

面向工程设计思维培养的STEM教学模式构建与案例分析

严大虎^{1,2}, 姚静²

(1. 江南大学 江苏“互联网+教育”研究基地; 2. 江南大学 人文学院, 江苏 无锡 214122)

摘要: 依托STEM教育跨学科的优势发展学生的工程设计思维, 已经成为STEM教育与工程教育共同追求的核心目标。然而在当前的STEM教学中, 基于工程设计展开的教学模式大多刻板遵循流程, 致使学生停留于机械操作与简单模仿层面, 缺乏创新意识。为解决这一现实困境, 在梳理工程设计思维内涵及相关研究述评的基础上, 通过厘清工程设计思维与工程设计的内在联系, 探讨逆向工程与工程设计整合的优势, 将工程设计、STEM学科内容和逆向工程教学法相结合, 提出面向工程设计思维培养的STEM教学模式。该模式旨在帮助学生树立自上而下的工程探索视角, 使其在“需要知道”和“需要做”的内外部双循环过程中感知问题、解决挑战性任务、实现产品创新。同时根据该模式设计并实施了手持小风扇改造案例, 验证了其对大学生工程设计思维培养的正向促进作用。

关键词: 工程设计思维; 逆向工程; 工程设计; STEM教学模式

DOI: 10.11907/rjdk.222432

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



中图分类号: G642

文献标识码: A

文章编号: 1672-7800(2023)011-0246-07

Construction and Case Analysis of STEM Teaching Mode for Cultivating Engineering Design Thinking

YAN Dahu^{1,2}, YAO Jing²

(1. Jiangsu Research Center of "Internet+Education", Jiangnan University;
2. School of Humanities, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: Relying on the interdisciplinary advantages of STEM education to develop students' engineering design thinking has become the core goal pursued by both STEM education and engineering education. However, in current STEM teaching, the teaching mode based on engineering design mostly follows a rigid process, resulting in students staying at the level of mechanical operation and simple imitation, lacking innovation awareness. To address this practical dilemma, based on the analysis of the connotation of engineering design thinking and related research reviews, this paper clarifies the internal relationship between engineering design thinking and engineering design, explores the advantages of integrating reverse engineering and engineering design, and combines engineering design, STEM subject content, and reverse engineering teaching methods to propose a STEM teaching model for cultivating engineering design thinking. This model aims to help students establish a top-down perspective on engineering exploration, enabling them to perceive problems, solve challenging tasks, and achieve product innovation in the internal and external dual cycle of 'need to know' and 'need to do'. At the same time, a handheld small fan transformation case was designed and implemented based on this model, verifying its positive promoting effect on the cultivation of students' engineering design thinking.

Key Words: engineering design thinking; reverse engineering; engineering design; STEM teaching model

0 引言

新一轮科技革命与产业创新正在悄然进行, 随着大数

据、人工智能、虚拟现实等新兴技术在各行各业的迅速渗透, 科技变革持续对工程教育发出新的呐喊。工程设计思维作为工程教育培养的关键能力也受到广泛关注, 并逐渐被引入 K-12 学段的 STEM (Science, Technology, Engineer-

收稿日期: 2022-12-01

作者简介: 严大虎(1974-), 男, 硕士, 江南大学江苏“互联网+教育”研究基地副教授, 江南大学人文学院副教授、硕士生导师, 研究方向为新技术教育应用、机器人教育; 姚静(1995-), 女, 江南大学人文学院硕士研究生, 研究方向为STEM教育与工程教育。

ing, Mathematics)课程中。工程设计思维是工程设计与设计思维融合的产物^[1],指在工程设计过程中使用设计思维发现问题、分析问题、解决问题和反思问题的一项综合能力^[2],旨在培养学生从多角度发散性看待问题^[3],进而设计出更好的问题解决方案。目前,依托STEM教育跨学科的优势培养学生的工程设计思维已逐渐形成共识^[4]。在新工科建设的影响下,已有不少研究尝试将工程设计与科学探究整合起来以丰富K-12STEM课程模式^[5],但如何将工程设计流程与STEM教学进行融合创新,以深度探索工程设计思维的培养仍比较欠缺。因此,探索针对性教学模式,以充分发挥工程设计与跨学科教学的优势,落实基础教育阶段工程设计思维的培养尚需努力。

1 相关研究

1.1 工程设计思维

工程是人类社会为满足自身需要进行的有意识的造物活动,而设计作为工程的核心^[6],是对这些活动进行顶层规划与细节布局的有目的的创造过程。工程设计作为工程与设计的结合,是指以工程问题为驱动,满足特定约束条件,依据设计概念和规范化流程实现用户需求、目标的系统化过程^[1]。从这个意义上讲,其符合人工科学与自然科学的内在转换机制。同时,由于其具有强烈的工程特征,是设计者在工程制造过程进行知识分析与应用的复杂认知过程,因此Dym等^[1]将其细化为工程设计思维,属于设计思维的子范畴。不同学者对于工程设计思维的理解不同。例如,Atman等^[7]认为工程设计思维是指通过提供恰当的思维支架与问题约束帮助学习者界定问题范围、考虑替代方案、灵活控制时间及把握方案质量的一系列关键能力,是培养学生专家型设计行为与意识的新方法;Chang等^[8]认为工程设计思维是通过分解工程设计挑战,尝试以分类步骤的方式系统解决具有现实意义工程问题的能力。综合各方观点,本文认为工程设计思维是对工程问题产生的原因进行理性观察与评估,并采用一套系统完整的流程,即问题界定、方案设计、建模测试与优化作为策略支撑解决工程问题的方法论。该思维启发学生从多角度看待问题,并运用系统、辩证及审视的态度促进问题解决过程中设计认知的发展与融合,以及设计概念有目的的转化。

当前工程设计思维研究主要集中在其培养和评价两方面。工程设计思维培养研究重视课程模式的设计、开发与应用。例如,Lin等^[3]为培养学生的工程设计思维,将STEM项目式学习与工程设计相结合,提出基于工程设计的STEM项目式教学模式(EDP-STEM-PBL),研究表明该模式在澄清问题、产生想法、建模和可行性分析方面更能锻炼学生的工程设计思维;周安然等^[4]以美国NASA宇宙飞船安全课程案例为参考,主张围绕工程设计挑战开发螺旋上升式的STEM活动,以真实任务情境驱动学生探索工

程问题,进而实现工程设计思维培养;李宏伟等^[9]基于设计思维与工程教育的特性,从课程内容建构、教学过程组织和教学方式设定3个层面总结出以设计思维为主线的工程设计能力培养课程框架。工程设计思维评价的研究重点关注新手与专家工程的设计思维差异以及工程设计思维评价的操作化。例如,Atman等^[7]分析比较了工程专业学生与专家设计游乐场时所表现出的行为差异,结果表明专家在界定设计问题上花费的时间更多,他们通常在广泛收集信息后再深入挖掘设计问题,以保证问题的科学性;Safoutin等^[10]基于大量设计模型和参与者话语分析发现,工程设计思维可被分解为问题定义、信息收集、想法生成等能力,为工程设计思维的测评提供了新思路;Lin等^[3]和Ninger等^[11]和分别尝试对学生的设计原型、设计过程和认知流程图进行编码分析,结果表明这些过程性产出能够清晰揭示设计者设计思想到设计实践的具体转变,有助于提升工程设计思维评价的准确性。

总体而言,现有工程设计思维培养主要依托于工程设计流程实现,其评价不仅揭示了新手与专家工程设计思维的差异,也逐渐由会话分析向认知评价靠拢。值得注意的是,上述研究虽然将工程设计与设计挑战或项目学习融入到STEM教学中,但其本质仍立足于正向工程的视角,即从零开始构建一项工程制品。然而,单一视角所产生的禁锢现象是直接导致其教学模式刻板且缺乏深度的主要原因^[12]。因此,如何跳出固定限制,丰富STEM教学中的工程设计应用仍有待深入研究。

1.2 STEM教育与工程设计思维培养的内在联系

STEM教育以整合创新为宗旨,是一种融合多学科知识来解决现实问题的创新教学法,其引导学生在问题解决过程中利用工程控制流程、技术实现功能、科学与数学原理完成概念解释,以此实现问题解决能力与创新思维的培养^[13]。然而,以往的STEM教育注重科学与数学学科的融合发展,对技术与工程的整合关注较少^[14]。随着国际化进程的加快,技术变革与工业竞争让越来越多的国家意识到工程与技术教育是国家创新发展的必由之路。2018年,美国国家科学院与工程院联合发布《以调查和设计为中心的6-12年级科学与工程》报告,明确指出STEM教育要注重工程设计与科学探究活动相结合,以有趣的现象或工程设计项目开展教学是促进学生积极参与跨学科学习的关键。其于2020年发布的《技术与工程素养标准:STEM教育中技术与工程的作用》更是直接利用工程设计将技术教育与工程教育两者进行整合。可见,以工程设计的形式将工程与技术融入到STEM教育中受到众多研究者的青睐,这不单是STEM教育整合发展的一剂良方,也为工程设计思维的培养奠定了基础。

1.3 工程设计与逆向工程

1.3.1 工程设计的特点

工程设计作为探究工程问题的主流方式,受到众多机

构与学者的普遍认同。表1为不同研究者或机构对工程设计流程的理解。通过比较各流程的共性,Berland等^[15]总结出工程设计的四大特点:①问题定义。该特点指从广泛、冗余的需求中挖掘出用户的真实想法,并将其陈述为清晰、明确的工程问题;②设计解决方案。该特点指工程师依据所需条件,将工程问题与科学概念建立连接,并调动已有知识与经验不断权衡、审视,以寻找方案最优解;③建模与分析。该特点指利用数学模型模拟真实应用

场景对方案进行全面审查、剖析与调整;④迭代优化。该特点指工程师重新回顾先前步骤,依据建模与分析结果不断改进和完善。上述四大特点是对传统工程设计流程的高度凝练,其核心是利用工程设计流程引导学生明确问题并构建解决方案,进而实现工程设计思维的培养。然而,如何维持学生参与过程中的积极性尚未有很多研究,这也是导致教师刻板遵循流程、学生缺乏深度探索的主要原因。

Table 1 Understanding of engineering design processes by different researchers or institutions

表1 不同研究者或机构对工程设计流程的理解

研究机构或研究者	工程设计流程
NASA ^[16]	询问→想象→计划→创建→实验→改进
IBED ^[17]	识别问题→建立测量标准→头脑风暴→多种解决方案→选择一个或多个概念→原型和测试→最终解决方案→反映过程
MDE ^[18]	确定需求和问题→研究需求和问题→开发课程的解决方案→选择最佳解决方案→测试和评估解决方案→沟通解决方案→重新设计
Hynes ^[19]	识别和定义问题→研究需求或问题→开发可能的解决方案→选择最佳解决方案→构建原型→测试和评估解决方案→沟通解决方案→重新设计→完成
Dym ^[20]	问题定义→概念设计→初步设计→详细设计→设计沟通
Budyna等 ^[21]	需求识别→问题定义→综合→分析和优化→评估→演示

1.3.2 逆向工程的内涵与优势

逆向工程是以先进产品的实物、样件作为研究对象,利用现代设计理论与方法对其进行解剖、测量与分析,以确定产品内部组件及其相互关系与再创造的过程^[22]。与正向工程相比,逆向工程的思想更符合人类认知规律,其所具有的强操作性可以更好地继承原有产品优势,从而实现理论与实践的融合创新。从认知角度看,逆向工程的本质是在前人成果的基础上进行局部创新,无需设计者经历从无到有的构想,而是紧紧围绕当前产品的缺陷与不足进行再创造。从实践角度看,逆向工程以生活中常见的工程实物展开设计,因此其能快速带领学生进入使用者和设计者身份意识,换位思考和揣摩先前设计者的创作意图,启发学生运用发散思维追寻真问题^[23]。不仅如此,可扩展性也是逆向工程的另一显著优势。在高等教育中,Otto等^[24]将逆向工程与再设计进行整合,将其实施过程扩展为逆向工程、建模与分析、再设计3个阶段,以此呼吁通过逆向拆解的方法挖掘用户需求并创新出更好的产品。该模式在德克萨斯大学、麻省理工学院和美国空军学院中被广泛应用^[25]。在基础教育中,康斯雅等^[12]将逆向工程思想融入小学机器人设计中,提出解构复原、解构纠错、要素增减和结构创新4类逆向工程拓展模式,以层层递进的方式引导学生体验感知、分解、设计、实施、评价全过程,帮助其实现知识建构与创新应用。可见,逆向工程并非彻底颠覆工程设计,而是以真实、多样的工程问题情境激发学习兴趣、丰富参与体验,推动学生在感知与实践的基础上实现微创新。

2 面向工程设计思维培养的STEM教学模式

2.1 逆向工程与工程设计的融合

工程设计是严谨、规范的设计流程,是探索工程问题

的不二之选。逆向工程作为创设问题情境与拓展工程模式的新方法,是丰富传统工程设计的有效途径。将两者融合不仅能批判性地继承彼此优点,而且凸显了STEM教育实施的多样性。具体而言,两者整合的价值主要体现在以下3个方面:

(1)以真实工程问题为起点,调动学生学习主动性。有效的问题情境是教学效果的关键保障,而有效的问题情境强调真实、有趣并富有意义。逆向工程与工程设计的整合是从真实工程问题出发,通过建立生活需求与设计创新之间的有机联系增强工程设计活动的吸引力,从而激发学生探索、挑战的本能,使其主动参与到工程问题解决过程中,有助于深度探索行为的发生。

(2)以丰富的工程模式为指导,满足各类教学需求。逆向工程独特的扩展性为弥补工程设计的单一现象提供了天然契机,其分别从横向与纵向两个维度对传统工程设计流程进行创新应用。从横向上看,逆向工程的参与改变了传统工程设计被正向工程垄断的现状,拓宽了工程设计的应用范围;从纵向上看,丰富的工程模式涵盖了从基本概念理解到物品复原再到创新设计的全方位教学需求,为适配不同深度的教学目标提供了更多选择。

(3)以动手设计为主线,保障工程设计实践落实。设计作为贯穿整个工程问题解决过程的主线,是解决问题的关键所在。然而在K-12学段,追求完全的创新设计是难以实现的,而弥补和完善已有产品的不足,聚焦于局部创新是有效降低设计者认知与操作负担、体验设计乐趣的关键。因此,以逆向思想驱动的微创新是保障设计者积极参与与落实实践的核心,是推动深度探索的重要途径。

2.2 模式构建

基于对工程设计思维培养底层逻辑的梳理,以传统工程设计流程为基础,将逆向工程选择与拆解的核心环节整合到该流程中,经历“选择目标产品→明确需求和问题→

剖析产品部件与结构→提出解决方案→建模与测试→迭代优化→评价”的渐进设计过程,形成设计与探索并重的STEM教学模式,具体如图1所示。该模式由STEM学科知识、逆向工程教学法与工程设计思维三者整合的内循环和新工程设计的外循环组成。其中,内循环是基于教学目标与学习者当前工程设计思维现状,通过逆向工程教学法为STEM教学选取合适的工程产品、创设真实问题情境,并利

用工程学自身的系统流程优势将科学、技术、数学学科知识与具体问题情境进行有机整合的循环过程,是推动STEM课程实施的核心;外循环则是内循环驱动下展开的具体工程设计流程,即学生解决问题的操作步骤。两个循环圈之间不是简单的叠加,而是彼此交融、相互渗透,以内循环的“需要知道”触发外循环的“需要做”,共同实现基于STEM教学的工程设计思维培养。

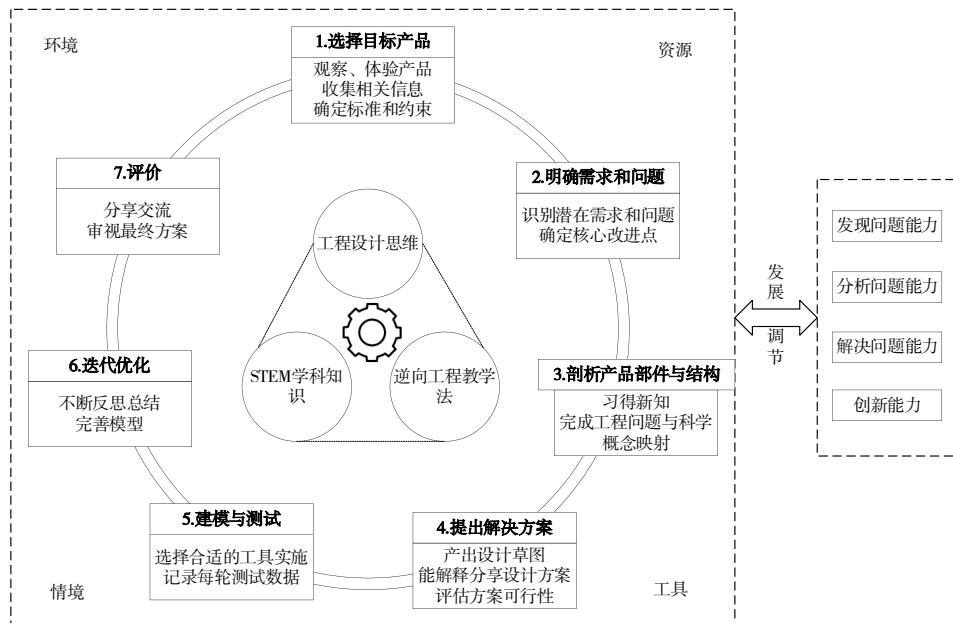


Fig. 1 STEM teaching mode for the cultivation of engineering design thinking

图1 面向工程设计思维培养的STEM教学模式

工程设计思维蕴含在STEM工程设计活动的各个环节:①选择目标产品。教师作为教学的设计者和执行者,选择与教学目标相统一的工程制品,是激发学生学习兴趣和创设真实问题情境的关键。教师在该环节引导学生观察和体验目标产品,鼓励他们从多元角度发散性看待问题,并在感知与共情的基础上完成信息收集与标准制定;②明确需求和问题。该环节需对识别的需求和问题进行优先级排序,以目标情境和现实约束共同确定产品的核心改进点,帮助落实后续设计需解决的具体工程问题;③剖析产品部件与结构。该环节给学生提供了知识建构的契机,是推动工程问题与科学概念映射的核心环节。教师作为探究学习的促进者,带领学生在明确目标、理论与实践的循环映射中领悟新知,完成信息加工与知识迁移;④提出解决方案。该环节是在经验与新知的相互作用下对工程问题探索的具体外显,包括产出设计草图、阐释与分享解决方案及评估方案可行性。新的解决方案是检验知识习得与创新意识的直接证据,教师作为学习的促进者,不仅要鼓励学生积极表达想法,还应提供相应的教学支持激发学生的创新意识,给予设计认同,使其在融洽的氛围中实现知识意义迁移并提升问题解决能力;⑤建模与测试。该环节旨在培养学生的实践能力,引导学生通过CAD或3D建模工具完成产品三维模型设计,并模拟真实使用情境对其进行多轮测试,以检验解决方案存在的不足;⑥迭

代优化。该环节是对产品设计进行持续改进。合理的迭代不仅可以更大范围地覆盖设计不足,为最终产品质量保驾护航,也能使学生领会权衡与反思在设计中的重要性;⑦评价。在该环节中,学生要向老师和同学展示优化后的最终方案,评价者可以从问题界定、流程完整性、概念映射及创新意识等方面给予反馈。同时,教师也要善于从学生的评价与反馈中总结活动不足,不断修正,为培养工程设计思维指明方向。

3 STEM教学案例设计与实施

3.1 案例设计

本研究以华东地区某中学为实验基地,应用前文构建的STEM教学模式,以“手持小风扇改造”为案例展开教学。在改造过程中,学生一方面可以将日常经验与实验感受相结合,讨论风力变化,领会电流、磁力等物理概念,探究电能与风能转化的关键因素;另一方面可通过对解决方案的迭代优化进一步感知设计与制造之间的智慧转化,并在总结与反思中加深对工程设计系统性、规范性的理解,有助于学生工程设计思维的持续提升。基于此,案例教学目标围绕学科核心知识、跨学科整合知识及工程设计思维层层递进,具体如表2所示。

Table 2 Teaching objectives for handheld small fan transformation case

表2 手持小风扇改造案例教学目标

学科	学科核心知识	跨学科整合知识	工程设计思维培养目标
科学	<p>(1)科学概念。电路、串联和并联、欧姆定律、焦耳定律、磁现象、电生磁、能量的转化与守恒、传感器、定子和转子</p> <p>(2)科学知识。S1:电路是由电源、开关、用电器、导线组成的电流通路;S2:串联是将电路元件逐个顺次首尾相接;S3:并联是将2个同类或不同类的元件、器件等首首相接,同时尾尾也相连的一种连接方式;S4:欧姆定律$I=U/R$;S5:焦耳定律$Q=I^2Rt$;S6:同名磁极相斥,异名磁极相吸。通电导线周围存在与电流方向有关的磁场,这种现象叫做电流的磁效应,即电生磁;S7:左手定则、右手定则、右手螺旋定则;S8:能量的转化与守恒是指能量不会凭空消失,也不会凭空产生,它只会从一种形式转化为其他形式,或从一个物体转移到其他物体,而在转化或转移的过程中,能量的总量保持不变</p>	<p>(1)具体与抽象。在风扇创新改造过程中,以用户需求为准则,剖析传统风扇风力不均和噪音大的原因,采用扇叶增减、挡位调节、材料更换的方式改进不足,实现风扇创新改造</p> <p>(2)结构与功能。①风扇由电池、电路板、电线、电机、塑料外壳、扇叶组成;②在开关的作用下电路连通,电机中线圈按照一定顺序输入电流,产生旋转的磁场,从而触发永磁转子带动扇叶旋转,产生气压差引起风能</p> <p>(3)因果与模型。①按压式开关易损是由于按钮长期使用,导致抵压板过度形变无法回弹;②风力不均、噪音大是由于扇叶材料和数量选择不合理;③反复建模与测试,确定合理扇叶材料和数量</p> <p>(4)数量与比例。①分别设置扇叶数量为3、4、5、7,记录所需电压强度、电能转化及噪音分贝;②低、中、高三档风力调节阀对升压板的控制;③实物与建模的比例转换</p> <p>(5)能量与物质。电能可在磁场的作用下变为风能与内能</p> <p>(6)稳定与变化。手持风扇的购买群体集中在室外工作人员、上班族、学生及旅游达人群体中,颜值、便携性、风力大小、续航能力、噪音大小是消费者选择的主要考量</p>	<p>(1)问题解决能力。能清晰地说出风扇噪音大、风力不均产生的根本原因,并对问题进行分解和抽象;完成问题与科学概念的映射,理解电能转化为动能过程中的能量转换与损耗</p> <p>(2)创新能力。能提出新的改进策略,不限于材料创新与组装方式创新;创造出新的产品设计理念;能在解决方案设计过程中打破常规、创造出新颖的观念与想法</p> <p>(3)协作能力。同伴之间能集思广益,分享交流可能导致风扇噪音大、风力不均的原因;合理分工,协作完成风扇组件拆解以及调试建模;相互给予反馈与帮助,共同完成任务</p> <p>(4)系统思维。产品设计应实现用户需求、控制成本、提高性能、推理出合适的扇叶数量、材料;整个改造过程要遵循严格调研、设计、测试、开发流程,并将各部件进行恰当组合,共同发挥优势,在必要的时刻把握主要,舍弃次要</p>
技术	<p>T1:使用螺丝刀、电子秤、尺子、万能表、电焊机、分贝仪工具对手持小风扇进行拆解与部件测量;</p> <p>T2:使用3D打印机、CAD软件完成建模;</p> <p>T3:通过改善扇叶形状和数量减少噪音大小和风力的传输距离,改善风力均匀性和静音效果;</p> <p>T4:比较推动式开关与按压式开关的差异,并解释推动式开关更耐用的原因;</p> <p>T5:领悟技术熟练度和测量精确度对产品性能的影响</p>		
工程	<p>E1:执行需求调研及用户满意度收集,明确工程问题;</p> <p>E2:广泛收集信息,确定产品生产标准与工程约束;</p> <p>E3:寻找合理的科学依据,完成工程问题与科学概念映射;</p> <p>E4:利用文字或绘图软件设计草图,清晰表达想法和创意;</p> <p>E5:多维评估新设计方案,并不断反思与优化</p>		
数学	<p>M1:按照一定比例,根据实物大小确定建模尺寸;M2:完成公式计算、数据收集、数据分析</p>		

3.2 案例实施

邀请该中学47名九年级学生进行课程学习,共8个课时,持续4周。在课程开始前一周实施前测,课程结束后一周实施后测,具体教学实施流程如图2所示。在整个教学活动中,首先由教师选择好恰当的产品——传统手持小风扇,并基于该产品为学生创设真实的情境,带领学生观察风扇外形、构造,体验风扇风力大小、噪音强弱,收集风扇相关信息,在广泛收集信息的基础上明确核心问题;然后指导学生逐步完成风扇拆解,深入剖析风扇组件的工作原理、学习电生磁的概念,并为学生提供相应实验工具,包括螺丝刀、电子秤、尺子、万能表等,引导其开展分组实验。需要注意的是,在学生拆解风扇和提出方案的过程中,教师要进行适当指导,记录拆解步骤和操作易错点,检查问题与概念映射关系是否正确;最后从创新性和价值性等方面对学生的实践成果进行评价,帮助学生优化解决方案、反思问题,树立开放、辩证的设计态度。

学生活动与教师活动是一一对应的关系,在明确小风扇改进问题后采用小组合作的形式完成风扇拆解、概念映

射和3D建模。在该过程中,学生根据所学知识与自身经验提出解决方案,利用3D建模探究不同扇叶材料、数量对风力、噪音的影响,并在测试—观察—记录—优化的循环过程中完成自我建构,获得最佳方案。在完成方案设计后进行评价与反思,每组学生依次进行成果分享交流。

3.3 效果分析

3.3.1 数据收集

研究采用问卷调查法和访谈法对学生工程设计思维发展水平进行评估,以验证新教学模式的有效性。其中,问题解决能力问卷改编自Byun等^[26]制定的问题解决能力评价量表,包括问题感知和定义、提出方案和考虑结果、选择方案和逻辑推理、反思方案和方案评估5个方面;创新能力问卷改编自Besemer等^[27]制定的创新能力评价量表,包括新颖性、有效性、精密性和综合性4个方面;协作能力问卷改编自胡小勇等^[28]提出的协作能力评价量表,包括学习态度和小组协作两方面。整份问卷共有28道题目,均采用李克特五点量表的形式呈现。经检验,问卷3个维度的Cronbach's Alpha系数均高于0.80,表明该问卷信度良

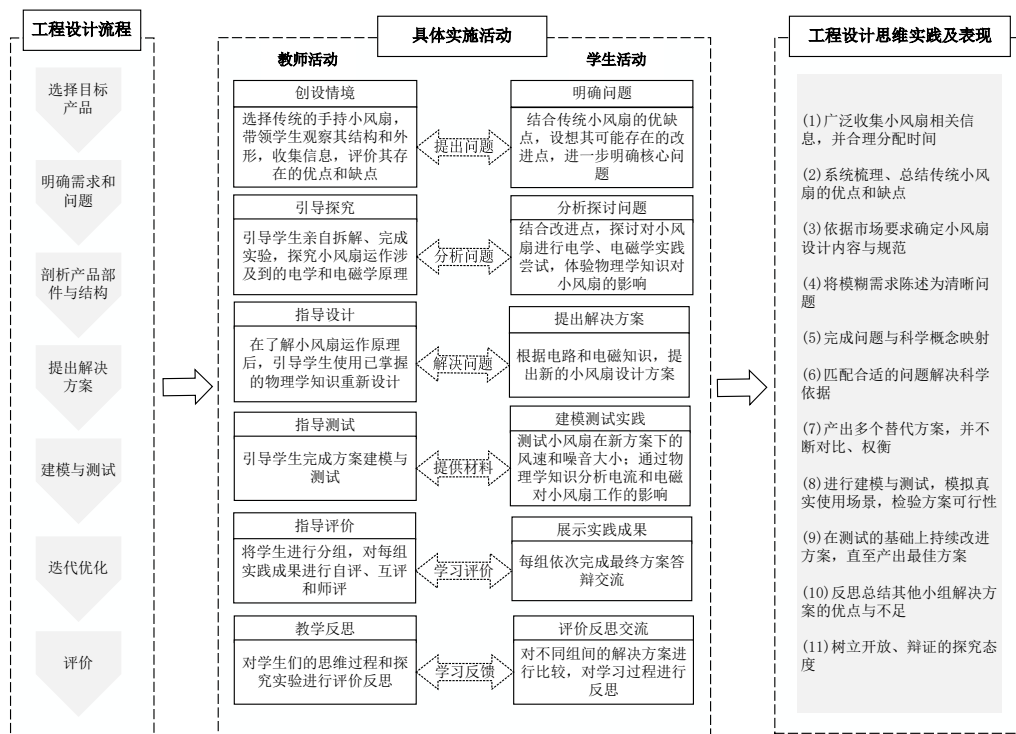


Fig. 2 Teaching implementation process of handheld small fan transformation case

图 2 手持小风扇改造案例教学实施流程

好。同时,访谈借鉴了Ninger等^[11]提出的工程设计理解问题示例用于评价系统思维,包括原型制作、目标设计、设计推理、结构设计、材料选择及流程规范6个方面。

3.3.2 数据分析

(1)问题解决能力。本研究对学生问题解决能力前后测数据进行了配对样本t检验,结果表明,通过手持小风扇改造案例实践,学生的问题解决能力各维度后测成绩均高于前测,具体如表3所示。可见,面向工程设计思维培养的STEM教学模式具有明显的问题导向特征,有助于提升其解决问题的能力。

Table 3 Pre and post-test data for problem solving ability

表 3 问题解决能力前后测数据

问题解决能力维度	前测		后测		t
	M	SD	M	SD	
问题感知和定义	3.95	0.97	4.38	0.75	-2.18
提出方案和考虑结果	4.06	0.73	4.34	0.71	-2.39
选择方案和逻辑推理	4.53	0.92	5.19	1.06	-2.88
反思方案和方案评估	4.29	0.82	4.45	0.74	-2.27

(2)创新能力。如表4所示,聚焦微创新后,学生的创新能力各维度后测成绩均高于前测,其中新颖性增幅最突出,原因是聚焦后的问题十分明确,同时彰显出极强的生活特征,学生们更容易将自身生活经验与科学知识联系起来,以生活为灵感实现微创新。

(3)协作能力。如表5所示,通过手持小风扇改造案例实践,学生的协作能力各维度后测成绩均高于前测。可见在新教学模式的驱动下,学生作为小组成员会以更强烈的学习热情投入其中,积极参与计划制定与分工合作,并

Table 4 Pre and post-test data of innovation ability

表 4 创新能力前后测数据

创新能力维度	前测		后测		t
	M	SD	M	SD	
新颖性	4.28	1.67	5.19	1.06	-2.90
有效性	3.79	0.87	4.11	1.09	-3.72
精密性	4.32	0.62	4.45	0.45	-2.89
综合性	4.34	0.82	4.54	0.70	-2.89

在讨论中有意识地修正方向,规避讨论偏离问题主体,共同实现问题解决与知识建构。

Table 5 Pre and post-test data for collaboration capabilities

表 5 协作能力前后测数据

协作能力维度	前测		后测		t
	M	SD	M	SD	
学习态度	4.12	0.87	4.35	0.72	-2.12
小组协作	4.06	0.70	4.44	0.46	-3.11

(4)系统思维。如图3所示,通过手持小风扇改造案例实践,学生在原型制作、设计目标、设计推理和材料选取方面的能力明显提升。同时,学生能在原型制作中正确运用概念、原理和公式对每个步骤作出清晰阐释,实现了知识的迁移与应用。

4 结语

工程教育是建设新时代的重要命题,工程人才培养是壮大新经济的首要途径。本研究面向工程设计思维培养实际需求,以手持小风扇改造案例为例进行实践检验,论证了融合逆向工程与工程设计的新型教学模式的有效性。

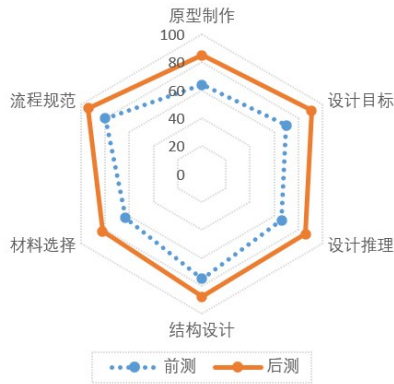


Fig. 3 Comparison of pre and post-test data for systematic thinking

图3 系统思维前后测数据比较

然而,本文研究尚存在局限之处:由于条件限制仅针对九年级学生开展实验,缺乏大规模实践应用,后续还需将其应用于不同课堂情境中不断完善,为推进K-12工程教育的实施提供教学操作层面的参考。

参考文献:

- [1] DYM C L, AGOGINO A M, ERIS O, et al. Engineering design thinking, teaching, and learning[J]. *Journal of Engineering Education*, 2005(1): 103-120.
- [2] GUO Y C. Engineering design thinking in the new engineering curriculum system[J]. *Research in Higher Engineering Education*, 2021(1): 39-43, 55.
郭永春. 新工科课程体系中的工程设计思维[J]. *高等工程教育研究*, 2021(1):39-43, 55.
- [3] LIN K Y, WU Y T, HSU Y T, et al. Effects of infusing the engineering design process into STEM project-based learning to develop preservice technology teachers' engineering design thinking[J]. *International Journal of STEM Education*, 2021(1): 1-15.
- [4] ZHOU A R, BAI Y, HUANG X Y. Research and enlightenment of STEM curriculum development based on engineering design thinking: a case study of NASA's "space ship safety" course[J]. *Journal of Southeast University (Philosophy and Social Sciences Edition)*, 2020(S1): 122-126.
周安然, 柏毅, 黄雪莹. 基于工程设计思维的STEM课程开发研究及启示——以NASA“宇宙飞船安全”课程为例[J]. *东南大学学报(哲学社会科学版)*, 2020(S1): 122-126.
- [5] SHI H, LI F. New engineering education: a perspective on the STEM curriculum[J]. *Open Education Research*, 2019(3): 36-43.
时慧, 李锋. 新工程教育: STEM课程的视角[J]. *开放教育研究*, 2019(3): 36-43.
- [6] SIMON H A. *The sciences of the artificial* [M]. Cambridge: MIT Press, 1996: 26.
- [7] ATMAN C J, ADAMS R S, CARDELLA M E, et al. Engineering design processes: a comparison of students and expert practitioners[J]. *Journal of Engineering Education*, 2007(4): 359-379.
- [8] CHANG C C, YEN W H. The role of learning style in engineering design thinking via project-based STEM course[J]. *Asia Pacific Journal of Education*, 2021(11): 1-19.
- [9] LI H W, ZHU A B, CHEN T N, et al. Research on the teaching practice of engineering design ability training based on design thinking[J]. *Research in Higher Engineering Education*, 2022(3): 85-90.
李宏伟, 朱爱斌, 陈天宁, 等. 基于设计思维的工程设计能力培养教学实践研究[J]. *高等工程教育研究*, 2022(3): 85-90.
- [10] SAFOUTIN M J, ATMAN C J, ADAMS R, et al. A design attribute framework for course planning and learning assessment[J]. *IEEE Transactions on Education*, 2000(2): 188-199.
- [11] NINGER Z, NIELSEN L P, TARUN T G, et al. The influence of toy design activities on middle school students' understanding of the engineering design processes[J]. *Journal of Science Education and Technology*, 2017(5): 481-493.
- [12] KANG S Y, ZHONG B C. Construction of reverse engineering teaching model in robot education[J]. *Research on Modern Distance Education*, 2019(4): 56-64.
康斯雅, 钟柏昌. 机器人教育中的逆向工程教学模式构建[J]. *现代远程教育研究*, 2019(4): 56-64.
- [13] YANG K C, DOU L Y, LI B, et al. The dilemma and way out of STEM education [J]. *Research on Modern Distance Education*, 2020(2): 20-28.
杨开城, 窦玲玉, 李波, 等. STEM教育的困境及出路[J]. *现代远程教育研究*, 2020(2): 20-28.
- [14] BYBEE R W. Advancing STEM education: a 2020 vision[J]. *Technology & Engineering Teacher*, 2010, 70(1): 30-35.
- [15] BERLAND L, STEINGUT R, KO P. High school student perceptions of the utility of the engineering design process: creating opportunities to engage in engineering practices and apply math and science content [J]. *Journal of Science Education and Technology*, 2014(6): 705-720.
- [16] NASA. NASA homepage[EB/OL]. <http://www.nasa.gov/>.
- [17] IBED. Inquiry by engineering design [EB/OL]. <http://ibed.weebly.com/>.
- [18] MASSACHUSETTS D O E. Massachusetts science and technology/engineering curriculum framework [M]. Malden: Massachusetts Department of Education, 2006.
- [19] HYNES M. Infusing engineering design into high school stem courses [EB/OL]. https://digitalcommons.usu.edu/ncete_publications/165.
- [20] DYM C L. *Engineering design: a project-based introduction* [M]. New York: John Wiley & Sons, 2013.
- [21] BUDYNAS R G, NISBETT J K, SHIGLEY J E. Shigley's mechanical engineering design [M]. Columbus: Tata McGraw-Hill Education, 2011.
- [22] ZU W M. Application of reverse engineering technology and current status and development trend of research at home and abroad [J]. *Value Engineering*, 2011(21): 30-31.
祖文明. 逆向工程技术的应用及国内外研究的现状及发展趋势[J]. *价值工程*, 2011(21): 30-31.
- [23] LI T T, ZHONG B C. Core theoretical research on robot education in primary and secondary schools——on experimental simulation teaching mode [J]. *E-Education Research*, 2017(9): 96-101.
李婷婷, 钟柏昌. 中小学机器人教育的核心理论研究——论实验模拟型教学模式[J]. *电化教育研究*, 2017(9): 96-101.
- [24] OTTO K N, WOOD K L. A reverse engineering and redesign methodology for product evolution [J]. *Research in Engineering Design*, 1998, 10(4): 226-243.
- [25] WOOD K L, JENSEN D, BEZDEK J, et al. Reverse engineering and redesign: courses to incrementally and systematically teach design [J]. *Journal of Engineering Education*, 2001(3): 363-374.
- [26] BYUN H, LEE J, CERRETO F A. Relative effects of three questioning strategies in ill-structured, small group problem solving [J]. *Instructional Science*, 2014(2): 229-250.
- [27] BESEMER S P, TREFFINGER D J. Analysis of creative products: review and synthesis [J]. *Journal of Creative Behavior*, 1981(3): 158-178.
- [28] HU X Y, LI L J, ZHENG X D. Research on learner collaborative problem-solving strategies in online environment [J]. *China Electrochemical Education*, 2015(1): 44-50.
胡小勇, 李丽娟, 郑晓丹. 在线环境下学习者协作解决问题的策略研究[J]. *中国电化教育*, 2015(1): 44-50.

(责任编辑:尹晨茹)