

核心素养视域下联合国教科文组织 STEM 课程框架探析



尹媛*, 罗荣华

浙江师范大学教师教育学院, 浙江金华 321004

摘要: 随着知识经济的快速发展, 国际社会日益重视培养学生的核心素养, 整合融通的 STEM 课程成为培养学生核心素养的主要载体与途径。2020 年 9 月, 联合国教科文组织发布了《当代 STEM 课程设计》报告, 提出了面向 21 世纪的 STEM 课程框架和相关评估理念。在核心素养视域下审视该课程框架, 可以把 STEM 课程的设计、实施、评估与核心素养理念结合起来, 有利于我国以课程建设为着力点, 提高 K-12 学生的 STEM 核心素养。报告把 STEM 课程框架要素分为 STEM 实践、大概念和能力导向, 并提出全新的以形成性评价为主、更加关注学生终身发展和个人能力提升的 STEM 课程评价理念。此外, 报告还提出了 STEM 示例模块和在线课程应用程序, 作为 STEM 课程实施的相关支持材料, 保障 STEM 课程的顺利实施。有鉴于此, 我国在通过 STEM 课程培养学生核心素养的过程中, 要注意: 提高 STEM 课程的概念整合程度; 发挥 STEM 实践的推动改革作用; 提升 STEM 教师的教学支持能力。

关键词: 联合国教科文组织; STEM 课程; 核心素养

DOI: [10.57237/j.edu.2022.01.014](https://doi.org/10.57237/j.edu.2022.01.014)

Analysis of UNESCO STEM Curriculum Framework from the Perspective of Core Literacy

Yin Yuan*, Luo Ronghua

College of Teacher Education, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004, China

Abstract: With the rapid development of knowledge economy, the international community has increasingly attached importance to the cultivation of students' core literacy. Comprehensive STEM courses become the main carrier and way to cultivate students' core literacy. In September 2020, UNESCO released the report "Contemporary STEM Curriculum Design", proposing the STEM curriculum framework and related evaluation framework for the 21st century. Examining the curriculum framework from the perspective of core literacy can combine the design, implementation and evaluation of STEM curriculum with the concept of core literacy, which is conducive to improving the STEM core literacy of K-12 students by focusing on curriculum construction. The elements of STEM curriculum framework include: ability orientation, STEM practice and discipline concept, as well as the activity content and organization arrangement of STEM practice and concept in each stage of k-12. In addition, the STEM new curriculum evaluation concept supports teachers to adopt formative teaching evaluation. Finally, the report also proposes STEM sample modules and online course applications as relevant supporting materials for STEM course implementation. In view of this, in the process of cultivating students' core literacy through STEM courses in China, we should pay attention to: improving the conceptual integration of STEM courses; Give play to the role of

*通信作者: 尹媛, yinyuan97@126.com

STEM practice in promoting reform; Improve STEM teachers' teaching support ability.

Keywords: UNESCO; STEM Courses; Core Quality

1 引言

一方面，随着“学历社会”日益转向“素质社会”，国际社会日益重视培养学生的核心素养。2001年，美国华盛顿“21世纪学习联盟”（Partnership for 21st Century Learning）推出了“21世纪学习框架”，以期培养学生的四大核心素养：生活与职业素养，学习与创新素养，信息、媒体与技术素养，关键学科与21世纪技能。此后，经济合作与发展组织(OECD)、联合国教科文组织(UNESCO)和欧盟(EU)分别提出了各自的核心素养指标体系，将发展青少年的核心素养作为教育的最终目标。[1]我国2016年出台的《中国学生发展核心素养》报告提出，核心素养是学生适应终身发展和社会发展需要的必备品格和关键能力，包括“文化基础”“自主发展”“社会参与”三个方面。[2]2018年，北京师范大学中国教育创新研究院和美国“21世纪学习联盟”联合推出了5C核心素养模型，包括文化理解与传承素养（Cultural Competence）、审辨思维（Critical Thinking）、创新（Creativity）、沟通（Communication）和合作（Collaboration）五个方面。[3]另一方面，以综合融通的STEM课程作为落实核心素养的必由途径的理念逐渐流行。STEM课程内容及其实施成为培育核心素养的主要载体与途径。[4]自美国“国家科学委员会”1986年发布《本科的科学、数学和工程教育》报告，首次提出“科学、数学、工程和技术教育集成”之后[5]，国际社会日益普遍认为，最有效、最先进的课程实施理念与实施模式是STEM（或STEAM）的理念与模式[6]。STEM课程作为一种融合课程，旨在培养学生应用跨学科知识解决真实问题的综合素养与能力。世界各国尤其是发达国家已经将其作为推进课程教育改革和创新型人才培养的重要方式，我国也从国家战略高度制定了STEM教育的政策与措施。

在知网上以“核心素养+STEM”为关键词进行检索，限定条件为核心期刊，检索结果仅有一百多条，远不及单独检索两个关键词搜到的文献数量多。检索到的研究也多是以STEM课程实施为路径，旨在培养学生的核心素养。可见STEM课程与核心素养的关系密切，在核心素养视域下审视该课程框架，可以把STEM课程的设计、实施、评估与核心素养理念结合起来，有

利于我国以课程建设为着力点，提高K-12学生的STEM核心素养。2020年9月，联合国教科文组织发布了《当代STEM课程设计》（Designing a Contemporary STEM curriculum）报告（以下简称《STEM框架》）。[7]报告介绍了STEM课程设计的背景与目的，提供了STEM课程教学与评估框架和STEM课程实施保障。这为STEM课程的设计、实施、评估以及培养学生的核心素养提供了最新的系统参考。

2 联合国教科文组织设计 STEM 课程的背景与目的

2.1 背景

21世纪，信息社会发展的重心逐渐转向信息、技术共同促进的产业变革，业已成为工业3.0转向工业4.0的一个显著变化。第四次工业革命是全球变革的主要驱动力，全球教育、政治、经济与文化都在发生变化。随着常规工作逐渐让位于非常规和更具挑战性的工作，个体未来的职业生涯有许多不确定性。社会对劳动力的要求日益提高，学生需要掌握更多的知识和技能。相关经济、教育议程也提出，在不断变化的全球格局中，应重新定义教育目的，即培养学生应对未来各种挑战的能力。有学者认为，STEM教育学习对“能力本位”“创新本位”的人才具有显著优势和意义，进一步印证了STEM课程是促进学生核心素养的重要途径。[8]2019年，联合国教科文组织发布了《探索21世纪的STEM素养》（Exploring STEM competences for the 21st century）报告。该报告基于STEM在非教育领域的重要性认为，STEM教育可以为可持续发展战略目标等全球性话题提供解决思路。该报告还从理论层面提出了综合的STEM素养框架、培养途径，以及将STEM素养融入课程框架的思路。[9]但在实践层面如何有效开展STEM课程，如何提升教师的教学能力，以及转变传统评价理念的问题仍未解决，仍缺乏整体性的课程实施框架。

2.2 目的

为应对迅速变化的全球、技术和经济现实所带来的生活和工作挑战,社会需要具备 STEM 素养的工作者,这直接影响了学校人才的培养模式。在当前的大部分 STEM 课程实施中,虽然形式上提倡 STEM 综合素养发展,但仍倾向于采用以教师为主导的教学方式、非弹性学习以及 STEM 领域各学科独立的教学,学科内容经常以不支持学生能力持续提升的方式重复,相关学科大概念和实践活动也没有明确地体现。

基于此,联合国教科文组织与土耳其的麦凯宾学校合作,从实践层面构建了一个 STEM 融合课程框架和内容设计理念,以促进开发一个“世界级的科学、技术、工程和数学课程,即 STEM 课程,意在从当下的研究和实践中汲取最好的经验,并将其转化为有远见且实用的课程,促进 STEM 课程的落实,以促进学习者掌握持续学习和职业生涯所需的 21 世纪关键能力。报告强调以当下的内容、教师的知识和技能为基础,通过符合教育目的的创新教学、评价方法和 STEM 实践,逐步拓展知识、技能、态度和价值观的广度和深度,建立系统的 STEM 学习网络,来推动 STEM 人才的培养。这不仅对全球 STEM 教育的设计和应对第四次工业革命的挑战具有启示意义,也为世界范围内核心素养的传播与建立提供了途径。

3 联合国教科文组织提出的 STEM 课程框架

为弥补《探索 21 世纪的 STEM 素养》在 STEM 课程实施这一方面的不足,UNESCO 新近制定《STEM 框架》指出,STEM 课程的新变革是根据以下几点考虑的:1)当 STEM 知识与实践成为未来工作的核心,并为全球挑战提供解决方案时,学生却未具备 STEM 素养;2)当前各国学校开展的 STEM 教育并未让学生充分具备生活

和未来工作所需能力;3) STEM 教育没能更好地采用丰富的和跨学科的方法去帮助学生解决实际问题。基于此,该报告提出了一个指导性的 STEM 课程框架,阐明了课程创新的关键原则,并在《探索 21 世纪的 STEM 素养》理论基础上,从实践层面具体阐述了各年级、各学科领域里学生需掌握的大概念与 STEM 实践目标,阐述了能力导向、课程评估理念及相关教学软件来支撑教师教学,旨在发展学生的知识-实践的转化能力,培养学生的核心素养,更好的适应未来生活。

3.1 基于能力的 STEM 课程框架设计理念

在设计 STEM 教学方法以及构建课程内容和顺序时,联合国教科文组织强调的关键理念之一,即发展学生的宏观能力 (macro-competences), 包括“21 世纪技能”、“STEM 技能”和“一般能力”(general capabilities) 等。该报告通过对上述能力进行评估并整合其共同特征,最终形成一个包含七项宏观能力的框架,其中包括:1) 终身学习(包括好奇心、批判性和创造性思维);2) 自主能动性 (self-agency); 3) 工具使用和资源整合;4) 团队协作;5) 与世界互动;6) 跨学科;7) 多元文化。这七项能力与 5C 核心素养模型提倡的审辨思维、创造能力、合作能力、沟通能力、文化理解与传承能力高度契合,同时又与 STEM 学科密切相关。尤其是与世界互动,多元文化这两项能力,更是证实了跨文化能力的重要性。5C 模型中新增的“文化理解与传承素养”,就包括对本民族传统文化的认同、扬弃与传承,也包括对他民族文化的包容、理解与尊重。其作为五大素养的核心,对其他素养具有价值导向作用[4]。

该报告在此基础上开发了能力框架 (competence framework), 旨在发展与宏观能力方向一致的特定 STEM 能力,强调 STEM 学科和 STEM 实践的交叉,引导学生积极的从知识获取转化到实践应用。该框架具体描述了能力导向对“教”与“学”的影响。

表 1 能力导向引起的教与学的转变

	起初	转向
知识载体	教材	现象和真实问题
学习内容	关注知识内容本身	关注 STEM 实践和学科教学
组织方式	基于单一学科开展 STEM 教育	多学科、跨学科的融合性 STEM 教育
教学方式	传统的教师主导	教师有策略地支持学生构建网络知识
学习方式	独立学习	互动对话和小组学习
教学评估	用评估来评判学生	用评估指导以改进教学
学习价值	客观, 无价值	融入价值观和未来思维

3.2 STEM 课程框架

联合国教科文组织提出的 21 世纪 STEM 课程框架包括 STEM 实践、学科大概念、能力导向三个要素。

3.2.1 STEM 实践 (STEM Practices)

为提高学生的 STEM 素养，特别是培养其 STEM 态度和价值观，联合国教科文组织强调，STEM 教学必须从狭义的重视“知识”获取转变为引导学生进入 STEM 实践活动。STEM 的核心特征是利用科学、数学、技术、工程知识来解决日常或社会问题，使科学、技术、工程和数学的学习更有意义，这也是 STEM 实践的社会意义。基于美国国家科学协会的观点，该报告提出，STEM 实践本质上是学习者在调查现象、开发并修正模型、分析数据以及解决实际问题过程中的态度、价值观和行为。^[5]为了明确 STEM 学科“实践”活动步骤，联合国教科文组织在美国《下一代科学标准“科学和工程实践”》(Next Generation Science Standards ‘Science and Engineering practices’)的基础上，将数学、科学实践整合形成“STEM 实践”，包括：运用跨学科思维；提出、界定问题；开发和使用模型；设计和实施调查；分析和解释数据；建构科学解释和设计工程方案；参与基于证据的讨论；获取、评价和交流信息。^[6]

3.2.2 大概念 (Big Ideas)

STEM 大概念是指 STEM 领域的核心概念，是能够使离散的各类学科知识概念有意义地联系的上位概念。^[7]它涵盖跨学科的横向联系和学科内部的纵向联系，具有较强概括性、永恒性、普遍性、抽象性。大概念框架是基于奥苏贝尔 (David Ausubel) 的“有意义学习理论”，其核心是建立新旧知识之间非人为的、实

质性的联系。

新课程中的大概念以探究性问题为框架，体现了 STEM 的本质，即源于真实问题，并试图回答这些问题的一组学科。这类“大问题”旨在为所有 STEM 学科的学习提供背景和框架结构。在整个小学到高中教育阶段，对 STEM 采取综合或跨学科方法，使学生具备坚实的理论基础，使他们能够就社会和世界的问题提出创新的解决方案。新的 STEM 课程旨在支持学生逐步建立对“大概念”的全面理解，并能够在各种情况下回答这些大问题。将跨学科大概念和相关探究问题进行有效结合，有利于有效贯通 STEM 各个学科和培养学生的 STEM 素养，为核心素养的建立奠定基础。

3.2.3 能力导向 (Competence Approach)

联合国教科文组织认为，实施新课程的目的是发展学生的专业知识能力和一般能力（如解决问题能力），但传统课程总是将这两个维度的教学分离。联合国教科文组织在《探索 21 世纪的 STEM 素养》报告中强调，以能力为基础的课程的时代已经到来，其中 STEM 具有重要作用，我们需要确定并明确青年一代在 21 世纪生活可持续发展和健康生活所需的能力。5C 核心素养模型提倡的文化理解和认同能力，质疑批判和反思能力，创新性解决问题能力，沟通协商能力正是“21 世纪学习框架”的内容，这些能力就是学生发展必须具备的一般能力。STEM 课程就旨在通过知识学习及 STEM 实践的协同合作，提升学生的专业知识能力和一般能力。

3.3 STEM 课程评估理念

在新的能力导向的 STEM 课程中，需要在课程评估方面进行重大的转变，如表 2 所示：

表 2 评估理念的转变

	过去	现在
评估对象	易测量的对象，如考试成绩	支持学生取得进步的对象，如人格健全
评估时间	在任务或学期结束时	全程性评价，融入规划，教学，学习全过程
评估手段	测试，考试	方式多元，灵活
评估意义	判断学习者的等级水平	支持学习者不断取得进步
评估重点	关注已经掌握的知识和技能	了解未来应学习的知识和技能

从上述转变可见，新课程强调的评估理念更关注对学生未来学习产生的影响，可用于个性化学习和监控学生在不同学习阶段的思维，包括学生的自我监控。

而实现这一转变需要社会、学校、教师、家长等多主体的合作，在学习上支持学生能力发展。这与核心素养的理念不谋而合，它强调学习不仅仅在于知识的习

得, 一系列素养的建构是立足于未来社会需要, 为个人的终身发展和能力提升而服务。

4. 联合国教科文组织 STEM 课程 实施保障

4.1 示例模块

STEM 课程中倡导的能力导向的课程教学并非一成不变, 它可以在课堂中以多种教学模式实施。教师可以同时整合多个学科的主题进行教学, 或在独立学科中分别授课, 但要注意学科之间的顺序和协调。该报告在课程应用程序中, 针对课程的不同部分, 提供了八个示例模块, 并简单列举了可能的教学模式, 虽然这些示例模块来自不同的年级和学科, 但仍有以下共同特征: (1) 关注“大概念”(2) 注重专业知识能力和一般能力的掌握 (3) 以形成性评价为主 (4) 为学生提供活动前的知识准备 (5) 通常包括与目标概念和活动有关的常见误解、学生可能面临的挑战, 以及教学策略建议 (6) 强调将模块内容与学生的经验联系起来 (7) 活动描述 (8) 教学指导 (9) 提供额外资源, 如相关网站。

这些示例模块并非用于取代教学材料, 相反, 它们被作为示例, 帮助教师了解如何将实践和大概念整合到课堂环境中。在教师专业发展中, 教师可以编写自己的活动和模块, 并融入能力导向。

4.2 课程 APP

为了确保教师能够灵活地使用课程和教学材料, 21 世纪 STEM 教育合作伙伴关系组织(The 21st Century Partnership for STEM Education, 简称 21PSTEM) 根据在埃及和波斯尼亚的课程工作经验, 资助开发了“综合课程应用”(Integrated Curriculum Application) 程序。该应用程序提供了课程的所有相关背景信息, 可按学科和年级条件筛选并查看学生能力。在显示学生能力的页面上, 教师可以查看学生已经与大概念和实践建立的所有联系, 以此了解学生的学习水平。其次, 该应用程序为教师提供了有效的教学支持, 可以在同一学科内组织能力, 或在不同的学科能力之间建立联系, 并将选定的课堂活动和评估信息添加到每个教师定制的“详细页面”中, 以此实现个性化教学。此外, 该应用程序加载了近 1000 个学生在科学和数学方面的常见误解, 可以根据教学单元、学期主题或未来的重大社会

挑战来组织这些联系和资源。

4.3 教师支持

有研究表明, 教师支持可增进师生关系, 提高学生学习投入水平, 诱发学习动机, 还能改善学生心理健康水平, 有效提升学生的学业成就。[10]该报告提出可以在学科内以及通过跨学科的教师协作来安排跨学科的工作, 这在很大程度上, 既拓宽了可选教师的范围, 也加深了跨学科教学的深度。每个教师还可以选择性地对学生能力的结果做简短的支持说明, 即教师在学生的能力发展中, 做出的贡献以及针对学生能力存在的不足之处所要采取的提高措施。支持框架借鉴了前面的教学和评估框架。

5 思考

5.1 提高 STEM 课程的概念整合程度

希伯特·詹姆斯 (Hiebert James) 认为, 如果学生能主动将新学知识与已有的经验相联系, 进行有意义的学习, 这种关联的强度和数量越大, 学生对知识的理解越深刻。[11] STEM 教育需要有机融合科学、技术、工程与数学, 为学生提供整体认识世界的视角与机会。其中, 学生对各学科基础的核心认知和建立跨学科联系的能力是融合的关键, 即学科核心素养和一般能力的掌握至关重要。各学科大概念和跨学科大概念框架为 STEM 课程实施提供一些教学启示: 1) 重视问题情境创设的延展性。大概念基于真实问题构建, 故课程选取的任务情境需具备连续性和拓展性的特点, 让学生将所学知识与头脑中已有的知识网络建立实质性、非人为联系, 以便学生能够主动提取、筛选和应用相关学科概念解释现象、开发模型和设计解决方案等, 进而促进他们真正理解所学知识并学会应用。2) 重视大概念设计的梯度性。随着学生年级的增加, 在遵循学生的认知规律和已有的经验设计任务目标与内容的基础上, 每个年级、学科及其内部领域的概念和内容复杂度设计应从简单到复杂。教师应引导学生从提出问题解决方案到考虑其有效性, 考虑方案的标准从抽象到具体。

5.2 发挥 STEM 实践的推动改革作用

如何推进 STEM 课程的有效实施是各国中小学普遍面临的难题。STEM 新课程旨在将不同学科领域知识

与真实问题情境有机融合,从而有目的、有计划地组织课程内容。[12]传统课程通常花费大量时间让学生掌握术语、公式等脱离现实情境的细节内容,忽略了学生应用知识解决问题能力的培养,不利于学生核心素养的提升。同时,对于教师教学如何将 STEM 知识与现实问题联系起来,缺乏通用的指导方针或教学方法以供参照。[13]STEM 学习的过程本质上是解决问题的过程,同时也是学习如何解决问题的过程。在 STEM 课程教学中,教师应重视两个方面。一方面,构建知识情境,激发学生探究兴趣。当学生探索不同的情境时,他们会感知到不一样的知识,并需要通过一系列的实践来帮助他们学习更多关于解释现实世界和如何解决问题的知识。如英国课堂开发的“生态虚拟环境”游戏具有很强的代入感和挑战性,能在一定程度上激发学生的兴趣;另一方面,要确保 STEM 课程实践的连续性与层次化。八种实践活动在 STEM 领域的各年级中均有涉及,教师应将实践作为整个 K-12 学生的渐进学习目标,从简单到复杂,且保证学生在每个阶段里达到完全熟练的程度。根据不同年级设置与学生学习水平相适应的不同的实践任务,不仅能够保证学生具备完成探究任务的能力,提升其自我效能感,同时能够帮助他们认识到完成更深层次任务的潜在发展空间。

5.3 提升 STEM 教师的教学支持能力

2018 年,报告《澳大利亚学校中 STEM 学习的挑战》指出,STEM 教育研究领域的三个主要要素为教师、课程与学生。[14]联合国教科文组织首先从理论层面提出了 STEM 素养的综合框架,并给出了培养 STEM 素养的具体实施路径。随后从实践层面设计了基于大概念的探究性的 STEM 课程框架,并阐述了学生与课程相匹配的二维知识-实践培养目标能力导向和新评估理念。但课程理念的贯彻又依赖于课程实施者,教师依然面临着新的教学挑战。在核心素养视域下审视当前教师队伍,教师自身素质不达标,对相关理念不了解,更难以在教学实践中融入核心素养等问题是客观存在的,这严重影响学生 STEM 能力和核心素养培养的质量。因此,在未来研究里,积极探索转变教师的 STEM 传统教学观念、提升教师的 STEM 教学能力及核心素养理念,以及如何正确评价学习者的 STEM 素养的有效途径,是保障 STEM 课程框架落地的关键。可考虑从以下方向为教师教学提供支持:1) 高质量的教师专业发展。作为教师不断提升自身专业素养和教学能力

的重要途径之一,职前培训、入职培训和在职培训等均为关键环节,其培训方式、目标应与 STEM 新课程同步匹配,并一以贯之坚持核心素养理念,丰富教师专业素养内涵,提高教师专业发展质量。2) 可实践的评估标准。评估不再是判断学生成绩的标准,而是帮助学生学习和教师教学进步的手段。若没有一套贯彻新课程评价理念的评价方式支持教师教学,教师也难以判断学生具备知识和能力水平。

6 结论

本研究在核心素养视域下,深入分析了联合国教科文组织发布的《当代 STEM 课程设计》报告,从其背景目的出发,梳理报告提出的当代 STEM 课程框架和评估理念的转变,以及 STEM 课程的实施保障,突显了核心素养和 STEM 课程的相辅相成和相互促进。STEM 教育的跨学科性、培养创新精神与实践能力、面向未来等基本理念完美契合当下提倡的素质教育,也为核心素养的实现与推进提供了现实路径。在当前经济形势下,完善 STEM 课程设计与实施,提高 STEM 教育质量有助于我们抓住第四次工业革命的机遇,培养大批面向未来的高素质创新型人才,为经济发展、社会稳定、教育质量提升奠定良好基础。

参考文献

- [1] 张义兵. 美国的“21 世纪技能”内涵解读——兼析对我国基础教育改革的启示 [J]. 比较教育研究, 2012, 34 (5): 86-90.
- [2] 核心素养研究课题组. 中国学生发展核心素养 [J]. 中国教育学刊, 2016 (10): 1-3.
- [3] 何克抗.核心素养的内涵、特征及其培育 [J]. 中国教育科学(中英文), 2019 (3): 114-122.
- [4] 魏锐, 刘坚, 白新文, 马晓英, 刘妍, 马利红, 甘秋玲, 康翠萍, 徐冠兴.“21世纪核心素养5C模型”研究设计 [J]. 华东师范大学学报(教育科学版), 2020, 38 (02): 20-28.
- [5] National Academy of Sciences. A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas [R]. Washington: the National Academies Press. 2012.
- [6] National Academy of Sciences. The Standards-Arranged by Disciplinary Core Ideas. Next Generation Science Standards: For States, By States [R]. Washington: The National Academies Press. 2013a.

- [7] UNESCO International Bureau of Education. Designing a Contemporary STEM Curriculum [R]. Geneva: UNESCO International Bureau of Education, 2020, No. 39.
- [8] Marginson, S., Tytler, R., Freeman, B., & Roberts, K. STEM: Country comparisons. Melbourne: The Australian Council of Learned Academies. 2013.
- [9] UNESCO International Bureau of Education. Exploring STEM Competences for the 21st Century [R]. Geneva: UNESCO International Bureau of Education, 2019.
- [10] Marope, M., Griffin, P. & Gallagher, C. Future Competences and the future of curriculum: a global reference for curricular transformation. [R] Geneva: UNESCO International Bureau of Education, 2017.
- [11] 格兰特·威金斯, 杰伊·麦格泰格. 追求理解的教学设计(第二版) [M]. 闫寒冰, 宋雪莲, 赖平, 等译. 上海: 华东师范大学出版社, 2017:77.
- [12] Chi, M. T. Active-constructive-interactive: A conceptual framework for differentiating learning activities [J]. Topics in cognitive science, 2009, 1 (1):73–105.
- [13] 沙景荣, 看召草, 李伟. 混合式教学中教师支持策略对大学生学习投入水平改善的实证研究 [J]. 中国电化教育, 2020 (08): 127-133.
- [14] Pressick-Kilborn, K., Silk, M., & Martin, J. STEM and STEAM Education in Australian K–12 Schooling [M]. Oxford: Oxford University Press, 2021.