

# 从 2024 年几省高考压轴题看“配速法”的物理思想

李兴荣

昆明第一中学 云南昆明 650031

**摘要:** 在 2024 年高考甘肃卷第 15 题、海南卷第 19 题、山东卷第 18 题压轴题中都出现了带电粒子在复合场中的复杂曲线运动处理, 解决问题的关键都在于“配速法”的理解和应用, 那么什么是配速法, 配速法的本质到底是什么, 配速法为了什么而配速, 配速法应用的条件又是什么。本文从高考真题出发, 就这些重要问题进行剖析和总结, 帮助更多的读者对“配速法”和解决物理问题的重要思想更进一步的深入理解。

**关键词:** 复合场; 配速法; 物理思想

## 1. 核心素养立意为主的命题思路

国家教育部关于新时代推进普通高中育人方式改革的指导意见指出: 核心素养立意为主的命题思路要求加强综合性、应用性、创新性试题考查, 特别是学生运用所学知识分析问题和解决问题的学科素养。命题立意从概念、规律的知识立意到观念、思维为主的素养立意转变。带电粒子在复合场中的运动, 特殊情形下有匀速直线运动和匀速圆周运动, 但运动特征都过于简单而明显, 在高考中不能考查学生对复杂问题的综合分析能力。新高考实现从“考知识”到“考思维”的转变, 更加注重科学思维的考查, 服务拔尖创新人才选拔, 这一转变对学生的高阶思维提出了全新的要求。

## 2. 配速法的本质和应用条件分析

来看 2024 年甘肃卷 15 题: 质谱仪是科学研究中的重要仪器, 其原理如图 1 所示。I 为粒子加速器, 加速电压为  $U$ ; II 为速度选择器, 匀强电场的电场强度大小为  $E_1$ , 方向沿纸面向下, 匀强磁场的磁感应强度大小为  $B_1$ , 方向垂直纸面向里; III 为偏转分离器, 匀强磁场的磁感应强度大小为  $B_2$ , 方向垂直纸面向里。从 S 点释放初速度为零的带电粒子 (不计重力), 加速后进入速度选择器做直线运动、再由 O 点进入分离器做圆周运动, 最后打到照相底片的 P 点处, 运动轨迹如图中虚线所示。若速度选择器 II 中匀强电场的电场强度大小变为  $E_2$  ( $E_2$  略大于  $E_1$ ), 方向不变, 粒子恰好垂直打在速度选择器右挡板的  $O'$  点上。求粒子打在  $O'$  点的速度大小。

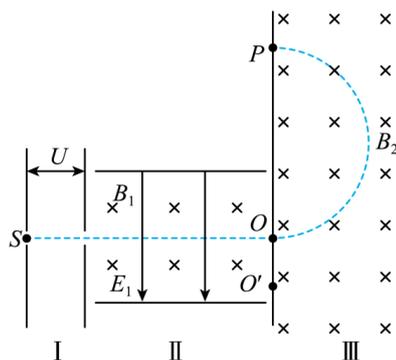


图 1 甘肃卷 15 题图

本题的创新点就在于从最基本模型速度选择器中创新出新问题, 匀强电场的电场强度大小变为  $E_2$  ( $E_2$  略大于  $E_1$ ), 此时洛伦兹力不再和电场力平衡, 粒子所受合外力不再为零, 则粒子的运动状态将发生变化, 速度变化, 粒子所受洛伦兹力也会随之变化, 从而导致粒子所受合力也跟着变化, 所以粒子将做复杂而不可控的曲线运动, 让解决第三问变得扑朔迷离, 如何突破这个有创新问法而又复杂的问题, 我们先来分析一个简单的问题:

如图 2 所示, 在场强为  $B$  的水平匀强磁场中, 一质量为  $m$ 、带正电  $q$  的小球从 O 点静止释放。求:

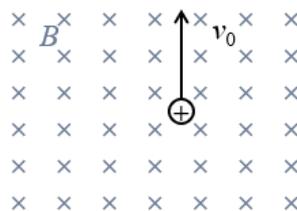


图 2 小球在磁场中运动问题图

(1) 小球在竖直方向上运动的最大距离  $H$  ;

(2) 小球从  $O$  静止释放后获得的最大速率  $v_{\max}$  和最小速率  $v_{\min}$  ;

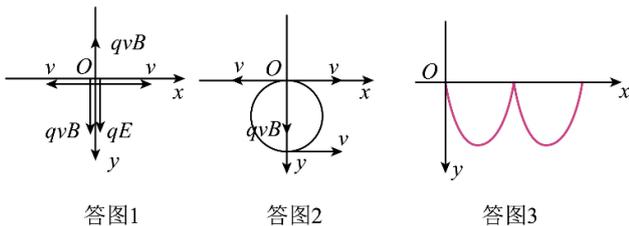


图 3: 带电小球在磁场中运动图

分析: 小球初速度为零, 起始时不受洛伦兹力, 但是受重力作用开始向下加速运动, 有了速度后小球开始受到洛伦兹力作用, 从而改变了小球受到的合外力, 又导致速度发生变化, 如此相互影响, 小球将做复杂的曲线运动而导致无法解决这个问题。如图 3 (答图 1) 所示, 把原本初速度为零的小球配上两个速度, 第一个速度  $v$  水平向右, 目的是为了这个分速度运动受到的分洛伦兹力与重力平衡, 满足  $mg = qvB$ , 为了让其和题意等效 (初速度为零), 需要再配另一个一个水平向左的速度  $v$ , 此分运动受到的分洛伦兹力让这个分运动做匀速圆周运动。这样, 小球的运动就被等效分解为两个分运动处理, 一个是水平向右速度为  $v$  的匀速直线运动, 另一个是速度为  $v$  的匀速圆周运动如图 3 (答图 2) 所示, 两个等效分解的分运动彼此独立, 两个分运动合成就是小球的合运动, 其运动轨迹为滚轮线如图 3 (答图 3)。

当在最低点时, 两个分运动速度方向相同, 合成时合速度最大, 所以带电粒子所能达到最大速度  $v_{\max} = 2v = \frac{2mg}{qB}$ , 而在最高点时, 当两个分运动速度方向相反时, 合成合速度最小,  $v_{\min} = 0$ , 粒子在竖直方向上的最大距离即为圆周运动的直径.  $qvB = m \frac{v^2}{R}$ ,  $H = 2R = \frac{2m^2g}{q^2B^2}$ 。

由上题分析可知: 带电粒子在复合场中所受合外力不为零时, 粒子的速度大小和方向都会变化, 洛伦兹力也会跟着变化, 这就导致合力也会跟着变化, 又会影响带电粒子的运动, 这样粒子将做比较复杂的曲线运动。这时, 如果我们为带电粒子配上一对等大反向运动的速度或对带电粒子的初速度进行拆分成两个分速度, 使其中一个分运动对应的洛伦兹力与重力平衡做匀速直线运动, 而另一个分运动对应

的洛伦兹力使粒子做匀速圆周运动, 至此, 带电粒子在复合场中的复杂的曲线运动就可以分解为两个我们比较熟悉的简单运动, 这种解决带电粒子在复合场中复杂曲线运动的化繁为简的方法称之为“配速法”。当然, 还有一种解决这种带电粒子在复合场中曲线运动的方法叫“正则动量定理”, 这里不再阐述。

通过例题分析可以看到, 所谓“配速法”其本质是应用了运动的合成与分解的思想, 将复杂的运动简化为两个简单的分运动来处理。化繁为简的物理方法能够帮助我们找到这个复杂运动的规律及运动的路径。其实, 分解思想从高一学习了矢量之后, 我们便开始给学生提出这个思想解决问题, 从位移、速度、加速度, 再到力, 处理复杂问题时都是采取化繁为简, 分解的思想, 这就是配速法解决物理问题的思维本质, 因此, 高中物理的学习要学会灵活应用运动合成与分解的思想, 这也是核心素养下对学生关键能力、学科素养、和思维品质的培养要求。

通过研究发现, 问题的复杂性就在于洛伦兹力和速度相关性导致, 恰恰是这个特点, 我们发现应用“配速法”解决问题时需要满足物体其中一个受力满足  $F = kv$  的条件。

即  $\vec{F} = k \vec{v} = k(\vec{v}_1 + \vec{v}_2) = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$ , 所以“配速”的目的是“配力”。

这样, 2024 年甘肃卷 15 题第三问的解决就找到了方法: 如图 4, 粒子进入 II 瞬间, 粒子受到向上的洛伦兹力  $F_{\text{洛}} = qv_0B_1$ , 向下的电场力  $F = qE_2$ , 由于  $E_2 > E_1$ , 且  $qv_0B_1 = qE_1$ , 所以通过配速法, 粒子再配上一个水平向右的速度  $v_1$  和水平向左的速度  $v_1$ , 如图所示, 其中满足  $qE_2 = q(v_0 + v_1)B_1$ , 则粒子在速度选择器中水平向右以速度  $v_0 + v_1$  做匀速运动的同时, 竖直方向以  $v_1$  做匀速圆周运动, 当速度转向到水平向右时, 满足垂直打在速度选择器右挡板的  $O'$  点的要求, 故此时粒子打在  $O'$  点的速度大小

$$v' = v_0 + v_1 + v_1 = \frac{2E_2 - E_1}{B_1}$$

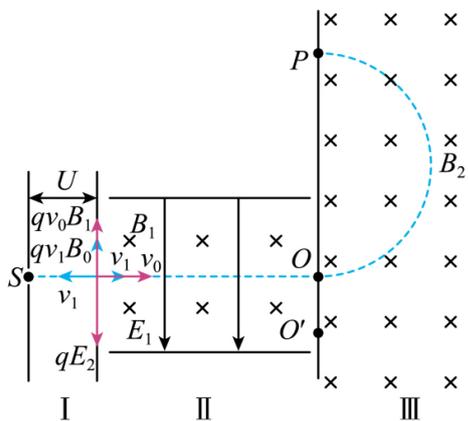


图 4 2024 年甘肃卷 15 题第三问图

### 3. 配速法应用的物理学思想

有了这个方法的深入思考，真正搞清楚什么是配速法，配速法的本质蕴含的到底是什么物理思想，配速法为了什么而配速，配速法应用的条件又是什么这些问题，即便初速度不为零，需要不在一直线上配速也能想到，因为配速法的物理学本质就是应用了运动的合成与分解的思想，比如下面这个问题：

如图 4 所示，空间中存在一无界的匀强磁场，磁感应强度为  $B$ ，让质量为  $m$ 、电量为  $q(q > 0)$  的带点小球（需要考虑重力）以初速  $v_0$  沿竖直向上发射。求该粒子运动过程中的最大速度值  $v_m$ ？

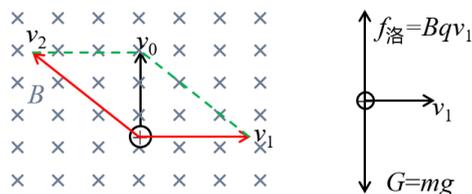


图 5：有初速度的带点小球在磁场中运动分析图

分析：如图 5，把初速度  $v_0$ ，分解成速度  $v_1$  和速度  $v_2$ ，由矢量分解有： $v_0^2 = v_2^2 - v_1^2$ ，粒子水平向右的速度  $v_1$  对应竖直向上的洛伦兹力平衡重力，其中： $mg = qv_1B$ ，因此，粒子的运动是水平向右速度为  $v_1$  的匀速直线运动和初速度斜向左上方，大小为  $v_2$  的逆时针匀速圆周运动的合运动，

最大速度  $v_m = v_1 + v_2$ ，联立得： $v_m = \frac{mg}{qB} + \sqrt{\left(\frac{mg}{qB}\right)^2 + v_0^2}$

而且，配速法不仅适用于带电粒子在复合场中合外力不为零的曲线运动背景，也适用于符合研究对象一个受力满足  $F = kv$  的情景问题，比如：

如图 6：将一可看做质点的小球从离地面高  $h$  处的  $A$  点以速度  $v_0$  水平抛出，小球运动中受到与速度成正比的空气阻力作用，且空气阻力始终和小球速度相反，下落到地面上的  $B$  点时速度方向与地面的夹角为  $45^\circ$ ，从  $A$  点抛出时小球受到的空气阻力最大，最大值恰好等于小球受到的重力，重力加速度大小为  $g$ 。则小球

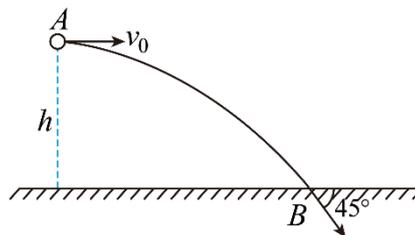


图 6 小球在空气阻力作用下的运动图

- A. 从  $A$  点运动到  $B$  点的过程中速度先减小后增大
- B. 落到  $B$  点时的速度大小为  $\frac{\sqrt{2}v_0}{2}$
- C. 水平射程为  $\frac{v_0^2}{2g}$
- D. 从  $A$  点运动到  $B$  点的时间为  $\frac{h}{v_0} + \frac{v_0}{2g}$

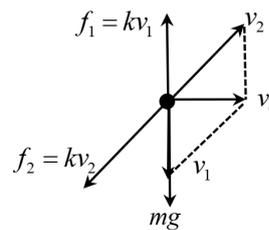


图 7：小球运动配速图

分析：如图 9，球从  $A$  点抛出时受到的空气阻力最大，最大值恰好等于自身受到的重力，则有  $f = mg = kv_0$ ，运用配速法，配一个分速度  $v_1$ ，使其阻力  $f_1 = kv_1$  与重力平衡，另一个分速度为  $v_2$ ，对应的阻力为  $f_2 = kv_2$ ，则小球的运动可分解为竖直向下的匀速直线运动和斜向上的变加速直线运动。如图所示，作出矢量三角形图，可见到  $B$  点时速度方向与水平地面的夹角为  $45^\circ$ ，则小球一直做减速运动，

由图知，落地点的速度为  $v = \frac{\sqrt{2}}{2}v_0$ ，斜向上  $45^\circ$  方向，

根据牛顿第二定律有  $a = \frac{kv}{m}$ ，累积可得  $\Delta v = \frac{ks}{m}$ ，则有

$\Delta v = \frac{\sqrt{2}}{2} v_0$ ,  $s = \frac{\sqrt{2} m v_0}{k}$ , 则有  $x = s \cos 45^\circ = \frac{v_0^2}{2g}$ , 竖直方向  
上有  $h = v_0 t - \sum v_i \cdot t$ , 其中  $y = x$ , 则有  $h = v_0 t - \frac{v_0^2}{2g}$ , 解  
得  $t = \frac{h}{v_0} + \frac{v_0}{2g}$ 。

#### 4. 结论

通过以上例题分析可以看到, 所谓“配速法”其本质是应用了运动的合成与分解的思想, 将复杂的运动简化为两个简单的分运动来处理, 化繁为简的物理方法能够帮助我们找到这个复杂运动的规律及运动的路径。这就告诉我们, 教师在教授解决物理问题的思维方法时, 不能只是简单的知识, 规律讲授, 也不能简单的把解题的程序、方法传授给学生。而要把方法背后的物理思想挖掘出来, 把背后的物理观念和物理思维讲清楚, 说明白。应注重培养学生分析解决问题的

高阶思维能力, 真正把解决物理问题重要思想分析到位, 才能有效应对高考, 这也才符合新课程、新高考的方向, 也是核心素养下物理的培育方向。

#### 参考文献:

- [1] 李燕, 李洪全. 带电粒子在斜交匀强电磁场中运动问题的解决探讨 [J]. 物理教师, 2020 (3): 69-71.
- [2] 张旭, 陈衍詠. 对配速法题目旋轮线轨迹的研究 [J]. 物理通报, 2021 (SI): 51-54.
- [3] 田如岚. 配速法在复合场中的应用 [J]. 物理通报, 2017 (10): 70-71.
- [4] 杨天才. 例析力和速度相互制约的典型模型 [J]. 数理化解题研究, 2023 (16): 112-116.

#### 作者简介:

李兴荣 男 1982 年 7 月 汉 本科 物理教育。