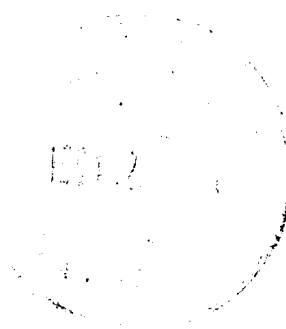


31201
224

卫星通信地球站设备丛书(2)

卫星通信天线、馈源、跟踪系统

沈民谊 蔡镇远 编著



人民邮电出版社

9410011

出版说明

为适应卫星地球站维护工作需要,我们将按卫星地球站设备组成组织出版“卫星通信地球站设备丛书”一套,包括《卫星通信天线、馈源、跟踪系统》、《地球站微波收发信机》、《地球站终端设备》、《地球站电源设备》四个分册。由于地球站种类较多,为兼顾各大、中、小型站,故侧重介绍各类站共性的内容。编写时,注意到既对属于早期但目前应用仍较多的设备加以叙述,也要对正在发展中的新技术以及新设备作介绍。希望这套丛书有助于提高设备运行的质量,并能起到开阔地球站工作人员视野的作用。

序 言

本书是卫星通信设备丛书之一,专门叙述卫星通信地球站天线、馈线、跟踪和伺服系统。读者对象是卫星通信地球站运行和维修人员、大专院校的师生。对从事卫星通信设计的工程技术人员也有参考价值。

本书与天线技术、微波技术等参考书不同之处是用卫星通信的术语来叙述天馈系统的定义,以定性的解释为主、数字表达式为次。对某些容易混淆的技术术语(如交叉极化隔离度(XPI)和交叉极化鉴别率(XPD),偏置天线和偏馈天线等)都作了明确的定义。根据卫星通信发展的要求,比较详细地讲述从单纯要求高效率天线演变到低旁瓣高效率天线,多波束技术,双频段技术;从单极化发展到频谱复用的双极化馈电系统;跟踪伺服系统也从初期的单脉冲体制演变到步进跟踪伺服系统为主的体制;介绍了实现低旁瓣和双极化具体有效的方法。特别是参数测量方法,都是作者本人经过实践行之有效的经验总结,书中还介绍作者的最新研究成果(高效率的双混合模馈源)。还用少量篇幅介绍星上天线系统。通过本书的学习,能使读者由浅入深地系统地了解卫星通信地球站的天线馈源、跟踪伺服系统。根据书中介绍的实例和实用数据,能对本系统中的主要部件进行设计计算、测定它们的指标,判别它们性能的优劣。

卫星通信是一门多科性的学科,它涉及到电子、机械、天文、地理、气象等各个领域,有些内容我们只能以资料形式放在附录中。卫星通信还在不断发展和完善,例如天馈系统向更高的频段发展,实现多波束、多频段以减少天线数量,降低成本。对此我们在书中提出一些新的看法和设想,供广大从事卫星通信的工程技术人员参考。

本书第一、二、七章和附录一～五由蔡镇远编写,第三、四、五、六、八、九章和附录六、七由沈民谊编写。在收集资料、整理文稿和绘制图稿过程中,曹伟丽、何贞卿给予了大力帮助,在此表示感谢。

由于作者水平有限,书中难免有错误和缺点,衷心希望广大读者批评指正。

作 者

1992.8

目 录

第一章 概 述

1.1 天线的功能	1
1.2 卫星通信地球站的发展趋势	1
1.3 地球站天线的技术指标	2

第二章 地球站天线主要电参数及其基本分析

2.1 电波的极化方式	4
2.1.1 当 $b=0$ 时的讨论	5
2.1.2 当 $b=1$ 时的讨论	5
2.1.3 当 $0 < b < 1$ 时的讨论	6
2.1.4 双线极化和双圆极化	6
2.2 交叉极化隔离度(XPI)和交叉极化鉴别率(XPD)	7
2.2.1 交叉极化分量	7
2.2.2 交叉极化隔离度(XPI)	8
2.2.3 交叉极化鉴别率(XPD)	8
2.2.4 交叉极化隔离度(XPI)和交叉极化鉴别率(XPD)	9
2.3 电压轴比(VAR)	9
2.3.1 地球站天线轴比,卫星天线轴比与合成轴比的关系	9
2.3.2 在轴轴比和离轴轴比	11
2.4 天线辐射场型	11
2.5 旁瓣特性	12
2.5.1 测量值的计算方法	13
2.5.2 旁瓣电平指标的评估方法	14
2.5.3 国际上对地球站天线旁瓣电平指标的若干规定	14

2.6	天线增益(G)	15
2.7	有效面积(A_e)	16
2.8	天线效率(η)	17
2.9	天线噪声温度(T_a)和系统噪声温度(T_{sys})	18
2.10	地球站品质因素(G/T_{sys})	20
2.10.1	各参考点处 T_{sys} 的计算	20
2.10.2	各参考点处 G 值的计算	23
2.10.3	各参考点处的 $[G/T_{sys}]_{dB}$ 值的计算	23
2.10.4	G/T_{sys} 、 G 、 T_{sys} 计算结果讨论	23

第三章 地球站天线

3.1	地球站分类及其天线的性能指标	25
3.2	地球站天线制式	26
3.2.1	前馈抛物面天线	27
3.2.2	双镜天线	28
3.2.3	成型双镜天线	28
3.2.4	偏置反射面天线	29
3.3	地球站天线制式和口径尺寸的选定	31
3.4	地球站天线的发展趋势	32
3.4.1	低旁瓣技术	33
3.4.2	平面型微带天线	40
3.4.3	多波束天线和多波段天线	41

参考资料

第四章 反射面天线的工作原理及设计方法

4.1	前馈型抛物面天线	45
4.1.1	费马原理与射线束管原理	45
4.1.2	抛物面天线的几何关系	46
4.1.3	抛物面天线的分析	48

4.1.4	天线的品质因素 G/T	50
4.1.5	抛物面天线的空间衰减 ($S.A.$)	51
4.1.6	前馈抛物面天线的最佳馈源照射	53
4.2	经典卡塞格伦天线	54
4.2.1	双曲面	54
4.2.2	卡塞格伦天线的参数	55
4.2.3	卡塞格伦天线的等效原理	56
4.2.4	卡塞格伦天线的空间衰减 ($S.A.$)	57
4.3	成型双镜天线的设计计算	58
4.4	格里高利天线	60
4.5	偏置反射面天线	61
4.5.1	前馈偏置抛物面天线	62
4.5.2	偏置卡塞格伦天线	66
4.5.3	偏置格里高利天线	67
4.6	重负载区使用的天线消冰装置	69
4.6.1	馈源加热系统	69
4.6.2	主反射面消冰系统	70

参考资料

第五章 空间段天线系统简述

5.1	卫星天线分类	73
5.1.1	全球波束	73
5.1.2	半球波束	74
5.1.3	区域波束	75
5.1.4	点波束	75
5.1.5	通信频段与天线形式的关系	75
5.2	对卫星天线的特殊要求	76
5.2.1	指向特性	76
5.2.2	星上天线交换系统	77

5.2.3	频率复用技术和多波束技术	78
5.2.4	消旋措施	78
5.2.5	重量限制	79
5.2.6	极限尺寸	79
5.2.7	高、低温要求	80
5.3	卫星天线的现状和发展	80
参考资料		

第六章 馈源喇叭及馈线系统

6.1	概述	84
6.2	馈源喇叭	85
6.2.1	馈源喇叭分类	85
6.2.2	馈源喇叭的选用	99
6.3	馈源喇叭与天线的配合以及失配造成的不良影响	100
6.3.1	喇叭天线的相位中心	100
6.3.2	喇叭相位中心纵向偏移对天线方向图的影响	101
6.3.3	喇叭相位中心横向偏移对天线方向图的影响	102
6.4	线极化馈线系统	103
6.4.1	单线极化馈线系统	104
6.4.2	双线极化馈线系统	106
6.5	圆极化馈线系统	110
6.5.1	90°移相器	110
6.5.2	单圆极化馈线系统	112
6.5.3	双圆极化馈线系统	112
6.6	去极化效应与极化校正系统	113
6.6.1	电波传播的极化效应	113
6.6.2	极化校正系统	114
6.6.3	极化校正系统的应用	118
参考资料		

第七章 天线和馈源、馈线系统的测量

7.1 地球站品质因数 G/T 值的测量	120
7.1.1 射电星测量所需的天文知识	121
7.1.1.1 射电星坐标位置的计算	121
7.1.1.2 射电星通量密度的计算	131
7.1.2 G/T 值表达式	138
7.1.3 G/T 值的射电星测量方法	141
7.1.3.1 测量原理	141
7.1.3.2 G/T 值测量方框图及测量仪器	141
7.1.3.3 测量步骤	142
7.1.3.4 注意事项	144
7.2 系统噪声温度(T_{sys})的测量	145
7.2.1 低噪声放大器(LNA)噪声温度(T_{LNA})的测量方法	145
7.2.1.1 测量原理	145
7.2.1.2 T_{LNA} 测量方框图及测量仪器	146
7.2.1.3 测量步骤	146
7.2.2 系统噪声温度(T_{sys})的测量方法	147
7.2.2.1 利用 Y 因子测量 T_{sys} 原理	147
7.2.2.2 T_{sys} 测试方框图及测量仪器	148
7.2.3 天线噪声温度(T_{af})和(T_a)的换算	149
7.3 天线功率增益(G)的测量	149
7.3.1 测量天线增益(G)的射电星方法	149
7.3.2 测量天线增益(G)的信标塔方法	150
7.3.2.1 测量原理	150
7.3.2.2 测量方框图及测量仪器	151
7.3.2.3 注意事项	152
7.3.3 测量天线增益(G)的卫星法	153

7.3.3.1	天线接收增益测量原理	153
7.3.3.2	天线接收增益测量方框图及测量仪器 ...	154
7.3.3.3	测量步骤	154
7.3.3.4	天线发射增益测量原理	155
7.3.3.5	天线发射增益测量方框图及测量仪器 ...	156
7.3.3.6	测量步骤	156
7.3.4	天线增益(G)测量的标准增益比较法	157
7.4	天线方向图的测量	157
7.4.1	信标塔法测量天线方向图	158
7.4.1.1	测试条件和原理	158
7.4.1.2	测量框图及测量仪器	159
7.4.1.3	测量步骤	160
7.4.2	接收卫星信标法测量天线方向图 ^{[10][11]}	161
7.4.2.1	测试原理	161
7.4.2.2	测量框图及测量仪器	162
7.4.2.3	测量步骤	162
7.4.3	协作地球站法测量天线方向图	163
7.4.3.1	测量原理	163
7.4.3.2	发射方向图测量方框图及测量仪器	166
7.4.3.3	发射方向图测量步骤	166
7.4.3.4	接收方向图测量框图及测量仪器	168
7.4.3.5	接收方向图测试步骤	169
7.4.3.6	使用协作地球站测量天线方向图时的数 据处理	169
7.5	回波损耗和电压驻波比的测量 ^[12]	171
7.5.1	回波损耗法	172
7.5.1.1	测量原理	172
7.5.1.2	测试框图及测量仪器	175
7.5.1.3	测量步骤	175

7.5.2	微波测量线法	176
7.5.2.1	测试原理	176
7.5.2.2	测量框图及测量仪器	179
7.5.2.3	测量步骤	179
7.6	天线端口隔离度的测量 ^[12]	181
7.6.1	收、发端口(T_X-R_X)隔离度的测量方法	182
7.6.1.1	测量原理	182
7.6.1.2	测量框图及测量仪器	185
7.6.1.3	T_X-R_X 隔离度测量步骤	185
7.6.2	T_X-T_X 、 R_X-R_X 端口隔离度测试方法	185
7.6.2.1	测试原理	185
7.6.2.2	R_X-R_X 和 T_X-T_X 端口隔离度测量方框图及 测量仪器	186
7.6.2.3	测量步骤	186
7.7	双极化地球站交叉极化隔离度(XPI)和电压轴比(VAR) 的测量 ^{[13][14][15]}	189
7.7.1	在轴轴比的测量方法	192
7.7.1.1	测量原理	192
7.7.1.2	测量框图及测量仪器	193
7.7.1.3	测量步骤	193
7.7.1.4	XPI 的测量举例	197
7.7.2	离轴轴比测量方法	198
7.7.3	不用协作地球站时,测试地球站交叉极化隔离度 (轴比)的方法	200
7.8	天线指向精度、跟踪精度和指示精度的测量	203
7.8.1	指向精度的测量方法	204
7.8.1.1	测量框图与测量仪器	204
7.8.1.2	测量步骤	204
7.8.2	光学经纬仪法测量跟踪精度	205

7.8.2.1	测量方框图及测量仪器	205
7.8.2.2	测量步骤	205
7.8.3	电平跌落法测量跟踪精度	207
7.8.3.1	测量框图及测量仪器	207
7.8.3.2	测量步骤	207
7.8.4	指示精度的测量	208
7.8.4.1	测量框图及测量仪器	209
7.8.4.2	测量步骤	209
7.8.5	天线定位精度简析	210
7.9	组合馈源散射方向图测试	210
7.9.1	测试原理	211
7.9.2	测试框图及测量仪器	212
7.9.3	测量步骤	213
7.9.4	举例说明	215

参考文献

第八章 跟踪、伺服系统

8.1	地球站的跟踪系统	217
8.2	单脉冲自动跟踪系统	219
8.2.1	经典单脉冲跟踪	219
8.2.2	高次跟踪模	224
8.2.3	跟踪模耦合器	229
8.2.3.1	方波导跟踪模耦合器	229
8.2.3.2	圆波导跟踪模耦合器	232
8.2.4	单脉冲跟踪接收机	233
8.3	步进式跟踪系统	237
8.3.1	记忆极值式跟踪系统	238
8.3.2	同一步式步进跟踪	242
8.3.3	双向搜索等调整步式步进跟踪	243

8.3.4	双向搜索变调整步式步进跟踪	246
8.3.5	微型电脑控制的步进跟踪	249
8.4	天线伺服系统	249
8.4.1	伺服系统原理	250
8.4.2	伺服元件的分类	252
8.4.3	伺服系统要考虑的几个问题	254
8.4.4	地球站伺服系统的指标	255
8.5	用微电脑控制的伺服系统	255
8.5.1	伺服系统的数字化	255
8.5.2	旋转变压器和多极旋转变压器	257
8.5.3	轴角编码器	262
8.5.4	步进电机	265
8.5.5	微电脑控制的伺服系统	265
8.6	12米天线站的步进式跟踪伺服系统	266
参考资料		

第九章 天馈与跟踪伺服系统的维护及故障分析

9.1	天馈、跟踪伺服系统的维护	271
9.1.1	定期维护内容	271
9.1.2	自然灾害后的检查	272
9.2	故障的分析和判断	272

附 录

附录一	蒲福风级表	274
附录二	指定卫星和指定地球站间的空间位置方位角(Az)和俯仰角(EI)的计算公式及其实用计算图表	276
附录三	地球站指向月亮的方位角和俯仰角的计算方法	279
附录四	国外对地球站天线的技术指标要求摘录	280
附录五	国内卫星通信地球站总技术要求(国家标准)	287

附录六 电磁场的安全标准.....	289
附录七 地球站 6GHz 发射频段最大允许偏轴 <i>EIRP</i> 值	292
参 考 文 献	

第一章 概 述

1.1 天线的功能

天线是地球站中最主要的设备之一,它是决定地球站质量(品质因素 G/T 值)的关键设备。大型地球站天线设备的投资约占整个站投资的三分之一。天线设备由天线、馈线和跟踪系统三个部分组成。天线是地球站信号的输出和输入,其功能是有效地使发射功率转换成电磁波(自由波)能量,并发射到空间去,同时也将空间接收到的极为微弱的电磁波(自由波)能量有效地转换为同频信号的高频功率馈送给接收机,在某种意义上说,天线就是一种电磁波能量与同频高频信号功率间的换能器。

根据天线的收、发互易定理,一副天线既可用作发射又可用作接收。实际上,地球站系统接收和发射功能都用一副天线来完成的,仅在馈线部分利用波导元件分别处理而已。同一副天线在同一个频率使用的情况下,不管用作接收还是发射,其电特性是完全相同的。所以在分析或测量天线参数时,只要对发射或接收的任一状态进行分析或测量就可以了。

1.2 卫星通信地球站的发展趋势

自 1968 年利用 IS-Ⅰ 卫星实现卫星通信以来,迄今已有 20 多年历史。相应地,地球站天线在技术上也有很大进展,即它从大口径天线逐渐向小口径天线发展,这是由于早期使用的通信卫星其下行功率 EIRP 较小、卫星通信技术还不够完善,故不得不借助于大口径天线的高增益来予以弥补,但却要付出高昂的代价。后来,随着卫星通

信技术的不断提高以及各国国内卫星通信系统的迅速发展,特别是近年来 TVRO 电视单收站的大量发展,迫使人们必须充分考虑地球站的投资,因此近年来,地球站天线的口径逐渐趋于小型化,从早期使用的 30 米口径的大天线逐渐趋于使用 10 米和 10 米以下口径的天线。我国国内卫星通信网就是采用以 18 米天线为中央站、10~12 米天线为区域站,6 米左右的天线为地方站的制式。

由于通信技术的飞速发展,最近国际上在数据通信地球站 (SATNET) 系统中采用了 $1.1\text{m} \times 1.8\text{m}$ 椭圆口径的偏置馈电超小型地球站天线。天线小型化对降低成本大量发展地球站通信业务是具有积极意义的。

1.3 地球站天线的技术指标

早期地球站天线的设计主要是取得尽可能高的效率以得到最大的天线增益 G ,而近年来对天线的指标要求不仅是高增益,而且更重要的是低旁瓣电平特性,这是因为卫星通信的迅速发展,各国要求发射的同步通信卫星数目剧增,而赤道平面同步轨道资源非常有限,要增加卫星数目,必然缩小卫星在轨道上的间隔,由此将引起地球站以及邻星间相互干扰问题,这种干扰的大小主要由地球站天线旁瓣特性所决定,所以国际上对地球站天线旁瓣电平的指标提出了越来越严格的要求。如早期国际卫星组织 (INTELSAT) 对地球站天线宽角旁瓣电平要求分别为相对波束中心最大增益 -26dB (接收) 和 -29dB (发送)。后于 1977 年 8 月 INTELSAT 董事会文件 BG-28-72 规定在 $1^\circ \leq \theta \leq 48^\circ$ 范围内宽角旁瓣电平应满足下式的包络指标要求:

$$G(\theta) = 32 - 25\lg\theta \quad (1.1.1)$$

式中: θ 为偏离天线最大辐射方向的角度。1982 年 CCIR 第 15 届全会上提出,在天线直径 D 与工作波长 λ 之比 $D/\lambda \geq 150$ 的地球站天线从 1987 年 1 月 1 日起,在 $1^\circ \leq \theta \leq 20^\circ$ 范围内,宽角旁瓣电平应满足下式包络指标要求:

$$G(\theta) = 29 - 25\lg\theta \quad (1.1.2)$$

对双圆极化通信制式的地球站天线来说,还必须满足交叉极化隔离度 $XPI \geq 30.7\text{dB}$ 的指标要求,这是为实现频率复用,避免正交圆极化同频信道间的相互干扰,以保证高质量卫星通信所必须的。因此,对地球站天线设计者和维护人员来说,必须充分考虑提高新一代天线技术指标和努力改造现有地球站天线的技术性能,以使达到国际上规定的技术指标要求(要求现有地球站天线的 $XPI \geq 27.3\text{dB}$)。