

空间技术基础

主编 钱 骥

副主编 朱毅麟 冯英远 李凡本

科学出版社

1986

内 容 简 介

本书以通俗的语言简要而系统地讲述了空间技术基础知识,较详尽地讲述了空间飞行器的研究、设计、制造和试验技术,并总结了世界各国空间技术的最新发展情况和我国在这方面的某些实践经验。

本书可供从事空间技术及其相关工作的科技人员、管理干部参考,亦适宜于具有中等以上文化水平的对空间技术感兴趣的广大读者阅读。

空 间 技 术 基 础

主编 钱 骥

副主编 朱毅麟 冯英远 李凡本

责任编辑 宋义荣

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1986年1月第一版

开本:787×1092 1/32

1986年1月第一次印刷

印张:16 1/2

印数:0001—2,700

字数:379,000

统一书号:15031·668

本社书号:4478·15—6

定价:3.85元

前 言

书 70% 剩 30%

空间技术是一门研究与实现把空间飞行器送入宇宙空间并使其能够按预定目的正常工作的技术。其内容包括空间飞行器技术；运载器及其发射技术；地面测控技术。空间技术不但已取得了卓越的技术成就，获得了一系列重大的科学发现，而且在国防、通信、广播、气象、导航、测地、资源勘测、环境保护等各个方面均已获得了广泛的应用，并且也深入到了文化教育、交通运输、文体娱乐等日常工作与生活领域。它的一些成果，以及它的新技术、新器件、新材料向国民经济各个部门的移植，正在不断地促进着国民经济的发展。因此，普及空间技术知识，是实现我国现代化建设中的一项十分重要的工作。

本书是普及空间技术基本知识的读物，对空间技术进行了较全面而详细的论述，重点放在空间飞行器的研究、设计、制造和试验技术方面。书末附有空间技术领域某些常用数据。由于空间技术在日新月异地发展着，所以本书编写时虽然尽可能地将新的技术发展收集入书，但若全部列入是不可能的。

本书各章作者均系直接从事本专业设计研究的专家和工程师，在编写过程中不仅参考了国外大量的文献资料，而且也总结了我国在发展空间技术中的某些实践经验。

本书是向具有高中以上文化程度的读者普及空间技术的读物，可作为培训从事空间技术的一般干部的教材，亦可供新参加空间技术某一分系统设计的专业人员参阅，同时还可

作为大专院校有关专业的教学参考书。

正当本书脱稿之际，主编、中国空间技术研究院副院长钱骥同志不幸逝世，此后由国际宇航联合会副主席杨嘉墀同志对本书做了最后的审定；本书在编写过程中，还得到了很多单位的领导和同志们的支持。在此一并对他们表示衷心的感谢。

由于编者水平所限，错误难免，恳请读者批评指正。

编者 1984.1.11

目 录

第一章	概述	朱毅麟 (1)
§ 1.1	空间技术	(1)
§ 1.2	空间技术的应用	(4)
§ 1.3	空间技术的发展	(12)
第二章	地球和近地空间环境	李凡本 (18)
§ 2.1	概述	(18)
§ 2.2	高层大气结构	(20)
§ 2.3	电离层	(27)
§ 2.4	地球的磁场	(28)
§ 2.5	磁层和太阳风	(29)
§ 2.6	地球的静电场	(34)
§ 2.7	太阳的电磁辐射	(32)
§ 2.8	粒子辐射	(33)
§ 2.9	引力场	(34)
§ 2.10	地球-大气系统的辐射, 气辉和极光	(35)
§ 2.11	流星物质环境	(36)
§ 2.12	无线电噪声	(37)
第三章	空间飞行器轨道	朱仁璋 (39)
§ 3.1	坐标与时间	(39)
§ 3.2	二体运动	(44)
§ 3.3	轨道摄动	(51)
§ 3.4	轨道设计	(57)
§ 3.5	星际航行轨道	(81)
第四章	运载火箭	王明秋 (87)
§ 4.1	概述	(87)
§ 4.2	火箭发动机	(95)
§ 4.3	运载火箭的飞行弹道	(104)
§ 4.4	运载火箭的惯性制导系统	(113)

第五章	空间飞行器结构	沈以明	(118)
§ 5.1	卫星结构的外形选择.....		(118)
§ 5.2	卫星结构的分类.....		(125)
§ 5.3	对卫星结构的要求.....		(129)
§ 5.4	卫星结构常用材料.....		(131)
§ 5.5	卫星结构的研制阶段.....		(133)
§ 5.6	卫星结构分析和结构设计.....		(134)
§ 5.7	卫星结构的未来发展.....		(141)
第六章	空间飞行器控制	林来兴	(152)
§ 6.1	自动控制和空间飞行器控制.....		(152)
§ 6.2	轨道确定和轨道控制.....		(156)
§ 6.3	姿态稳定系统.....		(161)
§ 6.4	姿态机动控制.....		(173)
§ 6.5	姿态控制硬件.....		(177)
§ 6.6	姿态控制系统仿真.....		(189)
第七章	空间飞行器的温度控制	王兴国、陈大忠	(192)
§ 7.1	空间飞行器的温度控制和热环境.....		(192)
§ 7.2	空间飞行器的能量平衡.....		(195)
§ 7.3	空间飞行器的温控措施.....		(197)
§ 7.4	温控设计的研制程序.....		(210)
§ 7.5	热真空模拟实验.....		(214)
第八章	空间飞行器的电源系统	韩国经	(220)
§ 8.1	空间飞行器的电源系统.....		(220)
§ 8.2	锌银电池.....		(222)
§ 8.3	锂电池.....		(224)
§ 8.4	氢氧燃料电池.....		(226)
§ 8.5	太阳电池阵-蓄电池组电源系统.....		(231)
§ 8.6	核电源系统.....		(241)
§ 8.7	各种电源的比较.....		(246)
第九章	空间飞行器无线电遥测和遥控系统	陈宜元	(248)
§ 9.1	无线电波及其传播.....		(248)
§ 9.2	空间飞行器无线电遥测系统.....		(259)

§ 9.3	空间飞行器无线电遥控系统	271)
-------	--------------	------

第十章

空间飞行器无线电测轨及测控地面站

	陈宜元	(277)
--	-----	-------

§ 10.1	空间飞行器无线电测轨原理	(277)
§ 10.2	空间飞行器无线电测轨系统	(285)
§ 10.3	空间飞行器无线电综合系统	(290)
§ 10.4	空间飞行器测控地面站	(293)

第十一章

空间遥感技术

	张声荣	(298)
--	-----	-------

§ 11.1	遥感技术的基本原理	(298)
§ 11.2	空间遥感仪器	(302)
§ 11.3	遥感图象的处理	(315)
§ 11.4	空间遥感技术的应用和展望	(318)

第十二章

空间飞行器天线系统

	王爵骐	(322)
--	-----	-------

§ 12.1	空间飞行器天线原理和功能	(322)
§ 12.2	星-地间的电波传输	(323)
§ 12.3	空间飞行器天线及其馈电系统的电参数	(324)
§ 12.4	空间飞行器天线及其馈电系统的常用型式	(338)
§ 12.5	空间飞行器天线所使用的特种材料	(345)
§ 12.6	空间飞行器天线的特点	(346)
§ 12.7	我国第一颗卫星的天线系统	(348)

第十三章

空间飞行器的返回

	林华宝	(350)
--	-----	-------

§ 13.1	返回技术	(351)
§ 13.2	返回过程	(353)
§ 13.3	返回型空间飞行器的分类	(355)
§ 13.4	脱离运行轨道	(361)
§ 13.5	气动力加热和防热结构	(366)
§ 13.6	着陆	(371)
§ 13.7	航天飞机的返回	(374)

第十四章

环境模拟试验

	柯受全	(382)
--	-----	-------

§ 14.1	空间飞行器环境及其模拟	(382)
§ 14.2	发射阶段的力学环境模拟	(385)
§ 14.3	轨道环境模拟	(404)

第十五章

载人空间飞行

	范剑峰	(419)
--	-----	-------

§ 15.1	概况	(419)
--------	----	-------

§ 15.2	载人空间飞行环境	(424)
§ 15.3	载人空间飞行器	(431)
§ 15.4	航天飞行	(443)
§ 15.5	未来载人空间飞行的发展	(447)
第十六章	国外空间飞行器..... 张铭达、冯英远	(449)
§ 16.1	科学卫星	(449)
§ 16.2	技术试验卫星	(450)
§ 16.3	应用卫星	(450)
§ 16.4	近地轨道载人飞行和月球载人飞行	(470)
§ 16.5	空间运输系统	(472)
§ 16.6	宇宙探测器	(473)
第十七章	空间活动的组织机构..... 张希舜	(477)
§ 17.1	国际空间组织	(477)
§ 17.2	有关国家的空间机构	(482)
§ 17.3	国际空间合作	(487)
附录 I	世界各国发射的宇宙飞行器统计 (1957—1982)	
附录 II	空间技术常用数据	
I-1	常用物理常数	
I-2	常用天文常数	
I-3	适用于导航的一些最亮的恒星	
I-4	关于太阳的某些数据	
I-5	关于地球的某些数据	
I-6	关于月球的某些数据	
I-7	关于行星的某些数据	

名词索引

第一章 概 述

§ 1.1 空间技术

“空间”，在“空间技术”一词中具有它特定的含义，系指地球大气层以外的空间，又称“外层空间”或“星际空间”，简称“空间”。由于大气密度是随高度变化的，故在大气层和外层空间之间没有一个明显的分界线。一般把150公里高度以上的空间作为外层空间。

空间技术是一门研究人类如何进入外层空间、利用和开发外层空间的工程技术，亦可说是一门研究如何将空间飞行器（航天器）送入外层空间，并在那里进行活动的工程技术。这些空间飞行器可以是载人的，也可以是无人的。空间工程技术的主要内容包括如下三个方面。

第一，空间飞行器技术。这就是研究、制造和发展能在空间完成各种利用和开发空间任务的空间飞行器的技术。空间飞行器可按类型分为人造地球卫星、载人飞船、星际探测器、空间站和空间运输系统等。

外层空间是一种高真空、强辐射和温度变化剧烈的环境。为适应这样的特殊环境，并能自动地完成既定的任务，空间飞行器内就必须配备有执行各种功能的设备。为完成同一任务而组合在一起的仪器设备的综合体，叫做“系统”或“分系统”。

空间飞行器是由完成规定任务所必需的专用系统和通用系统所组成。

空间飞行器的专用系统视飞行器的任务不同而异,例如,对地观察卫星的遥感仪器和数据传输系统;通信和广播卫星的转发器和通信天线;科学卫星和星际探测器的探测仪器等。

空间飞行器的通用系统包括结构系统、温度控制系统、姿态控制系统、能源系统、跟踪系统、遥测系统、遥控系统、通信系统、轨道控制系统、天线系统等。返回的空间飞行器还配备有回收系统,而载人飞船又设置了回收和生命保障系统。

空间飞行器的每个系统各有自己的特殊要求和专门技术。空间飞行器的研究、设计、制造和试验是一项综合性很强的工程技术。

第二,运载器技术。这就是研究、制造和发展将空间飞行器送入外层空间,使其开始在规定的轨道上运行的技术。空间飞行器都不具备离开地球进入空间的能力,全靠运载器把它送到外层空间,并达到一定的速度。

运载器基本上是大 型多级火箭,故将该项技术称作“多级火箭技术”。多级火箭通常由二级或三级火箭组成,重达数百吨,高达数十米。火箭发动机的推力达几百吨以至数千吨,每秒钟要消耗成吨的推进剂。每一级火箭都包括结构、发动机和制导系统三部分。

运载器是空间技术的基础,并在很大程度上决定了空间技术发展的规模和程度。运载器的研制需要有比较发达的工业基础和比较先进的科学水平。一般说来,要有远程弹道式导弹工业的基础。

目前,能自行研制和发射大型运载器的国家或 多国组织尚不多,只有苏联、美国、中国和欧洲空间局。法国、日本和英国只能独立研制小型的运载器。其他一些国家向美国或

苏联购买运载器为其发射空间飞行器。

第三，地面测控技术。这就是研究和实现对运行中的空间飞行器进行监视、测量、控制和管理的技术。地面测控技术要保证轨道上运行的空间飞行器和地面之间的联系。空间飞行器在运行中，地面需要及时了解和掌握飞行器各个分系统的工作情况；飞行器内的环境条件以及宇航员的生理状况等；测量和预报飞行器的轨道，对其进行遥控，使飞行器按照规定的要求完成各项任务。如轨道或姿态的改变，各种星上仪器的操作等。欲满足上述各项需要，地面要建立一定数量的测控台站，包括海上的测量船。研制和发展各种测控设备和建设地面测控台站，是测控技术的具体内容。测控台站执行任务所需的设备，除某些光学观测仪器外，基本上都是无线电测量和控制设备，诸如精密跟踪雷达、多普勒测速仪、遥测解调器、遥控发射机、电子计算机、数据存贮器、显示记录仪、数字传输和通信等设备。

此外，空间活动成果的获得和利用，也是一项需要专门研究和发展的技术。它与空间飞行器的专用系统研究和发展的相联系，一般不属于空间技术的范围。

综上所述，空间技术是一门高度复杂、高度综合的工程技术。发展空间技术必须以运载器技术为基础，以空间飞行器技术为主导，相应地发展地面测控技术。空间技术同近代力学、数学、物理、天文和大地测量等学科，同无线电、喷气、自动化、精密光学、电子计算机、半导体、真空和低温等技术，同机械、电子、冶金、化工和材料等工业都有着密切的联系。

空间技术建立在上述学科、技术和工业的基础上，同时又推动和促进着这些学科、技术和工业的发展，开拓着新的学科和技术领域。

§ 1.2 空间技术的应用

空间技术的应用可分为直接应用和间接应用。

§ 1.2.1 直接应用

直接应用就是利用空间飞行器在外层空间活动为人类在地面上的政治、军事、经济和科学实验服务。

目前以及在今后相当一个时期内，人类主要的空间活动还是在近地空间进行，以无人飞行器为主要手段。在已经发射的数以千计的空间飞行器中，人造地球卫星约占90%，载人飞船和星际探测器大约各占5%，还有为数不多的空间站。空间技术的直接应用集中表现在人造地球卫星的广泛应用上。

人造卫星在离地面几百公里到几万公里的高空，环绕地球飞行。它居高临下，视野广阔，能所向无阻地飞越全球，其应用可归纳为三个方面。

1. 空间观察台

人造卫星的最大用途是作为空间的观察平台。从高空观察地面，最能发挥它的“视野广阔，自由出入，连续观测和无需动力”的优越性。遥感技术的发展给人造卫星提供了一双敏锐的“眼睛”。有了遥感技术的武装，卫星如虎添翼，极大地扩充了它的观察范围，提高了它的观察能力。

遥感技术使人们不仅看得远，而且看得深，不仅能看清千里之外物体的形状、大小、颜色等表面特征，而且还能够了解物体的温度、结构和成分等内部特性；能够发现隐藏在地下或水下的奥秘。夜间，遥感设备可以根据物体辐射出来的红外线或微波认出它来。所以带有遥感设备的观察卫星应

用非常广泛。

侦察卫星

侦察卫星可分成照相侦察卫星和电子侦察卫星。照相侦察卫星是用光学设备对地面的军事目标进行拍照的卫星。电子侦察卫星是利用星载的电子设备截获空间传播的电磁波，将截获的电磁信号记录在磁带上，在飞经地面站时将信号发回地面进行破译，以确定敌人防空雷达和反导弹雷达的精确位置、信号特性和作用距离；确定敌方军用电台的位置、信号特性，并可窃听情报。

照相侦察卫星的专用系统是长焦距照相机和高分辨率的胶卷。在160公里高度上拍摄的地面照片分辨率可以达到30厘米。

地面获取照相侦察卫星拍摄的照片有两种方法：一种是回收胶卷，这就是将拍好的胶卷贮存在密封的容器内，待卫星飞经本国上空时，由地面发给指令，卫星将胶卷容器抛出，脱离运行轨道，降落到低空，打开降落伞回收。另一种方法是，胶卷在卫星上显影，再把图象信息转换成电信号，用无线电传输至地面。回收胶卷的方法，照片分辨率高，适合详细侦察用。无线电传输方法，图象经光电变换，远距离传输再变换成图象，分辨率大大降低，但能快速获得情报，适合于大面积的侦察、监视。

侦察卫星是导弹核武器的耳目、是为战略核武器侦察攻击目标，确定目标的详细情况和精确位置用的，是导弹核武器的重要配套装备。据报道，苏美两国有近70%的军事情报来源于侦察卫星。

地球资源卫星

地球资源卫星和侦察卫星大同小异、主要差别是星载遥感设备所使用的波段不同，对地面的分辨率要求不同。侦察

卫星主要用可见光或近红外照相，分辨力高；地球资源卫星要求用多波段工作，能识别地面和地下的各种特征，分辨率可以不要求很高。资源卫星是个多面手，它可以充当农业观察员，定期报告庄稼的长势，及时发现病虫害；可以作林业调查员，统计地球上森林的面积、分布和种类，监视森林病虫害和火警；可以为寻找矿藏和石油资源提供重要线索；还能测量地表的温度，探明地下热源，预警火山爆发；测量积雪和冰层融化的速度，为预报洪水和修建水库积累原始资料；能探测海洋浮游生物的分布和动向，为扩大海洋渔业生产开辟新路；能探明水中冰山和暗礁的位置，精确绘制海图，保障航海安全；还可以大范围地监测地球大气、水源和海洋的污染程度等等。

气象卫星

气象卫星可拍摄大面积云图和测量全球的气象资料。卫星将云层图片和气象数据传送给地面接收站，几个小时就能绘制出全球的天气图，作出中、长期天气预报。卫星云图可用来监视台风的形成和发展，跟踪其移动路线，确定台风中心位置及其强度变化、预报台风和其他风暴。

国外曾经根据气象卫星提供的气象资料多次准确地预报了太平洋台风和大西洋飓风的形成和移动路线，及时采取了措施、减少了损失。气象卫星对于保证航海、航空的安全，保障农业，渔业和畜牧业生产，都有很大的作用。

导弹预警卫星

导弹预警卫星利用高灵敏度的红外辐射探测器，能在数万公里的高空感受到地面导弹发动机喷出的尾焰所发出的红外线。只要地面导弹发动机一工作，几十秒钟之内卫星就能“看到”导弹的尾焰，立即发出信号，在几分钟之内，通过军用通信卫星，传输到本国。地面预警雷达的作用距离一般

只有二、三千公里，受到直视距离的限制。它发现导弹到导弹击中目标相隔的时间只有几分钟，防御的时间太短。预警卫星却能在导弹起飞时就及时发现。在远程导弹到达之前，能争取到20几分钟的准备防御和反击的时间。

核爆炸探测卫星

这种卫星位于离地面十万公里的高空，测量来自地球的粒子辐射，监视大气层内和外层空间的核爆炸试验，根据探测器接收到的辐射强度判断核爆炸的地点和当量。

科学探测卫星

用卫星对地球外的日-地空间环境、太阳、行星、恒星以至银河系进行观测研究，是物理学家和天文学家们多年来的希望。

用人造地球卫星进行天文观测能实现地面上无法做到的“全波观测”，能测到由外层空间进入地球的整个电磁辐射，从 γ 射线、X射线、紫外线、可见光、红外直到微波，全面考察和了解光谱特性，从而研究太阳、行星和恒星的本质。

人造卫星从上天开始，就在执行科学探测任务。例如1958年头几颗人造卫星发现了地球周围存在两个带电粒子密集的带状区域——辐射带，这是人造卫星对科学研究作出的首次贡献。

2. 空间中继站

人造地球卫星的第二个用途是作为天上的无线电“接力站”，即“中继站”。其“接力”的对象有二种：一是地面上相隔很远的地点之间的电话、电报、电视、传真和数据传输；二是卫星与地面之间的电视和数据传输。

通信卫星

通信卫星实际上是设在天上的无线电接力站。地面远距离微波通信，需要每隔50公里建一个中继站。相隔五千公里

的两地之间就得设一百个中继站。如果跨越海洋，就只能改用有线传输——海底电缆，而一个高度为一、二千公里的卫星就可以代替地面上五十个中继站。如果利用同步轨道上的静止卫星作通信中继站，就能同时看到地球上直径为一万八千公里的一片地面，占整个地球表面的百分之四十，这相当于300多个中继站通信距离之总和。但是，微波中继站的服务区是一条线，而卫星通信区域则是一个面，因此通过卫星可同时与多处通信。地球同步轨道上只要有三颗静止卫星，彼此相隔 120° ，它们转发的无线电波就能覆盖全球，从而实现除两极地区外的全球通信。利用卫星通信还具有（1）传输容量大；（2）性能稳定、通信质量好；（3）研制成本低；（4）能同时进行多地点之间的通信等优点。

利用卫星进行国内通信对于幅员辽阔而微波中继线路尚不发达的国家来说尤为经济有效。

跟踪和数据中继卫星

跟踪和数据中继卫星是通信卫星技术的一个重大发展。跟踪和数据中继卫星就是用卫星来跟踪、测量和控制卫星，并通过它将别的卫星的轨道数据和遥测数据转发给地面站。这种卫星相当于一个天上的测控站。发展这种卫星将可能改变目前空间活动对地面测控站，特别是对国外测控站的依赖状态，为飞船、卫星的跟踪、测量和控制提供新的途径。跟踪与数据中继卫星可以弥补在国外无法设立地面站的缺陷，进而可用少量地面测控站代替大量的地面台站。

直接广播卫星

目前，人们已经能收看到通信卫星转播的电视节目。但是，通信卫星转播的电视，必须先由设有直径为十几米的天线和高灵敏度的接收机的卫星地面站接收，经过放大以后才能送到地面电视台，再向千家万户播送。有时还需要经过地

面中继线路接力，送到远方的城乡。这种卫星地面站设备复杂，造价昂贵，同时电视信号经过多次接力传输，清晰度大为逊色。

广播卫星的发射功率很大，相当于一个设在轨道上的大功率电视台。卫星转发的电视信号经过四万公里传输后，到达地面仍有足够的强度，用一副直径不到一米的天线和转接器进行接收变换，用普通家庭电视机即可收看，这样就可取消复杂的地面设备和庞大的中继线路，减少中间传输层次，图象也清楚得多。

3. 空间基准点

人造卫星的第三个用途是作为舰船导航和大地测量用的基准点。

导航卫星

卫星发出一对频率非常稳定的无线电波，海上航行的船只，水下航行的潜艇，空中飞行的飞机，甚至飞行中的导弹，都可以通过接收卫星的电波信号来确定自己的位置。

导航卫星起初是为水下核潜艇的定位服务的。核潜艇在水下发射导弹，为了准确命中目标，首先得知道自己所在的地理位置，用卫星导航就能精确定位。导航卫星实际是设在轨道上的无线电导航台。普通的无线电导航，设备庞大，精度太低。卫星导航大气影响小，定位的精度比一般无线电导航高出几十倍。美国子午仪卫星导航系统定位精度一般做到50米，改进后可达到36米。1967年宣布子午仪卫星解密后，世界各国的军舰和商船几乎都用它来导航定位。

测地卫星

常规的大地测量方法，花费人力多，时间长。地面测量受到垂线偏差和大气折射的影响，精度低。尤其是，由于受到地球曲率的限制和大洋的阻挡，无法精确测量海岛和大