



国防电子信息技术丛书

Military Satellite Communications and Reconnaissance

军事卫星通信 与侦察

赵志勇 毛忠阳 刘锡国 刘敏 孙小东 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

国防电子信息技术丛书

军事卫星通信与侦察

赵志勇 毛忠阳 刘锡国 刘敏 孙小东 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

军事卫星通信技术与侦察技术是现代信息化战争条件下获取、传递情报信息的关键技术和重要手段。全书内容分为军事卫星通信和军事卫星侦察两个部分。在军事卫星通信中,详细介绍了军事卫星通信中的调制、多址、编码、安全与保密四项关键技术,并分析了美军典型的军事卫星通信系统的关键技术和性能;在军事卫星侦察中,详细介绍了军事卫星侦察中的电子侦察技术、雷达成像侦察技术和光学成像侦察技术,以及相应的侦察干扰技术、目标识别技术,并分析了外军典型的军事卫星侦察系统的关键技术和特性。

本书可作为高等学校通信工程、电子工程、航天侦察、情报处理等专业专科以上高年级的专业教材,也可作为跨专业学生和工程技术人员的参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

军事卫星通信与侦察 / 赵志勇等编著. —北京: 电子工业出版社, 2013.6
(国防电子信息技术丛书)

ISBN 978-7-121-20529-3

I. ①军… II. ①赵… III. ①军用卫星—卫星通信—高等学校—教材 ②军用卫星—通信侦察—高等学校—教材 IV. ①TJ861 ②TN927

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 110662 号

责任编辑: 竺南直 特约编辑: 范 晓

印 刷: 三河市鑫金马印装有限公司

装 订: 三河市鑫金马印装有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 18.25 字数: 467 千字

印 次: 2013 年 6 月第 1 次印刷

印 数: 3 000 册 定价: 59.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlbs@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

前 言

随着航天技术的发展，现代战争的信息化程度越来越高，获得信息优势在高技术战争中具有举足轻重的作用。天基信息获取系统、天基导航定位系统、天基信息传输系统作为利用空间装备系统的三大系统，对信息化战争的空间力量具有强大的信息支援能力，对实现信息化战争中快捷、高效的战场指挥与控制有着关键性的、必不可少的巨大影响。

军事卫星通信系统作为天基信息传输系统的重要组成部分，具有通信距离远、容量大、抗干扰性强、保密性好、可靠性高、不易摧毁等优点，能够传输、分发战略战术和战场信息，担负着指挥、侦察、通信、定位、兵力部署以及支援、协同作战、情报保障等信息的重要任务。

军事卫星侦察系统作为天基信息获取的重要手段，能够严密监视对方的通信设施、指挥中心、导弹发射设施、部队集结地域等地面目标，构成了全天时、全天候、全方位、多谱段的侦察与监视体系，在获取敌方军事态势和状况、探测敌方目标位置和动向、防御敌方攻击以及局部战场实时信息获取等方面都具有重要作用。

为了紧跟军事卫星通信技术与侦察技术的发展趋势，及时、全面地反映军事卫星通信与侦察的最新技术，特编写了《军事卫星通信与侦察》一书。在该书的编写过程中，力求语言精练、图文并茂，所述内容能够深入浅出、全面准确地反映当前军事卫星通信与侦察的新技术、新体制和未来的发展趋势。

全书共分 11 章。第 1 章军事卫星通信的基本概念，主要介绍了军事卫星通信的发展历程、工作频段、军事卫星通信系统的组成、军事通信卫星的运动轨道以及军事卫星通信的特点、在信息化战争中的作用、发展现状与趋势；第 2 章军事卫星通信中的调制技术，主要介绍了军事卫星信道特性及对调制方式的要求、军事卫星通信中常用的模拟调制技术、多相调制技术、振幅相位联合键控技术、连续相位调制技术、APSK 调制技术；第 3 章军事卫星通信中的多址技术，主要介绍了频分多址、时分多址、空分多址、码分多址的基本原理与特点以及常用的多址分配技术；第 4 章军事卫星通信中的编码技术，主要介绍了线性分组码、循环码、卷积码、Turbo 码以及 LDPC 码的基本原理和特点；第 5 章军事卫星通信中的安全与保密，主要介绍了通信对抗的基本概念、军事卫星通信抗干扰技术、保密通信技术以及卫星摧毁与抗摧毁技术；第 6 章美军典型的军事卫星通信系统分析，主要介绍了美军的战略战术中继卫星通信系统、先进极高频卫星通信系统、特高频后继星卫星通信系统、移动用户目标卫星通信系统等系统的关键技术和性能指标；第 7 章军事卫星侦察的基本概念，主要介绍了军事侦察的定义、地位、分类以及军事卫星侦察的特点；第 8 章军事卫星侦察技术，主要介绍了军事卫星侦察的基本概念以及电子侦察技术、雷达成像侦察技术、光学成像侦察技术的基本原理与特点；第 9 章军事卫星侦察干扰技术，主要介绍了成

像侦察卫星和电子侦察卫星干扰技术的主要方法和特点；第 10 章军事卫星侦察中的目标识别技术，主要介绍了目标识别技术中的影像处理技术和模式识别技术；第 11 章外军典型军事卫星侦察系统分析，主要介绍了美国、法国、俄罗斯典型军事卫星侦察系统的关键技术和性能指标以及未来军事卫星侦察技术的发展趋势。

在本书的编写过程中，编者所在单位的领导和同事给予了大力支持，并提出了很多宝贵的建议；另外，本书的编写还参考和引用了相关的技术文献资料。在此，向为本书的编写、出版工作作出贡献的所有人员表示衷心感谢！

由于编者水平有限，书中难免还存在一些错误和疏漏之处，希望广大读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 军事卫星通信的基本概念	1
1.1 卫星通信的基本概念	1
1.2 军事卫星通信的发展历程	3
1.3 军事卫星通信的工作频段	4
1.4 军事卫星通信系统的组成	7
1.5 军事通信卫星	9
1.5.1 军事通信卫星的运动轨道	10
1.5.2 军事通信卫星的组成	12
1.6 军事卫星通信的作用、地位及特点	16
1.6.1 军事通信卫星的作用与地位	16
1.6.2 军事通信卫星的特点	17
1.7 外军军事通信卫星的发展现状	20
1.7.1 美国	20
1.7.2 俄罗斯	20
1.7.3 欧洲	21
参考文献	21
第 2 章 军事卫星通信中的调制技术	23
2.1 卫星信道特性及对调制方式的要求	23
2.1.1 卫星信道特性	23
2.1.2 卫星信道对调制体制的要求	24
2.1.3 军事卫星信道调制技术研究现状	25
2.2 模拟调制	26
2.2.1 模拟调制的基本概念	26
2.2.2 调频信号的产生	28
2.2.3 调频信号的解调	29
2.3 多进制数字相位调制	30
2.3.1 多进制数字相位调制 MPSK	31
2.3.2 四相移相键控调制 (QPSK)	31
2.3.3 参差 OQPSK 调制	35
2.3.4 $\pi/4$ -OQPSK 调制	36
2.4 振幅相位联合键控	37
2.4.1 基本原理	37
2.4.2 16QAM	39
2.5 连续相位调制	40
2.5.1 正交 FSK 信号的最小频率间隔	41

2.5.2	MSK 信号的基本原理	42
2.5.3	MSK 信号的产生和解调	45
2.5.4	GMSK 调制	48
2.6	APSK 调制	50
2.6.1	APSK 星座描述	51
2.6.2	APSK 解调	51
	参考文献	52
第 3 章	军事卫星通信中的多址技术	53
3.1	多址联接方式概述	53
3.2	频分多址 (FDMA)	58
3.2.1	频分多址的基本原理	58
3.2.2	FDMA 方式的类型	61
3.3	时分多址 (TDMA)	64
3.3.1	TDMA 方式的基本概念	64
3.3.2	初始捕获方法	70
3.4	空分多址 (SDMA)	72
3.4.1	卫星交换 FDMA (SS - FDMA)	72
3.4.2	卫星交换 TDMA (SS - TDMA)	74
3.5	码分多址 (CDMA)	77
3.5.1	系统的组成与工作过程	77
3.5.2	码分多址方式的特点	80
3.6	多址分配制度	83
3.6.1	多址分配制度的含义	83
3.6.2	几种常用的多址分配制度	83
	参考文献	94
第 4 章	军事卫星通信中的编码技术	95
4.1	纠错编码的基本原理	95
4.1.1	差错控制技术	95
4.1.2	纠错编码原理	96
4.2	线性分组码	98
4.2.1	汉明码的构造原理	98
4.2.2	线性分组码的原理	100
4.3	循环码	102
4.3.1	循环码的基本原理	102
4.3.2	BCH 码	105
4.3.3	RS 码	106
4.4	卷积码	107
4.5	Turbo 码	110
4.6	LDPC 码	111
	参考文献	113

第 5 章 军事卫星通信中的安全与保密	115
5.1 通信对抗.....	115
5.1.1 通信对抗的基本概念.....	115
5.1.2 通信干扰.....	117
5.1.3 抗干扰通信.....	123
5.2 军事卫星通信抗干扰理论基础.....	125
5.2.1 香农公式及其工程意义.....	126
5.2.2 处理增益.....	127
5.2.3 干扰容限.....	128
5.3 扩展频谱抗干扰技术.....	129
5.3.1 扩频通信的特点.....	129
5.3.2 直接序列扩谱.....	130
5.3.3 跳变频率扩谱.....	133
5.3.4 跳变时间扩谱.....	136
5.3.5 调频扩谱.....	136
5.3.6 混合扩展频谱.....	137
5.4 其他抗干扰技术.....	140
5.4.1 天线抗干扰技术.....	140
5.4.2 星上处理技术.....	141
5.4.3 限幅和线性化技术.....	142
5.4.4 发展 EHF (极高频) 通信和光通信.....	142
5.4.5 其他抗干扰信号处理方法.....	142
5.5 通信卫星的摧毁与抗摧毁技术.....	143
5.5.1 反卫星武器的种类.....	143
5.5.2 外军反卫星武器的发展现状.....	147
5.5.3 反卫星武器的发展趋势.....	150
5.5.4 提高卫星防御能力的措施.....	150
5.6 保密技术.....	151
5.6.1 认证技术.....	151
5.6.2 加密技术.....	152
5.6.3 其他保密技术.....	154
参考文献.....	158
第 6 章 美军典型军事卫星通信系统分析	160
6.1 美军战略战术中继卫星通信系统.....	160
6.1.1 三代军事星简介.....	160
6.1.2 MILSTAR 系统空间段.....	162
6.1.3 MILSTAR 系统通信终端.....	164
6.1.4 MILSTAR 系统的技术指标.....	165
6.1.5 MILSTAR 系统的关键技术.....	166

6.1.6	MILSTAR 系统的业务类型和应用	167
6.2	美军先进极高频卫星通信系统	168
6.2.1	AEHF 系统的组成及功能	168
6.2.2	AEHF 系统主要技术指标和关键技术	170
6.2.3	AEHF 系统的业务和应用	171
6.3	美军特高频后继星卫星通信系统	172
6.3.1	UFO 系统的组成及其功能	173
6.3.2	UFO 卫星转发器的主要技术指标	177
6.3.3	UFO 系统支持的业务类型	178
6.4	美军移动用户目标卫星通信系统	178
6.4.1	MUOS 系统概述及组成	179
6.4.2	MUOS 系统主要性能参数	180
6.4.3	MUOS 系统支持的业务	180
6.4.4	MUOS 系统 QoS 服务质量	181
6.4.5	MUOS 系统通信能力	181
6.4.6	其他关键技术对系统能力的提升	181
6.5	美军其他主要卫星通信系统	182
6.5.1	全球广播业务 (GBS) 系统	182
6.5.2	国防通信卫星 (DSCS)	183
6.5.3	舰队通信卫星 (FLTSATCOM)	184
	参考文献	185
第 7 章	军事卫星侦察的基本概念	186
7.1	军事侦察的定义	186
7.2	军事侦察的地位和作用	187
7.3	军事侦察系统的功能和特性	188
7.4	军事侦察系统的基本组成	189
7.5	军事侦察的分类	190
7.6	军事卫星侦察的特点	194
	参考文献	194
第 8 章	军事卫星侦察技术	196
8.1	电子侦察卫星	196
8.1.1	电子侦察卫星概况	196
8.1.2	电子侦察的关键技术	197
8.1.3	通信信号侦察	198
8.1.4	雷达信号侦察	203
8.1.5	无线电信号测向定位	205
8.2	雷达成像侦察卫星	207
8.2.1	雷达成像侦察卫星的特点	207
8.2.2	雷达成像侦察的特殊要求和关键技术	208

8.2.3	雷达成像侦察的基本原理	209
8.2.4	合成孔径雷达侦察技术	213
8.3	光学成像侦察卫星	214
8.3.1	光学成像原理	214
8.3.2	光学成像侦察的分辨力	215
8.3.3	光学成像侦察卫星分类	216
8.3.4	光学成像侦察设备	217
	参考文献	220
第 9 章	军事卫星侦察干扰技术	221
9.1	成像侦察卫星的干扰技术	221
9.1.1	反制	222
9.1.2	无源干扰与有源干扰	223
9.1.3	隐真	224
9.1.4	示假	230
9.1.5	声光抗截获技术	231
9.2	电子侦察卫星的干扰技术	234
9.2.1	噪声干扰	234
9.2.2	有源欺骗式干扰	235
9.2.3	雷达隐身技术	236
9.2.4	雷达反卫星侦察技术	242
	参考文献	243
第 10 章	军事卫星侦察中的目标识别技术	245
10.1	目标识别中的影像预处理	245
10.1.1	影像融合	245
10.1.2	影像增强	248
10.1.3	影像分割	248
10.2	目标识别中的模式识别	250
10.2.1	模式识别的基本概念	250
10.2.2	模式识别方法	251
10.2.3	模式识别过程	254
	参考文献	256
第 11 章	外军典型军事卫星侦察系统分析	258
11.1	美军军事卫星侦察系统分析	258
11.1.1	美军光学成像侦察卫星	258
11.1.2	美军雷达成像侦察卫星	264
11.1.3	美军电子侦察卫星	266
11.2	法国“太阳神”系列侦察卫星	270
11.3	俄罗斯军事卫星侦察系统分析	274
11.3.1	俄罗斯光学成像侦察卫星	274

11.3.2 俄罗斯雷达成像侦察卫星	276
11.3.3 俄罗斯电子侦察卫星	277
11.4 军事卫星侦察技术的发展趋势	278
11.4.1 光学成像侦察卫星的发展趋势	278
11.4.2 雷达成像侦察卫星的发展趋势	279
11.4.3 电子侦察卫星的发展趋势	280
参考文献	281

第 1 章 军事卫星通信的基本概念

1.1 卫星通信的基本概念

卫星通信，简单地说，就是地球上（包括地面、水面和低层大气中）的无线电通信站之间利用人造卫星作中继站而进行的通信。

图 1.1 所示是一种比较简单的卫星通信系统。它只用一颗通信卫星，卫星天线的波束覆盖了全部通信站所在的地域，各通信站天线均指向卫星。这样各站都可通过卫星转发来进行通信。

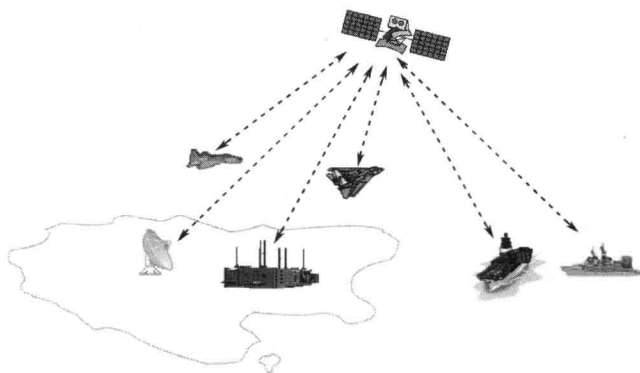


图 1.1 卫星通信系统示意图

由电磁波的传播特性可知，微波是直线传播的，微波中继通信是一种“视距”通信，即只在“看得见”的范围内才能通信。为了增加传输距离，必须采用中继方式，且通信距离与中继站的高度有关。如果将中继站的高度无限增加，即将中继站建立在太空，就演化为卫星通信。而且，在卫星通信中，最大通信距离与卫星的高度紧密相关，如图 1.2 所示。

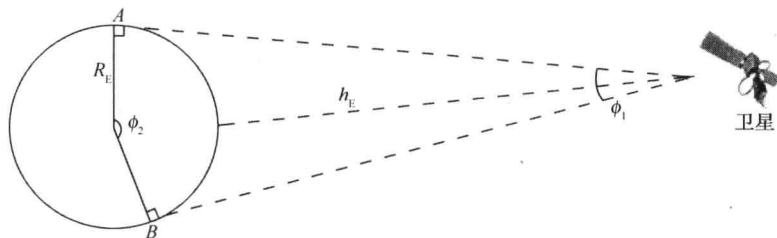


图 1.2 卫星作为中继站时通信最大距离计算

由图 1.2 可见, 离地球表面高度为 h_E 的卫星中继站, “看到” 地面的两个极端是 A 点和 B 点, 换句话说, AB 的长度将是卫星为中继站所能达到的最大通信距离。利用几何学不难得知:

$$AB = R_E \phi_2 = R_E \left(2 \arccos \frac{R_E}{R_E + h_E} \right) \quad (\text{km}) \quad (1.1)$$

其中, R_E 为地球半径, $R_E = 6378 \text{ km}$, ϕ_2 为 \widehat{AB} 所对的圆心角 (弧度); h_E 为通信卫星到地面的高度 (km)。让我们用两个例子说明卫星高度对地面上最大通信距离的影响。

例 1:

$h_E = 500 \text{ km}$, $\phi_2 = 0.767 \text{ rad}$, 按上式求得:

$$\widehat{AB} = 6378 \times 0.767 = 4892 \quad (\text{km}) \quad (1.2)$$

例 2:

$h_E = 35800 \text{ km}$, $\phi_2 = 2.838 \text{ rad}$, 按式 (1.1) 求得:

$$\widehat{AB} = 6378 \times 2.838 = 18100 \quad (\text{km}) \quad (1.3)$$

由于作为中继站的卫星处于外层空间, 这就使得卫星通信不同于其他地面无线电通信方式。早在 1959 年, 国际电信联盟 (ITU) 就将这种通信方式列为新的课题, 称为宇宙 (空间) 通信。

随着航天技术的巨大进展, 人类的活动领域已扩大到地球大气层以外的空间。为了满足宇宙航行中传递信息的需要, 宇宙 (空间) 无线电通信也随之发展起来。国际电信联盟 (ITU) 的国际无线电咨询委员会 (CCIR) 从 1959 年开始把宇宙 (空间) 通信列为新的课题, 不断提出许多重要的技术建议。1963 年, 召开了世界临时无线电行政会议 (EARC), 为宇宙通信制定了规则, 分配给 10GHz 以下的频带。1971 年, 又为宇宙通信召开了世界无线电行政会议 (WARC), 把分配的频带扩展到 275GHz, 修订了有关的技术标准, 并且对宇宙无线电的术语及其定义做了统一的规定。1979 年 WARC 又做了新的规定:

宇宙 (空间) 无线电通信有三种形式, 如图 1.3 所示。

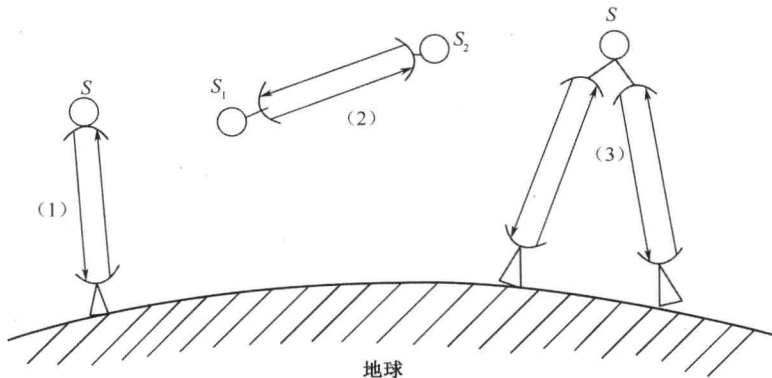


图 1.3 宇宙通信的三种形式

- (1) 宇宙站与地球站之间的通信;
- (2) 宇宙站之间的通信;
- (3) 地球站相互间通过宇宙站的转发或反射而进行的通信。

这里,宇宙站是指设在地球大气层之外的宇宙飞行体或其他天体(如月球或别的行星等)上的通信站。地球站是指设在地球表面(包括陆地、水上和大气层中)的通信站。

可以看出,卫星通信属于宇宙无线电通信的第三种形式。

1.2 军事卫星通信的发展历程

早在1945年10月,英国空军雷达军官阿瑟·克拉克在《无线电世界》杂志上发表了《地球外的中继站》一文,最先对利用静止卫星进行通信提出了科学的设想。大约20年之后,这一设想变成了现实。

卫星通信的发展过程,大致经历了以下两个阶段。

1. 卫星通信的试验阶段(1954—1964年)

(1) 无源卫星通信试验

无源卫星是靠星体的金属表面对无线电波进行反射来实现中继通信的。从1954年至1964年,美国曾先后利用月球、无源气球卫星、铜针无源偶极子带等作为中继站,进行了电话、电视传输试验。可以想到,由于自由空间的传播损耗、卫星表面的吸收损耗和反射的无规则性,通信质量是很差的,接收到的信号质量不高,实用价值不大。

(2) 有源卫星通信试验

在有源卫星通信试验中,又可分为以下三类。

① 低轨道延迟式试验通信卫星

1958年12月,美国用阿特拉斯火箭将一颗重150磅的“斯柯尔”卫星送入椭圆轨道(近地点200 km,远地点1700 km)。星上发射机输出功率为8W,射频为150MHz。为使远离的甲乙两站通信,卫星飞到甲站上空时先将甲站发出的信息(电话、电报)录音,待卫星飞到乙站上空时,再将录音信息转发。此外也试验了实时通信。卫星成功地工作了12天,因蓄电池耗尽停止工作。

1960年10月,美国国防部发射了“信使”通信卫星,进行了与上述类似的试验。

② 中、高度轨道试验通信卫星

1962年5月,美国航空宇航局用德尔它火箭把“电星”卫星送入1060~4500 km的椭圆轨道;1963年又发射另一颗,卫星重170磅,输出功率为3W,上行射频为6GHz,下行射频为4GHz,用于美、英、法、意、日之间进行电话、电视、传真数据传输试验。

1962年12月和1964年1月,美国航空航宇局又先后发射了“中继”卫星,进入1270~8300 km的椭圆轨道,卫星重172磅,发射机输出功率为10W,上、下行射频分别为1.7GHz和42GHz。在美国、欧洲、南美洲之间进行了多次通信试验。

③ 同步轨道试验通信卫星

1963年7月和1964年8月,美国航空宇航局先后发射了三颗“辛康姆”卫星,第一颗未能进入预定轨道,第二颗则送入周期为24小时的倾斜轨道,进行了通信试验;而最后一颗被射入似圆形的静止同步轨道,成为世界上第一颗试验性静止通信卫星。利用它成功地进行了电话、电视和传真的传输试验,并于1964年利用它向美国转播了在日本东京举行的奥林匹克运动会实况。至此,卫星通信的早期实验阶段基本结束。

2. 卫星通信的实用与提高阶段(1965年—)

1965年4月,西方国家财团组成的“国际卫星通信组织”把第一代“国际通信卫星”(INTELSAT-I,简记为IS-I,原名“晨鸟”)送入静止同步轨道,正式承担国际通信业务。两周后,前苏联也成功地发射了第一颗非同步通信卫星“闪电”-I,进入倾角为 65° 、远地点为40000 km、近地点为500 km的准同步轨道(运行周期为12小时),对其北方、西伯利亚、中亚地区提供电视、广播、传真和一些电话业务。这标志着卫星通信开始进入实用与提高、发展的新阶段。

近几十年来,在国际通信、国内通信、国防通信、移动通信、广播电视等领域内,卫星通信迅速发展。到目前为止,全世界已建成和正在建立的卫星通信系统有四十多个。在静止轨道上的通信卫星一百多个,地球站数以千计。与此同时,人们对卫星通信的新体制、新技术继续进行广泛、深入的研究和试验,取得了很大的提高和发展。

1.3 军事卫星通信的工作频段

军事卫星通信的频率使用微波频段(300MHz~300GHz),其原因除了可获得通信容量大的优点之外,主要是考虑到卫星处于外层空间(即在电离层之外),地面上发射的电磁波必须能穿透电离层才能到达卫星;同样,从卫星到地面上的电磁波也必须穿透电离层,而微波频段恰好具备这一条件。

整个频段并不都适用于卫星通信,如何选择卫星通信的工作频段?选择工作频段时应考虑哪些因素呢?

选择工作频段时,首先要求电磁波传输衰减及其他衰减要小。当电磁波在地球站与卫星之间传播时,要穿过地球周围的大气层,会受到电离层中自由电子和离子的吸收,还会受到对流层中的氧、水汽和雨、雪、雾的吸收和散射,并产生一定的衰减。这种衰减的大小与工作频率、天线仰角以及气候条件有密切的关系。人们通过测量,得出了晴朗天气条件下大气衰减与频率的关系,如图1.4所示。

从图1.4中曲线可以看出,在0.5GHz以下,电离层中的自由电子或离子的吸收在信号的大气损耗中起主要作用,频率越低,损耗越严重,0.01GHz时损耗达100dB;而工作频率高于0.3GHz时,其影响小到可以忽略。

从图1.4中还可以看出,在0.5~10GHz频段,大气吸收衰减最小,称为“无线电窗口”。由水蒸气和氧分子吸收损耗衰减曲线可以看出,在15~35GHz频段,水蒸气分子吸收占主

要地位。与此同时，衰减还与地球站天线仰角有关。天线仰角越大，无线电波通过大气层的路径越短，则吸收产生的衰减越小，并且当频率高于10GHz后，仰角大于 5° 时，其影响基本上可以忽略。

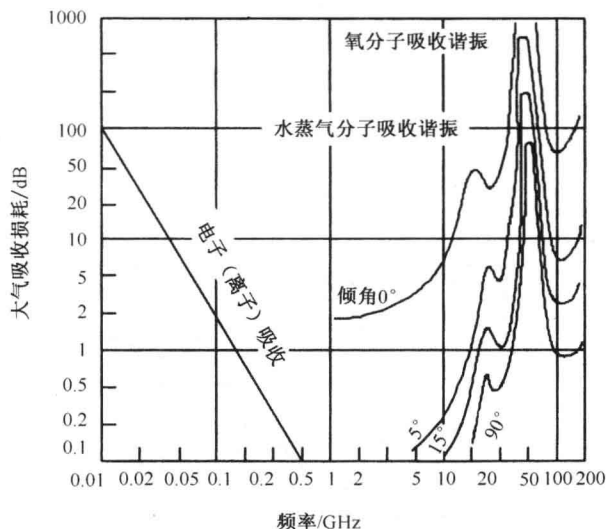


图 1.4 大气中电子、离子、氧分子、水蒸气分子对电磁波的吸收

另外，在30GHz附近也存在一个衰减低谷，称为“半透明无线电窗口”。

其次，天线接收的外界噪声要小。宇宙及大气噪声与频率的关系曲线如图1.5所示。

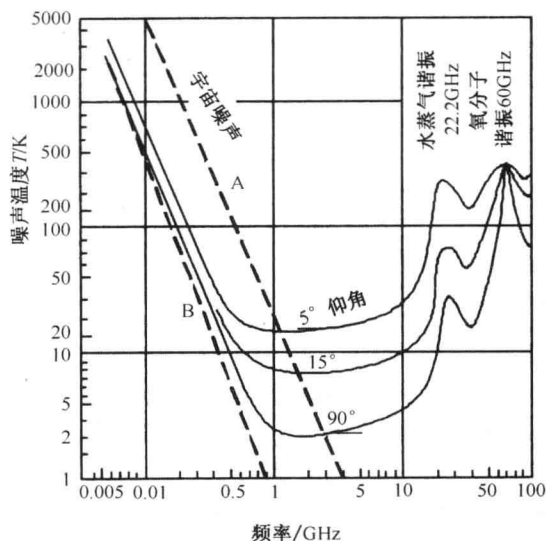


图 1.5 宇宙及大气噪声与频率的关系

宇宙噪声是指外空间星体的热气体及分布在星际空间的物质辐射所形成的噪声，它在

银河系中心的指向上达到最大值，通常称为指向热空，而在天空其他某些部分的指向则是很低的，称为冷空。

如图 1.5 所示，图中曲线 A、B 分别代表指向热空和冷空时的宇宙噪声与频率的关系。从图中可以看出，工作频率如果在 0.1GHz 以下，宇宙噪声会迅速增加。通常都希望它工作在 1GHz 以上，这时宇宙噪声和人为干扰对通信的影响都很小。

由前面分析可知，水蒸气分子和氧分子吸收衰减在 10GHz 以上时逐渐增大。因此，从降低接收系统噪声和大气衰减的角度来考虑，工作频段最好选在 1~10GHz 之间。

还应指出，在进行卫星通信系统设计时，大气层中雨、雾、云的影响也是应该考虑的。图 1.6 给出了雨、雾、云对电磁波的吸收衰减的关系曲线。

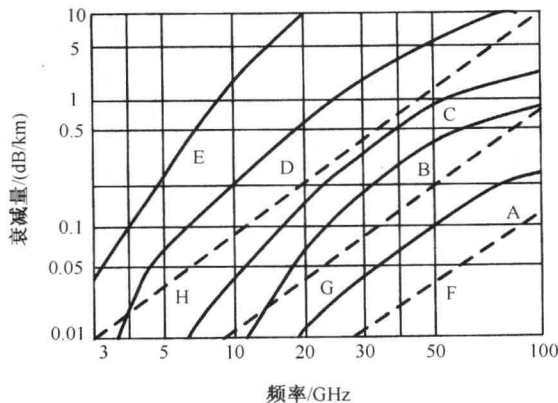


图 1.6 雨、云、雾引起的损耗

图中，实线为雨引起的衰减，虚线为云、雾引起的衰减。

- A: 0.25mm/h (细雨);
- B: 1mm/h (小雨);
- C: 4mm/h (中雨);
- D: 16mm/h (大雨);
- E: 100mm/h (暴雨);
- F: 0.032g/m^3 (视界 600m 以下);
- G: 0.32g/m^3 (视界 120m 以下);
- H: 2.3g/m^3 (视界 30m 以下)。

由图 1.6 可见，当工作频率高于 30GHz 时，即使是小雨，引起的衰减也不能忽略。当工作频率在 10GHz 以下时，则必须考虑中雨以上的影响。

除了上述两个方面以外，还应考虑如下要求：

- 有较宽的可用频带，以满足信息传输的要求；
- 与地面微波通信、雷达等其他无线系统间的干扰要小；
- 能充分利用现有的通信技术，并便于与现有地面通信设备配合使用；
- 设备尺寸要求。