

美国中小学整合性 STEM 教学实践的研究

杨亚平 陈 晨

摘要: 中小学阶段的 STEM 教育采用更加整合的途径意味着用一种联系更紧密的方式进行教学,这种方式能够调动学生的学习动机,提高学生的兴趣、成就及持久性。本文基于美国中小学阶段的整合性 STEM 教育实施情况,分析其内涵和目标,基本整合类型及常用的教学方法并梳理出优质的整合性 STEM 教学设计原则,以期为我国中小学教育的改革和发展提供参考。

关键词: 中小学教育;整合性 STEM 教育;教学实践

作者简介: 杨亚平 / 华东师范大学教育学部课程教学系博士研究生(上海 200062)

陈 晨 / 华东师范大学教育学部课程教学系博士研究生(上海 200062)

科学(Science)、技术(Technology)、工程(Engineering)、数学(Mathematics),简称 STEM 教育,于 20 世纪 80 年代兴起于美国,至今已在中小学阶段广泛实施。聚焦 STEM 的中小学已遍布全美,它们为学生提供严格的 STEM 课程、超时的 STEM 教学、丰富的 STEM 教育资源以及优秀的 STEM 教师等。^[1]美国自实施 STEM 教育以来,已在国民素质、就业、国家经济实力、创新等方面有显著提升,STEM 教育可谓是美国国家竞争力的助推者。^[2]

尽管人们对 STEM 教育的内涵至今尚未达成共识,但“学科整合”已成为其标志性特点之一。美国的联邦和州政府层面已越来越强调 STEM 学科间的紧密联系。联邦政府层面,《下一代科学标准》(Next Generation Science Standards)^[3]探索了工程在科学教育中的角色;州政府层面,科罗拉多州、伊利诺斯州、印第安纳州、马萨诸塞州、明尼苏达州、内布拉斯加州、纽约州、俄勒冈州、田纳西州、德克萨斯州、佛蒙特州和华盛顿州等 12 个州已经将工程引入到本州的科学教育标准中。^[4]我国中小学的一线教师和学者也正在积极开展整合性 STEM 教学,例如北京景山中学的团队、上海 STEM 云中心、研究中心等。本文将分析美国现行的整合性 STEM 教育的教学实施情况,为我国中小学教育的改革和发展提供参考。

一、中小学整合性 STEM 教育的内涵及目标

1. 中小学整合性 STEM 教育的内涵

STEM 教育的特色是重视学科知识间的内在联系。布赖纳(Breiner)等的调查显示美国科学基金(National Science Foundation)、高校研究团体、绝大部分中小学阶段的教育机构和学校等都赞同 STEM 教育中最重要的理念是整合(Integration)。^[5]尽管“Integrative STEM Education”已然成为 STEM 教育的核心,但目前学界并未对其内涵达成共识。

马里兰大学工程系的费雯丽(Leigh)教授把 STEM 称为“后设学科”(Meta-Discipline),认为它是一种将理工科以它们在自然世界中存在的形式表现出来的知识领域。^[6]辛辛那提大学的约翰逊(C. Johnson)和普渡大学的摩尔(T. Moore)等认为:“整合性 STEM 教育是指教师通过与技术相关的工程设计或工程实践来整合 STEM 学科,从而促进学生的课程内容和实践(包含科学和(或)数学)的学习。”^[7]他们同时指出,数学、科学和工程应该是中小学阶段的整合性 STEM 教育的主要目标之一。弗吉尼亚理工大学的桑德(Sanders)^[8]也赞成“STEM 教育应该是基于项目并整合技术的教育,其目的是帮助学生掌握如何运用科学和数学知识来解决与技术相关的现实问题。”

总体而言,中小学阶段的整合性 STEM 教育是

把 STEM 领域的核心概念置于富有吸引力的现实问题情境中,采用问题解决驱动的以学生为中心的教学方式,支持数学和(或)科学内容学习的同时,通过强调问题解决过程中学科之间的整合,帮助学生习得工程设计和(或)技术手段、理解各学科间的紧密联系、体会学科的价值、培养 21 世纪新技能,提高学生对 STEM 学科的积极态度及投身 STEM 领域相关事业的热情。

2. 中小学整合性 STEM 教育的目标

尽管中小学阶段的整合性 STEM 教育并未设定统一的目标,但我们仍能从较权威的报告和会议中一探究竟。宏观目标层面,在国家自然科学基金(National Science Foundation, NSF)资助下,美国国家科学研究委员会(The National Research Council, NRC)于 2010 年 10 月组织了“中小学 STEM 教育的优秀学校或项目大会”(Committee on Highly Successful Schools or Programs for K-12 STEM Education)。会议整理出美国中小学 STEM 教育的三个主要目标:^[9]

(1) 增加追求 STEM 领域的高学位或投身 STEM 相关职业的学生数量,增加 STEM 领域的女性和少数民族学生人数;

(2) 增加具备 STEM 能力的劳动力,并扩大女性和少数民族的比例;

(3) 增加所有学生的 STEM 素养。

为实现上述长期目标,会议还确立了一些中期目标,包括加强学生的 STEM 学科的学习和实践、培养对 STEM 相关领域的积极态度、培养终身学习习惯等。这些目标在若干学科标准中都有所体现,比如《共同核心州数学标准》(CCSSM)和《下一代科学标准》(NGSS)等。

微观目标层面,根据《理解整合性 STEM 教育:国家研究报告》^①(Understanding Integrated STEM Education: Report on a National Study)的统计,截止 2013 年,在美国中小学整合性 STEM 教育已经实施的项目中,目标主要是提高学生下列的一项或多项:^[10]

(1) 培养 21 世纪新技能(82%);

(2) 增加学生对 STEM 领域的态度和(或)兴趣(68%);

(3) 提高学生 STEM 课程的成绩、知识和(或)理解(64%);

(4) 促进学生对技术、工程和(或)科学过程

的理解(61%)。

值得注意的是,虽然技术和工程领域在整合性 STEM 教育中处于中心地位,也出现了一些中小学技术和工程的相关标准,但美国教育界并没有在中小学阶段的整合性 STEM 教育中出台独立的技术或工程目标和标准。

例如国际技术教育协会(ITEA)于 2007 年在《技术素养标准:技术学习的内容》^[11](Standards for Technological Literacy: Content for the Study of Technology)中精确描述了中小学阶段学生应该了解和具备怎样的技术素养,并整理出技术素养的标准。但美国国家工程科学院(NAE)的报告《中小学工程教育标准?》^[12](Standards for K-12 Engineering Education?)表示:单独设定中小学技术和工程教育标准并非善举,更无必要。报告认为“要确定中小学阶段的技术和工程教育标准的实用性、有效性是极其困难的。”进而,报告提议将中小学技术和工程教育整合到相关的其它课程(如科学)中,使之成为其它课程中工程方面的学习目标。

二、中小学整合性 STEM 教育的整合类型

整合性 STEM 教育作为整合性学习中的一种形式,虽然有其自身的特色,但仍与整合性学习共享着相同的理论和方法。在众多整合性学习类型中,目前美国中小学 STEM 教育较多采用以下三种整合方式:内容整合(Content Integration)、辅助式整合(Supporting Content Integration)以及情境整合(Context Integration)。

1. 内容整合

教师围绕某个涉及多个领域的大概念(Big Ideas)来设计教学活动或单元,从而融合多个学科内容,例如生态系统、机械系统、电气系统等。

2. 辅助式整合

教师设计的教学活动或单元涵盖两门以上学科,但把其中一门预设为主要学科,其它学科只是为了辅助该学科的学习。例如在学习科学内容时,学生需要数学的作图、统计、运算等。在这种整合中,学生往往只是工具性地运用辅助学科,因而很少能有效地学习到辅助学科的知识。

3. 情境整合

以一个学科的内容为核心目标,教师利用其它领域的现实问题情境来推动核心内容的学习。例如,塔玛拉·摩尔(Tamara J. Moore)^[13]等为

中学科学教师设计了通过工程情境学习科学的教学单元。在教学实施中,学生通过完成“为澳大利亚北部的居民建立温室”的工程,学习澳大利亚北部的气候、植物以及影响植物生长的因素等科学内容(核心内容),同时在建立温室的实践过程中体验工程设计流程。摩尔指出:“与单纯的情境教学不同的是,这类学习会将工程作为一个领域介绍给学生,鼓励学生为完善方案进行迭代设计,逐步习得工程设计流程。”

塔玛拉·摩尔等建议:在中小学阶段的整合性STEM教学中,教师可以有目的地引入“内容整合”式教学,同时关注辅助式整合和情境整合。^[14]

三、中小学整合性STEM教育的教学方法

一个典型的STEM课堂往往在包含多门学科的复杂情境中强调学生的设计能力与问题解决能力。教学过程中,教师首先提出一个工程问题,随后学生以小组为单位展开讨论与研究。在研究过程中,学生需要寻找合适的技术、分析数据,并设计、测试和改进解决方案,与同伴交流研究成果。^[15]因此,STEM教育常采用问题解决驱动的、行动导向的教学方法。其中基于项目的学习(Project-Based Learning,以下简称STEM PBL)和基于问题的学习(Problem-based Learning)是目前美国中小学STEM教学中最常用的两种教学方法。

两种教学都起始于一个开放的问题或项目,学生通过分工合作、收集资料和分析数据来解决问题。同时,两种教学都鼓励与校外STEM相关领域的专家或机构进行合作,从而把学生和STEM职业联系起来,扩展视野并提高兴趣。

基于项目的学习通常让学生运用数学或科学原理和方法,设计一个方案或制作某个产品作为学习成果。^[16]一个项目的实施往往需要数周时间,并且常和当地(学校或社区)的需求或亟待解决的问题紧密相连。与一般的基于项目学习略微不同的是,STEM PBL既强调工程的价值,又保证学生数学和(或)科学相关知识的学习,并在过程中让学生体会学科之间的关系。

例如,卡普雷洛(Capraro)^[17]等根据当地需要修建一座横跨大峡谷的桥梁的需求,设计了一个基于项目的STEM学习单元。学生需要利用小木棒、热胶棒、热胶枪、绳索和白胶浆,通过团队合作设计并建造一座重量最轻且承重最大的“桥

梁”。整个项目历时一周,在进行项目之前,教师会先介绍工程设计流程,然后指导学生。学生会经历识别问题和限制条件、初步研究(观看他人做桥梁的视频、小组讨论等)、设计方案、运用数学和物理知识分析并修改方案、用木棒制造原型、测试完善、展示交流(包括论证设计的合理性)等工程设计流程。教师在学生设计出初步方案后,对其进行讲评,并向学生讲解需要的物理学和几何学的知识。之后,学生根据这些知识和具体建造环节对设计进行反复修改。修改方案和建造环节不仅需要工程和技术素养,而且能使学生在反复修正的过程,体会工程的迭代性。此外,由于项目要求学生利用数学和物理知识论证其设计的合理性,所以该工程项目能促进学生学习数学和物理知识的学习。

基于问题的学习则更多是对某虚拟情节或案例进行研究,它们可能跟当地的问题无关。^[18]此类教学的成果主要是某个问题的解决方案或观点,而非实际产品。^[19]其周期也比较短,往往持续数天或者数周。

四、中小学整合性STEM教学设计原则

根据上述美国中小学整合性STEM教育的现状,结合约翰逊(Johnson)等人提出的整合性STEM教育框架,^[20]优质的整合性STEM教学应该满足11条原则。

首先,为了区别于单一STEM学科的课程,以及那些虽然涉及多个学科但相对简单的教学活动,整合性STEM教学应该满足以下5条原则:

1. 整合性STEM教学的主要目标必须包含数学和(或)科学内容,并关注各学科间的联系

威金斯认为教学目标是保持教学活动和评价一致性的媒介,且应该以核心学科为主。^[21]数学和科学正是STEM教育的核心学科。同时,教学需要吸取实施“做中学”时由于过分强调“做”而忽略“学”的教训。

2. 以工程实践或工程设计作为整合性STEM教学的现实问题情境

首先工程一般需要解决现实世界中结构不良的开放性问题,在此过程中离不开科学原理和数学分析。例如,对多个变量及变量间的关系进行分析和建模时,学生需要大量数学知识。其次,工程设计所服务的对象^②能让学生直观地感受到为何而“学”、为何而“做”。最后教师可以通过“设

设计论证(Design Justification)”来引导学生调查、研究、学习的方向,从而保证数学和科学的学习。因此,工程实践或工程设计可以成为整合四门学科的现实问题情境。摩尔等人将其形象地比喻为整合器(Integrator)。^[22]

3. 学生需要对工程设计进行论证

该过程类似于科学教育中的“论证”(Argumentation)过程,是促使学生将数学和科学知识运用到工程设计的一种有效方式。例如,学生在说明工程设计的合理性时,需要基于背景信息、工程设计的内容、测试数据等,这就必然涉及数学或科学内容。^[23]

4. 强调 21 世纪新技能的培养

“21 世纪新技能”^③是指作为 21 世纪的合格公民,为了有效行使职责而必备的认知、内省以及人际交往方面的技巧和能力。^[24]有效的整合性 STEM 教学可以将这些技能不同程度地融入教学中,从而给学生提供发展机会。

5. 以一个需要通过团队合作与交流才能解决的现实问题或项目作为教学情境

现实问题情境可以与学生的日常生活相关,可以与个人和社会问题相关,也可以与学生的兴趣爱好相关。背景丰富、需要团队合作的实践活动将为学生提供理解 STEM 学科自然属性的机会。^[26]

其次,由于学生在认知和解决问题过程中的资源(比如注意力、记忆力等)有限,而过于复杂的整合性项目可能会给学生施加过多的素材和要求,加重认知负担,使学习效果适得其反。因此,整合性 STEM 教学设计需要注意以下三个要求:

1. 展示清晰的整合

有研究表明,即使经过若干单元的学习,学生依然无法自然地发现那些贯穿于不同材料的整合。设计整合性实践活动时,教师需要为学生提供明确的整合提示,以帮助他们理解各个学科间的联系。

2. 保证学生达到单个学科的学习目标

当学生们对单个学科的相关概念理解不足时,他们很难联系其它学科中对应的概念,更不会自然地把单科知识运用到整合情境中。因此,在进行教学设计时,教师需要顾及到学生对每个 STEM 单科的学习。

3. 整合的复杂程度需要适中

一个贯穿不同 STEM 对象的实践活动,对学生而言既有益处也存在巨大的挑战。因此在认知和学习方面慎重地、有策略地整合,折中地实施项目尤为重要。问题情境的难度要与学生的接受程度相匹配。

最后,整合性 STEM 教学还应符合有效教学需要满足的一般原则:

1. 教学需要与学生已有知识相联系

根据比恩的观点,整合性学习不是简单地将两门以上学科拼凑在一起。^[27]知识的整合重视的是学生能在已有的知识和经验基础上探索新的知识。^[28]因此,教学设计必须把学生已有的知识纳入其中,使其能在教学实践中意识到已有的知识或想法,进而帮助他们建立新知识或巩固原有知识。

2. 教学需要展示深刻的、灵活的、与 STEM 课程相关的主题和内容

为此,教师往往需要良好的知识和技巧去整合那些超出他专业范畴的横向知识和实践。

3. 教学应该与文化或社会相关,并能结合到现实情境中

社会和文化的经验往往对整合性学习尤其重要。当问题情境需要学生彼此合作,共同讨论,合力完成时,某些社会行为将有助于学生学习和总结知识与策略。

五、整合性 STEM 教育对学生的评价

因为“评价”有可能限制中小学阶段整合性 STEM 教育的内容范围,所以评价需要与整合性 STEM 教育理念相匹配。小至随堂测评,大至全国范围的学习评估都有可能对整合性 STEM 教育的内容和发展产生影响。

遗憾的是,美国现行的评价体系几乎都只局限于单一学科,而且这些评价通常只关注课本里的知识,鲜有课程内容的实践和应用。阿布特联盟(Abt Associates)^[29]在美国国家自然科学基金(National Science Foundation, NSF)的资助下,统计了“探索研究中小学项目”^④(Discovery Research K-12)4 所资助的 190 个 STEM 项目中使用的 118 个评价学生的工具。根据评价的目的和范围,评价工具的分布情况如下表所示:

表5.1 STEM项目评价工具分布情况

认知领域 82(69%)				心理领域 36(31%)				
学科知识和推理能力 43(36%)			读写能力	联邦和州 成绩测试	态度	情感	动机	职业追求
科学	数学	数学和科学						
23 53%	11 26%	9 21%	8 7%	31 26%	13 11%	8 7%	12 10%	3 3%

上表显示,在82个针对学生的认知领域的评价工具中,有23个仅涉及科学,11个仅测试数学,9个同时测试了数学和科学,没有包含技术或工程的评价。

因此,STEM教育的评价创新势在必行,综合多个学科的评价更是亟待发展。事实上,目前已经有学者和机构积极地尝试新的评价方式,产生了诸多创新方法。例如“美国国家教育进展评估”(NAEP)探索了技术和工程素养的评价方案,称之为“技术与工程素养评估”(TEL),该方案已于2014年在某8年级学生样本中实施,反响良好。^[30]再如,2009年NAEP交互式计算机的“基于计算机的任务以及实践任务的科学评估(Hands-on Tasks Science Assessment)”等。^[31]

六、小结与启示

整合性STEM教育是世界性的趋势,虽然我国对STEM教育的关注起步较晚,但秉承重视实践的优良传统,国内已在中小学阶段积极开展STEM教学实践。例如,上海于2014年成立的“STEM+”研究中心在覆盖幼儿园到高中的34所实验学校的148个班级里进行了三个学期的课堂实践。^[32]本文通过分析美国中小学整合性STEM教育的教学实践,意在为我国中小学教学实践提供些许借鉴。

1. 通过整合性STEM教育将工程融入中小学教育

我国是世界上工程教育规模最大的国家之一,然而工程师的总体数量和质量却有待提高。根据2009年瑞士洛桑发布的《世界竞争力报告》显示,我国“合格工程师”的数量和质量在55个参与国中仅排第48位。^[33]2013年麦肯锡测算,我国市场对工程师的需求迅猛增长,2020年工程

技术人才缺口将达2,200万。^[34]在中小学阶段引入工程启蒙教育无疑对我国工程技术人才的数量和质量有正面作用。整合性STEM教育通过创设工程情境,在项目实施过程中介绍工程设计流程等方式,将工程作为一个领域引入中小学的课堂教学中,从而帮助学生了解工程、习得工程设计流程、培养工程思维。因此,整合性STEM教育能为工程融入中小学教育提供参考。

2. 在理工科教学过程中适当加强学科间的联系

整合性STEM教育强调在教学过程中建立不同STEM学科之间的联系。从当前已知的认知和学习理论来看,建立知识之间的联系可能是有效的。因为认知的基本属性偏爱有关联的概念,这将会有利于知识的重新推演和应用。此外,相互连接的知识结构能帮助学生提高迁移能力,使他们能将已掌握的知识迁移到新的情境中。已有的整合性STEM教育的研究也有类似的结果,例如:文维尔(Venville)^[35]等人通过整合性STEM教育指导初三学生完成为期10周的“设计制作太阳能船”项目。教师在教学过程中帮助学生整合相关的科学、技术和数学的知识与技能。通过对学生访谈的分析,他们认为:整合性STEM教育有助于学生综合使用各个学科的知识与资源;有助于学生了解如何把知识运用到实际情形。

与美国整合性STEM教育情况不同,我国的中小学教师更注重学科内部的三维目标,即知识与技能目标、过程与方法目标、情感态度价值观目标。教师在理工科教学过程中如果有意识地加强各学科之间的联系,不仅能加深学生对本学科知识的理解,而且能帮助学生灵活地运用不同学科的知识。

注释:

- ① 受美国国家工程院和美国国家科学教育研究委员会的董事会委托,大卫 (David) 等人对美国目前整合性STEM教育的状况进行了为期两年的调查研究,最终形成《理解整合性STEM教育:国家研究报告》一文。作为主要内容之一,报告对中小学阶段的整合性STEM教育提出了教学建议。
- ② 工程项目往往需要预设一个“客户”的角色。
- ③ 根据《21世纪合作技能框架》,^[24]21世纪新技能包括:1.学习和创新技能:创造性和创新性、批判性思维、问题解决能力、沟通与合作能力;2.信息、技术和媒体技能包括信息素养、媒体素养以及信息、交流和技术素养;3.生命和职业技能强调的是可塑性和适应性、主动性与自我调整、社会和文化交互技能、领导力和责任心等。
- ④ 受美国国家自然科学基金资助。

参考文献:

- [1] 杨亚平,美国、德国与日本中小学STEM教育比较研究[J]. 外国中小学教育,2015,(8):23-30.
- [2] 龙玫,赵中建.美国国家竞争力:STEM教育的贡献[J]. 现代大学教育.2015,(2):41-49.
- [3] R.Carr, and J.Strobel. Integrating Engineering into Secondary Math and Science Curriculum: A Course for Preparing Teachers. IEEE 1st Integrated STEM Education Conference[M]. Ewing, NJ, April 2, 2011.
- [4] Strobel, J, Carr, R.L, Matinez-Lopez, N.E., Bravo, J.D.. National survey of states' P-12 engineering standards. Proceedings of the American Society for Engineering Education National Conference, Vancouver, BC, Canada.2011.
- [5] Breiner, Jonathan M.; Harkness, Shelly Sheats; Johnson, Carla C.; Koehler, Catherine M. What Is STEM? A Discussion About Conceptions of STEM in Education and Partnerships[J]. School Science and Mathematics, 2012,01,v112n1:-11.
- [6] Morrison J, Raymond V. STEM as curriculum[J]. Education Week, 2009,23:28-31.
- [7] [14][20]C.Johnson,T.Moore and E.Petersburton, STEM Road Map: A Framework for Integrated STEM Education[M]. Routledge, 2015.
- [8] Sanders. M, STEM, STEM Education, STEMmania[J]. Technology Teacher, 2009, 68(4):20-26.
- [9] [10] R.David, P.Greg and E.Susan. Understanding Integrated STEM Education: Report on a National Study[C]. Paper presented at 2013 ASEE Annual Conference, Atlanta, Georgia. <https://peer.asee.org/22664>. 2013.
- [11] International Technology Education Association (ITEA). Standards for technological literacy: Content for the study of technology (3rd ed.) [M]. Reston, VA: ITEA. 2007.
- [12] National Research Council (NRC).Standards for K-12 engineering education?[M]. Washington, DC: National Academies Press. 2010.
- [13] Moore T J, Guzey S S, Brown A. Greenhouse Design [J]. Science Scope, 2014.
- [15] 赵中建,施久铭. STEM视野中的课程改革[J]. 人民教育. 2014,(2):64-67.
- [16] J.Krauss and S.Boss. Thinking through project-based learning: Guiding deeper inquiry [M]. Thousand Oaks, CA: Corwin Press. 2013.
- [17] Robert M. Capraro, Mary Margaret Capraro, James R. Morgan. STEM Project-Based Learning: An Integrated Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) Approach[M]. Springer Science & Business Media, 2013. 210 pages.
- [18] Barell, J. Problem-based learning: An inquiry approach [M]. Thousand Oaks, CA: Corwin Press. 2006.
- [19] Johnson, C. (2004). NASA rocks: Problem based learning in Earth science, Science Scope , 28 (1), 47-49.
- [21] G.Wiggins, J. McTighe. Understanding by design. Alexandria, VA: Association for Supervision and Curriculum[M]. 2005.
- [22] T.Moore, S.Guzey and A.Brown. Greenhouse design to increase habitable land: An

- engineering unit[J]. Science Scope, 2014, 37 (7), 51-57.
- [23] Sampson, V., Enderle, P., Grooms, J. (2013). Argumentation in science education, The Science Teacher, 80 (5), 30-33.
- [24] Partnership for 21st Century Skills. Framework for 21st century learning. Retrieved from www.p21.org/about-us/p21-framework. 2009.
- [25] National Research Council (NRC). Exploring the intersection of science education and 21st Century skills: A workshop summary. Margaret Hilton, Rapporteur. Board on Science Education, Center for Education, Division of Behavioral and Social Sciences and Education. Washington, DC: National Academies Press. 2010.
- [26] J. Frykholm, and Glasson G. Connecting science and mathematics instruction: Pedagogical context knowledge for teachers[J], School Science and Mathematics, 2005. 105, 127-141.
- [27] Beane, J. A. Problems and possibilities for an integrative curriculum[J]. Middle School Journal. 1993. 25(1), 18-23.
- [28] Beane, J. A. Curriculum integration: Designing the core of democratic education[M]. New York: Teachers College Press. 1997.
- [29] Abt Associates, Compendium of Research Instruments for STEM Education PART 2: Measuring Students' Content Knowledge, Reasoning Skills, and Psychological Attributes[R], 2012. 11: 6.
- [30] National Assessment of Educational Progress (NAEP), The Technology and Engineering Literacy (TEL) assessment[EB/OL]. <http://nces.ed.gov/nationsreportcard/tel/>. 2016-3-6.
- [31] Institute of Education Sciences, Science in Action Hands-On and Interactive Computer Tasks From the 2009 Science Assessment National Assessment of Educational Progress at Grades 4, 8, and 12. [EB/OL] <https://nces.ed.gov/nationsreportcard/pdf/main2009/2012468.pdf>. 2016-3-6.
- [32] 王懋功. 从国家高度思考STEM教育[J]. 上海教育. 2016, (3): 39.
- [33] 陈国松. 我国重点大学本科工程教育实践教学改革创新[D]. 华中科技大学, 2012: 2.
- [34] 邱晨辉. 工科教育再不“升级”就拖产业发展后腿了[N]. 中国青年报, 2014-04-08.
- [35] G. Venville, L. Rennie. J. Wallace. Decision Making and Sources of Knowledge: How Students Tackle Integrated Tasks in Science, Technology and Mathematics[J]. Research in Science Education, 2004, 34(2), 115-135.

Study on Teaching Practice of Integrative STEM Education in American Schools

YANG Yaping CHEN Chen

Abstract: Advocates of more integrated approaches to primary and secondary school STEM education argue that teaching STEM should be in a more connected manner. This manner can enhance motivation for learning and improve student interest, achievement, and persistence. This paper may sort out the theory and practices of integrated STEM education in primary and secondary schools in the U.S., including the definition and characteristics of STEM education, the high-quality integrated STEM teaching principles, pedagogical approaches, and contents of integrative STEM activities, which can bring us some enlightenment.

Keywords: primary and secondary schooling Integrative STEM Education; teaching practice