

基于 STEM 理念“小-中-大”融合式科学工程教育研究

李其乐¹ 冯潇杨¹

(江苏海洋大学理学院, 江苏 连云港 222005)

摘 要 工程教育是培养国家后备科技人才的核心战略支柱, 已成为教育界密切关注的需求热点。当前国家已在高等教育阶段以工程认证的形式构建工程类专业教育框架, 但由于机械化应试教育的短视性, 仅在高等教育阶段短期实现工程师的培育缺乏合理性。近年, STEM 教育理念在各国逐渐启用发展, 对我国变革传统教育理念, 实现学科融合的工程通识教育具有积极的指导意义。基于 STEM 教育理念, 开辟适用于全阶段学生的科学素养培养道路, 实现“小-中-大”学段的一体化培育, 可以为我国工程人才长期战略发展提供正向价值与启示。

关键词 工程通识教育; STEM 理念; “小-中-大”一体化; 科学素养; 学科融合

RESEARCH ON “PRIMARY-MEDIUM-COLLEGIATE” INTEGRATED SCIENCE AND ENGINEERING EDUCATION BASED ON STEM CONCEPT

LI Qile FENG Xiaoyang

(School of Science, Jiangsu Ocean University, Lianyungang, Jiangsu 222005)

Abstract Engineering education is the core strategic pillar of training national reserve scientific and technological talents, and has become a hot demand in the education industry. At present, the state has established engineering professional education framework in the form of engineering certification in the stage of higher education. However, due to the short-sighted nature of mechanized exam-oriented education, it is unreasonable to realize the cultivation of engineers only in the stage of higher education. In recent years, the STEM education concept has gradually been developed in various countries, which has positive guiding significance for our country to change the traditional education concept and realize the general science education integration of disciplines. Based on the concept of STEM education, opening up a path for cultivating scientific literacy suitable for all stages of students and achieving integrated cultivation of “Primary-Medium-Collegiate” stages can provide positive value and inspiration for the long-term strategic development of engineering talents in China.

Key words Engineering general education; STEM philosophy; “Primary-Medium-Collegiate” integration; scientific literacy; integration of disciplines

收稿日期: 2023-12-14

基金项目: 连云港市科协软课题研究项目(Lkxyb24047)青少年科普及科学工程教育; 江苏省高校“高质量公共课教学改革研究”专项课题(2022JDKT039) 新工科背景下基于创新实践能力培育的大学物理教学改革研究。

通信作者: 李其乐, 江苏海洋大学理学院讲师, 2017000021@jou.edu.cn。

引文格式: 李其乐, 冯潇杨. 基于 STEM 理念“小-中-大”融合式科学工程教育研究[J]. 物理与工程, 2024, 34(4): 205-212.

Cite this article: LI Q L, FENG X Y. Research on “primary-medium-collegiate” integrated science and engineering education based on STEM concept[J]. Physics and Engineering, 2024, 34(4): 205-212. (in Chinese)

随着社会进步,科技发展对综合型创新型人才的需求度提升,同时,以 ChatGPT 为代表的人工智能取代机械性社会工作已经成为了时代趋势,社会对于人的创造性要求不断提高,工程技术人才的培养对于国家战略发展的重要性日益凸显。卓越工程人才掌握国家重要工程技术,是将科学技术转化为现实生产力的战略人才。2017 年,教育部发布《普通高等学校本科专业类教学质量国家标准》,这是我国高校工程专业认证方面的自发性实践探索,即在高等教育阶段通过工程认证的 12 条标准初步塑造学生的基本工程素养。然而,工程师的培养是长期且稳定的阶段性过程,初始化工程能力的培养不能仅起步于高等教育阶段,这 12 项标准必须在“小-中-大”(小学、中学、大学)逐步贯彻。因此,工程能力的培养需要开辟一条适用于全阶段学生的科学素养培育道路。

2023 年 11 月 9 日,于法国巴黎举行的联合国教科文组织第 42 届大会通过了在中国上海设立教科文组织国际 STEM(科学、技术、工程和数学)教育研究所(UNESCO IISTEM)的决议。各国构建 STEM 教育合作平台培养综合性创新人才,通过数字教育平台共享优质教育资源,开展以可持续发展为主题的绿色教育。STEM 是全新的教育理念,它系统化阐释技术、工程、数学以及科学四门学科之间的交互融合的思想,将艺术、写作、阅读以及社会研究等学科进一步扩展链接^[1]。它应国际教育的系统性变革需求而生,针对未来科学与工程教育,教育组织需要破除长期性的学术板块分割,促进基于科学、技术、工程实践、数学的跨学科融合。虽然 STEM 教育的实用性与前瞻性在我国逐渐凸显,但目前的 STEM 教育仍滞留在探索阶段。爱尔兰是早期开发 STEM 教育的国家之一,当地政府为学者提供 STEM 教育体验,统筹全学段的教学过程,实现 STEM 教育的连续性和可持续性^[2]。区别于分科教育,STEM 教育是跨学段界限的统整式、连贯式的新科学教育模式。它引导学生思考生活现象,培养其综合分析和解决问题的能力,注重学习者在实际应用中的理解与迁移^[3],从而实现纵向上螺旋上升式的学科递进,横向上环节交织式的学科融合。笔者贯彻 STEM 教育理念,在“小-中-大”阶段应用纵向

的螺旋递进式培养、实现横向的学科交互式融合,基于学生成长规律,协同推进“小-中-大”阶段式工程能力的培养。表 1 为“小-中-大”阶段培养意义:

表 1 “小-中-大”阶段培养		
学段	培养内容	培养目标
小学	兴趣培养	培养学生的学习能动性,思考积极性。
	认知塑造	模拟真实情景,进行知识内化,化抽象为具体。
	课程衔接	构建知识体系,避免阶段断层。
中学	优化课程	理解知识源于生活,完善阶段关联度。
	应用实验	培养发散性思维与解决科学问题的能力,衔接中学与大学的实践课程。
大学	深化教学	结合前沿科技,发掘学科深度。
	精进实践	融合实验步骤,促进项目式课题式设计。

1 小学阶段:塑造科学兴趣认知,启蒙工程思想意识

小学是工程能力培养的初级阶段,其培养核心在于思想启蒙。近年来由于科学教育发展迟缓,初级阶段的学生缺乏必要的科学素养,思维能力薄弱,尚未构建知识体系。且相较于高等教育,初级与中级阶段的教育工作者缺乏培养学生工程能力的意识。基于我国初级阶段教育现状,将 STEM 教育理念应用于小学阶段教育对我国人才培养战略含有难以预估的积极意义。小学阶段的培养体系可精细划分为兴趣培养模块、认知塑造模块和课程衔接模块。

1.1 兴趣培养

随着时代发展,全社会教育需求性也呈现持续性增长的趋势,而传统教育注重单科知识的机械传授和技能培训,学科关联性薄弱。STEM 教育注重在真实情景下,使学生自主运用多学科知识和技能解决实际生活问题,具有较强的学科关联性。相较于输入式学习的传统教育,输出式学习的 STEM 教育更能发挥学生主体作用,主动应用理论知识积极解决问题,而不是被动地接受知

识。学生要树立“生活即是学习”的思想,从个人对生活现象的主动思考,到小组之间的沟通与协作正是学生主动探究实际生活问题的过程,也是科学兴趣培养的教育过程,这同时对应工程教育中“沟通”能力的培养。

1.2 认知塑造

小学阶段普遍的输入式学习导致学生积极性不足,学习效率降低,缺乏理性思考的能力,知识体系构建缓慢。因此,小学阶段的认知塑造离不开具体事物的支撑。通过模拟真实情景,联系实际生活,帮助学生知识内化,联系抽象知识与具体问题,直观感受解决问题所需求的知识技能,加深学生与现实生活之间的联系,促进知识体系的构建,通过“学以致用”的方式发展先进思维能力,从而深化认知塑造过程。

1.3 课程衔接

小学阶段学生科学素养欠缺,生硬抽象的原理概念容易导致初级阶段学生出现知识断层现象。同样,基于双减政策,功利化、填鸭式的教育模式并不适用于初级阶段科学素养的提升。基于 STEM 教育理念,可以通过生活科学实践环节进行课程的衔接,如表 2 所示。例如“摸不到的鱼”:由图 1 所示,通过观察水中物体曲折现象,了解光的折射规律,衔接中学物理等物质学科,为中学阶段借助基础物理仪器进行原理研究铺垫。

表 2 生活实践过程

衔接课程	反映现象	衔接
“团结的水滴”	物体表面张力	物质科学
行走的纸屑	静电现象	物质科学
神奇的万花筒镜	光的反射	物质科学
摸不到的鱼	光的折射	物质科学
带电的水	自制盐水电池	工程科学
五彩“衣衫”	探索毛细现象	生命科学
暗箱中的世界	小孔相机	工程科学
神奇透镜	望远镜	工程科学
一起看电影	3D 眼镜的偏振	物质科学
秘密的电波	摩斯电码	物质科学
磁铁小火车	磁场	物质科学
“扶”起来的鸡蛋	浮力	物质科学
“玩转纸杯”	声音的传播	生命科学
土壤中的奥秘	种子发芽的过程	生命科学
“攀爬”的车	摩擦力	物质科学

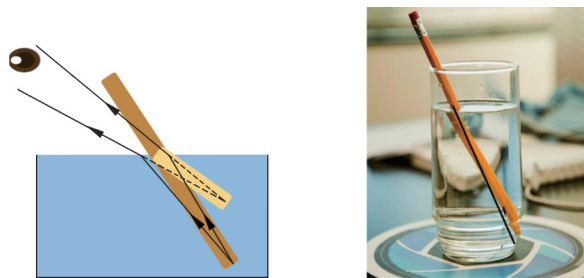


图 1 水中物体发生了“弯折”

2 中学阶段:推进理论具象融合,精进实践能力培养

随着国家对 STEM 教育的重视与引进,STEM 教育主题文献数量逐步上升,对其中文献第一作者所属研究机构进行初步统计,源自高校、教研部门、中学的文献比例分别为 29.33%、4.55%、67.12%^[4]。这表明中级阶段教育逐渐占据 STEM 教育的主体地位,同时在工程能力培养流程中起着承上启下的砥柱作用。

中学阶段工程能力的培养,其核心是提升学生自主融合知识技能与实际工程问题的能力。在此阶段要以实现 STEM 教育的连续性和可持续发展性为本,符合学生成长的规律,避免断层式、分离式的 STEM 教育。经过小学阶段的启发式培养,中学生已经具备信息搜集、数据分析、自主学习的特质,具有解决简单工程问题的能力。因此,不同于重在启蒙教育的小学阶段,中学阶段的人才培养要更加具象化、综合化、体系化。

2.1 联系工程实际问题,优化多元课程体系

中学阶段的 STEM 教育是初级阶段 STEM 教育体系的发展和延伸,其目的是培养中学生的科技创新思维,提升其对所学知识的应用能力,为大学阶段的 STEM 教育指引方向,为工程师的培育奠定基础。

中学阶段 STEM 课程体系的建立需要联系小学启蒙阶段,设计课程教材时要充分考虑到学习阶段之间的关联度,同时根据时代发展更新教材中的工程案例,让学生深刻理解课堂的知识源于时代生活。因此教育工作者要建设更加多元化的课程体系,而教学书籍作为其课程体系的具体表现形式之一,是理论教学的核心载体,因此如何设置“工程师化”的教材内容是一个值得关注的问题。

题。表 3 列举了部分中学物理课程与科学领域的衔接。

表 3 部分中学物理课程

课程名称	科学领域
声音传播	基础声学
和谐的乐音	
无声的声音	
噪声污染防治	
声学应用:超声波探伤	
物质的三态及温度	基础热力学
汽化与液化	
熔化与凝固	
升华与凝华	
地球水循环	
内能与热传递	
比热容	
热力学应用:热机	基础光学
光的本质与特性	
光的直线传播	
光的反射与折射	
透镜成像规律	
光的应用:望远镜与显微镜	

2.2 完善工程能力标准,提升实验教学应用水平

通过系统研究中国工程教育专业认证通用 12 条标准,工程师要能够基于科学原理并采用科学方法对复杂工程问题进行研究,包括实验设计、分析数据、并通过信息综合处理得到合理有效的结论。STEM 教育理念希望全阶段的学生发掘理解力与创造力,在面对生活中的具体问题时,通过实践去得到答案,因此,学生能力的提升比获取知识本身更加重要。而仅在大学阶段起步进行实验素质的提升,中学阶段只重视理论思维能力和知识运用能力的培养,难免会出现科学教育与工程教育上的阶段性断层。教育工作者要在中学阶段初步组建实验体系,将 STEM 教育理念与实验实践相结合,以此全面搭建高质量教育衔接框架。

科学实验板块仍属于科学教育的范畴,其与 STEM 教育之间的交集点是培养学生的发散性思维与实际动手解决科学问题的能力。针对工程问题的科学实验活动是将二者紧密结合的最优方式。必须以实验活动为根本立足点,通过实践的

形式,将教育内容与 STEM 教育理念结合。相比于让学生直接吸收公式、定理等基础知识,在遇到涉及到物理、化学等学科规律的实际工程问题时,教育工作者应更注重培养学生运用知识解决问题的能力。例如物理学科拥有复杂的知识结构和庞大的知识体系,要实现 STEM 理念在中学物理中的应用,需要以实际工程问题为起点,引导学生进行工程设计、实验操作、数学运算并对物理问题进行解析,从而建立学科思想的高质量联系^[4]。区别于小学阶段以激发好奇心与创造力为根本目标的启发式实验活动,中学阶段的实验设计应严谨细致,实验步骤的设置也需要完善,但却并不如大学阶段深入,是一个实验体系初步严格化的阶段。在激发学生求知欲望的同时,对数学,信息等基础工具学科类的应用也将更加熟练。中学物理实验主要分为两种,前者是偏重于测量与证明性质的验证性基础实验,如力学中验证动量守恒定律与机械能守恒定律,电学中改装欧姆表并测量电阻,光学中小孔成像的观测与折射率的测量等。第二种是偏重应用性质的设计性进阶实验,利用所学物理知识制作简易气压计和密度计,水火箭的制作,孔明灯的制作等^[4]。STEM 研究工作者 Anne Jolly 将美国青少年的工程设计问题具体划分为 8 个步骤^[5]:定义问题、背景研究、想象、计划、创造、测试评估、重新设计、交流,如图 2 所示

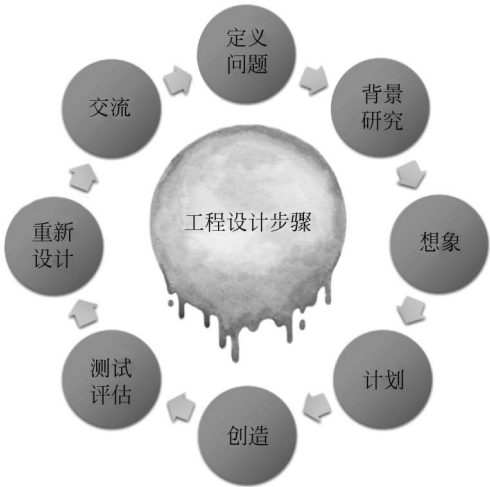


图 2 工程设计问题解决的一般步骤

根据工程能力认证的标准,笔者设计了“小中大”一体化基础实验活动的一般流程,如图 3 所示。

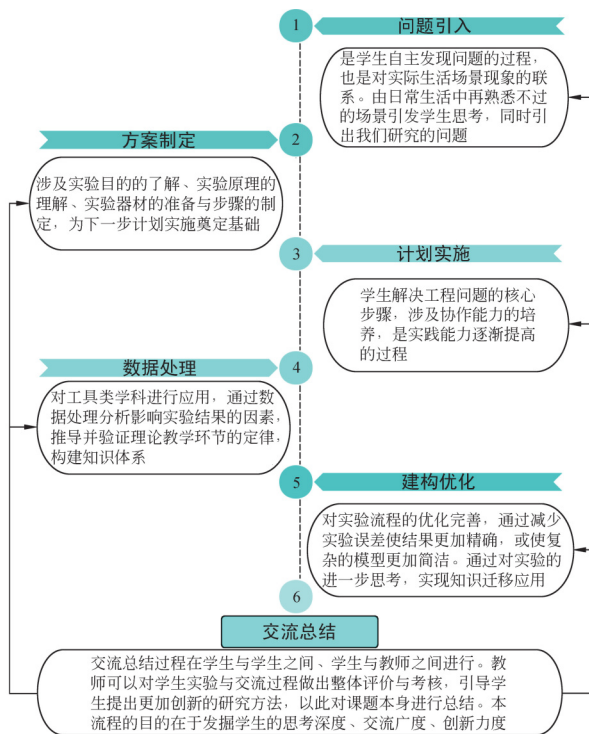


图3 “小中大”一体化实验设计步骤

3 大学阶段:聚焦前沿科技核心,嵌入工程项目设计

目前,工程认证体系在高等教育阶段已相对完善,但尚有发展空间。而 STEM 教育下的大学生已经掌握基础工程知识,但难以将前沿科技应用与理论知识结合以解决复杂的实际工程问题。相较于小学阶段与中学阶段,大学阶段的教育普遍出现教师课堂泛读书本,学生接收信息有限或未接收信息的问题。而这些问题往往源于教学内容晦涩难懂、学生学习能动性变低,教师教学材料冗杂过旧。其后果便是大学的学习转变为“老师象征性教学,学生突击型复习”的无用功模式。在这种长期无用功模式的负面影响下,大学阶段的培养将难以达到培养工程师的标准。因此在高等

教育阶段需要实现工程能力培养的通识化、数智化、高效化。

3.1 深化课堂教学,涵盖时代创新

知识的性质之一便是时间迭代性。无论是从地心说到日心说的跨越,还是比萨斜塔的实验,都反映出理论知识的更替。随着时代的发展,众多学科的理论内涵也在不断更迭。因此在教学活动中,教育工作者要应用 STEM 教育理念,融合时代前沿工程问题,并将其融入课程之中,以此确保知识“新鲜度”。在具体课堂教学时,教师可结合近年与授课内容相关的高质量期刊文献,甚至将近年来的科研奖项获得者与其贡献融入到测验与作业之中^[6],让学生们感受到,那些定理与公式并不是枯燥乏味的,而是和世界与时代息息相关的,以此激发学生的学习能动性。另一方面,面对较为抽象的专业理论,例如激光的产生过程,可以以动态模型的形式促进学生的理解,激发科研热情。

3.2 统整实验技能,开展项目研究

中学阶段已经进行基础实验步骤体系的初步完善,而大学阶段需要统整更精密严谨的基础实验操作步骤去应用专业知识,这是科学素养的提升应用,更是工程能力的培养需求。在基础实验能力的培养方面,笔者以具体的科学实验项目作为实例,以此表现工程师培养在三个阶段循序渐进的过程。运用“小中大”一体化实验步骤,在小学阶段从生活现象出发,进行简单科学实验现象的观察,初步塑造工程意识;中学阶段以小学阶段实践活动为基础进阶,初步设计了系统的实验步骤与实验方法,树立严谨求真的科学态度,为大学阶段的课题项目式培养打下基础;大学阶段是中学阶段实验的进一步深入,由表及里,层层递进,在现象与结果中进行精密理论的研究、实际工程的应用。如图4 三棱镜-“小中大”科学工程进阶过程;图5以小孔成像现象的观察作为实例,展示

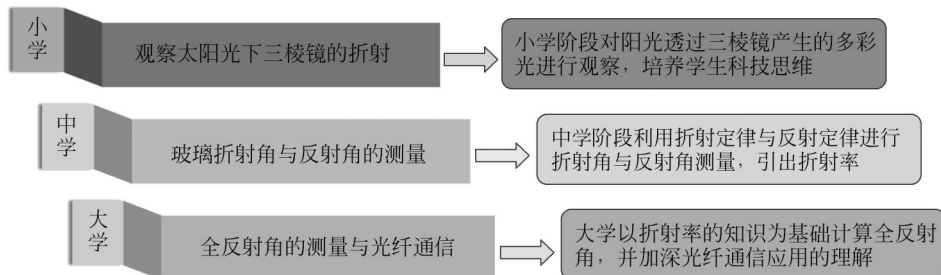


图4 三棱镜-“小中大”科学工程进阶过程

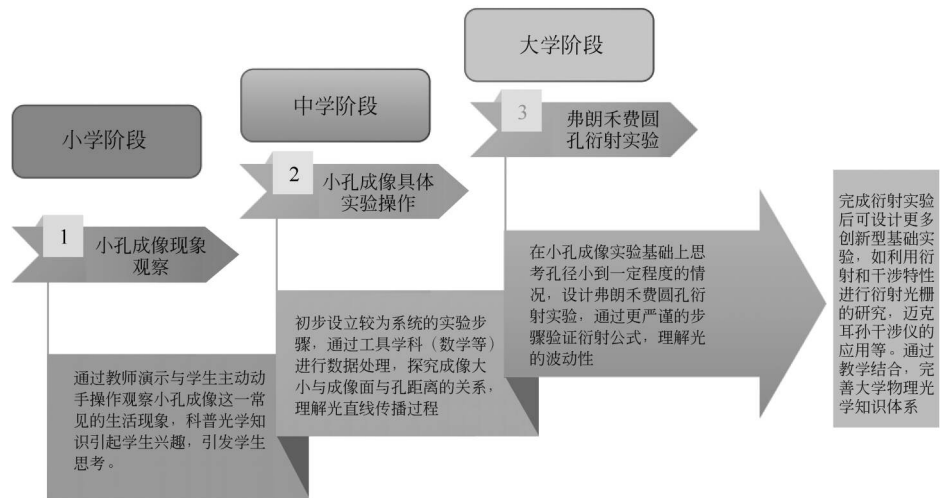


图 5 小孔成像-“小中大”递进式基础实验能力步骤

在 STEM 理念下小学、中学、大学递进式培养基础实验能力的基本步骤。图 6 为大学阶段弗朗禾费圆孔衍射观察图。在基于 STEM 教育理念的小学、中学、大学学习融合的过程中，学生的团队合作与沟通能力会得到提升，科学与价值观念也会基本建立，逐步达到工程师的标准。

同时，大学阶段学生培养不应只停滞于基础实验能力的提升，而更应倾向于项目式工程设计，这也是接触复杂工程问题的直接途径。

项目式工程设计是项目式学习的形式，是以学生为中心的实践性教学模式，是知识、能力、素

质的有机融合，有助于培养学生解决复杂问题的综合能力，形成批判性思维。项目式学习通常与专业课程理论相结合，是 STEM 多学科叠加融合的体现。如光学设计，学生普遍了解光的传播特性，具有光学器件、工程光学与波动光学的离散型知识框架，但缺乏系统的拓扑型认知结构。在 STEM 理念下，大学光学的项目式设计将理论知识用于实际工程问题，实现光学器件等学科的融合，凸显“教、学、做”一体化进程。笔者将项目式工程设计理念概括为“三性”，即专业生产性、工程实践性、创新开放性。

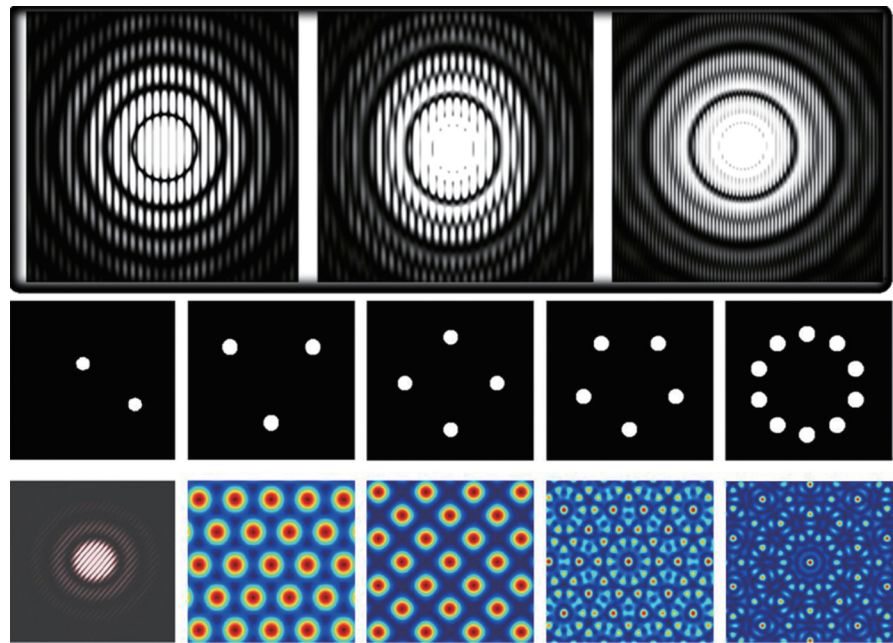


图 6 弗朗禾费圆孔衍射实验图

专业生产性:结合理论课程,提取符合实际工程生产的内容,使课程学习内容和环境与实际工作对应。

工程实践性:以设计、仿真、制作、调试为基本流程,融合实习性质的学习模式,使学生依据先进的工作流程,完整地完成一个实际工程产品的开发与制作。

创新开放性:让知识走出课本,发挥学生“向学性”,自主开发新的工程项目。

项目正式设计前,需要教师在课程中以工程应用为导向,布置工程设计任务,提供设计材料。学生针对课题进行需求分析与方案制定,运用仿真软件初步设计调试,体现专业生产性。

在项目实验过程,学生讲解项目的设计思路和仿真效果,并通过自主实物制作去解决实际工程问题,取得阶段性成果后开展小组讨论进行优化设计,体现工程实践性。

评价阶段,突出学生成果讲解展示,教师运用 OBE 评价理念,以“设计报告(50%) + 创新开放意识(30%) + 实物讲解展示(20%)”的标准,采用形成性评价和创新性评价相结合方式考核,体现

创新开放性。如图 7 为基于镜面反射的激光拾音技术工程设计原理图。

笔者认为,项目式工程设计是工程教育的阶段性总结,同时形成科学教育的闭环。而 STEM 教育理念本质上是对科学教育的实践性研究,要以科学教育完善工程教育,以工程教育为导向促进科学教育,或者说,科学教育是工程教育的原理性环节,工程教育是科学教育的实用性环节。

作为工程教育的结点,项目式工程设计中,学习者自由构建生活情境、自发思考实际问题、自驱探索解决方法、自主运用所学科学知识,真正联系理论与实际进行应用。国家倡导的科学教育具有启发性与融合性,项目式工程设计是对多学科的最终型综合性应用。真正的项目式学习是在工程教育与科学教育之间构建内在联系的学习,工程教育的实质是工程能力的培养,而科学教育的意义是科学素养的提升,植根于生活的科学性教学(如中学科学实验、小学科学课程)必然形成工程能力培养的基础。而项目式学习聚焦实际问题,综汇学科领域,以创造新事物、新作品的方式,高效完善科学教育中多学科桥梁的筑建,丰富科学

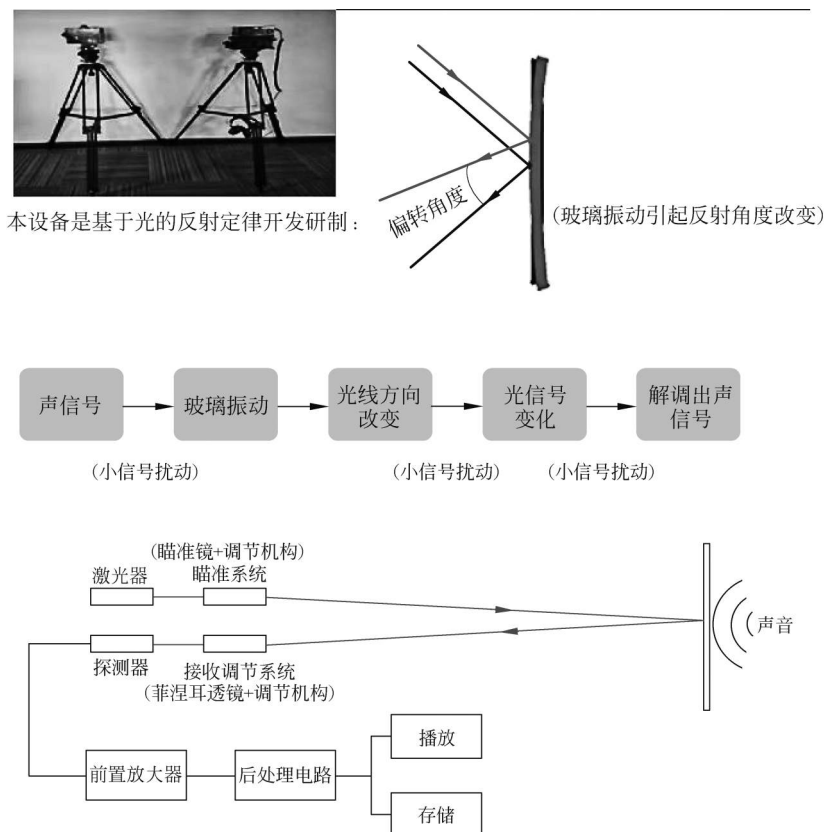


图 7 基于镜面反射的激光拾音技术工程设计原理图

教育的内涵,是对工程能力的考核,更是对科学知识的应用、科学素养的检验。通过项目式学习,教育工作者进一步培养并检验学生的工程素养,总结完善工程教育,解决书籍资料与生活情景割裂的问题,使学生在设计应用中统整科学工程体系,自主开拓知识广度,发掘知识深度,对自身构建的科学理论产生更深层次的理解与总结,最终发展科技核心素养,促进科学教育,形成闭环。

4 结语

无论是理论教育还是实际应用,工程教育培养过程在“小-中-大”三个阶段是紧密相连的。工程教育的宗旨是培养工程技术人才,而工程人才培养的核心是实际工程思维培养,工程人才的思维方式是“问以致学、学以致用、用以致问”的闭环方式。工程师的培养绝不仅起步于高等教育,教育工作者应变革以应试为取向的教育机制,同时运用STEM教育理念进行“小-中-大”阶段的纵向系统式工程能力培养(小学阶段重在思想启蒙,中学阶段重在塑造提升,大学阶段重在研究应用),依据各学段学生特性实现不同程度的横向融合式科技素养提升。在显性能力,如工程知识、问题分析能力的培养过程中,职业规范等隐性能力也会逐渐显现。对于工程师,终身学习是一种习惯,必须将工程基本能力素养与STEM科学教育理念交织贯彻始终,以此推动我国全阶段科学工程教育事业的高质量发展。

参 考 文 献

- [1] 张彩丽,杨海波.工程教育专业认证背景下基于STEM理念的复杂工程问题的构建[J].西部素质教育,2019,5(4):172-173.
- [2] 李刚.面向未来的STEM教育:爱尔兰《STEM教育政策声明(2017—2026)》解读及启示[J].数学教育学报,2022,31(5):71-75.
LI G. Future-oriented STEM Education: Interpretation and enlightenment of Ireland's STEM education policy statement (2017—2026) [J]. Journal of Mathematics Education, 2022, 31(5): 71-75. (in Chinese)
- [3] 谢丽,李春密.物理课程融入STEM教育理念的研究与实践[J].物理教师,2017,38(4):2-4.
XIE L, LI C M. Research and practice of integrating physics curriculum into STEM education concept [J]. Teacher of Physics, 2017, 38(4): 2-4. (in Chinese)
- [4] 李治,谢丽.STEM教育融入我国中学物理教育研究的现状——基于5种中学物理教育专业期刊的分析[J].物理教师,2023,44(3):2-5.
LI Z, XIE L. The present situation of the integration of STEM education into middle school physics education research in our country: Based on the analysis of five middle school physics education journals [J]. Physics Teacher, 2023, 44(3): 2-5. (in Chinese)
- [5] 顾健,李刚.基于工程的跨学科实践——来自STEM的启示[J].物理教师,2022,43(10):46-48+53.
GU J, LI G. Engineering-based interdisciplinary practice: Inspiration from STEM [J]. Physics Teacher, 2022, 43(10): 46-48+53. (in Chinese)
- [6] 吴平平.面向科学前沿,反溯基本教学——应用型大学固体物理课程的实践与探索[J].物理与工程,2022,32(2):78-83.
WU P P. Facing the frontier of science, backtracking basic teaching—Practice and exploration of solid state Physics course in applied university [J]. Physics and Engineering, 2022, 32(2): 78-83. (in Chinese)