

第五章

万有引力与宇宙航行

专题强化六 天体运动中的三类典型问题



栏目导航

核心考点·重点突破

考点 1 赤道上物体、近地卫星与同步卫星的差异

(能力考点·深度研析)

1. 地球同步卫星的特点

相对于地面静止且与地球自转具有相同周期的卫星叫地球同步卫星。同步卫星有以下“七个一定”的特点：

- (1)轨道平面一定：轨道平面与赤道平面共面。
- (2)周期一定：与地球自转周期相同，即 $T=24\text{ h}$ 。
- (3)角速度一定：与地球自转的角速度相同。

(4)高度一定：由 $G\frac{Mm}{(R+h)^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}(R+h)$ 得地球同步卫星离地面的高

度 $h=\sqrt[3]{\frac{GMT^2}{4\pi^2}}-R\approx 3.6\times 10^7\text{ m}。$

(5)速率一定： $v=\sqrt{\frac{GM}{R+h}}\approx 3.1\times 10^3\text{ m/s}。$

(6)向心加速度一定：由 $G\frac{Mm}{(R+h)^2}=ma_n$ 得 $a_n=\frac{GM}{(R+h)^2}=g_h=0.23\text{ m/s}^2$ ，即同步卫星的向心加速度等于轨道处的重力加速度。

(7)绕行方向一定：运行方向与地球自转方向一致。

2. 赤道上的物体、近地卫星和同步卫星做圆周运动的异同点

比较内容	赤道上的物体	近地卫星	同步卫星
向心力来源	万有引力的分力	万有引力	
向心力方向	指向地心		
重力与万有引力的关系	重力略小于万有引力	重力等于万有引力	
轨道半径	地球半径 R	地球半径 R	地球半径 R 与卫星离地面高度 h 之和



比较内容	赤道上的物体	近地卫星	同步卫星
周期	$T_1=24\text{ h}$	$T_2=85\text{ min}$	$T_3=24\text{ h}$
角速度	$\omega_1=\omega_{\text{自}}$	$\omega_2=\sqrt{\frac{GM}{R^3}}$	$\omega_3=\omega_{\text{自}}=\sqrt{\frac{GM}{(R+h)^3}}$
	$\omega_1=\omega_3<\omega_2$		
线速度	$v_1=\omega_1 R$	$v_2=\sqrt{\frac{GM}{R}}$	$v_3=\omega_3(R+h)$ $=\sqrt{\frac{GM}{R+h}}$
	$v_1<v_3<v_2$ (v_2 为第一宇宙速度)		

比较内容	赤道上的物体	近地卫星	同步卫星
向心加速度	$a_1 = \omega_1^2 R$	$a_2 = \omega_2^2 R$ $= \frac{GM}{R^2}$	$a_3 = \omega_3^2 (R + h)$ $= \frac{GM}{(R + h)^2}$
	$a_1 < a_3 < a_2$		



►考向1 同步卫星问题

例^① (2021·河北卷) “祝融号”火星车登陆火星之前, “天问一号”探测器沿椭圆形的停泊轨道绕火星飞行, 其周期为2个火星日。假设某飞船沿圆轨道绕火星飞行, 其周期也为2个火星日。已知一个火星日的时长约为一个地球日, 火星质量约为地球质量的0.1倍, 则该飞船的轨道半径与地球同步卫星的轨道半径的比值约为(**D**)

A. $\sqrt[3]{4}$

B. $\sqrt[3]{\frac{1}{4}}$

C. $\sqrt[3]{\frac{5}{2}}$

D. $\sqrt[3]{\frac{2}{5}}$

[解析] 由于某飞船绕火星做匀速圆周运动，地球同步卫星绕地球做匀速圆周运动，万有引力提供做圆周运动的向心力，得 $G\frac{Mm}{r^2} = m\frac{4\pi^2}{T^2}r$,

解得 $r^3 = \frac{GMT^2}{4\pi^2}$ ，则 $\frac{r_{\text{船}}^3}{r_{\text{卫}}^3} = \frac{M_{\text{火}}}{M_{\text{地}}} \left(\frac{T_{\text{船}}}{T_{\text{卫}}} \right)^2 = \frac{2}{5}$ ，得 $\frac{r_{\text{船}}}{r_{\text{卫}}} = \sqrt[3]{\frac{2}{5}}$ ，故 D 正确。

►考向2 赤道上的物体、近地卫星和同步卫星的差异

受重力和支持力，合力提供向心力

例② 有三颗质量相同的人造地球卫星 1、2、3，1 是放置在赤道附近还未发射的卫星，2 是靠近地球表面做圆周运动的卫星，3 是在高空的一颗地球同步卫星。比较 1、2、3 三颗人造卫星的运动周期 T 、线速度 v 、角速度 ω 和向心力 F ，下列判断正确的是 (B)

A . $T_1 < T_2 < T_3$

B . $\omega_1 = \omega_3 < \omega_2$

C . $v_1 = v_3 < v_2$

D . $F_1 > F_2 > F_3$

1、2 半径相同，1、3 周期相同，2、3 由万有引力提供向心力且 $R_3 > R_2$ (越远越慢) 所以

① $T_2 < T_1 = T_3$ ② $\omega_1 = \omega_3 < \omega_2$ ③ $v_1 < v_3 < v_2$

[解析] 三颗卫星的半径关系为 $r_1=r_2<r_3$ 。将卫星 1 和卫星 3 作为一组，根据同步卫星的特点可知 $\omega_1=\omega_3$ ， $T_1=T_3$ ，根据公式 $v=r\omega$ 和 $a=r\omega^2$ 可知 $v_1<v_3$ ， $a_1<a_3$ ；将卫星 2 和卫星 3 作为一组，由 $\frac{GMm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}=m\omega^2 r$ 得 $v_2>v_3$ ， $T_2<T_3$ ， $\omega_2>\omega_3$ 。综上可知 $T_1=T_3>T_2$ ， $\omega_1=\omega_3<\omega_2$ ， $v_2>v_3>v_1$ ，故 B 项正确，A、C 两项错误；对于卫星 1、3，向心力 $F=m\omega^2 r$ ，则 $F_1<F_3$ ；对于卫星 2、3，向心 $F=\frac{GMm}{r^2}$ ，则 $F_2>F_3$ ，所以 $F_2>F_3>F_1$ ，故 D 项错误。

【跟踪训练】

1 (同步卫星问题) 卢旺达2023年5月2日至3日遭受强降雨，引发该地区的洪水和山体滑坡等灾害。我国通过风云—2H静止气象卫星提供持续监测。风云—2H卫星于2018年6月5日成功发射到离地面高度约为地球半径5倍的地球静止轨道，可以为亚太空间合作组织成员国和“一带一路”沿线国家提供良好的观测视角和高频次区域观测。则关于风云—2H卫星说法正确的是(**C**)

- A. 围绕地球运转的角速度大于地球自转角速度
- B. 运行速度应是7.9 km/s
- C. 向心加速度约为其地面上物体的重力加速度的 $\frac{1}{36}$
- D. 我国能利用它进行气象观测，是因为它可以经过北京的正上方

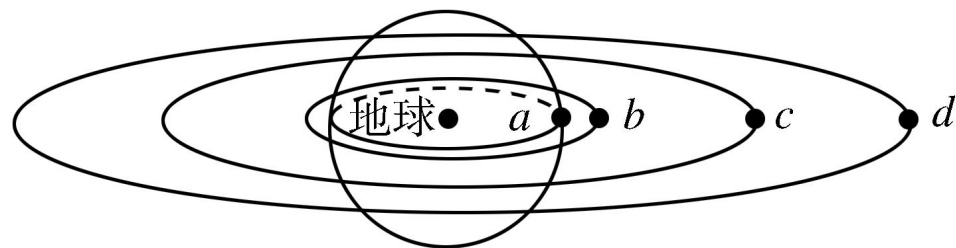


[解析] 地球静止卫星围绕地球的角速度与地球自转角速度大小相等，故 A 错误；第一宇宙速度 7.9 km/s 是近地卫星的环绕速度，也是地球卫星绕地球做匀速圆周运动的最大环绕速度，而静止卫星的轨道半径要大于近地卫星的轨道半径，其线速度一定小于第一宇宙速度，故 B 错误；根据万有引力提供向心力，得 $\frac{GMm}{(5R+R)^2} = ma$ ，据地球表面万有引力等于重力，得 $\frac{GMm}{m} = mg$ ，由以上两等式得 $a = \frac{1}{36}g$ ，所以它的向心加速度约为其地面上物体的重力加速度的 $\frac{1}{36}$ ，故 C 正确；静止卫星轨道和赤道在同一平面，所以不可能经过北京的正上空，故 D 错误。故选 C。



(赤道上的物体、近地卫星和同步卫星的差异)有 a 、 b 、 c 、 d 四颗卫星， a 还未发射，在地球赤道上随地球一起转动， b 在地面附近近地轨道上正常运行， c 是地球同步卫星， d 是高空探测卫星，设地球自转周期为 24 h，所有卫星的运动均视为匀速圆周运动，各卫星排列位置如图所示，则下列关于卫星的说法中正确的是(**C**)

- A. a 的向心加速度等于重力加速度 g
- B. c 在 4 h 内转过的圆心角 $\frac{\pi}{6}$
- C. b 在相同的时间内转过的弧长最长
- D. d 的运动周期可能是 23 h



[解析] 同步卫星的运行周期与地球自转周期相同，角速度相同，则 a 和 c 的角速度相同，根据 $a=\omega^2 r$ 知， c 的向心加速度大于 a 的向心加速度，由 $\frac{GMm}{r^2}=ma$ 知， c 的向心加速度小于 b 的向心加速度，而 b 的向心加速度约为 g ，故 a 的向心加速度小于重力加速度 g ，选项 A 错误；由于 c 为同步卫星，所以 c 的周期为 24 h，因此 4 h 内转过的圆心角 $\theta=\frac{\pi}{3}$ ，选项 B 错误；由 $\frac{GMm}{r^2}=\frac{mv^2}{r}$ ，得 $v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$ ，轨道的半径越大，线速度越小，所以 b 的线速度最大，在相同时间内转过的弧长最长，选项 C 正确；由开普勒第三定律 $\frac{R^3}{T^2}=k$ 知，卫星的半径越大，周期越大， d 的半径大于 c 的半径，所以周期应大于 24 h，选项 D 错误。

考点 2

人造卫星的变轨及对接问题

(能力考点·深度研析)

1. 两类变轨情况的分析

两类变轨	离心运动	近心运动
变轨起因	飞行器加速	飞行器减速
受力特点	$G\frac{Mm}{r^2}<m\frac{v^2}{r}$	$G\frac{Mm}{r^2}>m\frac{v^2}{r}$

两类变轨	离心运动	近心运动
变轨结果	变为椭圆轨道或在更高圆轨道上运动	变为椭圆轨道运动或在更低圆轨道上运动
能量变化	机械能增加(高轨动能减小, 势能增加)	机械能减小(低轨动能增加, 势能减小)



2. 变轨过程各物理量比较

	速度关系	在 A 点加速: $v_{IIA} > v_I$, 在 B 点加速: $v_{III} > v_{II}$ B , 即 $v_{IIA} > v_I > v_{III} > v_{IIB}$
	(向心) 加速度关系	由 $a = \frac{F}{m} = \frac{GM}{r^2}$ 判断加速度 $a_{III} = a_{IIB}$ $a_{IIA} = a_I$
	周期关系	由开普勒第三定律判断周期关系 $T_I < T_{II} < T_{III}$
	机械能	由机械能的变化量等于除重力之外的其它力做的功判断机械能的关系为 $E_I < E_{II} < E_{III}$

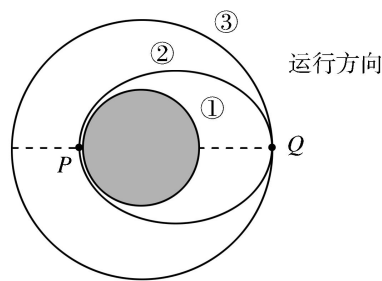
3. 卫星的对接问题

在低轨道运行的卫星，加速后可以与高轨道的卫星对接。同一轨道的卫星，不论加速或减速都不能对接。



►考向1 卫星变轨问题中各物理量的比较

例^③ (2024·山西太原高三联考)2023年11月28日,中国载人航天工程办公室公布了神舟十六号拍摄到的我国空间站的照片和在空间站拍摄到的神舟十六号撤离时的震撼画面。神舟十六号载人飞船于10月30日成功撤离空间站组合体,标志着中国空间站建设又一重要里程碑。空间站与神舟十六号飞船分离前按照如图所示的运行方向在圆轨道③上做匀速圆周运动,空间站与飞船在 Q 点分离,随后飞船进入椭圆轨道②,逐步转移到近地轨道①,再寻找合适的时机进入大气层。不考虑飞船、空间站在太空中受到的阻力,下列说法正确的是(**C**)



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/058033000130007010>