

空间飞行器设计

褚桂柏 主编

航空工业出版社

序

航天技术的开创和发展是 20 世纪 50 年代后期世界科技界最引人注目的成就。它迅速地从探索走向实际应用，而且不断扩大，有些应用已进入产业化运行，有些应用具有广泛的科学意义和社会效益。航天工程是一项耗费大量人力、物力、财力和资源的大型复杂的系统工程。它涉及到运载工具、空间飞行器、发射场、测控系统以及地面应用系统等几个大系统。其中核心部分无疑是空间飞行器，特别是卫星。卫星本身也是由结构、姿态和轨道控制、热控、能源、数据管理、通信、有效载荷等几个分系统组成的。几十年来应用卫星的发展是容量从小到大，功能从简单到综合，卫星的体积和重量也相应加大；因而研制周期长、投资大、风险性也大。自从 80 年代中期以来，出现了新型的小卫星和微卫星，局面有所改观，但在一些应用领域，小卫星还不能取代大而综合的卫星。

空间飞行器设计涉及到力学、光学、传热、自动控制、无线电电子学、能源等多学科的专门和综合知识。为了更快、更好、更省的研制卫星，要采用先进制造的组织、管理与生产的并行工程方法。要求产品从设计一开始就要对任务进行详细的分析，确定技术指标，对下一步的制造、工艺、装配、测试验证、发射、运行等全过程进行综合考虑，还要注意到可靠性、质量和成本等问题。这就要求设计人员，包括总体、分系统、部件和有效载荷的设计人员，都要有总体概念，具有一体化的思想，以确保任务的全面完成。随着计算机应用的发展，卫星计算机辅助设计已逐步形成一套比较完整的软、硬件支持环境。但是使用这些工具的设计人员还需要具有宽广和全面的知识，才能协同工作，发挥集体的智慧，取得全局的优化效果。

本书各章作者大多是具有长期从事空间飞行器设计工作经验的工程技术人员。内容不但包括结构、热控、姿控和轨控、能源、测控、通信、数据管理等专门知识，还包括卫星轨道、总体性能、电磁兼容性、可靠性、测试方法等共性知识，都是卫星设计人员必须具备的基础知识。最后一章探讨了卫星研制的成本问题，是一个值得重视的问题。不久的将来，为了争夺卫星的国内外市场，我国设计人员也必须了解一定研制成本的知识，以期走出一条更省的研制卫星的道路。

杨嘉祜

1996年3月

前 言

人类航天活动的实际成就起始于 20 世纪 50 年代。30 多年来, 航天活动扩大了人类的知识宝库和物质资源, 对人类的生产活动和日常生活产生了重大的影响, 并带来了巨大的社会效益、技术效益、经济效益和军事效益。航天活动大大推动了现代科学技术和现代工农业向前发展, 在许多国家已成为国民经济和军事部门重要的组成部分。

在 30 多年的国际航天活动中, 大致经历了两个阶段。一是航天技术研究、开发和应用阶段, 即信息获取和传输阶段。重点是从空间飞行器上利用遥感手段, 观测和研究陆地、海洋和大气, 观测、研究和预报气象情况, 勘查水利和森林资源, 发现有用矿藏, 观测农作物生长情况和土地规划, 预报自然灾害, 揭示环境污染源; 利用无线电传输技术, 进行卫星通信、导航, 使地面通信、广播、导航技术的发展有了一个质的飞跃; 利用空间探测器进入宇宙空间进行科学探测活动, 揭示太空和宇宙天体的奥秘, 建立了空间天文学、空间物理学、空间地质学等新学科。二是空间环境研究和利用阶段。在载人、有人照料或无人轨道飞行期间, 研究和利用空间高真空、高洁净、微重力和强辐射等独特的环境效应, 进行材料研究和加工、生命科学研究和药物制取等, 建立了空间材料学、空间流体力学、空间生物学、宇宙医学等新学科。此阶段除扩大信息获取传输外, 不断进行新的空间科学研究和获得物质产品。

截至 1995 年底, 世界各国发射成功的空间飞行器, 包括人造卫星、空间探测器、载人飞船、空间站和空间平台等约 5000 颗, 其中大量地是各类人造地球卫星。本书侧重于卫星工程设计原理和实际应用的基本方面。其工程设计原理同样实用于大多数其他空间飞行器的系统设计。

编著本书有两个目的: 第一, 本书可以用作高年级大学生和研究生们的教科书, 使他们基本了解空间飞行器设计知识; 第二, 本书可以作为空间飞行器系统设计师们的参考书, 因为空间飞行器设计涉及各学科的相互影响。

本书各章内容安排如下:

第 1 章绪论。描述世界和中国航天发展简史, 卫星系统工程, 人造卫星的分类和系统组成。

第 2 章介绍空间环境及其对航天活动的影响。讨论地球大气, 地球电离层, 地球磁场和其他环境因素及其对航天活动的影响。

第 3 章介绍卫星轨道设计。讨论二体问题, 轨道摄动, 回归轨道, 太阳同步轨道, 地球静止轨道等几种常用的特殊轨道。卫星轨道设计的参数确定原则、理论计算、误差分析、发射窗口和变轨问题。

第 4 章介绍卫星总体性能设计参数选择。讨论总体性能参数的分类和选择, 有效载荷参数选择。

第 5 章介绍构形设计。讨论构形设计的一般原则、设计过程、外形选择、总体布局、质量分配, 以及卫星模块化设计和质量特性计算。

第 6 章介绍结构系统。讨论结构系统的功能、组成和分类, 结构设计的要求、原则、载

荷和设计过程，结构材料以及结构分析的内容和方法。

第7章介绍热控制系统。描述卫星热设计基础，热分析计算，常用的热控制材料和装置，整星热平衡试验以及热控制技术的发展前景。

第8章介绍姿态和轨道控制系统。讨论卫星姿态和轨道控制的任务、分类、系统组成，卫星姿态运动学和动力学，姿态确定以及姿态和轨道控制的控制方式。

第9章介绍电源系统。讨论电源系统的功能和系统组成，电源系统设计，太阳能电池阵，蓄电池组以及电源控制设备。

第10章介绍测控与通信系统。讨论遥测、遥控和跟踪分系统设计，以及通信方程和通信体制。

第11章介绍数据管理系统。讨论数据管理系统的体系结构、技术要求和系统设计。

第12章介绍总体电路设计和电磁兼容性。描述卫星总体电路的供电、接地、接口电路设计、电缆设计，描述电磁兼容性的基本概念，电磁干扰耦合，系统EMC控制与预测分析。

第13章介绍可靠性设计。讨论可靠性的要求确定、模型建立、预计、分配，故障模式影响和危害度分析(FMECA)，元器件、材料和工艺的选择与使用，软件的可靠性设计等。

第14章介绍卫星环境试验。讨论卫星环境试验的目的、任务和发展方向，卫星环境试验的内容和方法。

第15章介绍成本分析。讨论卫星成本分析基础，卫星工程大系统费用模型，卫星系统费用估算，发射系统费用分析。

本书由褚桂柏教授主编，参加本书编著的有：序，杨嘉墀院士；前言，第一、五章褚桂柏教授；第二章张永维教授；第三章张云彤高工；第四章吴开林教授；第六章冯纪生教授；第七章过久谿教授；第八章吕振铎教授；第九章韩国经教授；第十章姜昌教授；第十一章叶万庚教授；第十二章章秀珍高工、郝修来高工；第十三章徐雷高工；第十四章王绍田教授；第十五章杨照德教授。本书作者们都是我国多年从事航天技术工作的各学科技术专家。

本书初稿完成后，杨嘉墀院士、张国富教授进行了审阅，并提出了许多宝贵意见，在此表示衷心的感谢。

由于作者水平有限，书中难免出现谬误和不妥之处，恳请读者批评指正。

褚桂柏

1995年12月

目 录

第1章 绪论	(1)
1.1 世界航天发展简史	(1)
1.1.1 火箭技术	(1)
1.1.2 卫星时代	(4)
1.1.3 空间探测	(5)
1.1.4 载人航天	(6)
1.2 中国航天发展简史	(6)
1.2.1 探空火箭	(9)
1.2.2 人造地球卫星	(9)
1.2.3 运载火箭.....	(10)
1.2.4 发射场和测控网.....	(14)
1.2.5 成果和应用.....	(16)
1.3 卫星系统工程.....	(18)
1.4 人造卫星的分类和系统组成.....	(26)
1.4.1 分类.....	(26)
1.4.2 系统组成.....	(31)
参考文献	(32)
第2章 空间环境及其对航天活动的影响	(33)
2.1 概述.....	(33)
2.1.1 行星际空间环境.....	(33)
2.1.2 环境与航天.....	(34)
2.2 太阳电磁辐射及其对航天活动的影响.....	(35)
2.2.1 太阳.....	(35)
2.2.2 太阳电磁辐射与航天的关系.....	(37)
2.3 地球大气.....	(38)
2.3.1 大气模式.....	(38)
2.3.2 Jacchia 模式	(38)
2.3.3 模式比较.....	(41)
2.3.4 推荐模式.....	(43)
2.4 地球电离层及其对导航定位的影响.....	(46)
2.4.1 概况.....	(46)
2.4.2 电离层及其参数.....	(46)
2.4.3 电离层对通信和航天活动的影响.....	(47)
2.5 地球磁场及其对航天器姿态影响.....	(49)
2.5.1 地磁捕获辐射带.....	(49)

2.5.2	银河宇宙线	(52)
2.5.3	太阳宇宙线	(52)
2.5.4	高能带电粒子与航天器相互作用	(53)
2.6	其他环境因素及其对航天活动的影响	(54)
2.7	太阳及日—地环境预报和警报	(56)
2.7.1	预报的项目及要求	(56)
2.7.2	载人航天活动安全保障和环境监视	(57)
	参考文献	(58)
第3章	轨道设计	(59)
3.1	概述	(59)
3.2	预备知识	(60)
3.2.1	坐标系	(60)
3.2.2	时间	(61)
3.2.3	天球和球面三角	(62)
3.3	二体问题	(64)
3.3.1	运动方程及其解析解	(64)
3.3.2	轨道根数	(67)
3.3.3	轨道根数和直角坐标的关系	(68)
3.3.4	星下点和星下点轨迹	(69)
3.4	轨道摄动	(70)
3.4.1	主要摄动力简介	(71)
3.4.2	直角坐标运动方程	(72)
3.4.3	常数变易法和拉格朗日行星运动方程	(75)
3.4.4	一些重要的近似解	(77)
3.5	几种常用的特殊轨道	(77)
3.5.1	回归轨道	(77)
3.5.2	太阳同步轨道	(78)
3.5.3	地球静止轨道	(78)
3.6	卫星运行轨道设计	(83)
3.6.1	轨道参数确定的原则	(83)
3.6.2	轨道理论计算	(84)
3.6.3	轨道误差分析	(84)
3.6.4	发射窗口问题	(84)
3.6.5	变轨问题	(85)
	参考文献	(86)
第4章	卫星总体性能参数选择	(87)
4.1	概述	(87)
4.1.1	对地观测卫星	(87)
4.1.2	通信卫星	(87)

4.1.3	气象卫星	(88)
4.1.4	测地卫星	(89)
4.1.5	导航卫星	(89)
4.2	卫星总体性能参数的分类	(89)
4.2.1	卫星质量特性	(90)
4.2.2	卫星轨道特性	(90)
4.2.3	卫星电源功率	(90)
4.2.4	卫星姿态控制精度参数	(90)
4.2.5	卫星可靠性参数	(90)
4.2.6	卫星着陆速度	(91)
4.2.7	有效载荷性能参数	(91)
4.3	卫星总体性能参数的选择	(91)
4.3.1	卫星质量特性参数选择	(91)
4.3.2	卫星轨道参数的选择	(95)
4.3.3	卫星电源功率参数选择	(100)
4.3.4	卫星姿态控制精度参数	(102)
4.3.5	卫星可靠性指标	(103)
4.3.6	卫星着陆速度参数	(105)
4.4	有效载荷参数选择	(106)
4.4.1	对地观测卫星有效载荷性能参数	(106)
4.4.2	通信卫星的通信分系统的参数选择	(109)
	参考文献	(114)
第5章	构形设计	(115)
5.1	概述	(115)
5.2	空间飞行器构形设计的一般原则	(116)
5.3	空间飞行器构形设计过程	(116)
5.4	空间飞行器外形选择	(119)
5.5	空间飞行器总体布局	(131)
5.6	空间飞行器的质量和功率	(132)
5.7	卫星模块化设计	(135)
5.7.1	美国的MMS平台	(137)
5.7.2	法国的MK平台系列	(143)
5.8	质量特性分析	(150)
	参考文献	(154)
第6章	结构系统	(155)
6.1	概述	(155)
6.1.1	结构系统的功能	(155)
6.1.2	组成与分类	(155)
6.1.3	星上典型结构简介	(156)

6.2	结构设计	(156)
6.2.1	结构设计要求	(156)
6.2.2	结构设计原则	(160)
6.2.3	结构设计载荷	(161)
6.2.4	设计过程	(163)
6.2.5	设计方法	(165)
6.3	材料	(167)
6.3.1	卫星结构材料的要求	(167)
6.3.2	空间环境对材料的影响	(169)
6.3.3	金属材料	(170)
6.3.4	复合材料	(170)
6.4	结构分析	(171)
6.4.1	分析内容	(171)
6.4.2	分析方法	(172)
6.4.3	结构的离散化技术	(173)
6.4.4	静力问题的求解	(175)
6.4.5	无阻尼自由振动问题求解	(177)
6.4.6	频率响应分析问题求解	(178)
6.4.7	瞬态响应时间历程分析求解	(179)
	参考文献	(181)
第7章	热控制系统	(182)
7.1	概述	(182)
7.2	卫星热设计基础	(182)
7.2.1	环境条件的影响	(182)
7.2.2	卫星在宇宙空间的热平衡分析	(184)
7.2.3	热设计的基本依据和主要原则	(186)
7.2.4	热控措施的选择	(187)
7.3	常用的热控材料和装置	(188)
7.3.1	热控涂层	(188)
7.3.2	多层隔热材料	(189)
7.3.3	热管	(191)
7.3.4	电加热器	(191)
7.3.5	无源主动式热控装置	(192)
7.3.6	流体循环换热装置	(193)
7.3.7	其它	(196)
7.4	热分析计算	(196)
7.4.1	外热流计算	(196)
7.4.2	卫星温度计算	(198)
7.5	整星热平衡试验	(199)

7.5.1	空间环境的模拟	(200)
7.5.2	试验星	(203)
7.5.3	试验工况	(204)
7.6	典型卫星的热控措施简介	(204)
7.6.1	主散热面	(204)
7.6.2	行波管	(205)
7.6.3	蓄电池	(205)
7.6.4	天线	(205)
7.6.5	远地点发动机	(206)
7.6.6	姿控发动机	(206)
7.6.7	其他	(206)
7.7	热控制技术的发展前景	(207)
7.7.1	热控材料(装置)的长寿命可靠性要求	(207)
7.7.2	高热负荷的传输和排散	(207)
7.7.3	先进的制冷装置	(207)
7.7.4	CAD技术的应用	(208)
	参考文献	(208)
第8章	姿态和轨道控制系统	(209)
8.1	卫星姿态和轨道控制的任務	(209)
8.1.1	轨道控制的任務	(209)
8.1.2	姿态控制的任務	(209)
8.2	卫星姿态和轨道控制的分类与控制系统组成	(210)
8.2.1	卫星姿态和轨道控制的分类	(210)
8.2.2	卫星控制系统的组成	(210)
8.3	卫星姿态运动学和动力学	(215)
8.3.1	参考坐标系和运动学方程	(215)
8.3.2	动力学方程	(218)
8.4	姿态确定	(220)
8.4.1	自旋卫星自旋轴的姿态确定	(220)
8.4.2	三轴稳定卫星的姿态确定	(221)
8.5	姿态控制	(222)
8.5.1	自旋卫星的姿态控制	(222)
8.5.2	双自旋卫星的消旋控制	(224)
8.5.3	自旋卫星的章动控制	(224)
8.5.4	三轴稳定卫星的姿态控制	(225)
8.5.5	姿态捕获	(230)
8.6	轨道控制	(231)
8.6.1	轨道确定(空间导航)	(231)
8.6.2	轨道控制的一般概念	(234)

8.6.3	地球同步静止轨道卫星的轨道控制	(236)
8.6.4	轨道保持	(240)
8.6.5	再入和返回控制	(242)
	参考文献	(242)
第9章	电源系统	(243)
9.1	概述	(243)
9.1.1	电源系统的定义与功能	(243)
9.1.2	电源系统的组成	(243)
9.2	电源系统设计	(247)
9.2.1	总体对电源系统的设计要求及约束条件	(248)
9.2.2	电源的选择	(249)
9.2.3	电源系统的设计内容	(249)
9.2.4	电源系统的接口技术要求	(254)
9.3	太阳阵	(255)
9.3.1	太阳电池	(255)
9.3.2	太阳电池电路设计	(257)
9.3.3	太阳阵结构	(259)
9.3.4	太阳阵的安装方式	(260)
9.4	镉镍蓄电池组和氢镍蓄电池组	(261)
9.4.1	镉镍蓄电池	(262)
9.4.2	镉镍蓄电池组	(264)
9.4.3	氢镍蓄电池	(266)
9.5	电源控制设备	(268)
9.5.1	电源功率调节器	(269)
9.5.2	太阳阵对日定向装置	(271)
9.5.3	电源控制器	(272)
9.5.4	蓄电池组再调整器	(275)
	参考文献	(275)
第10章	测控与通信系统	(276)
10.1	概述	(276)
10.2	遥测分系统设计	(278)
10.2.1	遥测基带信号格式	(278)
10.2.2	遥测分系统功能方框图	(279)
10.2.3	PCM-PSK 要求的信噪比	(280)
10.3	遥控分系统设计	(282)
10.3.1	遥控分系统功能方框图	(282)
10.3.2	遥控数据帧结构	(282)
10.3.3	遥控信号的调制及射频	(284)
10.3.4	占用带宽	(285)

10.3.5	遥控 SNR 要求及设计	(286)
10.4	跟踪分系统设计	(286)
10.4.1	测角分机	(286)
10.4.2	测距分机设计	(288)
10.4.3	测速分机	(289)
10.5	通信方程	(292)
10.5.1	通信方程	(292)
10.5.2	最佳功率分配	(296)
10.6	通信体制	(298)
10.6.1	QPSK 调制与解调	(299)
10.6.2	占用射频带宽	(301)
10.6.3	QPSK 解调所需信噪比 (SNR)	(301)
10.6.4	信道编译码	(303)
	参考文献	(306)
第 11 章	数据管理系统	(308)
11.1	概述	(308)
11.2	数据管理系统体系结构	(309)
11.2.1	集中处理式	(309)
11.2.2	分布式分层处理	(309)
11.3	数据管理的技术要求	(312)
11.3.1	命令管理逐步由地面移到天上	(312)
11.3.2	卫星数据库管理	(312)
11.3.3	故障管理	(312)
11.3.4	请求管理系统	(313)
11.3.5	要适应系统发展的需要	(313)
11.3.6	数据管理系统的总线	(313)
11.3.7	容错计算机	(314)
11.3.8	空间平台、空间站和卫星数据管理系统的继承性	(316)
11.3.9	标准化	(316)
11.3.10	计算机语言	(316)
11.3.11	信息压缩	(316)
11.4	卫星数据管理系统设计	(316)
11.4.1	卫星数据管理系统体系结构选择	(316)
11.4.2	系统描述	(317)
11.4.3	系统组成及方框图	(318)
11.4.4	数据管理系统主要功能	(319)
11.4.5	数据管理系统的计算机硬件设计	(320)
11.4.6	数据管理系统计算机软件设计	(322)
	参考文献	(327)

第 12 章 总体电路设计和电磁兼容性	(328)
12.1 概述	(328)
12.1.1 卫星总体电路	(328)
12.1.2 卫星电磁环境	(329)
12.2 供配电	(329)
12.2.1 供配电原理	(329)
12.2.2 供配电设备	(330)
12.2.3 供配电设计的基本要求	(330)
12.3 接地	(332)
12.3.1 接地种类	(332)
12.3.2 卫星接地结构	(334)
12.3.3 接地设计的基本要求	(336)
12.4 信号的匹配、变换与转接	(337)
12.4.1 接口电路设计原则	(337)
12.4.2 接口电路设计	(338)
12.4.3 星/地信号接口	(338)
12.5 电缆设计与布缆	(338)
12.5.1 电缆设计的一般原则	(338)
12.5.2 布缆要求	(341)
12.6 火工品装置启爆电路	(342)
12.6.1 火工品装置启爆电路的设计原则	(342)
12.6.2 火工品装置启爆电路设计的基本要求	(342)
12.7 电磁兼容性基本概念	(343)
12.7.1 干扰源	(344)
12.7.2 电磁干扰接收器	(344)
12.7.3 电磁干扰耦合	(345)
12.8 电磁干扰耦合	(346)
12.8.1 共模耦合	(346)
12.8.2 辐射差模耦合	(348)
12.8.3 近场电缆对电缆的耦合	(349)
12.9 系统 EMC 控制和预测分析	(351)
12.9.1 EMC 控制	(352)
12.9.2 EMC 预测和分析	(353)
12.9.3 发射机模型	(354)
12.9.4 接收机模型	(355)
参考文献	(356)
第 13 章 卫星可靠性设计	(357)
13.1 概述	(357)
13.1.1 前言	(357)

13.1.2	何谓卫星的可靠性, 怎样才能保证其可靠性	(357)
13.1.3	卫星可靠性工程简介	(357)
13.1.4	设计是将可靠性引入产品的关键所在	(363)
13.1.5	各可靠性工作项目的资源投入	(364)
13.2	可靠性设计	(365)
13.2.1	可靠性要求的确定	(365)
13.2.2	可靠性模型的建立	(366)
13.2.3	可靠性预计	(367)
13.2.4	可靠性分配	(371)
13.2.5	故障模式影响和危害度分析 (FMECA)	(372)
13.2.6	元器件、材料和工艺的选择与使用	(376)
13.2.7	电路的容差分析	(376)
13.2.8	电路、冗余和空间环境保护设计	(376)
13.2.9	软件的可靠性设计	(377)
13.2.10	可靠性关键产品/项目的控制	(377)
	参考文献	(377)
第 14 章	卫星环境试验	(379)
14.1	概述	(379)
14.1.1	环境试验的必要性	(379)
14.1.2	试验目的和任务	(380)
14.1.3	发展方向	(380)
14.1.4	本章内容说明	(382)
14.2	卫星环境试验内容	(382)
14.2.1	按卫星产品层次(或等级)划分的试验	(382)
14.2.2	按卫星研制技术划分的试验	(387)
14.2.3	按卫星研制阶段划分的试验	(395)
14.3	卫星环境试验方法	(402)
14.3.1	卫星环境试验设计	(402)
14.3.2	力学环境试验方法	(404)
14.3.3	卫星分离试验方法	(409)
14.3.4	真空热试验方法	(410)
	参考文献	(413)
第 15 章	成本分析	(414)
15.1	概述	(414)
15.1.1	卫星工程费用预测的意义	(414)
15.1.2	卫星工程决策需要科学化	(416)
15.2	成本分析基础	(417)
15.2.1	成本的概念	(417)
15.2.2	成本项目	(418)

15.2.3	成本预测的基本原则.....	(419)
15.2.4	成本预测步骤、方法.....	(419)
15.2.5	预测要素.....	(420)
15.3	卫星工程大系统费用模型.....	(421)
15.3.1	系统结构.....	(421)
15.3.2	系统界面.....	(422)
15.3.3	大系统模型.....	(422)
15.4	卫星系统费用估算.....	(424)
15.4.1	系统特性.....	(424)
15.4.2	估算依据.....	(425)
15.4.3	估算原则.....	(425)
15.4.4	研制费与产品费.....	(426)
15.4.5	卫星成本估算方法.....	(426)
15.5	发射系统费用分析.....	(430)
15.5.1	运载火箭成本分析.....	(430)
15.5.2	发射操作服务费.....	(431)
15.6	应用、运行系统费用分析.....	(432)
15.6.1	应用系统费用分析.....	(433)
15.6.2	系统建设与维护费用.....	(433)
15.7	技术、经费与进度分析.....	(435)
	参考文献.....	(436)

第1章 绪 论

1.1 世界航天发展简史

遨游太空，探索浩瀚的宇宙，是人类千百年来美好幻想。在远古，我国就流传着嫦娥奔月的美好传说；在公元前1700年，我国有“顺风飞车，日行万里”的说法，还绘制了飞车腾云驾雾的想像图。世界各国也有许多关于“月球旅行”的美好传说。

人类为了扩大社会生产活动，必然要不断地开拓新的天地。人类活动范围，经历了从陆地到海洋，从海洋到大气层，从大气层到宇宙空间的逐渐扩展的过程。人类活动范围的每一次飞跃，都大大增强了认识和改造自然的能力，促进了生产力的发展和社会进步。

自从1957年10月4日世界上第一颗人造地球卫星上天以来，到1990年12月底，前苏联、美国、法国、日本、英国、印度等国家以及欧洲航天局先后研制出约80种运载火箭，修建了10多个大型航天发射场，建立了完善的地球测控网，世界各国和地区先后发射成功4127个航天器（见表1-1）。其中包括3875个各类卫星，141个载人航天器，111个空间探测器。几十个应用卫星系统投入运行，目前航天员在太空的持续飞行时间长达438天，有12名航天员踏上月球，空间探测器在太空的探测活动大大更新了人类有关空间物理和空间天文方面的知识。有一百多个国家和地区参加了航天活动，利用航天技术获得的成果或制定了本国航天活动计划。航天活动在许多国家已成为国民经济和军事部门重要的组成部分。

航天技术是现代科学技术的结晶，它以基础科学和技术科学为基础，集中应用了20世纪许多工程技术的新成就。力学、热力学、材料学、医学、电子技术、光电技术、自动控制、喷气推进、计算机、真空技术、低温技术、半导体技术、制造工艺学等对航天技术的进一步发展起了重要作用。这些科学技术在航天应用中互相交叉和渗透，产生了一些新学科，使航天科学技术形成了完整的体系。航天技术不断提出的新要求，又促进了这些科学技术的进步。

1.1.1 火箭技术

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。



图1-1 明朝天启元年（1621年）茅元仪所著
《武备志》上所画的火箭

火药是中国古代的四大发明之一，火箭是在火药发明之后中国人发明的。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（见图1-1），而后传到外国。

表 1-1 各国发射成功的航天器(截止到 1990 年 12 月底)

国别 类别	前苏联	美国	日本	中国	法国	欧空局	其他 国家和地区	小计	占总数的 百分比(%)
对地观测卫星	1293	513	4	14	8	4	4	1840	44.58
通信和广播卫星	680	189	14	6	7	7	84	987	23.92
导航卫星	159	56						215	5.21
载人航天器	72	69						141	3.42
其他航天器	457	334	34	10	8	17	84	944	22.87
总计	2661	1161	52	30	23	28	172	4127	100
占总数的百分比(%)	64.48	28.13	1.26	0.73	0.56	0.68	4.17	100	