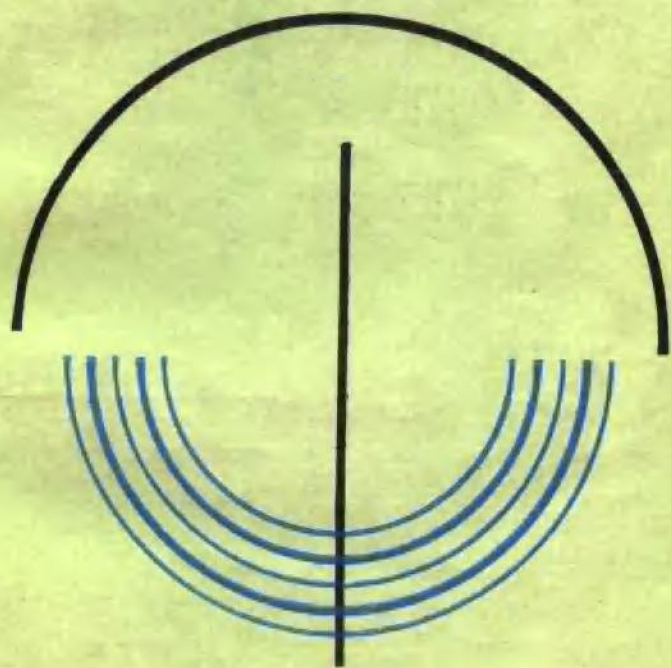


空间跟踪船

〔苏〕B. Γ. 别兹博罗多夫 等著
韩德贤 译 鲁 谦 校



国防工业出版社

内 容 简 介

本书介绍在研究和开发宇宙空间中起重要作用的空间跟踪船。书中叙述了空间跟踪船的用途及其科学技术装备,提供了宇宙飞行理论和宇宙无线电技术方面的必要知识,简述了包括浮动测量站在内的“宇宙测控联合体”。同时,还讨论了宇航和造船的共同问题。

本书可供宇航和造船有关人员参考,以及广大科学爱好者阅读。

СУДА КОСМИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ

В. Г. Безбородов

А. М. Жаков

Ленинград

«СУДОСТРОЕНИЕ» 1980

*

空 间 跟 踪 船

〔苏〕В. Г. 别兹博罗多夫 等著

韩德贤 译

鲁 谦 校

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₃₂ 印张6³/₄ 147千字

1985年9月第一版 1985年9月第一次印刷 印数: 001—590册

统一书号: 15034·2852 定价: 1.25元

致 读 者

参与研究和开发宇宙空间与世界海洋的科学研究船并未引起作家和记者们的特别注意。我连一本书名都说不出来(因为没有),报刊和杂志上发表过能有说服力地、有趣地、主要是能深谙事理地叙述这类船舶的文章,也只不过那么2~3篇。《空间跟踪船》是这方面的第一本书,而且我认为写得成功的一本书。

书中阐述了如何控制宇宙飞行,以及考察船队在这一事业中起着多么大的作用。这本书首先是写给技术爱好者的,该书写得比较通俗易懂,当然,像宇宙弹道学和宇宙无线电技术这样复杂的科学分支,只能尽量写得通俗易懂。读者从中可以获得许多过去未曾发表过的新知识。这本书的最后一部分介绍了空间跟踪船队的发展历史和“宇宙信号猎取者”在海上的工作,然而,遗憾的是篇幅太短了。

本书作者都是宇宙无线电技术系统的专家,他们同空间跟踪船及其科学设备都有职业上的联系。作者以空间跟踪船队发展的见证人和参加者的真实印象,提供可靠而令人信服的叙述。我相信这本书定会受到读者的热烈欢迎。

苏联科学院海洋考察工程处处长
苏联英雄称号两次获得者

И. Д. 帕帕宁

前 言

与苏联科学院的空间跟踪科学研究船及其设计、建造和使用有关的三个基本专业的代表：海员(包括造船人员)、弹道学者和无线电报务人员，他们除了在空间跟踪船上一起工作，解决共同问题以外，在通常情况下是互不接触的。

共同的考察任务要求这些人员彼此充分了解对方的专业，但是，采取传统方法对海员、弹道学者和无线电报务员进行职业训练，不能促使他们在专业上相互了解。可以说他们是在互相不了解的情况下，开始科学研究船上的共同工作的(无线电报务员对宇宙弹道学，弹道学者对宇宙无线电技术均感到“百思不解”，对海员来说，情况也好不了多少)。正是这种情况，促使作者产生了撰写此书的念头，以引起读者的注意。这本书应能帮助在空间跟踪船队上工作的上述三种专业人员迅速掌握共同语言。

因此，可以说这是一本“为初学者”写的书：供在本专业范围内有一定经验的读者初次熟悉相邻专业用。读者在这里找不到有关宇宙弹道学和宇宙无线电技术方面的系统论述。这本书与其说是有关专业的系统论述，不如说是一些选定的弹道学或无线电技术问题的概论。书中尽可能包括了作者认为凡在空间跟踪船上工作的专业人员所必须了解的全部知识，虽然这种选材原则难免在一定程度上是主观的。

同时，作者想指出，这不是一本论述空间跟踪船设备方面的教科书。因此，为了极明显而通俗地叙述，作者认为不

必十分严格地拘泥于装在船上的实际无线电技术系统，而偏重于简化分析这些系统，以求通俗易懂。

这就是本书的第一个，同时也是第二个任务。空间跟踪船队是科学技术发展的特殊现象。它与宇宙飞行同时出现、同时发展起来的。可是，空间跟踪船队的创立，不同于苏联宇航史上的其它部分，在文献中全然找不到任何记载。本书作者想稍微纠正宇航史学家认可的这种明显的不公平。

决不能由此得出结论，认为本书只为在空间跟踪船上工作的人撰写的，这种看法是错误的。作者尽量考虑到广大读者的兴趣，本书的内容和叙述特点已说明了这点。实际上，书中不仅描述了从海洋水域而且也描述了从地面站控制卫星、宇宙飞船、轨道站和行星际站有关的全部问题，不要求读者对上述问题具备任何初步知识。因此，作者期望，本书除了能引起在科学研究船上工作的专业人员的注意之外，也能引起那些与研究和开发宇宙空间任务和技术毫无关系的读者们注意。

参加本书撰写的都是宇宙无线电技术系统和空间跟踪科学研究船使用方面的专家——个别章节的作者是：И. А. 巴拉拜 (§ 3.6)、В. Ф. 瓦西里耶夫 (§ 2.7)、О. М. 巴甫连柯 (§ 3.3)、Я. З. 佩尔利亚 (§ 2.3)、Ю. М. 普拉克辛 (§ 2.6)、В. И. 索卡洛 (§ 3.5)、В. С. 斯捷潘诺夫 (§ 2.4)。

目 录

第一章	空间跟踪船队的用途	1
§ 1.1	卫星和行星际站	1
§ 1.2	宇宙轨迹	7
§ 1.3	宇宙飞行阶段	25
§ 1.4	观察宇宙飞行	40
§ 1.5	测控联合体	57
第二章	浮动测量站	73
§ 2.1	船舶站的设备	73
§ 2.2	飞行控制	84
§ 2.3	轨迹控制	105
§ 2.4	遥测	128
§ 2.5	天线稳定	138
§ 2.6	船舶站定位	146
§ 2.7	通信和时统勤务	154
第三章	空间跟踪船队	162
§ 3.1	对空间跟踪船的要求	162
§ 3.2	“宇航员尤里·加加林”号	165
§ 3.3	通用型空间跟踪船	175
§ 3.4	小型空间跟踪船	183
§ 3.5	首批空间跟踪船	193
§ 3.6	考察队的工作和生活	198
附录 1	航海和造船术语	205
附录 2	蒲福风级表	209
参考文献		210

第一章 空间跟踪船队的用途

§ 1.1 卫星和行星际站

宇宙飞行早已摆脱了纯认识性的科学实验阶段，而逐年扩大其实用性。除了从轨道获得愈来愈新的有关地球和宇宙的科学资料外，利用人造卫星、宇宙飞船、轨道站成功地解决了诸如通信、气象学、大地测量学、地质学、航海学等科学技术领域中的许多国民经济实际问题。

人造卫星沿着闭合的圆形轨道或椭圆轨道绕地球旋转。宇宙飞船和轨道站具有同样的轨迹，但是与卫星不同的是，它们主要用作有人驾驶的飞行。轨道站要在宇宙中长期工作。有人驾驶的运输飞船把乘员送上轨道站，而自动货运飞船则把各种货物送到轨道站。宇宙飞船还能完成独立的任务。虽然轨道站和宇宙飞船的主要飞行状态都是有人驾驶的，可是没有乘员时也可采取自动飞行状态。

月球站和行星际站用于研究月球、太阳、行星和行星际宇宙空间。月球站和行星际站也可以是自动的或有人驾驶的。在今后十年内基本上仍将进行自动站的研究，因为自动站还大有潜力可挖，而且采用它们对宇航员的生命没有威胁。

本书所要讨论的各种问题，都与从陆地或海洋水域控制轨道飞行或行星际飞行的一般问题有关。上述人造天体●的控制大体上相同，区别当然有，可是本书将不涉及。因此，我

● 人造卫星、各种用途的自动站和载人飞船统称为人造天体。——译者

们选择人造地球卫星或简称卫星作为主要研究对象：研究如何控制卫星飞行。即使因补充飞向月球和行星的轨迹的控制特点而需要涉及行星际站时，那么，也不区分它们是飞向月球还是飞向行星。一般地说，为了不使我们的注意力分散到与本书关系不大的细节上去，这里只保留了“卫星”和“行星际站”两个基本名称。

从发射成功第一批人造卫星时候起，宇宙飞船就用来研究各种科学领域中的问题。宇宙自然学，即从宇宙轨迹研究地球就是这些科学领域之一。从卫星上可以系统地观察大气状态、地球磁场等等。宇宙摄影可获得广阔的领土形象，根据摄取的照片可更准确地绘制地图，查明那些最有可能发现有用矿产的地区、监测周围自然介质状态。摄影是对地球表面光谱特性研究的补充，所有这些都属于宇宙自然学的课题。

利用卫星上的仪器进行天文观察（即大气层外天文学），可以研究从地球表面观察不到的现象。这是因为大气层只能透过天体发出的一小段电磁辐射光谱。将天文望远镜移到大气层以外，使其在红外线、紫外线、X射线和 γ 射线区域里工作，天文望远镜就能作出许多非常重要的发现。从非常靠近月球和其它行星的飞行轨道和卫星轨道上研究这些天体，或用投放到月球和行星表面上的仪器进行接触式研究，都是天文学中的全新手段。这些手段的出现应归功于现代宇宙飞行学的成就。近年来，在宇宙中获得的实验资料丰富了许多学科，其中包括生物学和医学。

定期地从卫星获得编制天气预报（宇宙气象学）所必需的大气和地球表面状态的情报。轨道上的一些卫星长期观察整个地球表面，气象卫星则及时地预报飓风、进行冰区侦察等。

宇宙通信明显地扩大了远距离传输电报、电话和电视节目可能性。一个卫星中转站能起到许多个通过地面无线电中继线传送超短波信号的接收-发射站的作用。与地面通信设施比较，宇宙通信具有许多优点，其中的一个优点就是经济指标较高。

卫星可以解决船舶在海洋中航行的导航问题和准确确定地面站坐标（大地测量学）的实际问题。大地测量学和导航学的目的大体相同，都是确定未知坐标。区别在于对精度和定位所花时间的要求不同，如果确切知道卫星在测量瞬间的空间位置，那么，卫星可作为大地测量或导航的定向标。为此，应用了从卫星发出而在被测点接收的无线电信号，而大地测量学则利用以星空为背景对卫星摄影。与传统的大地测量方法比较，用卫星进行大地测量，花费时间较少、精度较高、物资器材投资较省。卫星导航比其它方法更准确，受外界条件的影响较小。

目前，许多宇宙航行学的应用方向尚处于实验阶段，预计在不远的将来将获得工业上的应用。例如，宇宙材料学就是其中之一，它利用一般地面条件下无法达到的宇宙环境——长期失重和高度真空。

上述简短的宇宙航行学应用方向的叙述，远未包括它的全部能力。利用宇宙航行学解决各种科学和国民经济问题的范围正在逐年扩大。

然而，要使卫星能完成其本身的科学研究使命，或实际利用卫星工作，还需把它发射到宇宙轨道上去。为此，需要运载火箭、发射装置、运载火箭与卫星组装和预试设施、将运载火箭和卫星送到发射装置的运输工具、火箭燃料储藏库、通信装置和线路、发射控制设备。此外，卫星入轨后，需要

检测和控制它的飞行，接收和处理卫星信息。因此，需要在许多陆上站和海上站设立无线电接收站和发射站、电子计算机、通信和控制线路。所有这些发射卫星和卫星飞行时用的数量众多的各种各样的设备、台站、线路、系统和装置汇合而成为宇宙联合体。

宇宙联合体包括数百个不同的设施，沿地球表面分布数万公里，由数以千计的技术熟练的专业人员维护保养。宇宙联合体是现代科学技术的最复杂、最完善的产物之一。它的特点是：信息传输量大、自动化水平高、广泛应用无线电技术系统和电子计算机。

通常，整个宇宙联合体的技术设施分为两部分：运载火箭与人造天体发射准备设施和发射用的设施与设备，统称为发射联合体，发射联合体的技术设施布置在宇宙飞船场；用来检测和控制人造天体的飞行、信息接收和信息处理的设施及设备，统称为测控联合体。测控联合体的设备布置在飞行控制中心的测量站中，测量站与控制中心之间有通信和控制线路相连。统一的测控联合体可以控制同时处于宇宙中的所有卫星和行星际站，并对其飞行进行检测。

有人驾驶的宇宙飞船和某些自动卫星，如生物实验卫星，在完成飞行计划之后，应当返回地面。在这种情况下，需要无线电技术站，以便探测和确定下降中的卫星舱段，或行星际站的方位。此外，还需要飞机、直升飞机以及海船，以便在降落后撤出宇航员和科学仪器。上述设施都包括在搜索-救生联合体内。

本书介绍的苏联科学院科学研究船(图1.1~1.5)起着测控联合体浮动测量站的作用。船上装备有无线电测向仪及其它设备，以便探测下降中的卫星舱段或行星际站，在海上搜

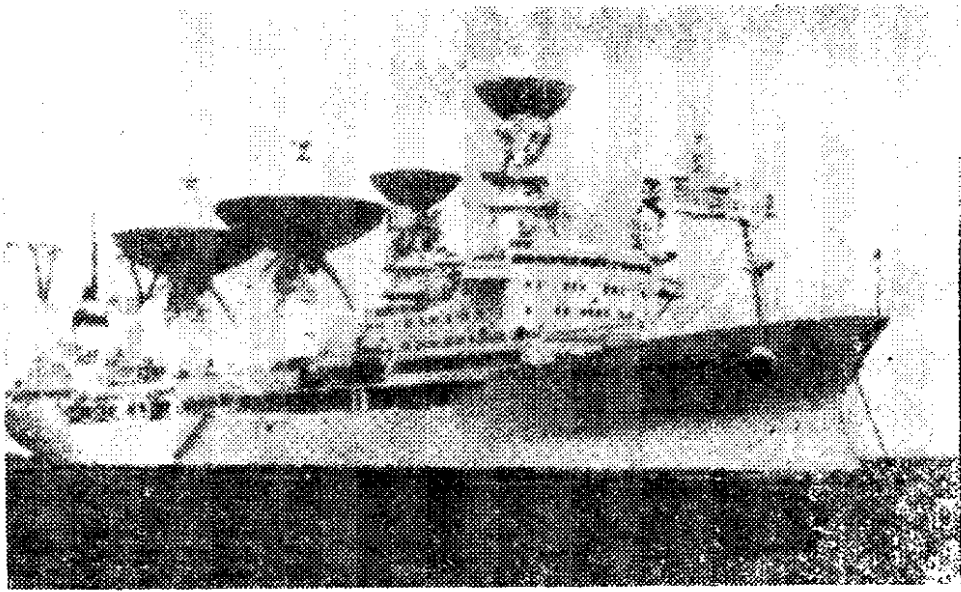


图1.1 “宇航员尤里·加加林”号

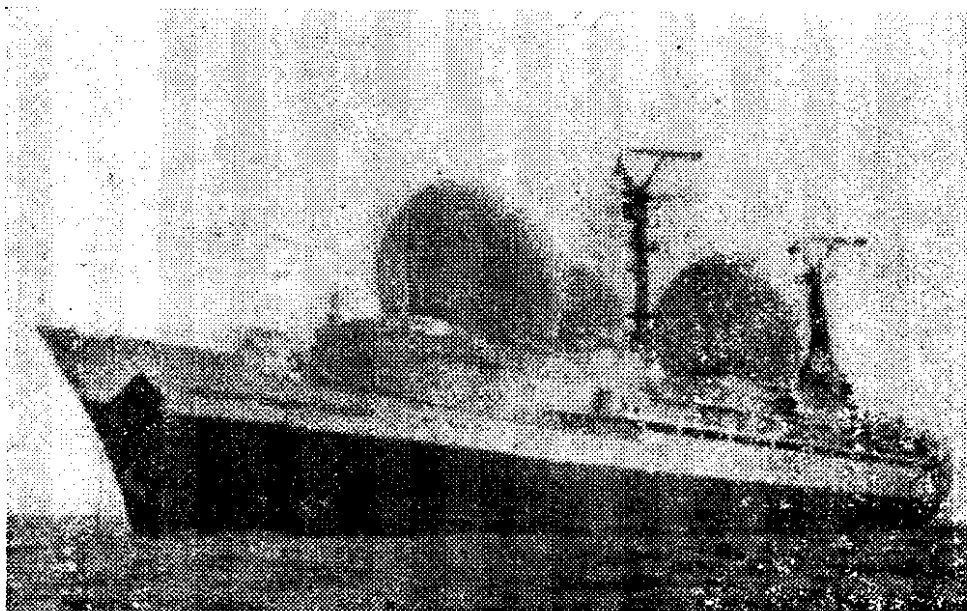


图1.2 “宇航员弗拉基米尔·科马洛夫”号

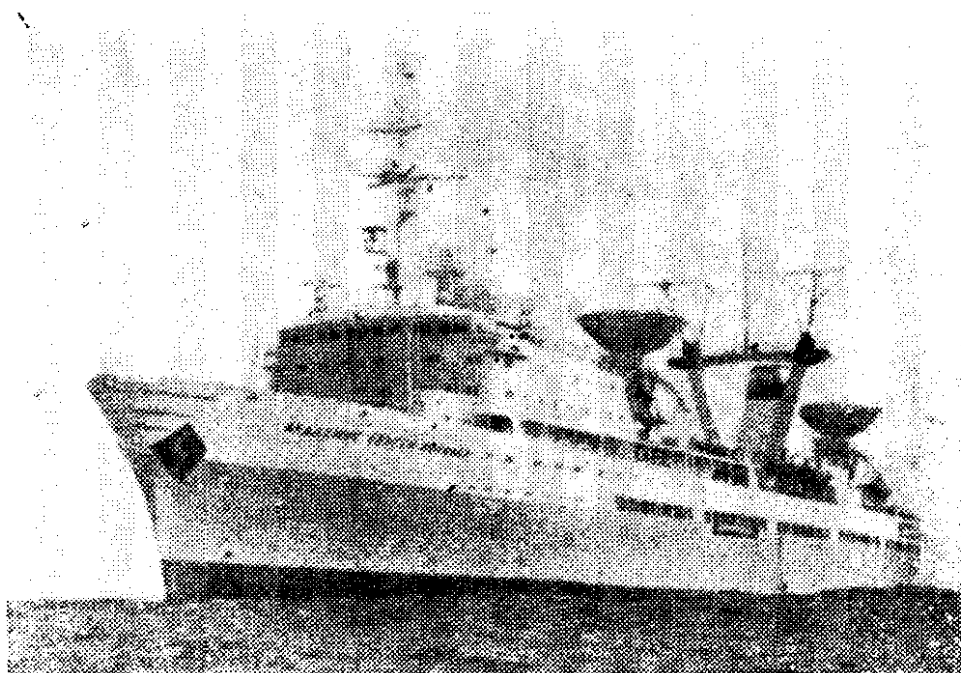


图1.3 “谢尔盖·科罗廖夫院士”号

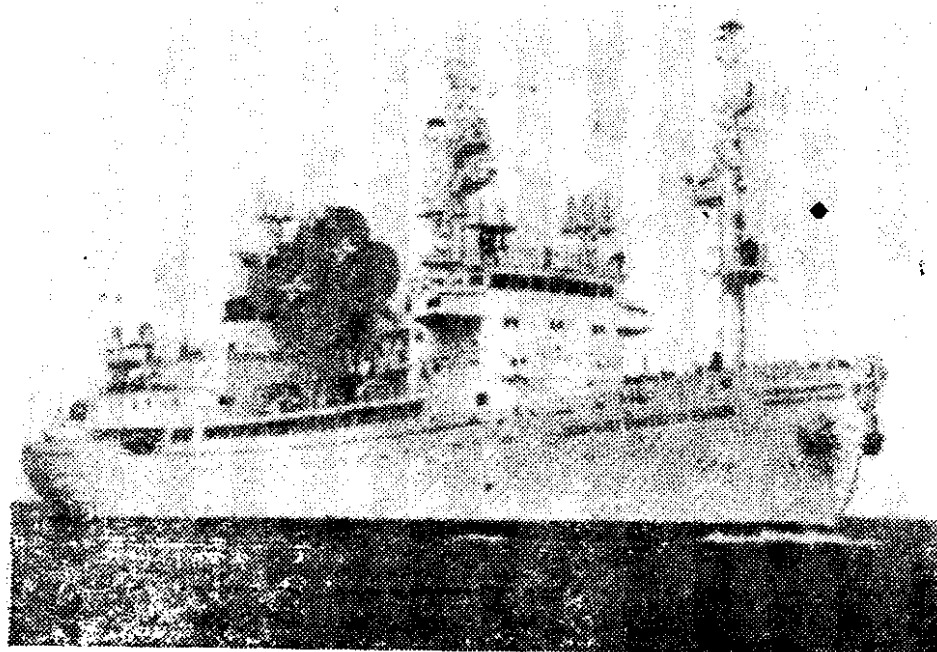


图1.4 “宇航员弗拉季斯拉夫·沃尔科夫”号

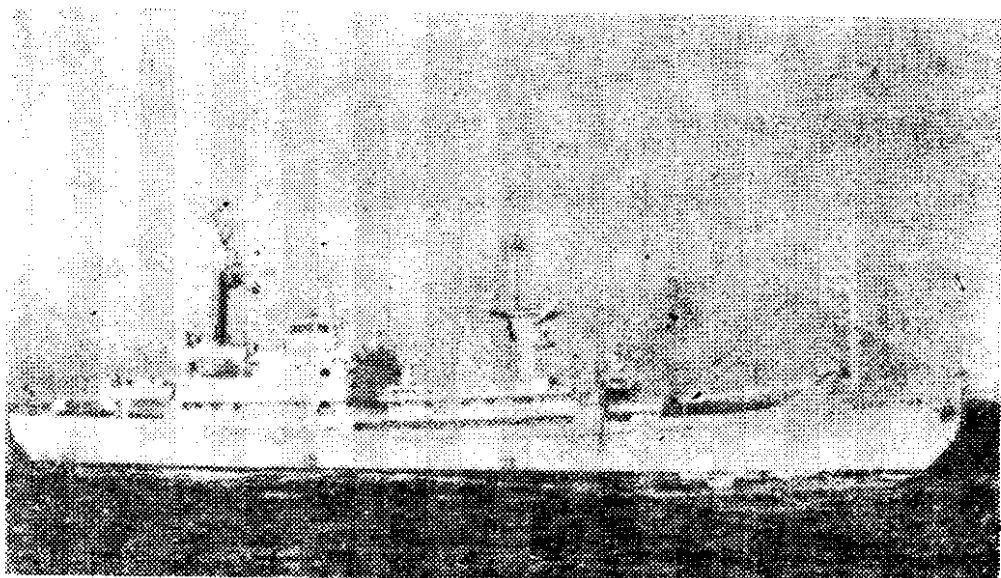


图1.5 “凯戈斯特洛夫”号

索已溅落的卫星舱段或行星际站。该船还可能参加搜索-救生联合体的工作。

为了说明空间跟踪船队的职能，需要先讨论一下宇宙飞行理论的某些问题。

§ 1.2 宇宙轨迹

卫星绕地球飞行时，其上作用着若干力。首先是各种引力，其中主要是地球引力。此外，还有太阳和月球引力。其次，还要考虑大气阻尼引起的制动力和太阳光压力。还有一些力实际上对卫星运动没有影响，因而不予考虑。

地球引力是决定卫星运动的主要作用力。要研究轨迹的基本特点，可以抛开其它各种力的作用不计，而把地球看作密度按同心圆分布的准确球体。在这种条件下的运动，叫做无扰动运动或开普勒运动。

如上所述，与主要作用力——被看作准确球体的地球的

引力相比,其它力很小。其它力是附加引力,它们是由地球不是准确的球体、地球重力场的异常、月球和太阳的引力、大气的阻力影响和太阳光压力等造成的。这些力叫做扰动力。由于扰动力的作用,卫星的运动偏离开普勒运动。计入扰动力的卫星运动,叫做干扰运动。

宇宙飞行理论中,首先研究卫星的无干扰运动,然后再考虑各种扰动的影响。

无干扰运动

假设地球是准确的球体,球体密度在离地心等距的各点上相同。在这种假设下,作用于卫星的引力,可按地球的全部质量都集中在地心这一点上来计算。用根据万有引力定律确定引力:

$$F = f \frac{Mm}{\rho^2} \quad (1.1)$$

式中 F ——引力; f ——重力常数; M ——地球质量; m ——被看作质点的卫星质量; ρ ——卫星与地心之间的距离。

设卫星质量 $m = 1$, 求出距地心距离 ρ 处的重力加速度。我们以 g 表示重力加速度。这时,用 k 表示地球质量 M 与重力常数 f 的乘积:

$$k = fM = 3.986 \times 10^{14} \text{米}^3/\text{秒}^2 \quad (1.2)$$

求出加速度:

$$g = \frac{k}{\rho^2} \quad (1.3)$$

公式 (1.3) 对地面以上的任意点以及对地面本身都是正确的。这里,重力加速度 g_0 为:

$$g_0 = \frac{k}{R^2} \quad (1.4)$$

式(1.4)中, 用 R 表示地球平均半径, $R=6371$ 公里。半径为 R 之球的体积应等于地球体积。

重力加速度是矢量, 在近地宇宙空间的各点上, 重力加速度都指向地心。加速度值 g 与离地心之距离的平方成反比: 由(1.3)和(1.4)求得:

$$g = g_0 \frac{R^2}{\rho^2} \quad (1.5)$$

具有这两种性质的重力场, 叫做中心重力场。

卫星在中心重力场里的自由飞行轨迹的各点, 都在穿过地心的平面内, 作用于卫星的唯一的力也位于该平面内。轨迹平面与地球表面相交呈大圆, 它是半径取最大可能值 R 的球的截面。大圆的弧是球面上两点间的最短距离。

我们利用极坐标系。该坐标系建立在轨道平面内, 极点 O 位于地球中心(图1.6)。选择卫星入轨阶段结束和运载火箭发动机关闭的那一点作为轨迹的起点 A 。该点通常叫做界点, 其位置由初始矢量半径 ρ_n 或初始高度 $h_n = \rho_n - R$ 来决定。

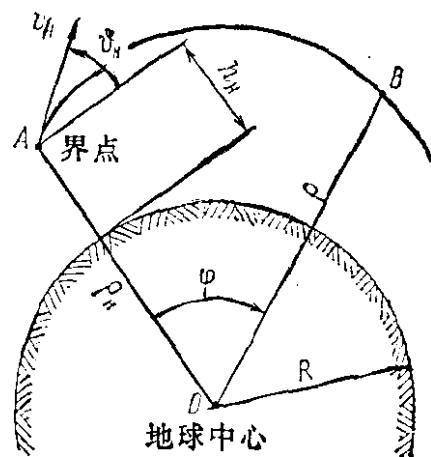


图1.6 极坐标系中的
卫星轨迹

卫星的初始速度矢量位于卫星轨道平面内, 因此, 确定该矢量只需要两个值: 初始速度值 v_n 和初始速度矢量与界点 A 处水平线之间的夹角 θ_n 。我们把角 θ_n 叫做轨迹初始倾角。

利用图1.6示出的角 φ 和矢量半径 ρ 这两个极坐标确定轨迹上某一瞬时点 B 的位置。由初始条件—— v_n 、 θ_n 和 h_n

(或 ρ_H)值确定中心重力场内的自由飞行之各种可能轨迹。现在我们来研究一些典型情形。

圆形轨道 大家知道, 速度矢量沿轨迹之切线方向, 因此, 要沿圆形轨道飞行, 必须使轨道上任一点的速度都成水平方向。在界点上也不例外, 其速度也应满足这一条件, 也就是说, 轨迹的初始倾角应等于零: $\vartheta_n = 0$ 。此外, 还应当对初始速度的大小加以限制: 要沿圆形轨道飞行, 需要一定的初始速度 $v_n = v_{kp}$, 它叫做圆周速度。

作用在飞行中之卫星上的唯一的力(地球引力)是轨道运动中的向心力, 它使轨道弯曲并且不让卫星作直线匀速飞行。如果圆形轨道半径等于 ρ_n , 而速度等于 v_{kp} , 则向心力 $F_n = mv_{kp}^2/\rho_n$ 。另一方面, 该引力也可以表示为 $F = mg_n = km/\rho_n^2$, 式中 g_n 是由公式 (1.3) 确定的界点处重力加速度。使作用于卫星的力的两个表达式彼此相等, 即 $F = F_n$, 按下式求出圆周速度:

$$v_{kp} = \sqrt{\frac{k}{\rho_n}} = \sqrt{\frac{k}{R + h_n}} \quad (1.6)$$

地球表面上的圆周速度值 v_{kp} 叫做第一宇宙速度。将值 $\rho_n = R$ 或 $h_n = 0$ 代入公式 (1.6), 求出第一宇宙速度 $v_{kp,0} = 7.91$ 公里/秒。公式 (1.6) 可改写为:

$$v_{kp} = v_{kp,0} \sqrt{\frac{R}{R + h_n}} \quad (1.7)$$

圆周速度值随轨道半径(飞行高度)的增大而减小。该关系曲线示于图 1.7, 图表上用 h_{kp} 表示圆形轨道高度。

椭圆轨道 这是最常用的卫星轨道。作圆形轨道飞行的两个条件中, 只要其中一个条件不具备(或者初始速度矢量

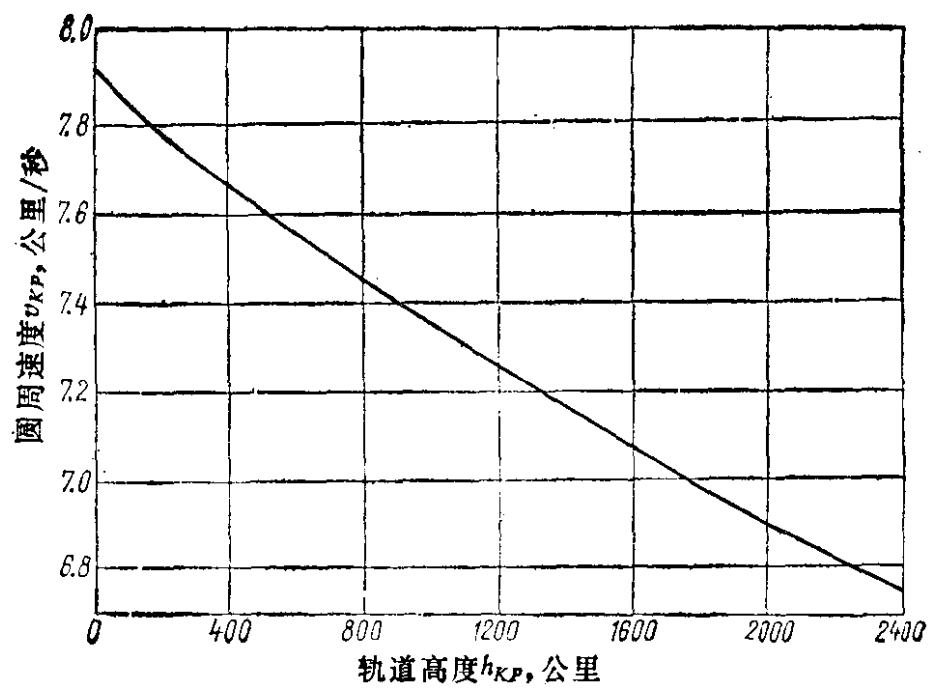


图1.7 卫星圆周速度

不呈水平, $\vartheta_n \neq 0$, 或者卫星初始速度不等于圆周速度, $v_n \neq v_{kp}$) 就得到椭圆轨道。图 1.8 上示出了第一个条件的影响。角 ϑ_n 增大, 轨道逐渐拉长。在极限情况下, 当轨道初始倾角 ϑ_n 等于 90° 时, 质点顺着地球半径作直线运动。

椭圆轨道值得更详细地研究, 以后我们还要讨论这个问题。

抛物线轨道和双曲线轨道 我们要找出人造天体能克服地球引力并成为太阳卫星—人造行星的条件。为此, 自由飞行初始速度 v_n 要相当高。达到该速度前, 人造天体在界点上应加快速度。

使人造天体具有初始速度 v_n 的运载火箭, 同时形成动能储备 $P_k = mv_n^2 / 2$ 。然后, 随着飞行高度的增加人造天体的速度 v 及其动能 P_k 下降, 其下降量恰恰等于势能的增加量。这