



◎ 张永生 王 涛 张云彬 编著



航天遥感工程

(第二版)



 科学出版社
www.sciencep.com

航天遥感工程

(第二版)

张永生 王 涛 张云彬 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书重点论述航天遥感任务设计与规划等方面的内容,“从零开始”设计一项具体的航天任务,使之满足一系列广泛的飞行任务目标。全书共分为十五章,包括概述、航天遥感任务的分析与设计过程、飞行任务描述与评估、飞行任务系统要求的确定、空间任务几何学、航天动力学基础、轨道与星座设计、航天器与空间有效载荷、地面覆盖分析与评估、通信系统与链路设计、地面系统、空间推进系统与发射系统、航天遥感飞行任务的运行、小卫星技术与应用,以及卫星工具软件及其应用等。

本书第一版是国家“863”高技术计划空间信息获取与处理技术主题成果系列专著之一。此次再版是在教学、科研应用实践的基础上,结合相关理论与技术的最新进展,进行了系统修订,进一步加大对一项航天遥感飞行任务分析与设计全过程的有关论述,增加或更新了概述、飞行任务系统要求的确定、轨道和星座设计、地面覆盖分析与评估、小卫星技术与应用等部分内容。

本书既可作为相关专业大学本科和研究生的教学参考书,也可作为航天技术领域的工程技术人员和管理人员的工作参考书。

图书在版编目(CIP)数据

航天遥感工程/张永生,王涛,张云彬编著.—2版.—北京:
科学出版社,2010

ISBN 978-7-03-028466-2

I. ①航… II. ①张… ②王… ③张… III. ①航天遥感—航天工程
IV. ①TP72②V4

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第148903号

责任编辑:韩 鹏 朱海燕 刘希胜/责任校对:陈玉凤

责任印制:钱玉芬/封面设计:王 浩

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码 100717

<http://www.sciencep.com>

陈海印制有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

2010年8月第1次印刷

开本:787×1092 1/16

2010年8月第一次印刷

印张:18

印数:1—3 500

字数:411 000

定价:49.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

航天遥感既是对资源环境信息动态监测的有效手段，也是对瞬息万变的战场态势信息准确把握的首选技术。航天遥感具有不受空域和地理疆界限制、覆盖范围广、可重复观测、能快速获取信息等优点，在国防及国民经济建设中得到了广泛应用，成为不可替代的高科技手段。一定意义上讲，航天遥感技术已经成为影响战争胜负和维护国家安全的重要因素。

目前已出版的航天遥感类图书，多数是论述传感器技术，遥感数据获取、处理与应用等方面内容，而对建立一个航天遥感工程项目的全过程较少涉及。随着我国空间技术、对地观测技术的发展和快速进步，必须在更大的范围、更加系统地研究航天遥感工程的理论和技术。基于这一指导思想，本书重点论述航天遥感任务设计与规划等方面的内容，“从零开始”设计一项具体的航天任务，使之满足一系列广泛的空间飞行任务目标，将航天任务的总体设计与分析、航天器与有效载荷、航天器轨道、空间推进与发射、通信等各分系统的设计、航天任务的运行管理，以及对地覆盖、现代小卫星技术等各个领域从大系统工程的角度有机地融为一体，涵盖建立航天遥感工程项目的全过程。

全书共分为十五章，包括概述、航天遥感任务的分析与设计过程、飞行任务描述与评估、飞行任务系统要求的确定、空间任务几何学、航天动力学基础、轨道与星座设计、航天器与空间有效载荷、地面覆盖分析与评估、通信系统与链路设计、地面系统、空间推进系统与发射系统、航天遥感飞行任务的运行、小卫星技术与应用，以及卫星工具软件及其应用等。

本书第一版是在国家“863”高技术计划空间信息获取与处理技术主题（308 主题）支持下于 2000 年出版，是该技术主题系列专著之一，出版十年来，在教学和科研工作中得到广泛应用。根据我们的教学实践体会和科学出版社收集的多方信息，作者对本书内容进行了认真的修改和补充。此次再版是在广泛征求意见的基础上，充分吸纳应用反馈信息和同行建议，融入相关技术领域的近期研究成果，进一步加大对一项航天遥感飞行任务分析与设计全过程的有关论述，增加或更新了概述、飞行任务系统要求的确定、轨道和星座设计、地面覆盖分析与评估、小卫星技术与应用等部分内容。

本书得到了中国人民解放军信息工程大学、武汉大学、国防科学技术大学等单位专家和同行的大力支持与热情帮助。多位专家参与了本书编写内容的讨论，提出了富有建设性的意见，在此一并表示衷心的感谢。另外，除书中所列参考文献外，书中还参阅了国内外大量论文和资料，各科研院所、有关高校的研究成果、教材及互联网上大量的资料，在书中不一一列举，谨致谢忱。本书既可作为相关专业大学本科和研究生的教材、教学参考书，也可作为航天技术领域的工程技术人员和管理人员的工作参考书。

受作者学术视野和工程实践所限，书中不妥之处敬请读者批评指正，以便再版时更正。

作 者

目 录

前言

第1章 概述	1
1.1 航天技术与航天遥感概述	1
1.2 航天技术的发展	6
1.3 中国的航天工程	13
第2章 航天遥感任务的分析与设计过程	16
2.1 航天任务分析与设计过程综述	16
2.2 航天任务的周期	21
2.3 航天任务的组成单元	23
2.4 任务目标的确定	24
2.5 任务需求、系统要求和约束条件的初步估计	25
第3章 飞行任务描述与评估	29
3.1 不同飞行任务方案的识别	30
3.2 系统主导因素的识别	34
3.3 飞行任务方案特征的描述	35
3.4 飞行任务评估	41
第4章 飞行任务系统要求的确定	57
4.1 系统要求在系统开发中的作用	57
4.2 要求分析和性能预算	63
4.3 确定要求基线的步骤	70
第5章 空间任务几何学	72
5.1 天球几何学	74
5.2 空间观察的地球几何	81
5.3 地面观察者看到的卫星视在运动	86
第6章 航天动力学基础	90
6.1 开普勒轨道	90
6.2 轨道摄动	97
6.3 轨道机动	104
6.4 轨道保持	109
第7章 轨道和星座设计	112
7.1 轨道设计过程	112
7.2 初始轨道设计	115

7.3	地球基准航天器轨道的选择	119
7.4	转移轨道、等待轨道和空间基准轨道的选择	121
7.5	星座设计	124
第8章	航天器与空间有效载荷	131
8.1	航天器的组成	131
8.2	有效载荷的种类	133
8.3	对地观测有效载荷	136
8.4	观测有效载荷设计概述	139
第9章	地面覆盖分析与评估	145
9.1	星下点轨迹计算	145
9.2	航天器地面覆盖分析	148
9.3	成像传感器地面覆盖分析与评估	152
第10章	通信系统与链路设计	163
10.1	通信系统结构	163
10.2	数据率	170
10.3	链路设计	174
10.4	几个专题	183
第11章	地面系统	187
11.1	地面系统的基本组成单元	188
11.2	遥感卫星地面站组成与系统功能	191
11.3	地面站通信控制系统	192
11.4	地面站收发信系统	195
11.5	地面站天线系统	197
第12章	空间推进系统与发射系统	200
12.1	火箭推进基本原理	201
12.2	火箭发动机类型	205
12.3	发射系统	209
第13章	航天遥感飞行任务的运行	218
13.1	飞行任务运营概述	218
13.2	航天器运行	220
13.3	人员培训	225
13.4	制定飞行任务计划	227
13.5	工程支持	229
第14章	小卫星技术与应用	235
14.1	小卫星技术简介	235
14.2	小卫星技术的应用	239
14.3	对地观测小卫星	245
14.4	小卫星系统设计	251

第 15 章 卫星工具软件及其应用	256
15.1 STK 高级分析集成工具包主要功能与特性	256
15.2 STK 产品家族	258
15.3 STK 模块介绍	260
15.4 STK 在一些具体项目中的应用	273
主要参考文献	278

第 1 章 概 述

从古至今，飞离地球、遨游太空一直是人类不曾中断的愿望。20 世纪初，俄国的航天先驱齐奥尔科夫斯基曾经预言：“地球是人类的摇篮，人类决不会永远躺在这个摇篮里，而会不断探索新的天体和空间。人类首先将小心翼翼地穿过大气层，然后再去征服太阳系空间。”这些愿望和预言，到了 20 世纪下半叶才真正变成了现实。

1957 年 10 月 4 日，苏联用液体火箭成功地发射了世界上第一颗人造地球卫星，开辟了人类进入空间时代的新纪元，标志着航天技术取得了划时代的成果，而人类的活动区域也从此由陆地、海洋和大气层空间迈向了外层空间。

空间技术与光电探测技术的结合，孕育了现代航天遥感技术。事实上，遥感是由近距离摄影侦察到航空摄影，再由航空摄影逐步发展到航空航天遥感的广阔技术领域。

本书所探讨的航天遥感任务，是一般航天任务的具体化，其任务、目标和技术过程，总体上与常规的航天任务是相同的或相似的。因此，在本书中凡没有特别强调是航天遥感独有的特性或技术，均是从常规航天任务的角度来分析和论述。书中所引用的例子和数据多数来自国际上的公开技术文献。

1.1 航天技术与航天遥感概述

1.1.1 航天

航天是载人或不载人的航天器在太空（外层空间）的航行活动，又称空间飞行或宇宙航行。航天活动的主要目的是探索、开发和利用太空以及地球以外的天体。航天包括环绕地球的运行、飞往月球或其他行星的航行（包括环绕天体运行、从近旁飞过或在其上着陆）、行星际空间的航行和飞出太阳系的航行。有人把太阳系内的航行活动称为航天，太阳系外的航行活动称为航宇。航天的关键在于航天器应达到足够的速度，克服或摆脱地球的引力，飞出太阳系的航行还要摆脱太阳引力。第一、第二、第三宇宙速度是航天所需的三个特征速度。恒星际航行尚处于探索阶段。

1.1.2 航天技术与航天工程

航天技术是探索、开发和利用太空以及地球以外天体的综合性工程技术，又称空间技术。航天技术是用于航天系统（特别是航天器和航天运输系统）的设计、制造、试验、发射、运行、返回、控制、管理和使用的综合性工程技术，其理论基础是航天学。

航天技术主要包括：喷气推进技术、火箭制导和控制、火箭设计与制造、航天器轨道

控制、航天器姿态控制、航天器热控制、航天器电源、遥测遥控、生命保障、航天器设计与制造、火箭与航天器试验、飞行器环境模拟、航天器发射、航天器返回、航天测控与安控、航天地面测试、航天器信息获取和处理、航天系统工程等。

航天技术与其他科学技术在航天应用中互相渗透，产生了一些新的交叉学科和众多新的技术，诸如空间物理学、空间天文学、空间化学、空间医学以及各种卫星应用技术、空间加工与制造技术、空间生物技术、空间能源技术等。这些学科与技术都已赋予新义，不是原有领域科学技术与航天技术的简单组合，而是创新，这就扩大了航天技术的应用范围。

航天工程通常泛指航天技术，也可指某一项航天系统的研制任务或建设项目，或特指组织管理航天系统的研究、设计、制造、试验、发射、运行和应用所采用的系统工程方法，在航天活动实践中形成了工程管理的理论和方法。

1.1.3 航天系统

由航天器、航天运输系统、航天器发射场、航天测控网和应用系统组成的完成特定航天任务的工程系统称之为航天系统或称航天工程系统。航天技术就是用于航天系统的综合性工程技术。

下面简要介绍航天工程系统的五个组成部分。

(1) 航天器是指在地球大气层外的宇宙空间，基本按照天体力学规律运行的各种飞行器，如人造地球卫星、深空探测器、载人飞船、空间站以及地外天体着落装置（如登月舱）等。航天器的基本构成有专用系统和保障系统。专用系统又称有效载荷，用于执行特定的航天任务；保障系统又称通用载荷，用于保障专用系统的正常工作。以人造地球卫星为例，天文卫星的天文望远镜、遥感卫星的可见光照相机等就是专用系统；保障系统主要包括：结构系统、热控制系统、电源系统、姿态控制系统、轨道控制系统、无线电控制系统、返回着陆系统、生命保障系统、应急救援系统和计算机系统。专用系统和保障系统一起构成航天器系统。

(2) 航天运输系统是把任何有效载荷运送到预定轨道的航天运输工具。它可分为运载器和运输器两类。把人造地球卫星、空间平台、载人飞船、空间站和空间探测器等航天器送入预定轨道的飞行器称为运载器，通常为一次性使用的运载火箭。为在轨道上的航天器运送人员、装备、物资以及进行维修、更换、补给等在轨服务的飞行器称为运输器，通常由轨道器和推进器组成。航天飞机运输器兼有运载、运输双重功能。用运载火箭和飞船可构成一次性使用的运输器。

(3) 航天器发射场是指发射航天器的特定场区。场内有完整配套的设施，用以装配、贮存、检测和发射航天器，测量飞行轨道和发送控制指令，接收和处理遥测信息。

(4) 航天测控网是对航天器飞行状态进行跟踪测量并控制其运动和工作状态的专用系统。这一系统能及时了解航天器与运载器的空间位置、姿态和各分系统的基本工作状态，以保证实现预定的目标和任务。航天测控与跟踪系统分为星、箭部分和地面部分。该系统由若干分系统组成，通常包括通信时间统一勤务系统，计算机数据处理和指挥调度系统，跟踪测轨系统，遥测、遥控系统等。这些分系统汇集组合成若干个乃至数十个具有不同功能的地面测控站或测量船，形成一个地面测控跟踪网，实现对飞行中的星、箭跟踪和

测控。

(5) 航天应用系统是按航天器的不同任务需要而装载的各种专用系统和相应的地面应用系统，也是实现航天技术效益的关键系统。例如，为实现卫星通信在通信卫星上装载的转发器和通信天线系统；为实现对地观测在遥感卫星上装载的卫星光学摄影系统、红外及微波遥感系统；为实现空间科学实验在卫星上装载的科学探测或实验装置系统；为实现军事应用目的而装载的各种专用系统。相应的航天地面应用系统是：为开展电话、电报、传真、电传、电视和数据传输业务而设置的卫星通信地球站；为对地球资源卫星进行跟踪、测量、控制、实施功能管理，并接收、记录和处理卫星发回的图像数据而设置的地面站、图像接收站和数据收集系统；为测量、控制气象卫星并接收和处理其气象信息而设置的数据接收与测控站、数据处理中心、数据收集系统和数据利用站及向导航卫星注入导航信息的地面无线电发射站等。

由此可知，现代航天技术是一门综合性工程技术，航天工程系统是现代典型的复杂大系统。

1.1.4 航天器的分类

现有的航天器按有无无人驾驶可分为无人航天器和载人航天器两大类。无人航天器包括各种人造地球卫星、月球探测器和行星及行星际探测器。载人航天器则有载人飞船、航天飞机和空间站三大类。航天器详细分类如图 1.1 和表 1.1 所示。

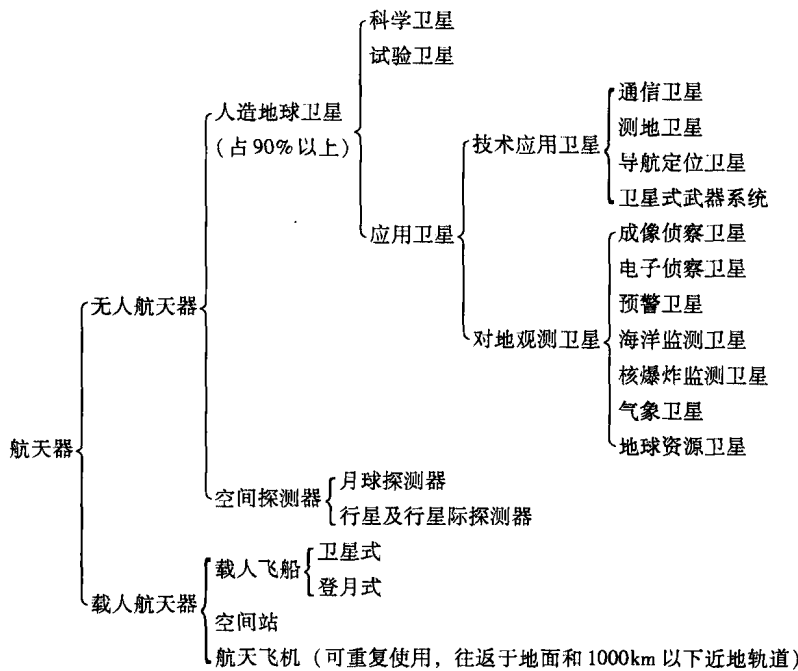


图 1.1 航天器分类

表 1.1 航天器种类和主要用途

类别	航天器名称	主要用途	举 例
人造地球卫星	天文卫星	在大气层外对太阳及其他星象观测	日：“天文卫星-A”
	科学卫星	对日地空间环境、恒星及星系观测	俄：“质子号”
	试验卫星	试验某项新技术、新设备	美：“应用技术卫星”
	人造彗星	人造钼原子云，研究太阳风、磁场等物理现象	德、英、美：“AMPTE”
	生物卫星	研究空间环境（如失重、辐射等）对生命机制的影响	俄：“宇宙-1667”
	通信卫星	设在天上的电话、电报、电视、广播、传真和数据传输的无线电转播站	中：“东方红三号” 美：“国际通信-V”
	直播卫星	大功率的天上电视转播站	法：“TDF-1” 日：“百合-2A”
	跟踪和数据卫星	用来跟踪、测量和控制其他卫星并将低轨道卫星观测数据传到地面站	美：“TDRSS”、“Milstar 军事星”
	导航定位卫星	为地面车辆、海上舰船、水下潜艇、空中飞机等提供时间、频率信号，以确定车、船、潜艇、飞机等位置	美：“GPS” 俄：“GLONASS” 中：“北斗” 欧：“伽利略”
	测绘卫星 (遥感卫星)	立体摄影定位，绘制精确地图、海图等	法：“王冠-IC” 美：“安娜”“西科尔”
	雷达校准卫星	为地面雷达提供无线电基准频率	俄：“宇宙-1534”
	激光测地卫星	利用激光测距研究地球结构，为地震、地质提供资料	法：“激光测地卫星”
	拦截卫星	炸毁或捕获他国卫星	俄：“宇宙-1258”
	电子干扰卫星	用电子设备干扰和破坏对方的无线电传播	
	卫星式武器系统	轨道式重返大气轰炸地面目标	俄：“宇宙-1267”
	成像侦察卫星 (遥感卫星)	对地面目标进行遥感探测、成像（可见光、红外、微波）以获取军事情报	俄：“宇宙-1238”、“宇宙-1552”、“宇宙-2031” 美：“萨莫斯”、“大鸟”、“KH-11”、“大酒瓶”、“长曲棍球”
	导弹预警卫星	侦察对方远程导弹发射时间、地点、方式	美：“国防支援计划 DSP” 俄：“预报”、“眼睛”
	海洋监测卫星	监视海面舰船、水下潜艇的活动、确定其数量和装备	俄：“宇宙-2060” 美：“白云”
	核爆炸监测卫星	监视大气层内和外层空间的核辐射离子情况，确定核爆炸发生的地点、时间和当量	美：“英琼-3”
	地球资源卫星	对日地空间环境、太阳、矿藏、水力、海洋资源、大气与海洋污染进行勘测及预报	美：“陆地卫星” 法：“SPOT”系列 印：“巴斯卡拉-2” 中：“中巴资源卫星”
	气象卫星	拍摄云图，测量云层温度和湿度分布，进行大气预报	美：“泰罗斯”、“布洛克” 俄：“气象” 中：“风云”
	救援卫星	侦听遇难船艇、飞机呼救信号，及时转告地面站组织救援	美：“诺阿-E” 俄：“宇宙-1383”

续表

类别	航天器名称	主要用途	举 例
空间探测器	月球探测器	探测月球构成、考察月球起源、了解月球	美：“徘徊者” 俄：“月球1号” 中：“嫦娥”系列
	行星和行星际探测器	探测太阳系及银河系奥秘，寻求人类知音	美：“旅行者2号”、“先驱者” 俄：“水星”
载人航天器	载人飞船	大型空间返回型载人航天器	俄：“联盟号” 美：“水星”、“阿波罗” 中：“神舟”
	航天飞机	火箭、飞机和飞船三合一型航天器，用来发射卫星、检修和回收卫星、商业飞行及完成其他专项任务	美：“哥伦比亚号”、“亚特兰蒂斯”
	空间站	大型空间实验室、工厂、太空城	俄：“礼炮-6”、“和平号” 美：“天空实验室”

从1957年第一颗人造地球卫星上天以来，全世界共发射了5000个以上的航天器，这其中有载人飞船100余艘、月球和行星探测器100多个、载人空间站10多个、航天飞机飞行80余架次，其他就是占绝对多数的各类应用卫星和试验卫星。这些航天器中美国和俄罗斯（含原苏联）占大多数。较大比例的航天器被专门用于各种军事目的。

1.1.5 遥感与航天遥感

1962年，在美国的密执安大学召开了第一次环境遥感科学讨论会，会上讨论了如何把探测地面军事目标的侦察技术转向民用的问题，美军海军科学研究局的布鲁伊特首先提出了“遥感”一词。“遥”是空间概念，“感”是信息系统。遥感技术其原意是指一种非接触的测量和识别技术。所以，人眼看到远处的物体，就是一种生物的遥感。我国古代的烽火台、伽利略用自制的望远镜观测星空、普通照相机摄影、19世纪出现的航空摄影都属于遥感的早期雏形。

从1962年密执安大学讨论会以后，“遥感”主要是指利用航空航天技术宏观地研究地球、综合评价地球环境、进行自然资源调查与开发及管理的一种特定技术。所以，以地球为对象的遥感，可追溯到19世纪出现的航空摄影。20世纪初，航空摄影侦察和航空摄影测量，改进了地图绘制技术。第二次世界大战出现的彩色航空摄影，打开了自然环境与资源考察的新局面，使人类更真实地看到地球环境。当时使用的摄影机结构简单，只是利用照相机镜头的成像原理，做成能安装在飞机上的摄影机，而且当时所用的感光材料也只能对可见光发生化学反应，所以拍摄的地物影像只能反映物体在可见光范围内的特征。

20世纪50年代初期，航空红外扫描仪的发明和发展又将观测地物的范围从可见光扩展到10μm热红外波段。50年代末到60年代初，人们发明了多光谱摄影机，改进了感光材料，使其感光范围从可见光延伸到1.1μm的近红外波段，产生了多光谱摄影和彩色红外摄影技术。这就是60年代航空遥感的基础。可见光和红外遥感，可以获得地物清晰的

光学和红外图像，在军事侦察和地球观测上提供许多有用的科学数据。可见光和红外传感器只能在晴空工作，遇到阴雨天气，被云遮挡，它们就观测不到地球表面了。

军事应用和地球观测的需要促进了 20 世纪 70 年代微波遥感（特别是雷达遥感）的发展。微波遥感能全天候工作，不管阴雨、晴空、白天、黑夜均能工作，再加上一些微波波段对植被和地表层具有一定的穿透能力，因此受到世界各国的普遍重视，并获得迅速的发展。微波遥感技术正成为遥感领域中一个新的发展方向。

20 世纪 80 年代初，随着光电探测器技术的发展，研制高空间分辨率、高光谱分辨率以及高辐射性能的传感器成为可能。1983 年美国研制成功第一台航空成像光谱仪。美国发展的高分辨率成像光谱仪取得了成像光谱技术的重大突破，这种仪器在可见光到近红外（400 ~ 2450nm）光谱段设置了 192 个波段，在卫星上可分清地面 30m 的物体，可同时观测地面 24km 宽的条带。成像光谱仪追求的目标是：在太空观测地球表面上的每一点物体，就像在光谱实验室那样，通过测量物体的光谱细微特性来区别它是何物。因此，成像光谱技术的发展已成为 21 世纪国际遥感界的一个热点，也是当代国际遥感发展的重要领域和前沿。

航空遥感和航天遥感所使用的传感器大同小异，两者最大的区别在于传感器所搭载的飞行平台。航空飞行器受领空和气象条件的限制，每次遥感任务只能局部地、间歇地进行。航天遥感所依托的卫星和其他航天器在几百千米以上的轨道上飞行，不受领空的限制，飞行平台更加平稳、观测范围更大，可以长时间、周期性地对地观测，是遥感技术真正走向大规模应用的主要方式。航天遥感在全球观测，实现大范围资源、环境调查，在军事应用方面具有任何其他技术所不可替代的作用和地位。

1.2 航天技术的发展

1.2.1 航天技术的发展历程

1. 火箭技术的发展

航天飞行的历史从火箭技术的历史开始，没有火箭也就没有航天飞行。火药是中国古代四大发明之一，火箭是中国人在火药之后发明的，早在宋真宗咸平三年（公元 1000 年）唐福献应用火箭原理制成了战争武器，尔后传到国外。19 世纪末 20 世纪初，近代火箭技术和航天飞行得以蓬勃发展，涌现出许多勇于探索的航天先驱者，其代表人物有齐奥尔科夫斯基（Ziolkowski）、戈达德（Goddard）和奥伯特（Oberth）。

俄国科学家齐奥尔科夫斯基一生从事利用火箭技术进行航天飞行的研究。他没有受过良好的正规教育，是完全依靠自学成长起来的伟大科学家。他 1903 年发表论文《利用喷气工具研究宇宙空间》，论证了火箭用于星际航行的可能性，推导出火箭（变质量物体）在无引力场的真空中飞行速度的计算公式——齐奥尔科夫斯基公式；他最早从理论上证明用多级火箭可以克服地心引力进入太空，论述了液体火箭是航天器最理想的运载工具，奠定了火箭和液体发动机的理论基础。美国的戈达德博士在 1910 年开始近代火箭的研究工作。他在 1919 年出版的《到达极大高度的方法》中，阐述了火箭飞行的数学原理。他意

识到液体推进剂火箭具有极大的潜力，并于1926年3月16日成功发射了世界上第一枚液体火箭，飞行速度103km/h，高度12m，时间2.5s，距离56m。德国的奥伯特教授在他1923年出版的《飞行星际空间的火箭》一书中论述了火箭飞行的数学理论，并提出了许多火箭结构与飞行的新观点。

真正的近代火箭出现在第二次世界大战期间的德国。早在1932年德国就发射了A2火箭，飞行高度达3km。1942年10月成功发射V2火箭，V2火箭是一种有控制的弹道式液体火箭，推进剂为液氧和酒精，全长14m，直径1.65m，起飞质量约为13000kg，最大速度1.6km/s，最大射程320km。V2火箭被誉为现代火箭之鼻祖，在火箭发展史上成为一个划时代的标志。

第二次世界大战后，火箭技术受到苏联和美国的高度重视，得到了迅速发展。1957年8月，苏联成功地发射了第一枚洲际弹道式导弹，同年12月，美国也发射了自己的洲际导弹。运载火箭是在洲际导弹的基础上发展起来的、由多级火箭组成的航天运载工具。现代科学技术和一系列大功率运载火箭的发展，为人造地球卫星的研制和发射打下了坚实的基础。到目前为止，航天运载火箭形成了若干不同的系列，如原苏联（俄罗斯）的“东方”系列、“质子”系列，美国的“土星”系列、“德尔塔”系列、“大力神”系列、“雅典娜”系列，欧洲航天局的“阿里亚娜”系列，日本的“H”系列和我国的“长征”系列等，它们可以将各种航天器送入不同类型的轨道。

2. 卫星时代

1945年人造地球卫星的概念在美国出现，美国海军航空局着手研究一种把科学仪器送入太空的卫星，次年美国陆军航空局审查“兰德计划”的一项类似的研究报告中也有“实验性环球空间飞行器”的初步设计。1957年10月4日，苏联用运载火箭把世界上第一颗人造地球卫星——“人造卫星-1”送入太空，开创了人类航天的新纪元，1958年12月1日，美国也将自己的第一颗人造地球卫星——“探险者-1”成功地送入太空。从此以后，航天技术的发展突飞猛进，日新月异，目前，已有九个国家和组织具有独立研制和发射人造地球卫星的能力，按照首次发射卫星的时间顺序分别为：苏联（1957.10.04）、美国（1958.12.01）、法国（1965.11.26）、日本（1970.02.11）、中国（1970.04.24）、英国（1971.10.28）、欧洲空间局（1979.12.24）、印度（1980.07.18）和以色列（1988.09.19）。

人造地球卫星出现以后，20世纪60年代苏联和美国发射了大量的科学实验卫星、技术试验卫星和各类应用卫星。70年代起军事和民用卫星全面进入应用阶段，并向侦察、通信、导航、预警、气象、测地、海洋和地球资源等专门化方向发展。

1964年，美国发射了世界上第一颗地球静止轨道通信卫星——“辛康-3”，1965年，国际通信卫星投入商业运行，开创了远距离、大范围乃至全球性实时通信与电视广播的新局面。目前，卫星通信已经成为现代信息传输的重要手段。以全球定位系统（global positioning system, GPS）为代表的卫星导航系统实现了全球性、全天时、高动态、高精度的导航定位与授时服务。目前发展的卫星定位系统主要有：美国的GPS系统、俄罗斯的GLONASS系统、我国的“北斗”系统和欧盟的Galileo系统。1972年，美国“Landsat-1”发射成功，标志着利用卫星勘测与研究地球资源时代的到来。此后，地球资源卫星得到了

空前的发展并形成系列，如美国的“Landsat”系列，原苏联（俄罗斯）的“流星”系列，法国的“SPOT”系列，我国与巴西合作的“中巴资源卫星”系列等。

20 世纪 60 年代初开始发展的用于获取军事情报的侦察卫星是研究最早、发展最快、发射数量最多的一类应用卫星，主要包括成像侦察卫星、电子侦察卫星、海洋监测卫星和导弹预警卫星等。气象卫星是广泛应用于国民经济与军事领域的应用卫星。自 1960 年气象卫星问世以来，世界各国共发射了 100 多颗太阳同步与地球静止气象卫星，实现了连续性全球大气探测，提高了气象与灾害预报的准确性。80 年代后期起，单一功能的微型化、小型化卫星是卫星发展史上的新动向，这类质量轻、成本低、研制周期短、见效快的小型卫星将是未来卫星的一支生力军。目前，有 100 多个国家和地区参加了各类航天活动。

3. 载人航天

在航天活动中载人航天占有重要位置。尽管航天器携带的装置精确，灵敏度高，能自动观察、操作、传输、存储、处理数据，但它们不能代替人的思维。初期的载人航天器一方面研究航天技术，另一方面进行生物学和医学试验，研究航天员在长期失重条件下的反应、航天器对接时和人走出航天器时的生理反应。

1961 年 4 月 12 日苏联宇航员加加林乘坐“东方-1”飞船进入太空，标志着载人航天的开始。1962 年 2 月 20 日，美国也将自己的第一颗载人飞船“水星-6”送入空间轨道。苏联自 1961 年 4 月至 1970 年 9 月共发射 17 艘载人飞船，并创造多项第一：1962 年 8 月，“东方-3”和“东方-4”首次进行载人飞船编队飞行；宇航员尼古拉耶夫创造了空间驻留时间最长的纪录（94 小时 22 分，64 圈）；捷列什科娃乘坐“东方-6”成为第一个进入太空的女宇航员；1965 年 3 月宇航员列昂诺夫在“上升-2”飞船上实现人类第一次太空行走；1966 年 1 月两艘联盟号飞船第一次在轨道上交会对接，并实现两名航天员从一艘飞船向另一艘飞船转移。

1961 年 5 月至 1966 年 11 月美国发射了 16 艘载人飞船（“水星”和“双子星座”），“水星”和“双子星座”计划是载人登月飞行目标“阿波罗”计划的前两个阶段。“阿波罗”计划是一个庞大的载人航天计划，早在 1960 年 1 月，美国航空航天局（National Aeronautics and Space Administration, NASA）向国会提出了 10 年空间发展规划中的载人登月计划，即“阿波罗”计划。为了实现这个计划，美国共发射了 10 艘“双子星座”载人飞船，进行了一系列技术试验，包括宇航员长时间在轨运行与出舱活动、飞船在轨对接、返回技术等。1968 年 10 月起，阿波罗飞船开始载人飞行试验，1969 年 7 月 20 日，美国宇航员阿姆斯特朗乘坐“阿波罗-11”载人飞船首次踏上月球表面，成为第一个登上月球的人，标志着航天技术的巨大飞跃。继“阿波罗-11”之后，美国在 1969 年 11 月至 1972 年 12 月又发射了 14 次载人登月飞船（其中有 6 次载人登月飞行，12 名宇航员登上月球）。

载人空间站的目的是在地球轨道上创造一个适合宇航员长期生活和工作的场所和环境，从而更好地开发利用空间资源和环境。与其他载人航天器相比，空间站具有以下特点：不载人发射、不需要返回，只在轨道上接纳和送走宇航员；具有自主补给消耗品和检修、更换设备的能力；工作寿命长，可变更和扩大功能；具有与其他航天器的对接功能和大型化、积木式或装配式结构。1971 年 4 月 16 日，苏联成功地发射了世界上第一个载人空间站——“礼炮-1”，到 1976 年 6 月，苏联共发射了 5 个“礼炮”号载人空间站；从

1977年起，苏联发展了新一代载人空间站——“礼炮-6”和“礼炮-7”，主要发展了多接口技术，进一步发展了宇航员轮换与物质补给方式，延长了宇航员的在轨工作时间。在前两代空间站的基础上，苏联又研制发展了“和平号”空间站，是人类建成的第一个具有长寿命、可变更和扩大功能的大型载人空间站，2001年3月23日，“和平号”受控坠毁于南太平洋无人区域。面对苏联空间站技术的迅速发展，美国在“阿波罗”计划之后提出国际空间站计划（前期叫“自由号”），但因耗资过大等原因而改为国际合作建设，目前参与国际空间站建设计划的有美国、俄罗斯、日本、欧洲空间局、加拿大等国家和组织。

最早提出并实施航天飞机计划的是美国。所谓航天飞机是一种可从空间轨道上整体返回，能在指定机场跑道着陆，带翼的、可部分重复使用的载人或不载人航天器。1977年2月，美国研制出第一架航天飞机的试验样机“企业号”，并进行了驮运运输、大气层内不载人与载人自由飞行等一系列试验；1981年4月12日，美国“哥伦比亚号”航天飞机乘载两名宇航员成功发射并安全返回，成为世界上第一个可多次重复使用的航天器；继“哥伦比亚号”之后，美国又制造并成功发射了4架航天飞机（“挑战者号”、“发现号”、“亚特兰蒂斯号”和“奋进号”）；由于优先发展了空间站，苏联的航天飞机计划实施得较晚，1988年11月15日，苏联唯一的一架航天飞机“暴风雪号”成功地完成了无人驾驶飞行和水平无损着陆，这也是迄今为止它唯一的一次太空飞行；除美国和俄罗斯以外，欧洲空间局、英国、日本等国家和组织也有自己的航天飞机计划，但都没有具体实施或没有最终完成。

4. 空间探测

空间探测的主要目的是了解太阳系的起源、演变和现状，通过对太阳系内各主要行星及其卫星的比较研究进一步认识地球环境的形成和演变，探索生命的起源和演变，开发和利用空间资源。

月球是地球唯一的天然卫星，也是人类空间探测的第一个目标。1958年至1976年8月美国和苏联共发射了83个无人月球探测器，其中美国36个，苏联47个；此后日本1990年1月发射了一颗月球探测器，成为第三个向月球发射探测器的国家；1994年1月25日美国发射了“克莱门汀1号”月球极轨卫星，发回180万幅图片，发现月球极区有水冰；1998年1月7日美国发射了“月球探测器”月球极轨卫星，发现月球两极有大量水冰。目前月球探测的主要形式有：在月球近旁飞过或在其表面硬着陆，探测月球周围环境和拍摄月球照片；以月球卫星的方式获取信息，可进行长时间探测并获取较全面的资料；在月球表面软着陆，可拍摄局部地区的高分辨率照片和进行月面土壤分析。

行星和行星探测器等为行星和行星际空间的研究提供了新的手段。1960年3月美国发射了世界上第一个行星探测器“先驱者5号”，测量了行星际磁场、行星际粒子和太阳风，探测表明太阳风像喷水池螺旋型的喷水图形，发现地球磁场在向着太阳的一面太阳风被压缩。此后，美国、苏联等国先后发射了近百个行星和行星际探测器。例如，1962年美国发射的“水手2号”成功地飞过金星，发现金星没有磁场和辐射带；1970年8月苏联发射的“金星7号”第一次降落在金星表面进行探测；1964年11月美国发射的“水手4号”飞过火星，探测表明火星没有辐射带和磁场，测量到火星电离层的特性和大气密度垂直分布；1975年8月美国发射的“海盗1号”第一次在火星成功着陆；1973年11月美国发射

的“水手10号”同水星相会并进行探测；1973年4月美国发射的“先驱者”10号和11号对木星的磁场和辐射带进行了探测；1985年7月欧洲空间局发射的“乔托号”探测器同哈雷等彗星交会，研究彗星核的形状及物质成分；1996年11月美国发射的火星全球勘测者拍摄了火星表面高分辨率图像。目前行星际探测的主要形式有：从行星附近飞过拍摄照片，测定行星的辐射和磁场；在行星表面硬着陆，直接探测行星大气；绕行星飞行，成为行星的人造卫星；在行星上软着陆，对行星表面进行细致的分析和探测。

1.2.2 航天技术主要成就

1. 空间技术成就

航天运载工具的发展是航天技术最重要的成就之一。至今作为空间飞行器的运输工具主要还是一次性的运载火箭，这方面最发达的是俄罗斯（原苏联）、美国，此外是法国、中国、日本和印度。世界上典型的大型火箭有原苏联的“质子号”、美国的“大力神号”、法国的“阿里亚娜号”、中国的“长征号”、日本的HZ火箭，它们可以把重型卫星送到远地点36000km的地球同步转移轨道。另一种运载工具是航天飞机，航天飞机可以多次使用，但造价高、风险大。美国最早发展航天飞机，运载能力20t，载乘3~7名宇航员，飞行轨道高度200~400km，倾角大约28°。

人造地球卫星对军事和经济建设具有重要价值，因此卫星技术发展极快。世界上除美国、原苏联外，欧盟、中国、日本和印度等国家和地区都具有研制卫星的能力，并发射了多种应用卫星。通信卫星具有很高的经济和社会效益。中国20世纪80年代发射了“东方红二号”静止通信卫星，90年代又发射了通信能力比前者大10倍的“东方红三号”通信卫星。国际通信卫星已经发展到第八代，一颗卫星的通信能力可达几万条话路，可以同时转发几十路电视节目。卫星发射功率的增大及点波束技术的进步，使得地面站小型化成为现实。卫星技术的迅速进步，使卫星的在轨寿命长达12~15年。资源卫星的典型代表是美国陆地卫星和法国SPOT卫星，它们具有高分辨率和多谱段的遥感能力。

载人航天是航天成就的重要组成部分。原苏联、美国在发射本国第一颗人造卫星后就竞相发射载人飞船，主要是要争夺世界第一。原苏联是世界第一个宇航员上天的国家，而美国宇航员首先登上月球，我国是世界上第三个实现载人航天的国家。载人航天的经济效益一直是争论的焦点，但在政治上影响很大。至今已有400多人次进入太空，原苏联略为领先，进入太空人数和停留时间均超过美国。载人航天技术发展较快，不仅宇航员可出舱活动，还可以修复出故障的大型航天器，以及操作航天器交会对接等。

深空探测主要是对太阳系各大行星及其环境进行探测。世界上已发射了100多个科学卫星和深空探测器，有许多重大发现，包括对地球周围环境的调查、发现地球内外辐射带、了解地磁场分布、发现月球冰湖等。多种深空探测器还调查了太阳系各行星及其周围情况，如小卫星和大气环等。

几十年来空间技术的发展是迅速的。概括说，运载火箭运送航天器的能力从几十千克增加到上百吨；卫星获取和传递信息能力大幅度提高，一颗通信卫星的电话由几十路增至几万路；卫星寿命从几十天增到几年至十几年；人在空间停留时间从几个小时增到一年以