

7 生活中的圆周运动

[学习目标] 1. 巩固向心力和向心加速度的知识 2 会在具体问题中分析向心力的来源 3 会用牛顿第二定律解决生活中较简单的圆周运动问题

Q

自主预习梳理

一、铁路的弯道

1. 运动特点：火车在弯道上运动时可看做圆周运动，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. 轨道设计：转弯处外轨略高（选填“高”或“低”）于内轨，火车转弯时铁轨对火车的支持力 F_N 的方向是斜向弯道内侧，它与重力的合力指向圆心。

若火车以规定的速度行驶，转弯时所需的向心力几乎完全由支持力和重力的合力来提供。

二、拱形桥

	汽车过凸形桥	汽车过凹形桥
受力分析		■ 打 J 执上 别 H
向心力	$\frac{v^2}{r}$ $F_n = mg - F_N = mr$	$F_n = F_N - mg = mr$
对桥的压力	$F_N = mg - \frac{v^2}{r}$ 吓	$F_N = mg + \frac{v^2}{r}$ 吓
结论	汽车对桥的压力小于汽车的重力，而且汽车速度越大，对桥的压力越小	汽车对桥的压力大于汽车的重力，而且汽车速度越大，对桥的压力越大

三、航天器中的失重现象

1. 向心力分析：宇航员受到的地球引力与座舱对他的支持力的合力为他提供向心力， $mg - F_N$

$= mr$ ，所以 $F_N = mg - mr$ 。

2. 完全失重状态：当 $v = \sqrt{rg}$ 时，座舱对宇航员的支持力 $F_N = 0$ ，宇航员处于完全失重状态。

四、离心运动

1. 定义：做圆周运动的物体沿切线飞出或做逐渐远离圆心的运动

2. 原因：向心力突然消失或合外力不足以提供所需的向心力。

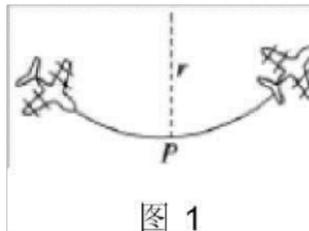
3. 应用：洗衣机的脱水筒，制作无缝钢管、水泥管道、水泥电线杆等

[即学即用]

1. 判断下列说法的正误。

- (1) 铁路的弯道处，内轨高于外轨. (X)
- (2) 汽车行驶至凸形桥顶部时，对桥面的压力等于车重. (X)
- (3) 汽车行驶至凹形桥底部时，对桥面的压力大于车重. (V)
- (4) 绕地球做匀速圆周运动的航天器中的宇航员处于完全失重状态，故不再具有重力. (X)
- (5) 航天器中处于完全失重状态的物体所受合力为零. (X)
- (6) 做离心运动的物体可以沿半径方向运动. (X)

2. 飞机由俯冲转为拉起的一段轨迹可看成一段圆弧，如图 1 所示，飞机做俯冲拉起运动时，在最低点附近做半径为 $r = 180 \text{ m}$ 的圆周运动，如果飞行员质量 $m = 70 \text{ kg}$ ，飞机经过最低点 P 时的速度 $v = 360 \text{ km/h}$ ，则这时飞行员对座椅的压力是 _____。(g 取 10 m/s^2)



答案 4 589 N

解析 飞机经过最低点时， $v = 360 \text{ km/h} = 100 \text{ m/s}$.

根据牛顿第二定律得 $F_N - mg = m \frac{v^2}{r}$ ，所以 $F_N = mg + m \frac{v^2}{r} = 70 \times 10 \text{ N} + 70 \times \frac{100^2}{180} \text{ N} = 4 589 \text{ N}$ ，由对飞行员进行受力分析，飞行员在竖直面内共受到重力 G 和座椅的支持力 F_N 两个力的作用，牛顿第三定律得，飞行员对座椅的压力为 4 589 N.

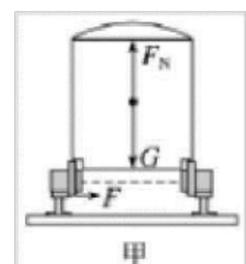
重点知识探究

、火车转弯问题

[导学探究] 设火车转弯时的运动为匀速圆周运动

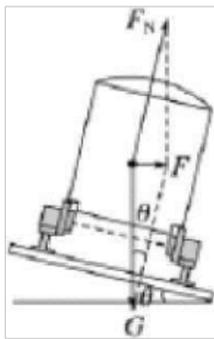
- (1) 如果铁路弯道的内 外轨一样高，火车在转弯时的向心力由什么力提供？会导致怎样的后果？
- (2) 实际上在铁路的弯道处外轨略高于内轨，试从向心力的来源分析这样做有怎样的优点
- (3) 当轨道平面与水平面之间的夹角为 α ，转弯半径为 R 时，火车行驶速度多大轨道才不受挤压？
- (4) 当火车行驶速度 $v > v_0 = \sqrt{gR \tan \alpha}$ 时，轮缘受哪个轨道的压力？当火车行驶速度 $v < v_0 = \sqrt{gR \tan \alpha}$ 时呢？

答案 (1) 如果铁路弯道的内外轨一样高，火车在竖直方向所受重力与支持

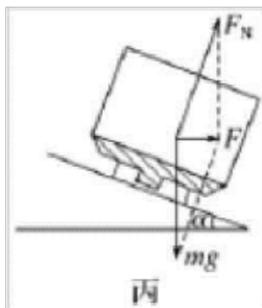


力平衡，其向心力由外侧车轮的轮缘挤压外轨，使外轨发生弹性形变，对轮缘产生的弹力来提供（如图甲）；由于火车的质量太大，轮缘与外轨间的相互

(2)如果弯道处外轨略高于内轨, 火车在转弯时铁轨对火车的支持力 F_N 的方向不再是竖直的, 作用力太大, 会使铁轨和车轮极易受损 而是斜向弯道的内侧, 它与重力 G 的合力指向圆心, 为火车转弯提供一部分向心力 (如图乙), 从而减轻轮缘与外轨的挤压



(3)火车受力如图丙所示, 则 $F_n = F = \frac{mv^2}{R}$ 所以 $v = \sqrt{gR \tan \theta}$.



(4) 当火车行驶速度 $v > v_0 = \sqrt{gR \tan \theta}$ 时, 重力和支持力的合力提供的向心力不足, 此时外侧轨道对轮缘有向里的侧向压力; 当火车行驶速度 $v < v_0 = \sqrt{gR \tan \theta}$ 时, 重力和支持力的合力提供的向心力过大, 此时内侧轨道对轮缘有向外的侧向压力

[知识深化]

1. 弯道的特点: 在实际的火车转弯处, 外轨高于内轨, 若火车转弯所需的向心力完全由重力

$$v_0 = \sqrt{gR \tan \theta}$$

和支持力的合力提供, 即 $mg \tan \theta = \frac{mv_0^2}{R}$, 如图 2 所示, 则 $v_0 = \sqrt{gR \tan \theta}$, 其中 R 为弯道半径, θ 为轨道平面与水平面间的夹角, v_0 为转弯处的规定速度。

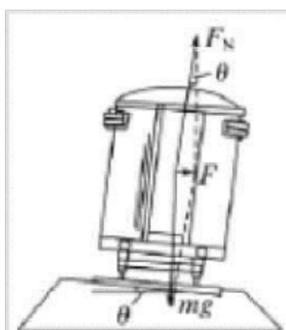


图 2

2. 速度与轨道压力的关系

(1) 当火车行驶速度 v 等于规定速度 v_0 时, 所需向心力仅由重力和弹力的合力提供, 此时内外轨道对火车无挤压作用。

(2) 当火车行驶速度 $v > v_0$ 时，外轨道对轮缘有侧压力.

(3) 当火车行驶速度 $V < V_0$ 时，内轨道对轮缘有侧压力。

R, 若质量为 m 的火车转弯时速度等于

$gR \tan \theta$, 则 ()

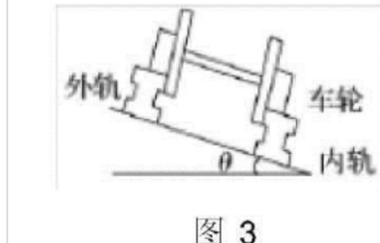


图 3

例 1 铁路在弯道处的内外轨道高度是不同的，已知内外轨道平面与水平面的夹角为 θ ，如

图 3 所示，当火车转弯时，下列说法正确的是

C. 这时铁轨对火车的支持力等于

$$\frac{mg}{\cos \theta}$$

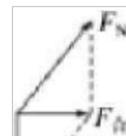
D. 这时铁轨对火车的支持力大于

$$\frac{mg}{\cos \theta}$$

B. 外轨对外侧车轮轮缘有挤压

解析 由牛顿第二定律 $F_{\text{合}} = m \frac{v^2}{R}$, 解得 $F_{\text{合}} = mg \tan \theta$

θ , 此时火车受重力和铁路

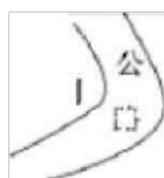


轨道的支持力作用，如图所示， $F_N \cos \theta = mg$ 则 $F_N = \frac{mg}{\cos \theta}$ ，内、外轨道对

答案 C

【例 2 (多选)公路急转弯处通常是交通事故多发地带。当汽车通过该弯处时，若汽车速度恰好等于设计速度 V_0 ，则汽车恰好没有向公路内外两侧滑动的趋势。下列说法正确的是

.如图 4, 某公路急转弯处是圆弧，



汽车行驶的速率为 V_0 时，汽车恰好没有向公路内外两侧滑动的趋势。则在弯道处 ()

A. 路面外侧高、内侧低

图 4

B. 车速只要低于 V_0 ，车辆便会向内侧滑动

C. 车速虽然高于 V_0 ，但只要不超出某一最高限度，车辆便不会向外侧滑动

D. 当路面结冰时，与未结冰时相比， V_0 的值变小

答案 AC

解析当汽车行驶的速率为 V_0 时，汽车恰好没有向公路内外两侧滑动的趋势，即不受静摩擦

力，此时由重力和支持力的合力提供向心力，所以路面外侧高、内侧低，选项 A 正确；当车

速低于 V_0 时，需要的向心力小于重力和支持力的合力，汽车有向内侧运动的趋势，受到的静摩擦力向外侧，并不一定会向内侧滑动，选项 B 错误；当车速高于 V_0 时，需要的向心力大于重力和支持力的合力，汽车有向外侧运动的趋势，静摩擦力向内侧，速度越大，静摩擦力越

大，只有静摩擦力达到最大以后，车辆才会向外侧滑动，选项 C 正确；由 $mg \tan \theta = m \frac{v_0^2}{r}$

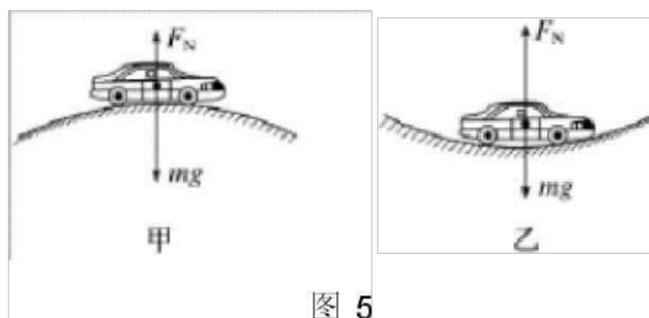
知， v_0 的值只与路面与水平面的夹角和弯道的半径有关，与路面的粗糙程度无关，选项 D 错误。

I 一 归纳总结 -----

火车转弯的或高速公路上汽车转弯的圆轨道是水平轨道，所以合力的方向水平指向圆心。解决此类问题的关键是分析清楚向心力的来源。

、圆周运动中的超重和失重

[导学探究] 如图 5 甲、乙为汽车在凸形桥、凹形桥上行驶的示意图，汽车行驶时可以看做



圆周运动。

(1) 如图甲，汽车行驶到拱形桥的桥顶时：

- ① 什么力提供向心力？汽车对桥面的压力有什么特点？ (不脱离桥面) 行驶的最大速度
- ② 汽车对桥面的压力与车速有什么关系？汽车安全通过拱桥顶是多大？

(2) 当汽车行驶到凹形桥的最底端时，什么力提供向心力？汽车对桥面的压力有什么特点？

(1) ①当汽车行驶到凸形桥的桥顶时，重力与支持力的合力提供向心力，即 $mg - F_N = m \frac{v^2}{R}$ ；此时车对桥面的压力 $F_N' = mg - m \frac{v^2}{R}$ ，即车对桥面的压力小于车的重力，汽车处于失重状态。

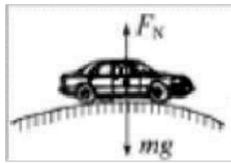
②由 $F_N = mg - m \frac{v^2}{R}$ 可知，当汽车的速度增大时，汽车对桥面的压力减小，当汽车对桥面的压力为零时，汽车的重力提供向心力，此时汽车的速度达到最大，由 $mg = m \frac{v_m^2}{R}$ ，得 $v_m = \sqrt{gR}$ ，如果汽车的速度超过此速度，汽车将离开桥面。

(2)当汽车行驶到凹形桥的最底端时，重力与支持力的合力提供向心力，即 $F_N - mg = m \frac{v^2}{R}$ ；此时车对桥面的压力 $F_N' = m \frac{v^2}{R} + mg$ ，即车对桥面的压力大于车的重力，汽车处于超重状态，并且汽车的速度越大，汽车对桥面的压力越大。

[知识深化]

1. 拱形桥问题

(1) 汽车过拱形桥 (如图 6)



汽车在最点满足关系： $F_N = mR$ ，即 $v^2 = gR$ ， $F_N = mg - \frac{mv^2}{R}$ 。

- ① 当 $v = \sqrt{gR}$ 时， $F_N = 0$ 。
- ② 当 $0 < v < \sqrt{gR}$ 时， $0 < F_N < mg$ 。
- ③ 当 $v > \sqrt{gR}$ 时，汽车将脱离桥面做平抛运动，发生危险。



汽车在最低点满足关系： $F_N - mg = \frac{mv^2}{R}$ ，即 $F_N = mg + \frac{mv^2}{R}$ 。

(2) 汽车过凹形桥 (如图 7)

由此可知，汽车对桥面的压力大于其自身重力，故凹形桥易被压垮，因而实际中拱形桥多于凹形桥。

2. 绕地球做圆周运动的卫星、飞船、空间站处于完全失重状态

(1) 质量为 M 的航天器在近地轨道运行时，航天器的重力提供向心力，满足关系： $Mg = MR \omega^2$ 。

则 $v = \sqrt{gR}$

(2) 质量为 m 的航天员：航天员的重力和座舱对航天员的支持力提供向心力，满足关系： $F_N - mg = m \frac{v^2}{R}$ 。

当 $v = \sqrt{gR}$ 时， $F_N = 0$ ，即航天员处于完全失重状态。

(3) 航天器内的任何物体都处于完全失重状态。

【例 3】在较大的平直木板上相隔一定距离钉几个钉子，将三合板弯曲成拱桥形卡入钉子内形成拱形桥，三合板上表面事先铺上一层牛仔布以增加摩擦，这样玩具惯性车就可以在桥面上跑起来了。把这套系统放在电子秤上做实验，如图 8 所示，关于实验中电子秤的示数下列说法

正确的是 ()



图 8

A. 玩具车静止在拱桥顶端时的示数小一些

B. 玩具车运动通过拱桥顶端时的示数大一些

C. 玩具车运动通过拱桥顶端时处于超重状态

D. 玩具车运动通过拱桥顶端时速度越大（未离开拱桥），示数越小

答案 D

解析玩具车运动到最高点时，受向下的重力和向上的支持力作用，根据牛顿第二定律有 $mg - F_N = m\frac{v^2}{R}$

根据牛顿第三定律可知玩具车对桥面的压力大小与 F_N 相等，
 $F_N = mg - m\frac{v^2}{R}$ ，即 $F_N = mg - m\frac{v^2}{R} < mg$

所以玩具车通过拱桥顶端时速度越大（未离开拱桥），示数越小，选项 D 正确。

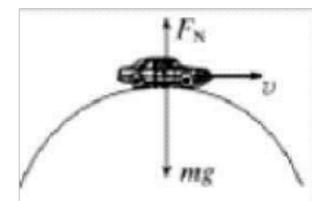
[例 4 一辆质量 $m = 2 \text{ t}$ 的轿车，驶过半径 $R = 90 \text{ m}$ 的一段凸形桥面， $g = 10 \text{ m/s}^2$ ，求：

(1) 轿车以 10 m/s 的速度通过桥面最高点时，对桥面的压力是多大？

(2) 在最高点对桥面的压力等于零时，车的速度大小是多少？

答案 (1) $1.78 \times 10^4 \text{ N}$ (2) 30 m/s

解析 (1) 轿车通过凸形桥面最高点时，竖直方向受力分析如图所示：



合力 $F = mg - F_N$ ，由向心力公式得 $m\frac{v^2}{R} = mg - F_N$ ，故桥面对车的支持力大

小 $F_N = mg - m\frac{v^2}{R} = (2000 \times 10 - 2000 \times \frac{10^2}{90}) \text{ N} \approx 1.78 \times 10^4 \text{ N}$

根据牛顿第三定律，轿车在桥面最高点时对桥面压力的大小为 $1.78 \times 10^4 \text{ N}$ 。

(2) 对桥面的压力等于零时，向心力 $F' = mg = m\frac{v'^2}{R}$ ，所以此时轿车的速度大小 $v' = \sqrt{gR} = \sqrt{10 \times 90} \text{ m/s} = 30 \text{ m/s}$ 。

三、对离心运动的理解和应用

[导学探究] (1) 做圆周运动的物体向心力突然消失，它会怎样运动？

(2) 如果物体受的合外力不足以提供向心力，它又会怎样运动？

(3) 要使原来做匀速圆周运动的物体做离心运动，可以怎么办？举例说明离心运动在生活中的应用。

答案 (1) 将沿切线方向飞出。

(2) 物体将逐渐远离圆心运动。

(3) 方法一：提高转速，使所需的向心力大于能提供的向心力。即让合外力不足以提供向心力

方法二：减小或使合外力消失。

应用：利用离心运动制成离心机械设备。例如，离心干燥器、洗衣机的脱水筒和离心转速计等

[知识深化] 对离心现象的理解

1. 物体做离心运动的原因：提供向心力的外力突然消失，或者外力不能提供足够的向心力 注意：物体

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/22615520024011004>