

## 第7节 生活中的圆周运动

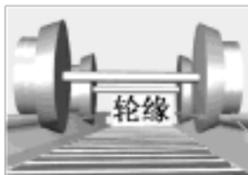
### 一、铁路的弯道-----①

1. 火车在弯道上的运动特点:火车在弯道上运动时做圆周运动,因而具有向心加速度,由于其质量巨大,需要很大的向心力。

#### 2. 铁路弯道的特点

##### (1) 火车车轮的结构特点

火车的车轮有突出的轮缘,如图所示,且火车在轨道上运行时,有突出轮缘的一边在两轨道内侧,这种结构特点,主要是有助于固定火车运动的轨迹。



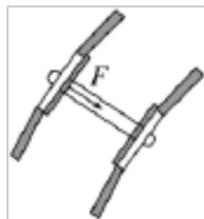
##### (2) 转弯处外轨略高于内轨.

##### (3) 铁轨对火车的支持力不是竖直向上的,而是斜向弯道内侧。

(4) 铁轨对火车的支持力与火车所受重力的合力指向轨道的圆心,它提供了火车做圆周运动的向心力。

#### [说明]

(1) 如果在转弯处内外轨道一样高,外侧车轮的轮缘挤压外轨,使外轨发生弹性形变,外轨对轮缘的弹力提供火车转弯时的向心力,如图所示.但火车质量太大,靠这种办法得到向心力,轮缘与外轨间的相互作用力太大,铁轨和车轮极易受损。

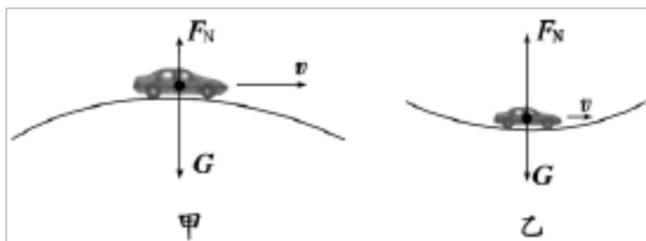


(2) 修筑铁路时,在转弯处使外轨略高于内轨,并根据弯道的半径和规定的行驶速度,适当选择内、外轨的高度差,使转弯时所需的向心力几乎完全由重力和支持力的合力来提供。

这样,轨道与轮缘也就几乎没有挤压了。

## 二、拱形桥-----②

1. 向心力来源：汽车过拱形桥时做圆周运动，所需向心力由重力和桥面的支持力提供。
2. 拱形桥上的受力特点



(1) 通过凸形桥最高点(如图甲)时, 汽车的向心加速度方向竖直向下, 汽车处于失重状态。

(2) 通过凹形桥最低点(如图乙)时, 汽车的向心加速度方向竖直向上, 汽车处于超重状态。

[说明]

为使汽车对桥压力不超出桥的最大承受力, 汽车有最大行驶速度限制。

②[判一判]

1. 汽车在水平路面上匀速行驶时, 对地面的压力等于车的重力, 加速行驶时大于车的重力 (×)
2. 汽车在凸形桥上行驶时, 速度较小时, 对桥面的压力大于车重, 速度较大时, 对桥面的压力小于车重 (×)
3. 汽车过凹形桥时, 对桥面的压力一定大于车重 (√)

## 三、航天器中的失重现象-----③

1. 航天器在近地轨道的运动

(1) 对航天器而言, 重力充当向心力, 满足的关系为  $mg = \frac{mv^2}{R}$ , 航天器的速度  $v = \sqrt{gR}$ 。错误!。

(2) 对航天员而言, 由重力和座椅的支持力提供向心力, 满足的关系为  $mg - F_N = \frac{mv^2}{R}$ 。由此可得当  $v = \sqrt{gR}$  时,  $F_N = 0$ , 航天员处于失重状态。

2. 航天器内的任何物体都处于完全失重状态。

[说明]

航天器内的任何物体都处于完全失重状态，但并不是物体不受重力。正因为受到重力作用才使航天器连同其中的航天员环绕地球转动。

③[判一判]

1. 运行于太空的航天器中的宇航员及所有物体均处于完全失重状态（√）
2. 处于完全失重状态的物体不受重力作用（×）
3. 处于完全失重状态的物体所受合力为零（×）

四、离心运动-----④

1. 定义：物体沿切线飞出或做的逐渐远离圆心的运动。
2. 原因：向心力突然消失或合力不足以提供所需向心力。
3. 离心运动的应用与防止

(1) 离心运动的应用

洗衣机的脱水筒、制造水泥涵管、离心式水泵、离心式真空泵、离心分离器等都是根据离心运动工作的。

(2) 离心运动的防止

- ①由于离心现象，车辆转弯时易出现交通事故，因此在弯道处，都要对车辆进行限速；
- ②高速旋转的砂轮或飞轮破裂，会因碎片飞出造成事故，所以对高速转动的物体要限定转速。

[说明]

物体做离心运动并不是物体受到离心力作用，而是外力不能提供足够的向心力，所谓的“离心力”也是由效果命名的，实际并不存在。

④[选一选]

物体做离心运动时，运动轨迹的形状为（ ）

- A. 一定是直线
- B. 一定是曲线
- C. 可能是直线也可能是曲线
- D. 可能是一个圆

解析:选 C 离心运动是指合力突然变为零或合力不足以提供向心力时物体逐渐远离圆心的运动。若合力突然变为零，物体沿切线方向做直线运动;若合力比向心力小，物体做曲线运动,但逐渐远离圆心,故 A、B、D 错误,C 正确。

[知识预览]

- 1. 火车转弯问题
- 2. 拱形桥问题
- 3. 对离心运动的理解
- 4. 竖直面内圆周运动中的“轻绳模型”和“轻杆模型”



课堂互动区

shishengongyan tupozhongnan 师生共研 突破重难

## 知识点一

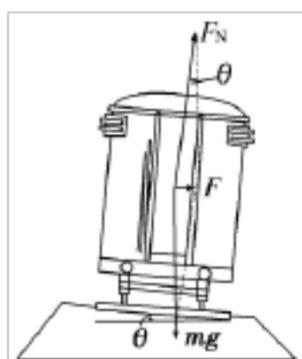
## 火车转弯问题

### 1. 轨迹分析

火车在转弯过程中，运动轨迹是一圆弧，由于火车转弯过程中重心高度不变,故火车轨迹所在的平面是水平面，而不是斜面。火车的向心加速度和向心力均沿水平面指向圆心。

### 2. 向心力的来源分析

火车速度合适时,火车受重力和支持力作用，火车转弯所需的向心力完全由重力和支持力的合力提供，合力沿水平方向，大小  $F = mg \tan \theta$ 。



### 3. 规定速度分析

设内外轨间的距离为  $L$ ，内外轨的高度差为  $h$ ，火车转弯的半径为  $R$ ，火车转弯的规定速度为  $v_0$ ， $\alpha$  为轨道所在平面与水平面的夹角，由如图所示的力的合成得到向心力为



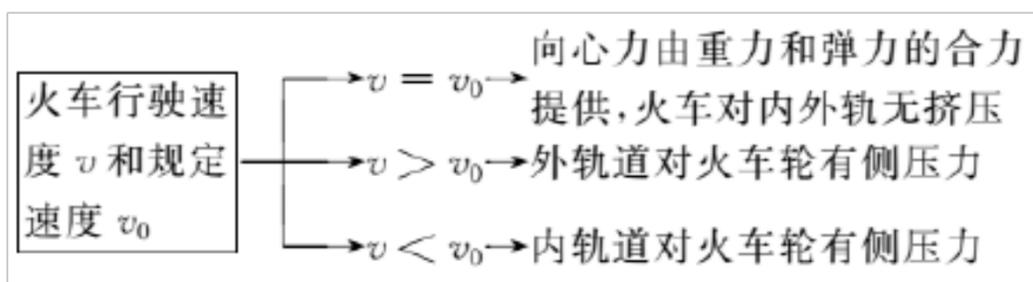
$$F_{\text{合}} = mg \tan \alpha \approx mg \sin \alpha = mg \text{ 错误!},$$

由牛顿第二定律，得  $F_{\text{合}} = m \text{ 错误!},$

$$\text{所以 } mg \frac{h}{L} = m \text{ 错误!},$$

即火车转弯的规定速度  $v_0 = \text{ 错误!}.$

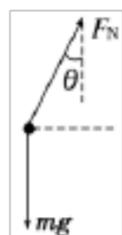
#### 4. 轨道压力分析



[典型例题]

例 1。（2016·九江高一检测）汽车在倾斜的弯道上转弯，弯道的半径为  $R$ ，倾角为  $\theta$ ，则汽车完全不靠摩擦力转弯时的速率是多少？与此速率比较，以过大或过小的速率过弯道时人坐在车上的感觉如何？

[解析] 当汽车不靠摩擦力转弯时，汽车只受重力和支持力作用，重力和支持力的合力充当向心力，如图所示。



$$mg \tan \theta = m \text{ 错误!}$$

$$\text{解得 } v = \sqrt{gR \tan \theta}$$

此时乘客也做圆周运动,受自身重力和座椅对他的支持力,两者的合力充当乘客做圆周运动的向心力。若速率过大,向心力不再由重力和支持力的合力提供,还要受到座椅外侧对他的侧压力;若速率过小,向心力不再由重力和支持力的合力提供,还要受到座椅内侧对他的侧压力。

[答案]  $\sqrt{gR \tan \theta}$  速率过大时,座椅外侧对人有侧压力;速率过小时,座椅内侧对人有侧压力

[点评] 火车转弯问题的解题策略

(1) 对火车转弯问题一定要搞清合力的方向,指向圆心方向的合力提供火车做圆周运动的向心力,方向指向水平面内的圆心。

(2) 弯道两轨在同一水平面上时,向心力由内、外轨对轮缘的挤压力的合力提供。

(3) 当外轨高于内轨时,向心力由火车的重力和铁轨的支持力以及内、外轨对轮缘的挤压力的合力提供,这与火车的速度大小有关。

[即时巩固]

1. 如果高速公路转弯处弯道圆弧半径为 100 m,汽车轮胎与路面间的最大静摩擦力是车重的 0.23 倍,若路面是水平的,则汽车不发生径向滑动所允许的最大速度  $v_m$  为多大?( $g$  取  $10 \text{ m/s}^2$ )

解析:汽车在水平路面上转弯时,地面与轮胎间的静摩擦力提供向心力,当汽车以最大速度转弯时

$$F_{f_m} = m \text{ 错误!}$$

$$F_{f_m} = 0.23mg$$

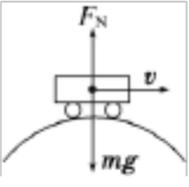
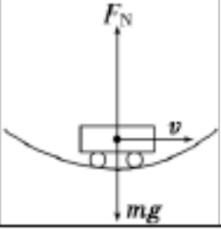
$$\text{解得 } v_m \approx 15.2 \text{ m/s}$$

答案:15.2 m/s

## 知识点二

## 拱形桥问题

1. 关于汽车过拱形桥问题，用图表概括如下

内容项目	汽车过凸形桥	汽车过凹形桥
受力分析		
以向心力方向为正方向	$mg - F_N = m \frac{v^2}{r}$ $F_N = mg - m \frac{v^2}{r}$ 错误！	$F_N - mg = m \frac{v^2}{r}$ $F_N = mg + m \frac{v^2}{r}$ 错误！
牛顿第三定律	$F_{压} = F_N = mg - m \frac{v^2}{r}$ 错误！	$F_{压} = F_N = mg + m \frac{v^2}{r}$
讨论	v 增大, $F_{压}$ 减小; 当 v 增大到 $\sqrt{rg}$ 时, $F_{压} = 0$	v 增大, $F_{压}$ 增大

2. 汽车在凸形桥的最高点处于失重状态, 在凹形桥的最低点处于超重状态.

[典型例题]

例 2. 如图所示, 一辆质量为 500 kg 的汽车静止在一座半径为 40 m 的圆弧形拱桥顶部 ( $g = 10 \text{ m/s}^2$ ), 求:



- (1) 此时汽车对圆弧形拱桥的压力是多大;
- (2) 如果汽车以 10 m/s 的速度经过拱桥的顶部, 则汽车对圆弧形拱桥的压力是多大;
- (3) 汽车以多大速度通过拱桥的顶部时, 汽车对圆弧形拱桥的压力恰好为零。

[解析] (1) 汽车静止在桥顶时, 受重力  $mg$  和拱桥的支持力  $F$  的作用, 由二力平衡可知  $F = mg = 5\,000 \text{ N}$

由牛顿第三定律可知，汽车对拱桥的压力

$$F' = F = 5\,000\text{ N}$$

(2) 汽车以  $v = 10\text{ m/s}$  的速度过桥顶时，受重力  $mg$  和拱桥的支持力  $F_1$  的作用，二力合力提供向心力，

$$\text{即 } mg - F_1 = m \frac{v^2}{R} \text{ 错误!}$$

$$\text{解得 } F_1 = mg - m \frac{v^2}{R} = 3\,750\text{ N}$$

由牛顿第三定律可知，汽车对拱桥的压力

$$F'_1 = F_1 = 3\,750\text{ N}$$

(3) 当汽车对桥面的压力为零时，重力提供向心力，

$$mg = m \frac{v'^2}{R} \text{ 错误!}$$

$$\text{解得 } v' = \sqrt{Rg} = 20\text{ m/s}$$

[答案] (1)  $5\,000\text{ N}$  (2)  $3\,750\text{ N}$  (3)  $20\text{ m/s}$

[点评] 汽车过凸形桥时对桥面的压力  $F_{\text{压}}$

当  $0 \leq v < \sqrt{Rg}$  时,  $0 < F_{\text{压}} \leq mg$ ;

当  $v = \sqrt{Rg}$  时,  $F_{\text{压}} = 0$ ;

当  $v > \sqrt{Rg}$  时, 汽车会脱离桥面, 发生危险。

[即时巩固]

2. (2016·杭州高一检测) 如图所示，汽车在炎热的夏天沿不平的曲面行驶，其中最容易发生爆胎的点是(假定汽车运动速率  $v_a = v_c$ ,  $v_b = v_d$ ) ( )



A. a点 B. b点 C. c点 D. d点

解析：选D 因为匀速圆周运动的向心力和向心加速度公式也适用于变速圆周运动，故在

a、c 两点  $F_{\text{压}} = G - mg$  错误!  $\langle G$ , 不容易发生爆胎; 在 b、d 两点  $F_{\text{压}} = G + mg$  错误!  $\rangle G$ , 由题图知 b 点所在曲线半径大, 即  $r_b > r_d$ , 又  $v_b = v_d$ , 故  $F_{\text{压}b} < F_{\text{压}d}$ , 所以在 d 点车胎受到的压力最大, 所以 d 点最容易发生爆胎.

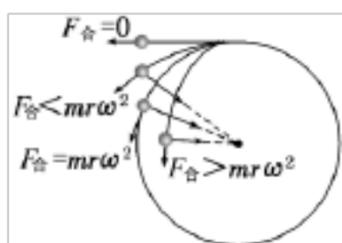
### 知识点三

### 对离心运动的理解

#### 1. 离心运动的实质

离心运动实质是物体惯性的表现。做圆周运动的物体, 总有沿着圆周切线飞出去的趋向, 之所以没有飞出去, 是因为受到向心力作用的缘故。从某种意义上说, 向心力的作用是不断地把物体从圆周运动的切线方向拉到圆周上来。一旦作为向心力的合力突然消失或不足以提供向心力, 物体就会发生离心运动。

#### 2. 合力与向心力的关系



(1) 如图所示, 若  $F_{\text{合}} = mr\omega^2$  或  $F_{\text{合}} =$  错误!, 物体做匀速圆周运动, 即“提供”满足“需要”。

(2) 若  $F_{\text{合}} > mr\omega^2$  或  $F_{\text{合}} >$  错误!, 物体做半径变小的近心运动, 即“提供”大于“需要”。

(3) 若  $F_{\text{合}} < mr\omega^2$  或  $F_{\text{合}} <$  错误!, 则外力不足以将物体拉回到原圆周轨道上, 物体逐渐远离圆心而做离心运动, 即“需要”大于“提供”或“提供不足”。

(4) 若  $F_{\text{合}} = 0$ , 则物体沿切线方向飞出, 做匀速直线运动。

#### [典型例题]

例 3. 下列关于离心现象的说法中正确的是 ( )

A. 当物体所受的离心力大于向心力时产生离心现象

B. 做匀速圆周运动的物体，当它所受的一切力都突然消失时，它将做背离圆心的圆周运动

C. 做匀速圆周运动的物体，当它所受的一切力都突然消失时，它将沿切线做直线运动

D. 做匀速圆周运动的物体，当它所受的一切力都突然消失时，它将做曲线运动

[解析] 向心力是根据效果命名的，做匀速圆周运动的物体所需要的向心力，是它所受的某个力或几个力的合力提供的，因此，并不是物体受向心力和离心力的作用。物体之所以产生离心现象是由于  $F_{\text{合}} = F_n < m\omega^2 r$ , A 错误；物体做匀速圆周运动时，若它所受的一切力都突然消失，根据牛顿第一定律，它从这时起沿切线做匀速直线运动，C 正确，B、D 错误。

[答案] C

[点评] 关于离心运动的两个注意点

(1) 离心运动并不是受到离心力的作用产生的运动。

(2) 离心运动并不是沿半径方向向外远离圆心的运动。

[即时巩固]

3. 关于离心运动，下列说法中正确的是 ( )

A. 物体突然受到离心力的作用，将做离心运动

B. 做匀速圆周运动的物体，当提供向心力的合力突然变大时将做离心运动

C. 做匀速圆周运动的物体，只要提供向心力的合力的数值发生变化，就将做离心运动

D. 做匀速圆周运动的物体，当提供向心力的合力突然消失或变小时将做离心运动

解析:选 D 物体做什么运动取决于物体所受合力与物体所需向心力的关系，只有当提供的向心力小于所需要的向心力时，物体才做离心运动，所以做离心运动的物体并没有受到所谓的离心力的作用，离心力没有施力物体，所以离心力不存在。综上所述，D 正确。

### 1. 模型构建

在竖直平面内做圆周运动的物体，运动到轨道的最高点的受力情况可以分为两类：

一类是无支撑(如球与绳连接, 小球在外轨道内运动等), 称为“轻绳模型”.

一类是有支撑(如球与杆连接, 小球在弯管内运动等), 称为“轻杆模型”。

## 2. 模型条件

(1) 物体在竖直平面内做圆周运动.

(2) “轻绳模型”在最高点无支撑。

(3) “轻杆模型”在最高点有支撑。

## 3. 模型特点

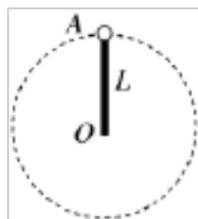
该类问题的高中阶段我们只研究最高点和最低点的两种情况, 在最高点常出现临界问题, 并伴有“最大”“最小”“刚好”等词语, 现对两种模型比较如下。

	细绳模型	轻杆模型
模型	无支撑物体的小球通过最高点	有支撑物体的小球通过最高点
临界速度	细绳(轨道)对小球的拉力(压力)为0, 只有重力提供向心力, 即 $mg = m\frac{v_0^2}{r}$ 错误!, 得 $v_0 = \sqrt{gr}$ 错误!	(1) 轻杆(管壁)对小球的支持力 $F_N = mg$ , 则 $F_{合} = m\frac{v_1^2}{r}$ 错误! = 0, 得 $v_1 = 0$ (2) 轻杆(管壁)对小球的作用力为0, 则 $mg = m\frac{v_2^2}{r}$ 错误!, 得 $v_2 = \sqrt{gr}$ 错误!
$v > \sqrt{gr}$ 错误!	细绳(轨道)对小球有向下的拉力(压力), $mg + F = m\frac{v^2}{r}$ 错误!	轻杆(管壁)对小球有向下的拉力(压力), $mg + F = m\frac{v^2}{r}$ 错误!
$v < \sqrt{gr}$ 错误!	小球在到达最高点之前就脱离了圆轨道, 即不能通过最高点	轻杆(管壁)对小球有向上的支持力, $mg - F_N = m\frac{v^2}{r}$ 错误!

### [典型例题]

例 4. (2016·绵阳高一检测) 长为 0.5 m 的轻杆 OA 绕 O 点在竖直平面内做圆周运动, A

端连着一个质量为  $m=2\text{ kg}$  的小球。求在下述的两种情况下，通过最高点时小球对杆的作用力的大小和方向(取  $g=10\text{ m/s}^2$ )：



(1) 杆做匀速圆周运动的转速为  $2.0\text{ r/s}$ ;

(2) 杆做匀速圆周运动的转速为  $0.5\text{ r/s}$ .

[解析] (1) 当杆的转速为  $2.0\text{ r/s}$  时，角速度

$$\omega = 2\pi n = 4\pi\text{ rad/s}$$

由牛顿第二定律得  $F + mg = mL\omega^2$

故小球所受杆的作用力

$$F = mL\omega^2 - mg = 2(0.5 \times 4^2 \times \pi^2 - 10)\text{ N} \approx 138\text{ N}$$

即杆对球提供了  $138\text{ N}$  的拉力。

由牛顿第三定律知，小球对杆的拉力大小为  $138\text{ N}$ ，方向竖直向上。

(2) 杆的转速为  $0.5\text{ r/s}$  时，

$$\omega' = 2\pi n = \pi\text{ rad/s}$$

同理可得小球所受杆的作用力

$$F = mL\omega'^2 - mg = 2(0.5 \times \pi^2 - 10)\text{ N} \approx -10\text{ N}$$

力  $F$  为负值表示杆对小球的力为支持力，方向竖直向上，故小球对杆的压力大小为  $10\text{ N}$ ，方向竖直向下。

[答案] (1)  $138\text{ N}$ ，方向竖直向上

(2)  $10\text{ N}$ ，方向竖直向下

[点评] “二明、一分、一用”解竖直平面内圆周运动问题

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/095241011323012004>