案例名称：指向科学思维显性化的实验教学

——以“电池电动势和内阻的测量”为例

专业学位类别：教育

专业领域：学科教学（物理）

适用课程：中学物理教学设计与实施；

中学物理实验教学研究

作者姓名：吴同华、姜帆、董治国

工作单位：牡丹江师范学院

指向科学思维显性化的实验教学
——以“电池电动势和内阻的测量”为例

摘要：物理实验是培养学生科学思维的关键环节，但分析教材不难发现，物理实验对科学思维的呈现存在隐匿性的问题，不利于培养学生的科学思维。案例以 D 老师“电池电动势和内阻的测量”实验教学为例，通过挖掘实验中蕴含的科学思维并在剖析教材处理对有效促进学生科学思维发展的不足的基础之上，采取显性化教学策略进行了教学重构，使原本关于实验方案生成的隐性思维过程显性化，充分发挥实验对培养学生科学思维的关键作用。案例对物理教育研究生及新教师的培训提供了参考。

关键词：科学思维；实验教学；显性化教学

Experimental teaching pointing to the explicit scientific thinking—Taking ‘Measurement of battery electromotive force and internal resistance’ as an example

Abstract: Physics experiment is the key procedure to cultivate students’ scientific thinking. However, it is not difficult to find that the presentation of scientific thinking in physics experiments is implicit, which is not conducive to the cultivation of students’ scientific thinking. The case takes the experimental teaching of teacher D’s “measurement of battery electromotive force and internal resistance” as an example. By excavating the scientific thinking contained in the experiment and analyzing the shortcomings of the textbook in effectively promoting the development of students’ scientific thinking, the explicit teaching strategy is adopted to reconstruct the teaching, so as to make the implicit thinking process originally generated by the experimental scheme explicit, and give full play to the key role of the experiment in cultivating students’ scientific thinking. The case provides a reference for the training of physics education graduate students and new teachers.

Key words: scientific thinking; experimental teaching; explicit teaching

---

作者简介：吴同华，男，山东泗水人，牡丹江师范学院物理与电子工程学院副教授，研究领域：中学物理教育教学。姜帆，女，辽宁鞍山人，牡丹江师范学院物理与电子工程学院学科教学（物理）专业研究生。董治国，男，山东济宁人，四川省仁寿实验中学物理教师。

编制说明：按照调研学校及当事人的要求，作者对案例涉及名称、人员及相关数据等，做了必要的掩饰性处理。

背景信息

在当今时代，科技日新月异，创新成为推动社会进步的核心动力。面对这样的时代背景，国家逐渐将培养学生的科学思维作为教育的重要目标，旨在培养出一批具备创新精神和实践能力的新时代人才。这一政策与实践的出台，有着深刻的知识和理论背景。首先，从知识背景来看，科学思维是一种基于理性、逻辑和实证的思考方式。它强调对问题的深入探究、对数据的精确分析以及对结论的严谨验证。这种思维方式不仅有助于人们更好地理解和解决现实问题，还能促进知识的积累和创新。因此，培养学生的科学思维，对于提升国民的整体素质和国际竞争力具有重要意义。其次，从理论背景来看，教育学、心理学等学科的发展为培养学生科学思维提供了有力支持。教育学研究表明，科学思维的培养需要遵循学生的认知发展规律，通过系统的课程设计和教学方法来实现。心理学研究则揭示了人类思维的特点和规律，为科学思维的培养提供了心理学依据。这些理论成果为制定科学的教育政策和实践提供了重要的指导。

宏观层面上，在国家政策的推动下，各级教育部门和学校开始积极探索培养学生科学思维的有效途径。一方面，通过改革课程设置和教学方法，加强科学课程的实践性和探究性，引导学生主动思考、积极探究；另一方面，加强师资队伍建设，提高教师的专业素养和教学水平，确保科学思维培养的有效实施。总之，国家逐渐更加侧重培养学生科学思维的政策与实践背景，是基于对时代发展趋势的深刻认识和对人才培养目标的明确把握。这一政策与实践的出台，将有力推动教育事业的发展，为培养新时代人才奠定坚实基础。

微观层面上，物理学科作为一门以实验为基础的科学类学科，对学生科学思维发展的作用与价值当仁不让。实验探究类活动在教学中的设置也十分有利于促进学生科学思维养成，能够帮助学生更好理解学科本质以及科学本质，引导学生完成从解题到解决问题的思想转变。要真正实现这种“思想转变”，就一定“要保证学生在实验探究过程中的思维参与度”，不仅仅要关注和提升学生的认知能力，更要关注学生在学习过程中元认知能力的掌握，即在何情境中为何以及如何运用哪些思维。然而，目前教材中的探究实验内容的编写往往侧重“科学探究”能力培养，忽视了探究实验过程中的“科学思维”显性化，使得教师教学时到底利用该实验培养学生的哪些思维能力不够清晰，不能很好地引导学生构建知识生

成的内在逻辑思维，不可避免地存在重知识传授轻能力培养的状况，进而达不到深度教学的层次，不利于“科学思维”素养的落实，造成实验教学价值的缩水。

本案例中的主人公 D 老师是毕业于学科教学（物理）专业的年轻教师，教学理念先进，注重学生素养发展，善于专研思考，教学热情高涨。其所在的中学是当地重点中学，学校重视各项教育科研工作，鼓励和支持教师教学创新。

本案例中，D 老师秉承“实验是培养学生科学思维最有利的载体”的理念，在深入挖掘“实验：电池电动势和内阻的测量”蕴含的丰富科学思维并剖析教材处理对有效促进学生科学思维发展的不足基础之上，重构“实验：电池电动势和内阻的测量”内容，合理调整教学环节，设计了“告知学习目标——推导实验原理——探讨数理应用——初步设计电路——处理数据误差——设计实验电路——推演合理方案——科学命名方案——学会举一反三”共计九个教学环节开展凸显思维显性化的教学——用阶梯式不断追问的方法引发学生质疑与思考，使原本关于方案生成的隐性的思维过程和规律方法显性化，优化思维发展路径，促进科学思维的有效发展，帮助学生实现知识建构与思维养成的有机统一。

正文

1. 对教材中科学思维的挖掘与分析

物理实验是培养学生科学思维的关键环节。在不断的教学实践和教研备课中，D 老师觉察到教材中实验课对科学思维的处理比较隐晦，不够明晰，容易导致教师教学时把握不准，思维教学难以深入，效果欠佳。因此，D 老师在准备“实验：电池电动势和内阻的测量”这一节课时，对教材内容展开深入剖析，挖掘出该实验中蕴含的科学思维。

教材中该实验分为实验思路、物理量的测量、数据分析、参考案例以及练习与应用总计五个环节。诚然，科学思维的诸多要素皆隐含在教材设计的五个环节当中，但对于不同科学思维培养的价值与功能的凸显方面，教材呈现的内容则显得有些力不能支。

首先，在“实验思路”环节，教材一上来就告知“根据闭合电路欧姆定律，有多种方法可以测定电池的电动势和内阻”。然后就直接要求“请你思考并提出一两种实验设计方案”。此种处理在最大程度上给予学生思维加工的空间，但是却剥夺了学生及时自我对照检验思维成果是否正确的机会，不利于学生思维的进一步演化。紧接着，教材直接给出图 12.3-1，并“根据闭合电路欧姆定律将电源电动势 E、内阻 r，与路端电压 U、电流 I 的关系”以 $E=U+Ir$ 的数学公式表达出来，从欧姆定律到数学公式虽然调动了学生物理思维与数学思维的结合使用但却未直接言明思维联动的本质；特别是图 12.3-1 的横空出现容易让学生在教科书的“权威”下被迫接受，不利于培养学生的数理思维。因此，为打破科学思维教学的朦胧性，本环节教师应引导学生基于闭合电路欧姆定律运用数理思维构建实验方案，并在方案设计和论证中将数理思维联动的策略显性化展现在学生面前。

其次，“物理量的测量”环节本应是学生质疑、推理并论证筛选测量方法的过程，但教材延续公式法计算的思路直接交代了“多次测量以便减小实验误差”，并以标注的形式提及“采用其他方法也应该进行多次测量”的数据处理办法。虽然教材也在暗含着科学实验中常用的误差理论及模型化思维处理实验数据的方式，但是未显性揭示误差产生的原因以及采用此方法能减小误差的缘由，不利于发展学生的质疑思维及论证思维。因此，为打破“死”结论与“活”思维间的壁垒，本环节教师应引导学生重点分析讨论法误差来源，进一步论证图 12.3-1 的合理性，共同探索如何运用科学思维得出科学结论的过程。

再次，在“数据分析”环节，教材直接说明可以将多次测量的结果以图像的方式呈现出来，将数据处理模型思维藏匿在图像法“更简便、直观”的特征描述中一带而过，径直将“图像法”处理实验数据的方法“灌输”给学生却未说明方

法的生成及应用的逻辑，容易导致学生无法在相似情境下迁移应用此方法解决问题，不利于学生的迁移思维和发散思维。因此，为揭开“科学思维方法的产生及应用”的神秘面纱，本环节教师则应以不断质疑追问的形式，并用清晰的语言把模型建构思维显性化地教授给学生。

最后，为培养学生迁移思维教材设计了“参考案例”和“练习与应用”两个环节，为学生提供多种情景创设问题引导学生继续思考，达成了“有多种方法可以测定电池的电动势和内阻”的预设。教材对这两个部分的处理是非常合理的。

通过以上分析可以看出，教材中前三个环节的处理虽符合课程标准中“通过探究电源两端电压与电流的关系，体会图像法在研究物理问题中的作用”这一显性要求，却将知识生成的逻辑思维过程隐匿化，缺少对科学思维显性化的引导，容易导致学生在形成知识链的过程中被迫产生跳跃性。

本实验内容涉及数学思维与物理思维的数理思维综合运用、分析和批判、质疑和推理论证思维的密切配合，方案选择与确立的过程较为复杂，教材呈现的内容虽然能够覆盖本实验相关的“考点知识”，却无法充分为学生提供方法生成的思维加工和逻辑演化过程，学生无法通过教材中直接呈现的结论和方法领悟到知识建构的思维过程。

因此，D 老师将教材内容重构，设计了指向科学思维显性化的教学方案。

2. 指向科学思维显性化教学的重构与实践

新课标中对于科学思维的解释为：是基于经验事实建构物理模型的抽象概括过程；是分析综合、推理论证等方法在科学领域的具体运用；是基于事实证据和科学推理对不同观点和结论的质疑和批判，进行检验和修正，进而提出创造性见解的能力与思想品格。其内涵主要包括模型建构、科学推理、科学论证、质疑创新等要素。借鉴霍林斯沃思等（Hollingsworth, etal. , 2009）的显性直接教学模型，再结合赵国庆（2023）等人关于课程设计元素的描述，以显性化教学思想为指导，D 老师对本节内容解构重建并调整教学环节以彰显实验探究过程中蕴含的科学思维，以实现对学生科学思维的促进与提升。

指向科学思维显性化的教学重构，各教学环节流程图如图 1 所示。

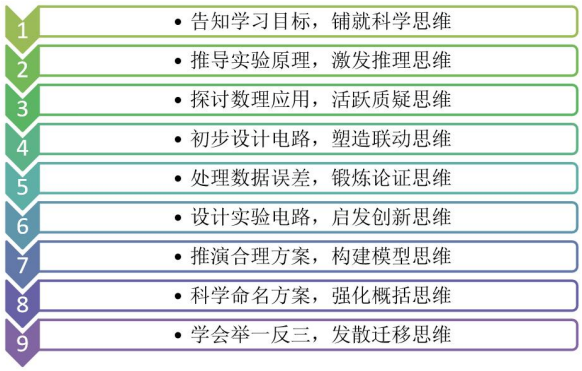

图1 指向科学思维显性化的教学重构

2.1 告知学习目标，铺就科学思维

美国教育学家布鲁姆立足于教育过程的起始环节，制定了教育目标分类理论。师生双方对于课程目标的了解，有利于学生充分发挥自觉性和积极性，调动自己的认知功能和元认知功能，监控并及时调整自身的思维活跃度以及思维发展的进程，最终实现有效的“教与学”。因此，为降低内在认知负荷、铺就学生良好的科学思维，第一要务就是要明确描述并告知学生本节课指向科学思维的培养目标。

物理课上，D 老师正在进行新课“实验：电池电动势和内阻的测量”的教学。该班学生已经学习了电路及其应用，掌握了有关电源、电流、导体电阻、串并联电路、多用电表的使用、电路中的能量转化及闭合电路的欧姆定律相关知识，因此对本节实验探究过程有一定的知识储备。

D 老师首先在准备好的教学 PPT 中为学生展示本节课的学习目标，内容如下：在本节课结束时，学生能够更深入理解闭合电路欧姆定律，掌握测量电源的电动势和内阻的方法并懂得方法生成的逻辑，区分使用并综合运用数学思维与物理思维处理问题。

2.2 推导实验原理，激发推理思维

推理思维是根据一个判断得出另一个判断的思维形式。本环节通过教师带领学生回顾闭合电路欧姆定律表达式 $I=\frac{E}{R_{外}+r}$（作为学生头脑中已存的先知判断），进而帮助学生从数学思维逻辑角度对公式变形，推导得出 $E=IR_{外}+Ir$（此为经过学生思维加工推理后得出的新知判断），将学生头脑中的思考过程形成完整闭环以培养其数学推理思维。

D 老师：我们先来一起复习上一小节学习到的闭合电路欧姆定律表达式 $I=\frac{E}{R_{外}+r}$，请同学们一起从数学思维逻辑角度对公式变形。

众学生推导得出并回答：$E=IR_{外}+Ir$。

对先验知识进行短暂激活后，教师通过提问帮助学生建立新旧知识的连接。

D 老师：通过数学思维逻辑要满足哪些条件才能求出电源电动势和内阻？

众学生：需要已知 I 和 $R_{外}$。

由于方程中 E 和 r 都是未知量，D 老师继续追问：两个未知数如何求解？

众学生利用已有数学思维回答：构造二元一次方程组。

那么此时学生按照数学思维可以知道测出 I、$R_{外}$的两组数据便可能得到关于

E 和 r 的方程组：$\begin{cases}\mathrm{E}=\mathrm{I}_1(R_{1\,外}+\mathrm{r}）\\ \mathrm{E}=\mathrm{I}_2(R_{2\,外}+\mathrm{r}）\end{cases}$，从而解出 E 和 r。

2.3 探讨数理应用，活跃质疑思维

质疑思维是当个体原有认知或经验与所学新知产生矛盾时，个体对现存现象或已有结论展开提问和质疑的一种思维模式。究其根本，质疑思维的培养在于教师要为学习者创造认知冲突。

在上一环节学生得出公式法构造出的方程组后，D 老师继续提问：理论上对于二元一次方程组来说，已知 I 和 $R_{外}$的两组数据可以计算出 E 和 r，从数学角度合理吗？

众学生：合理。

D 老师继续质疑追问：用数学公式计算得出的合理结果从物理视角也一定是合理的吗？

教师在留给学生充足的思考时间后可以和学生共同探讨数学思维与物理思维的差异。

D 老师进一步解释说明：数学思维属于科学思维中的一种，物理学的规律需要一系列数学思维加工辅助，但不能用数学思想完全解释物理现象。在数学思维的基础上来进行物理解读是可取的，而不能将数学思维直接等同于物理思维。

2.4 初步设计电路，塑造联动思维

联动思维指不局限于思考单个事物本身的思维模式，注重表面现象与内在本质之间、浅层知识与深层逻辑之间，以及正向构建与逆向解构之间的联想和推理。

基于数理讨论质疑后，D 老师将学生的关注点重新转移回归到关于 E 和 r 的方程组$\begin{cases}E=I_1\left(R_{1外}+r\right)\\ E=I_2\left(R_{2外}+r\right)\end{cases}$上。学生从数学角度出发归纳，理论上是毫无漏洞地可以求出方程组的未知量 E 和 r，但数学思维在物理实验中只充当辅助计算和理解的作用。为了将学生的思考角度从数学思维中转换到物理思维中，D 老师继续提问：如何使方程组中的 I 和 $R_{外}$成为已知量？

此时教师为学生提供 R_1 与电流表串联电路图和 R_2与电流表串联电路图即图 2 供学生启发思维。

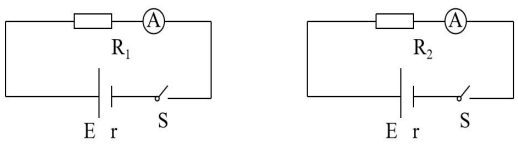

图2

D 老师：采用图 2 中的两个电路开展实验需要保证哪些实验条件？

学生 1：需要保证采用相同的电源和电流表，仅把电路中的电阻 $R_{1外}$和 $R_{2外}$作为变量。

D 老师追问：$R_{外}$由哪些电阻组合而成？

学生 2 回答：$R_{外}=R_1+R_A$或$R_{外}=R_2+R_A$。

D 老师继续追问：既然电流表也存在内阻会分走部分电压，那如何降低电流表分压的干扰因素？

学生 2 回答：选择一个电阻远小于 R_1和 R_2的电流表。

为了继续创造认知冲突，D 老师联系实际情况为学生预先假设一个符合条件的假定电路“我们假设电池电动势为 1.5V，量程为 0-0.6A 的电流表内阻估测为 10Ω，定值电阻阻值为 150Ω”。

D 老师：请同学们结合已有知识判断该电路在实际操作中的可行性。

众学生思考讨论后开始计算：在理想情况下暂时忽略电池内阻和电流表电阻，根据闭合电路欧姆定律计算通过定值电阻的电流为$I=\frac{U}{R}=\frac{1.5V}{150\Omega}=0.01A$。

D 老师提醒学生：根据误差理论，初高中物理实验中使用器材测量某一数值时要求仪表显示值需落在仪器量程的 $\frac{1}{3}\sim\frac{2}{3}$ 范围内，对应此表 0.2A~0.4A 之间的结果较为准确。

众学生立即意识到：假定电路计算出的电流 0.01A 远远小于该范围，并且该电流表最小分度值为 0.02A>0.01A，若再将电池内阻和电流表内阻考虑在内，电路中电流将会更小，也就更不符合以上提及的测量条件，因此该电路在实际操作中困难重重难以实现。

D 老师进一步解释说明：同学们请注意，当我们暂时忽略电流表内阻时得出的结果已然与实验测量条件相矛盾，若公式法计算过程中再加入电流表内阻则不仅为计算过程增加困难，也为实际电路操作增添了许多不必要的麻烦。因此，实验条件无法实现时我们将采用理想化的方法将电流表内阻忽略不计来增大实际操作的可行性及公式法计算的便捷性。此时公式法得出的方程组$\begin{cases}E=I_1(R_{1外}+r)\\E=I_2(R_{2外}+r)\end{cases}$经理想化后$R_{1外}=R_1$，$R_{2外}=R_2$，重新得到方程组$\begin{cases}E=I_1(R_1+r)\\E=I_2(R_2+r)\end{cases}$。

至此教师已将理想化方法渗透到学生头脑中。

D 老师继续追问：仅测量两组 I 和 R 的数据联立方程带入计算得到的结果有

没有什么弊端？

学生 3 回答：从数学角度没有问题，从物理角度数据数量过少。

D 老师进一步追问：为什么数据过少是一种弊端？

学生 3 思考后回答：科学规律都是在大量实验基础上得来的。

不难发现，学生的答案大多还停留在感性认知上，因此，为了下一环节中引出“平均法”处理实验误差做铺垫，D 老师再次结合数学思维先为学生解释多组数据测量的必要性：从概率论角度出发，数据选择数量不足会导致同一现象出现的频率较为随机，难以被总结概括以规律的形式出现，因此采取适当范围内的多组数据能为实验者提供从特殊到一般的更有力的证据支撑。

通过以上教师的问题链式提问环环紧扣，微观层面上学生能够在初步设计电路过程中将表层的数学数据演算结果与深层次的实际电路消耗进行联动思考，使其最终得出的结论更具有全面性和说服性，宏观层面上这一设计塑造了学生数学思维及物理思维的联动思考。

2.5 处理数据误差，锻炼论证思维

科学论证思维指个体在面对未知的科学概念或规律时能够运用已经掌握的科学知识前概念，通过收集实验数据或逻辑推理加工作为支撑证据，对新现象展开解释说明并构建自己的观点和主张，进而解决实际问题的思维模式。实验数据误差是物理实验中难以规避的“产物”，因此如何将实验中涉及到的系统误差及随机误差进行恰当处理使其对实验结果造成的影响最小仍是学生亟待学习的重要知识。

利用学生已经掌握的前概念“闭合电路欧姆定律”，学生会想要通过改变外电阻 R_1和 R_2的值测出对应的电路中的电流 I_1和 I_2进行收集实验数据，进而运用演算推理解方程组$\begin{cases} E = I_1(R_1 + r) \\ E = I_2(R_2 + r) \end{cases}$。

D 老师：请同学们利用数学思维计算解出 E 和 r。

学生 4：$E = \dfrac{I_1 I_2 (R_2 - R_1)}{I_1 - I_2}$，$r = \dfrac{I_2 R_2 - I_1 R_1}{I_1 - I_2}$。

D 老师：从数学理论上得到的结果是准确无误的，但考虑到实际的电流表分压的实际物理现象，数据还是准确无误的吗?

（此时学生运用论证思维推理判断已有证据的真实性进而选择继续提供新证据支持或者提供相反证据展开驳斥立论新观点。）

学生 4：不准确，会产生一定的误差。

D 老师继续追问：既然误差不能消除，怎样做才能提高数据准确度？

（学生再次在头脑中检索过往学习经验中涉及“实验误差数据处理”相关的前概念。）

学生 4：可以通过多次测量取平均值来减小误差。

此时教师在上一环节概率论的逻辑生成铺垫下趁热打铁帮助学生得出结论：“实验数据至少要选择三组，最好选择 3~5 组实验数据，得出多组 E 和 r 的数据后取平均值作为最终实验结果。数据越多，计算出的结果越接近真实值。”至此学生不仅学会了实验数据处理方法能够轻松应对试题考查，还对于采用“平均法”处理实验数据的缘由和思维演绎过程形成了闭环。

2.6 设计实验电路，启发创新思维

根据物理课程标准中对于“物理学科核心素养的水平划分”中涉及到质疑创新思维的说明，创新思维具体表现为：学生要知道质疑创新的重要性；具有质疑和创新的意识；能对已有观点提出有依据的质疑，从多个视角审视检验结论，用更为新颖的方法解决物理问题。因此教师在教学设计中要合理设置认知冲突，能够为学生提供“质疑与创新”的契机与条件，帮助学生完成从被动质疑向主动创新的转变。

D 老师：测量五组实验数据需要大量的电阻，实验室器材不一定充足而且频繁更换电阻操作起来过于复杂，这种情况下有没有什么实验室器材可以直接调节电阻的阻值？

学生 5：滑动变阻器或电阻箱可以改变电阻值。

D 老师引导追问：若采用滑动变阻器，如何测量其有效阻值 R_x？

学生 5：将电压表放置于滑动变阻器两端。

D 老师将学生阐述出的电路图在板书中呈现，如图 3 所示。

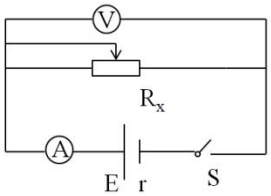

图 3

为了给学生创造认知冲突，D 老师进一步质疑学生：用电压表直接放在滑动变阻器 R_x两端后测出的电压数值和电流表显示的电流数值，根据欧姆定律 $I=\frac{U}{R}$ 变形公式 $R_X=\frac{U}{I}$ 计算得出的阻值 R_x是准确无误的吗？

学生 6：准确。

（学生原有的“迷思概念”可能会认为结果准确，随后教师引导学生对各电

表所测数值与真实值进行对比分析来修正迷思概念，用实验数据加以逻辑推理帮助学生构建出新的正确的科学概念进而得出否定答案。）

D 老师进一步解释说明：事实上，电压表分流会导致电流表所测结果大于实际通过滑动变阻器 R_x的电流，进而导致 R_x阻值计算结果偏小。因此，为了避免测外电阻时产生误差，可以直接让电压表测量路端电压，并且更方便测量减少工作量。为学生提供重新设计电路如图 4 所示。

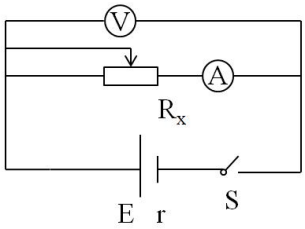

图 4

2.7 推演合理方案，构建模型思维

模型是对一类事物的本质特征抽象概括成的思考体系，模型思维是个体在应对实际问题情境时能够提取事件核心要素并建构好各要素之间关系路径的反映方式。模型建构的过程十分复杂，需要教师引导学生将头脑中松散的、无结构的前概念知识进行校准、整合，经过同化或顺应后将其联结形成有结构的知识网络，进而形成应对相同情境时可以运用的问题解决模型。

本环节 D 老师先根据教材中第二节涉及到的“路端电压与负载的关系”部分知识帮助学生进行知识回顾与新知搭建。

D 老师：根据闭合电路欧姆定律 $E=U_{外}+U_{内}$，若将 $U_{外}$记为路端电压 $U_{路}$，考虑到 $U_{内}=Ir$，可以得出 $E=Ir+U_{路}$。那么我们如何测量路端电压 $U_{路}$以及通过电源的电流 I 呢？

教材直接呈现的参考方案是用电流表和电压表测电源的电动势和内阻，并且给出的参考实验电路是电流表内接（相对电压表）实验电路，如图 5 所示。

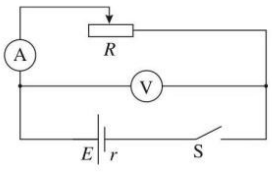

图 5（选自教材）

一部分学生得出的电路图和教材中提供的一致。但还有一部分学生得到了另一种电路图，即设计出电流表外接（相对电压表）实验电路，如图 6 所示。

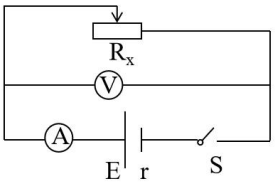

图6

此时，D 老师引导学生对两种设计实验电路进行判定选择及误差分析，进而帮助学生构建误差分析模型、最佳测量条件模型以及数据处理模型，形成有利于深入理解实验原理和方法的模型思维。

为了提高教学效率，判定选择电流表内、外接法部分的相关知识内容需要教师讲授后再放手学生自行开展实验。

D 老师进一步解释说明：首先将电流表与待测电阻串联作为一个支路，再与电压表进行并联，即构成电流表相对于电压表内接电路，如图 5，分别读出此时电压表与电流表的示数。重新连接电路，滑动变阻器滑片保持不动，将待测电阻两端并联电压表，将电流表外接在待测电阻和电压表并联电路的干路中，如图 6，分别读出此时电压表与电流表的示数。比较两个电路中电流表和电压表的读数变化情况，若电流表读数变化明显，则说明电压表的分流作用显著，此时为了减小误差应该采用电流表相对于电压表内接法；若电压表读数变化明显，则说明电流表的分压作用显著，此时为了减小误差应该采用电流表相对于电压表外接法。

至此，学生学会了如何在实验前选择合适实验器材并创设最佳测量条件。

接下来，D 老师带领众学生共同分析电流表内外接法的误差情况。

D 老师提问“电流表内接电路造成数据误差的原因是什么？

学生 7：电路的误差主要是由于电压表分流，电流表读数的测量值小于电源的实际输出电流真实值。

D 老师继续追问：考虑到电压表的实际内阻，实际函数关系式会产生变化吗？如果变化正确的表达式应该是什么？如果不变理由是什么？

学生 7 得出以下结论：会产生变化。考虑到电压表的实际内阻，实际函数关系式会变为 $E=U+(\frac{U}{R_V}+I)r$ 。

D 老师继续调动学生数学思维进行显性提问：除了公式计算法以外，有没有更直观的方法能表示电源电动势和内阻吗？

学生 8 回答：图像法。

D 老师追问：为什么不能仅仅用公式法得出的计算结果作为结论？图像法比公式法优势在哪里？

学生 8：能更直观地看出数据间的规律并且排除一些偶然误差。

D 老师继续追问：图像法为什么能排除一些偶然误差？公式法为什么不可以？

学生 8 思考后回答：公式法仅测量两组数据会存在偶然性测量值偏大或偏小的误差。而结合刚才讲述的概率论知识，作图法能够尽量将所测的多组数据均匀地分布在直线两侧，有效中和了测量值偏大或偏小的误差。

D 老师追问：采用图像法的步骤是什么？需要注意哪些问题？

在此教师可以让学生结合数学思维引入“函数图像法”作为实验数据处理新方式，让学生讨论后得出图像法的一般步骤。

师生共同总结：结合闭合电路欧姆定律的表达式变形公式捋清合适的函数关系；选取恰当的横轴及纵轴坐标；描点画线做出函数图像，说明函数图像的横纵坐标、斜率及截距等所代表的意义并说明与电源电动势和内阻之间的关系。

师生利用数学思维共同推导将公式变形为：$U=\frac{R_V}{R_V+r}E-\frac{R_V\times r}{R_V+r}I$，以 I 为横坐标，以 U 为纵坐标画出一次函数图象如图 7，并得出相关结论：“一次函数图象的纵轴截距表示为$\frac{R_V}{R_V+r}E$，小于真实的 E 值。图象斜率的绝对值表示$\frac{R_V\times r}{R_V+r}$，同样小于真实的 r 值。”

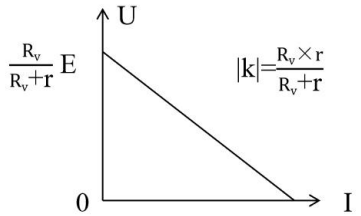

图7

D 老师：电流表内接电路误差情况分析完成后，我们一起来探究一下电流表外接电路造成数据误差的原因是什么？

学生 9：主要由于电流表分压，导致电压表读数的测量值小于电源的实际路端电压的真实值。

D 老师：同学们能否用刚才的“函数图像法”再来分析一下电流表外接电路？

众学生：考虑到电流表的实际内阻，实际函数关系式变为$E=U+(R_A+r)I$，利用数学思维将公式变形为$U=E-I(R_A+r)$，以 I 为横坐标，以 U 为纵坐标画出一次函数图象如图 8，纵轴截距表示为 E，等于真实的 E 值。一次函数图象斜率的绝对值表示为R_A+r，大于真实的 r 值。

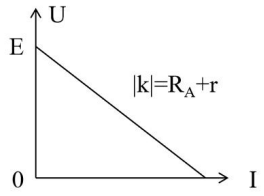

图8

D 老师提问：结合电流表阻值和电压表阻值实际情况并将电流表内外接法进行对比分析，哪种方法更合适呢？

此时学生利用已掌握的知识不能够解答此问题，那么就需要教师来讲授新知。

D 老师进一步解释说明：尽管电流表内接时所测出的电动势和内阻的测量值都小于真实值，但考虑到实际电压表阻值会远大于电源内阻时，采用极限的思想认为会产生较小的误差。而电流表外接时，虽然电动势的测量值即为真实值，但由于电流表的阻值通常会比电源内阻大很多倍，所以计算得出的关于电源内阻的数值对比电源内阻的真实值会产生巨大的误差。综上所述，为了减小实验误差，学生在用此种方法测量电源电动势和内阻时应该采用电流表相对于电压表内接电路。

本环节为方案确立中心环节，教师通过对电流表内外接的判定与选择这一过程帮助学生构建最佳测量条件模型、误差分析模型以及数据处理模型，培养学生形成正确的推理论证思维，不仅有利于提高本实验的准确性和可靠性，而且在日后的科学实验过程中学生也能够形成一系列规律性、体系化的应对方案。

2.8 科学命名方案，强化概括思维

D 老师：同学们能否结合本方案的确立过程，用简明的语言对本实验方案进行命名？

众学生讨论后得出：U-I 法、电流表内接法等等。

D 老师：同学们起的名字都各有代表性，物理实验中以及练习题中对本实验方案的命名为“伏安法”。

至此，教材上直接呈现出的参考实验电路图背后的真实逻辑得以完整说明。教师引导学生对实验整体过程进行归纳总结，提炼实验核心要素并用简明的语言对本实验方案进行命名，以此加深学生对物理实验的兴趣。

2.9 学会举一反三，发散迁移思维

考虑实验器材的数量问题以及实验的复杂性问题，更是为了顺应教材中“根据闭合电路欧姆定律，有多种方法可以测定电池的电动势和内阻”，教师进一步假设情境提出问题，拓展学生思维。

拓展提问 1：若实验室器材除了待测电池和电键导线外只有电阻箱和电流表，又该如何测量电源电动势和内阻？若实验室器材除了待测电池和电键导线外只

有电阻箱和电压表，又该如何测量电源电动势和内阻？请同学们结合教材提供的案例和课后习题完成探索。

拓展提问 2：无论我们采用哪种方法实验，为了与实验原理的公式能完美对应一致，设计电路时我们往往仅假设外电路只有一个滑动变阻器或电阻箱，但在实际实验操作时为了保护电路，应在电路中增设一个定值电阻串联进电路中。如果是这样，该定值电阻放在何处最为合适？或者说如何处置该定值电阻才简单合理不增加我们测量的难度，请大家课下再重新展开推理及论证。

通过如此拓展提问，既促使学生举一反三、类比迁移本节所学思维解决新的问题，打破课堂时空对科学思维培养的约束，更是把理想思维引向实用思维，使书本知识变成实用知识。

3. 结语

综上所述，当教师将教材中未直接呈现的方案选择和确立的逻辑思维过程开展显性化教学后，学生能够以科学思维为目标导向，利用元认知策略及时监控并调整自身在课堂中获取认知和生成科学思维的状态；利用数理思维的差异，在质疑创新中推导实验原理发展自身的推理思维；在初步设计电路实验时促进自身数理思维的联动；在处理数据误差过程中锻炼自身的论证思维；利用数学思维联想到公式法及函数图像法培养自身的数据处理模型思维；善于激发自身的创新思维重新设计实验电路；在判定选择内外接法实验电路的过程中构建自身的模型思维；最终掌握电源电动势和内阻的其中一种测量方法并利用概论思维对实验方案科学化命名为“伏安法”；最终还能够利用类比迁移思维去尝试得出“安阻法”和“伏阻法”的实验方法去解决问题，把理想思维引向实用思维。至此，通过一系列地显性化教学策略实施，教师能够真正在实验探究教学中促进学生科学思维的生成，将物理学科核心素养切实落地。

教学指导手册

指向科学思维显性化的实验教学
——以“电池电动势和内阻的测量”为例

1. 教学目标

通过本案例的学习，使研究生了解利用物理实验进行科学思维教育的重要性，注重借助实验教学培养学生科学思维，敢于和善于分析和挖掘物理实验中所蕴含的科学思维，掌握科学思维显性化教学的一些策略，能够对物理实验进行科学思维显性化教学设计。

1.1 适用课程

本案例适用于《中学物理实验教学研究》和《中学物理教学设计与实施》，以帮助学生深入理解实验教学的重要性，立足科学思维显性化开展实验教学设计，促进物理实验教学的创新。

1.2 教学对象

本案例主要为学科教学（物理）教育硕士开发，也适用于师范类物理专业本科生和新手教师。

1.3 具体教学目标

（1）挖掘并分析出教材中隐含的科学思维要素。

（2）能够使用显性化教学策略展开教学。

（3）能够重构教材提供的各个教学环节。

（4）通过实验教学有效促进科学思维的发展。

2. 启发思考题

（1）科学思维的内涵是什么？要素都包含哪些？

（2）教材内容中都隐含了哪些科学思维要素？是如何呈现的？有什么不足？

（3）为何以及如何采取显性化教学策略开展科学思维的教学？

（4）如何将参考教材提供的教学环节解构重建？

（5）实验方案是如何确立的？各个环节都需要到运用哪些科学思维？

3. 分析思路

本案例以“实验：电池电动势和内阻的测量”的方案确立为中心，将教材提供的教学环节拆解后重新搭建，包括告知学习目标、推导实验原理、探讨数理应用、初步设计电路、处理数据误差、设计实验电路、推演合理方案、科学命名方案、学会举一反三总计九个环节；有两条主线：明线为伏安法“电池电动势和内阻的测量”方案确立，暗线为开展实验过程当中对学生科学思维能力的培养；从

教师和学生两个角度展开，教师方面涉及到正确教材观和 PCK 知识的运用：敢于质疑教材中的科学思维隐匿性问题、能运用显性化教学策略在各个教学环节将不同的科学思维呈现在学生面前；学生方面涉及到科学思维的发展、解决相关实验问题能力的提升。

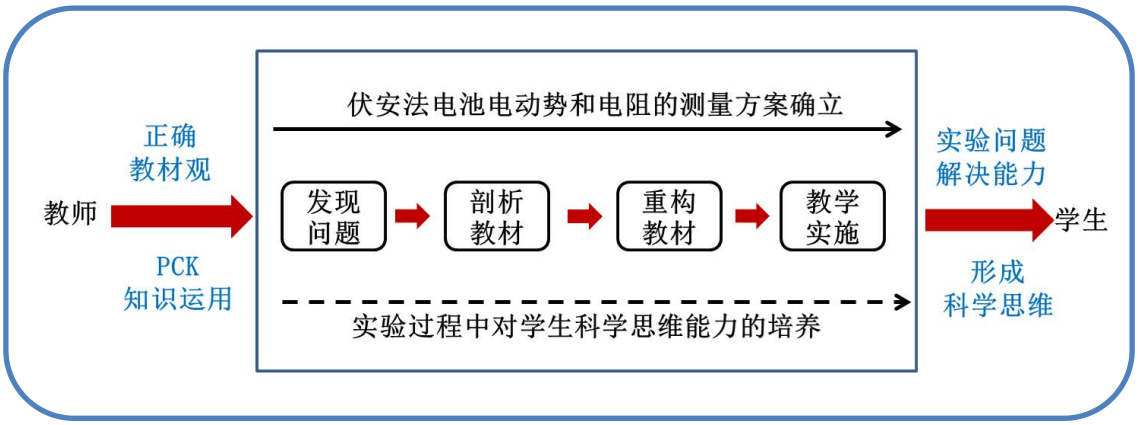

图 1 案例分析思路图

4. 案例分析

教师在实际教学过程中可以重构教材内容，合理调整教学环节，开展凸显科学思维的显性化教学——用阶梯式不断追问的方法引发学生质疑与思考，使原本关于实验方案生成的隐性的思维过程和规律方法显性化，优化思维发展路径，促进科学思维的有效发展，帮助学生实现知识建构与思维养成的有机统一。

4.1 案例回顾

案例围绕“实验：电池电动势和内阻的测量”的方案确立而展开。D 老师如往常一般参考教材准备上课思路设计教学环节，但结合新课标要求发现，科学思维的诸多要素皆隐含在教材设计的各个环节当中，并没有明确表现出来。D 老师立即对自己之前的教学展开反思：自己从前的教学是否只是参考教材中的教法和内容向学生传授知识，而忽略了培养学生的科学思维？像自己一样的新手教师是否都停留在教教材的阶段？教学层次是不是不够深入？意识到自己可能存在这些问题，D 老师决定加以改变，因此，在本堂课正式开展之前，D 老师首先深入系统地剖析教材并挖掘了教材中该实验中蕴含的科学思维。

教材中该实验的教学共分为五个环节。第一个环节要求学生设计实验思路。教材虽然充分调动了学生物理思维与数学思维的结合，但却没有直接体现出对学生科学思维联动的本质要求。另外，教材对伏安法测电阻的方案输出过于直白，不利于学生创新思维的培养。第二个环节为物理量的测量。教材延续了公式计算法的思路，直接交代了多次测量以便减小实验误差的数据处理办法，不利于学生

更加深入理解科学实验中常用的误差理论及模型化思维处理实验数据的方法，不利于学生发展质疑思维及论证思维。第三个环节为数据分析环节。教材同样将图像法数据处理模型思维一带而过地灌输给学生，而并没有说明方法生成的逻辑及应用的情景，不利于学生类比迁移思维和发散思维。第四个和第五个环节为学生设计了参考案例和练习与应用，为学生提供了多样化的情境来重新创设了问题，鼓励了学生继续思考，有利于培养学生的迁移思维。

教材编写存在的问题令 D 老师难以下手开展科学思维的教学。为了打破科学思维教学的朦胧性；为了打破“死”结论与“活”思维间的壁垒；更为了揭开“科学思维方法的产生及应用”的神秘面纱，于是 D 老师请教前辈们并在研究生导师指导下对该实验教学重新建构，将教材中原本隐含的各种科学思维的密切配合过程全部和盘托出，帮助学生选择与确立方案，并且将方法生成的逻辑演化过程也同步提供给学生，最终学生通过重构的教学环节领悟到知识建构和方法生成的思维过程。

接下来 D 老师针对教材内容进行了指向科学思维的显性化教学重构。在教学伊始环节 D 老师为了让学生能够监控并及时调整自身的思维活跃度以及思维发展的进程，将本节课的教学目标告知学生，为科学思维的培养奠定好了基础。第二个环节为推导实验原理。D 老师通过带领学生回顾闭合电路欧姆定律表达式，帮助学生从数学思维逻辑角度对公式变形推导得出本堂课的实验原理公式，激发了学生的推理思维。第三环节为探讨数理应用。D 老师在上一环节学生得出公式法构造的方程组基础上带领学生共同探讨数学思维与物理思维的差异，活跃了学生的质疑思维。第四环节为初步设计电路。D 老师为学生提供了一个假设实验电路将学生思维从数学思维转移回物理思维，在制造认知冲突后给学生渗透了理想化方法，并且从数学角度为下一环节引出“平均法处理实验误差”做好了铺垫，塑造了学生的联动思维。第五个环节为处理数据误差。D 老师再次从数理思维的差异角度为学生制造认知冲突，质疑公式法构造的方程组的解是否与电路真实值相符，结合上一环节概率论的逻辑铺垫，将“多次测量取平均值减小误差”处理实验数据的缘由和思维演绎过程传递给学生，锻炼了学生的论证思维。第六个环节为设计实验电路。D 老师让学生自行设计电路图，得到了电压表测滑动变阻器两端电压、电流表外接的电路图。考虑到电压表分流的干扰因素，D 老师用实验数据加以逻辑推理帮助学生构建出“电压表测量路端电压（电流表内接）”的新电路图，启发了学生的创新思维。第七环节为推演合理方案。此环节 D 老师帮助学生判定电流表内外接法并与学生共同分析探讨了两种方法的误差，在此过程中渗透了图像法的特点、应用情境及一般步骤，帮助学生在日后的科学实验过程中，也能够形成一系列规律性、体系化的应对方案，构建了学生的模型思维。第

八环节为科学命名方案。此环节 D 老师引导学生对实验整体过程进行归纳总结，提炼实验核心要素，并引导学生用简明清晰的语言对本实验方案进行命名，强化了学生的概括思维。第九环节为学会举一反三。D 老师通过进一步假设情景为学生提供“安阻法”和“伏阻法”的实验方案思路引入，留给学生课后思考，发散了学生的迁移思维。

课堂实施后，D 老师展开了教学反思并得到了一些教学启示。教材中呈现出的方案选择和确立的思维逻辑过程可能比较隐性化，那么教师便可以采用一些显性化的教学策略展开教学。教师的教学不能只重知识传授而轻能力培养，更要促进学生科学思维的生成，保证物理学科核心素养切实落地。

4.2 理论基础 1——科学思维

物理学科核心素养主要包括“物理观念”、“科学思维”、“科学探究”、“科学态度与责任”四个方面。《普通高中物理课程标准（2017 年版 2020 年修订）》对于科学思维的解释为：它是基于经验事实建构物理模型的抽象概括过程；是分析综合、推理论证等方法在科学领域的具体运用；是基于事实证据和科学推理对不同观点和结论的质疑和批判，进行检验和修正，进而提出创造性见解的能力与思想品格。物理课程核心素养中的“科学思维”主要包括模型建构、科学推理、科学论证、质疑创新等要素。

4.2 理论基础 2——显性化教学策略

1.显性化教学策略的内涵

显性化教学策略融合了以教师为中心的教学取向中追求教学效率的一面，并且结合了以学生为中心的教学取向中注重学生主动建构的一面，体现了教师教与学生学的双主体教学结构思想。显性教学的核心在于通过一系列的显性教学策略，将隐藏在教学过程中的思维策略和过程显性化，帮助学生更加清晰的理解知识与方法建构的过程。

2.显性化教学策略的一般步骤

显性化教学策略的一般步骤包括认知建模、支架渐隐、理解检查和分层干预。认知建模的过程是教师要将问题解决中隐藏的思维策略及过程显性化，帮助学生降低认知负荷，提高学习效率的过程。支架渐隐是指在教学过程中教师逐步撤除“脚手架”，促进学生不断向前发展。理解检查是指通过提问-讨论-反馈的方式，实现师生之间以及生生之间的有效互动，帮助学生进行知识监控及元认知监控，方便学生自行调整学习状态。分层干预是指根据学生的差异化，采取直接教学-课内指导-课后干预的方式，为不同水平的学生提供个性化的学习指导和支持。

3.显性化教学策略的价值与意义

在国家双减政策和核心素养导下的教学改革背景下，显性化教学既能够促进

知识深度理解，提高教学和学习效果，又能够通过还原问题解决中隐含的思维策略与方法，促进学生的高阶思维发展，既能够实现教育公平与质量的提升，又能够推动教学的改革与发展，推动教学改革向更深层次进军，为培养具有创新精神和实践能力的新时代人才提供有力支撑。

4.2 理论基础 3——教学环节解构重建

教材重构是一个系统性和创新性的过程。首先要明确教材重构的目标。其次要对现有的教材进行深入的内容分析和评估。再次，要根据内容分析结果制定具体的教材重构方案，包括改编教材内容的顺序，合并或删除某些内容，增加新的教学资源等等。最终按照重构方案实施教学并及时反思评估其教学效果。

4.3 理论在案例中的渗透

4.3.1 科学思维

在本案例中，教师引导和学生学习皆以科学思维作为行动指南。学生通过元认知策略来实时监控和及时调整自己建构科学思维的进程；运用数理思维的不同维度，在质疑创新的过程中推导实验原理强化了自身的推理思维；运用数理思维的联动初步规划了电路，并在处理数据误差时锻炼了自身的论证思维；利用数学思维的启迪学会了公式法和函数图像法，建构了数据处理模型思维；凭借着概括思维，将实验方法科学命名为“伏安法”后，又运用类比迁移思维准备课后探索并尝试“安阻法”和“伏阻法”的实验方案。

4.3.2 显性化教学策略

本案例整体上是在培养学生构建实验方案的逻辑思维过程。D 老师将各个教学环节部分中隐藏的思维策略及过程都显性化地教授给学生，在一步步的质疑追问和引导讲解下，帮助学生降低认知负荷，提高了学习的效率。教材呈现的实验思路可以作为学生在最近发展区内提升时需要借助的“脚手架”，而本案例中 D 老师则是在教学过程中将脚手架撤除，引导学生自主搭建实验方案。D 老师通过不断的提问、讨论和反馈的方式，实现了师生之间的有效互动教学，让学生在教学过程当中不断积极思考，及时监控并调整自身科学思维的发展进程。根据学生的差异化，教师提问的难度层层递进，有效地为不同水平学生的发展提供了支持。最后，课后思考的两种新型实验方案也为水平较高的学生提供了更深入的思考空间。

4.3.3 教学环节解构重建

本案例中 D 老师对教材内容做了指向科学思维的显性化教学重构。教材重构的目标是将教材中原本隐含的科学思维显性化呈现出来教授给学生。对现有教材进行了深入的内容分析和评估后发现，教材呈现的内容虽然能够覆盖本实验相关的考点知识，却无法充分为学生提供方法生成的逻辑演化过程，学生无法通过

教材中直接呈现的结论和方法领悟到方案确立的思维过程。因此，D 老师根据以上内容分析结果，制定了具体的教材重构方案，重新设置了本实验的教学环节，将每一个教学环节中涉及到的不同科学思维以显性化教学策略传授给学生，最终达成了教材解构重建的目标。

5. 课堂设计

利用本案例进行教学：首先，教师要提前带领学生开展科学思维和探究性实验教学研究的专题讨论，让研究生掌握科学思维的内涵、知道培养科学思维的主要依托和途径，重视实验在培养学生科学思维中的重要作用；其次，学生要研究课标要求，熟悉教材“实验：电池电动势和内阻的测量”的编排处理，并完成案例思考题且在课上汇报学习结果；再次，结合案例教师引导研究生开展“科学思维的挖掘和显性化教学策略”专题研讨，并达成共识；最后，要求研究生尝试编写一个科学思维显性化的实验教学设计并分享交流。通过理论探讨和实践让研究生体会科学思维显性化教学的可行性和促进学生科学思维发展的的优越性。具体案例使用流程如图 2

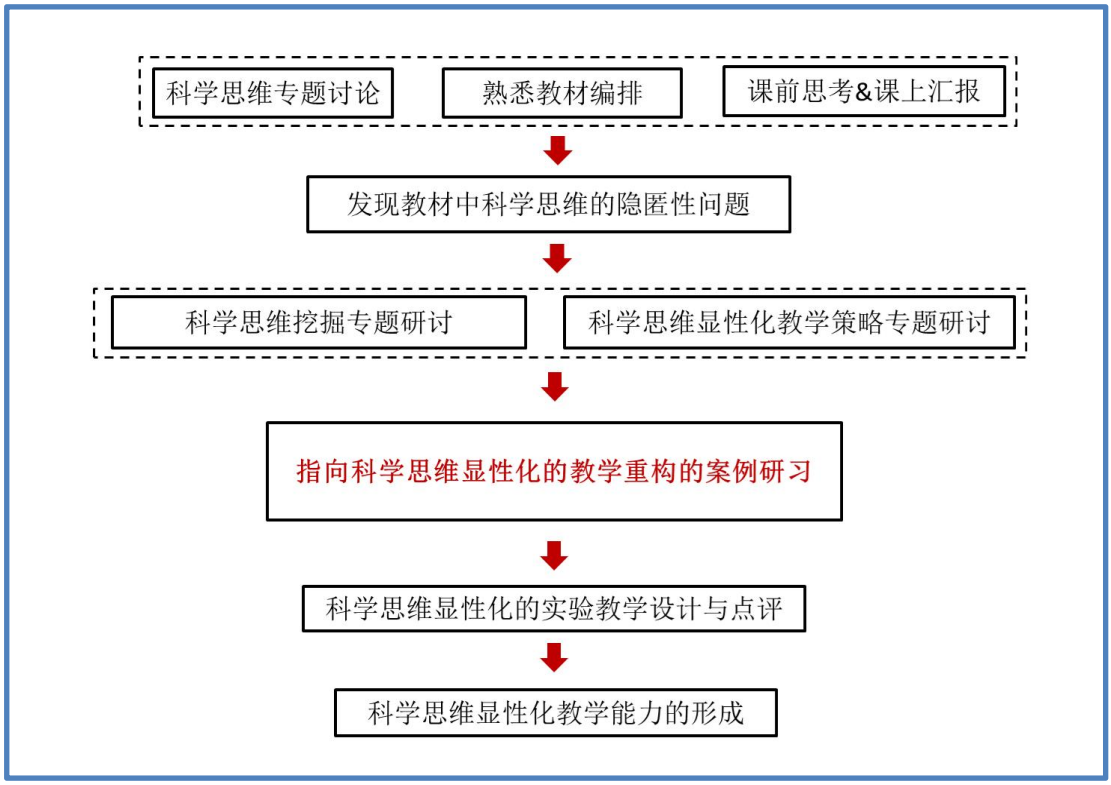

图 2 案例使用流程图

课时安排	教学内容	花费时间
第一节课	师生开展科学思维和探究性实验教学研究的专题讨论，使学生： 掌握科学思维的内涵； 知道培养科学思维的主要依托和路径； 重视实验在培养学生科学思维中的重要作用	45 分钟
第二节课	学生研究课标要求、熟悉教材的编排处理 完成案例思考题 汇报学习结果	45 分钟
第三节课	结合案例“实验：电池电动势和内阻的测量” 师生开展“科学思维的挖掘和显性化教学策略”专题研讨	45 分钟
第四节课	学生尝试编写一个科学思维显性化的实验教学设计并分享交流	45 分钟

6. 要点汇总

科学思维是一种基于证据、逻辑和推理的思维方式，它能够培养人们的批判思维能力、观察问题的深度和广度，进而帮助我们更好地面对复杂的现实世界。

培养和发展学生的科学思维是物理教育的首要目标。物理实验中蕴含着丰富的物理思想和方法，是培养学生科学思维的重要载体。教师在实验教学中要充分挖掘实验中的科学思维，并采取恰当的教学策略使其以显性化的方式呈现在学生面前，使得科学思维的教学从“含蓄的隐性的”转变为“直接的显性的”，打破科学思维培养的神秘性，有效促进学生科学思维的形成与发展。

6.1 科学思维

实验教学中要引导新手教师从重知识传授转向重能力培养，要善于发现和挖掘实验中蕴含的科学思维要素，并采用恰当的显性化教学策略，帮助学生构建正确的科学思维。

6.2 显性化教学策略

显性化教学为平衡知识传授效率与发展学生高阶思维，兼顾不同水平学生的基础性知识教育和高阶创新能力培养提供了解决方案。这种直接的有意识的教学方式有利于学生培养科学思维中的系统性和条理性，让学生能够更好的组织自己的知识体系，从而更好的深入理解和应用所学知识。并且，显性化教学策略可以

涵盖多个学科领域的知识，鼓励学生跨学科融合与交叉应用所学知识（如本案例中数理思维的联动）去解决生活中的实际问题，也有助于培养学生科学思维中的综合性和创新性。

6.3 教学环节解构重建

案例中 D 老师在备课过程中进行反思，发现自己过往的教学往往更加侧重知识的传授而忽略了科学思维的培养，不可避免地存在“教教材”的情况。因此，对教材提供的教学环节重新解构和搭建的过程为像 D 老师一样的新手教师提供了新的教学思路，能够帮助新老师向更具有专业性和研究性的方向发展。

7. 前置阅读

[1]Hollingsworth, J., & Ybarra, S. (2009).Explicit direct instruction (EDI): The power of the well-crafted, well-taught lesson. Corwin Press.

[2]陈运保,刘青,杨兆媛.初中生科学论证思维的评价研究[J].物理教学，2022,44，(11):35-38.

[3]戴耀东.基于学习进阶的高中物理实验教学设计——以“探究加速度与力、质量的关系”为例[J].物理教师,2023,44(09):13-16.

[4]冯杰,韩笑天,叶彬恩.刍议物理思维与数学思维的差异性——也谈基础教育阶段“为什么物理难学又难教?”[J].物理教师,2022,43(08):2-7+12.

[5]葛建光,滕建强.基于原始物理问题培养科学思维的探讨[J].物理教师,2023,44(12):14-17.

[6]胡卫平,郭习佩,季鑫等.思维型科学探究教学的理论建构[J].课程.教材.教法,2021,41(06):123-129.DOI:10.19877/j.cnki.kcjcjf.2021.06.024.

[7]林达彬.指向解决问题能力 考查科学思维素养——评析 2022 年全国高考福建物理卷第 15 题[J].物理教学,2023,45(07):73-76+79.

[8]孙龙周.指向学生科学思维的初中物理教学[J].物理教师,2023,44(05):45-47+50.

[9] 向治.高考对《测电源电动势和内电阻》的考查[J].物理教学,2008,30（10）:40-42.

[10]杨燕.物理教学中学生质疑能力的培养[J].教学与管理,2010(09):127-128.

[11]袁媛,朱宁波.高中生物理模型思维的分层测试研究——基于 SOLO 分类评价理论和哥特曼量表法[J].物理教师,2019,40(06):2-4+8.

[12] 赵国庆,孙兴艳,盛海曦等.显性直接教学的概念演进、核心内涵与实践启示[J].远程教育杂志, 2023,41(05):28-37.DOI:10.15881/j.cnki.cn33-1304/g4.2023.05.003.