小学科学“工程设计与物化”素养进阶策略

许 阳,王伟丽
(杭州绿城育华学校,浙江杭州 310012)

摘 要:“聚焦核心概念、精选课程内容”是《义务教育科学课程标准(2022年版)》倡导的课程组织原则。针对小学科学“工程设计与物化”教学存在的内容零散、进阶逻辑模糊等现实问题,提出“方法为干,概念与内容为枝”“内容为干,概念为枝”“概念为干,内容与方法为枝”三类进阶策略,并结合实践案例阐释其应用路径。该策略体系可有效推动“核心概念统领”“学习进阶衔接”两大课标要求落地,助力学生工程思维与实践创新能力发展。

关键词:“工程设计与物化”;小学科学;素养进阶;策略;概念;方法;内容
DOI:10.19935/j.cnki.1004-2326.2026.09.015
引用格式:许阳,王伟丽.小学科学“工程设计与物化”素养进阶策略[J].实验教学与仪器,2026,43(09):67-70.

《义务教育科学课程标准(2022年版)》(以下简称《课标》)将“工程设计与物化”列为13个学科核心概念之一,是落实“探究实践”核心素养的重要载体[1]。工程设计须立足学生既有认知水平,引导其围绕任务要求界定真实问题,提出多元设计方案,并综合材料、工具等要素开展评价与优化;工程物化则要求学生掌握材料属性与工具使用方法,通过制作实物模型、测试与迭代,将设计方案转化为具象成果。由此可见,设计以“真实问题”为核心的课程内容教学进阶尤为重要,其设计逻辑需要以学生的认知发展规律为核心依据,契合《课标》对不同学段的素养要求。

1 课例透视:“设计我们的小船”教学中的进阶性缺失

以教科版科学五年级中的“设计我们的小船”一课为例,当前的教学多遵循“提出任务—设计方案—制作测试”的线性流程。学生虽能按部就班完成小船制作,但此种平铺式的内容安排,是否足以支撑“工程设计与物化”核心概念的深度建构,仍有待商榷。有研究者尝试从工程思维视角对该教学进行重构[2],对照《课标》第三学段(5~6年级)相关要求(表1)可知,该案例虽在知识习得与流程体验上基本达标,但在进阶性上存在明显局限:①过度聚焦材料约束,对真实需求的情境化分析不足;②设计思维方法的显性教学缺失,学生对设计要素与原则的元认知不足;③物化成果的评价标准模糊,缺乏对工程迭代深度的具体要求。

上述局限表明,当前教学在“基于科学依据的评价”及“概念进阶的逻辑连贯性”上仍有提升空间。因此,如何突破单一课例的局限,系统构建聚焦核心概念、体现学习进阶的课程内容,以实现“概念统领”与“素养进阶”的深度融合,成为深化工程思维培育的关键命题。

表1 小学高学段(5~6年级)“工程设计与物化”核心概念学习内容与目标要求

学段	学习内容	目标要求
第三学段	13.1 工程需要定义和界定	能够统筹整合核心知识,界定工程问题,明确时间、成本、材料等各种限制条件以及最终产品的标准
	13.2 工程的关键是设计	结合图像、影像、模型、文字等多种形式展示方案,阐述具有一定独创性的设计方案,认识到设计方案中各影响因素之间的关系 具备证据意识,以科学依据为支撑阐明对设计方案的评价,判断其可行性与合理性
	13.3 工程是设计方案物化的结果	能熟练运用工具制作初步产品,根据多方反馈进行迭代优化与公开展示

2 “干—枝”式课程内容的结构化建构策略

“干—枝”式课程内容建构围绕“工程设计与物化”学科核心概念展开,结合不同学段学生的认知特点,明确“主干”(核心概念/核心方法/核心内容)与“枝条”(具象内容/实践载体)的层级脉络,二者形成双向赋能、互嵌共生的内容生态。教科版科学新编教材中的“工程设计与物化”课程内容的学段编排如表2所示。

具体建构流程:先锚定学段学习目标,再契合学生认知规律设计进阶路径,继而针对不同学段选择“方法为干,概念与内容为枝”“内容为干,概念为枝”或“概念为干,内容与方法为枝”的适配范式,开展教学实践并动态迭代优化,最终形成逻辑清晰、进阶有序的“干—枝”式课程内容体系。

表2 小学各学段“工程设计与物化”课程内容编排

第一学段	第二学段	第三学段
1-1“做一把尺子”	3-1“制作一个风向标”	5-1“制作一台潜望镜”
1-2“给动物建一个‘家’”	3-2“创制过山车”	5-2“设计并制作生态瓶”
	4-1“制作我的小乐器”	5-2“设计我们的小船”
2-1“做一顶帽子”	4-1“设计并制作小车”	5-2“做一个保温杯”
2-2“做一个指南针”	4-2“制作一个小开关”	6-2“设计并制作塔台”

2.1 方法为干,概念与内容为枝:低学段工程实践的启蒙路径

建构主义学习理论指出,低学段(1~2年级)学生正处于从感性经验向初步逻辑思维过渡的阶段,无论是新概念的建构还是原有经验的转化重组,都高度依赖于具象化的实践活动[3]。这一阶段工程启蒙的核心是让学生掌握“提出问题—调查需求—简单设计”的基础实践方法,因此教师有必要以“方法为干,概念与内容为枝”搭建课程内容:以“需求调查、问题定义、简单试做”等基础实践方法为“主干”,以“工程要满足用户需求”的初步核心概念、各类生活物品的设计内容为“枝条”,二者形成“方法引领、概念渗透、内容承载”的启蒙结构。教科版低年级科学教材中“工程启蒙”类内容的编排,为这一结构提供了内容基础。

(1)实践架构:“方法为干,概念与内容为枝”,契合低学段“少而精”的启蒙要求。“方法为干,概念与内容为枝”的实施亮点是所有内容围绕基础实践方法展开:多个生活化的设计课题(如尺子、帽子、指南针等)都聚焦“需求调查—问题定义”这一核心方法,避免低学段学生陷入复杂概念的学习负担,真正做到用少量典型内容把基础方法练扎实。其教学操作逻辑如图1所示。

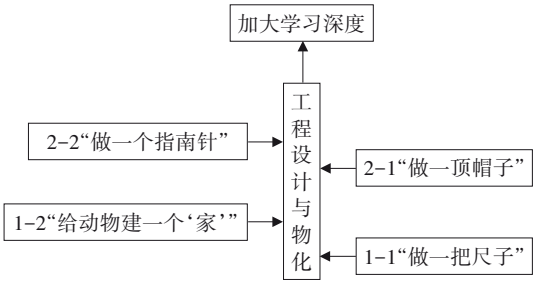


图1 “方法为干,概念与内容为枝”课程教学操作逻辑

(2)案例例证:用户需求调查与问题定义的低学段实践。该策略在1~2年级平行班开展实践,围绕“工程设计与物化”核心概念中“能初步调查用户需求、简单定义工程问题”的要求,设计了“松鼠之家”“舒适的鸭舌帽”“手腕上的指南针”“做一把尺子”4个生活化课例,均以“需求调查—问题定义”的基础方法为统领开展教学(表3)。

表3 4个课例的用户需求调查问题定义单

内容	问题定义单
1-1“做一把尺子”	我要为同桌设计并制作一把10 cm的蓝色有兔子图案的尺子
1-2“给动物建一个‘家’”	我们2班1组要给学校里我们教室南侧香樟树上过冬的小松鼠建一个安全的家
2-1“做一顶帽子”	我要为妈妈设计并制作一顶夏天使用的粉色帆布料的鸭舌遮阳帽
2-2“做一个指南针”	我们组要为参加户外探险的小朋友提供一个可戴在手腕上的便携式指南针

①用问题定义驱动项目学习:教师将“工程要满足用户需求”的抽象概念转化为孩子感兴趣的驱动性问题,比如“怎样设计一把同桌爱用的蓝色尺子?”“怎么做一个夏天戴起来不闷的帆布鸭舌帽?”等。这些问题既指向核心概念的初步渗透,又符合低学段学生的认知水平。同时,驱动性问题能持续引领项目开展:学生在调查中会主动关注用户提出的“关键词”——比如“要蓝色的”“要透气的”“要能戴在手腕上”“要不容易摔碎”,并在后续设计、试做过程中始终围绕这些关键词调整方案,维持探究的持续性。②用概念与内容为“枝”聚焦方法进阶:4个课例的问题定义环节都围绕“初步考虑时间、成本、材料等简单限制条件”的要求展开,从“只关注单一需求(颜色)”逐步进阶到“兼顾多类需求(颜色+材质+功能)”,慢慢丰富“工程需要定义和界定”的感性经验。对低学段学生而言,不需要刻意背诵核心概念的定义,这些在实践中摸索出来的经验,就是未来高学段学习结构化工程概念的重要基础。

2.2 内容为干,概念为枝:中学段工程类项目式学习的精准聚焦

相较于低学段以方法为干的启蒙定位,中学段(3~4年级)学生的抽象思维开始萌芽,科学思维的培育需予以重点关注。“少而多”(less is more)理念在此阶段表现为:学习内容精简聚焦,核心概念理解精深。对此,教师依托长周期项目式课程设计,带领学生在持续迭代中深化科学思维,实现素养进阶。

(1)实践架构:“内容为干,概念为枝”,提高思维增量。“内容为干,概念为枝”的课程建构围绕同一核心项目(过山车的设计和制作)展开,以项目内容为“主干”,以“工程的关键是设计”“力与运动的关系”“能量转化”等学科核心概念为“枝条”,实现内容与概念的互嵌共生。其价值在于:所有学习活动均围绕项目的核心问题推进,能

清晰梳理学生在解决真实工程问题时的思维发展路径。课程教学操作逻辑如图2所示：以“工程的关键是设计”为核心锚点，3～4年级分别开展梯度化的过山车设计实践，最终实现思维增量的阶梯式提升。

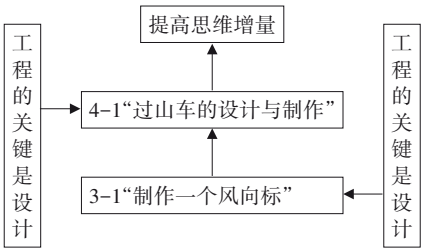


图2 “内容为干，概念为枝”课程教学操作逻辑

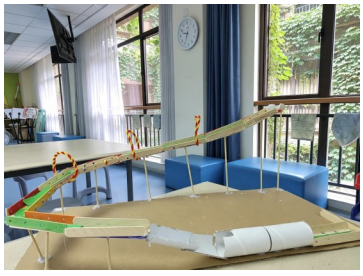
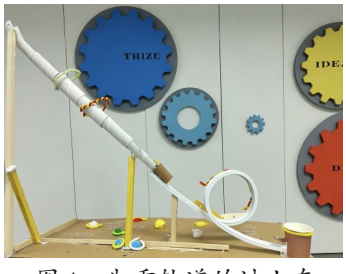
（2）案例例证：“过山车的设计与制作”项目式教学实践。基于“内容为干，概念为枝”的项目式建构策略，笔者在三、四年级开展跨学期长周期迭代学习，带领学生调查校园游乐设施、定义工程问题，持续设计并制作过山车。该实践突破传统“固定课时、碎片化内容”的限制，让学生在长周期的探究中持续迭代过山车设计方案，而教师主动突破课时限制的教学尝试，更为学生的深度思考提供了落地空间。三、四年级项目式设计对照如表4所示。①以工程设计驱动思维进阶：以“过山车的设计与制作”为载体，依据学生思维发展水平设计梯度化驱动任务。三年级学生初次接触该项目，驱动性问题聚焦“设计包含2个弯道的过山车”（图3），学生在完成任务的过程中初步掌握“直线与曲线”的空间概念；四年级则将任务升级为“设计包含失重轨道的过山车”（图4），要求学生理解“力及其相互作用”“能量转化”等核心概念，即小球在重力作用下沿斜面滚动，以及在曲线轨道最高点的动能与势能转换规律。驱动性问题如同项目推进的“动力泵”：学生从“2个弯道”的基础问题出发，运用所学知识解决问题，进而自主提出“失重轨道”的进阶问题，开启新一轮探究，实现思维的螺旋上升。②以材料清单支撑思维进阶：“过山车的设计与制作”的内容建构同步匹配梯度化材料支持：三年级提供瓦楞纸板、雪弗板、雪糕棒、纸筒等易加工材料，聚焦基础结构与空间概念的认知；四年级新增木棒、铝合金轨道等高性能材料，支撑学生对力、能量转化等抽象概念的实证探究。材料进阶与问题进阶相辅相成，共同服务于核心概念的深度建构。

2.3 概念为干，内容与方法为枝：高学段核心概念的统领进阶

思维真正参与的学习才是深度学习。当学生有机会对活动进行理性反思，原有认知与新经验产生冲突时，会触发诧异感与追问欲，推动科学概念的深度进阶。高学段（5～6年级）学生的抽象思维已能支撑核心概念的结构化统整，需以“概念为干，内容与方法为枝”搭建课程体系：以“工程是统筹多维度约束的系统优化”这一上位核心概念为“主干”，以设计思维、合作学习等方法为“方法枝”，以“制作保温杯”“制作塔台”等多元工程实践为“内容枝”，实现核心概念的可迁移应用。其教学操作逻辑如图5所示。

（1）实践架构：“概念为干，内容与方法为枝”锚定科学素养。该策略的核心是“核心概念统领，多元内容支撑”：上位核心概念是贯穿所有工程项目的锚点，设计思

表4 三、四年级课程内容项目式设计对照表

项目	三年级	四年级
情境	为了让游乐设施更加丰富，学校想要再增加一个游乐设施——双弯道的过山车	学校想要再增加一个游乐设施——失重轨道的过山车
驱动性问题	每个组设计一款过山车轨道，至少包含2个弯道，并使用一定材料制作出模型。该模型底部面积不超过100 cm×60 cm，高度不超过80 cm，外形美观且有特色	每个组设计一款过山车轨道，至少包含1个失重轨道，并使用一定材料制作出模型。该模型底部面积不超过100 cm×60 cm，高度不超过80 cm。外形美观且有特色
材料清单	瓦楞纸板、雪弗板、雪糕棒、纸筒等	瓦楞纸板、雪弗板、木板、纸筒、铝合金轨道等
作品示例	 图3 双弯道的过山车	 图4 失重轨道的过山车

维是拆解工程问题的思维工具，合作学习是推进项目实践的组织载体，多个工程内容是验证核心概念的具象载体。三者形成“概念引领方法、方法支撑内容、内容印证概念”的共生结构，避免工程学习沦为零散的手工制作。

（2）案例例证：核心概念统领下的项目式教学实践。以“工程设计与物化”核心概念中的“能量转化与守恒”“结构稳定性”为基础，提炼出上位核心概念“工程系统需权衡多维度约束实现优化”，以此统领“制作保温杯”“制作塔台”两个跨单元项目[4]，实现核心概念的进阶迁移（图6）。

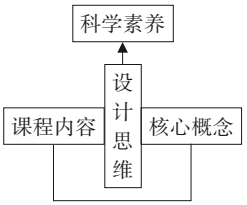


图5 “概念为干，内容与方法为枝”课程教学操作逻辑

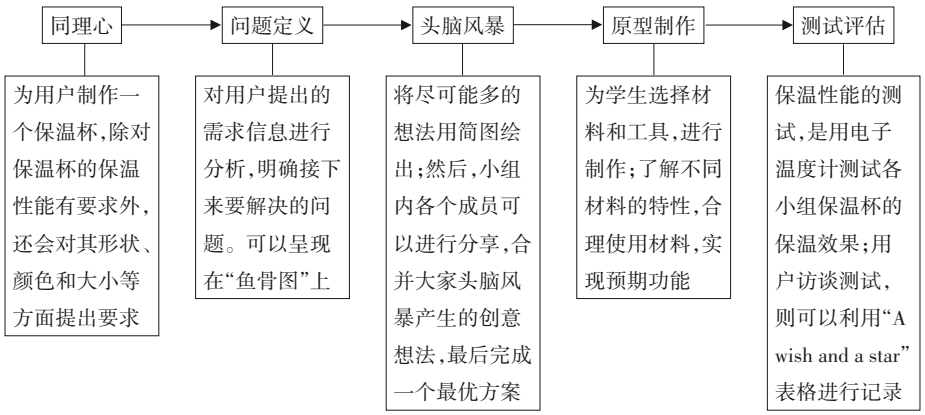


图6 “制作保温杯”设计思维学习过程

①设计思维是落实核心概念的思维支架：在“制作保温杯”项目中，学生围绕“减少热传递、控制成本、满足便携需求”的多约束目标，亲历“用户需求调查→方案设计→原型制作→反馈迭代”的设计思维全流程，探究“热传递机制”“空气是热的不良导体”等科学概念；在“制作塔台”项目中，学生迁移设计思维方法，围绕“稳定性、承重、抗风、成本控制”的约束条件开展设计，将中学段的“力与运动”概念进一步深化为“工程系统的权衡思维”。两个项目指向同一个上位核心概念，实现“做一项会一类”的深度学习。②合作学习是落实核心概念的组织支撑：两个项目均以小组合作为基本学习形式，通过团队公约、角色扮演等支架，引导学生模拟科研团队的协作模式，在合作中体会“工程问题的解决依赖集体智慧”，不仅习得科学知识，更培养了团队协作、组织决策等工程素养。这种“像工程师一样工作”的模式，让核心概念的学习从“纸上谈兵”转向“真实实践”，真正实现了高学段的素养进阶。

3 结语

以学生为中心的、聚焦核心概念的深度学习进阶，呼唤课程内容的结构化建构。笔者从理论层面阐释了小学科学“工程设计与物化”核心概念的教学理念与实践价值，建构了适合不同学段的3种“干—枝”课程内容策略，并辅以典型课例佐证，既实现了“工程设计与物化”核心概念学习载体的广度统整，也契合小学各学段学生工程思维的梯度发展规律。基于《课标》的学段要求，学生对“工程设计与物化”的概念发展既夯实了低学段启蒙的“基底”，也形成了贯通各学段的进阶脉络，切实推动深度学习落地，提升思维增量，锚定跨学科综合素养。小学科学工程教育实践研究任重道远，未来仍需围绕核心概念落地的路径持续探索。

作者简介：许阳（1990—），男，一级教师，研究方向：中小学科学与技术教育、项目式教学，E-mail：yangxu585x@163.com。

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.

[2] 江海荣.“四维”推进：工程实践活动的序列进阶：以“设计我们的小船”系列活动为例[J].湖北教育（科学课），2024（08）：71-76.

[3] 李彦平.小学科学工程设计与物化核心概念项目式学习研究[D].临沂：临沂大学，2023.

[4] 许阳.真实情境项目式教学研析[J].小学科学，2023（14）：22-24.