

国际 STEM 理念下中小学工程教育研究综述——基于 CiteSpace 知识图谱可视化分析

Overview of Engineering Education in Primary and Secondary Schools under the International STEM Concept——Visual Analysis Based on CiteSpace Knowledge Mapping

丁亚宁¹, 蔡慧英^{2*}, 李轶群³

¹²³ 江南大学 人文学院

1004035610@qq.com

【摘要】 随着国内外 STEM 教育迅猛发展, 工程这一学科逐渐被研究者们重视。为聚焦国际 STEM 理念下中小学工程教育研究的发展状况, 本文以 CiteSpace 为工具, 以 Web of Science 核心合集中该领域下国内外文献为研究对象, 对文献的关键作者、关键机构、关键词进行了统计以及聚类分析, 并对结果做出归纳和分析。基于此, 在跨学科融合、工程设计课程、教学实践、教育公平等方面提出研究建议, 以期为国际 STEM 教育理念下中小学工程教育研究与实践做出一些参考。

【关键词】 STEM 教育; 工程教育; 可视化分析; 中小学

Abstract: With the rapid advancement of STEM education globally, engineering has garnered increasing attention from researchers. To examine the development status of engineering education research in primary and secondary schools under the international STEM framework, this paper employs CiteSpace as a tool to analyze core collection literature from Web of Science. We conduct statistical and cluster analyses on key authors, institutions, and keywords within this corpus, summarizing and interpreting the findings. Based on these results, we propose recommendations for interdisciplinary integration, engineering design curricula, teaching practices, and educational equity, aiming to provide valuable insights for research and practice in engineering education at the primary and secondary levels under the international STEM education paradigm.

Keywords: STEM education, Engineering education, Visual analysis, Primary and secondary schools

项目基金: 本文系 2022 年江苏高校哲学社会科学重大项目《人工智能赋能中小学教师教研的治理策略研究》(课题编号: 2022SJZD037); 2024 年认知智能全国重点实验室智能教育开放课题《成式人工智能在中小学教师跨学科教学设计能力发展中的应用模式及成效研究》(课题编号: iED2004-M006) 资助

1. 前言

在全球化与科技迅猛发展的浪潮中, 培养适应未来社会需求的创新人才已成为教育的核心使命。STEM 教育打破学科壁垒, 将科学 (Science)、技术 (Technology)、工程 (Engineering) 与数学 (Mathematics) 深度融合, 通过项目式学习、问题解决等教学方法, 激发学生的创造力、批判性思维与实践能力 (程薇等, 2024)。在 STEM 教育的四大领域中, 工程教育作为“E”这一关键组成部分, 旨在培养学生工程素养、解决实际问题能力, 在促进学生综合素质的全面提升中发挥着不可忽视的作用。工程教育联结 STEM 各个学科、培养学生 21 世纪技能, 同时引导学生选择专业以及就业方向, 基于这些作用, 工程教育越来越受到重视。在国际教育领域, 许多国家已将工程教育纳入中小学课程体系, 并正在积极探索适合本国国情的工程教育模式和教学方法。美国通过校企合作强化工程实践能力培养, 但面临课程标准化与

教师培训不足的挑战；芬兰以跨学科项目为核心，其问题在于如何平衡学科整合与基础知识的系统性；东亚一些国家注重课程体系化建设，但存在实践环节薄弱、评价机制单一等问题。

可见，在国际 STEM 教育背景下，中小学工程教育仍面临着诸多亟待解决的问题。工程教育课程如何有效地适应并应用于多样化的文化和教育背景之中？工程教育如何影响学生的整体素养？如何培养具备工程素养的教师队伍？这些问题的解答，对于推动中小学工程教育的高质量发展起着至关重要的作用。而要深入探究这些问题，就需要对已有研究成果进行全面、系统的梳理与分析。知识图谱可视化分析工具 CiteSpace 为这一任务提供了有力支持。CiteSpace 能够通过对海量文献数据的挖掘与分析，直观呈现研究热点、趋势、关键文献与作者等信息，帮助研究者快速把握研究领域的大局，并确定潜在的研究空白和创新。因此，本研究拟利用该软件对国际 STEM 教育背景下中小学工程教育相关文献进行整理与分析，通过构建知识图谱，揭示该领域核心作者网络、研究机构、研究热点等，为后续的深入研究提供清晰的思路与方向。

2.数据来源与研究设计

2.1. 数据来源

本研究关注国际 STEM 理念下中小学工程教育的研究热点与发展趋势，因此样本的内容需要同时涉及“STEM”和“中小学”以及“工程教育”这三个主题。本研究选择 WOS 的 SCI、SSCI 数据库作为文献来源数据库进行检索，文献类型均为期刊论文。基于他人的检索策略（宋悦和林长春，2023），以及对不同检索词的尝试，最后确定 WOS 检索策略为：主题="engineering*" AND 主题="STEM" OR "STEAM" AND 主题="K-12" OR "secondary school*" OR "junior school*" OR "senior* school*" OR "middle school*" OR "primary school*" OR "elementary school*" OR "high school*"。时间线从 2015 年 1 月到 2024 年 12 月，共计 1,128 篇文章。在人工筛选剔除与研究主题不匹配的不准确文献，并使用 CiteSpace 程序删除重复文献后，总共获得了 190 篇权威有效国际文献。

2.2. 研究工具和方法

本研究采用 CiteSpace 软件作为文献分析工具，借助 CiteSpace 对国际 STEM 理念下中小学工程教育相关文献进行知识图谱的绘制，对作者、发文机构、关键词共现、关键词聚类、突现词检测等进行剖析，探索并分析中小学工程教育领域的研究热点及发展趋势，以期为该领域的未来研究方向提供前瞻性展望。

3.数据处理与研究结果

3.1. 关键节点分析

3.1.1. 关键作者分析 对文章的作者及其合作情况进行了解，有助于后续对其研究和发文趋势有更好的把握。从图 1 中可以看出，作者节点之间有零星的连线且多为大节点，分散点较多，这说明国际 STEM 理念下中小学工程教育领域发文量较多的作者们之间的合作较为密切，其他大多数为独立发表。表 1 列出了该领域发文量超过 3 篇的作者名单，其中 Guzey, S Selcen 的发文量位列第一。发文数量位居前两名的作者的研究主要都集中在早期，从 2020 年开始，Chiang, Feng-kuang 等逐渐成为该领域的主要研究者。



图 1 发文作者知识网络图谱

表 1 国际 STEM 理念下中小学工程教育的核心作者及发文数量

学者	年份	发文数量
Guzey, S Selcen	2016	10
Moore, Tamara J	2016	5
Chiang, Feng-kuang	2020	4
Chien, Yu-Hung	2017	3
Aranda, Maurina L	2020	3
Aydin-gunbatar, Sevgi	2021	3

3.1.2. 关键机构分析 对在国际 STEM 理念下中小学工程教育论文发表机构进行了解，有助于了解该领域的科研团队和科研实力。如图 2 所示，从研究机构知识网络图谱可以看出，发文量较多的机构是普渡大学系统（Purdue University System）、德州大学系统（University of Texas System）、俄亥俄大学系统（University System of Ohio），其中普渡大学系统发文量远超其他机构，主要原因是其拥有专业的工程教育学院和强大的多学科研究团队，同时，该校在工程教育领域有着长期的研究积累和深厚的学术传统。

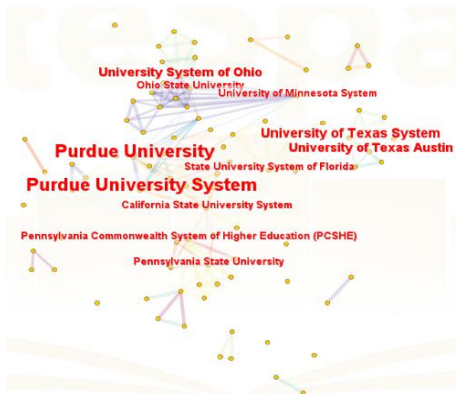


图 2 研究机构知识网络图谱

3.1.3. 研究主题分析 关键词是文献内容的高度概括和文献主题凝练表达的核心词汇，高频关键词通常被用于确定一个研究领域的热点问题（陈睿，2019）。本文通过关键词共现功能，从出现频率、中介中心性、突现强度等方面揭示国际 STEM 理念下中小学工程教育发展的热点和趋势研究，如图 3 所示。每个年轮状节点各自对应一个关键词，节点的面积及标签字体的大小直接反映了该关键词出现的频率高低，面积与越大，表明其出现频次越高。在图 3 所示的关键词可大致归纳为三个方面：(1) 跨学科整合方面，主要涉及“science”、“mathematics”、“stem education”。STEM 教育强调科学、技术、工程和数学的跨学科整合。研究者们通常以一门学科为基础，融合 STEM 教育中的其他几门学科展开研究，通过跨学科的教学方法，

帮助学生构建全面的知识体系，增进他们应对复杂问题的能力。（2）工程设计与实践方面，主要涉及“engineering education”、“engineering design”、“design”。工程设计是工程教育的重要组成部分，工程教育最终的落脚点在于实践，因此工程教育强调学生通过项目的设计和实施来解决现实世界的问题。例如美国大多数学校与校外企业合作，打造真实的工程教育环境，从而为学生提供真实的工程问题和解决问题所需的相关设备，培养学生的创新思维和实践技能。（3）学生中心的教学方面，主要涉及“students”、“attitudes”、“knowledge”。研究者们强调学生在工程教育中的主体地位，重点关注学生的学习态度和知识获取情况等方面。许多学者期望通过分析学生对待 STEM 教育课程的态度，改进教学方法，从而提升学生的自我效能感。此外，他们通过项目式学习、合作式学习和探究式学习等以学生为中心的学习方式，使学生积极参与学习过程并增强学习效果。

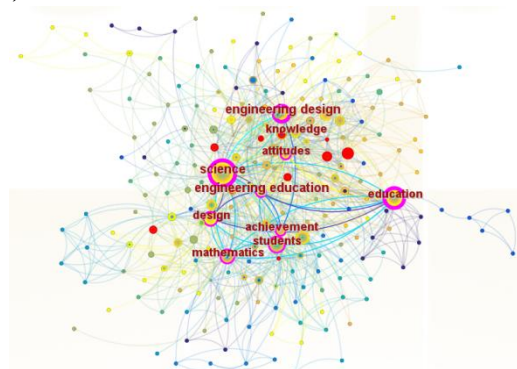


图3 关键词共现图谱

Top 12 Keywords with the Strongest Citation Bursts

Keywords	Year	Strength	Begin	End	2015 - 2024
hands-on activities	2015	1.2	2015	2016	
elementary school	2016	1.96	2016	2020	
stem integration	2016	1.77	2016	2019	
students	2017	1.39	2017	2018	
classroom	2016	1.26	2018	2019	
science education	2016	1.89	2019	2020	
participation	2020	1.51	2020	2021	
school	2020	1.25	2020	2021	
thinking	2020	1.24	2020	2024	
teachers	2020	1.24	2020	2024	
impact	2020	1.6	2021	2024	
self efficacy	2022	2.17	2022	2024	

图4 关键词突现

3.1.4. 前沿分析 本文通过使用 CiteSpace 软件对检索到的文献进行共现关键词 timeline 分析可以得到与“STEM 理念下中小学工程教育”共现关键词的时间线图如图 5。在软件中利用突现词检测等功能，可以清晰地看出国内外 2015 年~2024 年间 STEM 理念下中小学工程教育领域的发展变化情况。

从图 4 和图 5 中可以看出，在 2015 年至 2020 年期间，国内外研究者们对 STEM 理念下中小学工程教育的早期研究内容主要集中于“hands-on activities”和“elementary school”。这些关键词在 2016 年前后被大量提及与引用，突现强度分别为 1.2 和 1.96。随着 STEM 教育的深入发展，“stem integration”一词在 2016 年后被大量提及与引用，持续时间从 2016 年至 2019 年，突现强度为 1.77。这反应了跨学科整合在工程教育中的重要性，以及关注培养学生整合科学、技术、工程和数学知识的能力的必要性。2020 年初之后，随着深度学习的概念在教育领域逐渐兴起，“science education”和“participation”等关键词的突现强度和持续时间都位居前列，尤其在 2020 年后呈现快速增加的趋势。这可能与近年来教育技术的应用以及相关课程改革的不断推进有重要的关系。2020 年至 2024 年，“science education”、“participation”、“school”、“thinking”、“teachers”和“impact”等关键字凸显最为明显。除了将 STEM 教育作为教学主体融入课堂外，新的教学方式强调学生的积极参与和教师的主导作用，进一步探索了一种以学生为中心的教学新形式。据图谱及文献分析可知，与 STEM 教育相关的课程设计、教学模式及应用探索是当前中小学工程教育领域内的研究趋势。

3.2. 聚类分析

在探索国际 STEM 理念下中小学工程教育的实践与创新时，我们发现这一领域涵盖了多个关键维度。通过对相关研究的深入分析，特别是图 6 所示的聚类分析结果，我们可以将这些维度归纳为四个主要方面：教育模式的融合、教学方法与学生能力培养、教育阶段的实施以及教育公平与机会。本文将基于前人的研究成果，详细探讨这四个方面的具体内容和现实意义，旨在为读者提供一个全面、系统的视角，以便更透彻地理解 STEM 理念下中小学工程教育的现状和未来发展的方向。

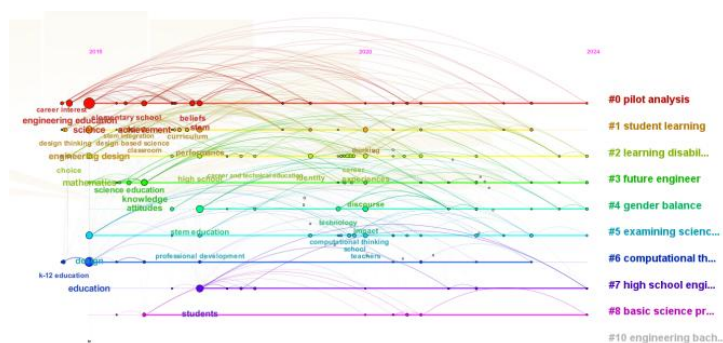


图5 关键词时间线可视化图

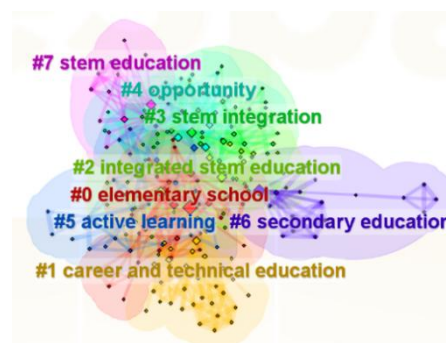


图6 聚类分析图谱

3.2.1. 教育模式的融合 工程教育作为培养工程技术人才的关键途径，其模式的创新与发展一直是教育领域的研究热点。近年来，随着科技的飞速发展和产业的不断升级，传统的工程教育模式面临着诸多挑战，如知识更新换代快、实践能力培养不足、创新能力欠缺等。为了应对这些挑战，工程教育模式的融合成为了一种趋势，旨在通过整合多种教育理念、方法和技术，培养适应现代社会需求的复合型工程人才。为了实现这一目标，教育模式的创新显得尤为重要。近年来，CDIO(Conceive, Design, Implement, Operate)和 PBL(Problem-Based Learning)模式在工程教育中得到了广泛的应用和研究。这两种模式不仅改变了传统的教学方法，还显著提升了学生的综合素质和工程实践能力。

通过参与实际工程项目，学生可以将他们学到的科学、技术、工程和数学应用到现实世界的工作环境中，从而提高他们解决现实世界问题的能力。例如，在一些职业院校中，学生通过参与电子电路设计、机械制造等项目，不仅掌握了专业知识，还培养了团队合作和项目管理能力(Hutner et al., 2022)。此外，职业教育强调培养学生的实践能力和以就业能力为导向的技能，使其能够更好地适应市场需求。在工程教育中，这种实用主义的教育理念促使学校与企业合作，共同开发课程和培训项目，确保学生所学的技能与行业标准相匹配。例如，一些学校与当地制造公司合作，为学生提供实习和就业机会，同时也为企业输送了具备实际操作能力的人才(Kim et al., 2022)。在工程教育的引导下，学生能够提升自身实践能力与在职场的竞争力，同时教育与产业将进行深度融合，为教育的进一步发展开辟新路径。在综合运用 CDIO 与 PBL 模式的基础上，将职业与技术教育同综合 STEM 教育相融合，可以更有效地在工程教育中培养学生的创新思维、实践技能和团队协作精神。此举将有助于培养出更多符合现代科技与工业需求的高素质工程人才。

3.2.2. 教学方法与学生能力培养 中小学工程教育致力于培养既拥有深厚专业素养，又具备实践操作、创新思维以及团队协作能力的工程师人才。然而近些年来，随着科技的迅猛进步与产业的持续转型，传统的中小学工程教育模式已然遭遇诸多困境。例如，知识的迭代速度加快，实践技能与创新能力的培养存在短板，这些都对中小学工程教育提出了新的要求。面对诸多挑战，各地中小学工程教育课程通过不断尝试新的教学方法，探索多元化的教学模式，从而全方位提升学生的综合素养及工程实践水平。这样不断地探索也给中小学工程教育领域带来了新的改变。近年来，项目驱动教学法、基于问题的学习模式、案例教学策略以及翻转课堂等教学手段在中小学工程教育中得到了广泛运用，有效改善了工程教育的效果。在 STEM 教育中，教学方法的创新与学生能力培养紧密相连。例如，通过项目式学习(PBL)，学生能够在解决实际问题的过程中，培养跨学科的思维能力和实践操作技能。在一项关于 3D 打印项目式学习的研究中，研究者发现这种教学方法显著降低了预服务小学教师对教授科学的焦虑，并提高了他们的科学教学自我效能感、对科学的兴趣以及对 K-3 技术与工程科学标准的感知能力(Novak & Wisdom, 2018)。该研究表明，项目式学习能够在提升学生的实践技能的同时，增强他们对科学教育的信心和兴趣，从而为未来的教学工作打下坚实的基础。

此外，工程设计过程的引入也被认为是培养学生科学探究和工程设计能力的有效途径。在一项研究中，通过让学生参与设计一个能量加房屋的模拟学习环境，研究者利用计算机追

踪数据,发现高绩效学生在观察、分析和评估阶段的参与度更高,并且展现出连续的序列模式(Zheng et al., 2024)。这表明,通过参与具体的工程设计项目,学生不仅能够提升自己的科学探究能力,还能在实践中学会如何系统地分析和解决问题,这对于培养他们的工程思维 and 创新能力具有重要意义。

3.2.3. 教育阶段的实施 中小学工程教育领域一直在不断推行创新的教学方法以面对诸多挑战,其主要目标是通过多种教学方式,全面提高学生的综合素养和工程实践水平。近年来,中小学工程教育中广泛采用项目式教学法、基于问题的学习模式、案例研究策略和翻转课堂等教学方法,这些方法对工程教育的有效性产生了重大而深远的影响。在小学阶段,通过设计工程活动来反映现实世界的问题,以此来构建学生的 STEM 概念。通过让五年级学生完成光学工程活动的研究表明,工程设计模型对于设计、构建和重新设计阶段的结构化是有用的,但未来可能需要更灵活的方法来应用 STEM 概念(King & English, 2017)。在中学阶段,STEM 教育的实施则更加多样化。中学阶段的工程教育目的是进一步加深学生的工程知识和技能,以便为他们进入高等教育或直接就业做好准备。这一阶段的工程教育通常包括更复杂的工程项目,例如电子电路设计、机械工程等。一些研究强调了在中学引入工程设计和实践的重要性,如通过设计、构建和测试水下时间延迟摄影设备来研究夏威夷的海洋生物(Lindsay et al., 2015)。此外,还有研究探讨了在中学阶段通过体验式学习活动教授牛顿力学基本概念,这些活动使用了 Wii 遥控器中的加速度计,结果表明学生在活动中的知识从预测试到后测试都有所提高,并且学生对科学和工程的兴趣也有所增加(Dvorak et al., 2016)。

3.2.4. 教育公平与机会 STEM 教育在实现教育公平方面面临许多挑战,其中机会不平等是一个重要问题。例如,研究表明,与其他学生相比,来自低收入和少数族裔家庭的学生往往参与度较低,在 STEM 课程中的表现也相对较差(Plasman & Myles, 2024)。这些学生可能缺乏必要的资源和支持,例如最先进的实验室设备、教师的专业指导和广泛的课外活动机会。这种不平等的资源分配不仅会影响他们的学习经历,还会限制他们未来在 STEM 领域的发展。

性别歧视在 STEM 教育中是一个长期存在的问题,尤其是在工程和技术领域。研究表明,女性在 STEM 课程中的参与度和兴趣往往低于男性(Sandberg et al., 2024)。这种性别差异可能源于社会文化因素、教育环境和家庭背景等多方面的影响。例如,社会对女性的刻板印象和性别角色期望可能限制了她们对 STEM 领域的兴趣和追求。此外,教育环境中的性别偏见,如教师的期望和教学方法,也可能影响女性学生的学习体验和自信心。这些因素共同作用,导致了女性在 STEM 教育中的参与度相对较低,甚至将进一步影响其未来在 STEM 领域的发展。

为了应对中小学工程教育领域乃至综合 STEM 教育面临的挑战,教育机构和政策制定者应采取有效措施,确保所有学生都能平等地接受优质的工程教育。需完善顶层政策设计,例如美国《STEM 2026》计划通过专项资金支持薄弱学校,韩国将工程教育纳入国家创新人才培养战略;同时,建立区域性工程教育联盟,推动课程标准互通与师资流动,从制度层面保障资源均衡分配。这些措施应包括提供如奖学金和助学金等经济支持,帮助经济困难的学生减轻学费和生活费的负担;合理分配资源,确保各学校都能配备先进的实验设备和优秀的教师;并通过多样性和包容性培训,增强师生对多元化教育环境的认识,推动包容性学习氛围的形成。此外,增加早期工程教育教育机会,尤其是在小学和中学阶段,能激发更多学生,特别是弱势群体的学生参与其中。这些举措不仅能提高工程教育的公平性,还能为未来的科技创新人才奠定基础。

4. 研究结论

综上所述,本研究将国际 STEM 理念下中小学工程教育的研究内容大致分为四个方面:在跨学科整合上,研究聚焦于如何打破学科界限,通过综合的教学策略帮助学生构建完整的知识体系,以应对复杂问题;在工程设计与实践上,着重探讨如何设计和实施工程教育课程,以培养学生的创新思维和实践操作技能;在以学生为中心的教学上,强调学生的主体地位,

通过多样化的教学方法提升学生的学习积极性和效果；在教育公平与机会上，关注不同背景学生在工程教育中的参与度和表现，以及性别差异等问题。此外，本文在研究过程中发现中小学工程教育存在如下问题：跨学科整合虽受重视，但实际教学中学科融合的深度和广度有待提高；工程设计课程的设计与实施尚不成熟，缺乏系统性和连贯性；学生中心的教学理念虽被倡导，但在具体实施中学生参与度和学习效果的评估机制尚不完善；教育公平问题依然突出，资源分配不均和性别差异等问题亟待解决。

在国际 STEM 教育理念的背景下，审视中小学工程教育的现状，本文特提出以下建议：

①基于跨学科整合的研究热点，建议开发“主题式 STEM 单元课程”，例如以“可持续城市”为项目主题，整合物理、数学与工程设计内容；②针对工程设计课程的系统性不足，可参考 CDIO 模式构建“设计-迭代-反馈”螺旋式课程框架，并引入行业专家参与评估；③利用关键词“self-efficacy”的突现趋势，设计学生工程能力成长档案，结合过程性评价与个性化反馈机制；④注重教育公平，增加对低收入家庭及少数民族学生的资源投入，消除性别歧视，保障所有学生都能公平地参与并受益于工程教育。

作为 STEM 教育的关键一环，工程教育在培养学生的创新能力和解决实际问题的能力等方面发挥了重要作用。在国际 STEM 教育理念的引领下，我们需要不断探索与创新，积极应对教育领域的挑战，将工程教育真正融入中小学教育体系，为培养未来的创新型工程人才奠定坚实基础。

参考文献

- 程薇, 杨淑婷, 汤倩雯, 张妍 & 殷子涵.(2024).何以开展跨学科主题学习? 来自整合 STEM 教育的研究启示.现代教育技术(12),56-64.
- 宋悦 & 林长春.(2023).近十年(2012—2021)国际中小学工程教育研究进展与趋势.考试研究(03),65-74.
- 陈睿, 刘义兰, 吴松梅, 李金菊, 贾红影 & 韩二环.(2019).基于 CiteSpace 的国内护理人文关怀研究的可视化分析.护士进修杂志(14),1276-1282.doi:10.16821/j.cnki.hsjx.2019.14.006.
- Hutner Todd L., Sampson Victor, Chu Lawrence, Baze Christina L. & Crawford Richard H..(2021).A case study of science teachers' goal conflicts arising when integrating engineering into science classes.Science Education(1),88-118.
- Kim Ji Yun, Seo Jae Seon & Kim Kwihoon.(2022).Development of novel-engineering-based maker education instructional model.Education and Information Technologies(5),7327-7371.
- Elena Novak & Sonya Wisdom.(2018).Effects of 3D Printing Project-based Learning on Preservice Elementary Teachers' Science Attitudes, Science Content Knowledge, and Anxiety About Teaching Science.Journal of Science Education and Technology(5),412-432.
- Zheng Juan, Pan Zilong, Li Shan & Xie Charles.(2024).Modeling temporal self-regulatory processes in STEM learning of engineering design.Educational Technology & Society(4),20-33.
- Donna King & Lyn D. English.(2016).Engineering design in the primary school: applying stem concepts to build an optical instrument.International Journal of Science Education(18),2762-2794.
- Christopher James Lindsay, Rafael Silk Lee, Mark D. Lindsay, Margo H. Edwards, Mark R. Rognstad & Holly Chung Lindsay.(2015).Submersible Hawaiian Aquatic Research Camera System: STEM Initiatives Fostering the Study of Hawaii's Marine Biota Using Underwater Time-Lapse Photography.Marine Technology Society Journal(4),119-125.
- Dvorak, J. S., Franke-Dvorak, T. C. & Neel, S..(2016).USING WII TECHNOLOGY AND EXPERIENTIAL LEARNING TO TEACH NEWTONIAN MECHANICS TO RURAL MIDDLE SCHOOL STUDENTS.Transactions of the ASABE(2),387-395.

- Jay Plasman & Desmond Myles.(2024).STEM Pathway and College Progression: The Link Between Engineering CTE and Postsecondary Outcomes for Students With Learning Disabilities.Exceptional Children(4),398-421.
- Sandberg, K., Mohammadi-Aragh, J., Johnson, J., Brauer, S., & Eakin, D. (2024). Effects of high school engineering course participation on persistence attitudes and engineering self-efficacy. International Journal of Engineering Education, 40(1), 83-96.