

基于STEM的跨学科教学设计与实践*

□张屹 赵亚萍 何玲 白清玉

摘要：信息化时代的发展需要大量的工程与技术人才，STEM教育逐渐成为基础教育阶段国际科学教育的一门新兴课程，受到各国的关注和重视。我国在一些地区进行了STEM教育的实践推广，但国内相关研究主要集中在STEM教育的概念辨析、课程研究、教学模式及实施案例等方面，对STEM教育在具体学科教学中的应用研究较少。STEM教育理念的核心是跨学科整合，跨学科整合最核心、最重要的工作是项目或问题的设计。STEM的跨学科整合，一方面要将分学科的知识按问题逻辑或项目逻辑进行跨学科重组，另一方面又要确保设计的问题和项目对所有学科基础性知识结构的全面、均衡覆盖。基于多学科融合的STEM理念，项目组设计并实施了“气球火箭”系列课程。在以华中科技大学附属小学学生为研究对象进行的单组前后测实验中发现：基于STEM的教育能够激发学生的学习兴趣，也有利于学生科学探究能力的发展；而且虽然基于STEM的教学在一定程度上增加了学生的认知负荷，但一定范围内的高认知负荷有利于学生探究能力的发展。

关键词：STEM教育；跨学科教学；探究能力；学习兴趣；影响研究

中图分类号：G434 **文献标识码：**A **文章编号：**1009-5195(2017)06-0075-10 doi:10.3969/j.issn.1009-5195.2017.06.009

***基金项目：**2016年度教育部人文社会科学研究规划基金项目“智慧教室中促进小学生深度学习的教学策略研究”(16YJA880067)；The “Future Schools in 2030” Program: The Technology Enhanced Assessment to Improve Students’ Deep Learning in Smart Classroom (AICFE-IO-007)。

作者简介：张屹，博士，教授，博士生导师；赵亚萍，硕士研究生，华中师范大学教育信息技术学院（湖北武汉 430079）；何玲，教师，华中科技大学附属小学（湖北武汉 430074）；白清玉，博士研究生，华中师范大学教育信息技术学院（湖北武汉 430079）。

一、引言

为适应全球扁平化的时代浪潮，培养学生的核心素养及能力，提供适合的教育，是各国教育的重要使命，同时也是21世纪课程改革的重大主题。所谓能力（Ability），它涵盖了诸如探究能力、批判性思考、问题解决、创造力、价值观、沟通合作交流等方面，有着一定的深度和广度。美国“21世纪学习框架”和新加坡“21世纪技能框架”中均提出了对于学生探究能力等的培养。我国教育部2017年发布的《全日制义务教育小学科学课程标准》（以下简称“标准”）中提出，科学教学应从学生实际出发，创设有助于学生主动学习的问题情境，引导学生通过探究学习等，获得科学基础知识

和技能，促使学生主动地、富有个性地学习，不断提高探究能力；《标准》还指出，科学教学与小学其他学科关系密切，倡导跨学科方式学习，即融合科学、技术、工程、数学为一体的STEM教育，它是一种以项目学习、问题解决为导向的课程组织方式（教育部，2017）。2016年2月国务院办公厅印发的《全民科学素质行动计划纲要实施方案》也明确提出，在中学阶段要增强学科间横向配合，开展跨学科实践探究活动（国务院，2016）。《教育信息化“十三五”规划》（以下简称“规划”）也要求：积极探索信息技术在STEM教育及创客等新的教育模式中的应用，着力提升学生的信息素养、探究能力、创新意识和创新能力（任友群等，2016）。可见，探索基于STEM的教学模式，以更好地促进学

生能力发展，成为教育领域关注的焦点。而如何使外来的STEM教育本土化，以适应我国教育是学者当前热议的话题。基于此，本文将探究如何使STEM教育从理念和思想层面，转化为有成效的行动实践，并在此基础上对于STEM的教学效果进行分析。

二、文献综述

1. STEM教育概述

STEM是Science（科学）、Technology（技术）、Engineering（工程）和Mathematics（数学）英文首字母的缩写。融合的STEM教育具备如下特征：（1）跨学科。艾布特斯使用“元科学”（Meta-Discipline）描述STEM，即表示它是科学、技术、工程和数学等学科知识的整合（Morrison, 2006）。STEM教育的跨学科特点，强调在教学过程中让学生应用多学科知识，解决实际问题，以实现跨越学科界限提高学生解决实际问题能力的教育目标。（2）协作性。建构主义指出，学习环境的四大要素包括“情境”“协作”“会话”和“意义建构”（何克抗, 1997）。STEM教育的协作性就是要求学习环境的设计要包括“协作”和“会话”两个要素：让学生以小组为单位，完成学习及评价；同时，学习者通过会话商讨如何完成规定的学习任务。（3）体验性。STEM教育强调学生参与学习过程，其体验性的特征，使得学生不仅能获得结果性知识，还能习得蕴含在项目问题解决过程中的过程性知识。（4）设计性。STEM教育要求有学习产品的环节，通过设计促进知识的融合与迁移运用，通过作品外化学习的结果、外显习得的知识能力。因此设计性是STEM教育的又一核心特征。（5）情境性。情境是STEM教育重要而有意义的组成部分。学习受具体情境的影响，情境不同学习也不同。情境性问题的解决，可以让学生体验真实的生活，获得社会性成长。

2. STEM教学的影响研究

Choi等人认为基于项目的STEM教育可以从知识、技能和情感三个方面提升小学生学习成就，同时有利于引导学生进行整合设计、学习科学和技术的综合性问题解决（Choi et al., 2016）。Harris等人

为了研究基于项目的探究式课程材料的教学效果，对42所学校的六年级学生进行了为期1年的教学研究，发现基于项目的探究式课程材料有利于科学思想与科学实践的结合，有利于提高学生科学课程学习的成效（Harris et al., 2015）。Meyrick研究了STEM教育是如何提高学生学习的，发现在STEM教育中通过各种基于活动的学习模型给学生提供快速深入的学习机会，有利于他们对个人感兴趣的主题进行深入研究（Meyrick, 2011）。Frykholm和Glasson的研究表明，在进行STEM教学过程中学习者对数学和科学等内容的理解更加深入（Frykholm et al., 2005）；同时Asghar等人也发现，基于STEM的教学有助于培养学习者应用所学知识解决真实世界中问题的能力，这些问题在本质上就是跨学科的（Asghar et al., 2012）。“协作-探究”教学模式对于学生探究能力和协作能力的提升以及学生的创造力有促进作用（包昊昱等, 2015）。傅骞等认为，STEM教育作为一种教学策略，能够通过基于设计的学习、基于项目的学习和探究性学习等学习方式，培养学习者解决实际问题的能力（傅骞等, 2016）。综上所述，STEM多学科融合的教学对于学生科学探究等能力的提高有一定帮助。

还有一些研究指出基于STEM的综合实践学习有利于学生创造力和科学兴趣方面的培养（Lee et al., 2013；Kim et al., 2014）。Kong与合作者以及Kim和Choi提出基于主题的STEM活动对小学生的科学学习动机有积极的影响，能积极改变科学学习态度并在一定程度上提高学生在科学学习过程中的自我效能感（Kong et al., 2014；Kim et al., 2012）。Bae等发现基于STEAM的科学教学，对学生科学学习的动机及成绩相较于传统科学教学有显著性提升（Bae et al., 2013）。蔡蕙文的研究发现，STEM教学模式有助于提升中学学生在科学、技术、工程与数学的整合知识与概念，STEM组的学生在科学、技术、工程与数学的成绩显著优于传统教学组，学生对STEM教学模式持正面肯定的态度，STEM学习态度与学习成效呈显著正相关（蔡蕙文, 2008）。

综上所述，基于项目或问题活动的STEM教育可以很好地激发学生的学习兴趣 and 内在动机，对于学生探究能力等的提高有一定帮助。而目前国内相

关研究主要集中在STEM教育的概念辨析、课程研究、教学模式及实施案例等方面，而对于STEM教育在具体学科教学中的应用研究较少。因此，本研究将基于跨学科的STEM教育理念进行教学设计，并通过定性加定量的研究数据分析，验证基于STEM理念的教学对学生学习兴趣、科学探究能力等方面的影响。

三、基于STEM理念的跨学科整合模式

Sanders指出STEM教育建立在建构主义和认知科学的研究成果之上(Sanders, 2009)。Bruning等人指出，STEM教育与认知科学的主张一致：学习是建构的过程；在认知过程中动机和信念非常重要；认知发展建立在社会互动基础之上；知识、策略和专门技术是情境化的(Bruning et al., 1979)。由此可见，STEM教育是一种典型的建构主义教学实践：即为学习者提供适合的学习情境，让他们积极地建构知识，从而强化对知识的记忆并促进迁移；以小组为单位进行活动，为知识的社会建构提供优越条件。因此，实践STEM教学模式首先要符合建构性学习所强调的探究、发现、协助等基本要求。

Herschbach提出STEM教育的课程设计应该使用“整合的课程设计模式”，即将科学、技术、工程和数学等整合在一起，强调对知识的应用和对学科之间关系的关注(Herschbach, 2011)。余胜泉教授等(2015)也指出，STEM教育理念的核心是跨学科整合，通过知识情景化、生活化，让学生自主运用学科知识，学会创造性解决问题。跨学科整合最核心、最重要的工作是项目或问题的设计，即在进行项目或问题的设计时将知识蕴含于情境化的真实问题中，以调动学生主动积极地利用各学科的相关知识设计解决方案，跨越学科界限提高学生的高阶思维能力。但同时需要注意各学科原有知识体系结构的劣构化问题，这可能导致学生学习知识结构的不均衡。因此，STEM的跨学科整合，一方面要将分学科的知识按问题逻辑或项目逻辑进行跨学科重组，另一方面又要确保设计的问题或项目对所有学科基础性知识结构的全面、均衡覆盖。设计和实施STEM跨学科整合的课程，要在学科知识的系统性与解决实际问题/项目中所获知识

的随机性之间保持一定的张力和平衡，基于整体知识结构的系统性设计问题，使各问题之间包含的学习内容多次相互邻接和交叉重叠。笔者所在项目组与华中科技大学附属小学试点学校联合开展了一系列的基于STEM理念的跨学科综合实践课。本文以五年级(上)小学科学《力与运动》单元的综合实践课“气球火箭”为例进行基于STEM理念的教学介绍。具体方法是：参照建构主义教学设计模式(余胜泉等, 2000)，提出STEM项目设计模式，进行教学案例的设计。即在“教学分析”的基础上，以“项目或问题”为核心立足点，设计项目完成或问题解决过程中的学习资源与工具、学习活动过程、学习支架、学习评价等关键环节；同时关注项目完成后，学生获得知识的系统化与结构化迁移，并有相应的强化练习与总结提升。

四、基于STEM理念的跨学科整合教学设计

1. 教学分析

(1) 学习者分析。本次教学对象为小学五年级学生，经过2年多的科学学习，大多数学生已具备初步的探究能力及合作能力，对于周围世界产生了强烈的好奇心和探究欲望，乐于动手，善于操作，为后续科学课程学习的顺利开展奠定了基础。

(2) 教学内容分析。“气球火箭”是小学五年级《力与运动》单元综合实践活动主题课。本课基于STEM教育理念开展教学：根据学生认知特点，本专题选取学生熟悉的气球为研究对象，在实际而非理论条件下，让学生整合自己科学、数学、技术及工程四方面的知识，以小组合作的形式，探究制作气球火箭，在探究过程中引导学生对物体的运动进行感知和思考，以此完成本次课程教学目标。

2. 教学过程设计

在“教学分析”的基础上，依据STEM教育理念，以“气球火箭制作”为核心立足点，明确本次课程教学目标，进行学习、学习评价等关键环节的设计，同时关注“气球火箭”制作完成后，学生获得知识的系统化与结构化迁移，让学生对自己的气球火箭成品进行汇报，最后教师进行总结提升。具体的教学设计过程描述如下：

(1) STEM教学目标设计。教学目标是在认知

与技能、过程与方法、情感态度与价值观领域对学生完成学习活动后,获得成长的预期,它既是教学活动的起始点,也是其最终落脚点(崔允漷,2004)。根据对学习内容及教学内容的分析结果进行本课程教学目标设计,形成学科和目标领域间的二维矩阵教学目标,如表1。

表1 “气球火箭”STEM教学目标

目标STEM	知识与技能	过程与方法	情感态度与价值观
S(科学)	认识反冲力、摩擦力等各种力 体会力与运动的关系	使用相关材料设计发射火箭	体验认真实验、收集数据并进行解释的科学过程
T(技术)	学会运用相关软件测试气球火箭的运行时间、展示小组作品及信息查询		感受科学技术在探究过程的重要性 创造性制作与装饰气球火箭
E(工程)	能够以工程的思想设计合理的火箭模型并装饰 学会如何让反冲火箭运动速度提高	多次实验改进气球火箭以找到最快速的气球火箭装置	体验合作和不怕困难的精神,尊重自己和他人的劳动成果,养成参与探究的兴趣,激发创造精神
M(数学)	学会用“速度等于路程除以时间”的公式计算火箭速度		

(2) 学习活动设计。“气球火箭”专题的教学从气球火箭的初步设计与试验、完善、装饰与产品发布及评价四个活动展开,共用4课时。学生在活

动过程中逐步感知力与运动以及运动状态改变的影响因素等。活动过程中4~5人一组,组内成员分工按照任务类型。具体学习活动介绍如表2,具体的活动流程见图1。

表2 学习活动介绍

活动名称	气球火箭制作(4课时)	
活动介绍	通过讨论、设计制作、验证、改进气球火箭,让学生理解数学、工程、动力学及运动规律	
需要解决的问题	在不断的探究实验中制作出最快速的气球火箭;在保证速度的基础上使自己小组的气球火箭尽量美观	
资源准备	iPad;绳子;吸管;喷嘴;气球;透明胶;双面胶;PVC管;剪刀;彩笔等	
涉及的STEM内容	科学	动力学与运动规律
	技术	使用计时器、QQ讨论组、iPad拍照
	工程	应用工程理念进行气球火箭的设计、制作及改进
	数学	火箭速度的计算

3. 学习评价设计

STEM教学的目标在于促进学生能力的发展,更多地关注学习者的学习过程及真实能力的评价。“气球火箭”采用“教师评价+同伴互评+反思”的多元评价方式。评价的标准如表3。

表3 评价标准

奖项	标准
牛气冲天团队	速度最快(学生研究物理速度最快)
最强大脑团队	研发表格完成得好(整个探究过程完整,清晰)
最强科研团队	产品说明书完成得最好(图形结合,思路清晰)

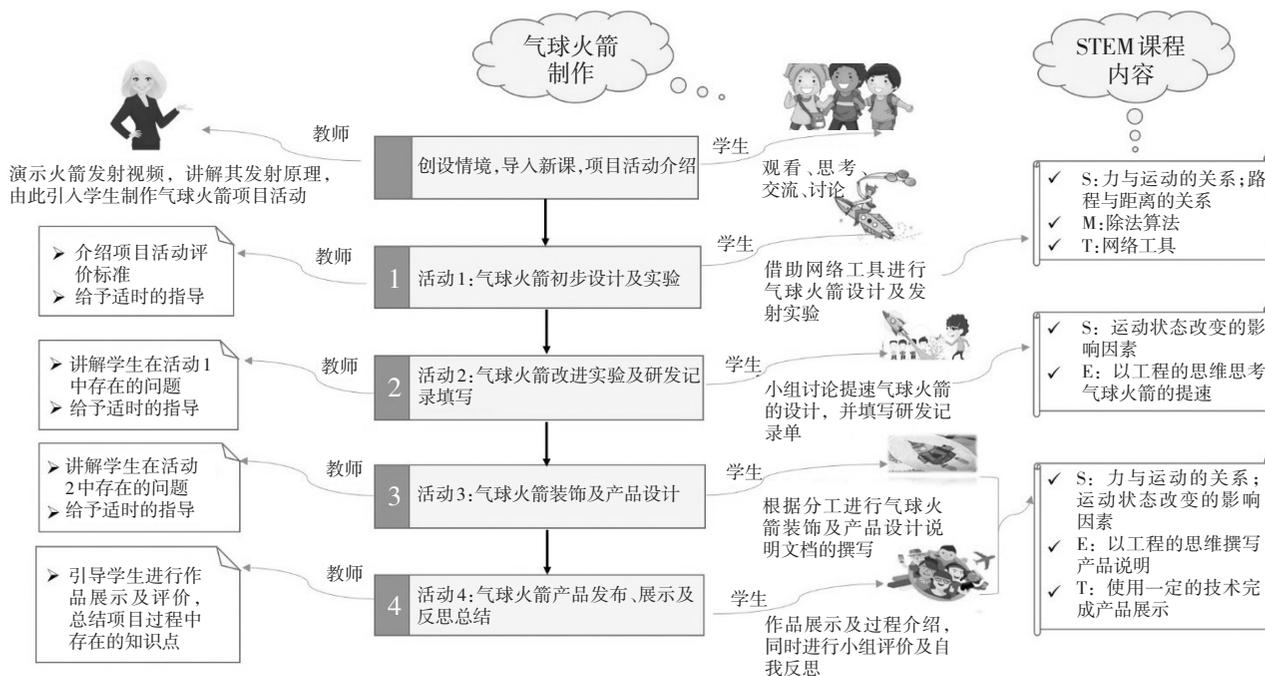


图1 STEM项目活动流程

五、基于STEM理念的跨学科教学实践

1. 实施过程

教学实践是将教学设计理念付诸行动的过程。实施过程需根据学生在实际课堂中的表现，如对问题情境的理解程度、对活动的参与程度，适时进行调整。具体的实施过程如下：

(1) 情景导入。教师展示气球及火箭发射相关视频，引起学生的注意，激发学生学习动机，导入本次课程。

(2) 活动1：气球火箭初步设计及实验。教师讲解气球火箭原理，给出本次课程的评价方案并在活动过程中给予适时的指导。学生运用已有科学、技术、工程及数学方面的知识，进行气球火箭的制作与发射实验，使用iPad及计时器等记录发射火箭的距离与时间，根据所学学科知识探究气球火箭的速度，将气球火箭速度发送到QQ讨论组，同时小组成员合作完成本小组的研发记录单。

(3) 活动2：气球火箭改进试验。学生通过网上查阅资料，以工程的思想改进气球火箭的材料或者改造气球火箭的结构。有的学生选择教师提供的PVC管来代替之前的软吸管，有的选择剪短之前的吸管等形式，来进一步完善小组的气球火箭，使得气球火箭加速。在实验过程中学生借助科学、数学、工程和技术方面的知识进行探究，同时将探究结果发送到课堂QQ讨论组，并在研发记录单上填写每次探究的过程及结果分析。

(4) 活动3：气球火箭的装饰及产品说明的设计。小组成员发挥自己的聪明才智，借助一定的技术工具对小组的气球火箭成品进行美化装饰，同时对小组的气球火箭构造、最快发射速度及构造等进行文档说明。学生装饰后的作品如图2所示。



图2 学生作品

(5) 活动4：气球火箭产品展示发布及反思评价。选派小组代表对小组的气球火箭产品进行展示

介绍，对不足之处进行反思说明，同时小组之间根据教师的评价方案进行产品评价，在QQ讨论组以投票的形式对作品进行投票，“教师评价+小组评价”评选出优秀小组，并进行颁奖。最后教师对本次活动课进行总结。

2. 实验研究

研究设计单组前后测实验，以华中科技大学附属小学五年级某班52名学生为研究对象，以基于STEM的小学科学教学为自变量，以学生科学探究能力、学习兴趣及认知负荷为因变量，采用组合改编的《STEM教学成效调查问卷》为测量工具，探讨基于STEM的小学科学教学对学生科学学习的影响。

(1) 调查问卷

前测。问卷包含科学学习兴趣及科学探究能力两部分，共13道题目。在科学学习兴趣部分，本研究从Lamb等人的科学兴趣量表中抽取并改编了2个测试题目，从课程本身及学习方式的兴趣两方面进行分析(Lamb et al., 2012)；对于学生科学探究能力的测量，本研究对Novak等人以及Mintzes等关于学生探究能力的问卷进行了改编，共11道题目(Novak & Gowin, 1984; Mintzes & Novak, 2005)。问卷采用李克特五级量表计分，问卷中的问题具体分类见表4。

表4 STEM教学成效调查问卷

维度	指标	题号	题数(道)
学习兴趣	课程兴趣	1	1
	学习方式兴趣	2	1
探究能力	发现问题	3,4	2
	观察记录	5,6,7	3
	收集资料	8	1
	转化资料	9,10	2
	知识转化	11,12,13	3

后测。在前测问卷的基础上添加了学生在此种方式下认知负荷的部分。关于认知负荷的测量，研究从Hwang等人的认知负荷调查问卷中抽取并改编了2个测试题目(Paas, 1992; Hwang et al., 2013)，这两个测试题目均采用9级量表的形式。后测部分共15道题目。

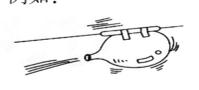
研究对前后测问卷中探究能力维度下题目的整体信度进行了计算，前测问卷探究能力部分的Cronbach系数 $\alpha=0.759$ ，后测问卷的Cronbach系数

$\alpha=0.809$ ，均在0.7以上，表明前后测问卷均具有较高的信度。

(2) 研发记录单

研发记录单是在与多位学科教师交流及教学实际需求的基础上进行设计的，它是记录学生“气球火箭探究”的思维工具，见表5。该思维工具包括尝试措施、是否改进、原因分析、反思等部分。第一，尝试措施。学生以工程的思想进行相关措施的思考，并对相关措施进行探究，在探究活动中体会科学探究的过程。第二，是否改进。学生结合学科知识借助一定的技术进行计算以分析是否增速，培养学生在解决问题的过程中，结合多学科知识进行思考的意识。第三，原因分析。引导学生从科学、工程、数学等方面分析每次成功或失败的原因，透析问题背后的原因。第四，反思。通过反思培养学生勤于思考的意识，发展学生的高阶思维能力。

表5 研发记录单

尝试措施(可以画图,也可以文字描述)	原来速度 m/s	现在速度 m/s	是否 增速	分析增速或 减速的原因
例如:  或 增加了…… 改换了……	0.5	0.8	√ 或 ×	可能是因为……所以速度提高了
1.				
2.				
反思1.请画出气体运动方向和气球运动方向。				
反思2.是什么使气球运动起来? 又是什么原因使气球最后停止运动?				

(3) 研究过程

为了探究STEM理念下的跨学科教学对学生探究能力等的影响，本研究采用单组前后测实验设计，图3展示了实验流程。首先，对被试进行前测，以了解受试者在当前教学方式下的科学学习兴趣及探究能力现状；其次，根据发现的问题应用STEM教育理念进行相关主题的教学设计及跨度4个课时的教学活动开展；最后，课程结束后，从兴趣、探究能力及认知负荷三个方面对学生进行后测，对比前后测数据，同时对学生的探究过程及最终作品进行分析，研究运用STEM理念跨学科教学后的相关问题。

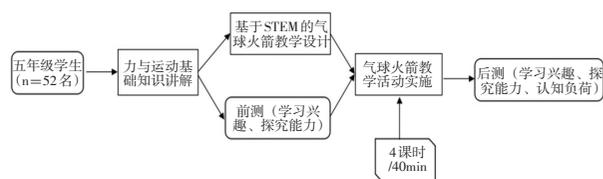


图3 实验设计流程

(4) 研究假设

本研究基于三个研究假设：第一，基于STEM理念的课堂教学有利于学生学习兴趣的提高；第二，基于STEM理念的课堂教学会增加学生的认知负荷；第三，基于STEM理念的跨学科教学能够提高学生的探究能力。

3. 教学效果分析

(1) 基于STEM理念的跨学科教学对学生学习兴趣的影响分析

为了检验基于STEM理念的跨学科教学对于学生科学学习兴趣的影响，在STEM教学开展前后分别对学生进行问卷调查，借助SPSS对学生学习兴趣的前后测数据进行配对样本T检验，结果如表6。

表6 学习兴趣前后测数据分析

题目	类别	均值	标准差	T值	Sig(双侧)
你有信心学好科学实践课吗	前测	3.628	.952	-2.251	0.030
	后测	4.047	.755		
你认为综合实践课有意思吗	前测	3.884	.905	-2.142	0.029
	后测	4.209	.773		

由表6可知，在基于STEM理念的学习之后，学生对于科学课学习的兴趣均值达4.0以上，表明在基于STEM的教学中学生具有很高的学习兴趣。同时，配对T检验显著性概率 p 值小于0.05，表明学生在STEM方式下进行科学课学习后其学习兴趣存在显著提升。可见，多学科融合的项目化驱动学习，以真实问题出发，学生自主参与项目的全过程，学习过程会变得更加有趣和有吸引力，学生更乐于参与活动。即基于STEM理念的跨学科学习更能激发学生的学习兴趣。

(2) 基于STEM理念的跨学科教学对学生探究能力的效果分析

研究从定量、定性两个方面分析了基于STEM理念的跨学科教学对学生探究能力的效果：一是从学生的研发记录单以及探究过程等定性数据分析，二是从回收的问卷数据进行学生探究能力的分析。

具体如下：

第一，学生研发记录单分析。研发记录单记录了学生从设计到模型程序再到优化创新的技术设计全过程。图4是第6组学生从活动开始到结束对研发记录单的完善过程。学生以图形结合的方式记录了小组在设计、实验、原因剖析及最后的反思等整个活动中的思维过程。从图4可以看出，第6组学生提出了2种气球火箭改进方法，通过实验，一种达到了目的，一种没有。从两种方式实验后的结果来看，学生在此活动下并没有真正了解影响力的状态改变的因素。在教师讲解气球火箭涉及到的力与运动知识后，从学生的反思可以发现，学生对于运动状态改变的原因，虽然不能用专业的语言进行表述，但却已经有了一定的了解。同时，从研发记录单还可以看出学生探究过程的完整性。在探究过程中，他们体会到实际制作与前期设计的冲突，在假设与实验过程中不断提升思维的缜密性和完整性。

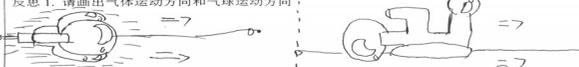
我们的研发过程和反思——第6组				
尝试措施 (可以画图，也可以文字描述)	原来速度	现在速度	是否增速	分析增速或减速的原因
例如：  增加了.....改变了..... 或	0.5	0.8	√或×	可能是因为...所以速度提高了
1. 增加了2个气球，2根管子。 	0.4	0.5	x	可能是因为气球多了，所以速度提高了。
2. 增加了大号的管子。 	0.4	0.2	√	可能是因为粗管子与气球多了。
3. 无	0.4	0.5	无	可能是因为无
反思1. 请画出气体运动方向和气球运动方向。 				
反思2. 你们认为是什么使气球能够运动起来？又是什么原因气球最后停止运动？ 答：我们认为动力大，气球大才能使气球运动起来；因为动力没了，气也就没有了，所以气球才停止下来了。				

图4 部分小组最终研发记录单

第二，学生气球火箭探究过程分析。图5是学生气球火箭完善的过程。从学生气球火箭的外观设计上可以看出，学生以不同的方式来改进气球火箭的速度。改进活动体现出学生在多次探究实验过程中认识到火箭速度的影响因素，并不断改进。有的学生改变了火箭制作的材料即将软管换成了PVC管以减少摩擦力；有的学生通过增加气球的数量以此来增加火箭的反冲力；还有的学生通过改变

火箭的运行轨道即将运行轨道倾斜以此使火箭借助一定的外力来增速。虽不是每一种方案都能够成功，但是在探究过程中可以看出学生将数学、科学、工程与技术等知识很好地结合，对力与运动，尤其是反冲力和摩擦力有了更为直观的认识，能将所学的科学知识很好地运用于探究活动中。

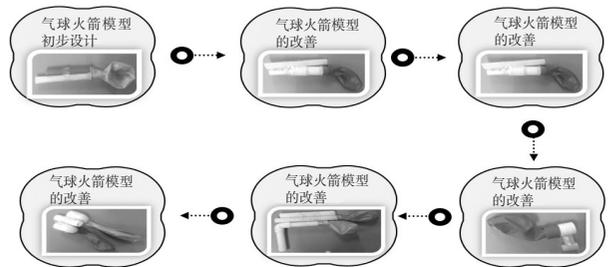


图5 学生气球火箭改善完善过程

第三，学生探究能力数据收集分析。为了验证基于STEM理念的教学对于学生科学探究能力的影响，研究从探究能力的几个维度，分别对收集到的数据进行配对样本T检验，结果如表7。由表7可见，经过此次STEM教学之后学生在5个维度上的均值均大于4.0，表明学生的探究能力均有所提高。同时，学生在发现问题、观察问题、转化资料以及知识转化等方面的一些能力较进行STEM教学之前均有显著性的变化 ($p < 0.05$)。可见，学生在参与气球火箭从设计、实验到产品发布的全过程中，不仅提升了学习的兴趣，还在一定程度上培养动手能力及科学探究的思维。在收集资料方面，学生前后测不存在显著性差异，也可能是因为学生在参与STEM课程之前，已具有很高的资料收集能力（均值大于4.0），也可能与华中科技大学附属小学的智慧教室 iPad 教学环境有关。学生在日常学习中都会用到网络等工具进行资料收集，所以学生在此次课程之后收集资料的能力并没有显著性的提高。在知识转化方面，问题讲解转化能力没有显著变化，这可能与学生的语言表达及逻辑思维能力有关。语言表达及逻辑思维能力的培养是一个过程，不是通过一两次课程就能改善的。

(3) 基于STEM理念的跨学科教学对学生认知负荷的影响分析

研究共收集到有关学生认知负荷的有效数据35份，23名学生认为在STEM课堂自己需要更多努

表7 探究能力前后测数据分析

维度	题目	类别	均值	标准差	T值	Sig(双侧)
发现问题	我可以很好了解科学课上要解决的问题	前测	4.116	0.879	-2.123	0.040
		后测	4.349	0.720		
观察记录	我能将观察的现象记录下来	前测	4.233	0.922	1.045	0.302
		后测	4.070	0.799		
	能对科学课上观察的现象做出猜想与假设	前测	3.860	1.082	-2.280	0.028
		后测	4.256	0.759		
	能对发现的问题提出验证猜想方案	前测	3.953	0.975	-2.182	0.035
		后测	4.372	0.757		
收集资料	我会运用网络工具收集资料	前测	4.209	0.940	-1.296	0.202
		后测	4.419	0.794		
转化资料	根据假设计划方案进行试验	前测	3.977	1.035	-1.700	0.096
		后测	4.256	0.727		
	试验时时可以将注意观察与思考结合	前测	4.069	0.737	-2.389	0.021
		后测	4.349	0.719		
知识转化	能将收集的资料讲给同学听	前测	3.628	1.254	-3.777	0.000
		后测	4.232	0.922		
	用收集的资料验证提出的假设	前测	3.837	1.090	-2.790	0.008
		后测	4.349	0.870		
	能将自己的问题解决过程及结论讲解给同学听	前测	3.837	1.090	-1.565	0.125
		后测	4.186	0.982		

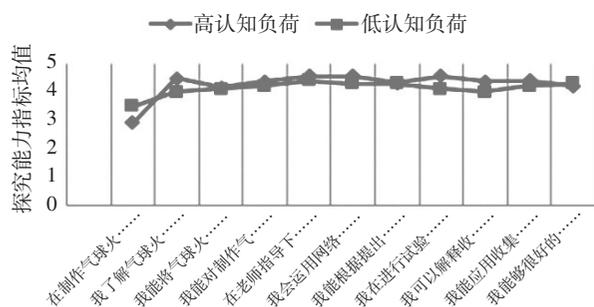


图6 不同认知负荷的学生的探究能力情况

力才能够完成课堂活动，即超过66%的学生在STEM课堂上的认知负荷大于7.0。跨学科整合的STEM教育与学生以往的单学科学习方式存在很大的差异，项目化的学习问题，是一个复杂的跨学科情境，没有固定的答案，这种不确定性使得学生不仅要学习单学科的知识，还要联系其他学科的知识来解决问题，因此这可能在一定程度上增加了学生的认知负荷。研究同时对不同认知负荷的学生进行高低分组，将认知负荷大于6.0的学生划分为高认知负荷组，小于6.0的划分为低认知负荷组，并对不同组学生的探究能力进行了分析。由图6我们可以发现，高认知负荷组的学生在探究能力水平方面略高于低认知负荷组的学生。

六、结论与建议

本研究以小学5年级《力与运动》单元的综合实践活动为例进行基于STEM理念的教学设计及实施，从学习兴趣、探究能力及认知负荷三方面对STEM教学对学生的影响进行了研究。通过对研究数据以及学生探究过程的分析发现：(1) 基于STEM的教学能够激发学生的学习兴趣；(2) 基于STEM的教学有利于学生探究能力某些方面的提高；(3) 基于STEM的教学增加了学生的认知负荷，但一定程度的认知负荷有利于学生探究活动的进行。

本研究以信息化教育环境为支撑，基于STEM教育理念，从学生项目化探究活动出发进行了相关的教学设计与实施，但由于对STEM课程仍处于探索阶段，教师不完全具备STEM课程所需的综合素质以及条件，本次实验的设计只是单组实验，缺少对照组，问卷调查的数据并没有达到预期的效果。之后的研究将从以下几个方面进行改进：(1) 建立有效的STEM师资培养机制，强化STEM师资队伍建设，加强教师学科间的融合意识；(2) 关注知识

学习和能力的综合发展；(3) 建立相应的STEM课程实验室和课程教学资源，给STEM课程的开展提供更好的支持和保障；(4) 继续跟进STEM课程，进行长期更加严谨的研究，助力于STEM理念落地，完善STEM课程。

致谢

感谢智慧教学课题组合作学校华中科技大学附属小学李晓艳校长和朱映晖老师给予本研究的大力支持和帮助。

参考文献：

- [1]包昊罡,康佳,李艳燕等(2015).基于设计的“协作-探究”教学模式创新与实践[J].现代远程教育研究,(6):70-78.
- [2]蔡蕙文(2008).STEM教学模式应用于国中自然与生活科技领域教学之研究[D].屏东:屏东科技大学技术及职业教育研究所.
- [3]崔允漷(2004).教学目标——不该被遗忘的教学起点[J].人民教育,(Z2):16-18.
- [4]傅骞,刘鹏飞(2016).从验证到创造——中小学STEM教育应用模式研究[J].中国电化教育,(4):71-78.
- [5]国务院(2016).全民科学素质行动计划纲要实施方案(2016-2020年)[EB/OL].[2017-06-07].<http://www.kxsx.org.cn/content.aspx?id=45&lid=10>.
- [6]何克抗(1997).建构主义——革新传统教学的理论基础(上)[J].教育学报,(3):48-49.
- [7]教育部(2017).全日制义务教育科学课程标准2017[EB/OL].[2017-06-07].<http://www.moe.edu.cn/srcsite/A26/s8001/201702/W020170215542129302110.pdf>
- [8]任友群,郑旭东,吴旻瑜(2016).深度推进信息技术与教育的融合创新——《教育信息化“十三五”规划》(2016)解读[J].现代远程教育研究,(5):3-9.
- [9]余胜泉,胡翔(2015).STEM教育理念与跨学科整合模式[J].开放教育研究,(4):13-22.
- [10]余胜泉,杨晓娟,何克抗(2000).基于建构主义的教学设计模式[J].电化教育研究,(12):7-13.
- [11]Asghar, A., Ellington, R., & Rice, E. et al.(2012). Supporting STEM Education in Secondary Science Contexts [J]. Interdisciplinary Journal of Problem-based Learning, 6(2): 85-125.
- [12]Bae, J. H., Yun, B. H., & Kim, J. S. (2013).The Effects of Science Lesson Applying STEAM Education on Science Learning Motivation and Science Academic Achievement of

Elementary School Students [J]. Elementary Science Education, 32(4): 557-566.

[13]Bruning, R. H., Schraw, G. J., & Ronning, R. R. et al. (1979).Cognitive Psychology and Instruction [J]. American Journal of Psychology, 92(3):562.

[14]Choi, Y., Yang, J. H., & Hong, S. H. (2016).The Effects of Smart Media Based STEAM Program of ‘Chicken Life Cycle’ on Academic Achievement, Scientific Process Skills and Affective Domain of Elementary School Students[J]. The Korean Society of Elementary Science Education,35(2):166-180.

[15]Frykholm, J., & Glasson, G. (2005).Connecting Science and Mathematics Instruction: Pedagogical Context Knowledge for Teachers[J]. School Science and Mathematics, 105(3): 127-141.

[16]Harris, C. J., Penuel, W. R., & D’Angelo, C. M. et al (2015).Impact of Project-Based Curriculum Materials on Student Learning in Science: Results of a Randomized Controlled Trial [J]. Journal of Research in Science Teaching, 52(10):1362-1385.

[17]Herschbach, D. R. (2011).The Stem Initiative: Constraints and Challenges [J]. Journal of Stem Teacher Education, 48(1): 96-122.

[18]Hwang, G. -J., Yang, L. -H., & Wang, S. -Y. (2013). A Concept Map- Embedded Educational Computer Game for Improving Students’ Learning Performance in Natural Science Courses [J]. Computers & Education, 69:121-130.

[19]Kim, D. H., Dong, G. K., & Han, M. J. et al. (2014). The Effects of Science Lessons Applying STEAM Education Program on the Creativity and Interest Levels of Elementary Students [J]. Journal of the Korean Association for Research in Science Education, 34(1):43-54.

[20]Kim, G. -S., & Choi, S. Y. (2012). The Effects of the Creative Problem Solving Ability and Scientific Attitude Through the Science-Based STEAM Program in the Elementary Gifted Students [J]. Journal of Korean Elementary Science Education, 31(2): 216-226.

[21]Kong, Y. T., & Ji, I. -C. (2014). The Effect of Subject Based STEAM Activity Programs on Scientific Attitude, Self Efficacy, and Motivation for Scientific Learning [J]. Korean Journal of Plant Tissue Culture, 17: 3629-3636.

[22]Lamb, R. L., Annetta, L., & Meldrum, J. et al.(2012). Measuring Science Interest: Rasch Validation of The Science Interest Survey [J]. International Journal of Science and Mathematics Education, 10(3): 643-668.

[23]Lee, S. Y., & Lee, H. C. (2013). The Effects of Science

Lesson Applying STEAM Education on the Creativity and Science Related Attitudes of Elementary School Students [J]. Journal of Korean Elementary Science Education, 32(1): 60-70.

[24]Meyrick, K. M. (2011). How stem education improves student learning. Meridian [J]. Meridian K-12 School Computer Technologies Journal, 14(1): 1-5.

[25]Mintzes, J. J., & Novak, J. D. (2005). Assessing Science Understanding: The Epistemological Vee Diagram [A]. Mintzes, J. J., Wandersee, J. H., & Novak, J. D. (eds.). Assessing Science Understanding [M]. Elsevier Inc.:41-69.

[26]Morrison, J. S. (2006). Attributes of Stem Education: The Students, the Academy, the Classroom[ED/OL].[2017-06-07].http://www.tiesteach.org/assets/content/documents/Jans%20pdf%20Attri-

butes_of_STEM_Education-1.pdf.

[27]Novak, J. D., & Gowin, D. B. (1984). Concept Mapping for Meaningful Learning [A]. Learning How to Learn[M]. New York: Cambridge University: 15-54.

[28]Paas, F. G. (1992). Training Strategies for Attaining Transfer of Problem-Solving Skill in Statistics: A Cognitive-Load Approach [J]. Journal of Educational Psychology, 84(4): 429-434.

[29]Sanders, M. (2009). STEM, STEM Education, Stemmania [J]. The Technology Teacher, 68(4): 20-26.

收稿日期 2017-08-28 责任编辑 汪燕

Interdisciplinary Teaching Design and Practice Based on STEM

ZHANG Yi, ZHAO Yaping, HE Ling, BAI Qingyu

Abstract: The development of information age needs a large number of engineering and technical personnel. STEM education has gradually become an emerging course in international science education at the preliminary education stage, which has drawn the attention of all countries. Although STEM education has been practiced and promoted in some areas in our country, the domestic research mainly focuses on the concept differentiation, curriculum research, teaching mode and implementation cases of STEM education. There are few studies on the application of STEM education in specific subject teaching. The core of STEM education philosophy is interdisciplinary integration. And the most important work of interdisciplinary integration is the design of projects or problems. The interdisciplinary integration of STEM requires interdisciplinary reorganization of subject-specific knowledge by problem logic or project logic, as well as the comprehensive and balanced coverage of the basic knowledge structures of all disciplines by designed issues or projects. Based on the multidisciplinary STEM philosophy, the project team designed and implemented the “Balloon Rocket” series of courses. A single set of pre and post tests conducted for elementary school students affiliated to Huazhong University of Science and Technology found that interdisciplinary teaching based on STEM can stimulate students’ interest in learning and is also conducive to the development of students’ scientific inquiry ability. Moreover, although based on STEM interdisciplinary, teaching to a certain extent increased the cognitive load of students, but the high cognitive load within a certain range is conducive to the development of students’ ability to explore.

Keywords: STEM Education; Interdisciplinary Teaching; Inquiry Ability; Learning Interest; Impact Study