

基于STEAM教育对跨学科背景下工程人才培养的启示探究

陈睿琦

北京工业大学, 北京

收稿日期: 2022年9月14日; 录用日期: 2022年10月14日; 发布日期: 2022年10月21日

摘 要

跨学科教育是我国工程教育改革发展的新阶段, 其发展对我国工科人才提出了新的诉求。然而当前我国工程教育仍存在部分弊端, 跨学科人才培养改革亟不可待。STEAM教育作为真实情境下的跨学科教育, 其特征为跨学科、创新性、实践性、人文性。通过探讨STEAM教育的发展脉络、教育框架和麻省理工实际案例, 为我国开展跨学科人才培养提供切实建议。最终为我国跨学科背景下工程人才培养提出重塑人才培养目标, 着重跨学科能力培养、引入项目式教学方法, 结合教育技术, 提升学生创新思维能力、建设校企合作平台, 强化实践能力及人文精神培育、拓宽工程人才的国际化视野, 加快工程教育国际化的建议。

关键词

STEAM教育, 跨学科, 工程教育

Exploring the Implications of STEAM Education on the Cultivation of Engineering Talents in an Interdisciplinary Context

Ruiqi Chen

Beijing University of Technology, Beijing

Received: Sep. 14th, 2022; accepted: Oct. 14th, 2022; published: Oct. 21st, 2022

Abstract

Interdisciplinary education is a new stage in the reform and development of China's engineering

education, and its development has put forward new demands on China's engineering talents. However, there are still some shortcomings in China's engineering education, and the reform of interdisciplinary talent cultivation is urgently needed. STEAM education, as interdisciplinary education in real-life situations, is characterised by interdisciplinarity, innovation, practicability and humanism. By exploring the development of STEAM education, its educational framework and MIT's actual cases, we provide practical suggestions for the development of interdisciplinary talents in China. Ultimately, it proposes recommendations for the cultivation of engineering talents in the interdisciplinary context in China to reshape the objectives of talent cultivation, focus on the cultivation of interdisciplinary capabilities, introduce project-based teaching methods, combine educational technology to enhance students' innovative thinking ability, build a school-enterprise cooperation platform to strengthen the cultivation of practical skills and humanistic spirit, broaden the international perspective of engineering talents and accelerate the internationalisation of engineering education.

Keywords

STEAM Education, Interdisciplinary, Engineering Education

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 工程教育发展新背景

1.1. 全球竞争新形势孕育国家战略发展新需求

伴随全球化进程的深入,各国之间的交往越发紧密,国际之间的竞争也越发增强。早在2013年,德国政府为提高德国工业竞争力,以便在新一轮工业革命中抢占先机,提出了“工业4.0”(第四次工业革命)的计划,并受到德国联邦教育局等组织近2亿元的资助。该计划聚焦领域主要在提升制造业的智能化上。美国政府不堪落后,紧跟其步伐,于2014年推出《振兴美国先进制造业政策》2.0版本,确立国家优先发展的三大技术领域:其一是先进传感器、控制和制造平台技术,其二是可视化、信息化和数字化的制造技术,其三是先进材料制造技术[1]。中国政府于2015年提出“中国制造2025”,于2017年提出“新工科”建设,全面推进实施制造强国的创新驱动战略。可以发现,这些战略的提出都旨在适应全球竞争新形势,满足国家发展对新技术、新产品、新制造的新需求,以更自信的姿态在激烈的国际竞争中掌握主动权。

1.2. 新一轮产业技术革命催生工程教育新导向

新一轮产业技术革命蓄势待发,催生工程教育新方向,更加突出跨学科导向。总体来看,体现在两方面:一是未来产业将会不断的融合发展形成新兴产业。即在互联网的发展及推动下,交通、能源、人工智能等产业的发展会越来越融合,并不断突破不同产业之间的边界。二是新兴技术大多以跨学科和跨领域的形式产生出现。鉴于新兴技术产生于知识生产“模式3”下的知识体系,而知识生产“模式3”是以知识集群为核心特征的体系[2],即知识集群强调突破单一学科知识边界,更多的源于实际问题,具有天然的跨学科属性[3],因此新兴技术具有强烈的跨学科属性。这意味着,未来的工程师培养应不再局限于单一学科,跨学科人才培养势在必行。

1.3. 传统工程教育发展存在问题,有待改革

尽管传统的工程教育为我国工程发展做出了极大的贡献,使我国成为全球制造大国,但未来的工程

领域充满了不确定性的挑战，特别是在跨学科的时代背景下，传统工程教育的培养方法应紧跟时代发展做出相应改变。未来的工程师所应具备的能力将不再拘泥于单一学科领域的能力，还需要具备整合多学科领域知识和技能的能力等。不可置喙，当下我国传统工程教育发展存在部分问题，特别是在跨学科教育上，例如：陆国栋等认为学科壁垒窄化了工程人才的知识体系，工程教育专业过于窄化，使学生所学不够完善[4]；宋余庆等认为当前我国高等工程教育突出的问题是跨学科交叉融合不够，从而导致培养出来的工程人才在创新思维、能力上都存在不足[5]；王梅也同样指出我国当前的工程专业设置过细，缺乏学科交叉性[6]；由此可见，跨学科教育是推动当前高等工程教育改革的有效推动力[7]，传统工程教育发展存在的问题，有待改进。

2. 工程教育新模式——STEAM 教育

STEAM 教育是典型的跨学科教育，其核心特征为跨学科性，鉴于分科教学在工程高度发达的今天具有一定弊端性，因此 STEAM 教育顺势而生[8]。STEAM 教育作为工程教育的新模式，不少学者运用 STEAM 教育的理念和特征对我国的工程教育建设提出建设路径，如胡天助[9]从 STEAM 教育出发，提出新工科建设的实施路径；种楠楠[10]将 STEAM 教育理念运用至创新应用型工程师培养上。通过对相关文献梳理，笔者发现，STEAM 教育的属性特点与跨学科教育高度相关，且 STEAM 教育正在成为技术创新的重要驱动力，更有利于培养全面发展的创新型工程人才[11]。因此，在新时代背景下的跨学科人才培养可借鉴 STEAM 教育理念，结合 STEAM 教育的优势，重构新的人才培养路径。下文将从 STEAM 的发展脉络、教育框架、特征及麻省理工的实际案例对 STEAM 教育进行介绍。

2.1. STEAM 的发展脉络

二十世纪四十年代末期，美国与苏联为争夺世界霸主的地位，开启了长达半个世纪的冷战。冷战初期，二国主要以国防实力作为竞争的主要因素，继而不断的研发高科技武器装备来彰显国家实力。1957 年，苏联率先发射了人类社会的第一颗人造卫星，使美国举国上下大为震惊。美国竞争的失利引发了公众对教育的反思，群众认为科技领域的落后是教育失败造成的结果，必须对教育进行改革，因而掀起了一场以科学和技术为主题的改革运动，STEM 教育就此而来[12]。STEM 教育自萌生以来一直受到美国政府的大力支持。联邦政府不仅投资百亿美元发展 STEM，还明令政策，“要通过创新引领世界，知识经济时代的教育目标之一就是培养具有 STEM 素养的创新人才”[13]。

随着 STEM 教育建设的如火如荼，群众对于在 STEM 教育中加入人文艺术学科的意愿也越发明显。2010 年，亚克门教授及其团队正式提出 STEAM 教育的概念，其中的 A，指代人文艺术学科。该概念意在解决以往单一学科教学所引起的问题，以数学为基础，通过工程和艺术，解读科学和技术，帮助学生从不同的学科视角去解决问题，提高创新性的解决真实情境问题的能力[14]。

2.2. STEAM 的教育框架

亚克门教授所整合的 STEAM 教育框架由五个不同层级的架构所组建。由图 1 可知，从底层到顶层，每一层级所代表的含义不同，层层递推，代表了学生通过 STEAM 教育所获得的跨学科知识及解决问题的能力。

首先，最顶层的是全生涯学习，即终身教育，也是 STEAM 教育的最终目标。表明 STEAM 教育的终身性和整体性。该层旨在帮助学生建立终身学习的概念，以终身学习的能力应对更加复杂的挑战。第二层为 STΣ@M，是 STEAM 的综合层级。该层强调 STEAM 教育支持学生以跨学科的方式发现和解决问题。此时，艺术与 STEM 相互作用，因此 STEAM 表示成了 STΣ@M [15]。第三层为 STEM 和 A 的组合，即 STEM 加艺术。该层强调艺术对各个学科的渗透。以艺术渗透至四门学科，不仅能帮助学生优化

不同学科之间的知识理解,使机械的工程知识具有了美感,使学生的学习更加具有创造性。第四层为具体学科,主要探讨了科学、技术、工程、艺术和数学之间的联系。最底层为学科的具体内容,如科学包括了科学的历史、科学的本质、物理等;工程包括了航天工程、土木工程、流体工程等[14]。

STEAM 教育框架将五门学科通过整合的方式联系起来,帮助学习者以跨学科的思维搭建理论与实践的桥梁。STEAM 是一种新的教育理念,为人才培养的教育教学实践提供新的思路。

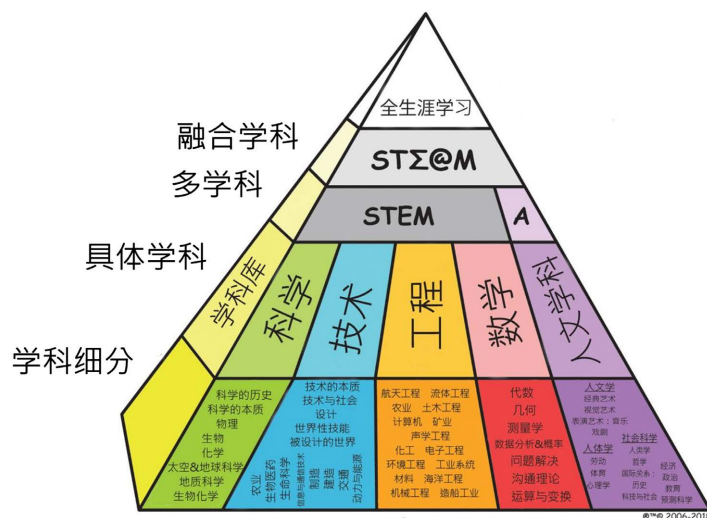


Figure 1. STEAM education framework [14]

图 1. STEAM 教育框架图[14]

2.3. STEAM 的特征

总体来看, STEAM 具有以下特征:

第一, 跨学科为 STEAM 教育的核心。不同的学科之间存在分明的边界, 而 STEAM 打破了学科边界, 将五门不同学科在知识逻辑上整合起来。STEAM 教育中的科学、技术、工程、数学及艺术学科并不是相互独立的, 而是互相融合共同作用的。它与多学科知识不同, 多学科是不同学科知识简单的叠加, 而 STEAM 做到了不同学科知识的整合。正如 STEAM 的创始人亚克门教授所言: “人们只有在拥有了技术的前提下才可以理解科学, 只有理解了艺术和数学后才能从事工程的研究与开发。”[14] 在 STEAM 教育中, 学习者不再将重点放在某一单门学科上来解决问题, 而是被引导在学科融合的视角下去解决问题。

第二, 创新性是 STEAM 教育的特色。STEAM 教育的培养目标之一为提升学生的创新能力[16]。例如, STEAM 教学设计中包含产品的构思及产出环节。构思产品的过程也是知识建构的过程。在此过程中, 学习者可以充分利用所学知识进行开放性的构思和设计, 任何天马行空的想法都能加入设计中, 这为创新性想法的实现孕育了摇篮。STEAM 中的 A (Arts 艺术) 则很好的体现了这一点: 艺术教育是关键; 创意是创新的重要组成部分, 可以刺激创新[17]。此外, 国外大量实证研究表明, 艺术教育可以提高学生的创造力、批判性思维、创新、协作和人际沟通能力[18]。

第三, STEAM 教育注重真实情境下的实践探究。STEAM 教育以项目式教学和基于问题的学习为主要教学方法。而项目式教学来源于杜威的“做中学”实用主义理念及库伯的体验式学习理论, 其核心思想是通过现实世界中的真实问题捕捉学生的兴趣, 并唤起其深度思考, 在解决问题的情境下, 使学生获得与应用新的知识[19]。STEAM 教学不是简单的纸上谈兵, 它强调在真实情境下, 通过学习者自主学习

或小组合作,解决真实生活中的问题。STEAM 教育帮助学习者获得将所学知识情境化且运用的能力。在“做中学”理念的指导下,以严谨的工程实践检验理论知识,通过亲自动手实践参与学习过程,促使有意义学习的发生。

第四,人文属性是 STEAM 教育的特色。STEAM 与 STEM 最大的不同之处在于其人文属性,STEAM 将人文学科摆在了举足轻重的地位。未来的挑战将涉及不同领域,几乎任何挑战的解决都需要人文领域知识的贡献[20]。因而 STEAM 教育强调人文艺术对其他学科的渗透,以人文艺术的角度帮助学习者更好的理解其他学科。且将人文教育注入科学技术与工程之中,可以帮助未来的科学家及工程师在解决社会技术难题时,明确其责任感,并自觉将社会发展面临的问题与人类自身联系起来。这是 STEAM 教育进行人才培养的特色之处,也是目前我国工程教育跨学科人才培养中可借鉴的一点。

2.4. STEAM 教育案例分析

鉴于美国是最先开展 STEAM 教育的国家,麻省理工学院作为世界著名的科学技术教育和研究中心,开设了多种 STEAM 教育课程[21],因而选取其电气工程专业的自主机器人设计[22]实践课程。该课程帮助学生通过科学原理和计算(数学),学会运用技术,并融入个人创意(艺术),从而制造出独具特色的机器人(工程)。这门课程较好的体现了 STEAM 教育中五门学科相融合的特点。此外,学习者通过课程学习后,掌握了专业核心概念,提升了思维创新性、创造性,增强了动手实践能力,符合 STEAM 教育的过程性评估和结果性评估的要求。总体来看,该案例具有以下几点特色:

2.4.1. 融汇多门学科内容的项目式学习

自主机器人设计课程以项目式学习为主要教学方法。在四周的理论知识教学后,以书面考试及团队合作的方式完成项目(机器人的制作)作为考核方式。该课程通过理论与实践的结合使不同学科融合:如通过了解差动式驱动结构,明晰机器人容易改变运行轨迹的原因来学习科学;通过理解程序设计中的分支结构,编写程序使机器人准确做出动作来掌握技术;通过了解工业控制领域的机器人应用来学习工程;通过制造出独具个性的机器人来应用艺术;最后,通过计算控制驱动系统的阈值,学会数学。

在项目实施过程中,从方案的设计到成果的产出都必须由学习者亲自完成,充分发挥了学习者学习的主动性。此外,项目实施准则建议学习者在团队合作中使用头脑风暴法来产生潜在的解决方案,激发创新性想法的产生。由此可见,学习者通过完成项目,获得跨学科的知识 and 实践能力之外,思维的逻辑性和创新性也得到系统和规范的训练。

2.4.2. 充沛的教学硬件设施和实践平台

麻省理工学院为自主机器人设计这门课程的学生提供了充沛的硬件设施。所有学习此门课程的学生都可以使用欧洲经济共同体实验室。该实验室配备了构建机器人的工作台、用于编程的计算机及任何使用于机器人制作的电子工具,保证每人使用的硬件设备价值数额在 1500 美元。学院还与马赛诸塞州绿色高性能计算中心合作[23],为电气工程专业的学习者提供最先进的基础设施设备。

在实践平台上,学院与一系列国际知名企业合作,诸如苹果公司、戴森公司、亚马逊集团等,为 STEAM 课程的学习者提供了一定时长的实习机会[24]。学生如若通过企业考核标准,毕业后还可正式成为企业的一员。

概言之,学院为 STEAM 教育的发展提供了完善的教育设施以及实践平台。以平台促进学生能力的发展,在实践平台内,学生的能力得到充分保障与最大化发挥。

2.4.3. 强大的国际师资队伍和跨文化交流机会

麻省理工学院 STEAM 课程的教师队伍中包含了来自各国各地区的优秀成员,如来自美国、中国、日

本、印度、香港的博士及工程师等。在众多优秀教师中不乏有电气与电子工程协会的成员、edX 首席执行官、美国国家工程院院士、美国艺术与科学院院士、美国计算机协会院士[25]。由国际化教师讲授的 STEAM 课程为学习者展示了不同国家在文化、科学、艺术之间的交流与碰撞，拓宽了学习者的跨文化、跨地域的知识视野及交流经验。在课程讲授过程中，教师还将工程伦理、工程责任感融入跨学科知识内以培养学习者的人文精神，如机器人制作完成后，在实际上的应用中应注意哪些伦理问题、如何做到产品及环境的可持续发展等，并鼓励学生共同讨论问题，以触发他们对人文价值、道德观与工程融合的思考。

3. 基于 STEAM 教育的跨学科人才培养建设路径

3.1. 重塑人才培养目标，提供跨学科平台保障，着重跨学科能力培养

当下工程教育人才培养目标需以未来复杂工程问题的需要及工科自身发展特征为出发点，培养掌握跨学科知识及能力的工程技术人才。以往的人才培养目标聚焦于本学科的知识及运用，忽视未来专业边界不断突破融合的趋势，将人才局限于单一学科知识能力中。而以跨学科能力作为人才培养目标，使学习者从多个学科中学习，以提高他们对多学科知识的理解，并在综合学科知识的基础上，获得超越以往任何单一学科所能收获的学理及技术，进而更好的解决边界模糊的跨学科复杂问题。

跨学科计划的实行需要打破大学原本的学科组织，以跨学科平台予以学生能力发展保障。因而在确定跨学科人才培养的目标后，各高校可采取构建跨学科组织的形式，诸如开展跨学科系、跨学科实验室和跨学科研究中心等形式来进行人才培养。例如麻省理工学院开展的人工智能实验室，实验室项目的学习者主要来自于电子工程和计算机科学系、机械工程系、大脑和认知科学系以及数学系等相关部门[26]。我国广东工业大学的机器人学院也为成功实施的案例，在机器人学院学习的学生，既是机器人学院的学生，又是各自原学院的学生[27]。

3.2. 引入项目式教学方法，结合教育技术，提升学生创新思维能力

跨学科背景下的工程人才培养要求优化以往教学方法。传统工科教学方法以教师的“教”为中心，在此教学方法下的工科学生理论知识较扎实，但动手能力及创新能力不足[28]。

项目式教学大多基于行业企业现实及实际的工程项目，一个项目往往融汇多门学科，要求学习者在给定的领域范围内，亲自识别、设计、实施具体的项目方案。项目式教学让学生置身于真实的问题情境中，带着问题主动去探索，将问题与真实世界联系起来，在此过程中充分发挥了学习者的主动性、积极性，使得创新意识、跨学科解决问题意识均得到提高。如何更好的实施项目式教学，使学习者获得跨学科领域知识及创新性思维能力？聚焦于真实的工程课题研究则是很好的切入点。一方面，学生在真实的工程背景下，通过探索与课题相关的学科知识、理论来了解课题，从而获得多学科知识，打下理论基础。另一方面，学习者在研究设计解决方案时，教师对其方案技术线路的引导是激发创新性能力的关键。总体来看，工程课题研究让学习者获得工程实践的体验，以新的工程技术与方法，创新性的解决课题和工程应用中的重点与难点[29]，提高了自身的跨学科思维和创新性。

此外，教育技术的应用可更直观的帮助学习者了解真实工程问题的演变机理、避免实际工程操作方案中的不安全性，为学习者创新思维能力的发展提供安全的保障。

3.3. 强化校企合作，在实践中融入人文精神，培育实践能力

STEAM 教育强调学生在真实情境下的实践，注重实践性。众所周知，工程师的实践能力是他们解决工程问题的必要因素，而校企合作是提升工科人才实践能力的重要环节。相较我国高校，欧美众多高校早已运用产学合作的方式提高工科人才实践能力，例如前文所提到的麻省理工学院与多家知名企业签订

合作协议,开展学生的海内外实习训练等。

因此,在跨学科背景下的工程人才实践能力培养,可通过校企合作的模式,培育学生实践能力。校企合作的模式是学生与企业双方互利的模式,首先,企业依托真实的产业生产环境,提供企业特有的工程设施及技术,培养工程人才面向实际社会的实践能力。企业提供的工程教师具有丰富实践经验,在一定程度上也能帮助学习者实践能力的提高。其次,学生凭借校企合作的平台了解到企业不仅仅是从技术的角度来设计产品,而是将售前、售后、环境、伦理等因素全部纳入其中。在此过程中,学生既丰富了工程经验及工程伦理等人文素质的学习,又能为企业的发展提供适应其需求的创新性人力资源。企业与高校之间充分整合资源,实现资源共享、优势互补,为培养具有扎实实践能力的工程师打下坚实基础。

但应注意的是,需建立校企协同培养的管理机制及工程教育的考核机制,在明确双方的责任基础上,才能增强实践教学的效果,提高学生的工程实践能力。

3.4. 拓宽工程人才国际化视野, 加快工程教育国际化

国际上全球化进程的深入,国内上一带一路的推行,种种迹象都显示未来的工程领域需要能够满足国际需求的工程人才。例如:麻省理工学院于2014年出台的“最终报告”(Institute-Wide Task Force on the Future of MIT Education—Final Report)中,提出的改革议程中,强调教学创新实现国际化[30]。代尔夫特理工大学于2016年推出的《急剧变化世界中的工程教育》(Engineering Education in the Rapidly Changing World)报告中提出学生能力建设的目标中包含了全球化建设的能力[31]。我国学者钟登华认为,进行新工科建设需要工程人才履行国际交流合作中的职责使命[32]。因此,工程人才培养不能局限于本国培养及发展,而应走向国际。具备国际视野及国际交流、合作能力的工程人才,才能更好把握全球工程动向,才能将中国工程教育带向国际的舞台,向世界展示中国力量。

总体来看,我国高校可采取多渠道拓宽学生国际化视野。如在师资上,可引进海外优秀学者任教,也可推送优秀师资出国深造;在课程设置上,加大全英工科课程建设力度;在人才培养机制上,实施2+2或3+2的国内国外联合培养机制;在跨文化交流上,提供跨地域的科研及实践机会,及对国内外学生实施混合住宿管理等,以期拓宽工程人才的国际化视野,加快我国工程教育国际化,为跨学科背景下我国工程人才培养提供国际视域保障。

基金项目

本文是北京市社科基金决策咨询重点项目《在京高校推进企业导师制研究》(编号:21JCB038)的研究成果。

参考文献

- [1] 彭俊松. 工业4.0驱动下的制造业数字化转型[M]. 北京:机械工业出版社, 2016.
- [2] Carayannis, E.G. and Campbell, D.F.J. (2011) Open Innovation Diplomacy and a 21st Century Fractal Research, Education and Innovation (FREIE) Ecosystem: Building on the Quadruple and Quintuple Helix Innovation Concepts and the “Mode 3” Knowledge Production System. *Journal of the Knowledge Economy*, 2, Article No. 327. <https://doi.org/10.1007/s13132-011-0058-3>
- [3] 陈洪捷. 知识生产模式的转变与博士质量的危机[J]. 高等教育研究, 2010, 31(1): 57-63.
- [4] 陆国栋, 李拓宇. 新工科建设与发展的路径思考[J]. 高等工程教育研究, 2017(3): 20-26.
- [5] 宋余庆, 陈权, 刘哲, 朱轶, 潘天红, 刘会霞. 新工科背景下工程创新人才国际培养的探索与实践——基于“双跨”团队体验混合式学习模式的建构[J]. 高校教育管理, 2018, 12(3): 102-108. <https://doi.org/10.13316/j.cnki.jhem.20180423.013>
- [6] 王梅, 李梦秀. 斯坦福大学工程学院的跨学科教育及启示[J]. 教育评论, 2018(4): 160-164.

- [7] 郝莉, 冯晓云, 宋爱玲, 李君. 新工科背景下跨学科课程建设的思考与实践[J]. 高等工程教育研究, 2020(2): 31-40.
- [8] 余胜泉, 胡翔. STEM 教育理念与跨学科整合模式[J]. 开放教育研究[J]. 开放教育研究, 2015, 21(4): 13-22. <https://doi.org/10.13966/j.cnki.kfjyvj.2015.04.002>
- [9] 胡天助. STEAM 及其对新工科建设的启示[J]. 高等工程教育研究, 2018(1): 118-124.
- [10] 种楠楠. 新工科背景下 STEAM 教育理念培养创新型工程师探析——以物联网工程专业为例[J]. 物联网技术, 2021, 11(8): 123-125. <https://doi.org/10.16667/j.issn.2095-1302.2021.08.039>
- [11] Connor, A.M., Karmokar, S. and Whittington, C. (2015) From STEM to STEAM: Strategies for Enhancing Engineering & Technology Education. *International Journal of Engineering Pedagogy*, **5**, 37-47. <https://doi.org/10.3991/ijep.v5i2.4458>
- [12] 吕达, 周满生. 当代外国教育改革著名文献: 美国卷[M]. 北京: 人民教育出版社, 2004.
- [13] Domestic Policy Council Office of Science and Technology Policy (2006) American Competitiveness Initiative: Leading the World in Innovation. Domestic Policy Council, Office of Science and Technology Policy, Washington DC. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED503266.pdf>
- [14] 赵慧臣, 陆晓婷. 开展 STEAM 教育, 提高学生创新能力——访美国 STEAM 教育知名学者格雷特·亚克门教授[J]. 开放教育研究, 2016, 22(5): 4-10.
- [15] 魏晓东, 于冰, 于海波. 美国 STEAM 教育的框架、特点及启示[J]. 华东师范大学学报(教育科学版), 2017, 35(4): 40-46+134-135.
- [16] 范文翔, 张一春. STEAM 教育: 发展、内涵与可能路径[J]. 现代教育技术, 2018, 28(3): 99-105.
- [17] Sochacka, N.W. (2016) Learning Together: A Collaborative Auto Ethnographic Exploration of STEAM (STEM + the Arts) Education. *Journal of Engineering Education*, **105**, 15-42. <https://doi.org/10.1002/jee.20112>
- [18] Liao, C. (2016) From Interdisciplinary to Transdisciplinary: An Arts-Integrated Approach to STEAM Education. *Art Education*, **69**, 44-49. <https://doi.org/10.1080/00043125.2016.1224873>
- [19] 许江. 产品设计专业“递进项目驱动式”教学模式研究[D]: [博士学位论文]. 无锡: 江南大学, 2017.
- [20] Reid, R., Bruce, D., Allstaff, K. and McLernon, D. (2006) Validating the Readiness for Interprofessional Learning Scale (RIPLS) in the postgraduate context: are health care professionals ready for IPL? *Medical Education*, **40**, 415-422. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2929.2006.02442.x>
- [21] 蒙庆华, 方锦煊, 李一凡, 黄志群. 基于 STEAM 的机器人教育课程探究与实践[J]. 中国教育信息化, 2020(4): 43-45+49.
- [22] <https://ocw.mit.edu/courses/electrical-engineering-and-computer-science/6-270-autonomous-robot-design-competition-january-iap-2005/study-materials/notes.pdf>
- [23] <https://www.mghpcc.org/>
- [24] <https://manufacturing.mit.edu/careers>
- [25] <https://www.eecs.mit.edu/people/faculty-advisors>
- [26] <http://web.mit.edu/research/topic/>
- [27] 李丽娟, 杨文斌, 肖明, 章云. 跨学科多专业融合的新工科人才培养模式探索与实践[J]. 高等工程教育研究, 2020(1): 25-30.
- [28] 赵慧臣, 周显希, 李彦奇, 刘亚同, 文洁. 跨学科视野下“工匠型”创新人才的培养策略——基于美国 STEAM 教育活动设计的启示[J]. 远程教育杂志, 2017, 35(1): 94-101.
- [29] 柴干, 郭建华. 新型交叉学科工程人才培养的协同模式探究[J]. 东南大学学报(哲学社会科学版), 2019, 21(S2): 137-141.
- [30] Reif, R., et al. (2014) Institute-Wide Task Force on the Future of MIT Education—Final Report. Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts.
- [31] Kamp, A. (2016) Engineering Education in the Rapidly Changing World. Delft University of Technology, Delft.
- [32] 钟登华. 新工科建设的内涵与行动[J]. 高等工程教育研究, 2017(3): 1-6.