“同步卫星”还是“静止卫星”

——人教版物理教材改动的解读

倪 曦 周凤雏 杨瑞华 汪钰轩 (贵州师范大学物理与电子科学学院 贵州 550025)

摘 要 在深入分析人教版高中物理教材对于同步卫星定义的修订的基础上,进一步详细地解释了地球静止轨道卫星和地球同步轨道卫星的特点,明晰了这两个概念之间的异同,帮助学生更好地理解同步卫星的物理原理和实际应用,培养学生的物理学科核心素养。

关键词 物理教材修改 同步卫星 核心素养

文章编号 1002-0748(2024)6-0016 **中图分类号** G633·7 **文献标识码** B

“同步卫星”作为高中物理课程的重要知识点之一,其概念的界定对学生的理解极为关键。然而以往教材对该概念的简化表述可能会使学生混淆对地球静止轨道卫星和地球同步轨道卫星的理解,因此2020年最新的人教版教材修订了关于同步卫星的定义。本文通过分析人教版不同版次教材中对同步卫星定义的表述,探讨了新旧定义之间的差异,解释了这些变化的原因,旨在帮助学生更深入地理解同步卫星的知识。

1 教材改动对比

1.1 2019年版教材中的定义

在2019年6月的人教版《物理(必修二)》教材(以下简称19年版教材)中,对同步卫星的定义为:“地球同步卫星位于赤道上方高度约36 000 km处,因相对地面静止,也称静止卫星。地球同步卫星与地球以相同的角速度转动,周期与地球自转周期相同[1]。”

1.2 2020年版教材中的定义

在2020年5月出版的教材(以下简称20年版教材)中,同步卫星的定义为:“地球同步卫星位于地面上方高度约36 000 km处,周期与地球自转周期相同。其中一种的轨道平面与赤道平面成0度角,运动方向与地球自转方向相同。因其相对地面静止,也称静止卫星。”相比之下,20年版教材对同步卫星的定义进行了显著的扩展和深化[2]。

1.3 改动初步对比

通过对比19年版和20年版教材中关于地球同步轨道卫星的定义,可以看出20年版教材中的定义更加完善。19年版教材侧重于描述静止卫星的基本位置(赤道上方约36 000 km)和其相对地面的静止状态,同时提及了静止卫星与地球转动的同步性。而20年版教材除了19年版教材中提到的同步卫星轨道高度外,特别增加了“其中一种的轨道平面与赤道平面相同”这一重要内容。这一补充强调了除了静止卫星以外,同步卫星还存在其他的类型,静止卫星只是同步卫星的一个特殊情况。

2 同步卫星的解读

2.1 “同步”的含义

根据国家航天局的解释,同步轨道的核心特征,即轨道中的物体(如卫星)绕其所围绕的天体(如地球)的运动周期与天体的自转周期相同[3]。所谓同步实质上是指运行周期相同,而不是时时刻刻与地球上某位置保持同步。由此可知,同步卫星有两种,一种是与赤道共面的静止卫星(后文统称为地球静止轨道卫星),另一种是与赤道有倾斜角度的同步卫星(后文统称为地球倾斜同步轨道卫星)[4]。这两种卫星围绕地球运行时的轨迹如图1所示。

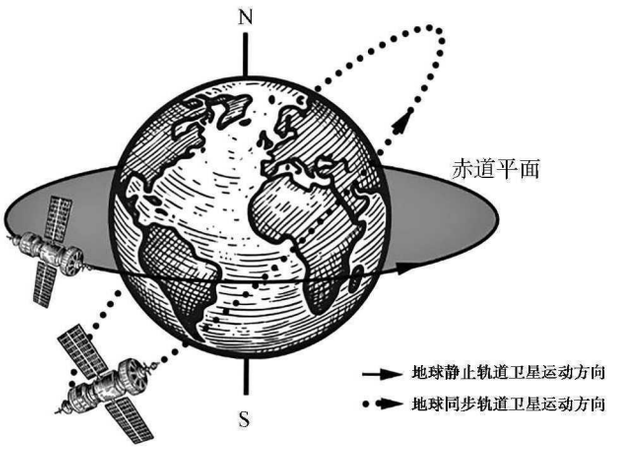

图1 两种卫星的运行轨道

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

从图1中可以观察到，地球倾斜同步轨道卫星和地球静止轨道卫星处于相同的轨道高度。当卫星距离地球表面高度约为36 000 km时，运行周期与地球自转周期一致，这两种卫星都可以称为同步卫星。这一结果揭示了一个关键事实：同步卫星的轨道不是只能位于赤道上空，还可以与赤道平面存在夹角。

2.2　地球静止轨道卫星与地球倾斜同步轨道卫星的异同

球静止轨道卫星和地球倾斜同步轨道卫星运动参数的对比见表1。

表1　地球静止轨道卫星与地球倾斜同步轨道卫星的比较

类别	地球静止轨道卫星	地球倾斜同步轨道卫星
周期(T)	23 h 56 m 4 s	23 h 56 m 4 s
轨道半径(R)	42 158 km	42 158 km
角速度	7.29×10^{-5} rad/s	7.29×10^{-5} rad/s
线速度	3.07×10^{3} m/s	3.07×10^{3} m/s
轨道倾斜角度(i)	0°	$0°<\alpha\leqslant90°$
星下点轨迹	一个点	“8”字形[5]

3　两种不同星下点轨迹的同步卫星

3.1　地球静止轨道卫星的星下点轨迹

由地球静止轨道卫星的定义可知，卫星距离地球表面的高度约为36 000 km。若设地球质量为M，地球半径为R_0，卫星质量为m，离赤道的高度为h，地球自转周期为T，根据卫星运行时万有引力提供向心力，则有

$$G\frac{Mm}{(R_0+h)^2}=m\omega^2(R_0+h)=m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2(R_0+h)$$

化简后，可以得到

$$h=\sqrt[3]{\frac{GMT^2}{4\pi^2}}-R_0$$

查得地球质量$M=5.97\times10^{24}$ kg，地球半径$R_0=6.371\times10^{6}$ m，地球自转周期$T=23\text{ h }56\text{ min }4\text{ s}$，将具体数值代入上式可得：

$$h=3.58\times10^{7}\text{ m}$$

同理可得，静止轨道卫星的角速度和线速度为

$$\omega=\sqrt{\frac{GM}{(R_0+h)^3}}=7.29\times10^{-5}\text{ rad/s}$$

$$v=\omega(R_0+h)=3.07\times10^{3}\text{ m/s}$$

将上述计算结果与地球自转的角速度(7.29×10^{-5} rad/s)及赤道表面附近的线速度(3.07×10^{3} m/s)对比，静止轨道卫星的特点可以归纳如下：

首先，这种静止轨道卫星的轨道位于赤道上空，这意味着轨道面与赤道面完全重合；其次，轨道高度恒定在3.58×10^{7} m处；最后，在理想情况下，从地球上观察静止轨道卫星是静止不动的，与地球自转方向相同环绕地球运动，线速度约为3.07×10^{3} m/s，周期与地球的自转周期相同，约为23小时56分钟4秒。在静止轨道上运行的卫星能够与地球同步旋转，从而相对于地面保持静止状态，所以地球静止轨道卫星的星下点轨迹是一个点。

3.2　地球倾斜同步轨道卫星星下点轨迹

虽然在十几年前就有文章讨论并且指出地球同步卫星不是只能位于赤道上空[6]，但是因为篇幅原因该文并未详细讨论相关的细节。由上文分析可知，地球倾斜同步轨道卫星的角速度和线速度与地球静止轨道卫星的角速度和线速度相同，但两者的星下点轨迹完全不同。本文基于20年版教材对同步卫星定义的修正，进一步探讨地球倾斜同步轨道卫星的星下点轨迹，启发学生思考还应该存在着其他类型的同步轨道卫星。

如图2所示，以赤道平面为$O-XY$平面，建立三维直角坐标系$O-XYZ$。假设地球半径为R_0，轨道倾斜角(轨道平面与赤道平面的夹角)为α，同步卫星的角速度为ω，则任意地球同步轨道卫星的运动轨迹方程可以表示为

$$r(t)=(x(t),\ y(t),\ z(t))$$

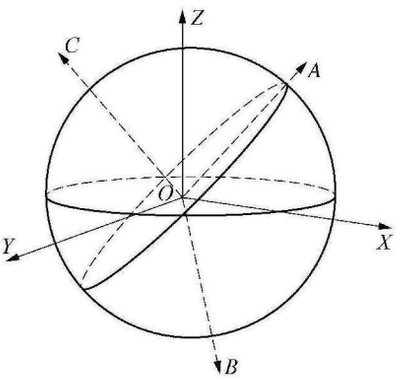

图2　赤道坐标系

同理，以该卫星的轨道平面建立直角坐标系$O-ABC$，则其轨迹方程为

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

$$\begin{pmatrix}\cos\omega t\\ \sin\omega t\\ 0\end{pmatrix}$$

若要求投影的轨迹方程，则需要借助顺时针的转系矩阵将其轨迹方程先转换到赤道平面，即有

$$\begin{pmatrix}x\\ y\\ z\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}1 & 0 & 0\\ 0 & \cos\alpha & -\sin\alpha\\ 0 & \sin\alpha & \cos\alpha\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\cos\omega t\\ \sin\omega t\\ 0\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}\cos\omega t\\ \cos\alpha\sin\omega t\\ \sin\alpha\sin\omega t\end{pmatrix}$$

再将其换到地面参考系中，因为地球绕 z 轴做角速度为 ω 的转动，所以换系在 XOY 平面中进行即可，则有

$$\begin{pmatrix}x'\\ y'\\ z'\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}\cos\omega t & \sin\omega t & 0\\ -\sin\omega t & \cos\omega t & 0\\ 0 & 0 & 1\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\cos\omega t\\ \cos\alpha\sin\omega t\\ \sin\alpha\sin\omega t\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}\cos\alpha+(1-\cos\alpha)\cos^2\omega t\\ -\dfrac{1-\cos\alpha}{2}\sin 2\omega t\\ \sin\alpha\sin\omega t\end{pmatrix}$$

可得：

$$y'=-\frac{1-\cos\alpha}{2}\sin 2\omega t$$

$$z'=\sin\alpha\sin\omega t$$

由此可知，同步卫星的运动轨迹在 YOZ 平面内做相互垂直的简谐运动，频率比为 2∶1。结合李萨如图形，可以观察到同步卫星的初相位差为 π，即位移相位落后于速度相位 $\frac{\pi}{2}$，所以在地面上的投影轨迹呈“8”字形。

3.3　同步卫星的应用举例

在实际应用中，地球静止轨道卫星和地球倾斜轨道同步卫星都扮演着至关重要的角色。地球静止轨道卫星由于其相对地面静止，特别适用于通信、气象监测和环境监控等领域，能够为特定区域提供持续的数据和信号覆盖。而地球倾斜轨道同步卫星，由于其独特的轨道形状，可以覆盖地球赤道以外更广泛的区域，包括高纬度地区，在提高通信的可靠性与环境监测和气候变化研究方面也发挥着关键作用。例如，中国的北斗卫星导航系统，它既使用了地球静止轨道卫星提供持续不断的信号传输，又使用了地球倾斜轨道同步卫星能够达到覆盖全球的要求。

4　教材改动促进核心素养的培养

最新版次教材对同步卫星定义的修订，使学生在学习中可以形成更加清晰的物理观念，这一修订不仅使他们能够明确地区分地球静止轨道卫星和地球同步轨道卫星，还强调了地球静止轨道卫星实际上是地球同步轨道卫星的一个特例。

通过对静止轨道卫星和同步轨道卫星的学习，促进学生养成对比学习的思维方式，也培养了学生的科学思维。

在教学的过程中，教师可以指导学生在课后更进一步了解除了本文介绍的同步卫星以外，还存在偏心轨道同步卫星和逆行轨道同步卫星，以此培养学生的科学探究能力。

此外，教材的修订过程本身也是一种教育方式，可以促进学生形成正确的科学态度和价值观，培养实事求是的科学态度。

5　总　结

本文深入探讨了同步卫星的定义及其在 20 年版教材中的更新，这对于教学实践具有显著的指导意义。同步卫星定义的精确化，使得教师们面临着教学内容和方法更新的挑战。本文的研究表明，教师需要更加明确地区分并讲解静止卫星和同步卫星的异同，包括讨论静止轨道卫星数量的限制和同步轨道卫星的重要性。通过这些教学调整，教师可以更有效地传达最新的科学知识，促进学生对复杂概念的深入理解，更好地体现理论与实践相结合的教学理念，培养学生的物理学科核心素养[6]。

参考文献

[1] 彭前程，黄恕伯. 物理(必修二)[M]. 北京：人民教育出版社，2019：61.

[2] 彭前程，黄恕伯. 物理(必修二)[M]. 北京：人民教育出版社，2020：61.

[3] 国家航天局. 什么叫地球同步和地球静止卫星轨道[R]. 2004年09月09日. https://www.cnsa.gov.cn/n6758968/n6758973/c6795415/content.html.

[4] 北斗卫星导航系统. 卫星轨道有几种？[R]. 2011年03月18日. http://www.beidou.gov.cn/zy/kpyd/201710/t20171011_4666.html.

[5] 李红，包海涛. 星下点轨迹为“∞”字形同步卫星轨道的实现及应用[J]. 系统工程与电子技术，2006(8)：1194　1196，1265.

[6] 周见林. 关于地球静止轨道的一点看法[J]. 物理教师，2006(1)：36　37.

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net