

# 科学教育中科学家的角色与功能<sup>\*</sup>

朱 晶<sup>1,2</sup> 姜雪峰<sup>1,3</sup>

(1. 华东师范大学海南研究院, 海南三亚 572025; 2. 华东师范大学哲学系, 上海 200241;  
3. 华东师范大学化学与分子工程学院, 上海 200062)

**摘 要:** 部分科学家参与科学教育的专业实践以及与此相关的研究, 是发展高质量科学教育的关键要素。科学家为何以及应该如何深度参与到其他专业群体之中, 即科学教育中科学家的角色定位和功能发挥问题, 尚缺乏适当的分析框架。互动型专长这一概念框架, 强调科学研究中的默会规范, 以及外行沉浸于科学研究活动与科学群体之中的重要性, 适用于分析当前科学教育如何实现实践转向。当下的科学实践存在着社会-认知上的层级迁移、更强的默会程度和交叉性等特征, 科学发展的动态性和科学探索的复杂性给科学教育变革带来了新挑战。科学教育在将科学认知实践的真实过程、与认知实践相关的社会维度等转化为教育资源时, 衔接不足。通过参与校内外科学教育, 科学家能够促进科学外行的互动型专长, 自身也能获得一定的社会-认知受益。科学家深度参与科学教育有多重角色, 是促进学生参与和理解真实的科学认知实践的衔接者和资源提供者、科学教育领域的合作研究者。通过传递真实的科学研究过程、澄清学科交叉中的多重概念与推理、促进理解科学模型、促进有科学证据的科学教育研究, 科学家能够发挥的功能可以是: 提升课程质量、影响教学实践、提升基础教育科学教师的培养层次, 助力学生成为认知实践的主体, 培养科技人才、促进有科学证据的科学教育。

**关键词:** 科学教育; 科学家; 交叉科学; 互动型专长; 默会知识; 科学教师

## 一、引言

在当今世界多元化与两极分化双向增强的背景下, 公众的认知积累与理性行动之间出现了诸多悖论, 给全球科学教育带来困境。解决气候、能源、环境、医疗、经济驱动发展等人类共同面临的复杂问题, 既是今天交叉科学研究的核心, 又是公众关心的热点议题。面对这些重要的现实问题, 越来越多的学者呼吁科学家参与到科学教育的实践以及与此相关的研究之中, 从面向所有人的科学教育目标出发, 促进学习者对科学事业运行机制和探究过程的理解、学会像科学家那样思考(Alberts, 2022)。经过二十多年的发展, 科学教育在世界上逐渐演变为专业教育研究与自然科学相结合的学科(Bush et al., 2019)。科学被认为不只是为科学家群体所有, 科学教育也从面向精英的教育转向面向全体公民。

我国在新中国成立之初就重视科学教育, 在体制上不断完善, 目前国家进入创新驱动发展的新阶段, 学者们呼吁组织科学家与教育家深入研究科学的本质特征与时代特征, 研讨建立中国特色的科学教育体系(杨玉良, 2022)。高质量科学教育体系面向的是全民终身学习科学的未来愿景, 目标是提升每个个体的科学素质(郑永和等, 2022)。就重要性而言, 科学教育不仅仅限于儿童和青少年的成长阶段所进行的学校教育, 还是全民终身教育的重要内容和途径。除了学校, 科普场馆、高等院校、科研机构等, 既是具备科学教育功能的重要空间, 也能够提供科学教育资源并为科学教育研究提供有力支

<sup>\*</sup> 基金项目: 国家杰出青年科学基金项目(22125103), 中央高校基本科研业务费项目华东师范大学人文社会科学青年跨学科学术创新团队项目(2022QKT003)。

持。为此,本文所讨论的对象是广义的科学教育,既包括学校正式学习环境中的科学教育,也包括校外非正式学习环境(如家庭、博物馆、国家实验室等)中的科学教育。在目标上,本文所讨论的科学家参与的科学教育,指的是一种专业实践,是由专业实践共同体遵循科学学习规律和原则、进行科学地设计与实施的教育活动,以及专门的研究领域或专业(裴新宁,郑太年,2021),而不是专指在科研活动中对科学技术专业人才的培养。

尽管科学教育的重要性获得广泛认可,但全球范围内,对于科学家从事科学教育有关的实践和研究,依然存在偏见,甚至被认为是对科研资源和科研训练的一种浪费(Dance, 2023)。一般认为,解决该问题的有效进路是从政策和体制出发,比如扩大在科学教育领域有专长的科学家规模,将更多的经费用于支持科学家研究科学教育,提高理科院系负责人对科学教育的重视程度,等等。然而,经验研究却发现,从事科学教育的科学家,在自己学科领域的科学研究经费确保了他们的职业发展之后,才会进一步被所在的理科院系所接纳。也就是说,从事科学教育及研究的科学家获得经费的能力增长,与他们提供给受教育者正式科学教育训练的能力,两者之间没有特别直接的关系(Bush et al., 2019)。而且,除了体制和政策上缺乏激励机制,理科院系更加缺少将科学教育整合到自然科学之中的文化(Bush et al., 2020)。与此同时,仅有极少数科学家受过专业的教育训练,绝大多数教育者在教学过程中有效地将自己的专业知识和技能传播于他人,仍有诸多提升空间。即使是目前正在从事科学教育研究的教员,他们受到的往往也是科学训练(Wieman, 2017)。

如何鼓励科学家更多地投入到科学教育的专业实践和研究之中?仅仅从政策体制上来讨论科学教育存在的困难,尚不足以解决科学家参与科学教育的内在动力问题。不仅如此,科学教育中科学家的角色和功能,除了提高学习者对科学的兴趣或给学习者讲述其科学体验,科学家对科学教育在认知实践层面能够发挥哪些独特功能、与此有关的角色定位如何,尚未得到充分讨论。已有的研究亦缺乏适当的框架来分析科学家为何以及应该如何参与到其他专业群体之中,以及科学家通过这种参与在认知和新知识上能够获得何种受益。为此,我们将采用互动型专长(interactional expertise)概念作为分析框架,首先分析当下的科学实践存在着社会-认知上的层级迁移、更强的默会程度和交叉性等特征,分析科学发展的动态性和科学探索的复杂性给科学教育带来的新挑战。接着分析科学教育在将科学认知实践(与知识和方法获取相关的实践)的真实过程、与认知实践相关的社会维度(承认、交流等科学共同体的社会建制和非认知价值)等转化为教育资源时遇到的衔接不足的困难,以及为何科学家至少是部分科学家可以深度参与到与认知内容和过程有关的科学教育课程设计、教师培训、教育研究与政策制定之中。以此为基础,进一步分析科学家如何能够通过参与校内外科学教育来促进科学外行的互动型专长,以及科学家通过参与科学教育获得的社会-认知(socio-epistemic)受益。与此相对应,我们将分别阐述为何参与、谁来参与、如何参与三个问题。

## 二、科学实践中的互动型专长与默会知识

互动型专长是科学社会学家科林斯(Harry Collins)与埃文斯(Robert Evans)提出的“经验与专长研究”框架中最重要的概念,该框架被用来分析科学专长,将对科学知识的分析从实验室内部拓展到与科学技术有关的公共领域。该理论框架根据科学实践在认知上的特点,将学习者从生手到能够做出科学贡献分为不同等级,强调那些难以明言的默会规范在深度理解科学中的重要性。我们将首先分析,为什么互动型专长适用于分析科学教育中科学家角色与功能背后所涉及的社会-认知问题。

### (一) 作为中间层级的互动型专长

在“经验与专长研究”框架中,科学专长被分为两类:贡献型专长(contributory expertise)和互动型专长。前者指能够对某一科学领域做出贡献的能力,后者指深谙某一学科语言而缺乏在实践中进行沟通的能力(Collins & Evans, 2007)。有互动型专长能力的人,能够理解和讨论科学事物,但是不能够从事科学实践。互动型专长只有通过沉浸(immersing)在科学群体之中才能获得,因为科学外行如果不依

靠默会知识,仅仅通过文本性知识,无法深谙一个学科的语言。

根据科学实践的特点,科林斯与埃文斯提出了理解科学并做出贡献的五个层级:知道一些去情境化的简单科学事实、阅读通俗读物来了解科学发现、通过科学刊物中的一手知识来了解科学方法和结果、默会性地理解这个学科的语言、理解实践。在这五个层级中,前面三个可以仅通过阅读文本知识来获得,而后面两个属于专业型专长的获得,也就是互动型专长和贡献型专长,需要进一步沉浸在专家群体之中。在早期研究中,科林斯与埃文斯提出了强互动假说,认为贡献型专长包含了互动型专长,两者是单向迁移的关系。当互动型专家与贡献型专家对话时,由于互动型专家自身不处于实验室等科研活动场景之中从事科学实践,只能看起来像贡献型专家,但是不能贡献新知识。科学哲学家普莱桑斯(Kathryn S. Plaisance)对此提出质疑,认为至少有一些互动型专长能够对科学研究做出贡献,他们可以贡献重要的思想和理论,成为有贡献的互动型专长(Plaisance, 2020)。在经过多次论辩后,科林斯与埃文斯修正了观点,提出大部分(几乎所有)的专长都是互动型专长,因为高层级的实践语言提供了获得贡献型专长的框架和方向。这就可以解释为什么不同专家做不一样的工作,但是可以成功地进行互动,比如学科交叉活动。既然有的贡献型专家其实也是互动型专家,科林斯与埃文斯再次强调,很少有人能够仅仅通过语言来理解科学实践(Collins & Evans, 2015)。普莱桑斯则进一步认为,互动型专长不仅有潜力对新知识做出贡献,而且比例还不小(Plaisance, 2020)。

尽管科学社会学家和科学哲学家对互动型专长的阈值持有不同观点,比如花费时间长短和门槛高低,但他们都强调科学中默会规范(tacit norms)以及沉浸在科学群体之中的重要性。即,科学家为何会使用这种而不是那种研究方法、异常数据应该如何处理等,这些要素是理解科学知识如何产生、科学知识为何具有合理性的关键。然而这些默会规范,常常是学生在从事科研实践期间、通过学徒训练方式来获得的,不会出现在教材或其他文本中。对于那些并没有在某个特定科学领域受过训练的人而言,沉浸在科学场景和一个专家群体之中,是理解这些规范的必要条件,也是取得互动型专长的必要条件。互动型专长是一个中间层级或者过渡态,既可以用来连接外行(学生)和专家(科学家),也可以通过沉浸于科学研究活动与专家群体之中,完成从外行到专家的转换。为此,我们将使用该分析框架来讨论科学家为何需要以及如何参与到科学教育之中。

## (二) 默会知识的新维度:理论推理与模型模拟

默会知识在科学实践中的重要性广受关注,不少研究对与身体有关的技能和技巧进行了深入讨论,比如实验和工程操作能力、生物工程和系统生物学中的计算建模能力等,都是默会知识的一个维度,是一种实践专长(de Regt, 2017; Nersessian, 2022)。我们将要论证的是,即使是对理论的深度理解和说明为特质的理论智慧(郁振华, 2020),在今天的科学研究中也有很强的默会性,它包含着两个新维度:利用理论进行推理、利用理论进行建模和模拟。

今天的科学研究呈现出新特点:面向复杂的现实问题进行大尺度学科交叉,计算机与数字技术驱动的科学研究与技术创新,科学研究越来越多地指向人类面临的复杂挑战。“计算”(computing)这种源于现代工程的技术,与逻辑、实验并列,成为第三种科学思维,它拓展了科学研究和应用的边界,助力实现从物理世界模拟到智能化控制,并深入到今天最前沿的人工智能驱动的科学探究(AI for Science)领域。这些新特点预示着:科学探究除了要追求与真理有关的认知价值,还要实现社会价值和仪器工具价值;要深度理解科学,除了学习本学科的特有思维方式,还要学会利用数学和计算工具进行计算建模。在这个过程中,理论不仅仅是科学探究的目的,还是科学家进行探究的工具。在交叉科学和计算建模中,科学理论作为探究世界、追求真理或解决问题的工具性价值变得更强。这是因为,科学家需要利用它来实现与现实问题、技能性实践的反复迭代。面对其他学科领域的合作者时,交叉科学研究中的科学家自身也需要通过长期的互动和交流,先让自己获得互动型专长,进而才有可能对新知识或者解决具体问题做出贡献。



基于理论进行推理的实践能力,在颠覆性科学创新中扮演着重要角色。对诺贝尔化学奖得主群体的创新方法进行的分析表明,科学思维和科学方法的创新比例大于工具创新,理论推理能力对于科学发现至关重要。而且,在有些学科中,理论与实验哪一个在先并不重要,利用理论进行推理比获得理论本身更重要。比如合成化学的许多工作,不仅仅是为了探讨理论本身,还是为了拓展合成范围或者实现合成目标。在这个意义上,理论知识不仅仅是一种可明言的知识或者命题性知识,理论推理实践相比实验操作等技艺有更强的默会性,因为它涉及理论与操作技艺相互反馈、迭代进化的过程。比如,化学研究中的逆合成推理原则和轨道对称性守恒原理,看起来都是命题性知识,似乎可以用语言清晰地表述,但是科学家要学会如何使用这些理论或概念进行推理,并非易事。

另外,即使同一个概念(比如基因),科学家在面对不同的研究问题时(如发育或遗传问题),会使用不同的概念所指来获得理解并进行推理。学习者在学习科学概念时,不仅仅需要通过使用概念知道它的意义,还要学会在面对不同问题时利用不同的概念所指进行特定推理。比如学习者不仅需要知道水分子的微观组成、宏观性质,还要知道水分子在不同层级的结构特性,能够利用结构参数进行计算,进而才能解释水作为溶剂或参与形成配合物时的反应特征。即便是达到该层级,学习者依然不一定具有解决具体问题的能力,还需要综合水分子在不同尺度的结构和性质来预测化学反应的趋势、优化化学反应条件,进而通过化学合成获得功能性物质。科学发展的动态性,科学家解决科学问题时使用概念进行推理时的复杂性,意味着在今天的科学教育中,科学外行需要与科学群体进行直接或者间接深度互动,才能获得这些默会知识。

科学研究和技术创新中的计算建模也是如此。离开了对模型的理解,学习者难以深入理解今天的科学,更无法从复杂的计算系统中获得启发。今天的科学研究越来越面向复杂的现实世界,计算模型在这类研究中发挥着至关重要的作用,比如药物开发、生态系统调节等。通过与计算机进行交互和模型构建,建模这种新方式蕴含着和传统科学研究不一样的默会知识和隐性要素。物理模型或数学模型不仅发挥着沟通科学理解的功能,比如立体化学中的构象和DNA结构模型可以帮助学生理解抽象概念。而且,建立和使用模型同样也是一种理论实践,比如化学家利用结构模型对化学现象进行解释,利用它来推理、预测、设计和干预化学反应过程。相比前两种科学模型,计算模型则更加复杂,学习者通过操作界面来对概念性知识进行表征。学习者通过构建模型,以及通过建模活动获得的反馈,可以获得全局性知识。在这个过程中,学习者的内在想象与外在模型进行逐级交互,从而能够默会性地理解模型系统性的运作方式以及一些突现状态(Chandrasekharan & Nersessian, 2014)。

为此,外行理解科学需要互动型专长,只有沉浸在科学实践之中才能够促进对科学研究的深刻理解。其原因在于,科学实践的默会规范与打网球等日常生活中与身体有关的经验和技能不同,也与玻璃吹制等技术性活动中所需的技能不同。科学实践的默会知识不仅仅需要身体参与,比如实验操作、仪器工具的改进,还需要进行理论推理实践和计算建模实践。而这种实践的默会性更强,需要学习者沉浸在科学实践之中进行学徒式的训练,需要科学家在科学教育中通过直接提供沉浸式的场景和资源,或者参与指导基础教育设计沉浸式场景,来让学习者(科学教师、学生和公众)通过这种“师徒传承”的方式获得默会知识。学习者通过沉浸在专家群体之中,首先获得语言上的沟通能力,才能进一步发展实践能力。这也是当下的科学教育所倡导的实践转向:让学习者从科学事实的接收者,变为参与科学实践的认知主体。

### 三、科学教育为何需要科学家参与

可能会有观点认为,科学家指导研究生等培养人才的过程,本身就是教育,科学家自身既是教育者又是研究者,同步进行着科学教育。然而,这种传统的面向知识精英的教育方式在今天遇到了困难,现代世界对人才的科学素质和技能要求发生了变化,交叉科学和开放科学给传统的科学研究目标带来了新挑战。为了应对这些变化,科学教育的内容、活动与评价方式正在做出调整,全球范围内多次强调

贯穿小学到高等教育阶段科学教育的优先性和面临的危机(National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2021)。

科学教育研究者已注意到,将当代科学研究中的核心思维与方法延伸到基础教育阶段,应该通过教育设计来让科学实践中的认识论变得对学生有意义。即,从传统的让学生报告证据,转向支持学生构建解释和模型,进而帮助学生在特定的目标(比如理解某个现象背后的机制)上取得进步(Berland et al., 2016)。校内外的科学教育朝向该目标,已取得了诸多进展。新近的科学教育研究,不断从科学哲学对科学认知实践的田野考察中获取理论资源,并将它们用于教学设计和指导。比如,在真实的科学认知实践中,科学家通过建模来理解概念、发展模型系统,而不是构建和修改单个模型。在学前和小学阶段就亲历建模这种有意义的、生成式的实践,对于学生至关重要(National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2022)。这些有关科学认识论的新理论资源,被用于实体模型和计算模型的教学设计(Manz & Georgen, 2023)。

然而,这些工作尚不多见,学生参与认知实践、构建知识时处于何种角色,在这一点上尚未形成共识,也缺乏理论解释(Miller et al., 2018)。更重要的是,真实的、过程性的科学认知实践相关理论在转化为教育资源、面对课堂教学时,面临着一系列挑战。也就是说,将科学实践在课堂中进行再情境化时,缺乏有效衔接。比如,科学课堂中的论证与推理教育,往往是简化或理想化的论证,与真实的科学认知过程存在距离(Ilchín & Zemplén, 2020);课堂教学常常将科学研究刻画成假说-检验或理论确认的过程,而真实的科学研究往往是由问题来架构研究过程,同一个学科领域可能同时存在多种不相容的推理方式(Love, 2013);基于学校的公民科学项目,目标是让学生、教师和科学家共同参与到真实的科学研究过程中,但大部分面向学校的公民科学项目以数据搜集为主,并不需要学生和教师深度参与(Atias et al., 2023)。要解决这些困难,除了关注学生和科学教师的能力、校内外教学资源等要素,将科学认知实践中特有的默会知识与规范,在教学中进行传递时遇到的困难,亦不可忽视。这些默会知识和规范,给学习者参与认知实践,给科学教师、科技馆或博物馆等校外机构创设有意义的学习情境,带来了深层次挑战。正因为如此,全球范围内都在呼吁和倡导科学家(至少是部分科学家)深度参与到专业的科学教育实践之中。

通过前文对互动型专长的分析,我们将从当下科学教育的难点——传递科学认知实践中的默会知识——出发,讨论科学家(至少是部分科学家)为何需要深度参与科学教育并成为真实的科学认知实践有效转换为教学资源的衔接者。

### (一) 理解科学概念和推理等关键节点存在困难

科学概念、理论和模型产生于特定的情境之中,既依赖于科学研究的具体情境,又有着不同的功能。科学概念不仅用于描述和解释现象,还发挥着隐喻、模型以及推理工具的作用,概念的这些集合功能是科学家展开科学研究的核心。已有的科学教育研究认为,学生通过参与认知实践能够获得对核心科学观念的理解,而不是通过背诵和复述(Miller et al., 2018)。尚未被充分注意到的是,今天的科学研究在日趋专业化之后,同一概念有多种功能,概念的不同功能又与具体且动态变化的科学实践紧密联系在一起,其动态复杂性给现实的科学教育带来了诸多困难。

首先是概念本身在指称上的多重性与情境性。在现实的科学教育中,即使是同一个概念,不同书籍甚至教材都可能不同表述。以“什么是元素”为例,抽象的元素与作为单质的元素之间有区别,对如何澄清这种区别,教育学者、科学哲学与科学史研究者一直存在争议。元素有时被用来定义基本物质单元,有时则指宏观性质(Ramberg, 2021)。而且,教科书本身并不能提供足够的资源,供学习者或科学教师来了解这些概念在不同科学实践中的功能。另外,不同领域的科学家会对同一概念有不同理解,概念还会随着科学的进步而被修正,但是这些变化和复杂性不会及时地反映在教材中,在教材之外的其他书籍中则呈现得更少。再以物质(substance)为例,不仅不同教科书对物质的解释不一样,化学

教材和国际纯粹与应用化学联合会(简称 IUPAC)对化学物质的定义也有区别(Ferreira, 2022)。上面两个例子涉及到的争议和科学概念表述差异,一方面说明科学前沿领域的新共识在通达不同教育水平的学习者之前已经发生了变化,另一方面也说明科学共同体所形成的学术化知识在被选择后才用于课堂教学。不仅如此,物质作为化学中的核心概念,其功能并不限于对物质进行分类,比如纯物质和两性物质,它也同样被用来描述不同的次级概念,比如化学反应、酸以及硫化物。再者,在科学教育活动中,不同概念之间的解释存在着相互依赖性,比如在解释物质这个概念时,往往会和其他概念联系起来。为此,需要科学家与科学教育研究者一起,探索如何让科学教师理解并在科学教育过程中呈现同一概念的一般性特点,从而减少概念理解上的误区,以帮助学习者更好学习更新后的科学概念。类似的重要概念还有演化(evolution),它是课堂上最难被讲授的概念之一,不仅难以理解,还容易产生误解(Shtulman & Young, 2021)。

第二,学习者学会有关概念的知识和利用概念进行推理,是两种不同的能力,而且很难被掌握。经验研究发现,即使是大学生在论证时,也难以利用证据来支持他们的观点、根据推理来进行辩护,因为他们常常不知道什么应该被称作证据或者推理,或者倾向于将论证限制于证据而忽略了推理(Lieber et al., 2022)。为此,好的教育活动设计,不仅可以帮助学习者学会知晓概念,还能够利用概念和理论对现象进行分类、解释和进行推理。生物化学家和教学研究者奥利维拉(Rui Oliveira)经过对比研究发现,受过科学教育训练的本科生,在攻读研究生和从事博士后研究时,更加具有批判性思维(Dance, 2023)。不过,科学概念又是抽象的,在结合证据进行推理时,科学家首先要对其进行理想化。比如,模型生物、化合物的结构式等,都是科学家在进行推理时采用的理想化方式。另外,科学研究中有不一样的推理方式和风格,即使是同一个研究领域,推理方式也不是同质的。比如,形态和功能推理会同时用于解释生物特性,但它们分别在解释某些特征时,会忽略其他特征。如前文所述,科学探索和推理的过程并不是科学教育中常用的假说-检验或者演绎-推理(Love, 2013)。真实的科学实践的复杂性,与科学教育对认知实践的简化,两者之间并不对称。

第三,培养学习者计算思维方面的困难。今天的科学家依赖理论、利用模型来构建对自然现象的解释,但是没有足够的时间来反思这些研究工作的本质和结构。从1926年薛定谔方程被提出,到2020年AlphaFold2实现对蛋白质结构的预测达到实验精度,计算和数学模型在帮助人类解决复杂现实问题的同时,也在不断挑战人类的传统思维模式。其中,科学的进步在很大程度上源于可应用的、易操作的数学(Price, 2019)。要理解今天的科学、理性审视周围世界,还需要理解科学模型中的数学部分和建模实践(Maass et al., 2023)。但是,在科学教育活动中培养学生基本的计算思维技巧,比如编程和计算建模,相比制作电子表单、文字处理和使用其他应用工具,难度要大得多。程序设计(programming)这项任务本身包含着一系列复杂、相互关联的技巧,比如数学能力、条件推理、相似推理、过程思维、暂时思维、记忆能力等。程序设计的技巧是否能够以及通过何种方式迁移到其他认知技能之中,研究者对此还没有达成共识(Denning & Tedre, 2019)。以上问题凸显出,科学家在高等教育阶段更多地参与到教学过程之中,向基础教育阶段的教师和研究者传递与沟通自己在科学研究过程中的方法与推理,培养科学教师并通过科学教师提升学生利用已有知识和观点进行推理、论证的能力,显得格外重要。

## (二) 促进沉浸式理解科学的场景缺失

促进学生理解真实、完整的科学研究活动及过程,并不是科学教育领域的新话题。容易被忽视、而且很难在科学教育中进行整合的部分,是科学的社会结构(social structure of science)。科学研究除了有知识和方法的面向,科学共同体自身有特定的规范结构与建制。同时,科学研究还处于特定的社会文化背景之中,科学家在从事科学研究时除了追求认知上的进步,还会考虑科学研究的社会价值。这种科学价值的多元性,在交叉科学中体现得尤为明显。亦即,科学研究的认知实践与社会结构是密切



交织在一起的,这些维度共同构成了科学进步的动力、科学为何值得信任的根基(Oreskes, 2021)、学习者获得科学身份认同的理由。为此,科学教育不应仅提供给未来从事与科学相关工作的学生知识和方法,还需要理解广阔的科学文化背景,让他们成为更好的研究者、教师或从业者。需要提及的是,这里讨论的科学实践中的社会维度,与科学教育中讨论的学习者所处的社会性学习情境并不相同,前者聚焦于科学家组成的无形的科学共同体,后者聚焦于教师和学习者群体。

一方面,科学的社会文化维度很难通过课堂教学或者场馆展示来呈现。另一方面,科学教师自身也很难将科学概念、过程、社会与认知维度在同一系列活动中结合起来。虽然,利用科学史中的案例是在科学教育中融入科学文化的一种适当方式,国际上和我国目前的科学教育中也融入了不少科学史,但是在实际的教育过程中,却容易忽视科学发现过程中的科学技术细节与文化情境。用编年史的方式来介绍科学成就,不是展示科学概念、理论或知识的最佳途径。好的课程或者活动设计,应鼓励学习者通过科学史来重构发现,理解科学思想和科学方法是如何产生于具体的科学文化情境之中的。这意味着,科学教师自身要对科学发现的过程本身及其社会文化维度有深刻的理解或体验。

科学史上的科学发现,作为科学教育中的案例,可以呈现科学家获得科学知识的过程、方法与情境,呈现科学发现所处的认知-历史-社会维度,帮助我们重新审视历史上的科学案例演化到今天的完整多维图景。科学史上的科学争论和范式转型的呈现,尤其是在不同时代和学派的科学思想和科学方法的演变、竞争与更替中,科学家根据仪器等技术来获得证据并进行推理的过程,可以迁移到当下社会对相关科学议题的讨论之中,培养学习者导向社会行动与决策的思维方式。比如,讨论历史上物理学对生物学的影响时,可以将统计种群遗传学作为案例,讨论科学家如何将统计物理的方法用于演化理论,进而帮助学习者理解不同科学方法在具体情境中的可迁移性和适用性。再如,诺贝尔奖得主伍德沃德(Robert Woodward)是推动化学革命的核心人物,在科学教育中可以引导学习者理解他的科学思想和方法,特别是他将物理仪器引入有机化学的思想和过程。这种尝试将有助于学习者理解仪器带来的化学学科在研究方法上的改变(Slater, 2002),更重要的是,可以启发学习者思考仪器是如何给化学研究带来新的思维方式的。人们还可以进一步发现,石油公司对红外光谱仪的研发是推动这场化学革命的社会根源。遗憾的是,即使是导论性的科学教材中,也较少将科学发现的认知维度与社会文化情境特别有效地融合起来。

另外,科学博物馆或者科学活动中心等场所开展的校外科学教育,被认为在提高兴趣、鼓励发现、公众参与等方面具有优势。但是,科学博物馆展现的往往是科学的概念或者过程,较少涉及科学的社会维度与认知实践,即使是参加了博物馆等场馆教育活动的科学教师,也较少在这两个维度上获得双重理解(Lau & Sikorski, 2018)。

可见,如何将科学家对科学价值和科学认知过程的独特理解与多元的沉浸式场景相结合,促进学习者立体式地理解科学思想、文化与规范,进而理解整个科学的全貌,还有许多可以发挥的空间。

### (三) 交叉科学与高技术时代的新挑战

交叉科学和高技术时代对人才的要求,让面向不同学段的科学教育面临着前所未有的挑战:科学教育需要有效地传递复杂技术知识和技能,覆盖更大范围、更多样化的群体,而不仅仅是精英群体。

科学教育对未来从事与科学和工程有关工作的学习者重要,对于未来从事中小学科学教育的职前教师更加重要。证据表明,当下的中学之后的科学教育并不能满足这类教育的需要(Wieman, 2017)。学生所学习和理解的科学,与现实世界中如何解决问题并没有太大联系。课堂教学不能够有效地传递如何解决问题的方法,也无法教学生将这种方法迁移到新领域和新情境之中。系统思维是一种跨学科的概念,也是解决复杂现实问题的重要进路,但是,学生通过使用计算系统模型来发展系统思维时,却难以利用现实世界的的数据作为反馈机制来修改模型。因此,学生在课堂的学习实践中,便会遇到认知障碍(Eidin et al., 2024)。

现代社会对教育提出的要求,仅仅在过去十多年间,就已经发生了翻天覆地的变化。在技术驱动经济发展的时代,需要个体能够拥有解决复杂问题的能力以及在高技术领域进行交流的能力。这类技能远比信息或者知识重要。交叉科学的推进,其中很重要的一点就是能够将多学科的研究成果通过技术实现、推动解决现实世界的复杂问题;交叉科学研究需要整合的也是专家专长网络,而不仅仅是知识网络(朱晶,姜雪峰,2023a)。除了科学教育中普遍存在的教材老化、教法固化、科教结合不紧密等问题,如何将科学教育与工程教育结合起来,如何在科学教育活动中将科学与技术进行衔接,都需要不同专长的科学家共同参与到科学教育的研究和科学教师跨学科思维的培养之中。

教育,作为科学研究认知基础的一部分,出现在新兴领域的前端。高等教育在教育资源上的持续演进能力不足(袁振国,2023),一些新兴领域往往没有现成的课程或教材。虽然科学家、管理者和基金资助机构已经意识到建立这些基础设施的必要性,但是科学家常常没有足够的时间去审视新兴领域实践中所需的核心技能,从而也忽视了通过教育来推进交叉合作(Nersessian, 2022)。为了实际使用和生成“知识”来解决复杂的现实问题,学习者需要更高阶的认知技能。如前所述,如何使用理论、模型、概念、数据规则或算法等技能,通常并不能直接从学习者已有的认知资源中获得。即使在高等教育中,如何针对交叉科学的重要组成部分——高阶认知技能——进行教学,这个难题都远未解决,甚至在世界范围内也都处于探索阶段。为此,科学家参与科学教育,既是在思考如何培养交叉科学人才,也是在探索如何促进交叉科学本身推进的问题。

#### (四) 科学教育研究中对待证据的双重困境

科学教育研究是对科学教育理念、效果和评价等展开的研究。证据表明,科学教育成为一个专业研究领域,需要与自然科学实现整合,这种整合是通过高校聘用具有科学教育专长的科学研究人员来实现的(Bush et al., 2019)。然而,科学教育研究面临着双重困境:一方面,如何提高科学教育研究证据的可靠性,像科学家做科学研究一样对科学教育做研究,是科学教育目前遇到的问题;另一方面,科学教师对科学教育中的实证研究提供的证据,缺乏充分理解。

在科学教育过程中,科学教师不一定像教育研究者或 STEM 教育改革者所倡导的那样,对证据进行概念化理解。对于持有类似观点的教师来说,他们可能会质疑证据作为教学实践决策基础的价值。在科学教育研究动机上,理科教师并不会对新的教学法表现出足够热情,而是更加珍视学生参与度提高时教师自身获得的满足感。虽然 STEM 教师可能会坚持在自己学科领域内对新的教学法是否有效进行实证探究,但是许多参与调查的教师对使用证据来指导课堂实践的潜在价值,持有怀疑态度(Jacobson & Cole, 2020)。

在高等教育阶段,虽然已有大量个性化实验来提高单个课程的教学效果,但是这类研究并没有受到足够关注,也没有进一步的研究来探讨如何在更大范围内或普遍意义上使用这种教学法。即使科学教师目睹到自己所在院系存在能有效提升效果的教学法,他们也不太会使用这些方法(Wieman, 2017)。在基础教育阶段,促进学生参与认知实践,需要创设相应的学习情境,而这种学习情境又过于复杂、难以设计和维持,科学教师和科学教育研究者缺乏足够的实证案例,去探索和论证如何才能有效地实现科学教育理念(Miller et al., 2018)。要有效促进科学教育,除了体制化的激励,还要鼓励科学家发展在科学教育领域的专长并获得认知上的受益。比如,大学可设置竞争性基金项目来资助部分科学家参与科学教育研究,使他们既在自己所在学科领域有专长,同时又能够嵌入到教学活动之中。即,科学家沉浸到科学教育的专业领域之中来发展自己在教育领域的互动型专长。

总之,科学教育研究与实践存在一定程度的分离,对科学教育中的现实问题以及学校内外教育场景中的真实问题,学术界仍缺乏足够研究。这些问题又是多维度的,它们的解决需要科学研究者和教育者共同参与,在学校系统中创设文化,并开展有意义的教育实证研究,只有这样才能够为成功的专业化教育带来新机会(Donovan, 2013)。



#### 四、科学家参与科学教育的多元方式

针对科学教育在传递科学实践中默会知识时的难点以及真实科学实践的动态复杂性,科学家可以从以下几个方面深度参与科学教育,提供学习者沉浸到科学实践中的场景以及对沉浸式场景的效果和教学方式指导,以更好培养学习者的互动型专长。

##### (一) 传递真实的科学研究过程

对科学实践形成科学理解(*scientific understanding*),并不等同于知道为何(*knowing why*);知道一个科学现象或者技术问题背后的原因为何,也并不等同于科学理解。对某一个概念或者理论获得科学理解,意味着个体能够使用该概念或者理论进行推理和实践。科学家在科学教育中的独特优势,是能够将自己获得“科学理解”的能力传递给学习者。另外,科学家作为科学活动的亲历者,在澄清和讲述科学实践中的社会结构特征上具有优势。比如,科学家形成共识的具体方式和过程,既与科学研究有一系列的方法来追求客观性有关,又依赖于科学共同体独有的规范结构或建制。再如,科学规范的功能是不让科学共同体依赖特定的信息,这与普通人在处理信任问题时的认知依赖不一样,等等。

诚然,将参与科学研究的完整经历整合进科学教育的活动之中,不仅可以吸引更多的学习者进入研究领域,还有助于塑造他们的认知灵活性以适应未来的职业生涯。但是,相比庞大数量的学习者,高等院校、科研院所、科技场馆等为学习者提供的研究项目或者场景非常有限。大科学装置、开放实验室等在一定程度上提供了真实场景,但是如何整合科学研究的概念、过程以进入科学自身的认知与社会维度,还面临着重重困难。要实现科学教育的目标,不仅需要大量政策支持与基金资助,还需要将科学研究中的各种具体实践过程融入其中。这就需要科学家参与课程或者活动设计、提供资源(而不是直接参与教学)来促进科学教师与学习者在科学教育活动中的合作;科学家和科学教师一起,通过课程设计来促进学习者将理论推理与实践技巧结合并进行迭代;还需要科学家利用自身的研究经验或者默会知识,对这种迭代过程进行分级,从而使学习者真正沉浸于科学实践。

事实上,除了医学与农业,科学教育研究者极少有机会去识别特定实践中的科学问题,并进而将这些问题作为有效起点纳入科学教育研究项目。科学家参与科学教育,可以将自己正在从事的研究作为案例,展示如何将现实问题一步步转化为科学问题。科学家在研究方法上的专长,还可以帮助科学教育研究者理解科学过程的转化,将现实问题转化为科研问题。

##### (二) 澄清学科交叉中的多重概念与推理

如前文所述,今天的科学研究逐渐细分之后,不同领域的研究者会对相关概念有看起来彼此不相容的理解。事实上,科学家对相同的概念有着不同理解,并不意味着不同理解之间是相互冲突或矛盾的,而是因为科学研究有不同目标,面对不同的复杂场景会使用不同的理解。真实的科学研究中,科学家是视角主义的并不意味着科学家的视角是狭隘的,而是因为具体的科学研究总是面向特定目标的。

科学家参与科学教育,可以从真实的科学研究会面向不同目标这一现实出发,通过培训科学教师或参与编写教材,帮助科学教师或学习者理解为什么同一概念会有不同定义。比如有机体的性状(*trait*),如果是自然选择的结果,那么它可以被看作是一种适应;如果是偶然突现的结果,则不能看作是一种适应。在将性状看作是适应性这一点上,无需涉及有机体过去的历史,只需考虑当下变化。如果它对于物种当下生存和繁殖没有正向贡献,则不需要将性状看作适应的结果。换句话说,按照对适应的历史定义,过去的选择是这个性状被看作适应的一个充分必要条件。而根据非历史定义,当下对适应度的贡献是将性状看作是适应的充分必要条件,过去的选择并没有那么重要。这两种不一致的对性状的定义,都会出现在同一本教科书或科普书籍中。科学家参与科学教育,可以结合自身的具体研究目标,启发科学教师或学习者讨论科学研究中是如何定义一个概念的,进而帮助学习者意识到定义和使用科学概念并不是那么简单和直接的工作。还可以用它来向科学教师或学习者阐明,为什么当下生物学会不同的研究框架。如此一来,科学教师能够设计有意义的学习环境,促进学习者更好地

将不同进路的生物学研究与他们已有的知识相结合,从而参与到真实的认知实践之中。

科学家在科学实践中获得的概念,不仅仅是科学家在过去研究中获得的知识,而且是促进未来持续研究的动力或者未来研究所使用的工具。这些科学概念有特定目的,既被用来做理论思考,又服务于科学研究实践。比如,化学领域的分子轨道、生物学领域的物种概念等就是如此。而且,科学家在过去采用的概念,会随着科学进步而被修正或者扩充,比如基因概念。分子生物学发展之后,基因概念便与分子结构结合起来,被用来解释基因功能的分子转化过程。不同的基因概念为科学家提供了一个认识簇,可用来指导新发现,并用来解释这些发现是如何被整合进已有的科学解释之中的。为此,科学家参与科学教育的教材编写或者指导教学设计,除了对最具解释性的、最基本的方法进行介绍,还能够结合自身的研究经历,阐释科学家面向不同目标时该如何整合不同研究方法(Love, 2013)。总之,在科学概念上,科学家与科学教师一起,寻找同一科学概念的差异,有助于减少学习者在概念理解上的偏差与异化(Ferreira et al., 2022),帮助学习者理解概念是如何被用于解决特定科学问题的。

### (三) 理解科学模型

科学实践的复杂性还表现为不同学科领域有不同的特征性方法、思维方式或认知标准。比如,演化生物学依赖历史性解释,系统生物学使用树思维(tree thinking),化学推理的特殊性是化学图形表征和结构模型,计算机科学中较多使用算法推理,等等。科学家参与科学教育,可以帮助科学教师或学习者理解不同问题域中的科学模型与工具,帮助学习者利用概念和模型进行推理、论证和解决问题。

不少科学家在提出新理论或新概念之初,会通过授课、演讲、示范等多种方式来帮助同行理解并使用它们。1990年诺贝尔化学奖得主科里(Elias James Corey),通过给研究生授课的方式,帮助学生学会利用他提出的逆合成分析原理来设计复杂分子合成路线的基本技巧,进而帮助学生将逆合成分析策略运用于解决合成问题(朱晶 & 姜雪峰, 2023b)。鲍林(Linus Pauling)也是通过教学活动来帮助学生理解量子化学的新思想和苯分子结构共振模型。这些案例说明,即使是受过科研训练的研究生,要理解科学理论或者概念,也存在一定难度,他们需要沉浸在与科学群体的直接或间接交流之中。科学家参与智能教育,除了人工智能或者数据科学领域科学家直接参与到教育载体设计之中,其他领域的科学家也可以间接参与智能科学教育,将自身对理论、模型和构建解释的本质所进行的深度思考反馈于科学教育载体的设计。通过思考自己在科学研究中如何将模型用于推理和论证、如何根据模型进行反馈,科学家可以将这些深度理解融入到前沿科学方法和思维教育中,将这些理念和思想融入到教学设计和对科学教师的指导之中,进而能够将前沿科学发现中所需的默会知识和隐性要素,更好地用计算机来进行表征和实现,并转换成在教学过程中可操作的教学资源。

### (四) 参与科学教育研究

科学不停地发生着演化,除了知识和概念,科学研究在社会维度上也发生着变化,比如国际合作、跨学科合作与交流、科学研究的边界拓展、科学研究与工业领域的互动增强、公民参与到科学家的研究之中、同行评议向更大范围拓展等,这些新的科学研究生态也需要被科学教师和学习者所理解。

面对科学教育实证研究的合理性问题,科学家可以将他们研究科学的方法和技巧用于研究教育。比如,有科学家将研究理论统计物理学的机器学习技术,用于模拟物理实验课中的学生表现,分析这种看似纷繁芜杂的行为。这些教育实证研究结果,可为科学的科学教育提供借鉴。不少科学家发现,公众对科学发现的过程和可靠性存在误解,科学教育更多的是传授有关自然现象的事实性知识,面对的是非真实的科学研究情境(Alberts, 2022);物理学领域的研究生在物理学课程上表现优异,但是缺乏解决科学问题的实际能力(Dance, 2023),等等。一些科学家开始呼吁科学教育的优先性,并且呼吁科学家投入到科学教育研究之中,比如《科学》(Science)杂志前主编阿尔伯特(Bruce Alberts)、诺贝尔物理学奖得主韦曼(Carl Wieman)等人。韦曼长期致力于科学教育,他的科学教育研究项目影响了生物学家史密斯(Michelle Smith),史密斯使用科学的研究方法来考察同辈之间的讨论以及这种讨论是如何帮助学

习者掌握基本的遗传学概念的(Smith et al., 2009)。

### (五) 培养科学教师, 深度理解科学

科学家参与科学教育, 还可以培养未来的科学教师。教学生科学, 前提是教会职前科学教师理解科学。我国目前的小学科学教师知识与信念薄弱、整体科学素质偏低, 是我国科学教育体系的薄弱环节(郑永和等, 2023)。科学家参与科学教育, 可以在正式教育的环境下培养未来的科学教师, 也可以通过提供参与科学学习、科学研究与工程实践的机会, 让基础教育阶段的科学教师能够沉浸到科学研究的专业群体和场景之中。让科学教师自身获得参与科学的相关技能, 他们才有可能更好地在教育实践中展开项目式教学或跨学科教学。比如, 美国 K-12 科学教师, 可以通过美国科学基金会的“面向教师的科研经历”项目, 来获得实际科研经验。这些科学教师可以进入获得资助的科学家的实验室, 参加科研实习活动。这些活动, 不仅让科学教师了解了前沿科学技术进展, 更重要的是, 可以通过让科学教师亲历科学研究, 促进他们理解真实的科学认知实践过程。

2022 年开始, 教育部教师工作司、中国科学院学部工作局、中国科协科学技术普及部共同开展了系列科学教师的培训活动, 包括全国科学教育暑期学校、中小学科学教师主题系列研修活动、科普活动骨干教师交流活动、馆校合作中小学教师科学教育实践能力提升项目等。这些工作, 让科学家参与到面向中小学教师的授课和培训之中, 有助于科学教师了解前沿领域的研究。不过, 科学教师不仅仅需要了解前沿领域的知识, 更需要理解真实的科学认知实践。在被调查的北京科学教师中, 选择大学与研究所资源的教师仅有 5.9%, 即使是有理工类及科学教育类专业背景的小学科学教师, 跨学科的知识也仍然不足(孙慧芳等, 2023)。

结合目前我国科学教师的现状, 科学家可以参与科学教师培养和培训课程的精准设计, 而不仅仅局限于科学家本人做讲座。通过这些工作, 可以改变目前以概念和规律教学为主的现状, 将他们对科学思想、科学概念、建模、推理等如何“做科学”的深度理解, 融入到课程体系设计之中。科学家还可以参与科学教师队伍的专业发展, 将科学发展的动态性与复杂性转化为培训资源, 不断更新科学教师对科学认知实践的理解, 同时, 提供高质量的课程资料和详细指导, 为科学教师提供支持, 助力科学教师队伍的高质量发展。另外, 我国还有一定比例的科学教师有很好的科学背景, 硕博研究生比例呈增长态势(孙慧芳等, 2023), 未来可以促进这部分科学教师与科学家合作, 利用科技场馆和博物馆、高校与研究所的实验室等资源, 帮助他们参与科学实践并进行创新。

## 五、科学家参与科学教育的社会-认知受益

除了常见的培养人才、促进科学外行更好地理解科学、提高科学教育的质量和效果等社会维度上的受益, 从互动型专长的视角来看, 科学家参与科学教育, 还有一些未被充分注意到的社会-认知受益。在科学教育中, 互动型专长的持有者不仅仅是学习者, 还可以成为挑战者、合作者和促进者。反过来, 科学家在参与科学教育的过程中, 也会获得科学教育领域的互动型专长, 为科学教育研究做出贡献。接下来, 我们将分别从以上几个不同层面讨论科学家参与科学教育所获得的社会-认知受益。

### (一) 不同类型互动型专长持有者的视角

1. 学习者。学习者可以在倾听和学习过程中, 批判性地看待科学工作, 建立对科学的信任, 提高认知能力。在这个过程中, 科学家和学习者彼此更加愿意倾听, 以识别彼此能够做出贡献的可能性, 科学家更愿意去分享一些默会知识与信念, 增加外行对科学研究的沉浸感, 也更愿意接受批评性意见, 思想更加开放。

2. 挑战者。挑战者试图改变科学实践, 而学习科学仅仅是获得某种结果的一种方式。这些挑战者未来很有可能会进入科学研究领域, 成为未来的科学家, 进而可以更好地从事科学研究。在这个过程中, 科学家培养了人才, 学习者能够更好地进行理论推理并有可能提出新的科学问题。

3. 合作者。合作者常常会持有和科学家分享他们观点的目标, 学习科学的主要动机是与科学家在



特定项目上进行合作。学习者通过参与科学家设立的科学项目,获得互动型专长,并进一步获得有贡献的互动型专长。

4. 互动者。互动者是那些取得了互动型专长后能够促进个体和群体之间知识交换的人,比如那些受信任的中间人。互动者可以成为科学家与公众之间的桥梁人物,主要包括科学教师和专业的科学传播者,载体还可以涵盖科普图书、科学新闻、科学博物馆、科幻电影等大众文化。比如,消除全球普遍存在的“化学恐惧症”,既需要拓宽化学家的技能,也需要有专业的沟通者参与科学家的交流工作,促进公众对化学家的信任,理解科学家的方法和动机,从而提供有效的方法来帮助公众对抗虚假信息,刷新化学在社会和政策制定中的形象、信誉和价值。

更为重要的是,建立信任有助于知识和技能在科学家和学习者之间的双向流动,既可以从贡献型专长流向互动型专长,又可以从互动型专长流回贡献型专长。比如,科学家在参与科学教育的过程中,将会以新的思维方式看待科学,或者看待科学外行对科学领域的批判性挑战。这种方式将提高科学家的社会-认知能力。在交叉科学面向复杂现实问题的今天,这些能力有助于科学家更好地促进科学研究实现多元目标和价值。

## (二) 科学家获得新的互动型专长的视角

科学家通过参与科学教育,也能获得科学教育领域的互动型专长,在有关教学法和科学教育的书本知识基础上,通过与科学教育专业研究者对话,获得默会知识,进而掌握这个领域的语言,甚至能够拥有能做出贡献的互动型专长的能力。他们会更加愿意倾听科学外行、科学教育研究者的观点,也可以从自己的课堂实践中获得灵感和启发,从而激发他们研读大量科学教育领域的文献、与从事科学教育研究的同事合作和讨论的动力,最后从中增强社会受益。这些都会反过来促进科学家获得有贡献的专长。比如,生物学家穆德(Raoul Mulder)研究鸟类生态学,他在科学教育方面投入的经费累计达到67.5万美元。虽然他在教育领域的论文产出只占有所有产出的10%,但是他的影响力有20%来自于科学教育。在他的排名前十的高影响力工作中,科学教育占到了一半(Dance, 2023)。2021年,穆德成为墨尔本高等教育研究中心的负责人,持续关注高等教育中基于证据的实践及职业发展。这些关注科学教育的科学家发现,科学家不仅能够通过科学教育更好地理解自己的学科,相比仅仅受过教育学训练的学者而言,还可以给那些愿意提供课堂教学效果的同事提供正式和非正式的资源。

需要特别强调的是,并不是所有的科学家都需要参与作为专业实践的科学教育,但是一部分科学家参与,可以有效促进科学教师和学习者真正参与科学认知实践。这些工作,反过来也可以提高科学家认知能力的多样性,从单一的认知能力发展为社会-认知能力。

## 六、结论

从互动型专长的理论框架出发,结合当下科学研究的新特征,科学探索过程的动态复杂性,科学概念、推理、建模和论证的多样性与情境依赖,文章讨论了为何学习者沉浸于科学认知实践之中才能理解科学。本文还分析了目前的科学教育在将科学家所从事的真实的科学认知实践,转化成有效的教学情境和教学资源、促进学生理解真实的科学认知实践上,存在的若干问题。由此,科学教育中科学家的作用应该得到拓展。科学家的角色和功能,并不仅仅是提高校内外学习者对科学的兴趣,或者传递前沿科学与技术,科学家参与科学教育的重要性和独特性,更在于他们对科学研究中认知过程的理解具有直接性和专有性。

具体而言,对于本科阶段的科学教育,科学家的角色可以是教育者、科学教育专业领域的研究者,功能是提升课程质量、影响教学实践,以培养科技人才。师范院校的科学家,可通过科学教育,直接提升基础教育科学教师的培养层次。在参与基础教育阶段的科学教育时,科学家的角色是促进学生参与和理解真实的科学认知实践的衔接者和资源提供者。科学家通过培训科学教师、指导科学教师职业发展,提供校内外科学教育资源、指导校内外课程或活动的设计和开发、参与教材编写等,助力学生成

为认知实践的主体。科学家还可以作为研究者参与科学教育专业领域的研究,与科学教师、教育研究者一起,共同参与实证研究,促进有科学证据的科学教育。当然,要拓展科学家在科学教育中的作用,科学家也要对现代科学教学论、教与学的差异有所了解,以在研究过程中形成新的互动型专长。

(朱晶工作邮箱: jzhu@philo.ecnu.edu.cn; 本文通信作者为姜雪峰: xfjiang@chem.ecnu.edu.cn)

## 参考文献

- 裴新宁, 郑太年. (2021). 国际科学教育发展的对比研究——理念、主题与实践的革新. *中国科学院院刊*, 36(7), 771—778.
- 孙慧芳, 王钦忠, 黄瑄, 周玉芝. (2023). 小学科学教师队伍专业发展现状及提升策略——基于对北京市 2222 名小学科学教师的调研分析. *中小学管理*, 06, 34—37.
- 杨玉良. (2022). 构建中国特色世界水平的科学教育体系. *中国教育学刊*, 10, 卷首语.
- 郁振华. (2020). 论三种智慧. *华东师范大学学报(哲学社会科学版)*, 52(05), 53—67.
- 袁振国. (2023). 教育数字化转型: 转什么, 怎么转. *华东师范大学学报(教育科学版)*, 41(03), 1—11.
- 郑永和, 杨宣洋, 袁正, 卢阳旭. (2022). 高质量科学教育体系: 内涵和框架. *中国教育学刊*, 10, 12—18.
- 郑永和, 杨宣洋, 王晶莹, 李佳, 卢阳旭, 李书惠, 杨玉静, 张晓琳. (2023). 我国小学科学教师队伍现状、影响与建议: 基于 31 个省份的大规模调研. *华东师范大学学报(教育科学版)*, 41(04), 1—21.
- 朱晶, 姜雪峰. (2023a). 跨越认知价值鸿沟——交叉科学何以深度交叉. *探索与争鸣*, 02, 45—54.
- 朱晶, 姜雪峰. (2023b). 合成化学中的逻辑推演理论: 科里的逆向思维与计算机辅助. *化学教育*, 44(14), 1—6.
- Alberts, B. (2022). Why science education is more important than most scientists think. *FEBS Letters*, 596(2), 149—159.
- Atias, O., Kali, Y., Shavit, A., & Baram-Tsabari, A. (2023). Meaningful participation of schools in scientific research through contributory citizen science projects. *Science Education*, 107(5), 1163—1192.
- Berland, L. K., Schwarz, C. V., Krist, C., Kenyon, L., Lo, A. S., & Reiser, B. J. (2016). Epistemologies in practice: Making scientific practices meaningful for students. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(7), 1082—1112.
- Bush, S. D., Stevens, M. T., Tanner, K. D., & Williams, K. S. (2019). Evolving roles of scientists as change agents in science education over a decade: SFES roles beyond discipline-based education research. *Science Advances*, 5, eaav6403.
- Bush, S. D., Stevens, M. T., Tanner, K. D., & Williams, K. S. (2020). Disciplinary bias, money matters, and persistence: Deans' perspectives on science faculty with education specialties (SFES). *CBE-Life Science Education*, 19(3), 1—13.
- Chandrasekharan, S., & Nersessian, N. J. (2014). Building cognition: The construction of computational representations for scientific discovery. *Cognitive Science*, 39(8), 1727—1763.
- Collins, H., & Evans, R. (2007). *Rethinking Expertise*. Chicago: University of Chicago Press.
- Collins, H., & Evans, R. (2015). Expertise revisited, part I—Interactional expertise. *Studies In History and Philosophy of Science Part A*, 54, 113—123.
- Dance, A. (2023). A passion for pedagogy. *Nature*, 613(7942), 203—205.
- de Regt, H. W. (2017). *Understanding Scientific Understanding*. Oxford: Oxford University Press, p. 27.
- Denning, P. J., & Tedre, M. (2019). *Computational Thinking*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Donovan, M. S. (2013). Generating improvement through research and development in education systems. *Science*, 340(6130), 317—319.
- Eidin, E., Bielik, T., Touitou, I., Bowers, J., McIntyre, C., Damelin, D., & Krajcik, J. (2024). Thinking in terms of change over time: Opportunities and challenges of using system dynamics models. *Journal of Science Education and Technology*, 33(1), 1—28.
- Ferreira, L. M., Weiss, J. P., & Lambach, M. (2022). Disparities and conceptual connections regarding the concept of substance in general chemistry textbook glossaries. *Foundations of Chemistry*, 24(2), 171—187.
- Ilchin, D., & Zemplén, G. A. (2020). Finding the place of argumentation in science education: Epistemics and whole science. *Science Education*, 104(5), 907—933.
- Jacobson, W., & Cole, R. (2020). Motivations and obstacles influencing faculty engagement in adopting teaching innovations. *To Improve the Academy: A Journal of Educational Development*, 39(1), 137—159.
- Lau, M., & Sikorski, T-R. (2018). Dimensions of Science promoted in museum experiences for teachers. *Journal of Science Teacher Education*, 29(7), 578—599.
- Lieber, L. S., Ilbaj, K., Caspari-Gnann, I., & Graulich, N. (2022). Closing the gap of organic chemistry students' performance with an adaptive scaffold for argumentation patterns. *Chemistry Education Research and Practice*, 23, 811—828.

- Love, A. C. (2013). Interdisciplinary lessons for the teaching of biology from the practice of evo-devo. *Science & Education*, 22(2), 255—278.
- Maass, K., Zehetmeier, S., Weihberger, A., & Flosser, K. (2023). Analysing mathematical modelling tasks in light of citizenship education using the COVID-19 pandemic as a case study. *ZDM-Mathematics Education*, 55(1), 133—145.
- Manz, E., & Georgen, C. (2023). Interlocking models in classroom science. *Science & Education*, 107(6), 1399—1434.
- Miller, E., Manz, E., Russ, R., Stroupe, D. & Berland, L. (2018). Addressing the epistemic elephant in the room: Epistemic agency and the next generation science standards. *Journal of Research in Science Teaching*, 55(7), 1053—1075.
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2022). *Science and Engineering in Preschool Through Elementary Grades: The Brilliance of Children and the Strengths of Educators*. Washington, DC: The National Academies Press.
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2021). *Call to Action for Science Education: Building Opportunity for the Future*. Washington, DC: The National Academies Press.
- Nersessian, N. (2022). *Interdisciplinarity in the Making: Models and Methods in Frontier Science*, Cambridge, MA: MIT Press.
- Oreskes, N. (2021). *Why Trust Science?* Princeton and Oxford: Princeton University Press.
- Plaisance, K. S. (2020). The benefits of acquiring interactional expertise: Why (some) philosophers of science should engage scientific communities. *Studies in History and Philosophy of Science*, 83, 53—62.
- Price, J. (2019). The landing zone—Ground for model transfer in chemistry. *Studies in History and Philosophy of Science*, 77, 21—28.
- Ramberg, P. J. (2021). What is an element? A collection of essays by chemists, philosophers, historians, and educators. *Foundations of Chemistry*, 23(3), 465—473.
- Shtulman, A., & Young, A. G. (2021). Learning evolution by collaboration. *Bioscience*, 71(10), 1091—1102.
- Slater, L. (2002). Instruments and rules: R.B. Woodward and the tools of Twentieth-Century organic chemistry. *Studies in History and Philosophy of Science*, 33, 1—33.
- Smith, M. K., Wood, W. B., Adams, W. K., Wieman, C. E., Knight, J. K., Guild, N., & Su, T. T. (2009). Why peer discussion improves student performance on in-class concept questions. *Science*, 323, 122—124.
- Wieman, C. (2017). *Improving How Universities Teach Science*. Cambridge: Harvard University Press.

(责任编辑 胡 岩)

## The Roles and Functions of Scientists Engaging in Science Education

Zhu Jing<sup>1,2</sup> Jiang Xuefeng<sup>1,3</sup>

(1. Hainan Institute of East China Normal University, Sanya 572025, China;

2. Department of Philosophy, East China Normal University, Shanghai 200241, China;

3. School of Chemistry and Molecular Engineering, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

**Abstract:** It is an increasing discourse that scientists should engage in professional science education addressing the general public both in formal and informal education settings. However, we lack well-developed frameworks to analyze how (some) scientists engage in science education and what roles their engagement plays in scientific and other communities. Based on the framework of acquiring interactional expertise, this paper analyses the varied expertise levels, tacit norms and interdisciplinarity for doing and understanding contemporary science challenges in science education. It is difficult for science teachers to represent the real epistemic practice of the whole scientific process in science education settings and learning environments, and then to promote the learners to reflectively participate in epistemic practice. Building on the work of interactional expertise, this paper discusses why some scientists should engage in the practice and research on science education, how they engage, and the socio-epistemic benefits for engagement. It then concludes scientists' roles and functions in science education.

**Keywords:** science education; scientists; interdisciplinary sciences; interactional expertise; tacit knowledge; science teachers