

【专题:科学教育】

编者按:2023年5月,教育部等十八部门联合印发《关于加强新时代中小学科学教育工作的意见》,旨在全面提升我国基础教育阶段科学教育的质量和成效,显著提高学生的解决问题能力。本期专题关注科学教育,探讨科学教育的内涵、科学家思维与实践方式培养、科学教育的国际转向、PISA 2025 科学素养测评框架的新发展等问题,以飨读者。

科学教育的本质内涵、核心问题 与路径方法

郑永和 周丹华 王晶莹

【摘要】科学教育是实现科技创新人才自主培养的主阵地,对科学教育的内涵追问与方法探索是推动新时代科学教育加法落地的重要根基。科学教育研究科学如何成为人的主动学习行为,体现在科学知识内容、过程方法、教学规律和社会互动之中。文章通过对科学教育的内涵、问题和方法的探寻以深度回应新时代科学教育关键议题。科学教育的本质内涵在演化中逐渐丰富,发展至今已形成关涉认知、行为、情感和社会等多重愿景的交互表征。时代性的政策演进与多元化的学科主题诠释了科学教育的发展阶段,素养导向的人才观念和连续贯通的培养理念成为当代科学教育的育人趋势。科学教育的核心问题体现在学生的学和教师的教及其互动的过程中,我国科学教育教与学呈现出一些突出问题,即学生高学业成就的背后表现为低水平思维与情感技能,教师专于学科教学而弱于跨学科和探究式教学,学生擅长双基掌握而缺乏高阶思维培养。因此,我国科学教育研究应当广泛开展基于新兴技术和生理证据的实证与跨学科交叉研究,有效推进概念转变、元认知、科学论证、推理和建模等高阶思维教学实践,深入挖掘科学教育中的教与学规律,以达成科学教育的育人目标。

【关键词】科学教育;科学素养;科学高阶思维;科学教育加法;科学推理;科学论证;科学建模

【作者简介】郑永和,北京师范大学科学教育研究院院长,教授;周丹华,北京师范大学科学教育研究院博士研究生;王晶莹(通讯作者),北京师范大学科学教育研究院教授,E-mail:wangjingying8018@126.com。

【原文出处】摘自《中国远程教育》(京),2023.9.1~9.27

【基金项目】本文系教育部教师工作司2022年度委托课题“小学科学教师专业素养的理论与实践研究”(课题编号:JSSKT2022009)的研究成果。

一、科学教育的本质内涵:愿景、主题与趋势

科学教育呈现“一体多面”的特征,其本质内涵也依据取向有所差异,呈现出多维性。就高等师范教育而言,科学教育作为一个专业,主要以培养科学教师和科技辅导员为目标;就基础教育而言,科学教育与“人文教育”相对,是以自然科学内容为主的一类课程所进行的教育教学活动,已经成为现代教育体系的重要分支和组成部分。从课程实施途径来看,科学教育既可以通过综合科学(如小学科学、初中科学)实现,也可以通过物理、化学、生物和地理等分科课程进行,而现代更广义的科学教育则涵盖数学教育、技术教育和工程教育等内容(丁邦平 & 罗星凯,2008)。本文基于国际比较视域,从科学教育的多重愿景揭示其当代内涵,从政策演进与

主题探究视角厘清其研究领域,进而通过素养导向的人才观念和连续贯通的培养理念明晰其育人趋势,从整体上深度论证科学教育的本质内涵。

(一)当代内涵:科学素养的多重愿景

21世纪以来,国际科学课程改革突破学科知识本身的结构性束缚,强调基于科学探究与问题解决的实践逻辑重构课程内容与学习经验(斯诺 & 迪布纳,2020)。目前,我国科学教育以分科和综合科学课程并行的方式开展,且呈现学段差异。最新版教育大辞典首次增加科学教育词条,罗星凯认为科学教育以提高全体受教育者的科学素养为终极目标,既包括必要的科学知识和对科学的理解,也包括科学的思维方式以及运用科学知识和方法解决问题的意识与能力,同时还包括科学精神、科学态度和

价值观等对人更为深刻和久远的影响。剑桥大学教育学部认为科学教育是教育学的分支,涉及从学前教育到高等教育阶段,包括综合科学与具体科学学科的教与学,即科学教育以及具体学科的物理、化学和生物教育等。科学教育是以自然科学内容为主,发展个体及群体科学素养的教育教学活动(杨玉良,2022;裴新宁,2022)。从广义上看,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、工作场所、博物馆、社区等)中的科学教育;既涵盖综合科学与具体科学学科教育(物理、化学、生物等),也包括数学教育、工程教育和技术教育等。从狭义上看,科学教育内涵更接近剑桥大学教育学部的认识。科学教育的发展根植于自然科学、哲学和认知心理学,豪布儒克和让尼科麦(Holbrook & Rannikmae)于2007年提出了科学教育的三大领域:科学领域(科学知识和技能、科学实验和科学探究等)、个人领域(智力、个性特征、态度和沟通技能)和社会领域(合作学习、社会价值、科学决策等)。由此可见,当代科学教育的本质内涵是“通过科学学科的学习达成育人的目的”,而不再只是“通过教育达成科学的目的”的价值取向(Holbrook & Rannikmae,2007)。国际科学教育知名华裔学者柳秀峰提出科学素养的三重愿景以揭示科学教育的当代内涵:科学内容(知识、技能、思维方式和价值观)、科学技术社会问题(行动中的知识、实际问题解决能力与态度和职业化)和社会参与性(审辨思维、沟通能力和建立共识)(Liu,2013),同样关注了科学、个人和社会层面。PISA 2025 测评框架将科学素养划分为科学知识、科学能力和科学身份三个维度,科学知识涵盖学科内容知识、程序性知识和认识论知识;科学能力包括科学地解释现象,构建与评估科学探究设计,批判性地解读科学数据和证据,研究、评估和运用科学信息进行决策和行动;科学身份主要评估科学资本与认识论信念、态度与性格、环境意识、关注度与能动性。基于此,结合我国2022年版义务教育课程标准,科学教育的当代内涵体现为科学素养的多重愿景,包括科学内容(科学知识 with 理解)、探究实践(像科学家一样做科学)、科学思维(基础、通用与高阶思维)、科学技术与社会(科学态度、责任、信念与价值观)、科学参与和决策(社会、文化、政治和环境)五维度内容。认识论关注人类知识的本质、范畴、来源、方法等,科学知识则是对客观世界的真实反映,二者关系密切且均属于科学内容层面,因与义务教育新课标对应而合并;科学能力兼顾动手“做”科学与动脑“思”科学,二者并非自然地并行发展,尤其对科学非本土文化的中国学生而

言,需要将探究实践与科学思维分别阐述;科学身份包括科学技术与社会以及科学参与和决策,前者属于思维方式,后者更多表现为行为方式,故而分开论述。

(二)研究图景:时代性的政策演进与多元化的学科主题

科学教育的全球化特征尤为鲜明,其发展非常明显地受到国际基础教育课程改革的影响(丁邦平,2021)。宏观社会经济与教育政策演进塑造了不同时期的科学教育样态,尤其是发达国家的科学教育政策引领全球科学课程改革浪潮。20世纪50年代到70年代为科学教育精英人才培育阶段,学科知识结构是其核心价值取向,以苏联成功发射人造地球卫星为标志性事件,世界各国相继颁布政策确立科学教育指导思想,由此引发科学课程现代化运动。美国在1958年和1964年相继通过《国防教育法》《初等与中等教育法》,从立法层面支持科学课程开发和师资建设。20世纪80年代到90年代是科学教育贯通式人才培育阶段,随着复杂社会问题加剧,静态科学知识已无法满足社会对人才的多元需求,动态科学素养观取代了传统的学科知识论,由此引发世界各国基于标准和问责的国家科学课程改革。例如,英国科学教育协会于1986年提出科学教师的“社会科学技术”课程;1996年美国的《国家科学教育标准》明确K-12科学教育目标、内容和评价等(卢铭康等,2022)。进入21世纪,随着国际上科技竞争日益加剧,培养具备STEM素养的优质人才成为各国的共同追求,由此确立了STEM教育战略与课程体系,以培养智能时代具备科技决策能力的公民与尖端科技人才。在科技创新人才需求为导向的各国政策和课程改革影响下,科学教育学术共同体的研究领域不断拓展与深化。全美科学教学研究者协会(National Association for Research in Science Teaching, NARST)和欧洲科学教育研究学会(European Science Education Research Association, ESERA)是全球最具影响力的两大科学教育组织,其历年年会的子论坛设置揭示了当代科学教育研究领域的七大方向:学生的科学学习研究、教师的科学教学研究、科学教师教育、非正式情境的教与学、科学课程与信息技术研究、科学·技术·社会·环境(STSE)以及科学教育政策研究。其中,学习、教学、教师和课程分属四大研究主体,科学学习研究针对科学学科的认知问题(科学学习、理解和概念转变)和学习环境问题(学习情境、个人特征及其关系);教学层面的研究分为科学学科教学研究和科学教师教育研究,前者针对大、中、小和学前教育阶段的分科与合科的科学学科的教学

学问题,后者则关注职前和职后教师教育;课程和信息技术研究指向校内科学教育环境支持,具体涉及科学课程标准、学业质量监测、教材和课程评价等,以及科学教育中的信息技术应用。科学教育政策研究处于四者交叉的核心地带,涉及科学教育的国际比较与本土实践。以上五个方向属于正式科学教育研究的关切主题,科学·技术·社会·环境(STSE)和非正式情境的教与学组成科学教育社会与文化场域的外部环境,与上述五个方向共同组成科学教育的整体研究图景。

(三)育人趋势:素养导向的人才观念和连续贯通的培养理念

科技进步和国际竞争的加剧推动了科学教育育人趋势的演进。人才观作为对人才识别、选拔、培养和管理的基本看法,决定着课程目标和育人路径的基本导向。培养科技创新人才是科学教育人才观的核心取向,这一观念的变迁反映了科学教育育人趋势的深刻变革。长期以来,科技创新人才观实现了从智力为主的能力观向成功智能的素养观的转化,经历了智力为主的天才观、多元智能的拔尖人才观、多因素的精英人才观以及强调综合素养的人才观四个主要阶段。其中,智力为主的天才观主要以智力水平来识别科技拔尖人才,并以智力得分在前3%~5%的人作为选拔标准,如仁祖利(Renzulli)在“旋转门”鉴别模型中提出创建包括普通人群前15%~20%的人才库(阎琨 & 吴茜,2020)。随着多元人才需求的社会化发展,以单一的智力标准选拔和衡量人才的时代一去不复返,多元智能的拔尖人才观出现,即拔尖人才是多种智能相互作用和高度发展的结果。基于此,多因素模型的科技创新人才观得以发展,即科技创新人才是自我组织和适应高度复杂系统的结果,其重点不再是个人属性,而是人们在适应复杂系统中的行为及其发展。进入21世纪后,创新思维与创新能力成为创新人才的核心特质,以素养提升为切入点的科技创新人才识别与培养成为主流观念。在提升全体学生科学素养的基础上,培养多元综合、全面发展的通识型人才成为当代科学教育的主流育人观。

科技创新后备人才培养特征的演进反映出育人理念的历史变革,主要表现在四个层面:一是从精英教育转变为差异化教育。教育史上的精英教育理论对应智力为主的人才观,认为教育的目的是培养天才,这显然与教育普及化的历史趋势不符,更违背了社会民主化进程,因此势必被时代抛弃。此后,个性化教育逐步登上历史舞台,其本质在于为不同的学生提供适应其能力与需求的教育,最大限度地释放个人潜能,根据学生天资为其提供差异

化的教育支持是真正公平的体现。二是从补齐短板到锻造长板。以“木桶效应”比拟创新人才早期培养理念,即木桶盛水量的多少并不取决于桶壁最长的木板,而是最短的那块。但在群体协作与智能技术高速发展的当代,代表人才最高水平的长板才是人才核心竞争力的集中体现。三是由关注个人向强调合作转变。早期创新人才的研究多局限于个人的认知与非认知因素的影响,往往脱离了人才成长的物理环境、家庭环境和社会环境的交互式影响。但各类研究不断印证,学习产生于人与人之间思维和语言的交互中,由此人才培养过程的合作化环境影响成为研究重点。四是从研究个体到理解文化。与前者相似,从国家和社会内部一致性层面反思文化对人才成长的影响,系统性地考虑个体和社群成长的内部与外部因素,将有助于理解创新人才涌现的社会文化背景(郑永和等,2021)。综合来看,当前科学教育对于科技创新人才的培养更加重视个体学习与社会文化和家庭环境的交互影响,同时注重培养过程的贯通与连续,为人才成长提供更加多元交互的发展路径。

二、科学教育的核心问题:学与教表现的审辨性反思

(一)学习结果矛盾化:高学业成就表现与低水平情感和思维共存

诸多国际测评结果表明,我国中小学生的科学成绩在全球具有明显优势。PISA 2015 数据显示,中国四省市(北京、上海、江苏、广东)15岁中学生科学学业成绩处于高水平阶段的比例明显高于OECD 成员国和所有参与国的平均水平(王晶莹,2017)。我国2018年7月公布的《国家义务教育质量监测报告》也表明四年级和八年级学生科学学业成就达到中等及以上水平的比例较高,学生的高学业成就表现突出。但研究也发现,学生高学业表现是超长课外学习时长“换来的”。PISA 2015 数据显示,中国北京、上海、江苏、广东四省市学生每周学习时长57.1小时,用于课外学习的时间为27小时,在所有参评经济体中仅次于阿联酋。由此看来,如何设计教学和布置课后作业以提升学习效率、培育高阶思维能力是减少课外重复、低效学习的关键。事实上,我国中小学生的科学高阶思维薄弱且学习兴趣不足。2020年《国家义务教育质量监测——科学学习质量监测结果报告》显示,四年级和八年级学生均在科学思维能力方面存在短板,且学生的科学、数学和技术与工程领域的学习兴趣随着年级的增长而不断降低(教育部,2020)。与此同时,学生在科学领域的职业期望也较为落后。PISA 2015 调查了15岁学生对自己30岁时的职业期望,中国四省市学

生拥有 STEM 职业期望的比例为 16.7%,明显低于 OECD 成员国的平均水平(24.5%)和所有参与方的平均水平(26.4%)(王素等,2021)。由此来看,扶植基础教育阶段学生科学学习积极情感和培养高阶思维能力是破解科学教学沉痾积弊的关键,也是切实回应创新人才培养“钱学森之问”的破题之解。

(二)教师素养不均衡:专于学科教学而弱于跨学科和探究式教学

加强科学教师教学能力和专业素养的培育是推动科学教育发展的关键环节。PISA 和 TALIS 等大规模国际教育测评结果表明,我国科学教师具备基本的理想信念、职业素养和教学技能,但在跨学科教学、探究教学和高阶思维教学方面存在短板。例如,辛伟豪等人利用 PISA 2015 数据,从“四有好老师”视角对中学科学教师师德情况展开实证研究,结果显示我国教师在理想信念上优势突出,学科内容知识相对薄弱(辛伟豪 & 王晶莹,2019)。同时,PISA 2015 教师问卷结果显示,我国教师的专业发展活动以“科学学科教学”为主,在“跨学科知识和技能”方面表现较弱,并且在复杂概念探究和跨学科探究方面明显落后。虽然不同年级、不同学科教师的探究水平对不同学习层次学生存在差异化影响,但总体来说教师探究教学水平的高低直接关系到学生科学高阶思维的培育质量。此外,科学教师所处的社会和学校环境等外部支持也是影响其教学能力的重要因素。教育部基础教育教学指导委员会科学教学专委会于 2021 年底对我国 13.1 万小学科学教师展开调研,结果显示小学科学教师在教育教学支持、教学信念和学校氛围维度得分最低。我国小学科学教师兼职群体庞大(占比 70.1%),且理科背景教师占比较低(仅占 27.5%)。此外,我国小学科学教师在信息技术、跨学科与问题解决式教学方面表现最弱,且专业发展的支持与保障严重不足,有近四分之一的小学科学教师每年参加各级教材培训的次数为 0,且 17.0% 的教师所在学校没有实验室(郑永和等,2022)。同时,高校科学教育专业并没有完全融入我国高等教育体制之中,相继演化出教育学院本科模式、教育学院“大理科”模式、理科院系科学教育本科模式和高等师范专科模式等培养形式(丁邦平,2011),使得高等教育中的科学教育专业缺少培养优秀科学教师的制度与环境。因此,重视跨学科和高阶思维教学的精准培训,加强教师专业发展的外部支持并优化科学教育专业的整体布局,是提升我国科学教师质量的关键。

(三)学业成就影响复杂:学生擅长双基掌握但缺乏科学高阶思维培育

探索学生学业成就的影响机制是解决当前科

学教学结构性矛盾的关键。那么到底是什么影响了学生的学业成就?研究者不断开展基于证据的研究,试图揭示其内在规律,以期为学校学习谋求真正的改进。哈蒂(Hattie)于 2009 年出版《可见的学习:对 800 多项关于学业成就的元分析的综合报告》一书,通过对 52637 项研究中数亿名学生的 800 多项元分析进行综合后发现:在学生、家庭、学校、教师、课程和教学六大领域中,教师的影响效应量高达 0.49(哈蒂,2018),教师对学生学业成就的影响举足轻重。与此同时,学业成就“环境决定论”的呼声也愈加高涨,研究者认为学习者所在国家、家庭环境和技术设备等都影响学习者的成就表现。随着科学教育研究范式和方法的更新变革,尤其是认知神经科学在教育应用中的推进,学生的科学学习过程和高阶思维培养机制逐渐成为研究重心。美国俄亥俄州立大学的包雷教授在 Science 杂志发表中美学生科学推理能力的对比研究,他认为在传统科学教学模式中,学生更趋向于记忆知识点而没有掌握推导过程中所涉及的科学方法。中国学生比美国学生多接受了近三年的科学课程学习,他们的科学知识掌握水平显著高于美国学生,但科学推理等高阶思维能力与美国学生持平(Bao et al., 2009)。因此,重视学生科学方法教育和科学高阶思维培育是当代科学教学研究与实践的主要方向。“双减”政策催生了科学教育的新样态,积极倡导思维和素养导向的科学实践与体验式教学,强调整合优化与协同发展校内外科学教育资源,系统规划与精准设计基于科普场馆与核心素养的主题课程与探究实践,助推并落实科学教育“第二课堂”的育人功效,通过多主体协同实现科学教育加法,从而有效促进中小学生科学素养提升与科技创新人才培养。

三、科学教育的路径方法:基于科学证据与教学经验的互动实践

(一)概念转变导向的科学观念教学

概念转变是当代科学教学的核心问题之一。所谓概念转变,即认知冲突的引发和解决过程,是个体原有的某种知识经验由于受到与此不一致的新经验影响而发生的重大改变。概念转变中的概念并不仅指知识或概念本身,它是和知识相关的一切过程、方法与规律的综合。概念转变的理论研究经历了三个阶段的演进:一是以本体论、认识论为基础的理论,如从皮亚杰的同化和顺应观念到波斯纳等人的概念转变模型,概念转变的理论由此发端。二是重视“热”因素的理论,以沃斯尼亚杜(Vosniadou)等人的认知重构模型和平特里奇(Pintrich)等人的认知情感模型为主要代表。认知重构

模型认为,动机、情感调节着认知加工,个体的态度、目标和已有信念会影响学习者关注环境中的事物(Pintrich et al., 1993)。认知情感模型认为,概念转变受学习者认知冲突、动机水平和教学内容参与程度的影响,概念转变的最直接决定因素是学习者的动机水平和对教学内容的参与(Gregoire, 2003)。三是基于“抑制”“共存”主张的理论形成阶段。该理论基于脑科学最新研究成果,认为学生在完成概念转变时前概念并未彻底消失,而是与科学概念获得了“共存”。学生之所以能够实现概念转变,是因为科学概念在与前概念的竞争中获得了“优胜”地位,前概念被抑制(姜春明等, 2022)。目前,基于“抑制”“共存”主张的理论在概念转变的科学教学中得到了广泛应用。

教学模式和策略是实现概念转变的关键。概念转变教学策略的作用体现在两个方面,一是引起认知冲突,二是在学习者原有概念的基础上利用类比和比喻进行迁移。科学概念转变在教学中的实现一般都遵循了“探寻前概念—学习新概念—应用新概念”的过程,可以将其分为基于认知冲突的概念转变教学模式、拓展情境任务的概念转变教学模式和表达论证观点的概念转变教学模式三类(冯春艳 & 陈旭远, 2021),各类概念转变教学模式在科学教学实践中得到更新与发展。随着脑成像技术的成熟,学习科学中概念转变的认知神经机制引起关注。概念学习的前提假设是,学习者在学习正式的科学概念之前已经根据日常实践经验形成了对客观世界的直觉观点和想法,称为“前概念”,而学习者难以“抛弃”错误的前概念、实现正确的概念转变是实现科学概念学习的重要原因。神经生理学揭示了这一现象的本质,即大脑神经元轴突或树突末端特异性蛋白的分泌促进了突触的生成,从而形成了长时记忆。同时,认知神经科学的系列研究不断证明概念转变的实现并非科学概念取代前概念,而是科学概念抑制前概念(Stavy & Tirosh, 2000)。共存的前概念与科学概念引起认知冲突,被前扣带回监测并向前额叶发送信号,前额叶实施认知控制,成功抑制前概念从而正确理解科学问题(朱艳梅 & 陈沙沙, 2020)。概念转变的理论研究与认知神经科学的证据形成了呼应,为科学学习理论和课堂教学注入了新的研究活力与实践经验。

(二) 基于元认知的基础思维提升教学

元认知是指在特定问题情境中学习特定策略,学生具备能够在类似但新的情境中选择和应用该策略的能力。元认知是学生有关思维和学习知识与调控机能,可分为元认知知识和元认知技能两大主要内容。元认知知识指学生对自己所具备的

知识和知识形成过程的认知,包括学生对自我和他人、任务、目标和策略的认知。元认知技能指学生在学习过程中对自身思维和认知的调控技能,包括计划、自我监控、认知策略的使用和自我评估(Kuhn & Dean, 2004)。元认知是科学学习中高阶思维发生的基础,专家型和新手型学习者的本质思维区别在于学习中元认知能力的调动。新手型学习者看到问题之后直接关注问题的表面特征并开始解决问题,而专家型学习者在面对新问题时调动元认知知识、元认知监控和元认知体验能力,从而精准高效地解决问题。实证研究也证明,把专家型学习者所使用的元认知思维模式教授给新手,可以非常有效地提高新手的表现(National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2000)。

在科学课堂中,教师可以采取多种策略促进学生的元认知发展。元认知教学法旨在提高学生计划、调节和反思任务及其解决问题的能力(Bannert & Mengelkamp, 2008)。例如,知情教学法指从学生元认知知识方面进行教学,向学生介绍策略是什么、策略如何使用以及策略有效使用的条件等内容,并通过明确的指导、提示以及融入课堂教学内容等方式进行教学;科学家笔记法则指模拟科学家探究记录过程,帮助学生了解科学家所探究的内容和策略,从而反思科学学习和探究的过程;角色扮演法也是一种经常应用的教学策略,教师让学生尝试扮演不同角色,包括认知角色(理论、证据、整合和应用管理者)、社会角色(协作、沟通、调解和公平管理者)和元认知角色(计划、生产力、反思和修订管理者),并向角色提供其活动目标和问题、实现目标和应对问题的策略以及每个角色的话语特征,从而培养学生在科学探究过程中的计划、监控和反思能力。认知神经科学的研究结果也证实,内侧前额叶皮层和前扣带回与元认知的产生密切相关(Fleur et al., 2021)。因此,科学教学中注重培养学生元认知能力对有效促进学习者科学高阶思维的形成与发展具有重要意义。

(三) 推理、建模和论证为路径的科学高阶思维教学

新版义务教育课程标准提出不仅要让学生掌握一般的思维方法,还要掌握科学思维方法,即模型理解和模型建构、推理与论证、创新等科学思维方法。科学思维是科学核心素养的关键成分,主要体现在学生的推理、建模和论证等能力上。

科学推理作为高阶思维过程的重要组成部分,是指在问题情境下运用控制变量、比例推理、概率推理、相关推理、假设演绎等技能,提出并开展假设、实验、评估证据和辩证思考的科学探究过程

(Lawson, 2004)。科学推理由假设、实验和证据三大因素构成。假设是科学推理系统的重要背景,是个体利用已有信息资源进行归纳和演绎,并按照一定逻辑规则表述出来的过程,属于基础部分;实验处于整个系统的中心,假设需要经过实验的考验,而实验又关系着对假设真理性的判断;证据是整个系统时刻需要的,组成假设空间和实验空间的实例是证据,形成的新概念是证据,实验中得到的科学事实是证据,作为实验逻辑基础的先前经验和先前实验结果也是证据。探究式科学教学实践是当前发展科学推理能力的普遍形式。科学推理能力的完整过程应包括问题识别、提出问题、生成假设、产品的创建与重新设计、证据生成、证据评估、得出结论和交流审查(Fischer et al., 2014)。

科学建模指通过对现实现象的理想化、抽象化而建构的反映科学规律的模型,从而对科学现象进行说明、解释和预测(Gilbert, 2004)。科学建模能力包括建模实践(模型构建、模型修正、模型比较、模型评估、模型验证)和建模元认知(对模型性质和建模目的的元知识和对建模过程的元认识)两大部分(Nicolaou & Constantinou, 2014)。科学建模是一个周期性的过程,学生将在不断地建构模型、改进模型、现象辨别和数据观察中发展自身的建模能力(Constantinou & Nicolaou, 2019)。

论证作为一种包括推理过程的话语形式,源于柏拉图、苏格拉底和亚里士多德的以形式逻辑为基础的演绎论证与归纳论证活动。20世纪中叶,图尔敏(Toulmin)提出了非形式逻辑的论证模型,标志着现代论证模式的诞生,论证的概念型定义也不断被提出。范·埃默伦(Van Eemeren)等将论证视为一种口头的、社会的和理性的活动,旨在提出一个或多个命题来证明其观点的合理性,从而说服反对者接受该观点(Van Eemeren et al., 1987)。沃尔顿(Walton)则将论证视为一种以目标为导向的交互式对话,参与者通过证明或反驳假设来共同推理以推进论证(Walton, 1992)。库恩(Kuhn)认为论证是探究,应是当代科学教育的核心(Kuhn, 2005)。科学教学中的论证活动主要有基于调查数据的书面论证能力和学生交流与评判过程中的话语论证能力两大类。科学论证教学基于一定的实践框架开展,图尔敏论证框架是最经典,也是应用最广泛的论证框架。除此之外,CRE论证框架和Lakatos论证框架等也广受关注。国际科学教育领域自20世纪80年代末开始重视基于科学论证的教学干预。20世纪90年代起,科学论证教学进行了大量的理论和实证研究,提出并实践了多种教学模型。目

前,5E教学模型、论证—探究式教学模式(ADI)、启发式科学写作教学模型(SWH)、PCRR教学模型以及计算机支持的科学论证教学模式等被不断开发并创新(高潇怡 & 刘文莉, 2020)。认知神经科学的证据也进一步证明了论证教学与学习者神经生理之间的相互影响关系。例如,研究发现科学论证中的反驳行为与额中回和颞上回相关区域的激活相关,即反驳行为激活了左右背侧前额叶皮层簇(DLPFC)(Backman et al., 2020);还有研究发现,基于哲学对话论证的教学模式使获得性脑损伤(外力或疾病造成)儿童在认知评估中发生了显著的积极改变(Liu et al., 2021)。

综上所述,在科学教育改革创新的大环境下,科学教学的落脚点实现了跨越与转向,以科学素养为导向的高阶思维培养成为当代科学教育的主流目标,同时也成为实现科学教育目标的关键方法。面对智能社会对科技创新人才自主培养的迫切需求,科学教育责无旁贷,科学高阶思维培养自然成为重中之重。科学教育中的概念转变、元认知能力、科学推理、科学建模和科学论证等教学策略是培养科学高阶思维的关键路径,科学教育的内涵概念和实践模式也在不断更迭革新。基于此,在科学教育理论和实践研究中应该明确以科学高阶思维培育为导向的核心素养教学理念,推进跨学科实践与合作式问题解决的教学模式创新,加强对科学教师高质量专业发展的指导与支持,同时继续深挖并揭示学生在科学学习过程中高阶思维发展的教学规律与认知神经机制,切实达成当代科学教育的育人目标,推进科技创新后备人才的自主培育。对科学教育的深度考证,为科学教育加法工作的贯彻实施正本清源,必将牵动科学教育加法给谁加(对象)、加什么(内容)、怎样加(机制)、用啥加(路径)、啥效果(评价)的全链条和一体化工作推进。

参考文献:

- [1]丁邦平,罗星凯.(2008).论科学教育研究与科学教育改革.教育研究,(2),75-80.
- [2]丁邦平.(2011).我国小学科学教师教育:现状、问题与思考.当代教师教育,(2),1-7.
- [3]丁邦平.(2021).全球化视野下学校科学教育改革的观察与反思.湖南师范大学教育科学学报,(5),10-17.
- [4]冯春艳,陈旭远.(2021).国外科学概念转变教学研究:模式、策略及启示.理论月刊,(3),156-160.
- [5]高潇怡,刘文莉.(2020).青少年科学论证能力及培养策略思考.科普研究,(6),14-20,35,100.
- [6]姜春明,阙惠泽,王晶莹.(2022).概念转变研究图景:发展阶段、视角创新与教学应用.世界教育信息,(8),62-68.

[7]教育部.(2020).2020年国家义务教育质量监测——科学学习质量监测结果报告.中华人民共和国教育部网站.
http://www.moe.gov.cn/jyb_xwfb/gzdt_gzdt/s5987/202111/t20211129_583124.html.

[8]凯瑟琳·E.斯诺,肯妮·A.迪布纳.(2020).科学素养:概念、情境与影响(裴新宁,郑太年主译).中国科学技术出版社.

[9]卢铭康,张栩凡,王晶莹.(2022).发达国家科学教育政策变迁的内在逻辑——基于倡导联盟框架的视角.世界教育信息,(8),3-9,16.

[10]裴新宁.(2022).重新思考科学教育的若干概念与实践途径.中国教育旬刊,(10),19-24.

[11]王晶莹.(2017).关注STEM职业期望的青少年科学素质教育:基于PISA 2015和NARST 2017的反思.科学与社会,(3),33-42.

[12]王素,袁野,李佳.(2021).后新冠肺炎疫情时代的科学教育.中国科学院院刊,(7),765-770.

[13]辛伟豪,王晶莹.(2019).“四有”好老师视角下我国中学科学教师师德现状的实证研究.教育科学研究,(4),41-46.

[14]阎锐,吴茜.(2020).拔尖人才培养的国际趋势及其对我国的启示.教育研究,(6),78-91.

[15]杨玉良.(2022).构建中国特色世界水平的科学教育体系.中国教育旬刊,(10),1.

[16]约翰·哈蒂,格雷戈里·C.R.耶茨.(2018).可见的学习与学习科学(彭正梅,邓莉,伍邵杨,等译).教育科学出版社.

[17]郑永和,王晶莹,李西营,杨宣洋,谢涌.(2021).我国科技创新后备人才培养的理性审视.中国科学院院刊,(7),757-764.

[18]郑永和,杨宣洋,王晶莹,李佳,卢阳旭,李书惠,杨玉静,张晓琳.(2022).我国小学科学教师队伍现状、影响与建议:基于31个省(自治区、直辖市)的大规模调研.华东师范大学学报(教育科学版),(3),1-18.

[19]朱艳梅,陈沙沙.(2020).基于脑科学的概念转变抑制理论及其对科学教育的启示.东南大学学报(哲学社会科学版),(S2),126-130.

[20]Backman, Y., Gardelli, T., Gardelli, V., & Strömberg, C. (2020). Group Argumentation Development through Philosophical Dialogues for Persons with Acquired Brain Injuries. *International Journal of Disability, Development and Education*, 67(1), 107-123.

[21]Bannert, M., & Mengelkamp, C. (2008). Assessment of Metacognitive Skills by Means of Instruction to Think Aloud and Reflect When Prompted. Does the Verbalisation Method Affect Learning?. *Metacognition Learning*, 3, 39-58.

[22]Bao L, Cai T, Koenig K, et al. (2009). Physics Learning and Scientific Reasoning. *Science*, 323(5914), 586-587.

[23]Constantinou, C. P., Nicolaou, C. T., & Papaevripidou, M. (2019). A Framework for Modeling-based Learning, Teaching, and Assessment. Towards a Competence-based View on Models and Modeling in Science Education. Springer, Cham., 39-58.

[24]Fleur, D. S., Bredeweg, B., & van den Bos, W. (2021). *Metacognition: Ideas and Insights from Neuro- and Educational Sci-*

ences. *NPJ Science of Learning*, 6, 13.

[25]Fischer, F., Kallara, I., Ufer, S., Sodian, B., Hussmann, H., Pekrun, R., Neuhaus, B., Dörner, B., Pankofer, S., Fischer, M., Strijbos, J., Heene, M., Heene, M., & Eberle, J. (2014). Scientific Reasoning and Argumentation: Advancing an Interdisciplinary Research Agenda in Education. *Frontline Learning Research*, 2(3), 28-45.

[26]Gilbert, J. K. (2004). Models and Modelling: Routes to More Authentic Science Education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2(2), 115-130.

[27]Gregoire, M. (2003). Is It a Challenge or a Threat? A Dual-process Model of Teachers' Cognition and Appraisal Processes during Conceptual Change. *Educational Psychology Review*, 15(2), 147-179.

[28]Holbrook, J., & Rannikmae, M. (2007). The Nature of Science Education for Enhancing Scientific Literacy. *International Journal of Science Education*, 29(11), 1347-1362.

[29]Kuhn, D., & Dean, D. (2004). Metacognition: A Bridge between Cognitive Psychology and Educational Practice. *Theory into Practice*, 43, 268-273.

[30]Kuhn, D. (2005). *Education for Thinking*. Harvard University Press.

[31]Lawson, A. E. (2004). The Nature and Development of Scientific Reasoning: A Synthetic View. *International Journal of Science and Mathematics Education*, (2), 307-338.

[32]Liu, J., Donnell, M. B., & Falk, E. B. (2021). Deliberation and Valence as Dissociable Components of Counterarguing among Smokers: Evidence from Neuroimaging and Quantitative Linguistic Analysis. *Health Communication*, 36(6), 752-763.

[33]Liu, X. (2013). Expanding Notions of Scientific Literacy: A Reconceptualization of Aims of Science Education in the Knowledge Society, in: Mansour, N., Wegerif, R. (Eds.), *Science Education for Diversity: Theory and Practice*. Springer Netherlands.

[34]National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2000). *How People Learn: Brain, Mind, Experience, and School: Expanded Edition*. The National Academies Press.

[35]Nicolaou, C. T., & Constantinou, C. P. (2014). Assessment of the Modeling Competence: A Systematic Review and Synthesis of Empirical Research. *Educational Research Review*, 13, 52-73.

[36]Pintrich, P. R., Marx, R. W., & Boyler, A. (1993). Beyond Cold Conceptual Change: The Role of Motivational Beliefs and Classroom Contextual Factors in the Process of Conceptual Change. *Review of Educational Research*, 63(2), 167-199.

[37]Stavy, R., Tirosh, D. (2000). *How Students (Mis-) Understand Science and Mathematics: Intuitive Rules*. Teachers College Press.

[38]Van Eemeren, F. H., Grootendorst, R., & Kruiger, T. (1987). *Handbook of Argumentation Theory: A Critical Survey of Classical Backgrounds and Modern Studies*. Foris Publications: Dordrecht.

[39]Walton, D. N. (1992). *Plausible Argument in Everyday Conversation*. Albany, NY: State University of New York Press.