

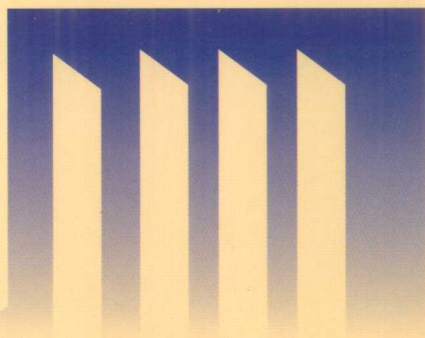


军队“2110工程”建设项目 信息安全技术

空间通信技术

KONGJIAN TONGXIN JISHU

周辉 郑海昕 许定根 编著



国防工业出版社
National Defense Industry Press

TN 927

8

TN927

8

军队“2110 工程”建设项目 信息安全技术

空间通信技术

周 辉 郑海昕 许定根 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书以统一数据流的观点为主线,将通信技术、测控技术基础理论与航天技术实践有机地结合在一起,系统地阐述了航天通信与测控的构成、技术与发展。

本书可作为大学有关专业硕士生的教材,也可作为通信工程、电子工程、信息工程、信号处理、图像处理等有关领域科技工作者的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

空间通信技术 / 周辉,郑海昕,许定根编著. —北京:国防工业出版社,2010.4

军队“2110工程”建设项目. 信息安全技术

ISBN 978-7-118-06779-8

I. ①空... II. ①周... ②郑... ③许... III. ①航天通信 IV. ①TN927

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 060827 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 710×960 1/16 印张 19½ 字数 364 千字

2010 年 4 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 43.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

装备指挥技术学院“2110 工程”教材(著作)

编审委员会

主 任 曲 炜

副主任 封伟书 张 炜 冯书兴 潘 清

委 员 (按姓氏笔画排序)

于小红 王 宇 白海威 由凤宇

李希民 宋华文 张宝玲 陈庆华

陈向宁 陈新华 郑绍钰 赵伟峰

赵继广 耿艳栋 贾 鑫 桑爱群

阎 慧 谢文秀 蔡远文 熊龙飞

装备指挥技术学院信息安全技术教材(著作)

编 委 会

主 编 潘 清

副主编 阎 慧 王 宇

编 委 王明俊 韦 群 周 辉 胡欣杰

赵立军

序

计算机技术、通信技术、网络技术的发展,给军队指挥自动化系统、综合电子信息系统的建设与发展带来了深刻的影响。未来以电子战、网络战和作战保密等为主要作战样式的信息化战争,离不开信息技术的支撑。武器装备的信息化、网络化加快了信息技术在装备的研制、试验、采购、指挥、管理、保障和使用全过程中的渗透与应用。因此,在军队深入开展军事信息技术学科的建设,加强军事人才信息化素质与能力的培养,是继往开来的一件大事,也是对军事装备学、作战指挥学等学科建设的有力支持。

为了总结梳理装备指挥技术学院军事信息技术学科的建设成果,提升学科建设水平和装备人才培养质量,在军队“2110 工程”专项经费支持下,在装备指挥技术学院“2110 工程”教材(著作)编审委员会统一组织指导下,军事信息技术学科领域的专家学者编著了一批适应装备人才培养需求,对我军装备信息化和装备信息安全工作具有主要指导作用的系列丛书。

编辑这套丛书是我院军事信息技术学科建设的重要内容,也是体现军事信息技术学科建设水平的重要标志。通过系统、全面地梳理,将军队开展信息化建设的实践经验进一步理论化、科学化,形成具有军事装备特色的军事信息技术知识体系。

本套丛书定位准确、内容创新、结构合理、针对性强,一方面总结了学院军事信息技术学科建设和装备信息化人才培养的理论与实践探索的重要成果和宝贵经验;另一方面紧紧围绕我军武器装备信息化建设的需要,以装备全寿命管理的信息化和装备信息保障为主要内容,着重基本概念、原理的论述和技术方法的应用,其编著出版对于推进军事信息技术学科的建设,提高装备人才的培养质量,加快装备信息化建设和军事斗争准备具有十分重要的现实意义和深远的历史意义。

装备指挥技术学院
信息安全技术教材(著作)编委会
2009年12月

前 言

航天技术起源于20世纪50年代,在人类社会的发展与建设中有巨大的作用与意义,具有广阔的应用前景。航天事业的发展历史并不长,却大大地推动了科学技术、人类文明的进展历程,使人类探索宇宙的梦想成为可能。人类探索自然奥秘的理想与宇宙空间潜在的资源具有巨大的吸引力,在21世纪,航天事业的发展会更加迅猛势不可挡。

随着人类探索太空行动向纵深的发展,人类要进行深空探测必须建设空间通信系统,它是人类与深空探测器联系的唯一通道与纽带,在深空探测任务中起着至关重要的作用。

本书是根据十几年的教学实践总结而成,贯穿全书的理念恰如理查德·费曼所说:“诗人总是说,科学家看不见星星的美丽——星星在科学家眼里仅仅是一堆聚集的气体原子。没有什么是‘仅仅是’。我看见沙漠夜空里的星星,也能感觉到它们。但是我是不是看见的比别人少,或者多?广袤的天空激起了我的幻想——盯着这个旋转的天穹,我用我的眼睛能捕捉100万年以前发出的光线……或者可以通过帕洛马山上的大眼睛(望远镜)来观测这些星星,望远镜能把大量从同一光源发射的光聚集到一起,也许本来这些光就是在一起的。这是一幅什么图像,或者说这意味着什么,或者说为什么这样?我们知道一点宇宙,并不影响宇宙的神秘性。因为宇宙比以前任何一个艺术家能想象的都要奇妙得多。为什么现在的诗人们不说这个呢?……”

主要目的是能够像物理学家们一样,欣赏到这世界的美妙。物理学家们看待这个世界的方式,是这个现代化时代真正文化内涵的主要部分(也许有一些别的学科的科学家会反对我的说法,但我相信他们绝

对是错误的)。也许你们学会的不仅仅是如何欣赏这种文化,甚至也愿意参加到这个人类思想诞生以来最伟大的探索中来。”^①

这正是本书要告诉读者的内涵,就是让我们一起看“星星”,共同感受信息在深空传送中的惬意与快乐!

书中的第1章~4章、第7章~11章由周辉教授撰写,第5章由郑海昕讲师撰写,第6章由许定根博士撰写。在本书的撰写过程中,得到了高小玲、王永丰、朱仁峰、胥霖、何平、郭平等鼎力相助,以及装备指挥技术学院信息装备系、通信工程教研室的领导和同志们的大力支持;李丹、闫冰对全书进行了校对;由刘力天副教授主审,并提出了宝贵意见;本书的编辑同志为本书的出版也做了大量的工作,在此一并表示诚挚的谢意!

在撰写过程中参阅了大量的参考书、论文和资料,这里谨向所有的作者致以崇高的敬意,他们的工作为我们带来启迪和帮助,谢谢!

由于本书所涉及的是一个发展迅速的领域,同时,限于作者的学识水平,书中难免存在错误和不当之处,敬请批评指正。

作 者
2009年6月

^① 引自《中学语文教学》2006.9,P22

目 录

第1章 绪论	1
1.1 航天技术的组成与基本概念	2
1.2 空间通信系统的基本概念	3
1.2.1 空间通信系统的组成	4
1.2.2 空间信息传输的特殊性	5
1.2.3 空间段通信方式	8
1.3 新技术给空间信息传输技术带来的变化	9
1.4 深空通信与测控面临的根本问题与改进方案	10
1.4.1 深空通信与测控面临的根本问题	12
1.4.2 改进方案	13
参考文献	16
第2章 空间环境与无线电波传播	17
2.1 深空通信系统的空间环境	17
2.1.1 太阳与地球	18
2.1.2 大气层	20
2.1.3 电离层	21
2.1.4 地球辐射带	23
2.1.5 宇宙射线	24
2.1.6 其他行星大气层对无线电波传播的影响	24
2.2 空间污染环境	25
2.2.1 空间碎片	25
2.2.2 空间污染与航天器自污染	27
2.3 无线电噪声	27
2.3.1 无线电噪声的分类	27
2.3.2 无线电噪声的定量描述	29
2.4 空间无线电资源	29
参考文献	35

第3章 空间通信技术基础	36
3.1 概述	36
3.1.1 卫星通信技术	36
3.1.2 空间通信系统组成要素	38
3.2 轨道要素	40
3.2.1 开普勒定律	40
3.2.2 相关术语与参数	41
3.3 发射技术	43
3.3.1 宇宙速度	43
3.3.2 火箭技术	44
3.3.3 卫星的发射过程	45
3.4 空间通信体制概论	47
3.4.1 多址通信方式	47
3.4.2 多址分配制度	50
3.4.3 交换方式	52
参考文献	55
第4章 信息传输技术	57
4.1 数字基带信号压缩技术	57
4.1.1 语音编码技术	57
4.1.2 图像编码技术	61
4.2 差错控制	67
4.2.1 数字通信系统与信道编码	67
4.2.2 编码增益	68
4.2.3 信道编码	69
4.2.4 Turbo 码	75
4.2.5 信源与信道联合编码和译码	82
4.3 数字信号的调制与解调	90
4.3.1 概述	90
4.3.2 空间信息系统调制与解调方式	92
参考文献	100
第5章 航天测控技术	102
5.1 航天测控系统	102
5.1.1 航天测控系统的功能	102
5.1.2 航天测控站的组成	103
5.1.3 航天通信与测控网	104

5.1.4	航天测控体制的发展历程	105
5.2	统一测控系统	107
5.2.1	应答机	107
5.2.2	地面测控设备	108
5.3	航天无线电跟踪测量技术	109
5.3.1	概述	109
5.3.2	无线电测角技术	110
5.3.3	无线电测距技术	113
5.3.4	无线电测速技术	117
5.4	锁相技术	119
5.4.1	锁相环原理	120
5.4.2	锁相环在统一测控系统中的应用	122
5.5	航天无线电遥测技术	123
5.5.1	概述	123
5.5.2	PCM 遥测信号	124
5.5.3	PCM 遥测系统中的信道编码	128
5.5.4	遥测系统中的同步技术	128
5.6	航天无线电遥控技术	135
5.6.1	概述	135
5.6.2	基带信号构造	136
5.6.3	调制体制	138
5.6.4	验证和保护	138
5.7	航天测控技术发展	139
5.7.1	深空测控	139
5.7.2	小卫星测控	141
	参考文献	141
第 6 章	跟踪与中继卫星系统	143
6.1	概述	143
6.1.1	TDRSS 的现状与发展	143
6.1.2	TDRSS 的工作原理与基本组成	149
6.1.3	TDRSS 的特点	153
6.1.4	TDRSS 的通信业务与通信容量	154
6.1.5	信道链路划分	154
6.2	TDRSS 星间链路的建立	155
6.2.1	天线的角度跟踪	155

6.2.2	信号的捕获及跟踪	157
6.3	TDRSS 的跟踪测轨	162
6.3.1	双向测速、测距	162
6.3.2	单向测速、测距	163
6.3.3	用户航天器自主定位技术	163
6.4	TDRSS 的数据中继	164
6.4.1	数据中继业务	164
6.4.2	传输链路及信号分析	165
6.5	TDRSS 的应用	168
	参考文献	168
第 7 章	空间通信与测控总体技术	170
7.1	引言	170
7.2	系统设计的基点	171
7.2.1	通信方程	171
7.2.2	系统参数的计算	172
7.2.3	传输损耗	174
7.3	系统拓扑结构	176
7.3.1	空间链路总体结构	176
7.3.2	系统网络拓扑设计	177
7.4	空间链路设计	187
7.4.1	空间链路的构成举例	188
7.4.2	空间通信链路模型	199
	参考文献	200
第 8 章	空间光通信技术	202
8.1	概述	202
8.1.1	光通信的发展历程	202
8.1.2	光通信的分类	205
8.1.3	光通信的特点	206
8.2	空间光通信系统	207
8.2.1	空间光通信系统的工作原理	207
8.2.2	空间光通信系统的主要组成部分的功能与特性	209
8.3	空间光通信的关键技术	214
8.3.1	高功率光源	214
8.3.2	精密可靠的光束控制技术	214
8.3.3	高码率编码调制技术	215

8.3.4	PAT 技术	215
8.4	空间光通信链路	216
8.4.1	星际光通信链路	217
8.4.2	背景干扰	219
8.4.3	大气影响	220
8.4.4	仿真及分析	221
	参考文献	223
第9章	空间信息系统的标准化	224
9.1	概述	224
9.1.1	空间数据系统	224
9.1.2	空间数据系统咨询委员会	225
9.1.3	CCSDS 建议书	226
9.2	CCSDS 标准的技术特征	228
9.2.1	继承与扩展	228
9.2.2	空间信息系统功能模型	229
9.2.3	CCSDS 标准的层次模型	230
9.2.4	虚拟信道	231
9.2.5	与我国现行标准的关系	233
9.3	CCSDS 的分包遥测遥控技术	235
9.3.1	CCSDS 分包数据结构	235
9.3.2	CCSDS 遥测技术	236
9.3.3	CCSDS 遥控技术	239
9.4	高级在轨数据系统	241
9.4.1	AOS 的特点	241
9.4.2	系统概貌	242
9.4.3	AOS 业务	245
9.4.4	AOS 在我国航天器中的应用	247
	参考文献	249
第10章	空间通信测控网	250
10.1	概述	250
10.1.1	组网问题的提出	250
10.1.2	组网原则	252
10.1.3	空间通信测控网的结构与特点	253
10.1.4	空间通信与测控体制	254
10.2	时间系统	256

10.2.1	常用时间系统	256
10.2.2	时间统一系统	257
10.2.3	CCSDS 时间码格式	259
10.2.4	我国航天通信测控网中的时间码	264
10.3	指挥调度系统	264
10.3.1	概述	264
10.3.2	指挥调度系统的功能及其主要设备	266
10.3.3	指挥调度信息的传输	270
10.4	国内外深空通信测控网发展现状	271
10.4.1	美国深空通信测控网	271
10.4.2	俄罗斯深空通信测控网	274
10.4.3	日本深空探测与测控网	277
10.4.4	欧联空间局通信测控网	278
10.4.5	印度航天通信测控网	279
10.4.6	中国航天通信测控网	279
10.5	深空通信测控网的未来发展	280
10.5.1	天基通信测控网	280
10.5.2	中国深空通信测控网的未来发展	283
	参考文献	286
第 11 章	未来发展趋势	287
11.1	深空通信与测控技术的未来发展动向	288
11.1.1	通信技术在航天领域的应用	288
11.1.2	系统稳定性技术	290
11.1.3	航天器自主运行技术	291
11.1.4	航天器之间的跟踪	293
11.1.5	建立太空资源数据库	293
11.2	天线	294
11.3	自由空间光通信	295
11.4	互联网给航天信息传输业务注入了新思想	296
	参考文献	297

第 1 章 绪 论

航天事业的发展历史并不长,仅有几十年的时间,却大大地推动了科学技术、人类文明的进展历程,使人类探索宇宙的梦想成为可能。人类探索自然奥秘的理想与宇宙空间潜在的资源具有巨大的吸引力,在 21 世纪,航天事业的发展会更加迅猛。深空探测、载人航天、小卫星(或微小卫星)开发应用将是人类在新世纪的主要三大航天活动^[1]。

航天领域的发展历程大致可以划分为:理论完善与论证阶段(20 世纪 40 年代末);卫星、运载火箭以及地面配套设施的研制实验阶段(20 世纪 50 年代);各种特殊设备和科学应用的探索应用阶段(20 世纪 60 年代);航天技术在各个科学领域大显身手的阶段(20 世纪 70 年代以来)。30 多年来,利用空间环境及其高远的位置进行了广泛的应用试验,形成了通信、导航、气象、资源、军事、深空探测等科学实验与应用系统。迄今已有 170 多个国家和地区开拓了航天应用领域,发展速度令人吃惊。1957 年全世界只有 2 颗卫星上天;1958 年达到 8 颗;1959 年达到 14 颗;1960 年达到 35 颗;1960 年后,每年发射的卫星都在 100 颗以上。1961 年 4 月 12 日苏联航天员加加林·尤·阿首次实现了载人航天飞行,成为航天技术发展史上的重要里程碑。至今人类已先后将 6000 多颗卫星、飞船、航天飞机和空间站等空间飞行器送入太空。图 1-1 是美国 NASA 在 2003 年发射的用于科学实验的“开拓者”号宇宙飞船。

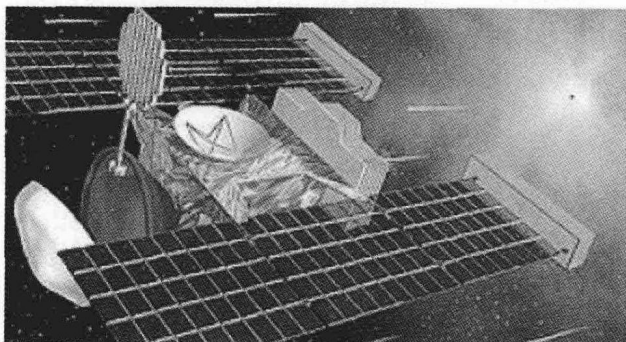


图 1-1 美国的“开拓者”号宇宙飞船

图 1-2 是我国于 1970 年 4 月 24 日发射的第一颗人造地球卫星。卫星上的仪器舱装有电源、雷达应答机、雷达信标机、遥测装置、电子乐音发生器和发射

机、科学试验仪器等。卫星的主要任务是向太空播放《东方红》乐曲,同时进行卫星技术试验,探测电离层和大气密度。卫星上采用银锌蓄电池作电源,电池寿命有限,卫星运行 20 天后,电池耗尽,《东方红》乐曲停止播放,卫星结束了其工作寿命。

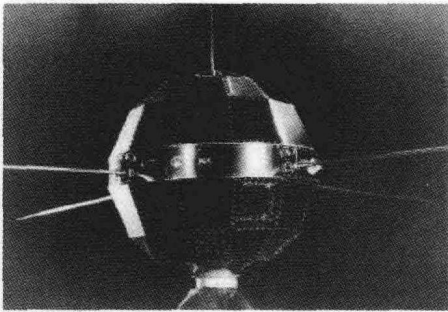


图 1-2 《东方红》一号

卫星质量:173kg。卫星外形:直径 1m 的球形 72 面体。近地点:439km。
远地点:2384km。用途:广播《东方红》乐曲。

通信与测控系统是航天事业中一个重要的组成部分,是其中的神经网络,完成各种数据的采集与传输。随着人类探索太空行动向纵深的发展,空间信息的传播将成为航天通信与测控的主要环节之一,本书全面地介绍航天通信与测控系统的概貌、空间信息传输的特殊性以及组成技术。

1.1 航天技术的组成与基本概念

航空与航天虽然都拥有飞行器,但是它们的活动范围不同,一般以距地面 100km 高度为界,100km 以下为航空活动范围,100km 以上为航天活动范围。在地球大气层以外的宇宙空间中按照天体力学规律运行的飞行器称为空间飞行器或航天器,按照是否有航天员参与飞行可以划分为无人空间飞行器和载人空间飞行器,其分类如图 1-3 所示。

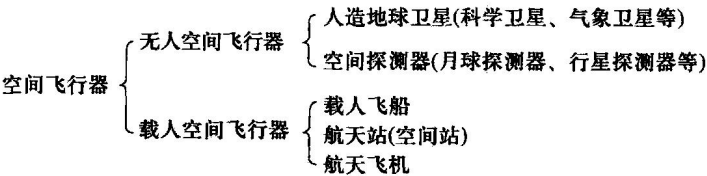


图 1-3 空间飞行器的分类

由于活动范围不同致使航空与航天技术存在巨大的差异。实现航天任务的技术可以归纳为以下 5 类: