

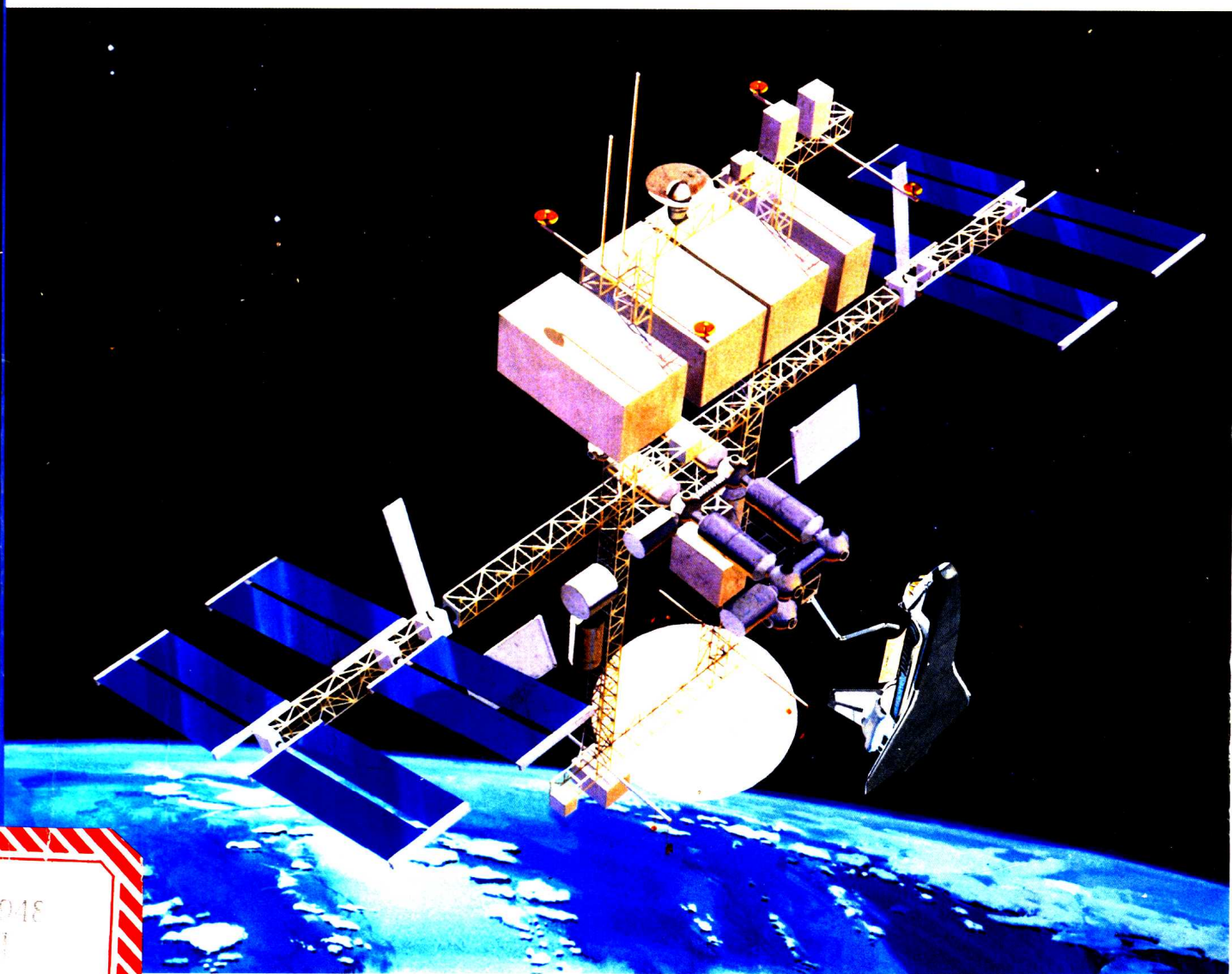


高等学校教材

Textbook for Higher Education

航天器控制原理

周 军 编



西北工业大学出版社

高等学校教材

航天器控制原理

周 军 编

西北工业大学出版社

【内容简介】 航天器控制是自动控制原理在航天领域的应用和发展所形成的一个新的学科分支。本书在介绍航天器运动学和动力学的基础上,系统地讲述了各类航天器的导航、制导与控制的基本原理和方法,以及常用控制设备的硬件原理和技术,使读者对航天器控制有一个较全面的了解。全书共分为十一章。第一~八章讲述的是概论、航天器的轨道力学和轨道描述、航天器的姿态运动学和动力学、航天器控制系统的组成与分类、航天器被动姿态稳定原理、航天器主动姿态稳定系统、航天器的姿态机动控制及航天器的导航与制导;最后三章介绍了包括载人飞船、航天飞机和永久性空间站等载人航天器的组成和导航、制导与控制技术。每章后均有思考题。

本书可作为高等院校自动控制、航天及相关专业高年级本科生和研究生课程教材,同时也可供从事自动控制、航天技术及相关工作的科研人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

航天器控制原理/周军编.——西安:西北工业大学出版社,2001.9

ISBN 7-5612-1375-1

I. 航... II. 周... III. 航天器-飞行控制-基础理论 IV. V448.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 049102 号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路 127 号 邮编:710072 电话:(029)8493844

网 址: <http://www.nwpup.com>

印 刷 者:西北工业大学出版社印刷厂

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:15.125

字 数:365 千字

版 次:2001 年 10 月第 1 版 2001 年 10 月第 1 次印刷

印 数:1~2 000 册

定 价:19.00 元

前 言

航天技术是现代科学技术中最有影响的高技术之一,经过 50 年的发展,对世界各国的政治、经济、军事以及人类生活的各个方面都产生了广泛而深远的影响。航天器控制技术是其中的关键组成部分,它包括导航、制导与控制三方面。对于航天器而言,控制水平的高低直接关系到航天器的功能发挥和水平,因而受到了人们普遍的重视并进行了深入的研究。

从 1995 年开始笔者为西北工业大学航天工程学院导航、制导与控制专业开设航天器控制原理课程,并于 1996 年编写了讲义。该讲义经过了六年的本科生和研究生教学使用。本书是在该讲义的基础上,结合教学实践和从事航天器控制的科研经验编写成的。书中较系统地阐述了航天器导航、制导与控制的各種主要模式、基本原理和方法,以及相关的运动学和动力学;最后结合航天技术的发展,介绍了载人航天技术,目的是使读者对航天器控制的建模、控制系统总体、原理方法和发展方向有较为全面的认识,为今后从事这一领域的研究和工作打下一个良好的基础。在编写过程中,作者注重由浅入深、循序渐进、理论推导论证与工程实例相结合、基本原理和拓展前沿内容相结合的方法。希望这本书的出版对培养航天器控制方面的人才起到积极的作用。

全书共分十一章。第一章简要地介绍了航天技术发展的历史,航天器的分类和航天器控制的基本概念;第二、三章介绍了航天器的轨道和姿态运动学与动力学,为后续各章的内容打下基础;第四章介绍了航天器的控制系统总体结构,包括敏感器、执行机构和星载计算机的基本原理和结构;第五、六章介绍了航天器主要的姿态被动稳定和主动稳定系统的模式和基本原理,以及常见的半被动、半主动稳定系统的模式;第七章介绍了航天器姿态机动控制的主要模式和原理;第八章介绍了航天器的导航原理、轨道控制的各種概念和方法;第九、十、十一章分别介绍了三类载人航天器——飞船、航天飞机、空间站的基本结构、功能及导航、制导与控制的方法和系统结构。各章均设置了思考题,以帮助读者掌握内容的重点。

本书可作为高等学校航天类专业高年级本科生和研究生课程的教材,以及教师与工程技术人员的参考书,也可供从事航天技术及其相关工作的科技人员参考,同时适用于自动化工作者和对航天器控制技术感兴趣的读者。

在本书编写的过程中,参考了书末列出的书目,第三炮兵工程学院的王仕成教授审阅了全稿,提出了许多宝贵的修改意见。在此向审稿人和参考书目的作者表示衷心的感谢,同时也感谢西北工业大学出版社的同志们为本书的出版付出的辛勤劳动。

由于水平有限,书中不当之处,敬请读者不吝赐正,提出宝贵意见。

编 者

2001 年 9 月

目 录

第一章 绪论	1
1.1 世界航天技术发展的概况	1
1.2 航天器的分类与系统组成	6
1.3 航天器控制的基本概念	12
思考题	16
第二章 航天器的轨道与轨道力学	17
2.1 航天器轨道的基本定律	17
2.2 二体轨道力学和运动方程	19
2.3 航天器轨道的几何特性	24
2.4 航天器的轨道描述	31
2.5 航天器的轨道摄动	38
思考题	42
第三章 航天器的姿态运动学和动力学	44
3.1 航天器的姿态运动学	44
3.2 航天器的姿态动力学	48
3.3 航天器的一般运动方程	51
3.4 姿态干扰力矩	54
思考题	58
第四章 航天器姿态控制系统的组成与分类	59
4.1 姿态敏感器	59
4.2 执行机构	71
4.3 控制器——星载控制计算机	75
4.4 姿态控制系统的任务与分类	76
思考题	79

第五章 航天器的被动姿态控制系统	80
5.1 自旋卫星的稳定性和章动性	80
5.2 自旋卫星的章动阻尼	85
5.3 双自旋卫星稳定系统	89
5.4 重力梯度稳定系统	94
5.5 重力梯度稳定卫星的天平动阻尼	100
5.6 重力梯度稳定系统的伸展杆	102
5.7 其他被动姿态稳定系统	104
思考题	105
第六章 航天器主动姿态稳定系统	106
6.1 喷气推力姿态稳定原理	106
6.2 喷气姿态稳定系统的非线性控制律	108
6.3 航天器的喷气推力器系统	113
6.4 飞轮姿态稳定原理	116
6.5 零动量反作用轮三轴姿态稳定系统	119
6.6 偏置动量轮三轴姿态稳定系统	127
6.7 控制力矩陀螺三轴姿态稳定系统	134
思考题	135
第七章 航天器姿态机动控制	137
7.1 自旋稳定卫星的喷气姿态机动	137
7.2 自旋稳定卫星磁线圈姿态机动	140
7.3 航天器的姿态捕获	143
思考题	146
第八章 航天器的导航与制导	148
8.1 航天器导航的概念与分类	148
8.2 航天器的自主导航系统	150
8.3 航天器的轨道机动与轨道保持	155
8.4 航天器的交会与对接控制	163
8.5 航天器的再入返回控制	165
8.6 星际飞行的导航与制导	171
思考题	178
第九章 载人飞船的控制技术	179
9.1 载人飞船的结构组成	179
9.2 载人飞船的制导与控制	185

9.3 载人飞船的再入返回控制	196
思考题	199
第十章 航天飞机的制导与控制	200
10.1 航天飞机的结构组成	200
10.2 航天飞机的控制系统	203
10.3 航天飞机的飞行控制	211
10.4 航天飞机再入与着陆的制导与控制	216
思考题	220
第十一章 空间站的控制技术	221
11.1 空间站的概念与组成	221
11.2 空间站的导航、制导与控制	227
思考题	233
参考文献	234

第一章

绪 论

“我知道地球是圆的,因为我看见了圆形;然后,又看到它还是立体的。当我往下看时,……看到印度洋上船舶拖着尾波前进,非洲一些地方出现灌木林火,一场雷电交加的暴风雨席卷了澳大利亚 1 000 英里的地区,呈现出大自然的一幅立体风景画。”

这是航天员在谈到从航天飞机上看地球的情景时的一段描述。

1.1 世界航天技术发展的概况

航天技术发展是当今世界上最引人注目的事业之一,它推动着人类科学技术的进步,使人类活动的领域由大气层内扩展到宇宙空间。航天技术是现代科学技术的结晶,是基础科学和技术科学的集成,力学、热力学、材料学、医学、电子技术、光电子技术、自动控制、计算机、真空技术、低温技术、半导体技术、喷气推进、制造工艺学等学科,以及这些科学技术在航天应用中相互交叉、渗透而产生的大量新学科,都对航天技术的发展起了重要作用。所以,航天技术是一个国家科学技术水平的重要标志。

航天技术是一门综合性的工程技术,主要包括:制导与控制技术,热控制技术,喷气推进技术,能源技术,空间通信技术,遥测遥控技术,生命保障技术,航天环境工程技术,火箭及航天器的设计、制造和试验技术,航天器的发射、返回和在轨技术等。由多种技术融于一体的航天系统是现代高技术的复杂大系统,不仅规模庞大,技术高新、尖端,而且人力、物力耗费巨大,工程周期长。时至今日,航天技术已被广泛应用到政治、军事、经济和科学探测等领域,已成为一个国家综合国力的象征。

1.1.1 人类的早期航天探索

人类很早就有遨游太空、征服宇宙的理想。宇宙的星球对人类一直充满着吸引力和神秘感,许多美丽的神话和传说,反映了人类对宇宙的向往和探索空间奥秘的心情。《嫦娥奔月》、《牛郎织女》,以及孙悟空腾云驾雾、一个筋斗十万八千里等,这些古老的神话与传说,是在生产力与科学技术水平极度低下的古代,人类幻想利用与征服天空的愿望。人类为了实现腾空飞行的理想,经历了一段相当艰难曲折的过程。很早以前,人类就做过种种飞行的尝试与探索。

在中国的西汉时期、欧洲的中世纪都有人模拟鸟类进行过飞行活动的尝试。

然而,真正航天飞行的历史是从火箭技术的历史开始的,没有火箭也就没有航天飞行。追溯源头,中国是最早发明火箭的国家。“火箭”这个词在三国时代(公元 220~280 年)就出现了。不过那时的火箭只是在箭杆前端绑有易燃物,点燃后由弩弓射出,故亦称为“燃烧箭”。随着中国古代四大发明之一的火药出现,火药便取代了易燃物,使火箭迅速应用到军事中。公元 10 世纪唐末宋初就已经有了火药用于火箭的文字记载,这时的火箭虽然使用了火药,但仍须由弩弓射出。真正靠火药喷气推进而非弩弓射出的火箭的外形被记载于明代茅元仪编著的《武备志》中,见图 1.1。这种原始火箭虽然没有现代火箭那样复杂,但已经具有了战斗部(箭头)、推进系统(火药筒)、稳定系统(尾部羽毛)和箭体结构(箭杆),完全可以认为是现代火箭的雏形。

中华民族不但发明了火箭,而且还最早应用了串联(多级)和并联(捆绑)技术以提高火箭的运载能力。明代史记中记载的“神火飞鸦”就是并联技术的体现;“火龙出水”就是串、并联综合技术的具体运用,如图 1.2 所示。

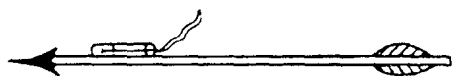


图 1.1 中国古代火箭

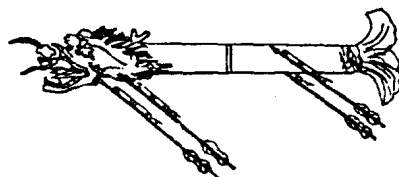


图 1.2 火龙出水

世界上第一个试图乘坐火箭上天的“航天员”也出现在中国。相传在 14 世纪末期,中国有位称为“万户”的人,两手各持一大风筝,请他人把自己绑在一把特制的座椅上,座椅背后装有 47 支当时最大的火箭(又称“起火”)。他试图借助火箭的推力和风筝的气动升力来实现“升空”的理想。“万户”的勇敢尝试虽遭失败并献出了生命,但他仍是世界上第一个想利用火箭的力量进行飞行的人。今天,为了纪念这位传奇式的人物,国际上将月球表面东方海附近的一个环形山以“万户”命名。

虽然我们的祖先发明了火药、火箭,但由于长期的封建统治,致使中华民族的聪明才智得不到充分发挥,科学技术因而停滞不前。尽管欧洲人在中国发明火箭的几百年后才学会使用火箭,然而现代火箭技术还是首先在欧洲得到迅速发展。

13~14 世纪,中国的火箭技术与其他火药兵器一同传到阿拉伯国家和印度,后又传入欧洲。至 18 世纪后期,印度军队在抗击英国和法国军队的多次战争中就曾大量使用火药火箭并取得了成功结果,由此推动了欧洲火箭技术的发展。曾在印度作战的英国人康格里夫(William Congreve)在 19 世纪初对印度火箭作了改进,他确定了黑火药的多种配方,改善了制造方法并使火箭系列化,最大射程可达 3 km。19 世纪 70 年代以后,火炮技术在使用性能方面有了新的突破,火箭终于被准确度很高的火炮所代替。虽然如此,这些初期火箭的原理都成为了近代火箭技术的最初基础。

1.1.2 近代航天技术的发展

19 世纪末 20 世纪初,火箭才又重新蓬勃地发展起来。近代的火箭技术和航天飞行的发展,涌现出许多勇于探索的航天先驱者,其中代表人物有 K. 3. 齐奥尔科夫斯基(Константин Захарович Циолковский), R. 戈达德(Robert Goddard), H. 奥伯特(Hermann Oberth)。

前苏联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。在他的经典著作中,对火箭飞行的思想进行了深刻的论证,最早从理论上证明了用多级火箭可以克服地心引力进入太空的论点。他建立了火箭运动的基本数学方程,奠定航天学的基础。他首先肯定了液体火箭发动机是航天器最适宜的动力装置,论述了关于液氢-液氧作为推进剂用于火箭的可能性,为运载器的发展指出了方向,这些观点仅仅几十年就成为了现实。他还指出过用新的燃料(原子核分解的能量)来作火箭的动力;并具体地阐明了用火箭进行航天飞行的条件,火箭由地面起飞的条件,以及实现飞向其他行星所必须设置中间站的设想。他还提出过许多的技术建议,如他建议使用燃气舵来控制火箭,用泵来强制输送推进剂到燃烧室中,以及用仪器来自自动控制火箭等,都对现代火箭和航天飞行的发展起了巨大的作用。

美国的火箭专家、物理学家和现代航天学奠基人之一戈达德博士在 1910 年开始进行近代火箭的研究工作,他在 1919 年发表的《达到极大高度的方法》的论文中,阐述了火箭飞行的数学原理,指出火箭必须具有 7.9 km/s 的速度才能克服地球的引力,并研究了利用火箭把有效载荷送至月球的几种可能方案。戈达德博士认识到液体推进剂火箭具有极大的潜力,他从 1921 年开始研制液体火箭。1926 年 3 月 16 日,他进行了人类首次液体火箭飞行试验并获得成功。火箭长 3.04 m ,飞行 2.5 s ,达到 12 m 高, 56 m 远,速度 103 km/h ,这使得他成为液体火箭的实际创始人。1932 年他首次用陀螺控制的燃气舵操纵火箭飞行,1935 年他试验的火箭实现了超音速飞行,最大射程达 20 km 。

德国的奥伯特教授在他 1923 年出版的《飞向星际空间的火箭》一书中不仅确立了火箭在宇宙空间真空中工作的基本原理,而且还说明火箭只要能产生足够的推力,便能绕地球轨道飞行。同齐奥尔科夫斯基和戈达德一样,他也对许多推进剂的组合进行了广泛的研究。

真正的近代火箭的出现是在第二次世界大战时的法西斯德国。早在 1932 年德国就发射 A2 火箭,飞行高度达到 3 km 。1942 年 10 月 3 日,德国首次成功地发射了人类历史上第一枚弹道导弹——V-2(A4 型),并于 1944 年 9 月 6 日首次投入作战使用。第二次世界大战期间,先后大约有 4 300 多枚 V-2 导弹袭击了英国、荷兰安特卫普港和其他目标,破坏严重。V-2 是单级液体火箭,全长 14 m ,质量为 13 t ,箭体直径 1.65 m ,最大射程 320 km ,发动机熄火高度 96 km ,飞行时间约 320 s ,命中精度圆公算偏差 5 km ,有效载荷约 1 t 。

V-2 的成功在工程上实现了 19 世纪末、20 世纪初航天技术先驱者的技术设想,并培养和造就了一大批有实践经验的火箭专家,对现代大型火箭的发展起到了继往开来的作用。V-2 的设计虽不尽完善,但它却是人类拥有的第一件向地球引力挑战的工具,成为航天技术发展史上的一个重要里程碑。

第二次世界大战后,美、苏两国分别接收了参与 V-2 研制的部分专家、设备及资料,为这两个国家在第二次世界大战后迅速发展火箭和导弹技术创造了有利的条件。40 年代末至 50 年代末,在 V-2 的基础上,以美国和前苏联为主研制的火箭武器得到了迅速发展,各种类型的导弹武器相继问世,并形成了一个完整的导弹武器系统。

通过各种型号导弹的研制,人们积累了研制现代火箭系统的经验并建立了初具规模的配套工业设施。至此,不少科学家意识到,人类已经初步掌握了进入空间的基本技能,冲出大气层向宇宙空间进军指日可待。

1.1.3 现代航天的里程碑

1957年10月4日,前苏联用“卫星”号运载火箭把世界上第一颗人造地球卫星送入太空,卫星呈球形,外径0.58 m,外伸4根条形天线,质量83.6 kg,卫星在天上正常工作了3个月。按照今天的标准衡量,前苏联的第一颗卫星只不过是一个伸展开发射机天线的圆球,但它却是世界上第一个人造天体,把人类几千年的梦想变成了现实,为人类开创了航天新纪元,标志着人类活动范围的又一飞跃。

1959年的9月12日,前苏联发射了月球探测器“月球2号”,第一次击中月球。同年10月4日发射的“月球3号”第一次成功地拍下了月球背面的照片。

1960年3月11日,美国发射了“先驱者5号”探测器,它成为人类第一个深空探测器,从 3.65×10^7 km远处发回了探测数据。

1961年2月21日,前苏联发射了“金星1号”探测器,开始了人类对太阳系行星的探测。

1961年4月12日,前苏联成功地发射了第一艘“东方号”载人飞船,尤里·加加林成为人类第一位航天员,揭开了人类进入太空的序幕,开始了世界载人航天的新时代。

1962年8月27日,美国发射的“水手2号”探测器第一次成功飞越金星。

1964年11月28日,美国发射的“水手4号”探测器第一次成功飞越火星。

1965年3月,前苏联航天员从“上升号”载人飞船上走出舱外,实现了人类第一次太空行走。

1966年1月,前苏联两艘“联盟号”飞船第一次在轨道上成功交会对接,并实现了两位航天员从一艘飞船向另一艘飞船的转移。

1969年7月20日,美国N. A. 阿姆斯特朗和E. E. 奥尔德林乘坐“阿波罗11号”飞船登月成功,在月球静海西南角着陆,成为涉足地球之外另一天体的首批人员。他们在月球上安放了科学实验装置,拍摄了月面照片,搜集了22 kg月球岩石与土壤样品,然后自月面起飞,与指挥舱会合,返回地球。首次实现了人类登上月球的理想。

1971年4月19日,前苏联“礼炮1号”空间站入轨成功,其质量约18 t,总长14 m,轨道高度200~250 km,轨道倾角 51.6° ,成为人类第一个空间站,完成了有关天体物理学、航天、医学、生物学等方面的科研计划,考察地球资源和进行长期失重条件下的技术实验。

1972年3月2日,美国发射了木星和深远空间探测器“先驱者10号”。它携有表明人类信息的镀金铝板,经过11年飞行,于1983年6月越过海王星轨道,而后成为飞离太阳系的第一个人造天体。

1975年6月8日,前苏联发射了“金星9号”探测器,实现了在金星表面着陆。

1975年7月18日,美国“阿波罗号”飞船与前苏联“联盟19号”飞船在大西洋上空对接成功。

1975年8月20日,美国发射了“海盗1号”探测器,第一次在火星表面着陆成功。

1977年9月,美国发射了“旅行者2号”探测器,对天王星、海王星进行探测。

1981年4月,世界上第一架垂直起飞、水平着陆、可重复使用的美国航天飞机“哥伦比亚

号”试飞成功,标志着航天运载器由一次性使用的运载火箭转向重复使用的航天运载器的新阶段,是航天史上一个重要的里程碑,标志着人类在空间时代又上了一层楼,进入了航天飞机时代。至2000年10月,航天飞机已成功飞行100次。

1986年2月,前苏联“和平号”轨道空间站发射成功,它成为目前人类发射的在轨运行时间最长的载人航天器,在轨运行超过15年。2001年3月23日,“和平号”轨道空间站被引入大气层销毁,完成了其辉煌的历史使命。

目前,更大规模的国际空间站在美国、俄罗斯、加拿大、日本、意大利和欧洲空间局的合作下,正在进行在轨组装建设……

人类就是以如此快速的步伐冲击着宇宙大门!

不难看出,从公元10世纪的中国火箭到第二次世界大战的V-2导弹,人类是出于军事需求发展了火箭技术,而这恰恰为航天技术的发展奠定了坚实的基础。自20世纪40年代至今,航天技术以惊人的速度发展着并日臻完善。我们可以坚信,随着科学技术的进步和工业基础的不断增强,航天技术将会有更大的突破并更趋完善。

1.1.4 现代航天技术的应用

航天技术从20世纪50年代末期的研究试验阶段到70年代中期,发展到了广泛实际应用阶段。其中60年代以来,为科学研究、国民经济和军事服务的各种科学卫星与应用卫星得到了很大发展。至70年代,军、民用卫星已全面进入应用阶段。一方面向侦察、通信、导航、预警、气象、测地、海洋、天文观测和地球资源等专门化的方向发展,同时另一方面,各类卫星亦向多用途、长寿命、高可靠性和低成本的方向发展。这两种趋势相互补充,取得了显著的效益。80年代中后期,基于模块化和集成化设计思想的新型微、小卫星崛起,成为航天技术发展中的一个新动向。这类卫星重量轻、成本低、研制周期短、见效快,已逐渐成为今后应用卫星的一支生力军。

回顾近50年来航天技术应用的历程,具有代表性的大事列举如下:

1958年12月,美国发射了世界上第一颗通信卫星“斯科尔号”;

1960年4月,美国先后发射了世界上第一颗气象卫星“泰罗斯1号”和导航卫星“子午仪1B号”;

1963年7月,美国发射了世界上第一颗地球同步轨道通信卫星;

1964年8月,美国发射了世界上第一颗地球静止轨道通信卫星;

1965年4月,美国成功地发射了世界上第一颗商用通信卫星“国际通信卫星1号”,正式为北美与欧洲之间提供通信业务,它标志着通信卫星进入了实用阶段;

1972年7月,美国发射了世界上第一颗地球资源卫星“陆地卫星1号”;

1982年11月,美国航天飞机开始商业性飞行;1984年11月,美国航天飞机成功地施放了两颗卫星并回收了两颗失效的通信卫星,第一次实现了双向运载任务;

1983年4月,美国发射了世界上第一颗跟踪和数据中继卫星;

1999年,由66颗小型卫星组网形成的美国“铱”星全球电话通讯系统建成并投入使用。

目前,美国的GPS系统和俄罗斯的卫星导航系统已成为全世界各领域普遍应用的定位导航系统,发挥着巨大的作用。

……

在我国,继 1970 年 4 月 24 日首颗卫星“东方红一号”发射成功以来,航天技术的发展和应
用也取得了巨大的成就:

1975 年 11 月,我国第一颗返回式遥感卫星发射成功,并顺利回收;

1984 年 4 月,我国第一颗静止轨道试验通信卫星发射成功;

1986 年 2 月,我国第一颗静止轨道实用通信卫星发射成功;

1988 年 9 月,我国第一颗气象卫星“风云一号”发射成功;

至 2000 年 10 月,我国“长征”系列运载火箭已成功发射 62 次。

进入 20 世纪 90 年代,我国航天技术应用的步伐进一步加快,大容量通信卫星“东方红三
号”、气象卫星“风云一号”和“风云二号”以及资源卫星先后发射成功。1999 年 11 月 20 日我
国成功发射了第一艘试验飞船“神舟号”,在载人航天领域迈出了坚实的一步……

综上所述,从 1957 年世界上第一颗人造地球卫星发射成功算起,迄今仅 40 余年,航天技
术取得了如此巨大的成就是前所未有的,产生了巨大的社会效益与经济效益。由于通信卫星
通信距离远、容量大、质量高、灵活可靠,因而已成为现代通信的重要手段。80 年代初期,国际
卫星通信网已承担了 2/3 的洲际电信业务和几乎全部电视传输业务。对幅员辽阔的国家,利
用卫星是最经济、最有效的通信和广播手段。有人估计全世界在空间活动的投资总额大约为
4 000 多亿美元,仅从通信广播卫星取得的经济效益就完全可以使这笔巨大投资得到补偿。
至于军事卫星所取得的成就和效益就更难于用经济代价来衡量。卫星导航实现了全天候、全
球、高精度的导航定位。利用卫星进行资源调查是最迅速、最有效、最经济的手段。一颗地球
资源卫星全年的效益约为其研制发射费用的十几倍。

总之,随着航天技术的发展,航天活动已越来越显示出其巨大的军事意义和经济效
益,已成为国民经济和国防建设的一个重要组成部分。反过来,这种社会和经济效益又进一步
推动着航天技术日新月异的发展。

1.2 航天器的分类与系统组成

航天技术是一门研究和实现如何把航天器送入空间,并在那里进行活动的工程技术。它
主要包括航天器、运载工具和地面测控三大部分。为了便于了解,我们首先对航天器进行
分类。

同一个航天器可兼有数种任务,故机械地、绝对地分类,是不可能的。同一类航天器,往往
包括了几种系列,而每一系列又可分成数种不同的卫星系统或型号。

1.2.1 按载人与否分类

航天器可分为无人航天器与载人航天器两大类。无人航天器按是否绕地球运行又可分为
人造地球卫星和宇宙探测器两类。它们又可以进一步按用途分类,如图 1.3 所示。

1. 人造地球卫星

简称人造卫星,是数量最多的航天器(占 90%以上)。它们的轨道长度由 100 多公里到几
十万公里。按用途它们又可分为:

(1) 科学卫星:发展科学卫星的主要目的是:① 研究近地空间环境和日地关系,为载人飞
船、应用卫星和战略武器的发展提供资料;② 进行天文观测;③ 对地球科学,例如地球磁场、

电离层与磁层的关系、地壳力学、海洋动力学等方面进行研究。

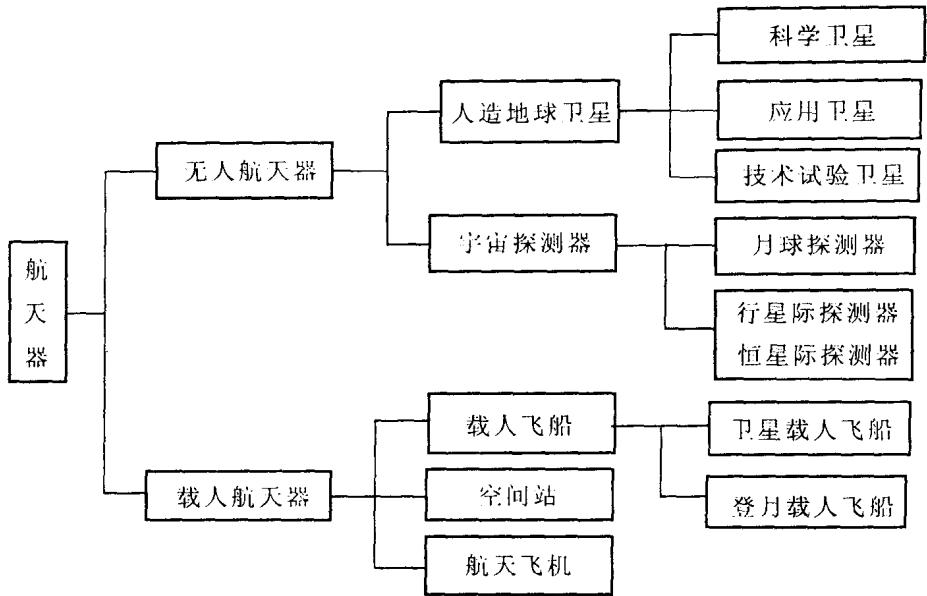


图 1.3 航天器的分类

(2) 应用卫星:利用星载仪器设备,以应用为目的,在轨道上完成某种任务的卫星,称为应用卫星。它们直接为国民经济和军事服务,如通信卫星、气象卫星、侦察卫星、导航卫星、测地卫星、地球资源卫星等。

(3) 技术试验卫星:技术试验卫星是针对某些航天器(如应用卫星或飞船等)的特殊新工艺或某项新的系统技术而设计的,其目的是进行预先的飞行试验。在航天技术发展中,技术试验卫星曾发挥了它的作用,世界各国相当重视这种卫星的研制。

2. 载人航天器

目前的载人航天器只在近地轨道飞行和从地球到月球的登月飞行。今后将出现可以到达各种星球的载人飞船,以及供人类长期在空间生活和工作的永久性空间站。载人航天器按飞行和工作方式可分为:

(1) 载人飞船:能保障航天员在外层空间生活和工作,以执行航天任务并能返回地面的航天器;

(2) 空间站:可供多名航天员巡访、长期工作和居住的载人航天器;

(3) 航天飞机:可以重复使用的,往返于地面和高度在 1 000 km 以下的近地轨道之间,运送有效载荷的航天器。

3. 宇宙探测器

飞出地球轨道的探测器,有行星际探测器和恒星际(飞出太阳系)探测器两种。其中行星际探测器按探测目标又可分为月球和行星(金星、火星、水星、木星、土星等)探测器。如 20 世纪 60~70 年代,前苏联发射的“月球”、“金星”、“火星”、“水星”等系列探测器,美国发射的“水手”、“海盗”、“先驱者”、“旅行者”等系列探测器。

1.2.2 人造地球卫星的功能分类

按航天器在轨道上的功能来进行分类,就人造地球卫星而言,可分为观测站、中继站、基准站和轨道武器四类。每一类又包括了各种不同用途的航天器。

1. 观测站

卫星处在轨道上,对地球来说,它站得高,看得远(视场大),用它来观察地球是非常有利的。此外,由于卫星在地球大气层以外不受大气的各种干扰和影响,所以用它来进行天文观测也比地面天文观测站更加有利。属于这种功能的卫星有下列几种典型的用途。

(1) 侦察卫星:在各类应用卫星中侦察卫星发射得最早(1959 年发射),发射的数量也最多。侦察卫星有照相侦察和电子侦察卫星两种。

照相侦察卫星是用光学设备对地面目标进行拍照的卫星。20 世纪 70 年代以来,前苏联和美国每年发射的军用卫星中,约有 1/3 的卫星用于各种形式的照相侦察,它们在 200 km 的近地轨道上进行普查和详查。

电子侦察卫星利用星载电子设备截获空间传播的电磁波,并转发到地面,通过分析和破译,获得敌方的情报。电子侦察的目的是确定他方的飞机、雷达等系统的位置和特征参数,窃听他方的无线电和微波通信。电子侦察卫星以无线电探测和记录设备完成这些使命。

总之,无论对军事战略侦察,还是对军事战术侦察,侦察卫星所提供的情报信息,起着不可忽视的作用,曾为美国和前苏联政策的制定和军事行动提供了依据。据报道,美国和前苏联将近 70% 的军事情报来源于侦察卫星。

目前,在美、俄两国的军用卫星中,50% 以上都是侦察卫星。美国已研制了六代侦察卫星,可见光照相分辨率为 0.3 m,工作寿命 200 d 以上;无线电传输型相机分辨率为 0.3~3 m,卫星工作寿命两年多。俄罗斯的侦察卫星工作寿命从几天到几个月。美国通过延长卫星工作寿命,大大减少发射数量,俄罗斯则通过增加卫星发射数量以保证全年有侦察卫星在天上工作。

(2) 气象卫星:气象卫星利用所携带的各种气象遥感器,接收和测量来自地球、海洋和大气的可见光辐射、红外线辐射和微波辐射信息,再将它们转换成电信号传送给地面接收站。气象人员根据收集的信息,经过处理,得出全球大气温度、湿度、风等气象要素资料。几小时就可得到全球气象资料,从而作出中期和长期天气预报,确定台风中心位置 and 变化,预报台风和其他风暴。气象卫星对于保证航海和航空的安全,保证农业、渔业和畜牧业生产,都有很大作用。

气象卫星已由单纯的气象试验,发展到多学科和多领域的综合应用;由低轨道系统,发展到高轨道系统,形成了全球气象卫星观测网。气象卫星在军事活动中的应用也日益加强,有的国家已建立了全球性的军事气象资料的收集系统,向军事单位提供实时的或非实时的气象资料。

随着航天技术的进一步发展,气象遥感器将向多样化、高精度方向发展,大大丰富气象预报的内容和提高预报精度。同时气象卫星提供的云图也将由静态云图向动态云图方向发展,这将会引起气象卫星发展的一次重大突破。

(3) 地球资源卫星:资源卫星是在侦察卫星和气象卫星的基础上发展而来的。利用星上装载的多光谱遥感器获取地面目标辐射和反射的多种波段的电磁波,然后把它传送到地面,再经过处理,变成关于地球资源的有用资料。它们包括地面的和地下的,陆地的和海洋的等等。

地球资源卫星可广泛用于:地下矿藏、海洋资源和地下水源调查;土地资源调查,土地利

用, 区域规划; 调查农业、林业、畜牧业和水利资源合理规划管理; 预报农作物长势和收成; 研究自然植物的生成和地貌; 考查和监视各种自然灾害如病虫害、森林火灾、洪水等; 环境污染、海洋污染; 测量水源, 雪源; 铁路, 公路选线, 港口建设, 海岸利用和管理, 城市规划。

地球资源卫星具有重大的经济价值和潜在的军事用途。

(4) 海洋卫星: 海洋是生命的摇篮和风雨的故乡, 海洋与人类的密切关系正逐渐被认识。海洋控制着自然界中水的循环和大气运动, 主导调节大陆的气候, 提供廉价的运输条件和高质量的水产食物。海洋中蕴藏着巨大的能源和矿物资源。

对海洋、海岸线的调查、研究、利用和开发, 虽然可以利用气象卫星、地球资源卫星获得一些资料和数据, 但不解决根本问题, 例如资源卫星遥感器波段主要在可见光和近红外波段, 而海洋遥感器波段主要在红外和微波波段。我国既是一个大陆国家($9\,600\,000\text{ km}^2$ 土地), 又是一个海洋国家(海岸线 $18\,000\text{ km}$, 拥有 $4\,700\,000\text{ km}^2$ 海域, 多于 $4\,000\,000\text{ km}^2$ 的经济开发区), 发展海洋卫星是国民经济和军事部门之必需。

海洋卫星的任务是海洋环境预报, 包括远洋船舶的最佳航线选择, 海洋渔群分析, 近海与沿岸海洋资源调查, 沿岸与近海海洋环境监测和监视, 灾害性海况预报和预警, 海洋环境保护和执法管理, 海洋科学研究, 以及海洋浮标、台站、船舶数据传输, 海上军事活动等。

当然, 作为观测站的卫星远不止以上几种, 预警卫星、核爆炸探测卫星、天文预测卫星(如美国的“哈勃”太空望远镜)等均属于这一类。虽然它们的功能各有侧重, 但基本观测原理都是相似的。

2. 中继站

中继站是一种在轨道上对信息进行放大和转发的卫星。具体分为两类: 一类用于传输地面上相隔很远的地点之间的电话、电报、电视和数据; 另一类用于传输卫星与地面之间的电视和数据。这种卫星有下列几种:

(1) 通信卫星: 利用卫星进行通信和平常的地面通信相比较, 具有下列优点: ① 通信容量大; ② 覆盖面积广; ③ 通信距离远; ④ 可靠性高; ⑤ 灵活性好; ⑥ 成本低。通信卫星一般采用地球静止轨道, 相当于静止在天空上。若有 3 颗地球静止轨道卫星, 彼此相隔 120° , 就可实现除地球两极部分地区外的全球通信。

通信卫星已用于国际、国内和军事通信业务, 同时开展了区域性通信和卫星对卫星的通信。卫星通信技术已赋有很浓的军事色彩, 它在战略通信和战术通信中占有绝对的优势。目前, 各国已有的国际、国内卫星通信系统都承担着军事通信任务。

通信卫星已进入相当成熟的实际应用阶段, 特别是随着地球静止轨道卫星通信技术的发展, 它的应用日益广泛。它可用于传输电话、电报、电视、报纸、图文传真、语音广播、时标、数据、视频会议等。

(2) 广播卫星: 广播卫星是一种主要用于电视广播的通信卫星。这种广播卫星不需要经过任何中转就可向地面转播或发射电视广播节目, 供公众团体或者个人直接接收, 因此又称为直播卫星。目前普通的家庭电视机配一架直径不到 1 m 的天线就可以直接接收直播卫星的电视广播节目。

(3) 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。它是利用卫星来跟踪与测量另一颗卫星的位置, 其基本思想是把地球上的测控站搬到地球同步轨道上, 形成星地测控系统网。这样, 可大大增加对近地轨道卫星, 如气象卫星、侦察卫星、资源

卫星、海洋卫星、通信卫星等的跟踪测轨弧段,提高测轨精度,减少地面站的设置数量。换句话说,跟踪和数据中继卫星就是利用地球同步轨道卫星实现地面测控中心对低轨道卫星的跟踪和数据中继。

发展跟踪和数据中继卫星将改变目前航天活动对地面测控的过分依赖性,同时也可以克服在国外无法设置地面站的困难,所以受到了世界各航天大国的普遍重视。我国目前也在积极地发展这种卫星技术。

除上述各中继站卫星系统外,各国还研制和发射了其他类型的专用通信卫星和无线电业余爱好者卫星,如海事卫星,卫星商业系统、搜索和营救系统……

3. 基准站

这种卫星是轨道上的测量基准点,所以要求它测轨非常准确。属于这种功能的卫星有:

(1) 导航卫星:这种卫星发出一对频率非常稳定的无线电波,海上船只、水下的潜艇和陆地上的运动体等都可以通过接收卫星发射的电波信号来确定自己的位置。利用导航卫星进行导航是航天史上的一次重大技术突破,卫星可以覆盖全球进行全天候导航,而且导航精度高。

卫星导航定位有三种类型:① 双频多普勒测速定位系统,如美国的“子午仪”导航卫星系统。该类卫星为二维导航定位系统,只能用于水中舰船,定位精度为 30~50 m。“子午仪”卫星研制始于 1958 年,1964 年开始投入使用,起初是为水下核潜艇定位服务的,目前已停止使用。② 导航卫星全球定位系统(GPS)。采用伪随机码测距,系统能进行全天候、全天时、实时三维导航定位,定位精度 10 m 以下,用于舰船、飞机和陆上活动目标等。该系统需要 18~24 颗卫星组网。俄罗斯亦有类似于美国的两代导航卫星系统。③ 区域性导航定位系统,3 颗星(静止轨道)提供三维位置。若发射两颗星则只能提供二维位置,如果用户能够提供自身的高程,则可以算出三维位置。该系统特点是同时能为百万用户服务,互不干扰,保密性好。

(2) 测地卫星:卫星测地的原理与卫星导航的原理相似。由于地面上的测量站是固定的,所以测量精度比对舰船导航定位的精度高。卫星测地目前达到的精度比常规大地测量的精度高几十倍以上。

测地卫星可完成大地测量、地形测定、地图测绘、地球形状测量,以及重力和地磁场测定。卫星测地在军事、科学研究和民用方面受到重视,许多国家研制和发射了测地卫星系统。利用卫星进行测地,为测绘工作提供了现代化手段,工作周期短,测量精度高,大大节省了人力、物力和财力。特别是要建立精确的全球性地理坐标系或三维地图,利用卫星测地是惟一可行的测量手段。随着科技水平的不断提高,测地卫星的应用也日益广泛,如人们利用测地卫星测量地壳移动从而监视和预报地震等。

测地卫星有主动和被动之分,可采用三角测量、激光测距、多普勒系统等多种手段达到测地目的。

4. 轨道武器

这是一种积极进攻的航天器,具有空间防御和空间攻击的职能。它主要包括:

(1) 拦截卫星:卫星作为一种武器在轨道上接近,识别并摧毁敌方空间系统,这种卫星被称为反卫星卫星。反卫星卫星的拦截方式可以有多种,主要有:使拦截卫星在空间与目标卫星相遇,然后自爆以摧毁目标;从拦截卫星上发射反卫星武器,如激光、粒子和微波等定向高能束射武器;拦截卫星用自身携带的小型火箭助推器加速,与目标卫星相碰撞;设法使目标卫星失去工作能力,如利用核辐射击毁目标卫星的电路与结构,向目标卫星相机镜头上喷射物质,