中小学科学教育 | 2024年9月 总第5期

基于项目化学习的初中科学跨学科实践

——以“制作刻度均匀的密度计”为例

卓振宇

摘要：跨学科项目化学习是融合了项目化学习特征的跨学科实践，是顺应核心素养发展的时代要求，有利于整合初中科学课程中不同领域的知识。构建初中科学跨学科项目化学习的实施路径，特别是递进式的学习路径，可以在问题解决的不同阶段分别以物理、工程、数学等为主学科展开具有递进逻辑关系的教学，促进物理、工程、数学等在科学课程中的融合。在“制作刻度均匀的密度计”项目化学习实践中，采用了递进式项目化学习路径，并给出了教学反思与建议，为初中科学跨学科项目化学习的教学实践提供参考价值。

关键词：项目化学习；跨学科实践；核心素养

《义务教育科学课程标准（2022年版）》在“主要变化”部分指出：“设立跨学科主题学习活动，加强学科间相互关联，带动课程综合化实施，强化实践性要求。”[1]4 2023年7月，浙江省教育厅发布的《浙江省义务教育课程实施办法（试行）》明确规定了跨学科主题学习的课时原则上不少于10%。由于义务教育科学课程“是一门体现科学本质的综合性基础课程，具有实践性”[1]1，并且可分为物理学、化学、生物学等分支，在广义理解中也包括技术与工程，这使得在科学课程中开展跨学科学习具有得天独厚的优势。

然而，从跨学科的视角重新审视当下的科学课程，可以发现在初中科学的各个单元学习内容中，往往学习的主题相对集中于某一学科，但从该学科跨向其他学科则显得相对不足。因此，以研究真实、复杂的问题为起点，整合不同学科领域的知识或原理，通过探究式的学习历程，即融合项目化学习特征的跨学科实践，指向核心素养呼之欲出。

本文结合跨学科项目化学习的实践原型等理论，设计跨学科项目化学习的实施路径，并以“制作刻度均匀的密度计”项目为例，具体阐述实施路径的操作流程，为初中科学跨学科项目化学习教学实践提供参考价值。

基金项目：浙江省教育科学规划2023年度规划课题“指向核心素养的初中科学项目化学习实践研究”（2023SC274）。

作者简介：卓振宇，浙江省温州市瓯海区泽雅中学高级教师（温州 325023）。

一、跨学科项目化学习的路径设计

递进型跨学科项目化学习是根据学科逻辑，将跨学科问题分解成多个子问题（如子问题1、子问题2），在解决每个子问题时，都有可能会综合应用到所跨学科的知识和方法，而在某一阶段会以一门学科为主、其他学科为辅（如主学科1、主学科2）（见图1）。[2]

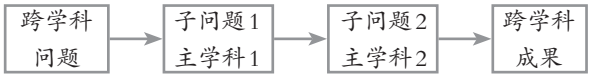


图1　递进型跨学科项目化学习模型

在“制作刻度均匀的密度计”项目中，涉及的子学科主要有物理、数学、工程等，但在不同的问题解决阶段会以某一学科知识为主。如在研究杠杆平衡时，侧重应用物理中杠杆平衡条件这一原理，而数学推导为辅；而在制作密度计时，则侧重工程的动手实践，物理原理为辅；在对测量工具的精确度迭代升级时，又侧重对数学函数中各个变量之间的关系进行推导，其他学科为辅。由于这些项目活动始终围绕着“如何制作刻度均匀的密度计”这一驱动性问题，表现出较强的逻辑关联，因此将此项目界定为递进型跨学科项目。递进型跨学科项目化学习有利于消除传统分科教学的影响，破解某些人为制造的学科割裂，从而促进物理、工程、数学等学科在科学课程中的融合。

基于上述分析，同时也为了避免跨学科项目化学习落入“拼盘式”的陷阱，将递进型跨学科项目化学习进一步具化并形成学习路径（见图2），具体设计思路为通过选定的跨学科问题确定子学科，进而将跨学科问题逐步拆解为部分驱动性子问题，依据子学科的原有知识框架、核心知识，制订相应的学习目标，通过问题驱动设计学习任务，并结合学生的认知规律来制订课时计划，在团队协作的基础上依次按照项目意义、原理解析、产品制作、调试迭代和产品发布等环节完成项目实施，并结合过程性和表现性等多元评价完成对整个项目的评估。

二、“制作刻度均匀的密度计”项目教学设计

（一）选定跨学科问题

跨学科问题大多是劣构的真实问题，因此

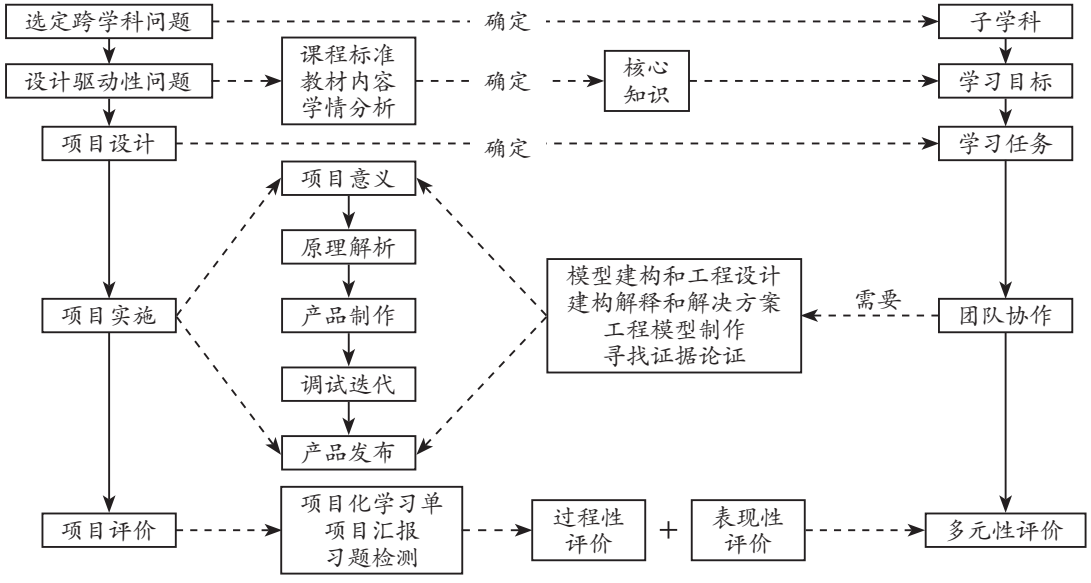


图2　跨学科项目化学习路径

教师所要做的是理顺所跨学科间的内在联系和逻辑，以有利于学生在其能力范围内解决问题，并避免陷入重复事实层面的低阶学习。

教师从“盐水选种”这一情境切入，然后提出问题：可否为劳动人民制作一只刻度均匀的密度计？密度计的制作牵涉物理、数学知识和工程技术，因此该项目的子学科主要有物理、数学和工程，从浮子式密度计展开讨论再到深刻理解杠杆式密度计，是在教材实验的基础上进行迁移应用，故而能激发学生的学习热情，有利于调动学生的主观能动性。

（二）设计驱动性问题

设计驱动性问题最终指向的是学习目标，而学习目标要从核心概念和共通素养双线并轨设计，通过共享概念、原理和方法，实现学科知识的横向渗透和纵向深化，并能融合不同学科间相同的课堂学习价值取向。

浙教版《科学》中，密度、浮力、杠杆均为重要概念。为了能够对项目深入持续的探究，本文选取了数学中的线性函数作为学习支架，依据项目实际、学生认知水平和思维特点，循序渐进地设计了一系列驱动性子问题，并制订了“制作刻度均匀的密度计”项目的驱动性子问题、核心概念和学习目标，如表1所示。

（三）项目设计

依据上述学习目标规划学生的学习任务和

表1　项目的驱动性子问题、核心概念和学习目标

驱动性子问题	核心概念	学习目标
1.如何在简易浮子式密度计上标注1.1 g/cm^{3}的刻度位置 3.若忽略杠杆自身重力，根据杠杆的平衡条件，请推导$\rho_{液}$与其他量的数学关系 5.此时若将l_2标记为$\rho_{液}$，请判断这样的密度刻度是否均匀，并说明理由	物理：阿基米德浮力公式、力的相互作用、二力平衡、杠杆的平衡条件、重力和摩擦力等	1.通过对浮子式密度计、杠杆式密度计原理的解析，能分别运用阿基米德原理、杠杆的平衡条件求得液体密度表达公式，并能运用相关数学函数图像，解释密度计刻度不均匀的原因，理解系统与模型跨学科概念 2.通过杠杆式密度计的制作过程，知道工程需要经历明确问题、设计方案、实施计划、检验作品、改进完善、发布成果等过程，能分析限制条件设计合理的评价量表，能尝试应用科学原理指导制作过程，并能对密度计进行有科学依据的迭代升级和展示，理解结构与功能的跨学科概念 3.通过对杠杆式密度计的最小刻度和量程等问题的探究，能应用数学函数图像进行推理论证，能对密度计进行模拟分析和发展创新思维，理解稳定与变化的跨学科概念 4.通过项目问题的解决，能在小组合作中发展合作、交流和责任担当能力
4.若将$\rho_{液}$转换为l_2，需要控制哪些量不变 6.若要设计一个等级进阶式的评价量表，你认为有哪些指标 7.结合制作密度计的原理和过程，基于现有作品，你认为如何改进密度计 11.请结合杠杆式密度计的设计原理，制作一份产品使用说明书	工程：定义工程问题、工程界定与验收标准、优化设计方案、制作实物模型并迭代改进、展示等	
2.为什么浮子式密度计的刻度是不均匀的？请结合数学函数图像解析刻度不均匀的原因 8.结合$\rho_{液}$与l_2的函数图像，请指出图像中A点与B点的物理意义是什么 9.如何提高杠杆式密度计的测量精确度？能结合函数图像推理论证吗 10.根据之前的推导结果，该密度计目前的最大测量值是左边物体的密度，可否做一定的调整使之能测量密度大于物体的液体密度，请结合数学函数图像推理论证	数学：代数方程、一次函数与反比例函数图像	

课时分配，并明确学生完成学习任务所对应发展的涉及各学科的共通素养，如表2所示。

表2　项目的环节设计

课时分配	项目环节	学习任务	共通素养
第一课时	1.项目意义支架学习	任务一：观察浮子式密度计的刻度，请结合数学函数图像解析刻度不均匀的原因	科学观念、数据观念、模型意识等
	2.原理解析分析论证	任务二：根据转换的思想，将物体浸没在液体中，并悬挂在杠杆上，推导$\rho_{液}$与其他量的数学关系	模型建构、推理论证、创新思维、符号意识、几何直观等
	3.设计制作测试评估	任务三：设计一个等级进阶式的评价量表（制作标准参考，评价自己或他人），给杠杆标注刻度并测试	科学思维、合作能力、审美能力、创新意识等
第二课时	4.迭代升级优化拓展	任务四：结合制作密度计的原理和过程，基于现有作品，改进密度计	科学思维、合作能力、创新意识等
	5.产品发布交流总结	任务五：制作一份产品使用说明书	交流能力、合作能力、态度与责任、信息素养等
第三课时	6.学习评估反思提升	任务六：结合评价量表开展小组自评，完成“制作刻度均匀的密度计”测评试卷	科学思维、信息素养等

（四）项目实施

1.项目意义——支架学习

“盐水选种”（见图3）是我国古代劳动人民的智慧结晶，选种的关键在于对盐水密度的准确监控。由于选种过程中水分的蒸发、盐分的流失等会引起盐水密度发生变化，需要用密度计（图4）进行矫正。



图3　盐水选种



图4　密度计

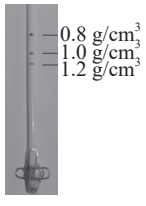


图5　简易浮子式密度计

问题1：如图5所示简易浮子式密度计，如何在这只密度计上标注1.1 g/cm^{3}的刻度位置？

设计意图：通过生活情境，理解制作密度计具有真实而重要的生产、生活意义。由于浮子式密度计的刻度不均匀，在给它标注刻度时引发了学生的认知冲突，为后续制作刻度均匀的密度计铺垫了充分的理由。

问题2：为什么浮子式密度计的刻度是不均匀的？请结合数学函数图像解析刻度不均匀的原因。

设计意图：在传统的科学课程中，对浮子式密度计的刻度不均匀往往停留在观察与识记的层面上，因此将反比例函数的间距变化特点作为学习支架，从物理原理跨到数学函数，帮助学生更深层次地理解，诱发学生学习的深层动机，展示项目化学习真实性的特征。“具身认知”的观点认为，“真实的学习情境创设会对个体在认知过程中的身心参

与意愿产生巨大的影响，进而对个体认知的形成产生影响”[3]。

2.原理解析——分析论证

测量工具的制作本质在于转换，我们把物体浸没在液体中（图6），那么弹簧测力计示数F与$\rho_{液}$就产生了一一对应关系，若要将F的变化进一步放大，就要将其挂在杠杆（图7）上。

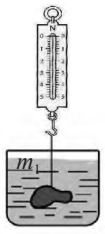


图6　$\rho_{液}$与F

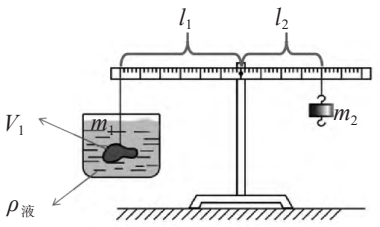


图7　$\rho_{液}$与l_2

问题3：若忽略杠杆自身重力，根据杠杆的平衡条件，请推导$\rho_{液}$与其他量的数学关系。

根据杠杆的平衡条件，得到：

$$(G_{物}-F_{浮})l_1=G_{码}l_2. \quad (1)$$

进一步整理得到：

$$\rho_{液}=\frac{m_1}{v_1}-\frac{m_2}{v_1l_1}=\rho_{物}-\frac{m_2}{v_1l_1}l_2. \quad (2)$$

问题4：根据（2）式，若要将$\rho_{液}$转换为l_2，需要控制哪些量不变？

问题5：此时若将l_2标记为$\rho_{液}$，请判断这样的密度刻度是否均匀，并说明理由。

设计意图：在解决这一系列问题时，继续以物理学为主学科，以数学为辅助学科，物理原理与数学函数再一次高度融合，根据$\rho_{液}$与l_2为一次函数的特点，结合两者的函数图像（见图8），论证了杠杆上的密度刻度是均匀的，凸显递进型跨学科项目化学习的特点。

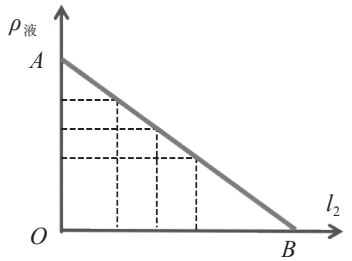


图8　$\rho_{液}$与l_2的函数图像

3.设计制作——测试评估

问题6：若要设计一个等级进阶式的评价量表，你认为有哪些指标？

学生通过小组讨论，确定刻度均匀、精确度、制作时间、科学态度、测量误差等为制作的主要指标，并以此继续细化评价量表（见表3），再制作密度计并完成测试。

设计意图：经过学生自行讨论确定出的量规更容易得到学生内心的认同，评价量表为学

表3　评价量表

评价维度	优秀★★★	合格★★	待合格★	自评
刻度均匀	刻度均匀，读数方便	刻度大部分均匀，读数较为方便	刻度大部分不均匀，读数不方便	
最小刻度	≤0.05 g/cm^3	0.05~0.1 g/cm^3	≥0.1 g/cm^3	
制作时间	5分钟内	5~8分钟	超过8分钟	
科学态度	能坚持实事求是，合作解决问题	能坚持实事求是，部分合作解决问题	基本能坚持实事求是，很少合作解决问题	
测量误差	≤0.05 g/cm^3	0.05~0.1 g/cm^3	≥0.1 g/cm^3	

生学习成果的形成进行了有效的过程监测，有利于教师为学生提供更有针对性的指导。学生可以对照量表及时知道“到哪里”“在哪里”以及“差距有多少”，也能深刻体验工程技术的迭代要求。

4.迭代升级——优化拓展

问题7：结合制作密度计的原理和过程，基于现有作品，你认为如何改进密度计？

教师根据学生互动评价的结果，引导学生对作品存在的不足展开讨论，回到讨论密度计的最小刻度和量程问题上来。

问题8：结合$\rho_{液}$与l_2的函数图像（图8），请指出图像中A点与B点的物理意义是什么？

该问题是引导学生通过对函数图像的分析，认识到A点对应的物理意义是当右边钩码移到支点时密度计的测量最大值，即此时液体密度等于左边物体密度。而B点则表示液体密度等于0，即测量最小值，那么就可以定义该密度计目前的测量范围。结合函数图像推理论证，学生对杠杆式密度计的量程问题产生了深度理解。

问题9：如何提高杠杆式密度计的测量精确度？能结合函数图像推理论证吗？

设计意图：这是本环节中难度较大的一个问题，当OA一定时，OB越大则意味着在杠杆等距上可以画出更小的刻度，即最小刻度更小。进一步研究可以得出结论，$\Delta\rho_{液}/\Delta l$越小，即函数斜率越小，密度计越精准，具体的措施有增大V_1、减小l_1、减小m_2等，当物理与数学深度融合时，确实能最大限度地激发学生的思维火花。

问题10：根据之前的推导结果，该密度计目前的最大测量值是左边物体的密度，可否做一定的调整使之能测量密度大于物体的液体密度，请结合数学函数图像推理论证。

设计意图：在这一问题解决中，学生已经无法分辨这是物理还是数学问题，或许也只有当两者的学科思想方法完全融为一体时，才能彻底激发学生的创新意识，在创造性的问题解决过程中完全迸发出人的高阶思维。正如爱因斯坦所说，所有困难问题的答案都在另一个维度，在这里也可以理解为一种方法论，即用跨学科的策略来解决本学科的问题。

5.产品发布——交流总结

问题11：请结合杠杆式密度计的原理，制作一份产品使用说明书。

设计意图：通过制作说明书，引导学生更加系统全面地对密度计的原理、操作进行自主整理，也是对学生学习成效的一次检阅。

（五）项目评价

跨学科项目化学习的评价既包括了基于量规的形成性评价（如项目制作、成果展示等），又包括了基于学习任务单的终结性测试等学习效果检验。此外，教师还要关注学生在参与项目中所表现的非智力因素、情绪体验等，也就是说既要关注在探究过程中的过程性评价，也要关注在复杂能力上的表现性评价。“过程性评价和表现性评价，是一个硬币的两面”[4]，这可理解为在过程性评价中要运用表现性评价，而在表现性评价中需关注学生学习的完整过程，这使得项目的学习实践与学习评价同频共振，从而得到动态的持续优化。

三、反思与建议

（一）跨学科项目化学习与课程体系支持

融合了项目化特征和跨学科实践的跨学科项目化学习，是对传统课程体系的一次挑战，教师在开展跨学科学习中往往遇到学生活动所需时间与当前的单课时时间不匹配等问题，一般解决办法是将某些任务前置，让学生在课前收集或完成一部分任务，如在本项目中把如何将杠杆定标这一难题作为前置性任务，让学生

充分讨论并总结实验思路，但终归有一种“削足适履”的感觉。因此，需要学校教育管理者摒弃原有的课程思维惯性，将课程设置连同教师培训、硬件建设等作为系统问题予以重视和建设，有些学校的做法是将授课时长调整为双课时甚至更长时段，让学生充分经历完整的实践探究过程，避免“走过场”式的伪项目化学习。

（二）跨学科项目化学习与“教—学—评”一致性

跨学科项目化学习给了教师充分的自由度和广阔的施展空间，但不应该脱离“教—学—评”一致性的要求。依据泰勒的课程四要素理论，可将跨学科项目化学习设计浓缩为四个基本要素，即“研究问题、学习目标、实践支架、学习评价”[5]。如图9，既作为跨学科项目化学习的通用设计模型，同时也蕴含了双闭环的过程，其中“实践支架”指向“研究问题”，即真实问题的真实解决，而“学习评价”指向“学习目标”。因此，学习目标的制订要基于学科核心概念并指向共通素养，而依托过程性评价和表现性评价学习务必真实、准确、可视化，双闭环也可作为评估整个项目学习优劣的重要依据。

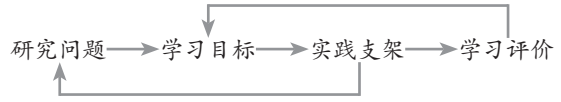


图9　跨学科项目化学习的要素

（三）跨学科项目化学习与资源开发

跨学科项目化学习以形成整合性的项目成果和超越学科的“新理解”给了我们无限的遐想和研究空间，也引发了教师开发学习资源的热情。在初中科学中关于测量工具的制作始终是跨学科项目化学习的资源宝库，如密度计、浮力秤、电阻表、身高测量仪等，以浙江省近三年的中考试题为例，每年均有不同地市利用测量工具制作的项目化学习为背景的试题，综合考查了学生对“力、电、光”等必备知识以及模型建构、推理论证等物理、数学、工程的素养，因此这类跨学科项目化学习又很好地解决了考试测评与素养发展的双重矛盾。

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] 夏雪梅．跨学科项目化学习：内涵、设计逻辑与实践原型[J]．课程·教材·教法，2022(10)：78-84．

[3] 陈恣．具身认知视角下A-STEM学习空间设计[J]．全球教育展望，2020(4)：46-57．

[4] 崔春华．让跨学科项目化学习真正“跨”起来[J]．教育视界，2022(22)：69-73．

[5] 陈素平，缪旭春．基于学科的项目化学习设计与实施样态[J]．上海教育科研，2019(10)：38-43．

（责任编辑：汤　梅）