

在“科学实践”中开展科学教育

——专访美国科学教育专家约瑟夫·科瑞柴科教授

施悦琪^{1*} 马冠中¹ 何薇薇² 周 童¹

(1. 南京大学教育研究院, 南京, 210023;

2. 密歇根州立大学教育学院, 东兰辛, 48824)

摘 要: 如何培养懂科学、爱科学、善教科学的科学教师, 以及如何创设更适合中国学生学习方式的科学教学环境, 是现阶段科学教育的重要议题。学习科学及科学教育领域的知名学者科瑞柴科教授, 结合自身的学习及研究经历, 强调了“做科学”的重要性。他指出, 科学教师培养应重视真实科学情境和探究实践, 防止理论学习与实践经历脱节; 在科学教学中, 教师应从现象观察入手, 激发学生的探究兴趣, 开展“项目式学习”, 使其在循序渐进的探究过程中掌握学科核心概念, 理解科学本质。

关键词: 做科学; 科学教育; NGSS; 探究实践; 跨学科整合

一、引言

科学教育是国家拔尖创新人才培养、实现科技自立自强的关键基石, 关乎国家核心竞争力的培育与科技人才梯队的持续发展。近些年, 国家高度重视科学教育发展, 在科学教育理论研究、师资培养、教材编写、课程标准等方面做出了一系列部署, 《教育强国建设规划纲要(2024—2035)》更将科学教育提升至国家战略层面。然而在实践层面如何改进科学教学模式、提升科学教育质量, 仍面临诸多现实难题, 其中最为关键的是科学教师培养与科学课堂教学模式优化。如何培养一批懂科学、爱科学、善教科学的高素质教师, 如何创设更适合中国学生学习方式与特点的科学教学环境, 是现阶段的关键议题。

约瑟夫·科瑞柴科(Joseph Krajcik)是美国密歇根州立大学杰出教授, 也是“拉潘-菲利普

* 施悦琪, shiyq@nju.edu.cn。

斯”科学教育讲席教授^①，CREATE for STEM^②主任。科瑞柴科教授在科学教学与改进领域享有国际盛誉，致力于通过设计、开发、实施和测试匹配学生学习方式的教学环境提升科学教学效果，同时深入研究学生在项目式学习（Project-Based Learning）环境中的学习成效及参与度。在上述领域，科瑞柴科教授独立或合作发表论文及课程材料逾百篇，出版了多部著作，其中 *Teaching Science in Elementary and Middle School: A Project-Based Approach* 一书被译为中文，即《中小学科学教学：项目式学习的方法和策略》^③。科瑞柴科教授曾担任《科学教学研究》杂志共同主编、美国科学教育研究协会（National Association for Research in Science Teaching, NARST）主席，并于2010年获得该协会颁布的“科学教育研究杰出贡献奖”，于2020年当选美国国家教育学院（National Academy of Education）院士，并被授予麦格劳“K-12教育奖”（McGraw Prize），以表彰其推动教育变革的卓越成就。2021年他再获国际科学设计与发展教育协会（International Society Design Development Education, ISDDE）教育设计卓越奖。此外，科瑞柴科教授还是美国“下一代科学教育标准”（Next Generation Science Standards, NGSS）委员会的核心成员和主要执笔者，为美国科学教育发展做出了重要贡献。2025年10月21日，笔者在美国密歇根州立大学参加职前教师培养与实践工作坊，在科瑞柴科教授的讲座上围绕科学教育教学与其展开了讨论，并于次日对科瑞柴科教授进行个人专访，此篇文稿整合了这两部分的内容。

二、“人们如何学习”：兴趣驱动下的科学教育学习与实践经历

笔者：您在学习科学及科学教育领域有着非常深入的研究，作为这一领域的领军人物之一，您是如何对科学教育产生兴趣的呢？

Joseph：这得追溯到我本科时期，当时我同时主修哲学和化学。我在威斯康星大学密尔沃基分校获得本科学位，毕业后，学校的学习科技部招聘辅导老师，我是个优秀的化学毕业生，我当时需要一份工作，所以就去应聘并获得了这份工作。当时有很多人接受辅导，他们非常渴望成为护士或从事其他医疗保健行业，但在化学学习上遇到的困难重重，尤其是在比例推理方面很吃力，而化学里有大量的比例推理内容，所以很多人在这方面很挣扎。我一直对各种现象很感兴趣，所以我选择了化学专业，同时我一直对知识的本质感兴趣，所以我还选了一些哲学课程。当遇到这些非常努力却不能理解的学生时，我会坐在那里花上好几个小时试图向他们解释，但他们确实非常难以理解比例推理。于是我对学习本身产生了浓厚兴趣，我很好奇为什么我能理解这些内容，而别人却不能理解？我决定成为一名教师，因为我了解“人们如何学习”，而教师是帮助人们学会如何学习的，所以我成了一名化学教师。

我大概做了七八年教师。中途，我任教的那所高中要求教师必须拥有硕士学位。那时我已经结婚了，所以只能去上夜校。在我就读的那所大学，修满6个学分后，你可以再选两门课或写一篇论文，我更像是一名自主学习者，而写论文比较独立，所以我决定写论文。我的论文聚

^① 该讲席教授称号是基金会为纪念美国数学教育领域有卓越贡献的两位学者格伦达·拉潘（Glenda Lappan）和伊丽莎白·菲利普斯（Elizabeth Difanis Phillips）而设立。

^② 密歇根州立大学的CREATE for STEM是聚焦STEM教育研究与实践的联合研究所，网址 <https://create4stem.msu.edu/>。

^③ 由北京师范大学王磊教授等翻译而成，2021年由北京师范大学出版社出版。

焦于帮助学生理解化学中的比例问题。我的硕士论文完成得相当不错，大学老师们认为这是一项很有价值的研究，并鼓励我出版，继续攻读博士学位。经过考虑后，我决定攻读博士学位。我收到了几份录取通知，最后决定去艾奥瓦大学。读博的时候，我硕士论文的成果在当时一本颇受认可的学术期刊《学校科学与数学》(School Science and Mathematics)上发表了。那段时间，我还参与了各种不同的写作项目和学术项目，我意识到自己很喜欢写作，很多人不喜欢写作，但我觉得乐在其中。在攻读博士学位期间，我一直计划在拿到学位后回到课堂。因为当初决定攻读博士，就是为了深入了解如何更好地支持学生，让自己成为更优秀的教师，从而让学生学得更多、更好。但我发现自己真的很享受写作，于是决定继续尝试在学术界、高等教育领域发展一段时间。

可能因为当时已经有成果发表了，我非常幸运地得到了马里兰大学的教职工作，当时该校的科学教育项目非常强，那里有一些科学教育领域的领军人物，如戴维·洛克德(David Lockard)、约翰·莱曼(John Layman)、亨利·海基宁(Henry W. Heikkinen)，那是一个相当有名望的科学教育中心。但有趣的是，他们雇用我并非因为我在科学教育方面的技能，而是想让我担任教育技术专家。当时，苹果电脑刚刚问世，计算机模拟也刚开始展现价值，我对计算机模拟以及它如何助力孩子们学习非常感兴趣，所以面试时我做了一场关于如何利用计算机模拟来支持学生学习的演讲。而他们当时正在寻找科学领域的教育技术人才，所以他们以教育技术岗位录用了我。当然，我也表达了自己的想法：“我必须继续保持在科学教育领域有所投入，因为那才是我真正热爱的。”

这一切都源于我对“人们如何学习”这一问题的兴趣，以及对这一现象的关注。我真的很想弄清楚，怎样才能更好地辅助人们，尤其是学生，去真正学会这些对日常生活至关重要的复杂概念。例如，当时许多孩子在想象“原子”世界时都存在困难，他们看不到这些东西。而对我来说，我有着很强的表象能力，当人们谈到粒子以不同速度随机运动，我能在脑海中想象碰撞理论：随着温度升高，粒子运动得更快，碰撞增多；当温度降低，粒子能量减少，运动变慢，碰撞也随之减少，能够引发反应的有效碰撞也就更少。但很多人很难想象这些过程，所以我研究的模拟程序主要是关于微观世界的，比如温度和压力如何影响分子间的相互作用。当时这些可视化模拟非常前沿，这其实很有意思。我还会一些编程，但我需要和更精通技术的人合作，他们负责把模拟做出来，而模拟的设计与呈现都基于我的构想来开发。

三、三维概念及其整合：NGSS 核心框架的理念与实践

笔者：您是 NGSS 的开发者之一，NGSS 提出学科核心概念、科学与工程实践、跨学科概念这三个维度。那么，在编写过程中这三个维度是如何产生的？可否分享下背后的故事？

Joseph：我曾是 NGSS 领导团队的成员，同时也是物理科学标准的主要撰写人之一，另一位是梅拉妮·库珀(Melanie Cooper)，她也在密歇根州立大学。NGSS 是一套标准，我们国家的各个州可以选择采用、调整这些标准，或者对其置之不理。这些标准背后的愿景源自《K-12 科学教育框架》(Framework for K-12 Science Education，以下简称《框架》)。当时成立了一个美国国家科学教育委员会(National Committee on Science Education)，海伦·奎因(Helen Quinn)担任委员会主席，组织团队撰写这份新文件，为美国的科学教育指明方向。我很幸运，海伦邀请我

担任物理科学标准的主要撰写人。

实际上在 2012 年发布《框架》之前，我们有一套标准——《国家科学教育标准》。首先，它包含了不同学科的核心概念，也就是科学领域中真正基础的核心思想，是学生需要在多年学习中逐渐建构起来的关键概念。你可以把它们进一步细分，但关键是让孩子们能随着时间逐步培养、深化对这些概念的理解。例如，像“能量”这样的概念就非常难理解。要是你在孩子三年级的时候就把所有相关内容一股脑教给他们，他们根本学不会。但如果你一点点地引入，随着时间推移，他们就能真正对能量有丰富且深入的理解。像进化、板块构造这些核心概念也是如此。

其次，《国家科学教育标准》还有科学与工程实践标准，比如提出问题、设计调查研究、分析数据等。但有趣的是，它们既没有提到模型构建，也没有涉及解释性写作，虽然包含了很多其他科学实践，但都把它们归为科学实践范畴。在美国，以前这些内容是分开的，后来进行了整合。以前的标准里会说，学生需要了解物质的粒子特性，需要知道如何设计一个探究，但从来没有把这些内容联系起来。而新的框架则提出，如果我们想让孩子们运用知识，我们既不只希望孩子们了解知识，也不只是让他们做一些操作，而是希望他们能够运用知识去解决问题，这更重要。相关文献也明确指出，你必须把孩子们置于能够吸引他们的情境中，让他们运用所学的知识。正是在这样的理念下，《框架》的核心想法产生了：我们要整合这三类知识。我们有所谓的学科核心概念，这些是特定学科的核心思想，比如“力”就是物理学特有的概念，“基因”“生物与环境相互作用”是生物学特有的概念，“物质的粒子特性”是化学特有的概念。这些就被称为学科核心概念，因为它们聚焦于特定学科。

最后是跨学科概念。跨学科概念同样是大概概念，但它们跨越不同学科，对于理解各种现象非常重要，因为它们就像透镜一样，帮助我们理解不同事物。比如在你们国家也有一个跨学科概念——系统与系统模型（Systems and Systems Models）。假设我看到一个现象，比如看到那里有个山谷，我就会思考，这个山谷是怎么形成的呢？我会把它看作一个系统来思考。有哪些组成部分？发生了哪些过程？所有科学家，无论是地质学家、生物学家、化学家还是物理学家，都会以系统的方式思考问题。这些概念跨越了不同学科，能在不同学科之间通用，帮助我们理解各种现象。

我们有七个跨学科概念，我昨天才第一次了解到，你们国家有四个跨学科概念：系统与系统模型、物质与能量的流动、稳定性与变化，以及结构与功能。基于我们从儿童研究和学习中所了解到的情况，尤其是情境认知理论，如果要是让孩子们学习这些概念，它们不能相互孤立，必须相互整合。所以，你不会希望孩子们学习的内容与实践相脱节。这就是为什么我和布莱恩（Brian J. Reiser）^① 在《框架》里专门写了一章，探讨如何整合这三个理念来构建标准。当 NGSS 制定时，也遵循了这个模式。我们的目标是制定出一套各州都可以采用的标准，或者说希望各州都能采用，但各州也可以对其进行调整。关键在于，这些标准必须整合这三个维度。

笔者：我记得昨天您提到中国的四个跨学科概念时，曾经建议添加“因果关系”这一跨学科概念，您能详细谈谈这一点吗？

^① 美国西北大学教育与社会政策学院的教授，主要从事学习科学方面的研究，网址 <https://sites.northwestern.edu/brianreiser/>。

Joseph: 在我看来,这是科学的核心。科学就是关注某件事发生了,然后试图弄清楚它为什么会发生,这就是因果关系。但人们常常看到某事发生,就说这是因为……就像太阳升起,有人会说这是因为公鸡打鸣。它们在早上同时出现,是有关联的,但公鸡打鸣并不是太阳升起的原因。科学就是研究因果关系,研究是什么导致了这件事的发生。这就是为什么我觉得因果关系在科学中如此重要。在科学里,我们会非常谨慎地进行对照实验,清晰地确定自变量,探寻这些自变量可能如何影响因变量。我们也会格外注意我们在控制哪些变量。实际上,我们能够就什么导致了因变量的变化做出因果陈述,就是科学的根本目的所在。我敢肯定,你们也有类似考量,只是我看不懂中文,但你们可能会有这样的概念,在其他那些跨学科概念中可能已经蕴含了因果关系。

就拿系统与系统模型来说,实际上所有模型都涉及因果关系。当我创建一个模型时,不就是在尝试剖析所发生的因果关系吗?确定各个组成部分,然后明确这些部分之间的关系是什么,而这些关系都应该是因果关系。从某种程度上来说,因果关系的概念在系统与系统模型中是默认存在的。但另一方面,因果关系对于孩子们来说是个非常重要的概念,因为很多人都无法区分相关性和因果性,我对这个问题特别感兴趣。在科学哲学中,因果关系的概念以及知识的本质是很重要的部分。在我看来,理解因果关系在日常生活中非常重要。我们常常看到一些现象就做出关联,但这不一定是因果关系,人们在这方面很难把握,很多人想把肥胖和2型糖尿病联系起来,但实际上即便身材很好也可能患上2型糖尿病。所以,即便肥胖和2型糖尿病之间存在某种联系,也不能简单地得出结论:因为那个人超重,所以他一定会得2型糖尿病。

笔者:感谢您的解释,我非常赞同。另外,我很好奇,教师们对于在课堂实践中落实 NGSS 这三个维度有何反应?

Joseph:有些教师对此非常认可。我参与了一个非常有趣的项目,这个项目实际上聚焦于框架中的一个核心概念——能量。我们对能量概念化的方式非常独特——从历史角度看待能量。我们不应只着眼于能量形式,那样太混乱了,这也不是科学家思考能量的方式。我们应思考能量是如何从一个地方转移到另一个地方的,并且我们要追踪这种能量转移。不同形式的能量本质是一样的,我们就要追踪它。我们会通过让孩子们运用科学实践和跨学科概念,去解释各种不同的现象,来帮助他们理解能量转移这个概念。

有不少教师对此欣然接受,但也有些教师还没有转变过来。他们成长于不同的环境,正因为如此,有些教师头脑中的观念已经根深蒂固——习惯把探究和学科概念分开来,他们会孤立地看待不同类型的能量。这种思维方式很难改变,所以颇具挑战性。我们正在和一位非常出色的老教师合作,他确实是一位很棒的老师,教学风格非常独特,但和我的教学方式大相径庭。他坚信要先把知识传授给孩子,然后让他们通过实验去验证,这是一种经典的验证型探究模式。他人很好,学生们都喜欢他,他也会给学生一些新的实践体验,可他不认同以驱动性问题为引导,让学生自己去摸索。他觉得你得先告诉他们,告诉他们关于力的知识,告诉他们关于能量的知识,然后再让他们做活动。

不过,随着我们在教学法课程中开展更多工作,以及为在职教师提供更多的专业培训,并且有更多课程资源可用,我们正在取得进展。随着评估方式的改变,整个体系变得更加统一、全面了。14年前,《框架》首次发布,大约一年后 NGSS 也问世了。当时,既没有针对教师的专业培训,很多教师对《框架》和 NGSS 感到十分困惑,也没有配套的课程材料,教师们不知道该如何

落实，而且评估方式照旧只是基于知识的考查，理念和实际教学之间没有达成一致。如今，我们开始看到两者之间的契合度提高了。为什么呢？因为在全国的教育学院里，更多人开始关注科学知识的三个维度。现在也有了许多优质的资源，一些州的课程试点项目设计出了很棒的三维评估方案。现在整个方法体系更加统一了，整个系统也更完善了。最初，这个系统是脱节的，而现在各方面配合得更加紧密。

四、弥合理论与实践：科学教师培养的挑战与关键原则

笔者：中国科学教师的培养起步相对较晚，且尚未形成成熟的体系，但我们正在努力改变这一现状。可否请您谈谈美国科学教师培养体系的主要特点或指导原则？

Joseph：就像我跟你提到的，我的研究领域不是教师教育，实际上我的研究领域是学生学习，但我可以就此发表一些看法，不过我们系里^①可能有其他人能给你更好、更全面的回答。

在教师教育中，尤其是科学教师教育中，我们面临的一个困境是大学阶段所教授的理论与实际教学实践之间存在脱节。这种传统的教师教育对教师尤其是新教师并没有帮助，因为他们上大学里经历的是一种方式，他们在小学、初中和高中当学生时经历的是另一种方式。他们来到大学，在化学、物理或生物等理科课程中有一番体验，接着在教学法课程^②中，他们又听闻和体验到别的内容。当他们回到中小学教学时，情况和他们自己做学生时所经历的非常相似，这是一个巨大的脱节。所以，尽管中小学和大学的科学教育工作者都在谈论主动学习、让孩子们参与科学实践，但学生在学校里却没有真正看到这样的教学。正是因为存在这种脱节，推动教学变革变得非常困难。

当《框架》颁布后，几乎所有州都采纳了这份框架所提出的理念，即孩子们必须积极参与学习和运用学科核心概念、践行科学实践，并借助跨学科概念来理解各种现象，解决具有挑战性的问题。当然，大多数大学在其教学法课程中都采用了这种理念。但同样，脱节现象依旧存在，这很值得关注。这种脱节并不符合科学本质，科学观念不应与科学实践或科学探究相分离，这再一次变成了一种“技能层面的脱节”。

然而自 2011 年以来，基于这份框架，全国出现了大量围绕其理念的教师专业发展培训。在某些地方，这种脱节现象没那么严重了。如今，可能有些教师还不太清楚如何开展各种实践活动，但至少他们听说过这些内容。所以当职前教师走进课堂时，整个感觉会更加统一、连贯。如果你问我什么是真正重要的？我会说，那就是在职教师必须有在课堂上实践的经历，而且这些经历必须具备连贯性，同时与理论及他们在学校看到的情况保持一致。当大学课堂里的东西和学校里的实践脱节时，你就不可能推动任何变革。值得庆幸的是，很多大学认可这种统一的理念。在美国的一些州，我们开展了大量的教师专业发展活动，这种脱节已不复存在。

我给你讲个有趣的事，我参与了一个高中项目，最近在那里做了一次教师专业发展培训。有两位年轻教师，他们刚毕业，我们给他们提供如我们昨天讨论过的课程资料，他们兴奋不已。因为这正是他们在教学法课程中所了解的内容，也是他们一直以来认为科学教学应有的样子，但他

^① 这里指密歇根州立大学的教师教育系“Department of Teacher Education”，该系在《美国新闻与世界报道》（U. S. News & World Report）的教师教育（包括初等和中等教育阶段）项目，已连续 31 年排名全美第一。

^② 此处及后文提及的“教学法课程”主要指本科阶段关于如何教学的师范生培养课程。

们在自己之前的授课老师那里并未看到这种教学方式，而现在他们又被要求采取这种方式教学，所以拿到资料他们真的很激动。同时，在场的一些教龄较长的教师则对此十分犹豫，因为他们没有接受过那么多的专业培训，对这些新方法并不了解。他们总是更倾向于先给孩子们一些概念，然后再让孩子们做一些程序性的活动。我觉得这个对比很有意思。我认为我们正开始做出一些改变，理论与实践之间的一致性正逐渐建立起来。我想我们真的会带来变革，而这也正是我们必须要做到的。

笔者：在中国，我们同样面临这样的问题。比如当下，我们正在开展一项国家层面的科学教师培养计划——国优计划。在以前，我们主要在师范大学中培养这些教师。现在，我们尝试让综合性大学数学、化学、物理、工程等学科的研究生，在教师教育学院学习 18 个学分的教学法课程和 8 个学分的教学实践，将他们能培养成为更好的科学教师。这项计划中的很多研究生都面临着同样的困难——他们在学习教学理论和开展教学实践时，往往无法转变思维模式。他们可能是这一学科的优秀学生，但难以讲好一堂课。那么，针对这一问题您有什么好的建议吗？

Joseph：我虽然不是专门研究教师教育，但我教授教学法课程多年了，我喜欢和职前教师们一起学习，虽然这不是我的主要关注点，但我一直试图成为一个反思性实践者，在教学法的教学上尽我所能做到最好。

我一直觉得很有意思的一件事是，偶尔会有一些已经取得某学科博士学位的学生来上教学法课程。他们想成为教师，是因为他们心里有一种关于“人们如何学习”的想法。他们觉得，只要你把概念讲得足够清楚，学生就能学会。在他们看来，我给出的解释越清楚、越精准，学生就越可能学会。举个例子，如果我能就“力是什么”以及“力与能量如何相关”给出非常清晰的解释，那么你就一定能够理解。因为我懂这些知识，我也给出了非常清晰的解释。但事情不是那么简单，很多时候，那些在学校靠死记硬背和听别人讲解而取得成功的人，往往会认为所有人都是这样学习的。事实上，绝大多数人并不是通过这种方式学习的。要改变他们对于“人们如何学习”这种根深蒂固的观念，其实是非常困难的。

实际上，可能有些人会觉得我这么做很疯狂，但我确实去请教过一些尝试过当老师但失败了的人。他们之所以没办法当老师，是因为他们不知道如何与孩子们相处，不知道如何向孩子们解释事情，他们觉得孩子们应该能按照他们（这些老师）的水平去理解内容。但是，如果要让孩子们理解一些极具挑战性的概念，就必须精心地为这些概念搭建脚手架，并随着时间逐步构建这些概念。很遗憾，我们很多非常优秀的学生，他们成长在一个非常看重记忆背诵的环境中，他们确实掌握了知识，他们就是“知道”。他们觉得自己能靠这种方式学会，那其他人也能这样学会。但这未必是每个人的学习方式，也未必是最佳的学习方式。

我有一位非常出色的同事——布莱恩·科波拉（Brian P. Coppola）教授。他在密歇根州立大学任教，是一位杰出的化学教授。他去过北京大学帮助教授们学习如何教授化学。他很惊讶于班上所有学生对有机化学了如指掌，他们知道所有的公式，但当你给他们一个以前没见过的新问题，他们却无法解决。这与密歇根州立大学学生的情况正好相反，这里的学生能够解决问题，但无法像中国学生那样背诵所有知识。所以说，这取决于你想要培养什么，如果你想让孩子们具备解决问题的能力，能够运用概念想出新办法来解决问题，那么我们的教学方式就必须有所不同。在我看来，我们长期以来都在强化“让学生记忆知识”这种做法，却不一定教会他们如何运用这些知识解决问题。所以对于你提到的中国学生而言，这真的很困难，他们在理科

课程中的经历、教育课程中学到的内容，以及他们真正应该做的、能够支持学生的事情之间存在很大的脱节。

不过你不要误会我的意思，我并不是说中国的教育体系做得不好，中国其实在一些方面做得非常好。如果美国的学生可以更自律一点，多做一些练习，可能就会更好。直到今天，我还能心算，我经常用心算来做加法，但我的孙辈们却做不到。所以在我看来，不应该让一个二年级学生死记硬背乘法表，但是可以激励他们去练习，从而掌握乘法表，也能进行心算。心算三位数相加并不是那么难，你只需要去练习。我并不想对中国教育体系进行任何负面的评价，因为他们确实有些地方做得很好，但美国也有一些方面做得很好。最好的教育体系可能是在两者之间的某个位置——吸取双方的优点，这样我们就能拥有更好的教育。

同样的情况，有些人觉得要取得成功就得知道很多知识。当然，你确实需要掌握不少知识，但获取大量知识的方式却因人而异。遗憾的是，我认为有些本可以为社会做出巨大贡献、成为优秀科学家和工程师的学生却被排除在外了，因为目前的学习方式并不是最适合他们的学习方式。这就是为什么我觉得需要某种融合，比如“项目式学习”。当然即便在“项目式学习”中，孩子们也还是要通过课程学习核心内容。人们对“项目式学习”其实存在很大的误解。拿我在美国经常用的例子来说，足球，规则相当复杂，但每个踢足球的孩子都知道那些规则，而且并没有人给他们专门授课讲解，他们是通过“踢球”学会的。如果你尝试给不踢球的人解释越位规则，那是极难理解的，但没有一个踢足球的孩子不知道越位规则，一旦发生了越位，他们都会当场喊出来。他们怎么知道的呢？不是因为他们坐着听别人讲解规则，而是因为他们踢过，有亲自实践。我觉得我们常常会忽视这一点，没有真正让孩子们去“做”科学。让孩子们去“做”，他们不仅会学到一些极具挑战性的概念，同时还能真正学会如何进行科学活动。他们将学会如何进行科学实验，如何开展探究，如何绘制模型，但我们常常没有给孩子们这样的机会，我们觉得知识的积累比学会如何运用知识更重要。但如果我们要解决当前存在的一些问题，仅仅有知识是不够的。

笔者：的确是这样。另外，对于一位科学教师而言，不仅需要具备一定的科学知识背景与教学能力，还需要对科学的本质有所理解。美国在职前培训及在职实践过程中，是如何培养科学教师这方面素养的呢？

Joseph：我们国家有一些非常著名的科学教育家。很遗憾，最近有一位去世了，诺曼·莱德曼（Norman G. Lederman）博士，他对科学本质有着深刻的理解，在中国也是知名人物。还有理查德·杜施尔（Richard A. Duschl）博士，他们两位是美国科学教育以及科学本质研究领域的领军人物。

如果有人问我，如何将科学本质的理念融入科学教育中？我推崇“项目式学习”，原因之一就在于它反映了科学的本质。科学本质的一个重要原则是，我们必须用证据来支持自己的主张。怎样让孩子们明白这一点呢？一种方法是让他们死记硬背，但这样做有什么用呢？一句话背诵起来很容易，但在实践中到底意味着什么呢？在很多关于科学本质的教学中，我让孩子们写下主张，并提供证据支持。这样，通过实践，他们就会明白在科学领域，必须有证据来支撑自己的观点。

科学本质中另一个非常重要的理念是什么呢？那就是构建模型，这些模型并不是用来“再现现实”的，而是对世界的运行方式进行解释。通常，这些模型是暂时的，随着新证据的出现可能

会发生变化。世界上很多人，不只是在美国，而是全球各地，都不理解这一原则，即科学家常常提出模型，但这些模型会根据新证据而改变，这就是科学的本质。换言之，我们提出一个最能符合全部证据的最佳解释，如果有新证据出现，模型就要改变以更好地与这些证据保持一致。如何让人们理解这一点呢？你可以让他们阅读相关内容，也可以直接告诉他们。但须再次强调，真正的理解来自他们亲身经历。当孩子自己构建一个模型，然后获得与他们模型相关的新证据时，他们会想：“我得改变我的模型，因为它不再符合所有证据。”那么，他们就会真正理解：在科学领域，我们提出的观点是暂时的，会随着新证据出现而改变。对孩子们来说，了解这一点至关重要，而帮助他们真正理解的方法就是让他们亲自实践。

另一个非常重要的理念是，科学具有创造性，我们创造概念来解释事物。科学不仅仅是“发现”世界，而是创造一种能够理解世界如何运作的方式。在我看来，要实现这一点，就是让学生身处这样的情境：学生们提出想法，比如“我们试试这个想法”“我们试试那个想法”“我们这么做吧”“看看哪个可行”。但如果你不让孩子们处于这类情境中，不让他们去尝试，他们就无法理解创造力是科学的一部分。所以，如果有人问我，如何真正将科学本质融入科学教育，我会说，你必须在学校里落实这些做法，你必须让学生通过“做科学”来学习，让他们亲眼看到科学是如何实际运作的。顺便说一下，我提到的两位科学教育家，在这些问题上有些意见一致，也有些地方并不完全一致^①。

笔者：谢谢您的回答。不管是何种形式的教学方式，科学总是和“现象”息息相关的。但我们也发现，很多中小学科学教师在开展现象驱动的科学教学时常常面临挑战，您觉得他们为什么会遇到这些挑战？我们应通过哪些方法来帮助他们？

Joseph：这是一个很好的问题。我教了8年高中化学课，我们总要讲授元素周期表那一章。虽然元素周期表在化学里是一个非常重要的概念，但如果我是16岁的话，真的会在意周期表吗？虽然我能死记硬背，但可能并不认为周期表本身重要。然而它在化学领域非常关键，理解其中的规律对化学发展至关重要。那么，在另一个名为“打造沉浸式科学环境”的环节中，我们设计了一个突破常规的单元，这个单元甚至不涉及元素周期表，我们管它叫“钠能吃吗？”钠不能吃，要是把一小块钠放在舌头上，舌头会像烧伤一样，疼得令人难以置信。于是我们就想出了激发孩子兴趣的点子。我们之所以将这种现象称为“现象”，是因为它确实具有现象属性。就像我拿一小块钠投入水中，必然会引发剧烈反应，这些现象正是我们试图通过引导学生接触现象来驱动教学的切入点。

这对教师来说是个挑战，因为他们毕生所受的教育都是以内容驱动的，而非以现象驱动的，而我们的工作恰恰高度依赖现象驱动，因此挑战在于帮助他们理解这种方式如何成为真正的激励因素。对学习者的而言，无论是幼儿园到16岁阶段，还是更年长的群体，这都是提高参与度的关键。目前我正与本校一位物理教授合作，他负责教授物理课程。我们再次面临大量大学物理课程，多数内容都集中在某个物理瞬间，我们中的大多数人其实根本不明白其中一半的概念。为什么我必须了解“冲量”？为什么我要学习“力”？所以他正在改变教学方式，让教学由现象驱动的核心问题引领，这样才能真正激发学习热情。美国教师已经认识到：若想让学生真正学到知识，

^① 诺曼·莱德曼教授与理夏德·杜施尔教授在科学本质观上分别持有不同的观点。莱德曼教授认为科学本质的教学应该采用直接、显性的方式，例如科学史案例，因为学生难以自主领悟科学本质；但杜施尔教授认为应通过交流协商、模型构建等沉浸式实践体验学习科学本质。可以看出，科瑞柴科倾向于杜施尔教授的观点。

首先必须持续保持他们的学习热情。若无法激发兴趣，不能让大多数学生投入，他们永远无法真正接触学习内容并坚持下去，这正是核心挑战所在。

五、共同愿景与协同整合：美国科学教育体系的实践经验

笔者：感谢您对美国科学教育及教师培养等方面的介绍。最后，可否请您概括一下，您觉得美国当前的科学教育体系中哪些方面最值得学习和借鉴？

Joseph：我想我刚刚已经提到了一些。那我可以从头说起，我认为《框架》确实有助于构建一个非常好的愿景，即设想出我们如何切实帮助各类学习者真正理解很具挑战性的概念。在我看来，NGSS将三个维度整合起来，这一理念是它的重要贡献，但起初这对教师来说极具挑战。该框架提出的另一个具有挑战性的理念是：科学教育需要关注学习进阶，就是说在某个年龄段教授一些概念，然后在另一个年龄段基于这些概念进一步拓展。一开始不会给学生呈现完整的模型，第一次只讲一点，但这一点依然是这一科学概念的核心所在，这也是科学核心概念如此重要的原因之一。

我给你讲一个我特别喜欢的例子。在三年级这个阶段，NGSS有一项“表现预期”是孩子们要知道如果力是平衡的，物体就不会移动；如果力不平衡，物体的运动状态就会改变，要么加速，要么减速，要么停止。这实际上是个相当难的概念，它涉及牛顿第一定律和第二定律（反正我老是把这两个定律搞混）。不管怎样，这是个具有挑战性的概念。以前我们通常的做法是，差不多到中学才引入这个概念，直接就说“这就是牛顿第一定律”，然后孩子们就去背诵牛顿第一定律，但这并不能真正帮助他们理解。接着他们上了高中，又接触到这个定律，还会有与之相关的公式，他们就去解题。但现在，如果我们的目标是在三年级时以定性的方式向孩子们介绍这个概念，比如让他们明白物体停下来的原因，是因为有一个力施加在了它上面，如果没有力施加，物体就会一直运动下去。所以要让物体动起来，就需要施加力；要改变物体的运动方向，也需要施加力；要让物体加速，同样需要施加力。如果看到物体的运动状态没有变化，那就说明所有的力是平衡的。我们采用这种循序渐进的教学方法，尝试随着时间推移逐步构建这些概念，这样到了高中，他们对概念定性的理解就能与未来更定量的理解真正融合起来。所以对我来说，进阶是框架中一个非常重要的理念，但很多人仍然没有理解。

我对当前科学教育欣赏的地方在于，我们有一个非常坚实的框架，我认为它仍在指导我们的工作。我们有一套不错的标准。如果有人问我，我们是否应该继续改进这些标准呢？我会说是的，从某种程度上可以，就像任何书面文件一样，事物是会变化的，所以我们可以去修改它们。但实际上我可能又会说不，原因是我想先坚持实施现有的标准。我们还没有在各个地方全面落实这些标准，但与此同时，我们确实因有了这套不错的标准而发生了正面的变化。我们首次有了一些真正不错的课程来与之匹配，就像你昨天听到的，“CREATE for STEM Institute”开发了一些很棒的内容，“OpenSciEd”^①也创作了一些好东西。所以我们现在有一些非常好的课程材料范例，它们与框架配合得很默契。同时，还有一些出色的教师专业发展项目在推进，因为要是没有专业发展，课程材料就毫无意义。无论是《框架》、NGSS还是课程材料，离开了优质的专业发展

① OpenSciEd 是美国 K-12 科学教育领域的教学法及课程资源体系，网址 <https://opensci.ed.org/>。

项目都没有实际价值。这里所说的专业发展项目，不仅针对教师，还包括管理人员。我们正在朝着这个方向努力。另外，我们也有了一些非常好的评估任务，能够切实衡量这种三维学习的效果。

我对美国当前科学教育欣赏的地方在于，所有这些要素都开始整合起来，特别是各个方面开始协同合作。我不知道今后由于科研资金短缺会出现什么情况，但目前各个部分正开始汇聚在一起，真正带来一些很不错的改变。

基金项目

国家社会科学基金（教育学）青年项目“‘国优计划’高素质教师培养的模式、效果与优化策略研究”（CIA240292）

作者简介

施悦琪，南京大学教育研究院特任助理研究员。研究方向：教师教育、研究生教育。

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。

何薇薇，密歇根州立大学教育学院博士研究生。研究方向：科学教育、学习科学。

周童，南京大学教育研究院硕士研究生。研究方向：高等教育人才培养。

Advancing Science Education Through “Scientific Practice”: An Interview with Joseph Krajcik, a Leading Expert in Science Education

Shi Yueqi¹, Ma Guanzhong¹, He Weiwei², Zhou Tong¹

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

2. College of Education, Michigan State University, East Lansing, 48824)

Abstract: How to prepare science teachers who understand science, appreciate science, and teach science effectively, as well as how to create a learning environment that are better aligned with the ways Chinese students learn, are pressing issues in contemporary science education. Drawing on his own experiences in learning and conducting research, Professor Joseph Krajcik—an internationally recognized scholar in the learning sciences and science education, emphasizes the importance of “doing science.” He argues that science teacher education should foreground authentic scientific contexts and scientific practices to bridge the gap between theoretical learning and practical experience. In classroom instruction, teachers should spark students’ inquiry interest by engaging them in the observation of phenomena and implementing project-based learning. Through such scaffolded inquiry processes, students can develop disciplinary core ideas

and attain a deeper understanding of the nature of science.

Key Words: Doing Science; Science Education; NGSS; Scientific Practice; Interdisciplinary Integration