

【实验教学】

小学科学实验矩阵的构建

——以“工程设计与物化”为例

惠锋明

【摘要】立足学生核心素养的发展,新课标以13个学科核心概念统领学生在义务教育阶段需要掌握的科学课程的核心内容。作为探究实践的重要内容,科学实验背后聚焦的是学科核心概念。通过研读新课标中的相关内容,分四步构建小学科学实验矩阵:解读学科核心概念的内涵,明确矩阵中心;基于学习进阶,规划矩阵脉络;梳理教材中的实验活动,把握矩阵基点;纵横编织,构建矩阵框架。

【关键词】小学科学;学科核心概念;实验矩阵;工程设计与物化

《义务教育科学课程标准(2022年版)》(以下简称“新课标”)指出,科学课程要培养的学生核心素养,包括科学观念、科学思维、探究实践、态度责任等方面。^[1]科学实验是探究实践的重要内容。而从实际的教学情况来看,科学实验教学存在变“做实验”为“说实验”“重结论、轻过程”等现象,教师对实验教学的把握也存在“散”“低”“浅”等问题。对此,笔者以为,可以构建实验矩阵来避免和解决。下面,以“工程设计与物化”这一学科核心概念为例,说明如何明确中心,规划脉络,把握基点,进而纵横编织,构建科学实验矩阵。

一、解读学科核心概念内涵,明确矩阵中心

立足学生核心素养的发展,新课标以13个学科核心概念(物质的结构与性质,物质的变化与化学反应,物质的运动与相互作用,能的转化与能量守恒,生命系统的构成层次,生物体的稳态与调节,生物与环境的相互关系,生命的延续与进化,宇宙中的地球,地球系统,人类活动与环境,技术、工程与社会,工程设计与物化^[2])统领学生在义务教育阶段需要掌握的科学课程的核心内容。作为探究实践的重要内容,科学实验背后聚焦的是学科核心概念。因此,我们以学科核心概念为中心,由此“生长”出科学实验矩阵。我们通过研读新课标中的相关内容来明确学科核心概念的内涵。“工程设计与物化”这一学科核心概念的内涵如下:

其一,工程需要经历过程。新课标中,“工程设

计与物化”包括3条学习内容,也是工程活动的3个重要过程:工程需要定义和界定,工程的关键是设计,工程是设计方案物化的结果。^[3]工程活动的本质是创造人工实体,首先需要定义和界定工程问题,明确工程活动需满足的要求以及受到的限制;其次,针对问题形成多种可能的解决方案,并基于证据进行优化,然后确定方案;最后的物化是在选择合适的工具和材料的基础上,实施设计方案,并制作初步的产品或实物模型。当然,这一流程并非线性的,工程活动往往需要在多次迭代改进中完成。

其二,工程需要整合科学和技术。“工程设计与物化”这一学科核心概念强调了技术与工程实践能力的培养,也将科学、技术与工程联结成一个有机的整体:一方面,学生在工程实践的过程中需要参考和借鉴科学原理;另一方面,工程实践的这些成果也能帮助学生更好地理解科学原理。这一属性,不仅表明了本学科核心概念的重要地位,也凸显了“用不少于10%的课时设计跨学科主题学习”^[4]的要求。

二、基于学习进阶,规划矩阵脉络

新课标指出,“基于学生的认知水平和知识经验,科学安排学习进阶”^[5]。学习进阶指“对学生在一个时间跨度内学习和探究某一主题时,依次进阶、逐级深化的思维方式的描述”^[6]。简单地说,学习进阶是指对知识理解的深化过程。因此,可以用来规划实验矩阵的脉络。

在横向上,“工程设计与物化”内容的构建,基于

不同内容情境下工程过程的步骤和策略。工程活动的过程一般包括3个阶段12个步骤。^[7]概念阶段,包括界定问题、头脑风暴、调研和产生想法以及确定标准和约束4个步骤。在新课标中,其被简化为“明确问题”,并对应“工程需要定义和界定”这一学习内容。开发阶段,包括探索方案的可能性、选择一种方案、给出一个设计建议以及建立模型或原型4个步骤。在新课标中,其被简化为“设计方案”和“实施计划”,并对应“工程的关键是设计”这一学习内容。评估阶段,包括测试和评估、优化、生产或制造所设计的产品以及交流结果4个步骤。在新课标中,其被简化为“检验作品”“改进完善”和“发布成果”,并对应“工程是设计方案物化的结果”这一学习内容。由此,我们得到工程活动六要素:明确问题、设计方案、实施计划、检验作品、改进完善、发布成果。值得关注的是,在实际的工程活动中,工程技术人员往往会先建立模型或原型,评估过后再实施生产或制造。而在新课标中,为适应小学阶段学生的实际情况,这些过程被简化:往往在对设计方案评估过后就直接开始实物模型的制作,而不涉及后续的生产或制造。

在纵向上,以学段划分形成能力进阶。一方面,以3条学习内容为主线形成工程过程由简单到复杂的进阶。比如,对应“工程需要定义和界定”,低年段只要求提出并描述工程问题,中年段要求同时考虑限制条件,高年段则要求同时确定工程标准。另一方面,需要解决的工程问题也在真实程度、难易程度等方面形成进阶。比如,对应“工程是设计方案物化的结果”,低年段只要求制作简单实物模型,中年段要求进行简单迭代,高年段则要求基于证据进行迭代。

三、梳理教材中的实验活动,把握矩阵基点

我们以“科学实验”为显性线索把握矩阵基点。一方面,设置不同学段从简单到综合的实验活动;另一方面,以实验活动为载体,有机整合由浅入深、由表及里的学习内容,从而形成有序递进的课程结构。在明确中心和脉络的基础上,我们梳理了现行苏教版小学科学教材中与“工程设计与物化”相关的实验活动。不难发现,教材中的实验活动主要分为两类:

第一类是零散分布于常规教学单元中的内容。比如一年级上册《小小工程师》一课,为了让初识科学的学生对工程师的工作有一个感性的认识,安排了“做一个铅笔加长器”的环节,让学生亲历简单的

工程设计流程。又如五年级上册《物体的传热本领》一课,借助“制作一个保温盒”的拓展活动,让学生将所学的知识运用到实际生活中去。这一类活动或为学生认识工程设计服务,或为单元主题拓展应用服务。

第二类则分布于《专项学习:像工程师那样》和《STEM学习》两个特色单元中,均以单一项目为引领,各有侧重地带领学生经历完整的工程设计过程。前者分布在一到六年级每学年的上册中,其将工程活动分解为6个过程要素:明确问题、前期研究、设计方案、制作模型、测试改进(对应“改进完善”)和展示交流(对应“发布成果”)。分布在6册教材中的6个项目以螺旋式结构进行编排。在五年级下册和六年级下册,教材分别编排了2个以工程为主线的《STEM学习》,其中将STEM学习分解为6个过程要素:了解需求、明确问题、前期研究、设计方案、制作改进(对应“实施计划”“检验作品”和“改进完善”)和评价反思(对应“发布成果”)。不难发现,这些过程要素均与“工程设计与物化”这一学科核心概念的内涵相一致。

然而,第一类实验活动往往限于教材篇幅,不能提供显著和有效的工程指导,在实际教学中往往被定位为验证和制作的内容;第二类实验活动给出了完整的工程活动流程,但面对这样的大型项目,师生(尤其是一开始)往往因为缺少相关的教与学的策略而产生畏难情绪,在实际教学中并不能很好地进行。这些问题也形成了构建科学实验矩阵的现实出发点。

四、纵横编织,构建矩阵框架

在上述解读和分析的基础上,从纵向和横向两个维度构建序列化的实验矩阵。

纵向上,从工程活动六要素层面以螺旋式结构进行组织。低年段,重在关注明确问题、设计方案和发布成果三个要素;中年段,则以三、四年级互补的形式,关注工程实践的全部要素;高年段,则分别就其中4个要素进行进一步的指导。由略到详、由易到难,通过对工程实践活动不同过程要素的指导,为学生工程思维的发展安排合理的进阶。《STEM学习》本身安排在五、六年级下册,因此六要素以完整的形式分别呈现在2个学习单元中。横向上,基于上述过程要素进阶重点开发相关工程实践活动。教材中零散分布的工程活动,更多的是作为拓展活动

为各单元核心概念的学习服务;且受篇幅限制,大多没有详细指导。以此出发设计完整的工程活动,不仅能够帮助教师更好地落实教材内容,也能帮助学生更好地构建学科核心概念。构建出的框架内容如下:

一年级:设置“铅笔加长器”项目,主要针对“明确问题”要素,训练学生“明确需要解决的问题”。设置“轮子的故事”项目,主要针对“设计方案”要素,训练学生“把想法简单画出来”。设置“纸桥过河”项目,主要针对“实施计划”要素,训练学生“尝试完成自己的方案”。设置“形形色色的动物”项目,主要针对“发布成果”要素,训练学生“展示设计图或作品”。综合项目为“气球小车”。

二年级:设置“自制指南针”项目,主要针对“明确问题”要素,训练学生“从情境中明确需要解决的问题”。设置“雨水收集器”项目,主要针对“设计方案”要素,训练学生“把想法画出来,并考虑材料、工具”。设置“做个小笔筒”项目,主要针对“实施计划”要素,训练学生“选择合适的材料和工具,根据方案实施计划”。设置“小小气象员”项目,主要针对“发布成果”要素,训练学生“展示设计图和作品,向别人进行介绍并演示”。综合项目为“风向标”。

三年级:设置“自制雨量器”项目,主要针对“明确问题”要素,训练学生“通过调研、头脑风暴等方式列出产品的特性”。设置“鸡蛋保护器”项目,主要针对“设计方案”要素,训练学生“通过标注尺寸、材料等信息的简单设计图表达设计方案,并考虑制作步骤”。设置“自制乐器”项目,主要针对“实施计划”要素,训练学生“认识原型与模型,根据任务确定模型的大小、应重点呈现的部分等”。设置“吹气球神器”项目,主要针对“检验作品”要素,训练学生“根据任务要求商定测试方法并多次测试,根据结果判断是否满足任务要求,愿意就产品的关键特性与他人进行竞争性测评”。设置“造小船”项目,主要针对“改进完善”要素,训练学生“就产品的关键特性进行持续改进以优化性能”。设置“我为植物挂名牌”项目,主要针对“发布成果”要素,训练学生“对自己和别人的作品提出改进意见”。综合项目为“手工皂”。

四年级:设置“水果采摘器”项目,主要针对“明确问题”要素,训练学生“列出完成任务可能遇到的问题,并用多种方法查找有助于完成任务的资料”。

设置“给鸟儿安个家”项目,主要针对“设计方案”要素,训练学生“认识草图与设计图,通过草图表达初步想法,并通过小组讨论选出最佳方案进行完善”。设置“自制弹簧测力计”项目,主要针对“实施计划”要素,训练学生“制作的模型可以忽略方案中的一些方面,而更关注其中的结构与功能”。设置“弹力玩具”项目,主要针对“检验作品”要素,训练学生“针对产品不同方面的特性设计针对性的测试方案”。设置“疯狂过山车”项目,主要针对“改进完善”要素,训练学生“从材料的选择、制作技术的可操作性、产品的实用性等方面进行分析,将测试得到的信息与任务要求进行对比以分析设计上的不足,对未达成要求的部分进行针对性改进”。设置“定格动画”项目,主要针对“发布成果”要素,训练学生“用PPT、模型、文字等方式向他人展示,解答他人的疑问,听取他人的意见和建议”。综合项目为“LED发光手环”。

五年级:设置“建桥梁”项目,主要针对“明确问题”要素,训练学生“以设计纲要等形式简单明了地界定出任务及其标准、约束等信息”。设置“设计人行天桥”项目,主要针对“设计方案”要素,训练学生“借助决策选择最优方案”。设置“做个保温盒”项目,主要针对“实施计划”要素,训练学生“根据任务的实际需要组建团队、合理分工、设计时间轴”。设置“污水净化器”项目,主要针对“检验作品”要素,训练学生“根据设计纲要设计检测方案,以评估任务的完成度”。设置“立体小菜园”项目,主要针对“改进完善”要素,训练学生“根据完成度评估输出遗留问题,并据此对产品进行优化与迭代,必要时重新设计”。设置“汽车超速了吗”项目,主要针对“发布成果”要素,训练学生“将自己解决的任务、完成任务的过程、测试与改进的方法与结果等信息整理成成果文档”。综合项目为“降落伞”。

六年级:设置“自动吹泡泡机”项目,主要针对“明确问题”要素,训练学生“有针对性地检索和整理有助于完成任务的信息,必要时通过做探究实验来理解相关知识”。设置“制作小温室”项目,主要针对“设计方案”要素,训练学生“呈现包含材料、尺寸、制作过程等要素在内的设计方案”。设置“自制电磁起重器”项目,主要针对“实施计划”要素,训练学生“有意识地选用合适的材料工具来提高制作工艺”。设置“节能小屋”项目,主要针对“检验作品”要素,

(下转第63页)

长情况。在此基础上,教师要有针对性地制定学习策略,定点突破学习困境,真正做到因材施教,提升学生科学素养。

(3) 绘制学力生长图,建构学力发展路径

学生学习能力和学科素养的发展并非一朝一夕能完成的,而是贯穿其学习生涯。因此,学生学力的发展,不能仅仅局限在某一年段或者某一阶段,要将眼光投射到学生整个学习生涯中。所以,教师要及时跟踪学生后续学力发展情况,收集学生小学六年的科学学业发展数据,探索学生学力生长机制,绘制学力生长图,建构学力发展的路径,为以后的学习提供研究和借鉴(如图4)。

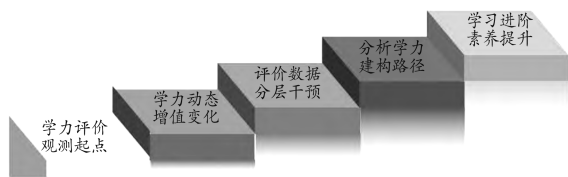


图4 增值评价依图赋能流程

新时期的科学教育弱化了知识技能为主的学习目的,更重视以提升学生科学素养为核心的学习目标。相对于知识技能评价的直观性,科学素养的评价更为隐性,也更难反映其增量。通过研究,基于小学生科学“四项学力”的增值评价系统,以“学力原点—学力基点”变化作为评价依据,以提升幅度为评

(上接第53页)

训练学生“根据设计纲要列出产品的检验清单,以形成产品可视化的总结”。设置“小火箭向前冲”项目,主要针对“改进完善”要素,训练学生“有意识地记录每一轮优化与迭代的过程”。设置“生态微景观”项目,主要针对“发布成果”要素,训练学生“展示包括产品信息、设计进展、设计图、解释和说明、制作过程、测试信息和改进过程等信息的工程报告书,展示交流后积极听取别人的意见和建议”。综合项目为“蒸汽小船”。

以工程要素的螺旋进阶参与为“经”,以工程要素的强化体验为“纬”,不仅赋予学生对“工程设计与物化”这一学科核心概念更好的理解,更能帮助教师在指导学生实验活动时“心有所系,行有所至”。

参考文献:

[1][2][3][5]中华人民共和国教育部.义务教育科学课

价标准,将评价重心聚焦在学生最近发展区,形成完整的科学学力增值评价体系,能将模糊定性的内在素养转变为清晰定量的外显学力,显著提升评价在学习中的正向效应,有效重塑素养立意下的评价新形态,实现学生科学素养增值发展和全面育人的导向价值。

参考文献:

[1]中华人民共和国教育部.义务教育科学课程标准(2022年版)[S].北京:北京师范大学出版社,2022:120-121.

[2]魏锐,刘坚,白新文,等.“21世纪核心素养5C模型”研究设计[J].华东师范大学学报(教育科学版),2020,38(2):20-28.

[3]肖菊梅,周婷.核心素养视角下小学英语课堂增值评价研究[J].教学与管理(理论版),2023(4):104-108.

[4]刘徽.大概念教学:素养导向的单元整体设计[M].北京:教育科学出版社,2022.

[5]吴国荣.在课后服务中开展微项目生成性学习[J].小学科学,2022(21):28-30.

【作者简介】吴国荣,浙江省嘉善县第二实验小学。

【原文出处】《教学与管理》:小学版(太原),2024.3.63~67

程标准(2022年版)[S].北京:北京师范大学出版社,2022:4,16,19,3.

[4]中华人民共和国教育部.义务教育课程方案(2022年版)[Z].北京:北京师范大学出版社,2022:11.

[6]姚建欣,郭玉英.为学生认知发展建模:学习进阶十年研究回顾及展望[J].教育学报,2014(5):35-42.

[7]约翰·R.卡尔斯尼茨,斯蒂芬·奥布莱恩,约翰·P.哈钦森.工程设计导论(上)[M].赖文洵,李婵,李超,等译.上海:上海科技教育出版社,2018:36.

【作者简介】惠锋明,江苏省无锡市梅村实验小学(214021)。

【原文出处】《教育研究与评论》:小学教育教学版(南京),2024.2.70~74

【基金项目】本文系江苏省教育科学“十四五”规划一般课题“家校协同模式下小学科学实验教学的优化与拓展研究”(编号:D/2021/02/680)的阶段研究成果。