学习科学视角下的项目式学习实践

——以“潜水器工程项目”为例

李仁文　冯秀梅

（华中师范大学物理科学与技术学院　湖北　武汉　430079）

摘　要：在创新型人才培养的政策指引下，项目式学习逐渐引起研究者和一线教师的关注. 本研究在学习科学视角下探讨项目式学习，提出将学习科学的七点共识作为项目式学习设计的原则，以避免项目式学习陷入误区，并以“潜水器工程项目”为例详细阐述了项目式学习实践的展开过程. 分析表明，学习科学视角下的项目式学习实践能够有效培养学生的核心素养.

关键词：学习科学；项目式学习；潜水器工程项目

中图分类号：G633.7　　**文献标识码**：B　　**文章编号**：1008－4134(2024)24－0011－06

1　研究背景

2014 年，习近平总书记在谈到我国科技队伍的现状时指出：“我国创新型科技人才结构性不足矛盾突出，世界级科技大师缺乏，领军人才、尖子人才不足，工程技术人才培养同生产和创新实践脱节[1].”

在这样的背景下，为了适应新时代创新型人才培养的需要，2022 年教育部颁布《义务教育课程方案(2022 年版)》，提出以培养核心素养为学科的育人目标，要求强化学科内知识整合，统筹设计综合课程和跨学科主题学习，注重培养学生在真实情境中综合运用知识解决问题的能力. 并且倡导“做中学”“用中学”“创中学”，优化综合实践活动实施方式与路径，推进工程与技术实践[2].

2　学习科学和项目式学习

学习科学认为，概念的深刻理解是创造性行为的基础，而创造性行为源于能使学生探索性讨论、持续性论证和主动建构知识的学习环境[3]. 因此，为了满足创新型人才培养的需要，教学应以深刻理解概念为直接目标，而培养核心素养这一根本目标是在深刻理解概念的过程中涌现出来的.

学习科学已经达成了七点共识[4](见表 1).

表 1　学习科学的七点共识

共识的内容	解释说明	意义
深刻理解概念是极为重要的	当学生对概念获得更深层次的理解时，他们就会以一种更加实用而且深刻的方式来学习知识，并将所学知识迁移到真实情景	教学的直接目标
学习是互联的	①普遍联系的哲学在学习上的具体表现；②学习和教育这一复杂系统的内在规定[5]	跨学科学习的理论基础
既注重教更注重学	学生只有积极参与到自己的学习中来，才能深刻理解概念	为了实现目标，在过程上应遵循的原则
学习情境的构建是重要的	当学生参与到类似于某一学科专业人员的日常活动时，并且当学生的兴趣与这一学科专业人士的活动和实践相一致时，他们更有可能参与到持续的学习中来，并更有可能学到更深层次的知识[6]	
协作能够更有效地学习	当学生与同伴和老师一起参与协作活动时，在老师的指导下，他们往往能更有效地学习知识	
建立在学习者已有知识基础上的学习是最有效的	建构主义理论的内涵	
反思可以更好地促进学习	合适的反馈机制是复杂系统自组织和自适应的必要条件[7]	

作者简介：李仁文(2003—)，本科在读，研究方向：中学物理教学.

通讯作者：冯秀梅(1974—)，教育学博士，教授，博士生导师，研究方向：中学物理课程与教学.

中国知网　https://www.cnki.net

基于项目的学习(Project Based Learning,PBL),简称“项目式学习”,是一种以学生活动为中心,基于建构主义理论的情景化学习模式.学生是学习活动的主体,学习活动应以学生活动为中心进行设计;教师是教学活动的主体,在项目式学习中发挥主导作用;并且,建构主义理论要求教师要根据学生已有的认知基础搭建“脚手架”,引导学生更好地学习.

项目式学习具有以下特征[8](见表2),符合学习科学的共识.其中,好的驱动问题能够激发学生的学习欲望,让学生认识到有更多的真实问题等待解决[9].将技术作为认知工具纳入学习中,可以使知识建构过程显性化,从而帮助学生认识到自己的认知过程.

表2 项目式学习的特征

项目式学习的特征	对应的学习科学的共识
以驱动性问题为核心	既注重教更注重学
情境探究的过程与专家活动极为相似	学习情境的构建是重要的
注重协作	协作能够更有效地学习
有技术工具支持学习	反思可以更好地促进学习

只有在学习科学的视角下去理解和设计项目式学习,才能够充分地发挥出项目式学习的优势,进而才能满足创新型人才的培养要求.如果忽视了学习科学的几点共识,那么在项目式学习的设计中就会出现以下误区[10]:

(1)知识体系劣构化,拼盘式、杂糅式.本质原因是背离了学习科学“学习情境的构建是重要的”这一共识.建构的学习情境是不真实的,只是将涉及两个及以上学科的知识机械式地堆叠,不注重知识体系之间的有机联系.因此无法促进学生深度理解概念.

(2)重形式轻内容,清单式、模仿式.本质原因是背离了学习科学“深刻理解概念是极为重要的”这一共识.只关注学生对于编程机器人等新技术的体验,而不关注学生对于概念和知识的深度理解和迁移运用.同时也违背了“建立在学习者已有知识基础上的学习是最有效的”这一共识,新技术所蕴含的知识远远超出了中小学生已有的知识基础,学生不可能深刻理解相关概念,也就不可能有创新性行为的产生.

3 案例:潜水器工程项目

为了推进工程与技术实践和培养学生在真实情境中综合运用知识解决问题的能力,我们在学习科学理论的指导下,运用项目式学习的模式,以工程制作为真实情境,开发了“潜水器工程项目”的学习实践活动.我们极力通过“内隐要素外显化”的方式,为学生的认知活动提供“脚手架”,并在方案决策、方案实施和科学探究等过程中发展学生的核心素养.

潜水器工程项目,契合“学习方式多样化”的要求,是边学边讨论式、活动体验式和实验探究式学习的有机统一[11].

3.1 项目施行的规划

由于项目式学习要求学生进行深入或扩展探究,一些学者认为,项目式学习设计在原则上应在一个较长的时期内进行,设计时间较短的项目式学习并不是真正的项目式学习.因此本项目设置了“情境—问题—目标”“设计和决策”“实施方案”“实验探究”“迭代与优化”“总结与展望”等六个环节.

3.2 创设情境,发现问题,确定目标

创设的情境应尽量符合专家活动的情境,在这里是工程制作活动的情境.这里的“情境”是学生在项目实践中一切活动所处的情境的总和,不仅指引入环节的情境,引入环节的情境只是最初的.

引入环节的情境为:对未知的探索推动人类进步,人类自古以来对水下世界好奇,古代因科技受限只能想象并创造出中西方诸多神话人物.近代科技发展使人类能用专业设备探索深水,我国“蛟龙”号等深海工程彰显深海探索成就.呼吁同学们追寻工程师和科学家脚步,设计制作潜水器探索周围水域.

根据引入的情境,教师确定项目的驱动问题为:什么样的潜水器可以自如地在水中探索?怎样制作这样的潜水器?

教师引导学生发现工程问题,并引导学生分组进行思考和讨论,最终界定问题的实质和范围.随后教师引导学生根据目标树的分析法,确定工程的总目标和子目标群,从而形成子任务群(如图1所示).

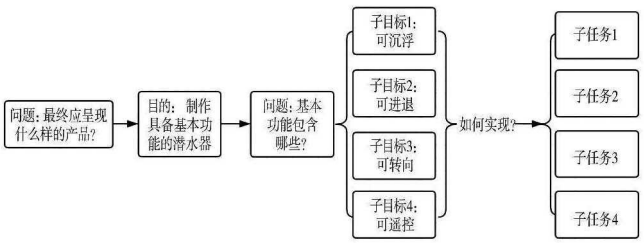


图1 根据问题确定活动的目的与目标

在本环节的评价上,侧重评价学生对于该项目驱动问题和目标分析过程的理解.总驱动问题和总目标是一个项目的关键,要利用好评价的调节作用,及时给予学生反馈,促成项目的推进.

3.3 设计和决策

工程活动的核心是方案的设计和决策.教师配合

中国知网 https://www.cnki.net

着“蛟龙”号、核动力潜艇等潜水器的工作视频向学生讲解大型潜水器的工作原理,引导学生结合所学知识总结出其中的重要问题、物理知识及关键技术. 随后学生以小组为单位展开讨论,进行方案的设计,并绘制出设计草图. 组间交流讨论各自的设计方案,在教师的引导下学会基于证据展开论证,对不同的方案进行多维度的评价,进行决策分析. 最终每个小组根据自己的决策结果,确定最终的方案.

以“子目标 1:‘可沉浮’”的子任务 1 为例,有两种方案. 一种是用电机控制注射器吸水和排水,依据阿基米德原理,在自身体积不变情况下,通过改变自身重量改变自身密度实现沉浮功能(图 2 左);另一种是用电机控制气球膨胀和缩小,仿照鱼利用鱼鳔的方式,在自身重量不变、外壳柔软体积可变的情况下,通过改变气球体积改变自身体积进而改变自身密度,实现沉浮功能(图 2 右).

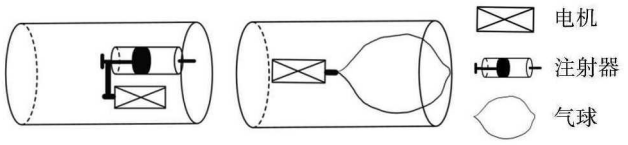


图 2 “可沉浮”子任务的两种方案设计草图

教师引导学生从预期沉浮效果、经济性、耐用性、技术实现难度、可控可量化、环境友好程度等多个维度,基于证据得出结论,利用模糊评价的方法对方案进行决策分析[12],最终确定采纳的方案(见表 3).

表 3 决策分析的框架模板(模糊评价法)

	维度 1:w_1	维度 2:w_2	维度 3:w_3	维度 4:w_4	维度 5:w_5	方案评分
方案 1	V_{11}	V_{12}	V_{13}	V_{14}	V_{15}	S_1
方案 2	V_{21}	V_{22}	V_{23}	V_{24}	V_{25}	S_2
方案 3	V_{31}	V_{32}	V_{33}	V_{34}	V_{35}	S_3

其中 w_i 表示 i 维度的权重(权重总和为 1),S_i 表示第 i 个方案的总评分,$S_i = \sum V_{ij} * w_j$. 学生给不同方案不同维度进行评分时需要有证据和分析论证过程,这要运用到结论与解释的模板(见表 4).

表 4 结论与解释的框架模板

主张	观点和结论
证据	有哪些事实可以支持你们的主张? 这些事实可以来源于科学探究和调查、现象的观察结果、阅读到的材料中的信息或者其他数据. 证据应当恰当和充分,即证据是与观点相关的,并且数量应足够多,能说服其他人

续表 4

主张	观点和结论
推理	证据是一个个事实的片段,需要用恰当的推理逻辑将证据和主张联系起来,说明为什么这些证据可以支持主张
反驳	从证据不恰当不充分或推理过程不恰当出发,去反驳其他人或自己先前的结论和解释

结论与解释的框架模板能够让学生的认知过程具象化,形成教学的证据,有利于教师基于证据进行评价,并给予学生反馈,纠正学生在作出结论和解释时的认知偏差. 更重要的是,学生根据模板作出结论与解释时,可以进行反思和自我反馈,根据学习科学的发现,反思可以更好地促进学习.

决策分析的框架模板能够让学生全面地思考,由于现实生活中的事物都是复杂多面的,这可以培养学生分析主要矛盾和次要矛盾的能力. 根据学习科学的发现,学习是互联的,决策分析中的全面思考能够促进学生获取相互关联的知识,形成网络化的知识结构.

学生在实践中会反复运用到上述两个框架模板,形成大量的学习证据,教师基于证据进行评价. 由于工程活动的核心是方案的设计和决策,所以对该环节的评价也是重点.

3.4 实施方案,制作潜水器模型

工程是设计方案物化的结果. 确定了各个子任务的方案后,下一步便是选材和制作. 潜水器模型的核心是其动力装置,由电机、电源、遥控装置、齿轮传动组、功能终端(注射器、扇叶等)和起固定作用的零部件组成. 考虑到经济性、功能实现效果和制作难度等方面,动力装置统一选择用乐高的动力组实现. 其他材料的选择,需要各小组自行决策.

在实施方案的过程中,各小组规划好时间表,按部就班地推进实施. 并且要做好工程日志的撰写,在工程日志中应重点体现遇到的困难和问题、组内成员合作应对困难和解决问题的过程,以及对主体的分析和反思(见表 5).

表 5 工程日志的撰写模板

活动日期	××××年××月××日,星期×
活动主题	一句话概括
活动预期	在时间进度表中与这一天相对应的预期
活动具体内容	为了达成预期,小组成员分别进行了什么工作,以及你们是如何协作的
活动结果	做成了什么

中国知网 https://www.cnki.net

续表5

情况分析	①结果与预期的差距,造成这些差距的客观原因 ②在实施过程中遇到的困难和问题 ③哪些困难和问题得到了解决,解决的过程 ④哪些尚未解决,目前的想法	
反思与提升	成员1	简述自己和团队的主观原因,并对如何改善提出想法
	成员2	
	成员3	
	成员4	

根据学习科学的发现,协作将促进学生更有效地学习.因此要搭建良好的协作平台,定期开展讨论.对于组内没能克服的困难,组间进行讨论.对于各小组统一遇到的疑难问题,教师应给予帮助,并重点讲解.

在不断地实践过后,潜水器模型的核心动力装置(如图3所示)以及最终的潜水器模型(如图4所示)相继制作完成.

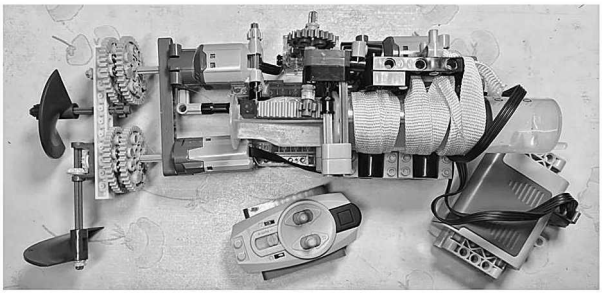


图3 潜水器模型的核心动力装置

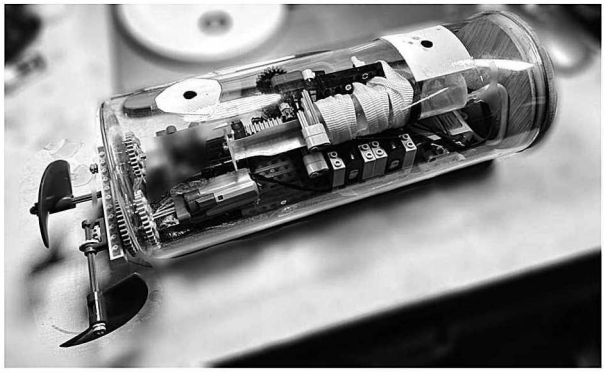


图4 潜水器模型

在适当的时间点开展中期考核.各小组对前期活动进行总结与自评,反思出现的问题与尝试的解决方法.教师对各小组进行中期考核,并给予反馈.

3.5 设计实验进行科学探究,帮助推进工程的实施以及检验物化模型

设计科学探究是"潜水器工程项目"的核心内容.工程活动具有科学性,科学探究在推进工程和评估工程中起到了至关重要的作用.科学是基于实验的,科学探究是培养学生科学核心素养必不可少的活动.

在制作完潜水器模型之后,教师引导学生设计"探究潜水器的合适配重"的探究性实验.添加合适配重后的潜水器模型便可以下水运动,这就需要检验其运动性能,因此又设计"探究潜水器的运动性能"的探究性实验.教师引导学生认识实验的目的和意义,细致讲解实验原理,并在实验过程中发展学生的科学核心素养.学生需要深刻理解实验原理,随后以小组为单位进行实验,思考实验问题,并撰写实验报告(见表6).

表6 两个探究性实验设计的主要内容

实验名称	实验核心内容	实验思考问题
探究潜水器的合适配重	(1)测量模型的基本物理量 (2)推导出合适配重理论值范围的数学表达式,计算出理论值范围 (3)下水实验确定实际的合适配重 (4)计算偏差的程度,分析产生偏差的原因,提出减小误差的方法	(1)从潜水器结构的角度解释配重为什么不是均匀的(结构与功能观念) (2)配重材料为什么选择小铅球?可以选择小钨球吗?试着从决策的角度分析(结论与解释) (3)有人说:"从理论上计算合适配重没有意义,最终还不是靠实际实验确定的配重?"你如何看待这种观点呢? (观点的反驳)
探究潜水器的运动性能	(1)用Tracker进行建模 (2)运动图像的绘制 (3)认识描述转动的物理量 (4)对运动数据进行分析 (5)讨论实验可能存在的误差 (6)定性和定量地描述各阶段潜水器在沉浮、进退和转向中的运动状态,从受力、潜水器结构等角度去分析原因	(1)在探究潜水器沉浮和进退的运动状态时,为什么只选择一个点进行追踪就可以? (2)在转向运动时,我们选择了两个点进行跟踪,可否只选择一个,为什么? (模型的建构)

3.5.1 "探究潜水器的合适配重"的探究性实验

制作潜水器模型的目标之一是使其能够在水下自由沉浮,因此必然需要使潜水器模型达到合适的密度,也就是要确定潜水器的合适配重.那么自然生成一个新的子问题,即如何确定合适的配重?这既是一个科学的问题,也是一个实践的问题.为了深入探究这个问题,需要进行"探究潜水器的合适配重"的探究性实验.不仅要求学生将潜水器抽象成几何模型(如

中国知网 https://www.cnki.net

图5),运用物理知识在理论上计算合适配重的范围,也要求学生在反复下水实验中最终确定合适的配重,更要求学生能分析理论值和实际值存在偏差的原因.

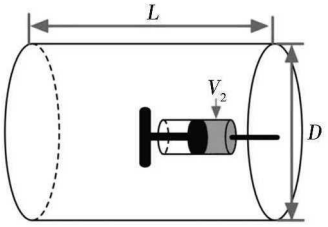


图5　理论分析时抽象出的几何模型

运用阿基米德原理和物体沉浮的条件,推导合适配重的理论值范围. 其中 m_0 是未添加配重时潜水器模型的质量,F 是模型所受浮力的大小. 由于注射器吸水体积 V_2 有范围,因此合适配重的理论值也是一个范围. (以下是理论分析涉及的数学表达式)

$$V_1 = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 \cdot L \tag{1}$$

$$F = \rho g (V_1 - V_2) \tag{2}$$

$$\frac{F_{\min}}{g} - m_0 \leqslant m \leqslant \frac{F_{\max}}{g} - m_0 \tag{3}$$

3.5.2　“探究潜水器的运动性能”的探究性实验

既然在工程目标中确定了潜水器模型应具备“可沉浮、可进退、可转向”的运动表现,那么“如何检验潜水器的运动性能”就成了一个很重要的问题. 有技术工具支持学习是项目式学习的一大特征. 在这里促进认知的技术工具是 Tracker 软件,用来帮助学生采集潜水器的运动数据,并可以进行可视化数据分析. 最终要求学生能分析和讨论实验结果,为潜水器的迭代与优化提供依据.

项目式学习的中心活动必须涉及学生对知识的转化和构建. 对于运动状态的描述,学生只学过平动速度,但在描述转向运动时,会涉及到描述物体转动速度大小的物理量. 这需要教师引导学生迁移运用所学知识,探索出新的物理量——角速度. 图6就是学生利用 Tracker 采集和分析潜水器模型的转向运动的数据图.

本环节的评价是整个项目评价的核心. 评价的证据来源集中体现在学生撰写的实验报告中. 由于精心设计了实验思考题,学生对于实验思考题的回答,能够很好地反映学生对于重要概念和关键能力的深度学习情况.

3.6　模型的迭代与优化

迭代是重复反馈过程的活动. 它不仅可以促进工程中物化模型的逐步完善,更能促进人对于事物发展

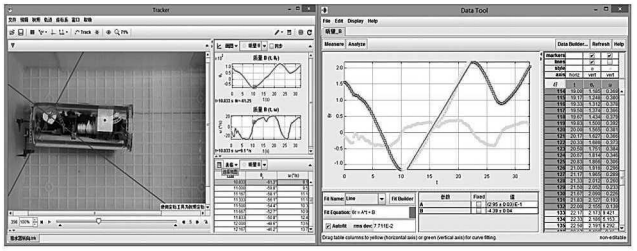


图6　利用 Tracker 采集和分析运动数据

不断深化的认识. 科学探究的结果可以为模型的迭代与优化提供科学性的依据.

在“探究潜水器的运动性能”的探究性实验中,学生对潜水器在沉浮、进退、转向上的运动表现进行了定性和定量的描述和分析,总结出了潜水器模型存在的问题,这些问题指引着学生从模型的结构、技术等方面去寻找原因,更驱动着学生进一步迭代和优化模型(见表7).

表7　运动性能的迭代(简述)

功能	表现出的问题	原因分析	迭代方案
沉浮	下沉速度过快;难以控制悬停	模型的水密性存在不足	寻找防水材料,在瓶口处用胶圈进一步封闭
进退	速度缓慢;路线不够直	扇叶在水中的阻力较大,电机的动力较弱;进退扇叶位置不居中	选择合适大小的扇叶;更换磁力更强的小磁铁;更换新的电池;调整扇叶位置
转向	不是单纯的转向,包含进退	转向扇叶的位置不居中,杠杆力不平衡	在瓶口和瓶尾两端同时安置转向扇叶

无论是基于证据发现问题、问题的原因分析还是迭代方案的设计和决策,都离不开结论与解释和决策分析的模板内容. 不过随着项目的不断推进,学生的论证思维能力和决策思维能力也在不断地提升. 因此教师可以逐渐地让学生脱离模板的使用,即拆除脚手架. 使学生在关键能力的认知水平上达到“再内隐化”,更加贴近专家的认知水平.

对于完成效率高的小组,可在教师的引导下进一步对模型在实用性等方面进行创新的优化设计. 例如,具备基本运动功能的潜水器,可以再加装“眼睛”或一些小型探测装置,使得潜水器可以真正地探测周边水域,设计“探测周边水域的污染情况”“探测周边水域的生物结构”等具有社会性和跨学科性的实践活动,发展学生的科学态度与责任.

本环节侧重评价对问题和原因分析的合理性和全面性,以及迭代后的模型对于问题解决的可靠性. 优化设计是少数小组在评价中的加分项.

中国知网 https://www.cnki.net

3.7 总结与展望

项目期末,各小组对潜水器模型的最终成品进行汇报,分享项目过程中的感受与收获.教师对各小组的制作成品进行期末考核,引导学生进行自评和互评.如有条件,可以举办"赛潜艇"的趣味竞赛,各小组拿出作品参赛.最后,教师对项目进行总结与展望.

4 教学思考

4.1 以认知发展为导向——将深刻理解概念作为直接目标

有学者论述了核心素养与深度学习的内在联系,指出了核心素养的培育是深度学习的目的指向和价值所在,深度学习是学生发展核心素养的重要路径之一.因此要以学生的认知发展为导向,在核心素养根本目标的指引下,将深刻理解概念作为教学的直接目标.而要实现深刻理解概念,重要的是"学生主动活动"和"系统学习知识"这两方面的融合.

4.2 脚手架的建构与拆除——从"内隐要素外显化"到"再内隐化"

建构脚手架辅助学生学习,既体现教师主导作用,又保障学生主体地位,可避免"教师讲授,学生接受"的局面.脚手架能显化学生认知过程,其形成的学习证据可助教师有效反馈.在"潜水器工程项目"中,"结论与解释""决策分析"和"工程日志"等脚手架的建立能够有效地促进学生的认知发展.到项目后期,学生已经逐步实现了认知过程中关键要素的内化运用,因此可以逐渐地拆除脚手架.

4.3 以真实问题解决为导向设计实验——发展科学思维和科学探究的路径

相较于传统实验探究,项目式学习中的科学探究,因学生置身深度情境且受真实问题驱动,更利于学生深度学习科学知识、掌握研究方法,能够有效发展科学思维和科学探究的核心素养.

5 结语

在义务教育新课标的指引下,在学习科学的七点共识和项目式学习的理论指导下,为了推进工程技术实践,我们设计了"潜水器工程项目"这一案例,旨在为义务教育跨学科实践提供一条实践路径.希望本文可以为中学教师在开展跨学科实践上提供有用的参考.

参考文献:

[1]习近平.坚定不移创新再创新 加快创新型国家建设步伐[N].光明日报,2014-6-10(01).

[2]中华人民共和国教育部.义务教育课程方案(2022年版)[S].北京:人民教育出版社,2022.

[3][美]索耶.创造性:人类创新的科学[M].上海:华东师范大学出版社,2013.

[4]Sawyer R K. An Introduction to the Learning Sciences[J]. The Cambridge Handbook of the Learning Sciences,2022:1-24.

[5]吴金闪.为什么教育需要系统科学[J].北京师范大学学报(自然科学版),2023,59(05):812-821.

[6]Barron B. Interest and Self-sustained Learning as Catalysts of Development:A Learning Ecology Perspective[J]. Human development,2006,49(04):193-224.

[7]段晓君.系统科学教程[M].北京:科学出版社,2019.

[8][美]索耶.剑桥学习科学手册[M].北京:教育科学出版社,2010.

[9]Reiser B J. Scaffolding Complex Learning:The Mechanisms of Structuring and Problematizing Student Work[J]. Journal of the Learning Sciences,2004,13(03):273-304.

[10]余胜泉.从技术学徒到认知学徒:STEM深度学习的路径[J].中小学数字化教学,2024(01):29-35.

[11]彭前程,张颖.以学生为本发展学生核心素养——人教版《义务教育教科书物理》整体编写说明[J].中学物理,2024,42(16):2-7.

[12]宋吉荣.工程系统分析[M].成都:西南交通大学出版社,2007.

(收稿日期:2024-09-30)

《理科考试研究》欢迎投稿订阅

1994年创刊

《理科考试研究》创刊于1994年,由哈尔滨师范大学主管、主办面向全国公开发行的中等教育类期刊。全文收录于:中国核心期刊(遴选)数据库(万方数据);中国期刊全文数据库(CJFD);中文科技期刊数据库(维普网)。

本刊以择优、择新、择实的理念,致力于发现和引介与时俱进的中学理科教育教学理论、实证有效的教学策略,关注教改前沿动态,牢牢把握"研究命题规律,提供考试信息,探索解题策略,指导升学复习"的办刊宗旨。文章覆盖"课程标准"中数学、物理、化学、生物、科学等学科的重点知识,介绍各学科教育教学研究的最新成果及进展,为理科师生搭建教学共长的交流平台。

辟有:考试与评价、教学改革与实践、教学研究、命题研究、教材研究、教学论坛、课程融合、教法学法、科学实验室、现代教育技术、专题研究、问题讨论、复习指导等栏目。

网 址:https://lkks.cbpt.cnki.net
投稿邮箱:lkkshyjyx@163.com
通讯地址:哈尔滨市和兴路50号《理科考试研究》编辑部
联系电话:0451-88067535(发行部);0451-88067536(主编室)
邮 编:150080
刊 号:CN 23-1365/G4,ISSN 1008-4126
邮发代号:高中版14-219 初中版14-233
订 阅:全国各地邮局(所)或扫邮政订阅二维码直接订阅

《理科考试研究》高中版 《理科考试研究》初中版

中国知网 https://www.cnki.net