

巧用“微元法”培养学生高阶思维能力

——以 2023 年新课标理综卷物理第 26 题为例

吕 磊

广东省珠海市实验中学 广东珠海 519090

摘 要：“微元法”是一种基于物理学研究方法，它是将大物体分解为无穷多个微小单元，并通过对每个微小单元的分析 and 推导，最终得出整个物体的性质和物理规律。本文尝试用“微元法”求解 2023 年新课标理综卷物理压轴题，着重强调利用微元思想在动量定理中的应用——巧妙解决电磁感应中金属线框运动的综合问题，引导学生学会以数学知识对物理综合问题进行解决，进而培养其解决实际问题的能力以及物理高阶思维核心素养的能力。

关键词：新课程标准；高阶思维；微元法；物理高考压轴题；金属线框；

对于物理学的概念，《普通高中物理课程标准（2017 年版 2020 年修订）》总结它属于一种系统的研究方法 with 理论体系，以观察和实验为基础，应用的工具有物理模型、数学方法等，以物理模型的建构、数学方法的应用等作为工具，加上科学推理、科学论证，最终形成的一门学科。2023 年高考新课标卷理综物理试题，坚持了新高考的评价体系，即：“一核”、“四层”、“四翼”考查的要求，依据新课程标准和新教材，突出了物理学科主干内容和关键能力的考查，注重体现物理学科的特色，合理选取生活情境，注重考查科学思维以及解决实际问题的能力。尤其是最后压轴题第 26 题考查的是电磁感应金属线框的综合问题，引起了笔者的注意和兴趣，其题目如下：

例题：有一正方形金属细框，它的特征包括：边长为 L 、质量为 m ，每一条边的电阻都是 R_0 ，此金属框被置于一个光滑且绝缘的水平桌面（即纸面）之上。在桌面上，存在一个宽度为 $2L$ 的特殊区域，该区域内充满了与纸面垂直的匀强磁场。此磁场的磁感应强度设为 B ，并且其边界由左右两条虚线明确界定，具体布局可见图 1（a）。

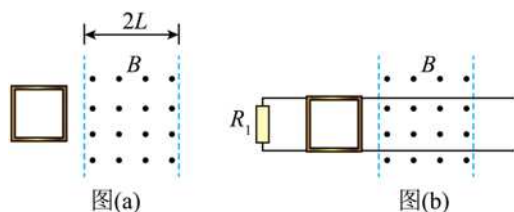


图 1

求：（1）设定金属框以某一初始速度向右运动，并进入右侧磁场区域。金属框的左侧与右侧边框均与磁场边界保持平行。当金属框完全穿越磁场区域后，其速度降低至初始速度的一半。求金属框的初速度。

（2）将两条光滑长直金属导轨固定在桌面上，确保导轨与磁场边界垂直。导轨的左端连接有一个电阻 $R_1 = 2R_0$ ，且导轨自身的电阻可忽略不计。将金属框放置于导轨之上，具体布局见图 1（b）。以与（1）中相同的初始速度使金属框做方向朝右的运动并进入磁场区域。期间，金属框的上边框与下边框上边框与下边框每一处都与导轨保持接触良好的状态。要求计算电阻 R_1 在金属框运动全程所产生的热量。

本题考查的是金属线框在变化的安培力作用下的运动，在高中阶段，主要学习研究的是金属线框在恒力作用下的运动或者是均匀变化的线性关系变化作用力下的运动情况，比较少涉及到非线性关系变化作用力下的运动情况，笔者也查阅了大量文献资料和相关论文，发现大多数是利用平均力的方法或者图像法来处理这类问题。笔者认为用平均力的方法来解决这类问题不够严谨、缺少科学性；而用图像法来解决这类问题，对很多人来说比较陌生。笔者尝试用“微元法”来求解，该问题就迎刃而解了，收到了很好的效果，具体分析如下。

首先，利用“微元法”，对金属线框在磁场中的运动进行处理，由动量定理来证明通项公式。金属线框在磁场

中运动受到安培力的作用, 设 t 时刻线框的瞬时速度是 v , 而 $(t + \Delta t)$ 时刻线框的瞬时速度是 $(v + \Delta v)$ 。由法拉第电磁感应定律: $E = BLv$; 由欧姆定律得: $I = \frac{E}{R_{\text{总}}}$; 由通电导线在磁场中受到的安培力得: $F = BIL$; 对上面三个物理公式联立得: $F = \frac{B^2 L^2 v}{R_{\text{总}}}$; 对金属线框进行动量定理得:

$$-\frac{B^2 L^2 v}{R_{\text{总}}} \Delta t = m(v + \Delta v) - mv, \text{ 即: } -\frac{B^2 L^2}{R_{\text{总}}} v \Delta t = m \Delta v$$

, 从而 $-\frac{B^2 L^2}{R_{\text{总}}} \Delta x = m \Delta v$; 对等式两边同时进行积分即得

$$\text{通项公式: } \frac{B^2 L^2}{R_{\text{总}}} x = m(v_t - v_0) \quad (1)$$

其次, 第 (1) 问, 可将金属线框在磁场区域内的运动分成三个阶段: 一是金属线框即将进入磁场区域到恰好完全进入磁场区域的阶段, 此时安培力充当合力; 二是金属线框恰好完全进入磁场区域到即将离开磁场区域的阶段, 此时磁通量不发生改变, 由法拉第电磁感应定律, 金属线框中无感应电流通过, 即线框不受安培力的作用, 做的运动为匀速直线运动; 三是金属线框即将离开磁场到恰好完全离开磁场的阶段, 此时金属线框的受力情况类似于第一阶段, 利用上面的通项公式 (1), 将 $x = 2L$, $R_{\text{总}} = 4R_0$,

$$v_t = \frac{1}{2} v_0 \text{ 分别代入 (1) 式得: } v_0 = \frac{B^2 L^3}{m R_0}, \text{ 即得证。}$$

最后, 对第 (2) 问进行分析, 金属线框的运动依然可分为三个阶段。第一阶段: 电路图可等效为如图 2 所示。

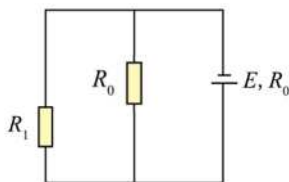


图 2

将金属线框的初速度设为 v_0 , 完全进入磁场区域时的末速度为 v_1 , 规定正方向朝右。忽略导轨电阻, 线框

$$\text{上下被短路, 并联电阻 } R_{\text{总}} = R_0 + \frac{2R_0 \cdot R_0}{2R_0 + R_0} = \frac{5R_0}{3},$$

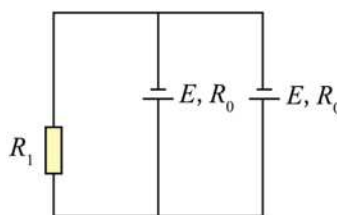
按照动量定理: $-\frac{B^2 L^3}{R_{\text{总}}} = mv_1 - mv_0$, 可以计算得出:

$$v_1 = \frac{2B^2 L^3}{5m R_0} = \frac{2}{5} v_0, \text{ 能量守恒定律: } \frac{1}{2} m v_0^2 = Q_1 + \frac{1}{2} m v_1^2,$$

可得出: $Q_1 = \frac{21B^4 L^6}{50m R_0^2}$, 根据规律“串联电路中电阻发热

量与电阻大小成正比”, 可得: $Q_{R_1} = \frac{2}{15} Q_1 = \frac{7B^4 L^6}{125m R_0^2}$;

第二阶段: 金属线框在这一阶段已经完全进入到磁场区域内, 它的左边与右边都作为电源, 得到图 3 的等效电路图:



这一情况下, 回路总电阻: $R'_{\text{总}} = 2R_0 + \frac{R_0}{2} = \frac{5R_0}{2}$

设该金属线框刚刚离开磁场区域时的速度为 v_2 , 由动

量定理可得: $-\frac{B^2 L^3}{R'_{\text{总}}} = mv_2 - mv_1$, 计算得出 $v_2 = 0$ 。

反映出金属线框刚离开磁场区域的时候就处在了停止运动的状态, 运动过程到此结束, 不再有第三阶段。由能

量守恒定律得到 $\frac{1}{2} m v_1^2 = Q_2$, 其中 $Q'_{R_1} = \frac{4}{5} Q_2 = \frac{8B^4 L^6}{125m R_0^2}$;

电阻 R_1 在线框运动开始至结束的全过程中, 产生的热量:

$$Q_{R_1 \text{总}} = Q_{R_1} + Q'_{R_1} = \frac{3B^4 L^6}{25m R_0^2}.$$

“微元法”在近几年的物理新高考中出现的比例逐渐增大, 利用“微元法”可以将复杂的综合物理问题——非线性变力问题, 进行物理公式处理和数学变形, 并与高中物理常用的动量定理进行巧妙的结合应用。对于学生的物理“微元法”的强化训练以及物理核心素养的培养和渗透都有很大的促进作用, 我们在平常的教育教学中可以引导学生积极的探索和使用“微元法”来解决类似的非线性变化受力的物理综合问题。

“微元法”即是一种重要的思维方法, 又是解决问题

的一种高阶工具。“微元法”就是将复杂的物理问题分解为许多微小问题，让每个微小问题通过分解求和，从而得到整体的解析结果，让学生在求解物理问题过程中，更加深入地理解和感悟物理学的基本原理，进一步培养学生的抽象思维和解决实际问题的综合能力。笔者以这道题为例，利用“微元法”对其进行了深度剖析，以期待高中生在物理高阶思维上的培养和数学方法视野上的拓展，同时也希望广大教育工作者注重学生物理科学方法和物理核心素养的培养及落实。

作为高阶能力的核心所在，高阶思维以创新能力、问题求解能力、决策力、批判性思维能力为直接表现。它是知识时代对人才素质的新要求，对适应时代发展至关重要。对于高中生而言，高阶思维不仅是创新素养的核心要素，也是物理教学中的重要培养目标。为了培养高中生的高阶思维能力，物理教学应注重以下方面：一是将高阶学习活动作为学生活动的载体；二是以学习者为中心，围绕学习者进行一系列问题求解的学习活动；三是构建兼具知识共享与互动合作特点的学习模式。基于有目的、有意识的教学设计与课堂引导，推进并实现学生思维发展水平探讨的强化，以积累有关该领域及环节的经验，进一步总结多样化的研究成果。作为弘扬人的主体性的关键形式之一，对学习者的能力进行推进不仅有助于开发人的潜能、发展人独有的创造性，也有利于学习者形成健全的人格；

这同时也是素质教育的表现，是新课改所强调的其中一个层面的主要精神。

参考文献：

- [1] 中华人民共和国教育部. 普通高中物理课程标准 [M]. 人民教育出版社, 2020.
- [2] 中华人民共和国教育部. 2023 年普通高中新课标理综卷物理试卷第 26 题.
- [3] 刘刚. 巧用 $v-x$ 图像解 2023 年新课标卷理综物理压轴题 [J]. 物理教师, 2023, 44 (7): 83-84.
- [4] 马力力. “微元法”巧解 2013 年高考物理压轴题 [J]. 考试与评价研究, 2014 (7): 104-106.
- [5] 林勤. 物理教学中培养高中生高阶思维能力的思考 [J]. 物理教学探讨, 2014 (11): 1-5.
- [6] 袁菊. 高中物理教学中“微元法”教学策略初探 [J]. 数理天地, 2024 (8): 67-69.

作者简介：

吕磊 (1981—)，男，河南，光学硕士研究生，中学物理高级教师，任教于广东省珠海市实验中学，兼任物理备课组长。

基金项目：

本文系 2024 年度立项广东省基础教育课程教学改革深化行动专题研究项目《指向高阶思维的高中物理设计型学习研究》建设成果。