

对2023年高考物理全国卷“压轴题”分析与研究

田博芳

蒲城县尧山中学

摘要：“压轴题”通常是高考物理命题的风向标，是整张试卷中最有分量、最能反映试卷风格、最具甄别和选拔功能的题型，对高中物理复课备考有不可替代的导向作用。该类题型往往知识综合性强，对考生能力要求高，解题过程复杂，素材情景新颖。对高考物理压轴题的研究对于把握高考命题的趋势以及教学策略的制定意义重大。

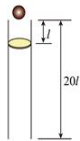
关键词：压轴题；学科素养；图像法；归纳法；结论法；以碰撞为载体；复习备课；有效性

【DOI】10.12252/j.issn.2096-6288.2023.08.027

2023年高考全国甲、乙卷物理的整体难度有所降低，特别是“压轴题”第25题较前两年难度下降较多。全卷除了第25题的最后一问，其余试题都比较经典、比较常规、覆盖的知识面广，突出主干知识、注重考查物理学科五大能力要求和四大学科核心素养。下面我将自己对乙卷和甲卷，特别是乙卷的“压轴题”进行分析，并提出对2024届高三针对“压轴题”的复习备考的建议。

一、对乙卷“压轴题”的分析

25. (20)如图，一竖直固定的长直圆管内有一质量为 M 的静止薄圆盘，圆盘与管的上端口距离为 l ，圆管长度为 $20l$ 。一质量为 $m = \frac{1}{3}M$ 的小球从管的上端口由静止下落，并撞在圆盘中心，圆盘向下滑动，所受滑动摩擦力与其所受重力大小相等。小球在管内运动时与管壁不接触，圆盘始终水平，小球与圆盘发生的碰撞均为弹性碰撞且碰撞时间极短。不计空气阻力，重力加速度大小为 g 。求：



- 第一次碰撞后瞬间小球和圆盘的速度大小；
- 在第一次碰撞到第二次碰撞之间，小球与圆盘间的最远距离；
- 圆盘在管内运动过程中，小球与圆盘碰撞的次数。

分析：这道题和2020年陕西卷“压轴题”竖直的板块模型很像，也是一根管一个球，但这道题与板块模型不沾边，因为题目中明确说明圆盘所受滑动摩擦力与其所受重力大小相等。这句话透露了两个信息点：① 只要盘不动，那它就可以平衡，仍保持静止状态，直到小球撞击它才会动；② 只要盘被小球撞击了，它就一定会向下做匀速直线运动。所以这道题的物理情景一下子就清楚了，小球撞击圆盘后，圆盘速度增大并向下匀速直线，当以 g 做匀变速直线运动的小球与圆盘再次相遇时，继续撞击圆盘使其速度变大，圆盘将以更大的速度向下匀速直线，如此持续下去，直到脱离圆管；

解析：

(1) 小球从距离圆盘 l 处下落至圆盘所在位置的速度为 v_0 ，

由自由落体运动的规律得， $v_0 = 2gl$ 。

小球与圆盘发生弹性碰撞的过程中，

由动量守恒定律得： $mv_0 = mv_1 + Mv_2$

由机械能守恒定律得： $\frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}mv_1^2 + \frac{1}{2}Mv_2^2$

$$\text{解之得： } v_1 = -\frac{v_0}{2} = -\sqrt{\frac{gl}{2}} ; v_2 = \frac{v_0}{2} = \sqrt{\frac{gl}{2}}$$

(2) 第一次碰撞后，小球做竖直上抛运动，圆盘匀速下滑。

小球在上升阶段，两者运动方向相反，两者间距在增大；当小球从轨迹最高点自由下落时，只要圆盘下降速度比小球快，二者间距仍会不断增大，故当二者速度相同时，间距最大；下面用两种方法来求解最远距离。

方法一：巧选参考系法

以圆盘为参考系，规定向下为正，小球的相对初速度、加速度分别为：

$$v_{0\text{相}} = v_{\text{球}} - v_{\text{盘}} = -\frac{v_0}{2} - \frac{v_0}{2} = -v_0, a_{\text{相}} = g;$$

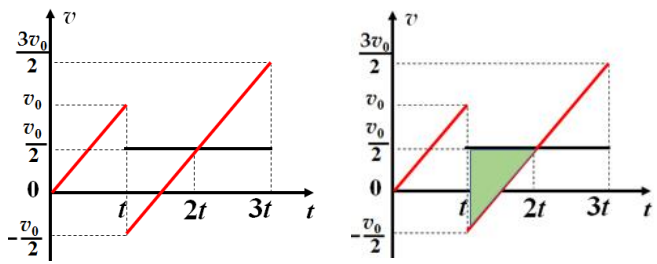
故：以盘为参考系，小球以 v_0 做竖直上抛运动，当

小球速度减为零时，两者相距最远； $h_{\text{max}} = \frac{v_0^2}{2g} = l$ ；且上

升到最高点所用的时间为 $t = \frac{v_0}{g}$ ；

方法二：v-t图像法

规定向下为正，它们的v-t图像如图所示：



在 $0 \sim t$ 时间内，小球自由下落，在 t 时刻发生第一次碰撞；

在 $2t$ 时刻速度相等，两者相距最远，由于两条图线围成的面积表示相对位移，所以右图阴影区域的面积表

示最远距离 $h_{\text{max}} = \frac{v_0}{2} \cdot \frac{v_0}{g} = \frac{v_0^2}{2g} = l$ ；

(3) 方法一：解析法

以其中的某一次碰撞进行研究，设碰前小球和圆盘的速度分别为 v_1 和 v_2 ，碰后速度分别为 v_1' 和 v_2' ，根据弹性碰撞的特点，核心方程分别为：

$$mv_1 + Mv_2 = mv_1' + Mv_2' \quad \text{①}$$

$$\frac{1}{2}mv_1^2 + \frac{1}{2}Mv_2^2 = \frac{1}{2}mv_1'^2 + \frac{1}{2}Mv_2'^2 \quad \text{②}$$

联立①、②两式，可得： $v_1 + v_1' = v_2 + v_2'$ ，即 $v_1 - v_2 = v_2' - v_1'$

这说明碰前小球相对圆盘的速度（ $v_1 - v_2$ ）与碰后的相对速度等大反向，即“相对相反”。

以圆盘为参考系，第一次碰后，小球相对圆盘以 v_0 做竖直上抛运动，经 $\Delta t = \frac{2v_0}{g}$ 时间，小球仍相对于圆盘以速度 v_0 下落至圆盘所在位置与圆盘再次碰撞，碰撞前后球相对盘的速度继续相对相反，故任意的相邻两次碰撞过程的时间间隔相等均为 $\frac{2v_0}{g}$ 。

由①、②可得： $v_2' = \frac{2mv_1 + (M-m)v_2}{m+M}$

圆盘碰后与碰前速度变化量为 $\Delta v_u = v_2' - v_2 = \frac{2m(v_1 - v_2)}{m+M} = \frac{v_0}{2}$

由此可见，每发生一次碰撞，圆盘的速度比前一次增加 $\frac{v_0}{2}$ 。由于任意的相邻两次碰撞的时间间隔相等，所以每发生一次碰撞，圆盘匀速直线运动的位移比前一次增加 Δx ，

$$\Delta x = \frac{v_0}{2} \cdot \frac{2v_0}{g} = \frac{v_0^2}{g} = 2l。$$

在第一次与第二次碰撞的时间间隔内，圆盘的位移为 $x_{12} = \frac{v_0}{2} \cdot \frac{2v_0}{g} = \frac{v_0^2}{g} = 2l$ ；

在第二次与第三次碰撞的时间间隔内，圆盘位移为 $x_{23} = x_{12} + \Delta x = 4l$ ；

在第三次与第四次碰撞的时间间隔内，圆盘位移为 $x_{34} = x_{23} + \Delta x = 6l$ ；

假设小球和圆盘总共发生了 n 次碰撞，圆盘向下的总位移为：

$$x_{12} + x_{23} + x_{34} + \dots + x_{n-1, n} = 2l + 4l + 6l + 8l + \dots + (n-1)2l$$

由题意得：圆盘在管内下落的距离为 $19l$ 。

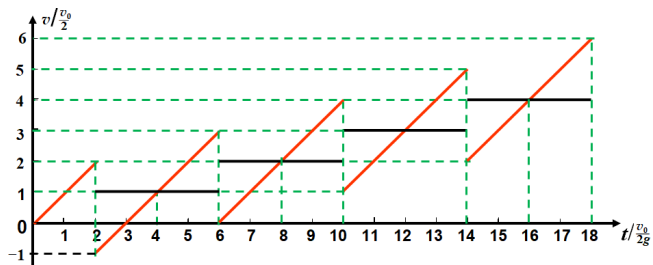
$$2l + 4l + 6l + 8l + \dots + (n-1)2l \leq 19l$$

$$\text{解之得：} n \leq \frac{-1 + \sqrt{85}}{2}$$

故：圆盘在管内运动过程中，小球与圆盘碰撞的次数为4次；

方法二：v-t图像法

我们也可以用v-t图像直观地反映两物体的运动情况，规定向下为正，在整个运动过程中，小球和圆盘的v-t图像如图所示：



根据图像也可以得出：若发生5次碰撞，则圆盘在管内下落距离恰好为 $20l$ ，不满足题意，故只能碰撞4次。

2. 题后反思：

(1) 这道题体现了弹性碰撞中的两个二级结论：

① 半速反弹：在一动一静的弹性碰撞中，若入射小球质量与被碰小球质量之比为1:3，则碰后两物体的速度等大反向，为碰前入射小球速度的一半；

② “相对相反”：在弹性碰撞中，两物体在碰撞前的相对速度与碰后的相对速度等大反向。即碰前的接近速度 $v_1 - v_2$ 与碰后的远离速度 $v_2' - v_1'$ 相等。

(2) 如果用常规的解法，需要熟练求解两运动物体发生弹性碰撞后的速度大小，由于运算过程较为繁琐，所以要注意数据处理的技巧，以便最大限度的减少运算量。

我们可用“增速法”来求解弹性碰撞的碰后速度。在答卷时，我们先正确书写出弹性碰撞的两个核心方程，再根据小球碰撞过程的三个速度 v_1 、 $v_{共}$ 、 v_1' 之间的等差关系，可快速求出 v_1' ，同理圆盘的三个速度 v_2 、 $v_{共}$ 、 v_2' 之间也为等差关系，可快速求出 v_2' 。

即： $v_1' = 2v_{共} - v_1$ ， $v_2' = 2v_{共} - v_2$ ；其中 $v_{共}$ 为两物体挤压形变最大时两物体的速度，它们此时的速度相同。

(3) 此题中除了相遇时的碰撞外，就是最为常规的追赶相遇问题，可以通过“换参法”简化运动情景。

如果以圆盘为参考系，每次碰撞结束后小球相对于圆盘以向上的初速 v_0 和 $a=g$ 的加速度做竖直上抛运动，故任意的相邻两次碰撞之间的时间间隔相等。

综上所述，此题最关键的两个特点是：物体的碰撞是等时间间隔的；每次碰撞前相对速度相等均为 v_0 ，碰

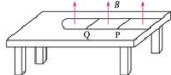
撞前后速度满足“相对相反”。

总之，在解题时要注意题设的条件、原因、发展趋势和逻辑联系。

二、对甲卷“压轴题”的分析

25. (20)如图，水平桌面上固定一光滑U型金属导轨，其平行部分的间距为*l*，导轨的最端与桌子右边缘对齐，导轨的电阻忽略不计。导轨所在区域有方向竖直向上的匀强磁场，感应强度大小为*B*。二质量为*m*、电阻为*R*、长度也为*l*的金属棒*P*静止在导轨上。导轨上量为*3m*的绝缘棒*Q*位于*P*的左侧，以大小为*v₀*的速度向*P*运动并与*P*发生弹性碰撞，碰时间很短。碰撞一次后，*P*和*Q*先后从导轨的最右端滑出导轨，并落在地面上同一地点。在导轨上运动时，两端与导轨接触良好，*P*与*Q*始终平行。不计空气阻力。求：

- (1) 金属棒*P*滑出导轨时的速度大小；
- (2) 金属棒*P*在导轨上运动过程中产生的热量；
- (3) 与*P*碰撞后，绝缘棒*Q*在导轨上运动的时间。



分析：这道题考察电磁感应的基本题型，虽然是甲卷的压轴题，但却是电磁感应中最基本的题型。初看情景图，好像属于双棒问题，但仔细审题就会发现它实际是无外力单棒切割问题。

这道题的关键点是*Q*棒是绝缘棒，它是不连入电路的，放在导轨上的作用只是和导体棒*P*发生了一次弹性碰撞，使*P*获得了一定的速度。所以它在磁场中运动时不产生感应电动势，也没有感应电流，不受安培力，所以碰撞前后均沿光滑的导轨匀速直线运动。

这道题的隐含条件是，两个棒分别脱轨后会落在地面上同一地点，也就是说导体棒*P*滑出导轨时的速度与*Q*棒弹性碰撞后的速度相等。

解析：

(1) 以*Q*和*P*系统，根据弹性碰撞的特点可得：

$$3mv_0 = 3m_1v_1 + m_2 v_2 \quad \text{-----} \textcircled{1}$$

$$\frac{1}{2} \cdot 3mv_0^2 = \frac{1}{2} \cdot 3m v_1^2 + \frac{1}{2}mv_2^2 \quad \text{-----} \textcircled{2}$$

联立①、②两式，解得： $v_1 = \frac{v_0}{2}, v_2 = \frac{3}{2}v_0$

此后，由于*Q*和*P*平抛的落地点相同，而*Q*以 $\frac{v_0}{2}$ 的速度做平抛运动，故导体棒*P*滑出导轨时的速度为 $\frac{v_0}{2}$ 。

(2) 导体棒*P*以 $\frac{3}{2}v_0$ 切割磁感线，产生感应电动势，导体棒中因产生感应电流而受安培力的作用向右减速，由动能定理得：

$$Q = W_{\text{安}} = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = mv_0^2$$

(3) 对导体棒*P*应用动量定理：

$$-\frac{B^2 l^2}{R} \frac{v}{v} t = m(\frac{v_0}{2} - \frac{3}{2}v_0) \quad \text{解之得：} \quad x = \frac{mRv_0}{B^2 L^2}$$

所以，碰撞后棒*Q*在导轨上运动的时间为*t* =

$$\frac{x}{v_1} = \frac{2mR}{B^2 L^2}$$

这道题要求学生能在熟悉的问题情境中应用所学的常见的物理模型；能对比较简单的物理问题进行分析和推理，获得结论；能使用简单和直接的证据表达自己的观点；具有质疑和创新的意识。

三、对2024届高三“压轴题”复习备考的建议

要想在高考物理中真正一举拔得头筹，除了要有扎实的知识基础，还需要计划性地备战策略。

1. 纵观往年试题，抓住命题方向。从往年试卷上看，考查率最高的知识点包含带电粒子在电磁场中的运动、电磁感应、能量守恒、动量守恒、动力学规律等，这些热门考点可作为我们备战的主攻方向。

2. 注重过程分析，紧扣物理模型。运动过程分析是把一个复杂的物理问题层层剥开的关键。解物理题的实质就是将实际问题转化为理想化的物理模型，然后运用物理、数学知识求解。

3. 知识之间融会贯通。学科知识是互通的，用数学思维解决物理问题，时刻关注最新的科技成果，新的科学技术，都可以提高物理问题的解决能力。

4. 克服心理障碍，合理把握时间。良好的心态是制胜的关键，要有正视压轴题的决心，不盲目悲观，更不盲目乐观，在合理把握时间的基础上，由简单处入手，步步为营，绝不轻言放弃。

5. 在一轮复习过程中力求做到以下几点：

- ①全面、细致、不遗漏。
- ②要从不同侧面理解知识，拓展情景、灵活运用。
- ③培养学生具体分析的习惯，而不是死套“方法”。
- ④不赞成盲目的搞一步到位，建议可以多次重复。知识点过得细一些、全面一些，让学生把基本概念、基本规律、原理解扎扎实，而且能力有一定的提高。学生要多思考、多练习，这样才能总结出适合自己的试题应对策略。

综上所述，高考物理压轴题解题讲究的是准确性以及考生分析问题的能力，所以复课备考中，既要注重对学生必备基础知识和关键能力的培养，也要关注学生的心理调适，力争引导学生在“压轴题”上取得较大突破。

参考文献

[1]束炳如、何润伟. 沪科版普通高中课程标准实验教科书选修物理3-5
 [2]张武伦. 浅谈动量守恒定律的应用[期刊论文]-课程教材教学研究(教育研究)2010(5)
 [3]何茂魁. 高中物理核心素养的培养策略[J]. 考试周刊, 2018(18): 55a