在物理教学中嵌入工程设计过程的探索

——以“多用电表”教学为例*

黄铭舜 （广州市海珠区教育发展研究院 广东 510300）

摘 要 文章介绍了在高中物理教学中尝试构建嵌入工程设计过程的做法，并以高中物理必修2“多用电表”教学为例，引导学生在界定问题、设计原型、测试评估与迭代优化等工程实践中协同运用STEM知识和技能解决问题，为透过学科融合落实科技教育的探索提供参考。

关键词 工程设计过程(EDP) 多用电表 科技教育 STEM教育 核心素养

文章编号 1002-0748(2026)11-0022 **中图分类号** G633·7 **文献标识码** B

1 问题缘起

工程设计过程(Engineering Design Process，简称EDP)是一个系统的、迭代的、以人为中心的决策与问题解决框架[1]，旨在通过应用科学、技术、数学和工程知识，在特定约束条件下创造性地开发出满足需求的最优解决方案[2]。通常分为“界定工程问题、提出可行方案、迭代优化设计”三个阶段[1]。

《关于加强中小学科技教育的意见》明确提出：“鼓励开展基于真实情境的实验探究和小型工程实践项目，帮助学生系统掌握科学研究的基本流程与核心方法。”[3]如何将工程设计过程嵌入物理学习以优化教学设计，已成为推动在物理教学中加强科技教育亟待探索的问题。

2 嵌入工程设计过程的物理教学

作为工程师解决问题的基本方法，工程设计涉及问题界定、模型开发、测试评估、数据分析与解读、数学与计算思维运用、质疑反思、修正优化等实践活动[4]。科技教育强调学生综合运用科学(S)、技术(T)、工程(E)、数学(M)等知识与技能，通过动手实践解决真实问题[3]。两者高度吻合，将工程设计过程嵌入课堂教学，已成为中学物理实施科技教育战略性的重要环节。基于上述分析，本文提出以工程设计过程EDP为骨架，探索STEM教学模式融入物理学习，教学框架如图1所示。

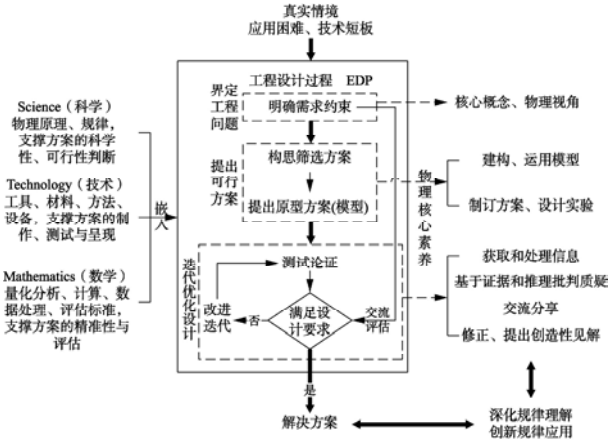


图1 嵌入工程设计过程的物理教学框架

(1) 构建工程设计任务，让学生“像工程师一样思考和行动”。

以学生的学为主体，基于应用研究主题构建情境，即让学生创设模拟工程师实践的学习历程，从界定工程问题、构思筛选方案，到构建原型、测试论证与交流评估，形成完整的工程设计任务链的教学过程。

(2) 在协同调用STEM的设计实践中理解规律、创新应用，实现“设计中学习”。

工程任务通常会涉及多学科协同的实践过程，科学(物理规律)、技术、数学三者围绕同一工程任务协同调用，使学生不断经历“为设计而学、因设计而用”的认知循环[6]，实现“设计中学习、设计中理解、设计中创新”的教学理想。

(3) 在测试与评估中质疑反思，发展迭代优化

* **基金项目**：本文系广东省中小学“百千万人才培养工程”专项科研项目2024年度课题“高中物理科学论证教学模型的实践研究”(项目编号：BQW2024TGL015)的阶段性研究成果。

的高阶思维。

测试评估是设计中不可简化的关键环节，认知冲突自然生成，由此引发的迭代优化成为培育高阶思维的认知引擎。“测试—评估—反思—改进”的迭代实践同时指向两种关键品质：其一，批判性思维。学生在评估不足、质疑原有方案、修正优化的过程中，逐步养成理性判断与批判评估的能力；其二，“从失败中学习”的工程韧性与成长型思维。学生在否定自我的认知挑战中，将失败转化为深入探究的动力。

3　嵌入工程设计过程的物理教学案例

本文以高中物理必修3“多用电表”的教学为例，剖析工程设计过程嵌入物理教学的应用和实践过程。

课程标准要求“会使用多用电表”，同时将“用多用电表测量电学中的物理量”列为学生必做实验之一[7]。重点虽为“会测”，但难点却是“为何这样测”。为此，教师以“设计一种‘直接读数、使用便捷’的电阻测量方案”为真实情境，设计学生可操作的实践活动，引导学生透过STEM的协同调用完成设计任务。由此引导学生将操作步骤、仪表构造、表盘特征三个外在规律，与内部电路的优化迭代有机融合，在质疑反思和迭代优化中发展高阶思维，透过“多表合一”“从机械到数字”的技术升级认知多用电表的迭代发展，过程如图2所示。

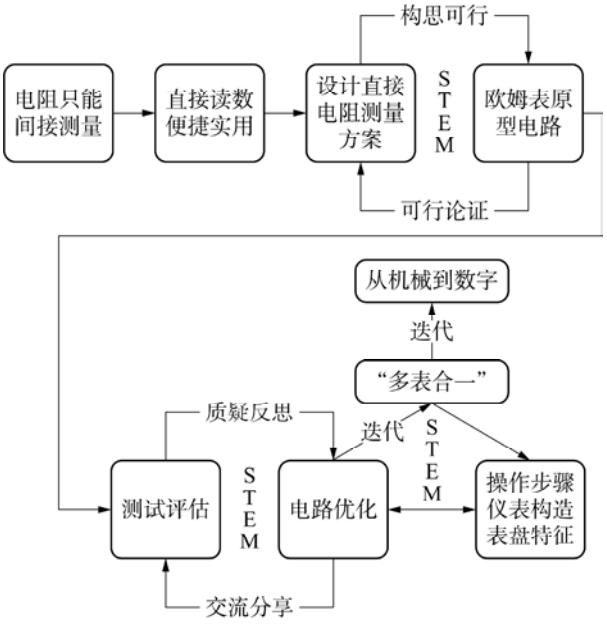


图2　教学过程

3.1　界定工程问题：发现技术困难，明确要求约束

学生已知电流、电压可直接借助电表测量，而电阻只能通过欧姆定律$R=\frac{U}{I}$间接测量。教师以“探讨电路基本物理量——电流、电压、电阻测量的便捷性”引入，提出核心任务——“设计一种‘直接读数、使用便捷’的电阻测量方案”。借助讨论，学生进入了工程师的设计视角，完成了工程设计的第一环节：界定工程问题，明确要求约束。

3.2　提出可行方案：构思并论证“直接读数”的原型电路

提出可行方案的目标是构建初步满足设计要求的“原型方案”。“原型”是体现要求和约束的基本模型，更是后续设计优化的迭代对象。从学习的功能看，设计解决方案是工程需求约束与学生知识经验深度联结的过程，学生将经历如图3所示的“方案搜索—经验关联—设计构想—原型构建—可行性论证”等一系列设计和实践的过程。为此教师透过“问题任务单”组织学生通过“讨论—尝试”设计原型电路。

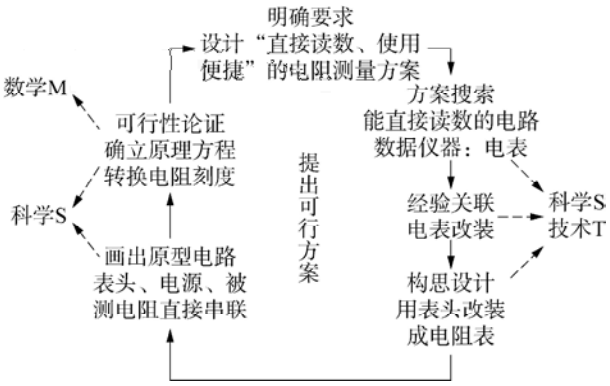


图3　可行方案的构思与论证

教学片段1：构思“可读数”，构建原型电路。

任务单在确保学习活动符合工程设计规范的同时，也要避免“剧透”设计过程，保持开放性是设计实践的灵魂。在表1中，透过问题1和2，将搜索可行方案聚焦于“显示读数”的电路仪器，再透过讨论原理引导学生从已有的“改装”经验中发现“显示”的本质——表头的电流，进而构思“显示阻值”的方案：用表头读数间接显示。

表1　任务1设计显示阻值的原型电路

任务1：设计一个“显示阻值”的方案。小组讨论“导引问题”后，提出一个初步构想，画出测量的原型电路图

续　表

导引问题： (1) 电路中显示读数仪器有哪些？设计原理是什么？本质是借助什么物理量显示读数？ (2) 参考上述原理，尝试提出一个显示“电阻”的方案？ (3) 电路中需要什么元件，才能使其有示数？ (4) 将被测电阻与所需元件如何连接最为简单？ (5) 如果将被测电阻视作“外部”，那电路中哪些部分应视作为仪器的内部？
任务结果

此外，导引问题还提供了思维脚手架。第一次教学尝试发现，“电表改装”虽提供了构思的经验，但同时也成为了思维定势，学生表现出“关注电阻串、并联而忽视‘需要电源才能构建闭合电路’”的困难。为此，任务单中加入问题3，引导学生回归表头显示读数的前提——闭合电路。学生设计的原型电路如图4。

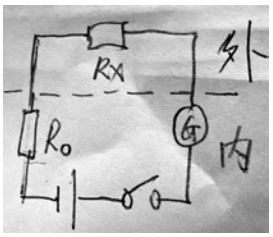


图4　学生的原型电路

教学片段2：确立原理方程，转换阻值刻度。

前四个步骤以“显示读数、表头改装”的思路构建了原型电路。在此基础上，还需进一步建立表头显示的电流读数与检测电阻值之间的对应关系方程。该方程是后续论证的基础，方程不仅为刻度转换提供数学工具，也为评估、优化设计提供了理论基础。这个环节，教师安排了两个任务，见表2、表3。

表2　任务2确立原理方程

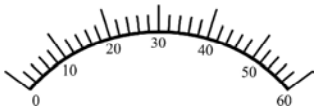
任务2：对照原型电路图，运用闭合电路知识，尝试写出电流 I 与被测电阻 R_x 的关系方程，并讨论两者的函数关系
导引问题：灵敏电流计是否有内阻，通常用什么符号表示，可否忽略不计？
任务结果

原型电路结构简单，任务明确，借助闭合电路欧姆定律写出方程并无困难，对照方程 $I=\dfrac{E}{r+R_x+R_g}$ 学生普遍能得出结论：(1) R_x 能转换为与之对应的电流 I；(2)电源和表头应在表内部，$r+R_g$ 统一视作表内阻 $R_{内}$，方程简化为 $I=\dfrac{E}{R_x+R_{内}}$。紧接着，教师提供了电源与表头的参数，引导学生进行刻度转换。

表3　任务3转换阻值刻度

任务3：画出电阻刻度。已知某型号表头内阻 $R_g=10\,\Omega$，满偏电流 $I_g=60\,\mathrm{mA}$，电池电动势 $E=1.5\,\mathrm{V}$，内阻忽略

续　表

导引问题 (1) 根据仪器参数，计算表格中不同电流刻度值所对应的阻值； 电流 I(mA)：$60(I_g)$ ｜ $50\left(\frac{5}{6}I_g\right)$ ｜ $40\left(\frac{4}{6}I_g\right)$ ｜ $30\left(\frac{1}{2}I_g\right)$ ｜ $20\left(\frac{2}{6}I_g\right)$ ｜ $10\left(\frac{1}{5}I_g\right)$ ｜ 0 电阻 R_x(Ω)：　　 (2) 在电流刻度图中标出阻值
任务结果  图5　待转换的表头刻度

学生转换结果如图6所示。阻值的成功“显示”证实原型电路理论上的可行。然而，可行并不等于可用，需要透过实操测试和评估，将原理模型转化为技术应用，学习活动将进入第三阶段：优化设计方案。

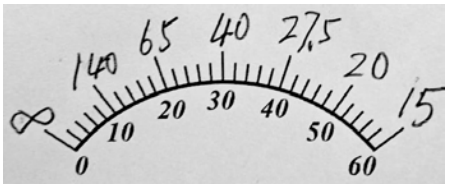


图6　转换的对应刻度

3.3　测试评估，迭代优化，认知结构、明确操作

确定原型电路后，教师没有将欧姆调零旋钮、多个挡位、刻度特征、读数与换挡等欧姆表特有的结构和操作直接讲授于学生，而是组织学生透过交流评估、测试测量等工程实践活动，发现原型电路的不足，进行一系列的优化迭代，并同步认知“刻度特征、仪表结构、操作步骤”的功能和意义。此过程中，融入STEM教育理念与嵌入科技教育的内在逻辑与实践路径，如图7所示。

教学片段3：刻度评估，修正“范围不足”，直观呈现刻度特征。

首先展开的是评估电阻刻度。任务4：(1)指出刻度范围缺陷，尝试修正电路解决问题，并重画刻度值；(2)描述修正后的刻度分布特征。

图6上的“最小阻值为15 Ω”让“无法从零开始”的缺陷显而易见，教师进一步引导学生同步更新内阻的构成 $R_{内}=r+R_g+R_0$，以达到图8刻度上显示的要求并认知“中值电阻”的含义。

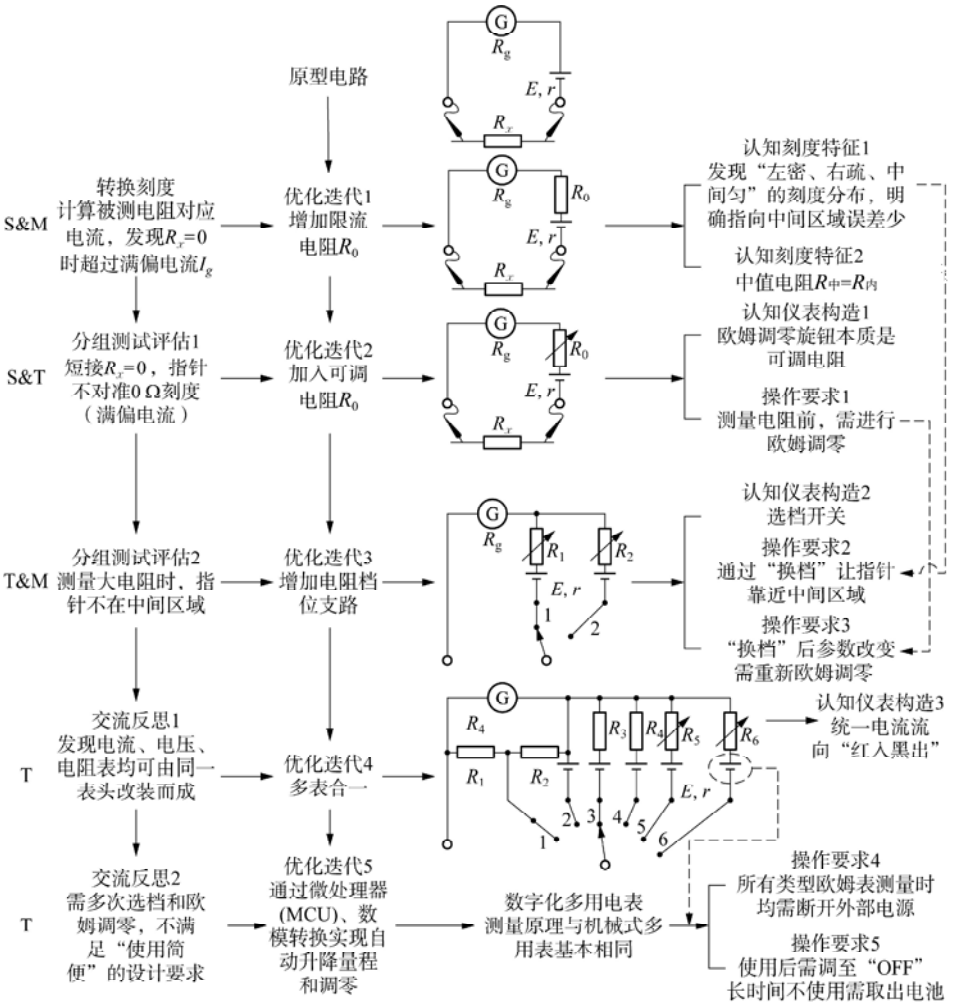


图 7　基于测试评估的优化迭代过程



图 8　修正后的刻度

关于刻度特征，过去教师惯常直接通过 $I=\dfrac{E}{R_x+R_{内}}$ 向学生解释：“I 与 R_x 是非线性关系，阻值刻度不均匀”。这是学生第一次接触“不均匀刻度”，此前学生从未需要考虑“线性、非线性”与刻度的关系。访谈发现，学生认为此部分非常晦涩难懂。而刻度转换和评估任务，让刻度特征变得清晰直观，“电流均匀、电阻不均匀”“左大右小”“左密右疏”的特征一目了然。

而“指针在中间区域误差较小”的推理涉及复杂的误差分析，远超学生的认知负荷，教师借助如图 9 所示“阻值与指针位置关系图象”，指出“在中值电阻左右$\dfrac{1}{5}$范围内（表盘刻度$\dfrac{3}{10}$～$\dfrac{7}{10}$之间），图线较为接近“均匀递减”误差较少，对此解释学生普遍可以理解。

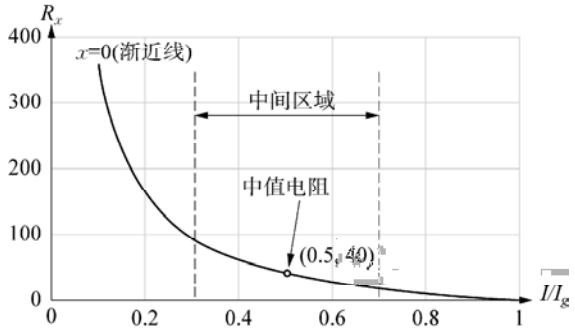


图 9　DeepSeek 生成的阻值与指针位置关系图象

设计的功能仍需在真实测试中检验，并依据成效的评估进一步迭代优化。教师直接提供了实物欧姆表（多用电表×1 Ω挡）作为测试对象。虽直接提供实物，但并不意味工程设计终结，而是让“测试—优化”更贴近学习需要。一方面让学生通过对比，发现实物刻度与设计刻度高度吻合，从而印证构思和设计的正确，另一方面实物仪器方便学生在测试和优化中同步练习仪器的操作。

教学片段4：短接测试，认知“欧姆调零”。

教师没有直接告知学生需先进行欧姆调零，而是让学生通过任务5：测量“0 Ω”电阻，发现设计缺陷后，自主提出“调零”的设计和操作。

短接表笔后，学生发现指针虽停在刻度右端，但无论如何尝试，指针始终无法对准0 Ω刻度。明明$R_x=0$，却显示有阻值，更离谱的是某些小组出现“负电阻”，测试带来的认知冲突引发了学生解决问题的求知欲。

生1：电阻、电源都不变，可能是仪器的误差。

生2：电源内阻不能忽略。

师：但加上电源内阻，电流应更小，应该更不能满偏。

（陷入沉思）

师：回忆一下，弹簧测力计无法对齐零刻度是因为使用中部件的移位。而电路中哪些元件使用中可能变化而影响电流呢？

生（个别）：电池用久了，电动势会下降。

师：很好，其实“1.5 V”只是相对稳定，由于新、旧电池的电压不同，会影响表头上的指针满偏位置。请同学们再修改电路，即在电源电动势变化时可以调整电流，实现表头指针满偏为0 Ω的结果。

这个过程反映学生思维上存在一定的局限：即不能发现电动势可能变化对电流的影响。访谈发现，问题根源在于学生对“电动势恒定”产生了直觉优势，需教师进行教学干预。依据方程和此前修正电路的经验，加入“滑动变阻器”的优化则相对顺利，学生修改电路如图10所示。在此基础上，教师介绍欧姆调零旋钮及操作，学生调节后果然对准0 Ω刻度。欧姆调零的操作不再是机械记背，而是优化设计的必要装置和步骤，实现了设计和操作的知行合一。

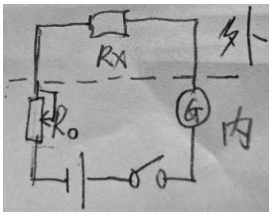


图10　改为滑动变阻器的电路

教学片段5：测量“大电阻”，指针难居中，认知“换挡”操作。

学生欧姆调零操作时已经发现电表上有很多“挡位”，教师没有直接介绍，而是特意安排任务6：用“×1”挡测量约300 Ω的电阻。当学生发现指针偏在左侧后，教师再导引学生。

师：在这个位置读数准不准？

生：不准，中间$\frac{3}{10}\sim\frac{7}{10}$之间才准。

师：大概范围是多少？

生：（观察表盘）约95～17之间（MF141或J0411型多用电表）。

生：怎么才能让300落在表盘刻度的中间？

生：（依据选择开关猜想）是不是调到“×10”挡？

师：是的。

学生迫不及待调到“×10”挡测试，但教师并没有提醒学生重新进行欧姆调零，而是将这个关键要求放在电路优化之后。学生发现指针果然移到了表盘刻度的中间，将读数“×10”挡后为330 Ω。学生非常好奇：电路为什么可以做到“×10”。

师：“×10”意味着内阻也增加10倍，而指针移到表盘刻度的中间表示电流增大了，请对照原理方程，分析电路参数需如何调整才可实现此功能？

生：E和$R_{内}$都增大。

师：电路要如何调整呢？

生：所以这个换挡开关就是更换电池和内阻的。

因学生之前未接触过选择开关，在学生提出方案后，教师示范画出优化电路，如图7中的“迭代优化3”电路。

师：换挡后参数就变了，原来的调零还有效吗？请测试一下。

学生再次短接表笔，发现果然不再对准0 Ω刻度，转动欧姆调零旋钮后才重新对准。由此，“何为中间区域”“何种情况需换挡”“调大还是减少倍数”“换挡后为何要再次欧姆调零”，这一系列与“换挡”操作相关的疑问都在“测试—评估—优化”中得以理解并明确。

教学片段6：“多表合一”，明晰表笔颜色。

在前面测试中，学生已发现除了电阻外，电表还有电压、电流多个挡位和刻度，“多表合一”的意识已然生成，教师提出任务7：将电流和电压改装电路（见图11、12），与欧姆表电路整合为“共用同一表头”的多用电表，并标出电流流向及表笔颜色。

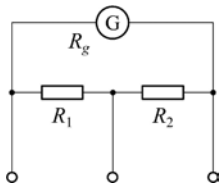


图 11　电流表改装电路

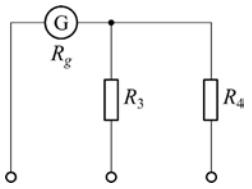


图 12　电压表改装电路

尽管各电表的改装电路均已学过，但学生绘制复杂电路仍感到困难，最终需借鉴课本电路图。即便如此，学生仍在过程中尝试了迭代优化的新策略——“整合”。透过识别选择开关的功能和电流流向，提升了学生分复杂电路的分析能力，并明晰“红入黑出”的电路内涵。

教学片段 7：追求便捷，认识“从机械到数字”。

以往教学中，学生总会提出疑问：为何有了数字多用电表，还要学习步骤复杂的机械式表呢？教师通常会强调机械式是数字式的基础，以凸显机械式的重要性。从工程角度看，数字式是机械式的技术迭代，教师将这种关系的认知也设计为优化任务。透过分享使用感受，学生提出机械式的不足——步骤复杂，进而提出“自动化”的设想。教师再介绍“自动选挡和调零”的微处理器和数模转换技术，并介绍一些相关材料作为学生课后的拓展任务。

无论技术如何迭代，“闭合电路欧姆定律、串并联”仍是多用电表的基础理论。在分析两种电表后，教师将“表内需安装电池、使用后调至“OFF”、长期不使用需取出电池、测量电阻时外部电源需断开”等操作，作为不同类型电表的共性要求统一提出，并作示范。

3.4　自主推理，发现漏洞，驱动创新

课后学生通过计算推理，对欧姆表“换挡”电路提出了新的质疑：依据课堂所学的电路和方程 $I=\dfrac{E}{R_{内}+R_x}$，按倍数推算，电动势也需以 $\times 10$、$\times 100$、$\times 1\,\mathrm{k}$ 增加，这显然与多用电表内所安装电池的电动势不吻合。

之后，教师以课堂测试的 MF141(J0411)型多用电表为例，指导学生查阅说明书、提问 AI、搜索文献，发现换挡电路实际采用的是“并联分流”[8]。尽管由此形成的电路复杂不易理解，但该设计实现了“无需更换电源和调零电位器”[8]确定无疑。在自身推理和质疑得到印证的同时，学生进一步领悟到：驱动优化创新的“无形之手”，正是持续的推理与质疑。

学生自发的“计算推理—质疑批判”行动，既是科技素养的具身体现，也是“工程设计过程嵌入物理教学”取得成效的典型例证。

4　结　语

以课程标准为主要依据，学科融合为基础，是我国加强科技教育的核心路径之一[4]。本文提出嵌入工程设计过程的物理教学框架，旨在透过界定问题、提出可行、测试优化等工程实践活动，帮助学生重构物理认知、发展工程思维与创造能力，实现在物理教学中落实科技教育。

参考文献

[1] National Research Council. A framework for K－12 science education: practices, crosscutting concepts, and core ideas [M]. Washington D. C.: The National Academies Press, 2012:202. https://doi.org/10.17226/13165.

[2] Berland L, Steingut R, Ko P. High school student perceptions of the utility of the engineering design process: Creating opportunities to engage in engineering practices and apply math and science content [J]. Journal of Science Education and Technology, 2014(23):705－720. https://doi.org/10.1007/s10956-014-9498-0.

[3] 教育部，国家发展改革委，科技部，等。关于加强中小学科技教育的意见[R]. 教基〔2025〕7 号[EB/OL]. http://www.moe.gov.cn/srcsite/A06/jcys_jyzb/202511/t20251111_1419878.html.

[4] Panergayo A A E. A meta-analytic review of the effectiveness of engineering design process in enhancing STEM competence [J]. International Journal of Education in Mathematics, Science, and Technology, 2025,13(6):1416－1430. https://doi.org/10.46328/ijemst.5224.

[5] 黄铭舜. 凸显科学意蕴的物理教学探索：基于科学论证重构“离心现象”实践教学[J]. 物理教学，2026,48(04):2—6.

[6] 刘涵，许桂清. 基于 STEM 教育的 6E 设计型学习模式融入高中物理课程的探索与实践——以“力的分解”为例[J]. 物理教师，2024(3):7—10.

[7] 中华人民共和国教育部。普通高中物理课程标准(2017 年版 2025 年修订)[S]. 北京：人民教育出版社，2025.

[8] 吴梦雷. 单倍率欧姆表的局限性及 MF141 型多用电表欧姆挡的结构分析[J]. 物理教师，2024(1):55—58.

更正：

本刊 2026 年(48 卷)第 10 期第 60 页文章第一作者虎伟的工作单位更正为：银川市文萃高级中学　宁夏　750021。