

# 为 21 世纪的科学教师做准备： 美国研究型 STEM 教育模式

凯瑟琳·科尼格<sup>1</sup> 海伦·梅耶<sup>2</sup> 施悦琪<sup>3\*</sup> (译)

- (1. 美国辛辛那提大学物理学院；  
2. 美国辛辛那提大学教育、刑事司法和人类服务学院；  
3. 南京大学教育研究院，南京，210023)

**摘要：**随着社会对科学素养需求的日益增长，美国的 K-12 教育已经成为国家优先事项，而教师职前教育也成为 K-12 教育能否成功的关键。本文首先概述了美国的科学教师职前教育情况，重点介绍了诸如“下一代科学标准”(NGSS)等国家层面的政策如何影响了全美 STEM 教育的实践，并具体探讨了国家标准和基于研究的框架如何指导教师准备工作，以及如何加强从幼儿园到中学阶段的科学教学。然后，文章专门介绍了美国辛辛那提大学的教师准备示范项目，该项目融合了学科知识、教学论知识和实践经验，且强调探究式学习、技术融合和文化回应式教学法。文章还以“力与运动”为例，说明了如何设计一个能支持概念理解、提高职前教师科学教学质量的课程。此外，为了支持国际同行和政策制定者，文章还提供了美国教育证书制度的相关资源，以及相关专业组织和教育学院的网站链接。

**关键词：**科学教师职前教育；研究型教师教育；STEM 教育；美国科学教师；证书制度

科学与数学教育仍然是全球优先考虑的问题，但大样本的国际评估项目（比如 PISA、TIMSS）的调查结果表明，美国学生的得分要低于其他很多国家<sup>①</sup>。为回应这一问题，美国加大力度在科学、技术、工程和数学（STEM）领域实施更为综合的 K-12 课程。这些改革都强调要为

\* 施悦琪, shiyq@nju.edu.cn。

① 参考 OECD 公布的 PISA 调查数据 (<https://www.oecd.org/en/about/programmes/pisa.html>) 和美国国家教育统计中心数据 (<https://nces.ed.gov/timss/>)。

21 世纪培养具备科学知识和高级推理能力、创造性和问题解决能力的劳动者<sup>①②③</sup>。

在科学与数学领域的充分准备使得学生能够驾驭开放、新奇的情境，应对科学、工程和社会性挑战时也能设计出有效的调查<sup>④⑤</sup>。在一个危机和机会持续涌现的快速发展的社会中，形成可持续的科技竞争优势十分关键。因此，教育系统也迫切需要为学生打下坚实的科学与数学基础。与此同等重要的是，教师的职前教育也应涉及培养不同学习者深刻认识所必需的深厚知识和教学专长。

“下一代科学标准（NGSS）”旨在促进美国科学教育现代化，同时拓宽学生在 STEM 领域展开专业及职业探索的国家通道。在 NGSS 之前，尽管科学与教育研究领域均取得了显著进步<sup>⑥⑦</sup>，但科学标准已逾 15 年未曾更新。传统的教学模式主要侧重于离散事实的记忆，而非探究能力、批判性思维和真实问题解决能力的养成，以至于培养出的 STEM 劳动者往往缺少基础技能。NGSS 框架融合了学习的三个关键维度：学科的核心理念（科学的内容）、科学与工程实践（科学是如何被建构的），以及跨边界/交叉性的概念（跨学科的统一主题）。这些维度都在不同年级水平的预期表现中有所嵌入，定义了学生应该知道什么以及能够做什么。这旨在帮助学生随着时间的推移对科学形成更加连贯的、可应用和相互关联的理解。

此外，NGSS 旨在通过将科学教学转向探究驱动、学生中心的学习模式，以此影响包括课程设计、教师培养等在内的教育系统的方方面面。与传统模式将学科划分为相互孤立的领域不同，NGSS 鼓励跨学科的方法，反映了科学知识如何在真实世界情境中构建与应用。对教师的职前培训来说，这样的转变尤为重要，因为未来的教育工作者必须学会模拟最佳实践，例如探究式学习、问题解决和基于设计的推理，并需掌握培养学生创造性、批判性思维和问题解决能力的工具。华盛顿大学的“雄心勃勃的科学教学项目（Ambitious Science Teaching Program）”展示了 NGSS 原则如何塑造教师教育，并强调了一种基于现象的、严格的、对不同背景学生而言都可获得的学习<sup>⑧</sup>。通过在职前教师培训中贯彻 NGSS 的原则，教师教育项目能帮助确保教育工作者具备培养科学素养的能力，并为学生应对全球社会的复杂挑战做好准备。

## 一、美国教师教育项目概况

由于不同州在教师资格认定和许可条例方面的自主权不同，所以州与州之间在教师教育项目

① Bybee R, Fuchs B. Preparing the 21<sup>st</sup> century workforce: a new reform in science and technology education [J]. Journal of Research in Science Teaching, 2006, (43): 349.

② United States Chamber of Commerce. Bridging the Soft Skills Gap: How the Business and Education Sectors are Partnering to Prepare Students for the 21<sup>st</sup> Century Workforce [R/OL]. Washington DC: Center for Education and Workforce, U. S. Chamber of Commerce Foundation, 2017. <https://www.uschamberfoundation.org/reports/soft-skills-gap>, retrieved November 11, 2020.

③ National Science & Technology Council. Charting a course for success: America's strategy for STEM education [R]. Washington, DC: Office of Science and Technology Policy, 2018.

④ National Research Council. Education for Life and Work: Developing Transferable Knowledge and Skills in the 21st Century [M]. National Academies Press, 2012.

⑤ Singer S H, Hilton M L, Schweingruber H A. America's Lab Report [M]. National Academies Press, 2005.

⑥ Next Generation Science Standards [S/OL]. <https://www.nextgenscience.org/>.

⑦ National Research Council. Next generation science standards: For states [S]. 2013.

⑧ Windschitl M, Thompson J, Braaten M. Ambitious science teaching [M]. Harvard Education Press, 2020.

的结构及质量方面也存在显著差异<sup>①</sup>。目前,超过1200个公立和私立高等教育机构提供教师教育项目,招收大约50万学生<sup>②</sup>。美国教育部估计,每年有22万获得认证的教师从这些项目中毕业并进入劳动力行列<sup>③</sup>。

虽然各个州负责制定K-12教育教师的从教资格要求,但国家组织往往在制定教师能力和项目质量的基准期望方面发挥着至关重要的作用。这些组织包括教育者准备认证理事会(CAEP)、美国科学促进会(AAAS),以及具体的学科专门组织,例如全国科学教学协会(NSTA)和全国数学教师理事会(NCTM)。总体而言,这些组织指导着全国范围内的相关课程开发、实践评估,以及教师表现标准<sup>④⑤</sup>。

尽管努力在全国范围内保持一致,但各州在教师教育项目的内容和质量上仍然保留了差异性。这样的后果之一就是,某个州授予的教学许可证并不一定受其他州的认可。尽管40多个州之间签订了许可互惠协议,但其中许多协议是有条件的,要求新入职教师完成额外的课程作业或评估,才能在新州获得充分的许可。

目前教师教育相关的研究主要强调学科知识、教学实践和职业认同发展之间的一致性。实践研究的证据表明,当教师候选人在专家教师的指导下持续、深入地参与学术内容和反思性实践时,教师准备是最有效的<sup>⑥</sup>。最近一项国际性指南也持相同观点,并强调“理实结合”在培养教师学习和专业认同发展方面的价值<sup>⑦</sup>。总之,这些发现都进一步促进了美国不同领域尤其是STEM教育中的教师教育,向重点发展探究式学习、学科教学知识和基于证据教学策略的研究-导向模式转变。

### (一) 教师教育项目的性质

如前所述,本科和研究生教师教育项目的内容大多由国家层面法律、州层面法规<sup>⑧</sup>和专业组织决定。然而,为了确保教师候选人的知识获取广度,大多数本科专业要求前两年先接受通识教育,紧接着完成2—3年的具体科目和专业教育的课程任务。中等教育学段(高中)的许可证发放要求本科生们在所选择的学科领域学习大量的课程,并能获得与该领域紧密相关的本科学历(即物理学学士学位),而考取初等教育许可证的学生则需要在包括英语、数学、科学、人文和艺术在内的更为广泛的学科范围内修读课程。专业教育阶段的课程主要被安排在项目最后,通常由课堂管理、特定学科教学方法、教学技术、人类发展、特殊教学论和多元文化教育等课程组成,还包

① U. S. Department of Education. Preparing and credentialing the nation's teachers: The secretary's 10th report on teacher quality [R]. 2016.

② National Center for Education Statistics (NCES). Digest of Education Statistics, 2022 [R]. U. S. Department of Education, 2023.

③ 数据来自美国教育部网站(U. S. Department of Education, [www.ed.gov](http://www.ed.gov)).

④ Council for the Accreditation of Educator Preparation (CAEP). CAEP Accreditation Handbook [M]. 2022.

⑤ National Science Teachers Association. Standards for science teacher preparation [S/OL]. <https://www.nsta.org/nsta-standards-science-teacher-preparation>.

⑥ Darling-Hammond L, Flook L, Cook-Harvey C M, Barron B, Osher D. Implications for educational practice of the science of learning and development [J]. Applied Developmental Science, 2020, 24 (02): 97.

⑦ Menter I, (Ed.). The Palgrave handbook of teacher education research [M]. Palgrave Macmillan, 2023.

⑧ Ohio Department of Higher Education. Education Preparation [EB/OL]. <https://highered.ohio.gov/educators/academic-programs-policies/academic-program-approval/educator-preparation>.

括实地体验和教学实践,使学生能够将理论知识应用于课堂实践。

教师教育项目的结构在不同的机构之间也存在差异,大多数是4年本科项目,只有少数需要5年并且可能提供硕士学位的项目,还有一种证书项目。4年制本科项目提供学士学位,主要结合了前文所述的通识教育、学科课程和专业教育课程。这类项目比5年制项目更有性价比,但并不一定给予教师候选人足够的时间获得足够的学科知识,特别是在科学和数学方面。不授予硕士学位的5年制项目能够提供更多的时间使学生积累深厚的学科知识,但对学生的吸引力明显不足,成本效益也不高。授予硕士学位的5年制项目要求学生在所选的学科中先获得一个本科学士学位,再花费一年或几年的时间完成研究生层次的专业教育课程或学生教学。后一门课程通常被运用于教育学硕士学位项目中。尽管这种项目增强了教学领域的专业性,学生还能获得更高级学位,但学科知识课程与专业教育课程,以及实践经验的分离可能不利于这些教师在未来课堂中的实际表现。

替代性的许可项目通常存在于教师短缺的学科领域和年级层面(即中等科学与数学)。这种特殊项目下的执照要求由州设定,几乎所有州都要求候选人都必须持有学士学位,但各州在具体要求上仍然有所不同<sup>①</sup>。典型的课程包括专业教育课程和实地体验,在完成项目之前,候选人还需在实际教学岗位上实习。候选人必须满足州政府对学科知识的要求,所以可能还需完成额外的本科课程。虽然替代性许可项目可以满足候选人更高教学职位的需求,但并不一定允许候选人有足够的时间在课堂实践之前提高教学技能。

无论教师教育项目的周期或性质如何,完成认证项目的人都必须向所在的州教育部门申请初级教学证书或许可证。其他州的要求通常还包括通过州教育委员会规定的测验(即实践测验)<sup>②</sup>,以及州政府与联邦政府(FBI)的背景调查。一旦获得初级证书,拥有者必须按照州教育部门规定的时间和标准定期更新证书(通常需要接受额外的课程任务)。

## (二) 科学教师教育项目改革

即使出台了州级的培养标准,教师教育项目的质量也存在较大差异。鉴于教育在美国的重要性,尤其是在科学和数学等关键领域,更好的教师教育至关重要。教师教育项目不仅要使教师在当前的K-12背景下能开展有效的教学,而且必须培养具备改善K-12教学所需知识与技能的教师,以满足21世纪学生们不断变化的需求。

作为高等教育机构的资源指南,美国国家科学教师协会(NSTA)在回顾专业文献的基础上,结合下一代科学教育标准<sup>③④</sup>制定了《科学教师培养标准》。以培养拥有科学素养的公民为目标,NGSS概述了预科学生不同年级阶段需要知道什么、理解什么和能够做什么。由于NGSS的实施涉及美国科学教育方式的重大变革,因此在教师教育项目中融入这些标准对其成功至关重要。举例来说,NGSS将科学定位为一种积极的意义建构过程,这一过程不仅包含观察、推理和探究

① Ohio Department of Education. Alternative Resident Educator Licenses [EB/OL]. <https://sboe.ohio.gov/educator-licensure/licensure-pathways/alternative-resident-educator-licenses>.

② Educational Testing Services [EB/OL]. <https://praxis.ets.org/>.

③ National Research Council. Next generation science standards: For states [S] 2013.

④ National Science Teachers Association. Standards for science teacher preparation [S/OL]. <https://www.nsta.org/nsta-standards-science-teacher-preparation>.

导向的标准研究活动,更延伸发展为基于证据的科学论证。学生必须将科学知识与推理及批判性思维技能结合起来,发展成自己对科学的理解,即对自然现象的解释,而不是提供一堆需要记忆的的科学事实来应付考试。由于这种教学方法和教师候选人在 K-12 教育接触到的东西非常不同,所以,教师教育项目必须在这些领域提供具体的培训。

NSTA 的《科学教师培养标准》支持 NGSS 的愿景,即没有熟练的专业教师,学生就无法拥有高水平的表现和科学素养。这些教师必须同时具备扎实的科学内容知识和学科教学知识,即了解如何教授特定学科的内容<sup>①</sup>。与 NGSS 相一致,教师被期望能通过实践科学引导学生更好地学习科学,例如采用探究式教学、工程设计,以及开发基于证据的解释等方法,这同时还强调相关技术和工具的精心整合,以支持调查和意义构建<sup>②</sup>。

## 二、美国辛辛那提大学教师教育示范项目

在辛辛那提大学这个大约有 45000 名学生的机构中,NSTA 和 NGSS 的建议已经被纳入其教师教育项目中的科学课程。本文的其余部分概述这些项目,详细说明它们如何吸收 NSTA 和 NGSS 的建议,以及大量注重扎实科学知识、强调教学知识和模拟最佳教学实践的课程。

辛辛那提大学提供 4 种主要的教师教育项目,分别是小学教育(学前阶段—5 年级)、中级幼儿教育(4—9 年级)、干预专家(特殊教育从幼儿园到 12 年级)和青少年与青年教育(7—12 年级)。小学教育项目是最受欢迎的,通常每年有 75 名毕业生。初中项目规模较小,每年有 30 名毕业生,其中约 65%—80% 的学生选择主修科学和/或数学方向。青少年与青年项目每年大约有 75 名毕业生,其中大约有十几名追求科学或数学的许可证书。

### (一) 早期幼儿教育许可项目

辛辛那提大学的基础课程是教育部门提供的四年课程。学生想要最终获得早期幼儿教育学士学位,必须完成 120 个学时,其中包括 24 个学时的通识教育课程,54 个学时的专业教育课程,以及 45 个学时的学科课程。该项目旨在培养学生在识字与自然拼读、数学与早期算术、普通社会科学和自然科学等方面的理论和实践知识。同时教育课程还纳入了多元文化和全球视野。

学生在项目的前一两年完成大部分的通识教育和专业课程,在最后两年则进行专业发展课程和实地体验,即在当地小学跟班实习。此外,项目最后还包括一个学期的教学实习。学生一旦完成了许可项目并通过了相应的俄亥俄州教师考试<sup>③</sup>,他们就有资格获得俄亥俄州当地的小学教育(学前教育至 5 年级)教师许可证。该许可证规定毕业生有资格在托儿所、幼儿园、“开端计划(Head Start programs)”<sup>④</sup>和小学(K-5 年级)工作。

辛辛那提大学提供了一个特殊项目,攻读该学位的学生完成 3 门科学课程(化学、地球与空

① Shulman, L. Knowledge and teaching: Foundation of the new reform [J]. Harvard Education Review, 1987, (57): 1.

② National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Science teachers' learning: Enhancing opportunities, creating supportive contexts [M]. The National Academies Press, 2015.

③ Pearson Education. Ohio Assessments for Educators [EB/OL]. <https://www.oh.nesinc.com/>.

④ U. S. Department of Health and Human Services. Head Start [EB/OL]. from <http://www.acf.hhs.gov/programs/ohs/>.

间科学和物理学各一门)和4门数学课程。这些课程的设计旨在内容上与NGSS和俄亥俄州K-5年级的学术标准紧密对接,并强调以探究为基础的、动手操作的最佳教学实践<sup>①②</sup>。课程涉及综合性的讲座和实验体验,强调通过科学探究建构知识并创造科学解释。不同年龄层次的学科教学知识主要通过科学内容课程以及科学教学方法课程得以传授,而这些科学和数学课程都由文理学院开设而非教育与人类服务学院。

## (二) 中级幼儿教育许可项目

中级幼儿教育(MDL)许可项目为期4年,共120个学时,学生将获得中等教育方向的教育学学士学位(BSED)。该项目要求学生完成两个传统学科领域的专业课程,即语言艺术、数学、科学或社会研究,以及中级幼儿教育和轻度至中度特殊教育的专业教育课程。在此项目中,学生需要完成18个学时的通识课程,12个学时的阅读教学课程,每个专业领域内15个学分的学科内容课程,以及60个学时的专业教育课程,具体包括教学方法、教育实践和特殊教育课程,以满足特殊教育的许可要求。在项目的最后一年,学生们在第一学期进行他们主攻领域的教学实践,然后在第二学期转向另一个领域。完成项目后,学生需要参加每个主攻领域以及特殊教育领域的俄亥俄州教师评估(Pearson website)。一旦成功达到这些要求,学生就将获得俄亥俄州当地的中级幼儿教育(4—9年级)教师资格,以及轻度至中度特殊教育阶段干预专家许可证。

与早期幼儿教育项目类似,中级幼儿教育项目为学生专门设计了许多科学与数学课程。数学方向的中年级学生选修4门非专业数学课程和3门专业数学教育课程。科学方向的学生选修7门科学课程,其中4门非必修课程,包括物理、生物和天文学等;3门涉及中等儿童教育的专门的科学教育课程,其中化学2门、地质学1门,均包含实验课程。

所有课程均与NGSS和俄亥俄州4—9年级的学术内容标准相一致,并强调探究式学习、科学解释和科学模型开发来示范最佳教学实践。虽然这些课程在性质上与早期幼儿许可项目提供的课程相似,但中级幼儿项目更强调技术的应用以支持教学和学习。例如,学生使用图形计算器和Vernier探针设备来收集和分析数据<sup>③</sup>。这些课程同样是由文理学院开设而非教育与人文服务学院。

## (三) 青少年与青年教育许可项目

青少年与青年教育(AYA)许可项目可以作为四年制本科项目(120学分)或作为三个学期的学士后项目(38学分)完成。辛辛那提大学提供英语/语言艺术、综合社会研究、综合数学、综合科学和物理的AYA许可。本科生要求在其方向下完成67%—80%的学位要求,这相当于大约40—65个学分,具体取决于不同学科的规定。此外,他们还需完成18学分的通识教育课程任务和40学分的专业教育课程任务,其中包括教育实践和学生教学。学士后学生通常在入学前已拥有其预期学科领域的学位,往往需要完成45个学分的通识及专业教育课程。在完成学生教学后,

① National Science Teachers Association. Standards for science teacher preparation [S/OL]. <https://www.nsta.org/nsta-standards-science-teacher-preparation>.

② Ohio Department of Education and Workforce. Ohio's Learning Standards [S/OL]. <https://education.ohio.gov/Topics/Learning-in-Ohio/OLS-Graphic-Sections/Learning-Standards>.

③ Vernier Software and Technology. Vernier products [EB/OL]. <http://www.vernier.com/products.html>.

所有候选人都必须参加特定领域的俄亥俄州教师评估（OAE）考试<sup>①</sup>。通过考试的候选人有资格申请 7—12 年级的 AYA 当地教师许可。

不同于早期、中级幼儿教育项目，AYA 许可项目中的所有科学和数学课程都与 STEM 专业并列，并遵循标准的学科课程。这与 AYA 科学和数学许可通道的招生规模较小有关，候选人数量通常只有十几人。因此，这些课程一般由系级教员以大讲堂的形式讲授。尽管许多研究纳入了反映基于证据的教学实践的积极学习策略，但在这些设定中并不总能实现对最佳教学实践的清晰展示。然而，所有获得 AYA 认证的科学或数学专业的候选人都必须在教学方法上完成三门教学方法课程，每门课程都旨在培养强大的教学知识。第一门方法课程关注识别和解决中学生中常见的科学概念误解（science misconceptions），这强调支持启发和重塑学生思维的教学策略，例如“科学教学框架”中概述的现象教学法，以及基于建模的教学<sup>②</sup>。第二门方法课程的核心是基于 NGSS 所列的学科核心理念和科学工程实践，结合学生学习的研究、差异化教学原则和文化回应性教学法规划教学。高级方法课程向教师候选人介绍了科学教育中的形成性评价和总结性评价策略，以及注重工程实践、科学历史与本质的项目式学习方法。它还支持学生决策能力和高阶思维能力的发展，帮助未来的教师成为更具科学素养的公民。所有的方法课程都由专门从事科学或数学教育的教师讲授。

### 三、辛辛那提大学教师教育示范项目中的课程设置

#### （一）科学与数学专门课程

在早期和中级幼儿教育许可证项目中，包含了由学科教师和教育学教师团队共同教授的，以 NGSS 与数学国家核心素养标准（*Common Core State Standards for Mathematics* 2025，即 CCSS-M）为根据的科学和数学课程<sup>③</sup>。每门课程都与《俄亥俄学术内容标准》相对应，该标准定义了 K-12 学生跨越多个领域的学习结果，包括科学、数学、阅读、写作、社会研究和技术。科学标准按年级组织，细分为地球与空间科学、生命科学、物理科学、科学探究、科学技术、科学认知方式等领域。同样，将数学标准按年级划分为数感与运算、几何与空间推理、测量、代数思维、数据分析与概率、数学过程等领域。

这些许可项目中的课程大多以综合讲座或实验形式展开教学，且大多被设计为最佳教学的实践模式。探究式教学和教育技术的整合（如探测、模拟或绘图工具）是其核心。班级人数限制在 24—28 人，学生在 3—4 人的合作小组中学习，鼓励合作式解决问题和同伴支持学习。课程一般每周举行两次会议，每次 120 分钟到 170 分钟不等，以便学生更深入地参与教学内容和策略。

与 NSTA 的《教师准备标准》（*Standards for Teacher Preparation*）相一致，这些课程旨在为教师候选人提供坚实且恰当的内容知识，同时示范最佳教学实践。因此，课程开发过程运用了研究方法，内容前测与后测也被运用于指导大多数项目科学课程的修改与调整。由于这种课程开

① Pearson Education. Ohio Assessments for Educators [EB/OL]. <https://www.oh.nesinc.com/>.

② Windschitl M, Thompson J, Braaten M. Ambitious science teaching [M]. Harvard Education Press, 2020.

③ Common Core State Standards Initiative. Math Standards [S/OL]. <https://www.thecorestandards.org/Math/>.

发方法和教学设计通常贯穿于项目始终，所以下面重点介绍了一门课程，以详细说明如何在实践中应用这些原则。

## （二）“物理概念”：一门早期幼儿教育专业课程

“物理概念”是一门为早期幼儿教育专业设计的3学分（15周）的物理课程。一个由24名学生组成的班级，每周上2次课，每次2小时。这门课重点讲解与NGSS和俄亥俄州学术内容标准（幼儿园至3年级部分）相匹配的基础物理概念，例如力与运动、能量、静电、电路、光（颜色混合、反射和折射）。

这门课在每个主题下都开展了深入探讨，明确关注了研究文献中所报告的学生常见误解，培养学生在开展科学探究活动时必需的科学推理技能<sup>①</sup>。整个课程结合实际需要向学生逐步介绍并强化了这些技能，如提出问题，设计和进行调查，收集和分析数据，生成和评估解释，以及运用基于证据的推理等等。借助于这些反映真实科学实践的探究式经验，包括提供科学论证、合作与交流的机会，学生的知识得以建构形成。这样的基础确保未来的教师不仅能够形成扎实的概念性理解，也能使其获得在基础教育阶段开展有效的科学教学的信心与能力。

为了模拟科学教学中的最佳实践，这门课程纳入了适用于幼儿园至3年级学生的探究式、课堂测验活动。例如，NGSS幼儿园及3年级学段都要求在学习的“力与运动”主题下，引导学生思考“如何预测物体的连续运动、运动变化或稳定？”这一问题。虽然核心概念一致，但对学生预期表现的要求是随着年级而提高的，如表1所示。

表1 幼儿园与三年级在“力与运动”方面的表现预期对比

| 表现预期    | 幼儿园                                                                                                                                           | 三年级                                                                                                                                           |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 学科核心理念  | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 推力和拉力有不同的强度和方向</li> <li>● 推或拉一个物体可以改变它的速度或方向，可以开始或停止它</li> <li>● 当物体接触或碰撞时，它们会相互推动，从而改变运动</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 作用在物体上的每一个力都有强度和方向</li> <li>● 作用在物体上的力可能是平衡的或不平衡的，从而产生不同的运动</li> <li>● 物体无论是否接触，都可能对彼此施加力</li> </ul> |
| 科学与工程实践 | 计划并进行调查，以比较不同强度或方向的推和拉对物体运动的影响                                                                                                                | 计划并进行一项可控的调查，以探索施加力与物体运动之间的关系                                                                                                                 |
| 跨学科概念   | 因果关系：可以设计简单的测试来收集证据，以支持或反驳学生关于运动原因或运动变化的想法                                                                                                    | 模式：使用确定的关系进行预测<br>因果关系：为平衡力和不平衡力对物体运动的影响提供证据                                                                                                  |

为了支持课堂之外的参与和学习，在线讨论板被用于鼓励反思和同伴互动，学生可以贡献原创性的想法或回应同学的想法。学生需要定期完成家庭作业，内容通常与课内活动相联系，既可以作为课前的预习准备，也可以用于对课上内容的课后强化。在课堂上，学生以小组为单位合作学习、共同进行调查，每个小组成员同时在实验室笔记本上记录自己的观察和结论。老师根据学生在小组中的效率，以及与指导教师在关键节点讨论活动中的互动质量评估学生的参与情况。考试和测验强调科学推理和概念理解，而不是死记硬背公式。这种方法强调这样一个观点：物理学习，特别是对未来的教师来说，是关于如何科学地思考和推理。

<sup>①</sup> McDermott L C, Redish E F. Resource letter: PER-1: Physics education research [J]. American journal of physics, 1999, 67 (09): 755.

为了进一步说明表 1 中描述的 NGSS 预期如何被转化为有意义的课堂实践，我们在“力与运动”单元中描述了选定的课堂活动。该单元时间跨度约为 28 学时（不含作业），以“运动”的基本概念为起点，逐步深入理解力和牛顿定律。许多活动改编自经过研究验证的课程，包括“探究的物理”<sup>①</sup>和“生动的物理学：基于项目的探究方法”<sup>②</sup>。这些材料不仅影响了教学顺序，也指导了教学方法。例如，“探究的物理”强调通过精心设计的调查来发展概念理解的重要性，这些调查通常建立在学生已有的知识基础上，并结合常见误解，这也是指导早期“运动与参照系”相关课程的原则之一。同样，“生动的物理学”支持基于项目的模式，鼓励学生解答真实世界的问题，并利用科学实践来寻找答案。这种方法指导了学生设计的探究活动，其中一些将在后文中展示，这些活动有助于未来的教师在 K-3 课堂中模拟这种以探究为基础的、以学生为中心的学习。在这两种情况下，这些和其他资源不仅涵盖了关键内容，而且还示范了如何有效和自信地教授科学。

这些原则的实施从力和运动单元开始就很明显。第一个活动通过参照系的视角向学生介绍运动的概念。在小组中，学生被要求提出各种测量走廊长度的方法，例如计算步幅、地砖或用米尺。随后，全班学生就哪种方法得出的测量结果最一致、最有用展开讨论，并达成共识。这项合作任务为学生理解在描述运动时需要明确参照系奠定了基础。

然后，学生运用这一理解，在教室地板上构建一条长数轴，并用胶带标记一米的间隔。让一辆电池驱动的玩具车沿数轴匀速行驶，学生则对车的运动进行定性观察，如运动是否平稳、加速或减速等。然后，他们使用秒表记录车在每米标记处的时间，并创建位置与时间的关系图。通过他们的数据绘制最佳拟合线和分析斜率，使学生能对平均速度有更好的理解。这项活动还将对以不同恒定速度运动的第二辆玩具车进行再次测量，从而帮助学生进行比较和更深层次的分析。同时，学生会获得一些提示来帮助解释他们的图形，并将其与概念理解联系起来。

家庭作业要求学生基于图形描述运动，并反过来基于书面描述画出草图，从而进一步强化学生们的概念认知。此外，学生随后还将参与一项课堂调查，判断一个发条玩具的速度是否随时间发生变化，从而引入速度变化和加速度的概念。尽管为了简洁省略了活动的具体细节，但它展示了从恒定运动到变速运动的过程。

一旦学生建立了有关“运动”的扎实的概念基础，重点就转移到了力上。教学继续整合课内活动、作业和讨论板提示，以支持学生的学习。在第一次与力相关的活动中，学生需要识别两个物体之间是否存在相互作用，如一本书放在桌子上或两个磁铁靠近彼此。然后，他们开始识别作用于物体的力，并预测物体是否会加速，比如从地板上方静止释放的球。

随后的活动要求学生绘制力图，并开始计划和进行简单的调查。在一次调查中，学生研究了咖啡滤纸堆叠后从恒定高度落下时，其下落时间是否有规律可循，从而引发关于空气阻力和合力的讨论。之后，学生对牛顿运动定律展开探索，其中包括对牛顿第二定律的研究。此时，一台变速风扇推动小车沿着轨道前进，同时拉动火花带，让学生分析小车的运动，并确定加速度与所受力的关系。这一探究强调了合力和加速度之间的因果关系，帮助学生超越相关性，理解运动源于不平衡的力。通过这种探究式的体验，学生能推导并内化牛顿第二定律所阐述的基本关系。虽然篇幅有限，无法详细描述每个课堂活动，但单元的流程展示了内容是如何从基础上建构起来的，

① McDermott L. Physics by Inquiry [M]. Wiley, 1996.

② Eisenkraft A. Active physics: A project-based inquiry approach, It's About Time [M]. 2010.

并与表 1 所示的 NGSS 的预期表现保持一致。这种建模对于未来的早期幼儿教育工作者来说是至关重要的，因为它反映了他们在向未来的学生介绍科学概念时需要采用的方法。

#### 四、结语

当代社会对具有科学素养的人口和为 21 世纪做好充分准备的劳动力的需求与日俱增，这不断塑造着美国的国家教育话语和政策，K-12 科学教育的改革仍然是重中之重。教师教育项目在实现这一目标中发挥着举足轻重的作用。全国科学教师协会与制定 NGSS 标准的牵头组织——Achieve 密切合作，修订和重组了 NSTA 科学教师准备标准，并制定和实施了职前和在职科学教师的专业发展指南，以确保所有儿童在整个学校生涯中都能获得高质量的科学指导。

尽管有这些国家指导方针，但美国科学教师培养项目的结构和质量仍然存在重大差异。本文对美国科学教师培养进行了广泛的概述，强调了项目差异，并提供了美国各州的特定许可证要求，以及美国教育学院目录相关的链接。

为了说明如何有效地落实国家标准，本文深度介绍了一个以辛辛那提大学为基础的教师教育项目的例子。该模式说明了早期幼儿、中期幼儿和中学科学教育的许可证发放路径如何能够有效地与国家框架保持一致，同时保持对地方需求的响应。幼儿教育专业的特色课程展示了如何将探究式学习、概念支架、科学推理的显性发展等研究性实践融入课程任务。该课程以 NGSS 为基础，以经过研究验证的课程为支撑，为旨在通过研究指导设计加强科学教师准备的项目提供了一个可复制的框架。

#### 作者简介

凯瑟琳·科尼格，美国辛辛那提大学物理系教授，主要从事科学教育研究。

海伦·梅耶，美国辛辛那提大学教育、刑事司法与人类服务学院教授，主要从事科学教育研究。

施悦琪（译者），南京大学教育研究院助理研究员，主要从事研究生教育、高等教育政策与管理研究。

## Preparing Science Teachers for the 21st Century: A U. S. Model for Research-Informed STEM Education

Kathleen Koenig, Helen Meyer

(1. Department of Physics, University of Cincinnati;

2. College of Education, Criminal Justice, and Human Services, University of Cincinnati)

**Abstract:** As the need for a scientifically literate society grows, K–12 science education reform has become a national priority in the United States, with teacher preparation playing a critical role in its success. This paper provides an overview of U. S. teacher preparation, emphasizing how national initiatives, such as the adoption of the Next Generation Science Standards (NGSS), have influenced efforts to improve STEM education. Despite these reforms, significant variation persists in the structure, content, and quality of teacher education programs across states. As a result, this paper explores how national standards and research-informed frameworks can be used to guide teacher preparation and strengthen science instruction from early childhood through secondary education. Particular attention is given to a model teacher preparation program at a U. S. university that integrates disciplinary content, pedagogical content knowledge, and practice-based experiences. The program emphasizes inquiry-based learning, technology integration, and culturally responsive pedagogy. Using a sample unit on forces and motion, the paper illustrates how curriculum can be designed to support conceptual understanding and improve the quality of science instruction among pre-service teachers. To support international educators and policymakers, the paper includes resources on U. S. licensure systems and links to professional organizations and Colleges of Education.

**Key Words:** pre-service education for science teachers; research-oriented teacher education; STEM education; U. S. science teacher; licensing system