# 易错点10 不能准确分析带电粒子在磁场中的运动与临界问题

## 目 录

# 01 易错陷阱

## 易错点一：电流磁场的叠加和安培定则的应用

1.直流电流或通电螺线管周围磁场磁感线的方向都可以应用安培定则判定.

2.磁感应强度是矢量，叠加时符合矢量运算的平行四边形定则.

## 易错点二：安培力的分析和平衡问题

(1)安培力的方向特点：$F\perp B$，$F\perp I$，即 $F$ 垂直于 $B$ 和 $I$ 决定的平面。

(2)安培力的大小：应用公式 $F=IlB\sin\theta$ 计算弯曲导线在匀强磁场中所受安培力的大小时，有效长度 $l$ 等于曲线两端点的直线长度。

(3)视图转换：对于安培力作用下的力学综合问题，题目往往给出三维空间图，需用左手定则判断安培力方向，确定导体受力的平面，变立体图为二维平面图。

(1)类似于力学中用功与能的关系解决问题，通电导体受磁场力时的加速问题也可以考虑从能量的观点解决，关键是弄清安培力做正功还是做负功，再由动能定理列式求解。

(2)对于含电路的问题，可由闭合电路欧姆定律求得导体中的电流，再结合安培力分析求解。

## 易错点三：对洛伦兹力的分析不足

1.若 v∥B,带电粒子以速度 v 做匀速直线运动，其所受洛伦兹力 F=0,

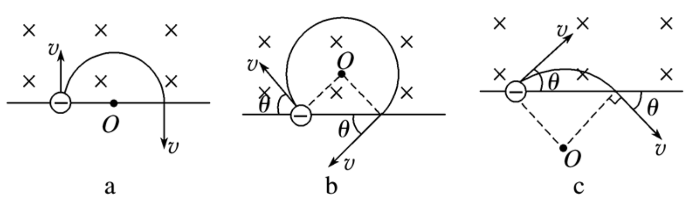
2.若 v ⊥B,此时初速度方向、洛伦兹力的方向均与磁场方向垂直，粒子在垂直于磁场方向的平面内运动.

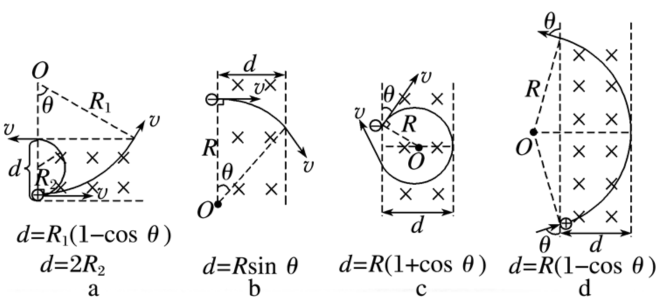
(1)洛伦兹力与粒子的运动方向垂直，只改变粒子速度的方向，不改变粒子速度的大小.

(2)带电粒子在垂直于磁场的平面内做匀速圆周运动，洛伦兹力提供向心力，

## 易错点四：带电粒子在磁场中运动的时间确定错误

不能明确下图几种情形下的运动时间问题



## 易错点五：混淆磁偏转和电偏转

“电偏转”与“磁偏转”的比较

| | 垂直电场线进入<br>匀强电场(不计重力) | 垂直磁感线进入<br>匀强磁场(不计重力) |
|---|---|---|
| 受力情况 | 电场力 $F_E=qE$，其大小、方向不变，与速度 $v$ 无关，$F_E$ 是恒力 | 洛伦兹力 $F_B=qvB$，其大小不变，方向随 $v$ 而改变，$F_B$ 是变力 |
| 轨迹 | 抛物线 | 圆或圆的一部分 |

## 易错点六：不能正确分析带电粒子在磁场中的临界问题

（1）关注题目中的“恰好”“最大”“最高”“至少”等关键词语，作为解题的切入点.

（2）关注涉及临界点条件的几个结论：

①粒子刚好穿出磁场边界的条件是带电粒子在磁场中运动的轨迹与边界相切；

②当速度$v$一定时，弧长越长，圆心角越大，则粒子在有界磁场中运动的时间越长；

③当速度$v$变化时，圆心角越大，对应的运动时间越长.

# 02 易错知识点

## 知识点一、安培力下的平衡

1．安培力的方向

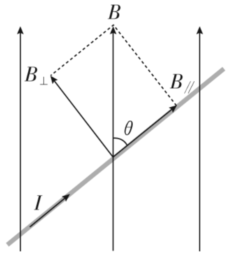
(1)用左手定则判断：伸开左手，使拇指与其余四个手指垂直，并且都与手掌在同一个平面内；让磁感线从掌心垂直进入，并使四指指向电流的方向，这时拇指所指的方向就是通电导线在磁场中所受安培力的方向。

(2)安培力方向的特点：$F\perp B$，$F\perp I$，即 $F$ 垂直于 $B$、$I$ 决定的平面。

(3)推论：两平行的通电直导线间的安培力——同向电流互相吸引，反向电流互相排斥。

2．安培力的大小

$F=IlB\sin\theta$(其中 $\theta$ 为 $B$ 与 $I$ 之间的夹角)。如图所示：




(1)$I\parallel B$ 时，$\theta=0$ 或 $\theta=180°$，安培力 $F=0$。

(2)$I\perp B$ 时，$\theta=90°$，安培力最大，$F=IlB$。

3.分析通电导体在磁场中平衡或加速问题的一般步骤

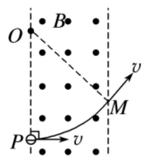
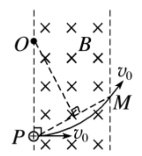
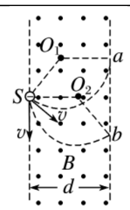
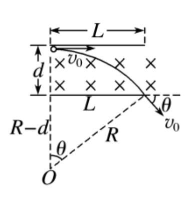
(1)确定要研究的通电导体。

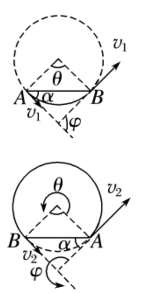
(2)按照已知力→重力→安培力→弹力→摩擦力的顺序，对导体作受力分析。

(3)分析导体的运动情况。

(4)根据平衡条件或牛顿第二定律列式求解。

## 知识点二、带电粒子在有界匀强磁场中的匀速圆周运动模型

| | 基本思路 | 图例 | 说明 |
|---|---|---|---|
| 圆心的确定 | ①与速度方向垂直的直线过圆心②弦的垂直平分线过圆心③轨迹圆弧与边界切点的法线过圆心 |  | $P$、$M$ 点速度垂线交点 |
| | |  | $P$ 点速度垂线与弦的垂直平分线交点 |
| | |  | 某点的速度垂线与切点法线的交点 |
| 半径的确定 | 利用平面几何知识求半径 |  | 常用解三角形法：例：(左图) $R=\dfrac{L}{\sin\theta}$或由 $R^2=L^2+(R-d)^2$ 求得 $R=\dfrac{L^2+d^2}{2d}$ |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 运动时间的确定 | 利用轨迹对应圆心角 $\theta$ 或轨迹长度 $L$ 求时间<br>①$t=\frac{\theta}{2\pi}T$<br>②$t=\frac{L}{v}$ |  | (1)速度的偏转角 $\varphi$ 等于 $\overset{\frown}{AB}$ 所对的圆心角 $\theta$<br>(2)偏转角 $\varphi$ 与弦切角 $\alpha$ 的关系：$\varphi<180°$时，$\varphi=2\alpha$；$\varphi>180°$时，$\varphi=360°-2\alpha$ |

## 知识点三、直线边界磁场

直线边界，粒子进出磁场具有对称性(如图所示)

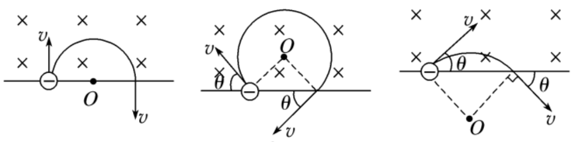
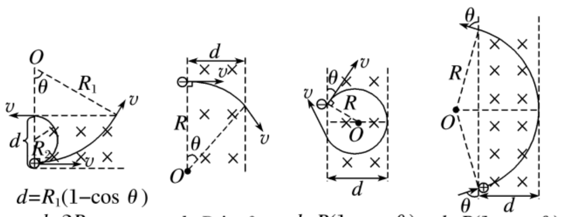



图 a 中粒子在磁场中运动的时间 $t=\frac{T}{2}=\frac{\pi m}{Bq}$

图 b 中粒子在磁场中运动的时间 $t=(1-\frac{\theta}{\pi})T=(1-\frac{\theta}{\pi})\frac{2\pi m}{Bq}=\frac{2m(\pi-\theta)}{Bq}$

图 c 中粒子在磁场中运动的时间 $t=\frac{\theta}{\pi}T=\frac{2\theta m}{Bq}$

## 知识点四、平行边界磁场




平行边界存在临界条件，图 a 中粒子在磁场中运动的时间 $t_1=\frac{\theta m}{Bq}$，$t_2=\frac{T}{2}=\frac{\pi m}{Bq}$

图 b 中粒子在磁场中运动的时间 $t=\frac{\theta m}{Bq}$

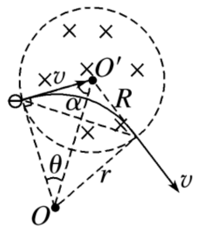
图 c 中粒子在磁场中运动的时间

$t=(1-\frac{\theta}{\pi})T=(1-\frac{\theta}{\pi})\frac{2\pi m}{Bq}=\frac{2m(\pi-\theta)}{Bq}$

图 d 中粒子在磁场中运动的时间 $t=\frac{\theta}{\pi}T=\frac{2\theta m}{Bq}$

# 知识点五、圆形边界磁场

沿径向射入圆形磁场的粒子必沿径向射出，运动具有对称性(如图所示)

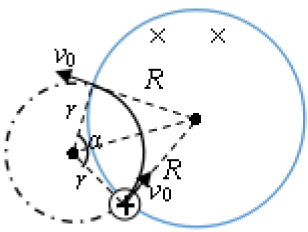
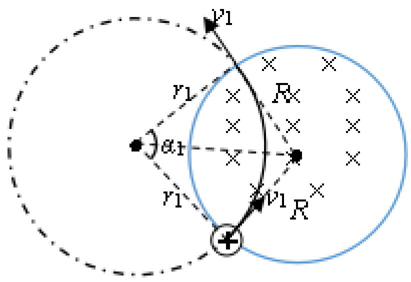
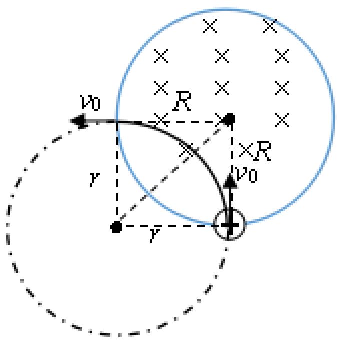



粒子做圆周运动的半径 $r=\frac{R}{\tan\theta}$

粒子在磁场中运动的时间 $t=\frac{\theta}{\pi}T=\frac{2\theta m}{Bq}$

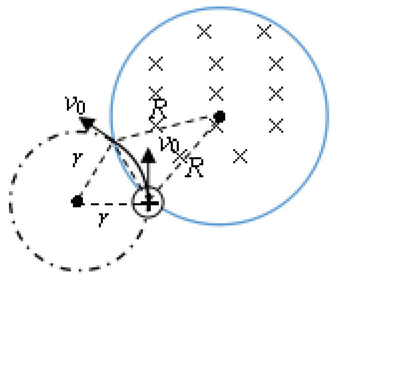
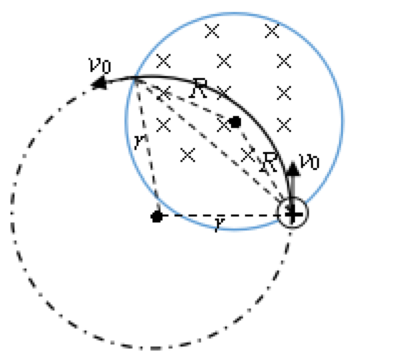
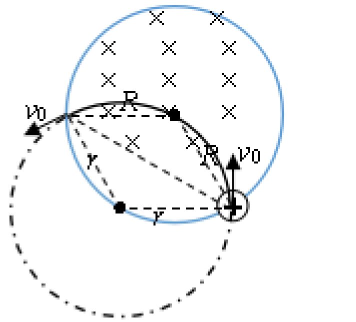
$\theta+\alpha=90°$

1．**圆形有界磁场问题**（1）

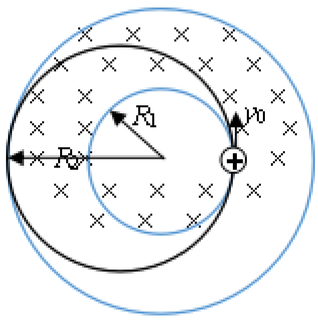
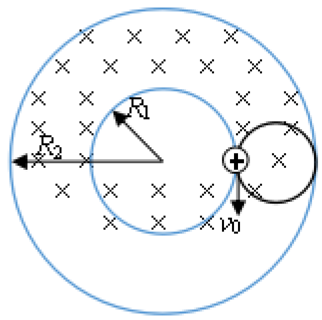
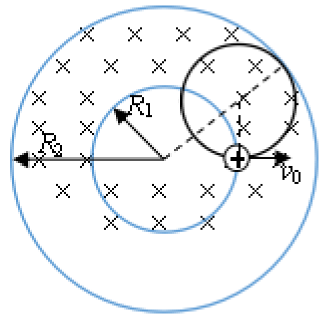
| 正对圆心射入圆形磁场区域 | | |
|---|---|---|
|  |  |  |
| 正对圆心射出，两圆心和出（入）射点构成直角三角形，有$tan\frac{\partial}{2}=\frac{R}{r}$磁偏转半径$r=\frac{R}{tan\frac{\partial}{2}}$，根据半径公式$r=\frac{mV_0}{qB}$求解；时间$t=\frac{\partial m}{qB}=\frac{\partial R}{v_0}$。速度 $v$ 越大→磁偏转半径 $r$ 越大→圆心角 $\alpha$ 越小→时间 $t$ 越短。若 $r=R$，构成正方形。 | | |

2．**圆形有界磁场问题**（2）

| 不对圆心射入圆形磁场区域 |
|---|

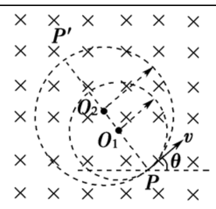
<table>
<tr><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">两个等腰三角形，一个共同的底边</td><td>若 $r=R$，构成菱形</td></tr>
</table>

## 知识点六、环形磁约束

<table>
<tr><td>临界圆</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>临界半径</td><td>$r=\dfrac{R_1+R_2}{2}$</td><td>$r=\dfrac{R_2-R_1}{2}$</td><td>勾股定理$(R_2-R_1)^2=R_1^2+r^2$<br>解得：$r=\sqrt{R_2(R_2-2R_1)}$</td></tr>
</table>

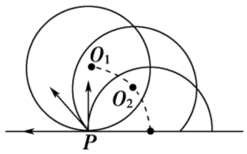
## 知识点七、数学圆模型在电磁学中的应用

## 模型一　“放缩圆”模型的应用

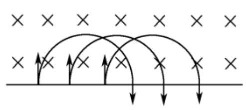
<table>
<tr><td rowspan="2">适用条件</td><td>速度方向一定，大小不同</td><td>粒子源发射速度方向一定，大小不同的带电粒子进入匀强磁场时，这些带电粒子在磁场中做匀速圆周运动的轨迹半径随速度的变化而变化</td></tr>
<tr><td>轨迹圆圆心共线</td><td>如图所示(图中只画出粒子带正电的情景)，速度 $v$ 越大，运动半径也越大。可以发现这些带电粒子射入磁场后，它们运动轨迹的圆心在垂直初速度方向的直线 $PP'$ 上<br></td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>界定方法</td><td>以入射点 $P$ 为定点，圆心位于 $PP'$直线上，将半径放缩作轨迹圆，从而探索出临界条件，这种方法称为“放缩圆”法</td></tr>
</table>

## 模型二　“旋转圆”模型的应用

<table>
<tr><td rowspan="2">适用条件</td><td rowspan="2">速度大小一定，方向不同</td><td>
</td><td>粒子源发射速度大小一定、方向不同的带电粒子进入匀强磁场时，它们在磁场中做匀速圆周运动的半径相同，若射入初速度为 $v_0$，则圆周运动半径为 $R=\frac{mv_0}{qB}$。如图所示</td></tr>
<tr><td>轨迹圆圆心共圆</td><td>带电粒子在磁场中做匀速圆周运动的圆心在以入射点 $P$ 为圆心、半径 $R=\frac{mv_0}{qB}$的圆上</td></tr>
<tr><td colspan="2">界定方法</td><td colspan="2">将一半径为 $R=\frac{mv_0}{qB}$的圆以入射点为圆心进行旋转，从而探索粒子的临界条件，这种方法称为“旋转圆”法</td></tr>
</table>

## 模型三　“平移圆”模型的应用

<table>
<tr><td rowspan="2">适用条件</td><td>速度大小一定，方向一定，但入射点在同一直线上</td><td></td><td>粒子源发射速度大小、方向一定，入射点不同，但在同一直线的带电粒子进入匀强磁场时，它们做匀速圆周运动的半径相同，若入射速度大小为 $v_0$，则半径 $R=\frac{mv_0}{qB}$，如图所示</td></tr>
<tr><td>轨迹圆圆心共线</td><td colspan="2">带电粒子在磁场中做匀速圆周运动的圆心在同一直线上，该直线与入射点的连线平行</td></tr>
<tr><td colspan="2">界定方法</td><td colspan="2">将半径为 $R=\frac{mv_0}{qB}$的圆进行平移，从而探索粒子的临界条件，这种方法叫“平移圆”法</td></tr>
</table>

## 模型四　“磁聚焦”与“磁发散”

1．带电粒子的会聚

如图甲所示，大量的同种带正电的粒子，速度大小相同，平行入射到圆形磁场区域，如果轨迹圆

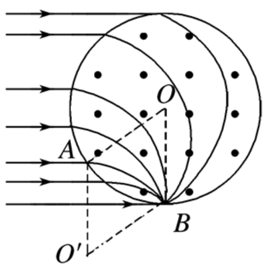
半径与磁场圆半径相等($R=r$)，则所有的带电粒子将从磁场圆的最低点 $B$ 点射出．(会聚)

证明：四边形 $OAO'B$ 为菱形，必是平行四边形，对边平行，$OB$ 必平行于 $AO'$(即竖直方向)，可知从 $A$ 点发出的带电粒子必然经过 $B$ 点．

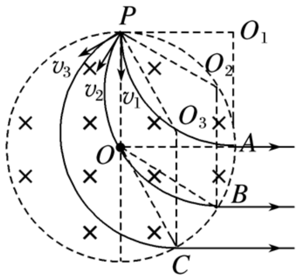
2．带电粒子的发散

如图乙所示，有界圆形磁场的磁感应强度为 $B$，圆心为 $O$，从 $P$ 点有大量质量为 $m$、电荷量为 $q$ 的正粒子，以大小相等的速度 $v$ 沿不同方向射入有界磁场，不计粒子的重力，如果正粒子轨迹圆半径与有界圆形磁场半径相等，则所有粒子射出磁场的方向平行．(发散)

证明：所有粒子运动轨迹的圆心与有界圆圆心 $O$、入射点、出射点的连线为菱形，也是平行四边形，$O_1A$($O_2B$、$O_3C$)均平行于 $PO$，即出射速度方向相同(即水平方向)．




甲




乙

## 03 举一反三 易错题型

## 题型一：安培力作用下的平衡与运动

**【例 1】**（2024•海珠区校级模拟）如图所示，安装在固定支架（图中未画出）上的光滑绝缘转动轴 OO' 两端通过等长的轻质细软导线（导线不可伸长）连接并悬挂长为 L、质量为 m 的导体棒 ab，导体棒横截面的直径远远小于悬线的长度，空间存在辐向分布磁场（磁极未画出），导体棒摆动过程中磁场方向总是垂直于导体棒，导体棒所在处的磁感应强度大小均为 B，开始时导体棒静止在最低点。现给导体棒通以方向向里的电流（电路未画出），若仅通过逐渐改变导体棒中的电流大小，使导体棒由最低点缓慢移动到悬线呈水平状态，则在这个过程中（　　）