

开拓眼界

拓展知识面

启发思维



EXCELLENT BEYOND

CAMPARE RORLD

NATURAL LANDSCAPE

带你走进科学的世界

握手 太空的 航天科技

发射第一颗人造地球卫星
中国的载人飞船成功发射



北京联合出版公司
Beijing United Publishing Co., Ltd.



开阔眼界

拓宽知识面

启发思维

握手太空的 航天科技

带你走进科学的世界

苗桂芳 编著



北京联合出版公司
Beijing United Publishing Co., Ltd.

图书在版编目(CIP)数据

握手太空的航天科技 / 苗桂芳编著. -- 北京 : 北京联合出版公司, 2014.5

(带你走进科学的世界)

ISBN 978 - 7 - 5502 - 2941 - 9

I. ①握… II. ①苗… III. ①航天科技 - 青少年读物
IV. ①V1 - 49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 083915 号

握手太空的航天科技

编 著 : 苗桂芳

选题策划 : 凤苑阁文化

责任编辑 : 李 征

北京联合出版公司

(北京市西城区德外大街 83 号楼 9 层 100088)

北京威远印刷有限公司印刷 新华书店经销

字数 80 千字 710 毫米 × 1092 毫米 1/16 10 印张

2014 年 6 月第 1 版 2014 年 6 月第 1 次印刷

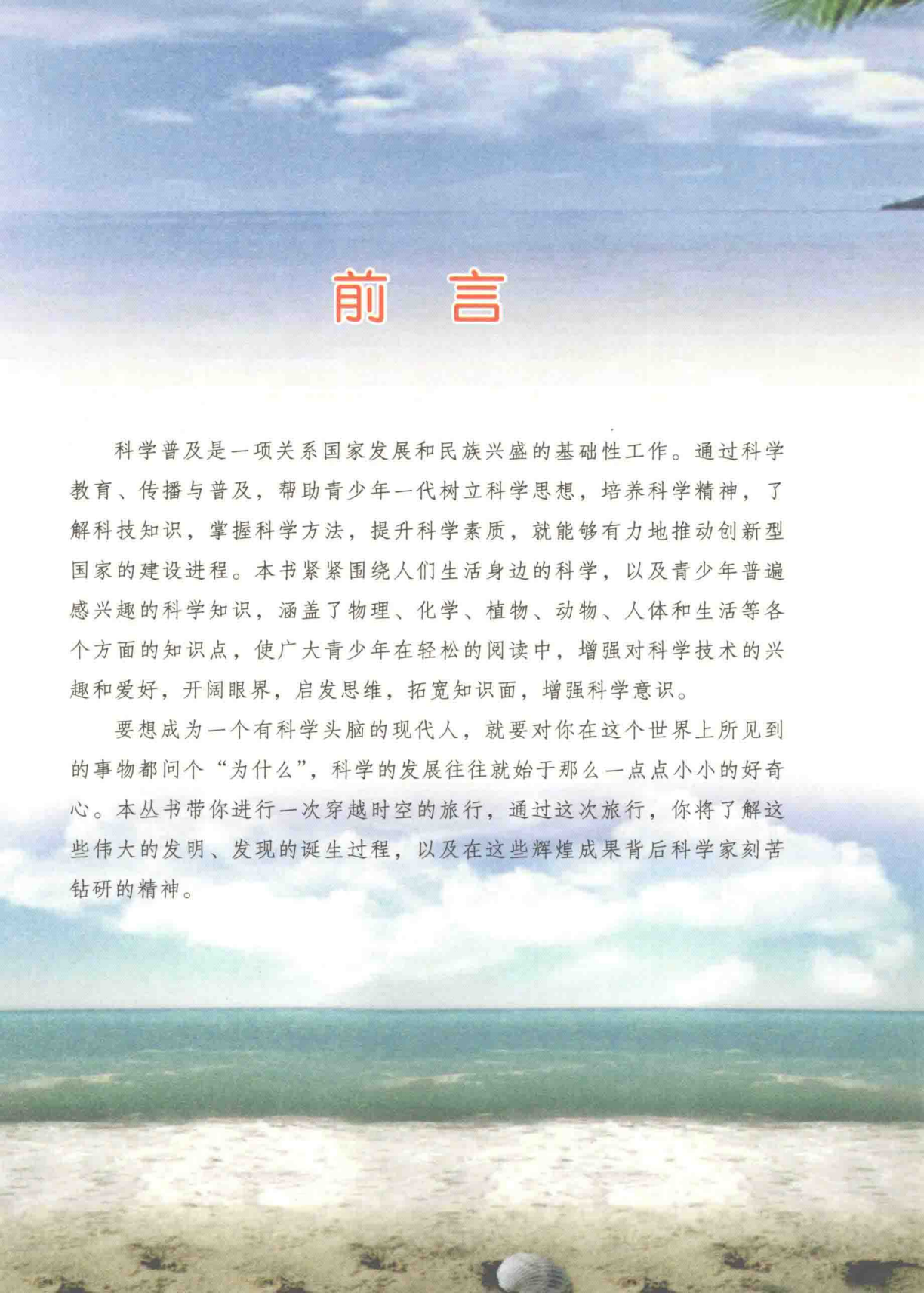
ISBN 978 - 7 - 5502 - 2941 - 9

定价:24.90 元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书部分或全部内容

版权所有,侵权必究

本书若有质量问题,请与本公司图书销售中心联系调换 010 - 64243832。



前言

科学普及是一项关系国家发展和民族兴盛的基础性工作。通过科学教育、传播与普及，帮助青少年一代树立科学思想，培养科学精神，了解科技知识，掌握科学方法，提升科学素质，就能够有力地推动创新型国家的建设进程。本书紧紧围绕人们生活身边的科学，以及青少年普遍感兴趣的科学知识，涵盖了物理、化学、植物、动物、人体和生活等各个方面的知识点，使广大青少年在轻松的阅读中，增强对科学技术的兴趣和爱好，开阔眼界，启发思维，拓宽知识面，增强科学意识。

要想成为一个有科学头脑的现代人，就要对你在这个世界上所见到的事物都问个“为什么”，科学的发展往往就始于那么一点点小小的好奇心。本丛书带你进行一次穿越时空的旅行，通过这次旅行，你将了解这些伟大的发明、发现的诞生过程，以及在这些辉煌成果背后科学家刻苦钻研的精神。

目 录

有关轨道的基础知识	001
卫星的几种特殊运行轨道	038
卫星轨道要素的选取	049
轨道确定与轨道改进	052
轨道机动与轨道维持	055
航天系统工程的组成	062
我国航天系统工程的创建和成就	069
航天器的分类	077
卫星的结构分系统	082

001

握手太空的航天科技

卫星的热控制分系统	088
卫星的姿态控制分系统	097
卫星的测控分系统	105
卫星的数据管理分系统	110
卫星的电源分系统	114
气象卫星	118
地球资源卫星	131
导航卫星	142

有关轨道的基础知识

天体动力学中的二体问题

在研究航天器,包括人造地球卫星(以下简称卫星)、载人航天飞船(简称载人飞船)、空间站以及飞离地球的空间探测器等航天器的运动中,常将问题简化成两个有一定质量的质点,并忽略大气和其他干扰力对运动物体的影响,仅在万有引力(以下简称为引力)作用下,研究其运动规律。



这在天体力学上称为二体问题。由于航天器的质量远其所围绕的中心体(如地球)的质量小,故人们又将其称为限制性二体问题。在此前提下,航天器的运动可以

用开普勒定律来描述。此时,航天器的运动始终在一个平面内,称这个平面为轨道面,这个平面必通过中心体的质心;根据航天器在不同位置上速度的大小和方向不同,航天器围绕中心体的轨道可以是圆、椭圆、抛物线或双曲线,这种轨道又称为开普勒轨道;中心体的质心位于这些曲线的一个焦点上。下面所讨论的,除另有说明外,都是指限制性二体

问题的运动。

常用的坐标系

要描述航天器所在位置和运动规律，建立运动方程，必须确定坐标系。在航天技术中常用的坐标系有：地心赤道坐标系、地心轨道坐标系、发射坐标系、飞行器(火箭)本体坐标系等。这些坐标系均为右旋坐标系。

1. 地心赤道坐标系

地心赤道坐标系是描述航天器轨道常用的坐标系。该坐标系是惯性坐标系，它以地心为坐标系原点，z轴指向北极，x轴指向春分点方向，y轴与x轴、z轴构成右旋坐标系。x轴和y轴组成的基面是地球赤道面。图1建立的坐标系Oxyz就是地心赤道坐标系

地球围绕太阳在空间走过的路线称为黄道。黄道所在的平面与赤道面之间的夹角为 $23^{\circ} 27'$ 。正因为有了这个夹角，地球上的气候才会一年有四季之分。赤道面与黄道之间有两个交点。从地球上看来，人们规定太阳由南向北经过赤道面的这一点是升交点，在天文学上叫春分点。太阳经过这一点的日子一般为每年的3月21日。地心和春分点的连线就是地





心赤道坐标系的x轴。与升交点相对的那一点叫降交点，也就是天文学上的秋分点。地心赤道坐标系又简称为地心坐标系。

如图1所示，在以地心为圆心的假想天球球面上，航天器的位置在地心赤道坐标系上可以用三个量表示，一个是地心到航天器的距离(即矢径)；一个是赤经，它是从春分点所在的经圈沿赤道度量到航天器所在的经圈，向东为正，向西为负；一个是赤纬，它是矢径在赤道面上的投影与矢径的夹角，从赤道面开始度量，向北为正，向南为负。航天器的位置也可以用X、Y、Z三个直角坐标数值来表示。

2. 地心轨道坐标系

在描述航天器的轨道运动时，若采用地心轨道坐标系则比较方便，因为，航天器的轨道是在一个平面上，而且这个平面在惯性空间中是固定的。因此，可以在这个平面内建立地心轨道坐标系(图2)。坐标原点O为地心，基准平面是轨道平面。P轴的方向指向轨道近地点P'，Q轴的指向与航天器在近地点上的运动方向一致，而W轴(图中未标出)的指向应使坐

标系构成右旋坐标系。

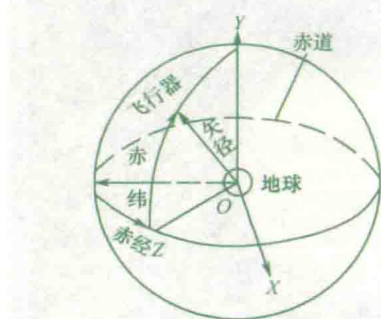


图1 地心赤道坐标系

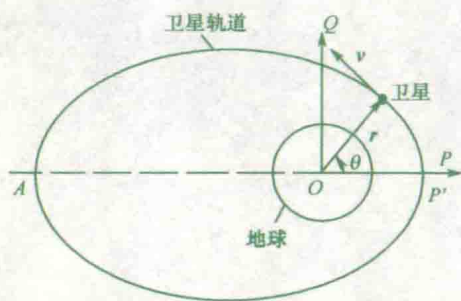
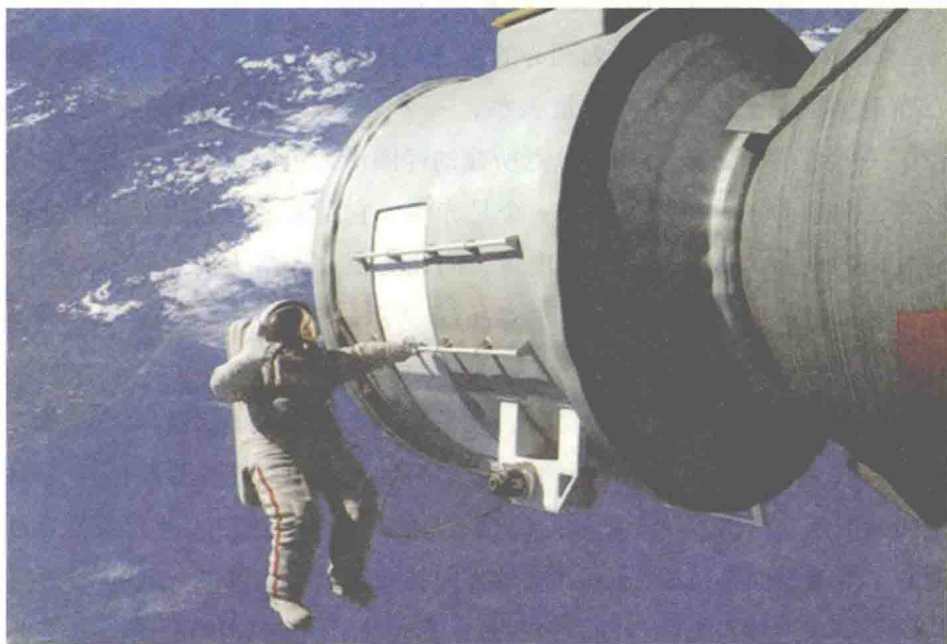


图2 地心轨道坐标系

3.发射坐标系

航天器通常是用运载火箭从地面发射，把航天器送入运行轨道，这段轨迹称为发射轨道，又称火箭的上升段、动力飞行段或主动段。由上升段进入运行轨道称为入轨，进入运行轨道时的初始位置称为入轨点，航天器入轨点的运动参数 (如时刻、位置、速度) 决定航天器在轨道飞行段的轨道要素。当速度矢量与位置矢量垂直时，该点就是轨道的近地点





或远地点。发射坐标系(图3), 就是为描述运载火箭质心在上升段中的运动状态和建立运动方程所常用的坐标系。坐标系 $Oxyz$ 的原点为发射前飞行器的质心, 基面为当地水平面; x 轴在水平面上指向发射方向; y 轴沿铅垂线向上, x 轴、 y 轴构成的平面, 称为射面; z 轴与 x 轴、 y 轴构成右旋坐标系。在基面上真北与 x 轴的夹角称为发射方位角(从真北顺时针方向度量)。

4. 火箭本体坐标系

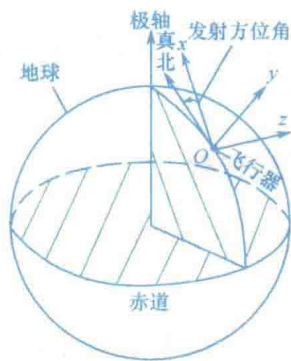


图3 发射坐标系

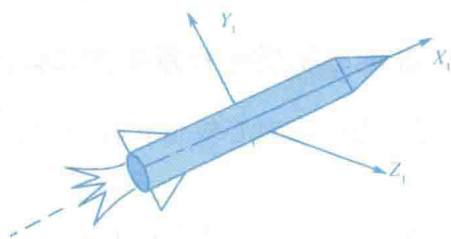
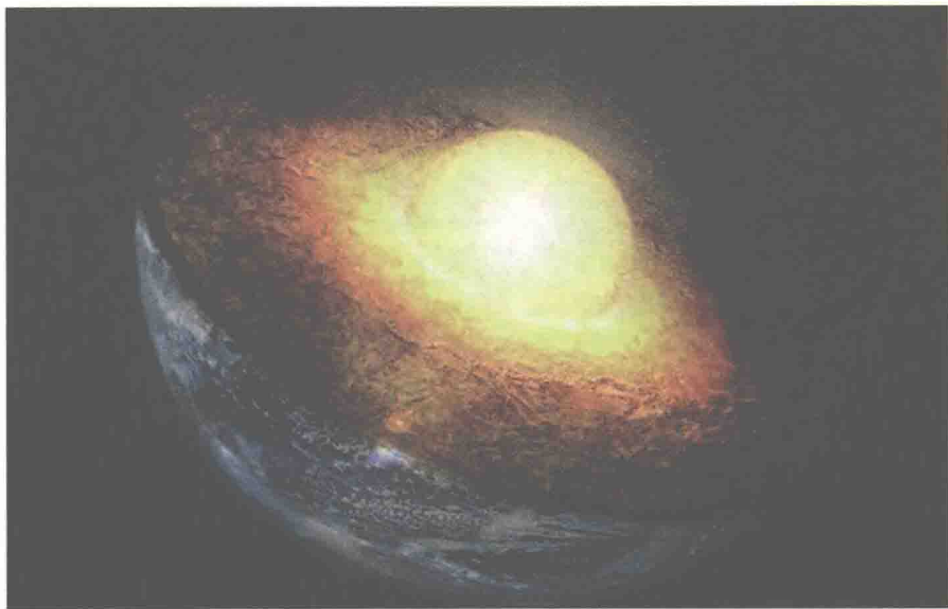


图4 火箭本体坐标系



在讨论上升段对火箭的控制时，常用火箭本体坐标系。该坐标系(图4)以火箭质心 O_I 为原点，以火箭箭体的对称面为基面。 X_I 轴是沿火箭纵轴向前， Y_I 轴在火箭箭体对称面内垂直 X_I 轴， Z_I 轴与其他两轴构成右旋坐标系。坐标系 $O_I X_I Y_I Z_I$ 与火箭箭体固连。火箭箭体绕 X_I 轴的转动称为滚动运动；绕 Y_I 轴的转动称为偏航运动；绕 Z_I 轴的转动称为俯仰运动。因发射前经过瞄准，故在发射起飞瞬间，基面与发射坐标系的射面重合， X_I 轴与发射坐标系的 y 轴重合。

建立坐标系后，力、速度、加速度、位置等物理量在坐标系中都可看成是矢量，不仅具有幅值的大小，还具有方向性。

在地心轨道坐标系中的二体运动方程及其解

图5表示在地心轨道坐标系中，卫星轨道参数和各物理量之间的关系。

图中： r 表示卫星相对于地心的位置矢量， r 表示位置矢量幅值的大小；

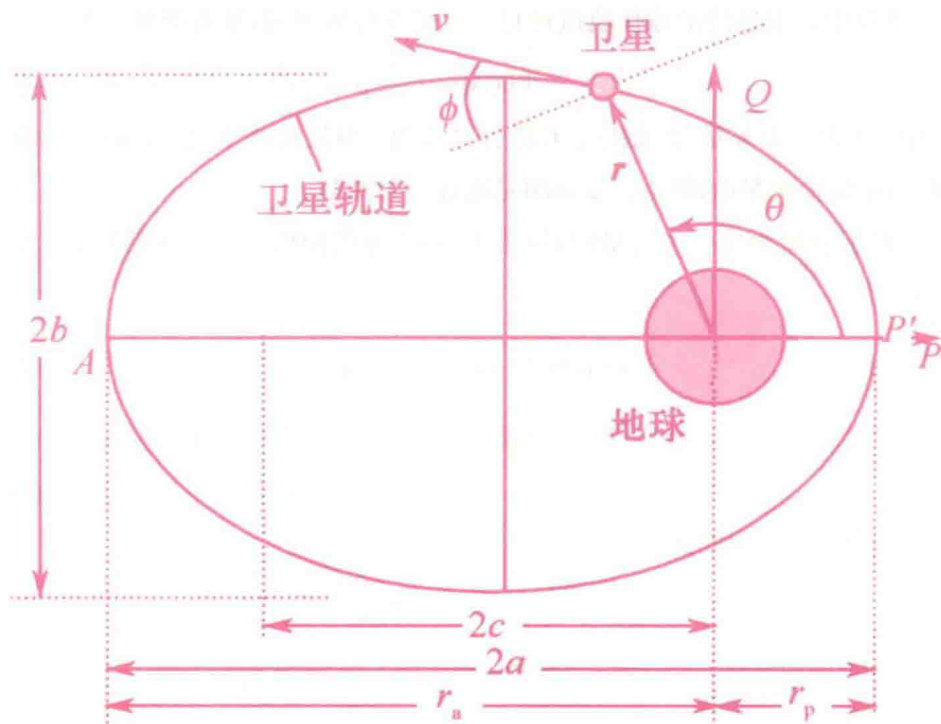


图5 椭圆几何和轨道参数

v 表示卫星相对于地心的速度矢量， v 表示速度矢量幅值的大小；

ϕ 表示飞行角，又称航迹角，是速度矢量和垂直于位置矢量的直线之间的夹角；

a 表示椭圆的半长轴；

b 表示椭圆的半短轴；

c 表示轨道中心到一个焦点的距离；

θ 表示椭圆的真近点角，又称极角，即地心到近地点的矢量与卫星位置矢量之间的夹角，沿运动方向度量；

r_a 表示地心到椭圆轨道上最远点A（远地点）的距离；

r_p 表示地心到椭圆轨道上最近点P（近地点）的距离；

e 表示椭圆偏心率， $e=c/a$ 。

图5中，卫星绕地球作轨道运行。卫星在位置矢量 r 处所受引力为

$$F = GMm / r^2 = \mu m / r^2 \quad (1)$$

式中： F 为引力矢量 F 的幅值， G 是引力常数， M 是地球质量， m 是卫星质量， r 是位置矢量 r 的幅值， $\mu = GM$ 是地球引力常数。

由于卫星所受引力矢量 F 与位置矢量 r 的方向相反，引力矢量 F 可以表示为

$$F = (-\mu m / r^2) \times \frac{1}{r} r = m(-\mu / r^3) r \quad (2)$$

根据牛顿第二定律，并满足限制性二体问题的所有条件，故有

$$F = mr'' \quad (3)$$

联立式(2)、式(3)得

$$r'' + (\mu / r^3) r = 0 \quad (4)$$

式(4)称为二体运动方程。方程有解析解，其解为^[21]

$$r = a(1 - e^2)(1 + e \cos \theta)^{-1} \quad (5)$$

式中： a 是半长轴， e 是偏心率， θ 是真近点角。当 a 、 e 各取为定值时， r 仅是 θ 的函数。

由解析几何学知识可知，式(5)就是圆锥截线的极方程，它给出卫星位置矢量 r 的幅值 r 随 a 、 e 、 θ 值的变化。

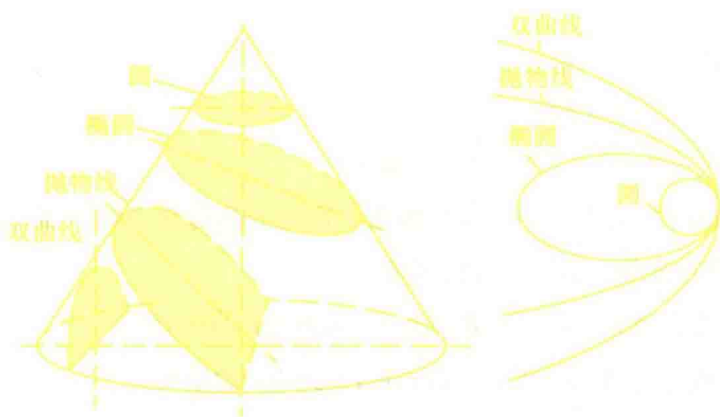


图6 卫星轨道可以是四种圆锥截线之一

圆锥截线是一个平面截一个正圆锥面所形成的曲线。如图6所示，截平面相对圆锥的角度决定了所截得的圆锥截线是圆、椭圆、抛物线或双曲线。

也可以通过式(5)中的偏心率 e 来定义圆锥截线(表1)。

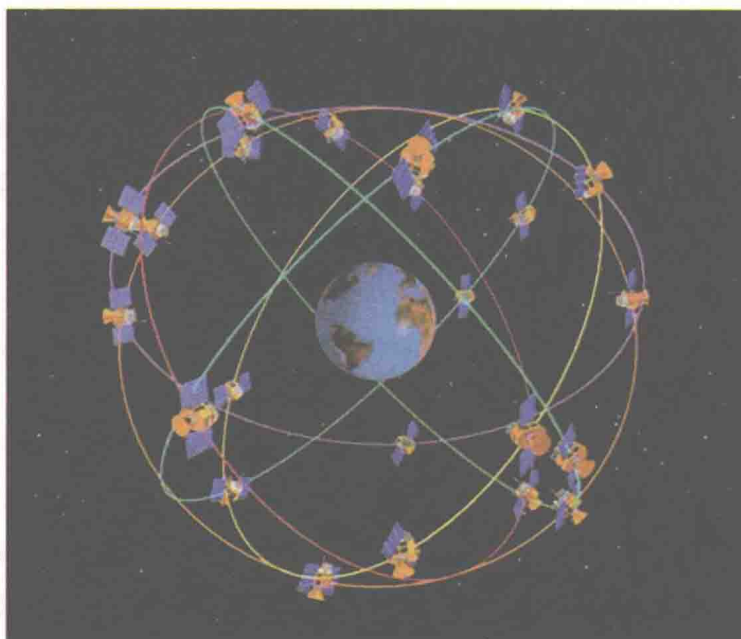
表1 与 α 、 e 的关系

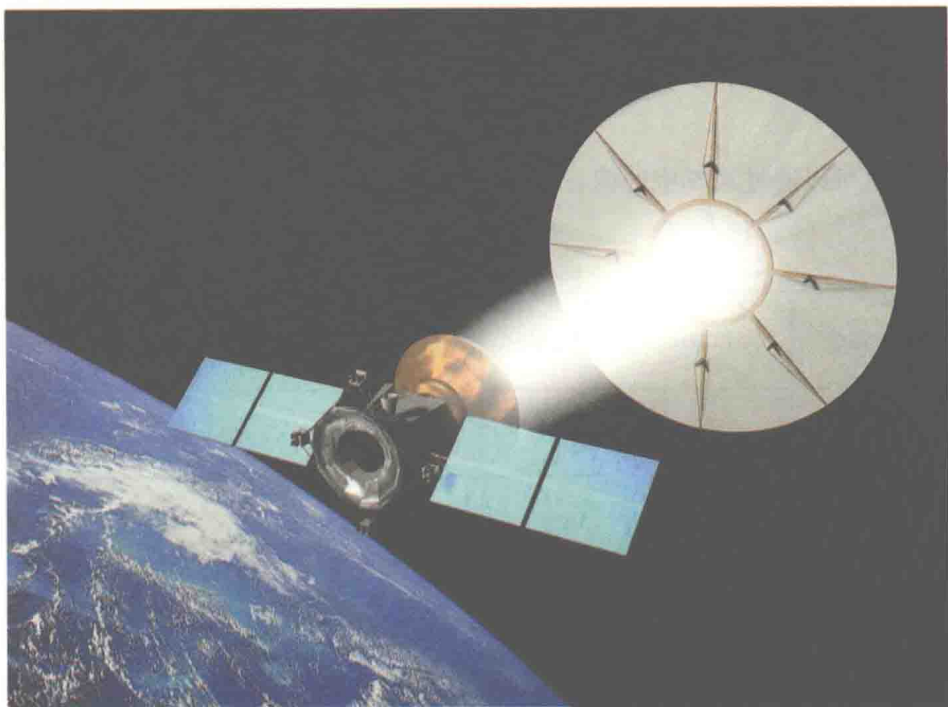
圆锥截线	半长轴 α	偏心率 e	圆锥截线	半长轴 α	偏心率 e
圆	二半径	0	抛物线	∞	1
椭圆	>0	$0 < e < 1$	双曲线	>1	<0

卫星的轨道要素

在地心赤道坐标系中，描述卫星椭圆轨道的基本常数称为轨道要素，又称为轨道根数。卫星椭圆轨道的开普勒轨道要素共有6个。它们决定轨道的大小、形状和在空间的方位，同时给出计量运动时间的起算点。一旦6个轨道要素确定了，卫星在空间的轨道就确定了。这6个要素如下：

(1) 轨道





半长轴 α ：又称长半轴，其长度是椭圆轨道长轴的 $1/2$ 。

(2)轨道偏心率 e ：为椭圆两焦点之间的距离与长轴的比值。半长轴和偏心率决定轨道曲线所包围的面积大小、形状。

(3)轨道倾角 i ：是轨道平面与地球赤道平面的夹角，用地轴的北极方向与轨道平面的正法线方向之间夹角来度量。轨道倾角 i 的值从 $0^\circ \sim 180^\circ$ 。 $i < 90^\circ$ 为顺行轨道，此时，卫星总是从西(西南或西北)向东(东北或东南)运行，与地球自转方向相同。 $i > 90^\circ$ 为逆行轨道，卫星的运行方向与顺行轨道方向相反。 $i = 90^\circ$ 为极轨道，此时，卫星经过南、北极上空， i 在 90° 附近称为近极轨道。

(4)升交点赤经 Ω ：卫星轨道穿过赤道面时，与地球赤道平面有两个交点($i=0$ 时除外)，卫星从南半球穿过赤道平面到北半球的运行弧段称为升段，这时穿过赤道平面的那一点为升交点。相反，卫星从北半球到南半球的运行弧段称为降段，相应的赤道平面上的交点为降交点。春分点

和升交点对地心的张角为升交点赤经，并规定从春分点逆时针(站在北极上看)量到升交点。轨道倾角和升交点赤经共同决定轨道平面在空间的方位。

(5) 近地点幅角 ω ：在卫星轨道中，距离地心最近的点称为近地点(图5、图7中的 P' 点)；距离地心最远的点称为远地点(图中 A 点)。近地点幅角是近地点与升交点对地心的张角，沿着卫星运动方向从升交点量到近地点。近地点幅角决定椭圆轨道在轨道平面内的方位。

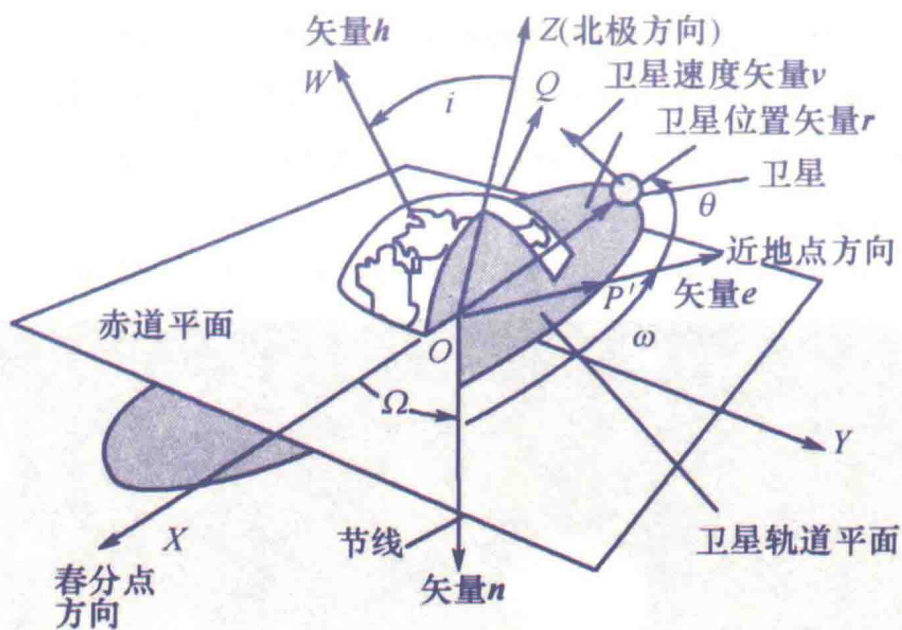


图7 轨道要素的空间关系

(6) 过近地点时刻 t_p ：它是卫星经过近地点的时刻，以年、月、日、时、分、秒表示，是运动时间的起量点。

上述的开普勒轨道要素也适用于围绕行星运行的行星探测器的轨道要素，只需用行星的赤道代替地球赤道，用行星质心代替地心，就可类似地定出。而人造行星的轨道要素则只需用行星的黄道面代替地球的赤道面，用日心代替地心同样也可以定出其轨道要素。