# 快速解题模板

## 快速解题模板一　力　物体平衡

**一、重点题型**

1. 静态平衡:物体处于静止或匀速直线运动状态.

2. 动态平衡:使物体的状态发生缓慢地变化,物体在这一变化过程中始终处于一系列的平衡状态,这种平衡称为动态平衡.此类问题的特征是“缓慢”“慢慢”运动.

3. 三力平衡模型:三力作用下的平衡问题.

4. 多力平衡模型:三力以上的力作用下的平衡问题.

**二、常规解题方法**

1. **合成法、分解法**:物体受三个力作用而平衡,两力的合力与第三个力等大反向,即合成法.也可以将物体所受的其中一个力看作合力,其两个分力分别与物体受到的另两个力等大反向,即分解法.

2. **正交分解法**:物体受到三个或三个以上力的作用而平衡,选坐标轴时应使尽量多的力与坐标轴重合,将物体所受的力分解到相互垂直的两坐标轴上,每组力都满足平衡条件.

3. **解析法**:如果物体受到多个力的作用,可进行正交分解,利用解析法,建立平衡方程,找函数关系,根据自变量的变化确定因变量的变化.还可由数学知识求极值或者根据物理临界条件求极值.

4. **图解法**:物体受三个力平衡,当一个力恒定、另一个力的方向恒定时可用此法.由三角形中边长的变化知力的大小的变化,还可判断出极值.图解法在动态平衡问题中比较常用.

受力分析 $\xrightarrow{\text{化“动”为“静”}}$ 画不同状态下的平衡图 $\xrightarrow{\text{“静”中求“动”}}$ 确定力的变化

5. **构造辅助圆法(特殊解题方法)**:圆周角定理在动态平衡问题中的应用.

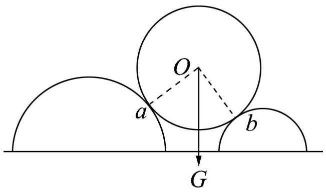
6. **隔离法、整体法**:当分析相互作用的两个或两个以上物体的受力情况及分析外力对系统的作用时,宜用整体法;而在分析系统内各物体(或一个物体各部分)间的相互作用时常用隔离法.

7. **相似三角形法**:物体受三个力平衡,一个力恒定、另外两个力的方向同时变化,当所作“力的矢量三角形”与空间的某个“几何三角形”总相似时用此法.

**三、典例方法突破**

**【解题方法突破1】合成法与分解法**

例1　[2023年浙江6月卷]如图所示,水平面上固定两排平行的半圆柱体,重为$G$的光滑圆柱体静置其上,$a$、$b$为相切点,$\angle aOb=90^\circ$,半径$Ob$与重力的夹角为37°.取$\sin 37^\circ=0.6$,$\cos 37^\circ=0.8$,则圆柱体受到的支持力$F_a$、$F_b$大小分别为(　　)




A. $F_a=0.6G$,$F_b=0.4G$

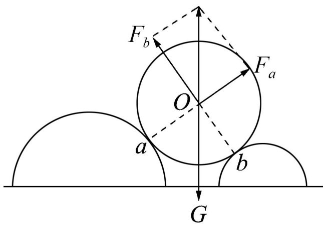
B. $F_a=0.4G$,$F_b=0.6G$

C. $F_a=0.8G$,$F_b=0.6G$

D. $F_a=0.6G$,$F_b=0.8G$

**答案**　D

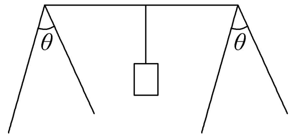
**解析**　对光滑圆柱体受力分析,其受重力和半圆柱体的支持力作用,由于处于静止状态,所受合外力为零,任两个力的合力与第三个力大小相等,方向相反,根据平行四边形定则,如图所示,由几何关系得$F_a=G\sin 37^\circ=0.6G$,$F_b=G\cos 37^\circ=0.8G$,选项D正确.




**方法总结**　对于受到三个力的平衡问题,一般是对研究对象受力分析,画出所受各力的矢量图,利用合成法或分解法,借助平行四边形定则,得出三力矢量三角形,利用数学知识得出未知力的大小.

**【解题方法突破2】整体法与隔离法**

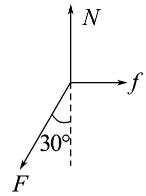
例2　[浙江真题]如图所示,一轻质晒衣架静置于水平地面上,水平横杆与四根相同的斜杆垂直,两斜杆夹角$\theta=60^\circ$,一重为$G$的物体悬挂在横杆中点,则每根斜杆受到地面的(　　)




A. 作用力为$\frac{\sqrt{3}}{3}G$　　B. 作用力为$\frac{\sqrt{3}}{6}G$

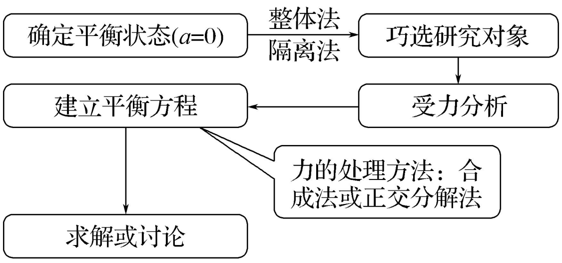
C. 摩擦力为$\frac{\sqrt{3}}{4}G$　　D. 摩擦力为$\frac{\sqrt{3}}{8}G$

**答案**　B




**解析**　设每根斜杆的弹力大小为$F$，以水平横杆和重物为整体，竖直方向根据受力平衡可得$4F\cos 30°=G$，解得$F=\frac{\sqrt{3}}{6}G$. 以其中一斜杆为研究对象，其受力如图所示，可知每根斜杆受到地面的作用力应与$F$平衡，即大小为$\frac{\sqrt{3}}{6}G$，每根斜杆受到地面的摩擦力大小$f=F\sin 30°=\frac{\sqrt{3}}{12}G$，B 正确，A、C、D 错误.

**方法总结**　处理平衡问题的基本思路




**【解题方法突破 3】解析法(数学方法处理物体平衡问题)**

**例 3**　[浙江真题]如图所示，学校门口水平地面上有一质量为$m$的石墩，石墩与水平地面间的动摩擦因数为$\mu$，工作人员用轻绳按图示方式匀速移动石墩时，两平行轻绳与水平面间的夹角均为$\theta$，则下列说法正确的是　(　　)


A. 轻绳的合拉力大小为$\frac{\mu mg}{\cos\theta}$

B. 轻绳的合拉力大小为$\frac{\mu mg}{\cos\theta+\mu\sin\theta}$

C. 减小夹角$\theta$，轻绳的合拉力一定减小

D. 轻绳的合拉力最小时，地面对石墩的摩擦力也最小

**答案**　B

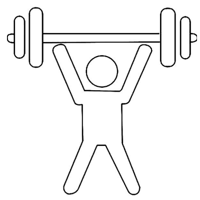
**解析**　对石墩受力分析，由平衡条件可知$T\cos\theta=f$，$f=\mu N$，$T\sin\theta+N=mg$，联立解得$T=\frac{\mu mg}{\cos\theta+\mu\sin\theta}$，故 A 错误，B 正确；拉力大小$T=\frac{\mu mg}{\cos\theta+\mu\sin\theta}=\frac{\mu mg}{\sqrt{1+\mu^2}\sin(\theta+\varphi)}$，其中$\tan\varphi=\frac{1}{\mu}$，可知当$\theta+\varphi=90°$时，拉力有最小值，即减小夹角$\theta$，轻绳的合拉力不一定减小，故 C 错误；摩擦力大小$f=T\cos\theta=\frac{\mu mg\cos\theta}{\cos\theta+\mu\sin\theta}=\frac{\mu mg}{1+\mu\tan\theta}$，可知增大夹角$\theta$，摩擦力一直减小，当$\theta$趋近于 90°时，摩擦力最小，故轻绳的合拉力最小时，地面对石墩的摩擦力不是最小，故 D 错误.

**方法总结**　数学中求极值的方法很多，物理极值问题中常用的方法有三角函数极值法、二次函数极值法、一元二次方程的判别式法、用不等式的性质求极值法等.

**【考查方向突破 1】受力分析、相互作用力与平衡力综合**

**例 4**　[2025 年浙江 1 月卷]中国运动员以 121 公斤的成绩获得 2024 年世界举重锦标赛抓举金牌，举起杠铃稳定时的状态如图所示. 重力加速度$g$取 10 m/s$^2$，下列说法正确的是　(　　)

A. 双臂夹角越大受力越小



B. 杠铃对每只手臂作用力大小为 605 N

C. 杠铃对手臂的压力和手臂对杠铃的支持力是一对平衡力

D. 在加速举起杠铃过程中，地面对人的支持力大于人与杠铃总重力

**答案**　D

**解析**　对杠铃受力分析可得，双臂所受杠铃作用力为竖直方向的压力$\frac{G}{2}$和水平方向的摩擦力的合力，合力的方向沿手臂方向，夹角越大摩擦力越大，所以双臂夹角越大受力越大，故 A、B 错误；杠铃对手臂的压力和手臂对杠铃的支持力是一对相互作用力，C 错误；加速举起杠铃，人和杠铃构成的相互作用系统加速度向上，系统处于超重状态，因此地面对人的支持力大于人与杠铃的总重力，D 正确.

**易错警示**　双臂所受合力大小等于杠铃重力，在夹角增大过程中保持不变，但每只手臂的作用力增大.

## 快速解题模板二　力与直线运动

**一、重点题型**

1. 匀变速直线运动的规律、图像及应用.

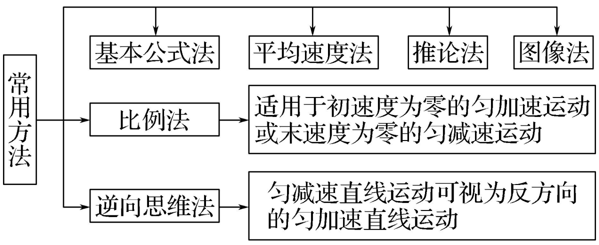
2. 动力学中的两类基本问题：(1) 已知受力求运动；(2) 已知运动求受力.

3. 常见运动学图像和动力学图像：$x-t$图像、$v-t$图像、$a-t$图像、$F-t$图像、$F-a$图像等.

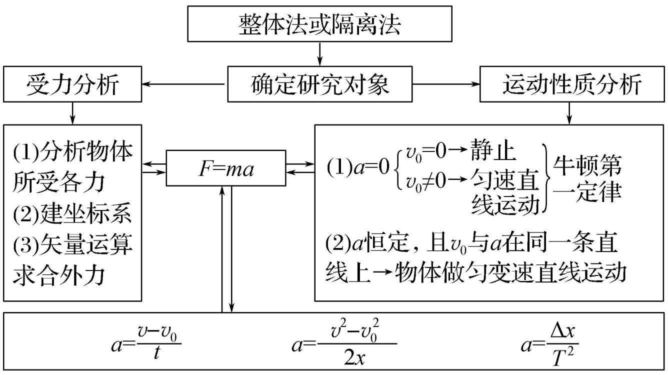
4. 连接体、传送带、板块问题、极值问题.

## 二、常规解题方法

**1. 匀变速直线运动问题常用的六种解题方法：**




**2. 运动牛顿定律解题方法：**




## 三、典例方法突破

**【解题方法突破 4】图像法**

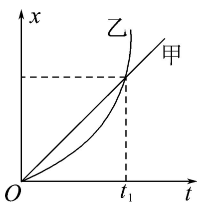
例 1 ［浙江真题］甲、乙两物体零时刻开始从同一地点向同一方向做直线运动，位移—时间图像如图所示，则在 $0\sim t_1$ 时间内（　　）

A. 甲的速度总比乙大

B. 甲、乙位移相同

C. 甲经过的路程比乙小

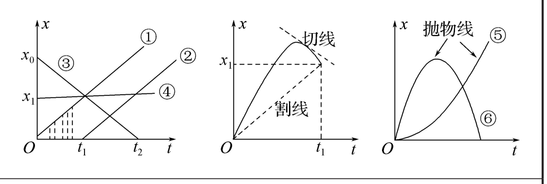
D. 甲、乙均做加速运动




**答案** B

**解析** 因 $x-t$ 图像的斜率表示速度，可知在 $0\sim t_1$ 时间内，开始时甲的速度大于乙，后来乙的速度大于甲，选项 A 错误；由图像可知在 $0\sim t_1$ 时间内甲、乙位移相同，选项 B 正确；甲、乙均向同方向做直线运动，则甲、乙的路程相同，选项 C 错误；由斜率表示速度可知，甲做匀速运动，乙做加速运动，选项 D 错误.

**方法规律归纳** $x-t$ 图像表示物体位置随时间变化的规律，不是物体运动的轨迹.

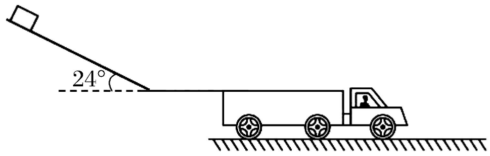
| | |
|---|---|
| $x-t$ 图像 |   |
| 物理意义 | 表示物体位置随时间变化的规律，不是物体运动的轨迹 |

（续表）

| | | |
|---|---|---|
| 识图五要素 | 点 | 两线交点表示两物体相遇 |
| | 线 | ①、②、③表示物体做匀速直线运动；④表示物体静止；⑤、⑥表示物体做匀变速直线运动 |
| | 斜 | （切线、割线）直线斜率表示物体（瞬时、平均）速度；上倾为正，下斜为负；陡缓表示大小 |
| | 截 | 在纵轴上的截距表示 $t=0$ 时的位移 |
| | 面 | 图线与 $t$ 轴所围图形面积无意义 |

**【考查方向突破 2】重难题型：动力学中的两类基本问题**

例 2 ［浙江真题］物流公司通过滑轨把货物直接装运到卡车中. 如图所示，倾斜滑轨与水平面成 24°角，长度 $l_1=4$ m，水平滑轨长度可调，两滑轨间平滑连接. 若货物从倾斜滑轨顶端由静止开始下滑，其与滑轨间的动摩擦因数均为 $\mu=\dfrac{2}{9}$，货物可视为质点（取 $\cos 24°=0.9$，$\sin 24°=0.4$，重力加速度大小 $g=10\ \mathrm{m/s^2}$）.




(1) 求货物在倾斜滑轨上滑行时加速度 $a_1$ 的大小.

(2) 求货物在倾斜滑轨末端时速度 $v$ 的大小.

(3) 若货物滑离水平滑轨末端时的速度不超过 2 m/s，求水平滑轨的最短长度 $l_2$.

**答案** (1) $2\ \mathrm{m/s^2}$　(2) 4 m/s　(3) 2.7 m

**解析** (1) 根据牛顿第二定律可得 $mg\sin 24°-\mu mg\cos 24°=ma_1$，

代入数据解得 $a_1=2\ \mathrm{m/s^2}$.

(2) 根据运动学公式 $2a_1l_1=v^2$，

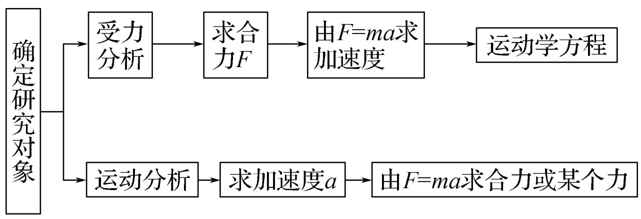
解得 $v=4$ m/s.

(3) 根据牛顿第二定律有 $\mu mg=ma_2$，

以及运动学公式 $-2a_2l_2=v_{max}^2-v^2$，

代入数据联立解得 $l_2=2.7$ m.

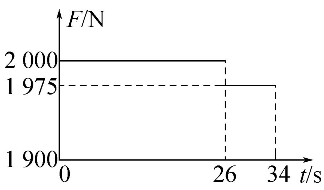
**方法规律归纳** 解决动力学两类基本问题的思路：



**【考查方向突破 3】常见的动力学图像的问题**

**例 3** ［浙江真题］如图甲所示，有一质量 $m=200\ \text{kg}$ 的物件在电机的牵引下从地面竖直向上经加速、匀速、匀减速运动至指定位置. 当物件加速运动到总位移的 $\frac{1}{4}$ 时开始计时，测得电机的牵引力随时间变化的 $F-t$ 图线如图乙所示，$t=34\ \text{s}$ 末速度减为 0 时恰好到达指定位置. 若不计绳索的质量和空气阻力，$g$ 取 $10\ \text{N/kg}$，求物件：

甲




乙

（1）做匀减速运动的加速度大小和方向；

（2）匀速运动的速度大小；

（3）总位移的大小.

**答案** （1）$0.125\ \text{m/s}^2$，竖直向下 （2）$1\ \text{m/s}$ （3）$40\ \text{m}$

**解析** （1）由图乙可知 0～26 s 内物体匀速运动，26～34 s 物体减速运动，在减速运动过程根据牛顿第二定律有 $mg-F_T=ma$. 根据图乙得此时 $F_T=1\ 975\ \text{N}$，则有 $a=g-\frac{F_T}{m}=0.125\ \text{m/s}^2$，方向竖直向下.

（2）结合图乙根据运动学公式有 $v=at_2=0.125\times(34-26)\text{m/s}=1\ \text{m/s}$.

（3）根据图乙可知匀速上升的位移 $h_1=vt_1=1\times 26\ \text{m}=26\ \text{m}$.

匀减速上升的位移 $h_2=\frac{v}{2}t_2=\frac{1}{2}\times 8\ \text{m}=4\ \text{m}$.

加速上升的位移为总位移的 $\frac{1}{4}$，则匀速上升和匀减速上升的位移为总位移的 $\frac{3}{4}$，则有 $h_1+h_2=\frac{3}{4}h$，所以总位移 $h=40\ \text{m}$.

**方法规律归纳** 常见运动与动力学图像：

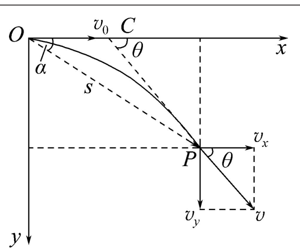
| | |
|---|---|
| 常见图像 | $v-t$ 图像、$a-t$ 图像、$F-t$ 图像、$F-a$ 图像 |
| 三种类型 | （1）已知物体受到的力随时间变化的图线，求解物体的运动情况<br>（2）已知物体的速度、加速度随时间变化的图线，求解物体的受力情况<br>（3）由已知条件确定某物理量的变化图像 |
| 解题策略 | （1）问题实质是力与运动的关系，要注意区分是哪一种动力学图像<br>（2）应用物理规律列出与图像对应的函数方程式，进而明确“图像与公式”“图像与物体”间的关系，以便对有关物理问题作出准确判断 |
| 破题关键 | （1）分清图像的类别：即分清横、纵坐标所代表的物理量，明确其物理意义，掌握物理图像所反映的物理过程，会分析临界点<br>（2）注意图线中的一些特殊点所表示的物理意义：图线与横、纵坐标的交点，图线的转折点，两图线的交点等<br>（3）明确能从图像中获得哪些信息：把图像与具体的题意、情境结合起来，再结合斜率、特殊点、面积等的物理意义，确定从图像中反馈出来的有用信息，这些信息往往是解题的突破口或关键点 |

# 快速解题模板三 力与曲线运动

**一、重点题型**

1. 曲线运动、运动的合成与分解. 如平抛运动水平方向上：匀速直线运动；竖直方向上：自由落体运动.

2. 平抛(类平抛)运动的规律：

| 分析思路 | 基本规律 |
|---|---|
| “化曲为直”思想——运动的合成与分解 |  |
| 水平方向 | $v_x=v_0$，$x=v_0t$ |
| 竖直方向 | $v_y=gt$，$y=\frac{1}{2}gt^2$ |

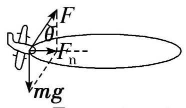
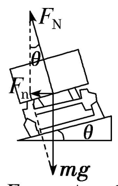
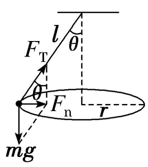
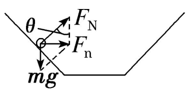
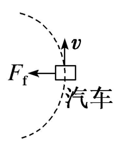
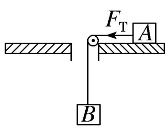
**（续表）**

| 分析思路 | | 基本规律 |
|---|---|---|
| 合速度 | 大小 | $v=\sqrt{v_x^2+v_y^2}=\sqrt{{v_0}^2+(gt)^2}$ |
| | 方向 | 与水平方向夹角 $\theta$ 的正切值 $\tan\theta=\frac{v_y}{v_x}=\frac{gt}{v_0}$ |
| 合位移 | 大小 | $s=\sqrt{x^2+y^2}$ |
| | 方向 | 与水平方向夹角 $\alpha$ 的正切值 $\tan\alpha=\frac{y}{x}=\frac{gt}{2v_0}$<br>注意：$\tan\theta=2\tan\alpha$，但 $\theta\neq 2\alpha$ |
| 轨迹方程 | | $y=\frac{g}{2v_0^2}x^2$ |

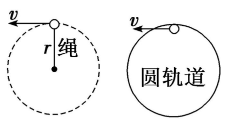
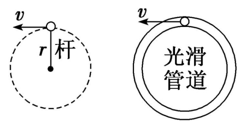
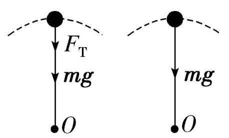
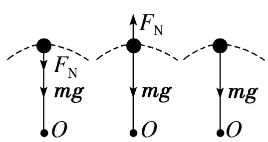
3. 圆周运动的运动学分析：描述圆周运动的物理

量及各物理量之间的关系.

4. 水平面内圆周运动的动力学分析：分析物体的受力情况，找出所有的力沿半径方向指向圆心的合力，此合力即为向心力，根据牛顿第二定律建立方程.

| 运动模型 | 向心力的来源示意图 | 运动模型 | 向心力的来源示意图 |
| --- | --- | --- | --- |
| 飞机水平转弯 |  $F_n=mg\tan\theta$ | 火车转弯 |  $F_n=mg\tan\theta$ |
| 圆锥摆 |  $F_n=mg\tan\theta$ $r=l\sin\theta$ | 飞车走壁 |  $F_n=mg\tan\theta$ |
| 汽车在水平路面转弯 |  $F_n=F_f$ | 水平转台（光滑） |  $F_n=m_Bg$ |

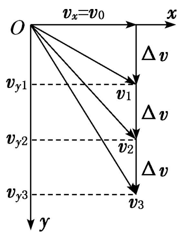
5. 竖直面内圆周运动的动力学分析：分析物体的受力情况，找出所有的力沿半径方向指向圆心的合力，特别要注意不要漏了重力，得到的合力即为向心力，根据牛顿第二定律建立方程.

| 模型 | 轻"绳" | 轻"杆" |
| --- | --- | --- |
| 情境图示 |  |  |
| 弹力特征 | 弹力可能向下，也可能等于零 | 弹力可能向下，可能向上，也可能等于零 |
| 受力示意图 |  |  |
| 力学方程 | $mg+F_T=m\dfrac{v^2}{r}$ | $mg\pm F_N=m\dfrac{v^2}{r}$ |
| 临界特征 | $F_T=0$，即 $mg=m\dfrac{v^2}{r}$，得 $v=\sqrt{gr}$ | $v=0$，即 $F_n=0$，此时 $F_N=mg$ |
| 模型关键 | (1)绳只能对小球施加向下的力<br>(2)小球通过最高点的速度至少为 $\sqrt{gr}$ | (1)"杆"对小球的作用力可以是拉力，也可以是支持力<br>(2)小球通过最高点的速度最小可以为 0 |

## 二、常规解题方法

1. **"化曲为直"思想——运动的合成与分解**：分运动法解题.

2. **运用速度矢量图.**




3. **运用平抛运动的两个推论.** (1)做平抛（或类平抛）运动的物体在任一时刻，设其速度方向与水平方向的夹角为 $\theta$，位移与水平方向的夹角为 $\alpha$，则 $\tan\theta=2\tan\alpha$. (2)做平抛（或类平抛）运动的物体任一时刻的瞬时速度的反向延长线一定通过此时水平位移的中点.

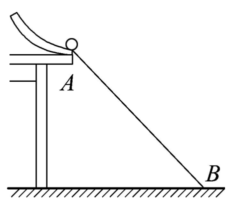
4. **传动问题，抓住角速度或线速度的关系.** (1)皮带传动，皮带与两轮之间无相对滑动时，两轮边缘线速度大小相等；(2) 齿轮传动，两齿轮边缘接触，接触点无打滑现象时，两齿轮边缘线速度大小相等；(3) 同轴转动，两轮固定在同一转轴上转动时，两轮转动的角速度大小相等.

5. **正交法处理圆周运动的问题.** 沿半径方向和切线方向建立直角坐标系，沿半径方向建立圆周运动方程，沿切线方向建立牛顿第二定律方程.

## 三、典例方法突破

**【考查方向突破 4】重点题型：平抛（类平抛）运动的规律**

**例 1** [浙江真题]如图所示，钢球从斜槽轨道末端以 $v_0$ 的速度水平飞出，经过时间 $t$ 落在斜靠的挡板 $AB$ 中点. 若钢球以 $2v_0$ 的速度水平飞出，则 (　　)




A. 下落时间仍 $t$　　B. 下落时间为 $2t$

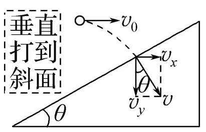
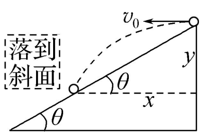
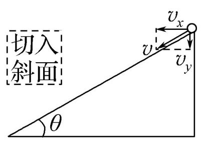
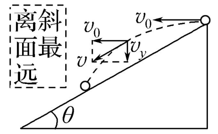
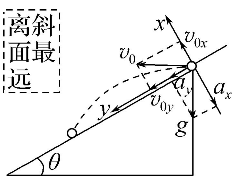
C. 下落时间为$\sqrt{2}t$　　D. 落在挡板底端 $B$ 点

**答案** C

**解析** 钢球以 $v_0$ 飞出后落在长为 $2L$ 的 $AB$ 挡板中点，假设挡板与水平地面的夹角为 $\theta$，钢球做平抛运动，分解位移得 $L\cos\theta=v_0t$，$L\sin\theta=\dfrac{1}{2}gt^2$，解得 $v_0=\sqrt{\dfrac{gL}{2}\cdot\dfrac{\cos^2\theta}{\sin\theta}}$. 若钢球恰好落在 $B$ 点，则 $2L\cos\theta=$

$v_1t_1$，$2L\sin\theta=\frac{1}{2}gt_1^2$，解得 $v_1=\sqrt{2}\cdot\sqrt{\frac{gL}{2}\cdot\frac{\cos^2\theta}{\sin\theta}}=\sqrt{2}v_0$. 又因为 $2v_0>v_1$，所以钢球以 $2v_0$ 抛出，落在地面上 $B$ 点右侧，落地时间与落在 $B$ 点时间相同. 综合上述分析可知落地时间 $t_1=\sqrt{2}\cdot\sqrt{\frac{2L\sin\theta}{g}}=\sqrt{2}t$，故 C 正确，A、B、D 错误.

**方法归纳** 和斜面相关的平抛运动解题技巧：

| 模型 | 解题方法 | 方法应用 |
|---|---|---|
|  | 分解速度，构建速度矢量三角形 | 水平方向：$v_x=v_0$<br>竖直方向：$v_y=gt$<br>方向：$\tan\theta=\frac{v_x}{v_y}$ |
|  | 分解位移，构建位移矢量三角形 | 水平方向：$x=v_0t$<br>竖直方向：$y=\frac{1}{2}gt^2$<br>方向：$\tan\theta=\frac{y}{x}$ |
|  | 分解速度，构建速度矢量三角形 | 水平方向：$v_x=v_0$<br>竖直方向：$v_y=gt$<br>方向：$\tan\theta=\frac{v_y}{v_x}$ |
|  | 求时间时分解速度 | $\tan\theta=\frac{v_y}{v_0}$ |
|  | 求最远距离时分解初速度和重力加速度 | $v_{0x}=v_0\sin\theta$<br>$a_x=g\cos\theta$<br>$v_{0x}=0$ 时离斜面最远，$H=\frac{v_0^2\sin^2\theta}{2g\cos\theta}$ |

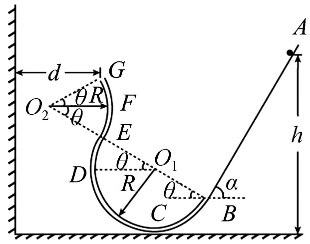
**【考查方向突破 5】重点题型：圆周运动的动力学分析**

例2 [浙江真题]如图所示，竖直平面内由倾角 $\alpha=60°$ 的斜面轨道 $AB$、半径均为 $R$ 的半圆形细圆管轨道 $BCDE$ 和圆周细圆管轨道 $EFG$ 构成的游戏装置固定于地面，$B$、$E$ 两处轨道平滑连接，轨道所在平面与竖直墙面垂直. 轨道出口处 $G$ 和圆心 $O_2$ 的连线，以及 $O_2$、$E$、$O_1$ 和 $B$ 四点连成的直线与水平线间的夹角均为 $\theta=30°$，$G$ 点与竖直墙面的距离 $d=\sqrt{3}R$. 现将质量为 $m$ 的小球从斜面的某高度 $h$ 处静止释放. 小球只有与竖直墙面间的碰撞可视为弹性碰撞，不计小球大小和所受阻力.

(1) 若释放处高度 $h=h_0$，当小球第一次运动到圆管最低点 $C$ 时，求速度大小 $v_C$ 及在此过程中所受合力的冲量的大小和方向.

(2) 求小球在圆管内与圆心 $O_1$ 点等高的 $D$ 点所受弹力大小 $F_N$ 与 $h$ 的关系式.

(3) 若小球释放后能从原路返回到出发点，高度 $h$ 应该满足什么条件？




**答案** (1) $v_C=\sqrt{2gh_0}$，$I=m\sqrt{2gh_0}$，水平向左 (2) $F_N=2mg\left(\frac{h}{R}-1\right)(h\geqslant R)$ (3) $h\leqslant\frac{5}{2}R$ 或 $h=\frac{9}{2}R$

**解析** (1) 由机械能守恒定律得 $mgh_0=\frac{1}{2}mv_C^2$，解得 $v_C=\sqrt{2gh_0}$.

由动量定理 $I=\Delta p$ 可知，$I=mv_C=m\sqrt{2gh_0}$，方向水平向左.

(2) 由机械能守恒定律得 $mg(h-R)=\frac{1}{2}mv_D^2$，

由牛顿第二定律得 $F_N=\frac{mv_D^2}{R}$，

解得 $F_N=2mg\left(\frac{h}{R}-1\right)$，满足的条件 $h\geqslant R$.

(3) 第 1 种情况：不滑离轨道原路返回，条件是 $h\leqslant\frac{5}{2}R$.

第 2 种情况：与墙面垂直碰撞后原路返回，在进入 $G$ 之前是平抛运动，$v_xt=v_x\frac{v_y}{g}=d$，

其中 $v_x=v_G\sin\theta$，$v_y=v_G\cos\theta$，且 $d=\sqrt{3}R$，

则 $v_G\sin\theta\frac{v_G\cos\theta}{g}=d$，得 $v_G=2\sqrt{gR}$.

由机械能守恒定律得 $mg\left(h-\frac{5}{2}R\right)=\frac{1}{2}mv_G^2$，$h$ 满足的条件为 $h=\frac{9}{2}R$.

**方法总结** 解决圆周运动动力学问题：(1) 要进行受力分析，明确向心力的来源，确定圆心以及半径. (2) 列出正确的动力学方程 $F=m\frac{v^2}{r}=mr\omega^2=m\omega v=mr\frac{4\pi^2}{T^2}$. 结合 $v=\omega r$、$T=\frac{2\pi}{\omega}=\frac{2\pi r}{v}$ 等基本公式进行求解.