周。在每周反思环节中,学生通过记录学习过程中的理解变化、探究策略及认知障碍,提升对科学探究本质的理解。此外,一些高校专门为职前教师设置“科研实习课程”,安排其在整个学期内,在科学家的指

① Windschitl M. Inquiry projects in science teacher education: What can investigative experiences reveal about teacher thinking and eventual classroom practice? [J]. Science Education, 2003, (87): 112.

② Morrison J. Individual inquiry investigations in an elementary science methods course [J]. Journal of Science Teacher Education, 2008, (20): 13.

③ Varma T, Volkmann M, Hanuscin D. Preservice elementary teachers' perceptions of their understanding of inquiry and inquiry-based science pedagogy: Influence of an elementary science education methods course and a science field experience [J]. Journal of Elementary Science Education, 2009, (21): 1.

④ 同①.

⑤ 同②.

⑥ Salter I, Atkins L. Student-generated scientific inquiry for elementary education undergraduates: Course development, outcomes and implications [J]. Journal of Science Teacher Education, 2013, (24): 157.

⑦ Brown S, Melear C. Preservice teachers' research experiences in scientists' laboratories [J]. Journal of Science Teacher Education, 2007, (18): 573.

⑧ 同①.

⑨ Smolleck L, Zembal-Saul C, Yoder E. The development and validation of an instrument to measure preservice teachers' self-efficacy in regard to the teaching of science as inquiry [J]. Journal of Science Teacher Education, 2006, (17): 137.

导下独立完成一项课题研究，并在学期末进行成果展示与学术汇报^①。这类实习课程不仅强调研究技能的培养，也注重科学沟通能力、团队合作与科学问题建构能力的提升，为职前教师日后开展探究式教学提供了结构化支持。

三、基于探究经历的科学教师教育项目的设计特征

大量研究表明，教师教学行为的转变往往受到多种心理和认知因素的共同作用。在相关研究中，学者们归纳出三种影响教师教学转变的关键变量：教学自我效能（teaching self-efficacy）、教学法不满（pedagogical discontentment）以及教师关于科学教学与学习的信念（teacher beliefs）。其中，教学自我效能指教师对自身实施某一教学策略或方式的能力判断，是预测教师是否会尝试并坚持特定教学实践的重要心理指标^②。研究发现，教师对探究教学自我效能感与其实际教学行为高度相关，是其能否有效实施探究教学的关键前提^③。教学法不满是指教师对现行教学方式感到不满足或不适，从而萌生变革的动因。当教师对当前以讲授为主的教学方式感到局限或不适时，才更可能寻求新的教学路径，尝试并采纳以探究为导向的教学策略^④。由此可见，适度激发教学法不满感，有助于推动教师反思现行做法，并触发教学行为转变。第三个要素是教师信念体系，即教师关于“什么是科学教学”“何为有效学习”的核心认识。这些信念对教师教学设计与课堂行为具有深刻影响，决定其是否接受探究教学的理念，以及如何在教学中解释、执行相关策略。

基于上述理论，美国的探究型教师教育项目在设计上呈现出清晰的干预思路与路径：通过为教师提供真实科研经历，提升其探究教学的自我效能；通过对传统讲授教学效果的反思，激发其对现有教学方式的不满；同时，通过反复经历探究实践，引导教师重构自身关于科学教学的核心信念，从而实现教学方式的根本转变。

（一）强调教师亲身经历真实的探究过程

传统的教师教育强调教学策略、方法和技能的培训，侧重提升教师在课堂教学中的技术操作能力。然而，在本文所讨论的以探究经历为核心的教师教育项目中，专业发展项目的重点转向“让教师成为探究者”，教师通过亲身参与科学探究活动，重构其对科学知识生成机制的认知。科学探究作为知识建构的过程，包含多个关键认知环节，如提出研究问题、设计研究方案、收集与解释数据、发展解释性理论等。同时，真实科学研究还体现出一系列深层的认识论特征，如以解释自然现象为目标、理论与数据之间的动态协调、对异常数据的理性回应以及科学知识构建的社

① Southerland S A, Sowell S, Blanchard M, Granger D E. Exploring the construct of pedagogical discontentment: A tool to understand science teachers' openness to reform [J]. Research in Science Education, 2011, (41): 299.

② Chinn C A, Malhotra B A. Epistemologically authentic inquiry in schools: A theoretical framework for evaluating inquiry tasks [J]. Science Education, 2022, (106): 175.

③ Kardash C M. Evaluation of an undergraduate research experience: Perceptions of undergraduate interns and their faculty mentors [J]. Journal of Educational Psychology, 2000, (92): 191.

④ Feldman A, Kropf J. The evaluation of minds-on physics: An integrated curriculum for developing concept-based problem solving in physics [J]. Physics Education Research Group, 1997.

会属性^①。以探究经历为基础的项目通过让教师参与完整科研过程，深度体验科学实践的思维方式与知识建构逻辑，从而深化对科学本质及其教学意义的理解。

此类项目中，教师或职前师范生所参与的探究活动大致可分为三种类型：第一类为教师直接参与科学家正在进行的科研项目，通常聚焦于科学共同体所关注的前沿议题。这类探究强调教师在真实科研团队中开展研究，接触未解决的问题，体验科研工作的开放性与不确定性。第二类项目由教师在科学家的引导下，自主协商确定研究问题。虽然这些问题可能并不具有前沿性，但往往贴合教师自身兴趣，具有实践关联性。这两类项目大多采用“认知实习（cognitive apprenticeship）”的方式开展^②，即通过情境嵌入与专家引导，使教师在真实科研环境中习得科学探究所需的思维模式与知识体系^③。第三类项目则围绕中小学科学课程中的常见主题（如天气、月相、植物等）展开^④。教师通常对这些内容已有基本认知，更易在探究过程中深入参与各环节。然而，相比前两类项目，此类主题的知识复杂性与研究过程的开放性较低，所体现的科学认识论特征也较为有限，难以完全模拟真实科研的复杂性。

综上所述，教师教育项目通过提供不同层次、不同类型的探究实践路径，构建其对科学知识生产过程的真实体验，并以此作为探究教学能力发展的基础支撑。

（二）支持教师对探究经历的反思与教学迁移

研究指出，单纯参与探究项目本身，往往难以真正促进教师对科学探究、教学理念和教学实践的深层转变^{⑤⑥⑦}。因此，美国多个教师专业发展项目在设计中引入“反思—迁移”机制，引导教师批判性地回顾自身探究过程，并探索如何将该经验系统性地迁移至教学实践。此类反思并非简单的过程记录或表层思考，而是基于个人经历，对自身教学观念与实践方式进行深层检视^⑧。

教师或职前师范生在项目中进行反思时，通常聚焦于两个方面：第一，反思科学探究过程与科学本质（Nature of Science, NOS）理解的关系。某些项目鼓励教师在参与探究后，分析科研人员在实践中如何使用假设、理论、数据与模型，从而发展对科学认识论特征的理解^⑨。例如，

① Morrison J. Individual inquiry investigations in an elementary science methods course [J]. Journal of Science Teacher Education, 2008, (20): 13.

② Grove C M, Dixon P J, Pop M M. Research experiences for teachers: Influences related to expectancy and value of changes to practice in the American classroom [J]. Professional Development in Education, 2009, (35): 247.

③ Miranda R J, Damico J B. Science teachers' beliefs about the influence of their summer research experiences on their pedagogical practices [J]. Journal of Science Teacher Education, 2013, (24): 1241.

④ Loughran J J. Effective reflective practice, Journal of Teacher Education, 2002, (53): 33.

⑤ Capps D K, Crawford B A, Constan M A. A review of empirical literature on inquiry professional development: Alignment with best practices and a critique of the findings [J]. Journal of Science Teacher Education, 2012, (23): 291.

⑥ Blanchard M R, Southerland S A, Granger E M. No silver bullet for inquiry: Making sense of teacher change following an inquiry-based research experience for teachers [J]. Journal of Research in Science Teaching, 2009, (93): 322.

⑦ Schwartz R, Lederman N, Crawford B. Developing views of the nature of science in authentic contexts: An explicit approach to bridging the gap between nature of science and scientific inquiry [J]. Science Education, 2004, (88): 610.

⑧ 同⑤。

⑨ Roehrig G H, Kruse R A. The role of teachers' beliefs and knowledge in the adoption of a reform-based curriculum [J]. School Science and Mathematics, 2005, (105): 412.

Schwartz 等人所汇报的教师培养项目中^①，职前教师在参与实验研究的同时，围绕研究流程、科学家的思维过程、研究策略进行系统记录与反思。他们被引导分析科学探究的若干核心属性，如知识的暂定性、科学解释的实证性、研究者视角的主观性等，并将这些要素与自身经验建立联系，以构建更内化的科学本质认知框架。第二，反思探究经验与自身教学实践之间的关联。一些项目进一步引导教师将其探究经历与当前课堂教学进行对照分析。在 Capps 与 Crawford 汇报的基于探究的教师发展项目中^②，教师在为期五天的培训中完成一项古生物学研究任务，学习如何收集、整理与解读化石相关数据。项目组织者通过书面反思与小组讨论，引导教师比较自身教学实践与探究经历之间的差异，进而识别出在教学中可应用的科学探究思维和策略。研究表明，此类反思过程能够有效促进教师对科学本质与探究教学的理解，并激发其转变教学方式的动因^③。

为了推动教学转化，部分项目进一步要求教师围绕自身探究经验，设计基于探究的教学方案，思考原有教学实践中可优化的环节。教师需考量如何在课堂中让学生经历类似的认知与社会性过程^④，并识别哪些科研环节难以直接迁移至教学情境，或在教学中实施时可能面临的实际挑战^⑤。相关研究指出，当教师能够将探究经验与科学认识迁移至具体教学情境时，更容易生成教学转变的内在动机，进而持续优化其教学实践^⑥。

四、基于探究经历的科学教师教育项目面临的挑战

尽管上述探究型教师教育项目在结构设计上具有较强的干预效能，在一定程度上推动了教师教学理念和行为的转变，但在开发和实施过程中仍面临诸多现实挑战，影响其成效与可持续发展。

（一）探究经历与教学实践之间的关联度不足

高效的教师专业发展项目应具有高度的实践关联性，即项目内容需紧贴教师教学情境，切实满足其课堂实践需求^{⑦⑧}。然而，在多个基于探究的项目中，教师所参与的探究活动常聚焦于科学家主导的前沿科研课题。这类项目虽强调探究经历的真实性和科学情境的沉浸感，通过科研交流提升教师对科学过程与本质的理解，但其与教师日常教学工作的契合度存在显著偏差。首先，研究问题来源缺乏教师主体性。前沿科研课题通常围绕科学共同体关注的学术问题展开，研究议题由科学家设定，教师多处于被动参与状态，鲜有机会基于自身兴趣或教学经验提出问题。而研究

① Luft J A. Changing inquiry practices and beliefs: The impact of an inquiry-based professional development program on beginning and experienced secondary science teachers [J]. International Journal of Science Education, 2001, (23): 517.

② Blanchard M R, Southerland S A, Granger E M. No silver bullet for inquiry: Making sense of teacher change following an inquiry-based research experience for teachers [J]. Journal of Research in Science Teaching, 2009, (93): 322.

③ Varelas M, House R, Wenzel S. Beginning teachers immersed into science: Scientist and science teacher identities [J]. Science Education, 2005, (89): 492.

④ Wilson S M. Professional development for science teachers [J]. Science, 2013, (340): 310.

⑤ Desimone L. Improving impact studies of teachers' professional development: Toward better conceptualizations and measures [J]. Educational Researcher, 2009, (38): 181.

⑥ Enderle P, Denzau M, Roseler K, Southerland S A, Granger E, Hughes R. Examining the influence of RETs on science teachers' beliefs and practice [J]. Science Education, 2014, (98): 1077.

⑦ Salter I, Atkins L. Student-generated scientific inquiry for elementary education undergraduates: Course development, outcomes and implications [J]. Journal of Science Teacher Education, 2013, (24): 157.

⑧ 同②。

表明,教师在处理自身提出的问题时,更容易进行教学反思与认知重构,从而有效促进教学理念与实践的转变^①。其次,研究内容的复杂性限制教师深度参与。许多前沿课题涉及高阶理论与专业知识,即便对科研人员而言亦具有相当难度。在此背景下,教师因知识门槛与经验不足,往往难以全面理解研究过程,亦难获取完整而有意义的探究体验^②。最后,科研主题与课程内容脱节,制约教学迁移。由于前沿科研课题在学科深度和知识结构上与中小学课程存在显著差异,教师在项目获得的科研经验往往难以直接转化为课堂教学内容与策略。已有研究指出,缺乏教学适切性的科研参与经历难以转化为有效的教学行为,反而可能削弱教师对探究教学的信心^{③④}。

(二) 专业发展项目和课程缺少足够的时长

时间投入被广泛认为是有效教师专业发展项目的重要条件之一^⑤。此类项目要求教师深度参与多个环节的科学探究过程,以全面体验科研实践。而科学探究自身具有高度的开放性与复杂性,通常包含研究问题的反复调整、方案设计的多轮修正,以及数据收集与解释的反思循环。尤其对于缺乏相关科研经验的教师而言,由于知识和技能基础相对薄弱,教师往往需要更多的时间投入,才能深入理解科学过程,获得有意义的学习体验。

然而,现实中无论是在职教师还是职前师范生,在参与此类项目时往往难以获得足够的时间保障,这成为制约项目成效的重要因素。对于在职教师而言,其常规教学任务繁重,可支配时间有限,即便是在暑期开展的专业发展项目,也因假期时间受限或需兼顾其他事务,难以持续投入多周时间完成完整探究过程。对于职前教师,虽无一线教学负担,但其在师范教育阶段需修读大量课程并完成教学实习等实践任务,即使课程中安排了探究模块,其可投入时间亦极为有限。此外,诸如理科专业课程或科学教学法课程通常承担多重教学目标,课程内容本身覆盖面广,难以职前教师提供持续、高强度的探究时段,以使其实现深度参与^⑥。

(三) 科学家缺少对科学教师和课程教学的了解

在以探究经历为基础的专业发展项目中,科学家和科学共同体发挥重要作用。科学家在项目参与选题和设计,为教师提供科学知识、实验技能以及研究方法等方面的指导。但是,科学家通常缺乏与科学教师的深入交流,也鲜有机会走进中小学课堂,了解其教学实际。他们往往不熟悉中小学科学课程的教学内容与方式,难以准确把握科研实践与学校教学之间的衔接关系。而且,

① Jeanpierre B, Oberhauser K, Freeman C. Characteristics of professional development that effect change in secondary science teachers' classroom practices [J]. Journal of Research in Science Teaching, 2005, (42): 668.

② Garet M S, Porter A C, Desimone L, Birman B F, Yoon K S. What makes professional development effective? Results from a national sample of teachers [J]. American Educational Research Journal, 2001, (38): 915.

③ Morrison J. Individual inquiry investigations in an elementary science methods course [J]. Journal of Science Teacher Education, 2008, (20): 13.

④ Akerson V, Morrison J, McDuffie A. One course is not enough: Preservice elementary teachers' retention of improved views of nature of science [J]. Journal of Research in Science Teaching, 2006, (43): 194.

⑤ National Research Council. The Role of Scientists in the Professional Development of Science Teachers [M]. The National Academies Press, 1996.

⑥ Akerson V, Morrison J, McDuffie A. One course is not enough: Preservice elementary teachers' retention of improved views of nature of science [J]. Journal of Research in Science Teaching, 2006, (43): 194.

科学家持有一系列对科学教学与教师学习的误解^①。比如，一些科学家认为：只要更充分地理解某个科学知识点，就能更有效地教这个知识点，开发更好的课程；科学家毕生的研究领域一定也是科学教师和学生感兴趣的。此外，不少科学家对参与教师培养缺乏兴趣，认为教师教育应由师范院校或继续教育机构负责，并不属于其所在理工科单位的职责范围。

五、对我国科学教师教育工作的启示

美国以探究经历为核心的教师教育项目，为我国科学教师培养与培训体系提供了可资借鉴的重要经验。此类项目通过结构化设计，使教师亲历科学探究过程，推动其对科学本质的理解和教学理念的转变，对我国当前科学教师教育改革具有重要启示意义。近年来，教育部提出优化科学教师培养体系，鼓励高校与科研院所协同提升职前科学教师的科学素养与教学能力。然而，当前职前培养体系往往侧重科学知识的灌输与教学技能的训练，将职前教师定位为“知识的接受者”和“教学的执行者”，而非具备探究能力的“科学实践者”。这导致职前教师在接受培养的过程中普遍缺乏亲身参与科学探究的机会，限制了其设计与实施探究教学的能力发展。美国经验表明，通过在理科专业课程与教学法课程中设置探究模块，强调教师作为“科学研究者”的角色，有助于提升其探究能力。对此，我国可从以下三方面对培养方案进行系统调整：

第一，为科学教师提供探究机会。一方面，高校、科研院所和教师发展部门可以开设科研实习课程，组织职前教师深入高校实验室或科研机构，在科研人员的指导下参与真实课题研究。该实习形式既可采取深入参与单一科研项目的方式，也可设计为在多个实验室之间轮转体验。前者能够帮助教师系统理解科研从立项到结题的全过程，后者则有利于拓展其对科学研究多样性和方法论的认知。考虑到科学研究的复杂性，科研实习不必要求教师全面掌握课题内容，而应通过数据采集、组会参与、结果分析等基础性任务，引导其理解科研流程与科学研究的思维方式。此类实习可作为课程正式纳入师范生培养体系，由教师教育学院与理工科院系联合开设，并根据不同培养阶段灵活安排。另一方面，高校等教师培养单位可设计短期探究项目，围绕教师熟悉的主题（如天气、植物、月相等）开展实践，引导教师将探究经验与未来课堂内容相结合，提升教学内容的迁移与转化能力。

第二，为科学教师营造以探究方式学习科学的环境。我国职前教师普遍缺乏以探究方式学习科学的经历，缺乏对“探究学习”的亲身体验。为改善这一现状，应在课程设计中嵌入探究式学习环节，使职前教师以“学习者”的身份亲历完整的科学探究过程。为此，需推动科学教育者、教师教育者与理科教师协同开发基于探究的教学案例，或在现有教材基础上进行重构，将探究方法嵌入内容教学之中。同时，也应支持高校理科课程教师转变教学方式，在课程中实施探究导向教学，为职前教师提供真实的探究学习环境。

第三，在教学实习中支持教师转化和应用探究经历。目前，我国教学实习环节多聚焦于听课与模拟授课，缺乏系统引导教师将探究经历转化为课堂教学的实践机制。高校可以在实习阶段安排职前教师完成探究教学设计与实施任务，引导他们基于前期参与的探究项目，开发适用于中小

^① National Research Council. The Role of Scientists in the Professional Development of Science Teachers [M]. The National Academies Press, 1996.

学生的教学内容。例如，职前教师可将其短期探究项目转化为中小学课堂教学案例，系统设计教学目标、内容结构、教学策略与评价方式。实习期间，教师应在真实课堂中组织探究活动，采用课堂对话、脚手架引导等策略，帮助学生逐步完善问题提出、实验设计与结果解释等探究环节。同时，还可引导职前教师通过教学评估，掌握教育研究基本方法，收集教学数据，分析教学成效，提升其科学教学研究能力。

科学教师的教学理念转变离不开系统性培养支持。美国经验表明，教师教育者与科研人员的深度协作，以及基于探究的课程与项目安排，是推动教学理念更新和教学行为改变的有效路径。我国科学教师教育改革应立足本土实践，深入分析教师教学行为与能力结构，反思培养机制中的关键问题，探索更为系统、多元且融合的培养路径，切实推动科学课程改革的有效实施。

基金项目

本文系江苏省教育科学“十四五”规划2021年度重点课题“后疫情时代的国际科普教育比较研究——基于多维视角的实证研究范式”(B/2021/01/61)研究成果。

作者简介

马冠中，南京大学教育研究院助理研究员，研究方向：科学教育、科学教学与研究。

张军，西南大学教师教育学院副教授，研究方向：科学教育、教师教育。电子邮箱：zhangjuntop@163.com。

Inquiry Experiences for Science Teachers: The Experience and Implications of Science Teacher Education in the United States

MA Guanzhong¹, ZHANG Jun²

(1. School of Education, Nanjing University, Nanjing, 210023;

2. School of Teacher Education, Southwest University, Chongqing, 400415)

Abstract: To enhance science teachers' capacity to implement inquiry-based instruction, the United States has developed various teacher education programs centered on inquiry experiences. Such programs emerged in response to the widespread lack of inquiry experience among teachers and the difficulty of translating inquiry into classroom practice. It emphasizes collaboration between the scientific and educational communities to provide teachers with opportunities to engage in various research contexts. Implementation pathways include summer research programs, inquiry modules embedded in science methods courses, and inquiry-based activities within science content courses. These initiatives support teachers in reflecting on the nature of science and instructional practice through firsthand

participation in research. The program design focuses on improving teachers' instructional self-efficacy, stimulating dissatisfaction with traditional teaching methods, and reshaping core beliefs about science teaching. Although these programs have shown promising outcomes, challenges remain regarding the alignment between research topics and curriculum content, the limited duration of programs, and the mismatch between scientists' expertise and teachers' instructional needs. The U. S. experience suggests that science teacher education should develop diverse inquiry pathways, strengthen reflection mechanisms, and explore cross-sector collaboration to inform the ongoing reform of teacher education in China.

Key Words: science teachers; teacher professional development; inquiry experiences; teacher education