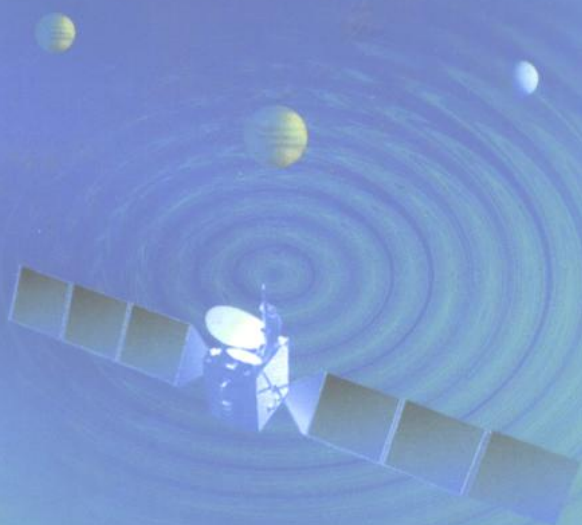




卫星系统 通信测试

殷琪 编著



人民邮电出版社

卫星通信系统测试

殷 琪 编著

人民邮电出版社

内 容 提 要

本书从实际应用角度出发,系统地介绍卫星通信系统的各种测试技术。内容包括天线测试、波导测试、高功率放大器测试、低噪声放大器测试、变频器测试、卫星地球站系统联测、IDR 系统测试、卫星电视系统测试等。对每种测试详细介绍其测试目的、测试方法、技术指标、仪表配置和测试步骤,并有部分测试结果图形。

本书内容深浅适宜,实用性强,可供从事卫星通信地球站施工、验收、操作维护和管理工作的工程技术人员阅读,也可供大专院校相关专业师生参考。

卫星通信系统测试

殷 琛 编著

责任编辑 陈万寿

*

人民邮电出版社出版发行
北京崇文区夕照寺街 14 号
北京朝阳区展望印刷厂印刷
新华书店总店北京发行所经销

*

开本:850×1168 1/32 1997 年 1 月 第 1 版
印张:11.875 1997 年 1 月北京第 1 次印刷
字数:311 千字 印数:1—3 000 册

ISBN7-115-06305-2/TN·1129

定价:18.00 元

前 言

卫星通信是当今通信领域中的一个重要组成部分,由于它具有多址能力,网络灵活,能适应业务量和网络结构的变化,覆盖面积大,不受距离和地理条件限制等特点,近年来在我国得以迅猛发展,成为改善国际、国内通信面貌的一个重要手段。

随着卫星通信的发展,卫星通信地球站的测试和仪表使用就显得尤为重要,鉴于地球站的测试项目多,涉及到基本概念多、测试原理多、使用的仪表种类多等特点,本书试图从实际出发,结合当前卫星通信发展水平,结合卫星通信的基本原理,系统地介绍地球站设备测试、系统测试、入网验证测试以及各种业务的开通测试,着重介绍上述各种测试的物理意义、技术指标、基本理论和实际测试方法以及使用仪表。

本书共分九章。第一章概述,简要地介绍卫星通信系统组成、特点、传输方式、传输参数、链路估算和质量指标等。第二章天线测试,介绍地球站馈源网络、天线 G/T 值、天线增益、方向图、隔离度等测试。第三章波导测试,就地球站使用的波导系统的衰减和反射二项指标测试加以介绍。第四章高功率放大器测试,主要介绍输出功率、增益、互调、调幅—调相转换、剩余调幅、输出噪声和杂散等项目的测试。第五章低噪声放大器测试,介绍噪声温度、增益和互调测试,特别是介绍了三阶互调截止点的概念。第六章变频器测试,介绍了幅度频率特性、群时延特性和相位噪声测试,特别是根据目前数字卫星通信系统中对相位噪声的要求,介绍了相位噪声的概念以及在现场测试和维护中使用的频谱仪测量法。第七章地球站系统联测,分别介绍了地球站上、下行系统的联测等。第八章 IDR 系统测试,主要根据 SSOG 308 介绍 IDR 系统的开通测试。第九章卫星电视系统测试,主

要根据 SSOG 306 介绍调频电视系统的开通测试,特别是对视频电路、伴音电路测试作了详细介绍。本书还多次提到了用频谱分析仪通过测量已调 QPSK 信号频谱计算其功率的方法和用频谱分析仪测量噪声密度的方法。

本书适用于从事卫星通信地球站施工、维护、管理工作的工程技术人员使用,也可供大专院校相关专业师生参考。本书介绍的测试方法也可供其它相关专业测试,如数字微波和视频测试参考。

借此机会,向所有给予作者帮助的人们致谢,特别感谢杜森、沙明舫、汤素娟、陈力同志的大力帮助。

本书的出版,得到了中国惠普有限公司的支持。

作 者

1996 年 4 月 10 日

目 录

| | |
|---------------------------|------|
| 第一章 概述 | (1) |
| 1.1 卫星通信系统简介 | (1) |
| 1.1.1 卫星通信系统组成和特点 | (1) |
| 1.1.2 卫星通信频段和频率再用 | (4) |
| 1.1.3 卫星通信地球站 | (6) |
| 1.1.4 通信卫星 | (10) |
| 1.2 卫星通信系统传输方式 | (13) |
| 1.2.1 频分多址方式 | (14) |
| 1.2.2 时分多址方式 | (18) |
| 1.2.3 码分多址方式 | (19) |
| 1.3 卫星通信系统传输参数和链路估算 | (20) |
| 1.3.1 卫星通信系统传输参数 | (21) |
| 1.3.2 链路估算 | (28) |
| 1.4 卫星通信系统的质量指标 | (31) |
| 1.4.1 模拟电话电路 | (31) |
| 1.4.2 数字电路 | (32) |
| 1.4.3 电视电路 | (35) |
| 1.5 地球站测试概述 | (36) |
| 第二章 天线测试 | (42) |
| 2.1 地球站天线简介 | (42) |
| 2.1.1 地球站天线主要种类 | (42) |
| 2.1.2 天线主要电参量 | (46) |
| 2.1.3 地球站天线系统测试概述 | (49) |
| 2.2 天线馈源网络测试 | (50) |

| | |
|------------------------------|-------|
| 2.2.1 端口驻波比测试 | (51) |
| 2.2.2 端口隔离度测试 | (55) |
| 2.3 线极化馈源极化器调整 | (57) |
| 2.4 G/T 值测试 | (62) |
| 2.4.1 射电星法测量 G/T 值 | (64) |
| 2.4.2 替代法测量天线 G/T 值 | (72) |
| 2.4.3 频谱仪法直接测量 G/T 值 | (77) |
| 2.5 天线增益测试 | (81) |
| 2.5.1 射电星法测量天线增益 | (82) |
| 2.5.2 卫星法测量天线增益 | (82) |
| 2.6 天线方向图测试 | (86) |
| 2.6.1 地球站天线旁瓣特性 | (87) |
| 2.6.2 天线同极化方向图测试 | (89) |
| 2.6.3 天线交叉极化方向图测试 | (97) |
| 2.7 交叉极化隔离度测试(离轴轴比测试) | (101) |
| 2.7.1 天线发射交叉极化隔离度测试 | (103) |
| 2.7.2 天线接收交叉极化隔离度测试 | (108) |
| 2.8 发射 $EIRP$ 及频率稳定度测试 | (110) |
| 第三章 波导测试 | (112) |
| 3.1 波导 | (112) |
| 3.1.1 矩形波导 | (113) |
| 3.1.2 矩形波导的主要传输特性 | (115) |
| 3.1.3 波导中的行波与驻波 | (117) |
| 3.2 波导损耗测试 | (120) |
| 3.2.1 直接测量法 | (120) |
| 3.2.2 扫频法 | (122) |
| 3.3 波导驻波比测试 | (126) |
| 第四章 高功率放大器测试 | (131) |
| 4.1 高功率放大器简介 | (131) |

| | |
|--------------------------------|--------------|
| 4.1.1 速调管功率放大器 | (131) |
| 4.1.2 行波管功率放大器 | (134) |
| 4.2 输出功率和增益测试 | (138) |
| 4.2.1 输出功率测试 | (138) |
| 4.2.2 增益测试 | (140) |
| 4.3 增益—频率特性测试 | (142) |
| 4.3.1 增益—频率特性测试原理 | (142) |
| 4.3.2 速调管放大器增益—频率特性测试 | (143) |
| 4.3.3 行波管放大器增益—频率特性测试 | (146) |
| 4.4 互调失真测试 | (148) |
| 4.4.1 互调失真 | (149) |
| 4.4.2 互调失真测试 | (151) |
| 4.5 调幅—调相转换特性测试 | (154) |
| 4.5.1 调幅—调相转换特性 | (154) |
| 4.5.2 调幅—调相转换系数 K_p 测试 | (156) |
| 4.6 功率放大器的其它测试 | (159) |
| 4.6.1 剩余调幅测试 | (159) |
| 4.6.2 输出噪声和杂散测试 | (161) |
| 第五章 低噪声放大器测试 | (164) |
| 5.1 低噪声放大器 | (164) |
| 5.1.1 参量放大器 | (165) |
| 5.1.2 低噪声场效应管放大器 | (167) |
| 5.2 增益—频率特性测试 | (169) |
| 5.3 噪声温度测试 | (172) |
| 5.3.1 等效输入噪声温度 | (172) |
| 5.3.2 噪声温度测试 | (173) |
| 5.4 互调失真测试 | (175) |
| 5.4.1 三阶互调截止点概念 | (176) |
| 5.4.2 互调失真特性测试 | (178) |

| | |
|---------------------------------------|-------|
| 第六章 变频器测试 | (181) |
| 6.1 变频器简介 | (181) |
| 6.2 变频器的幅度频率特性测试 | (187) |
| 6.2.1 幅度频率特性 | (187) |
| 6.2.2 变频器幅度频率响应特性测试 | (188) |
| 6.3 变频器群时延特性测试 | (190) |
| 6.3.1 群时延特性测量原理 | (190) |
| 6.3.2 变频器群时延特性测试 | (193) |
| 6.4 相位噪声测试 | (198) |
| 6.4.1 相位噪声 | (198) |
| 6.4.2 倍频振荡器中的相位噪声 | (203) |
| 6.4.3 变频器相位噪声测试 | (206) |
| 第七章 地球站系统联测 | (210) |
| 7.1 系统电平调整测试 | (211) |
| 7.1.1 系统电平 | (211) |
| 7.1.2 系统电平调测 | (212) |
| 7.2 <i>EIRP</i> 能力测试 | (216) |
| 7.3 上行功率电平稳定度测试 | (218) |
| 7.4 上行线路中频—射频幅度频率特性和群时延特性 测试 | (220) |
| 7.5 带外辐射测试 | (224) |
| 7.5.1 杂散辐射测试 | (225) |
| 7.5.2 上行互调产物辐射测试 | (228) |
| 7.6 上行系统相位噪声测试 | (232) |
| 7.6.1 上行系统相位噪声 | (232) |
| 7.6.2 上行系统相位噪声测试 | (233) |
| 7.7 下行系统联测 | (237) |
| 7.7.1 射频—中频幅度频率特性和群时延特性测试 | (238) |

| | |
|---|-------|
| 7.7.2 下行系统相位噪声测试 | (240) |
| 第八章 IDR 系统测试 | (243) |
| 8.1 IDR 业务简介 | (243) |
| 8.1.1 概述 | (243) |
| 8.1.2 IDR 的信道单元 | (246) |
| 8.2 INTELSAT SSOG 308 概述 | (254) |
| 8.3 $(C_0 + N_0)/N_0$ 与比特误码率间的关系测试 | (257) |
| 8.3.1 $(C_0 + N_0)/N_0$ 、 C_0/N_0 、 C/N 、 E_b/N_0 之间的相互 关系 | (258) |
| 8.3.2 $(C_0 + N_0)/N_0$ 与比特误码率间关系测试 | (262) |
| 8.4 输出频谱测试 | (271) |
| 8.4.1 调制器输出频谱测试 | (271) |
| 8.4.2 HPA 输出频谱测试 | (274) |
| 8.5 发射 <i>EIRP</i> 和频率测试 | (275) |
| 8.6 中频—中频幅度和群时延特性测试 | (279) |
| 8.7 接收缓存器测试 | (283) |
| 8.7.1 接收缓存器 | (283) |
| 8.7.2 接收缓存器测试 | (289) |
| 第九章 卫星调频电视系统测试 | (292) |
| 9.1 卫星调频电视系统 | (292) |
| 9.1.1 视频信号 | (293) |
| 9.1.2 卫星调频电视系统 | (296) |
| 9.2 卫星调频电视系统测试概述 | (299) |
| 9.3 调制器测试音频偏和插入增益测试 | (301) |
| 9.4 视频幅度/频率特性测试 | (308) |
| 9.5 视频线性失真测试 | (310) |
| 9.5.1 视频线性失真 | (310) |
| 9.5.2 视频线性失真测试 | (315) |
| 9.6 视频非线性失真测试 | (318) |

| | |
|------------------------------------|-------|
| 9.6.1 视频非线性失真 | (318) |
| 9.6.2 卫星信道视频非线性失真测试 | (324) |
| 9.7 视频噪声测试 | (326) |
| 9.7.1 视频噪声 | (327) |
| 9.7.2 视频噪声测试 | (328) |
| 9.8 伴音电路测试 | (333) |
| 9.8.1 伴音副载波频率和电平测试 | (335) |
| 9.8.2 伴音副载波电路测试音频偏和插入增益测试 | (337) |
| 9.8.3 伴音电路幅度频率特性测试 | (342) |
| 9.8.4 伴音电路非线性失真测试 | (345) |
| 9.8.5 伴音电路噪声测试 | (347) |
| 9.9 视频、伴音相互串扰测试 | (350) |
| 9.10 电视节目预传送测试 | (354) |
| 附录一 视频插入行信号 | (356) |
| 附录二 频谱分析仪及其噪声频谱测量 | (362) |

第一章 概 述

卫星通信是以卫星为中继站在两个或两个以上地球站间进行无线通信。从某种意义上说,可以把卫星通信看成微波通信的一个特例,它把地面上的微波中继站移到了空间。在卫星通信系统中传输的信号,如由地面传来的电话、数据、电视、广播等信号,首先在地球站上以适当的方式进行调制、变频、放大,再通过天线发向卫星,卫星接收到地球站发来的信号后,经变频、放大后再发回地面,由另一个地球站用天线接收下来,再经放大、变频以及适当的解调还原成原信号。这就是一个简单的卫星通信传输过程。地球站是组成卫星通信系统的一个重要部分。本书专门介绍有关卫星通信地球站测试,为了配合地球站测试的介绍,有必要先简要地介绍卫星通信系统的组成、特点、传输方式、传输参数和质量指标等内容,以便建立一个完整的概念。本章重点介绍上述内容,并简要介绍有关地球站测试的一些仪表。

1.1 卫星通信系统简介

有关卫星通信系统方面的内容有很多。本节将简要介绍卫星通信系统的组成、特点、工作频段、极化方式以及该系统中的两个重要部分,即地球站和卫星转发器。

1.1.1 卫星通信系统组成和特点

卫星通信系统是由一个(或多个)通信卫星和多个地球站组成的。如图 1.1 所示。它可以进行电话、电报、传真、数据、电视、广播等电信号的传输,是现代通信中的一个重要手段。

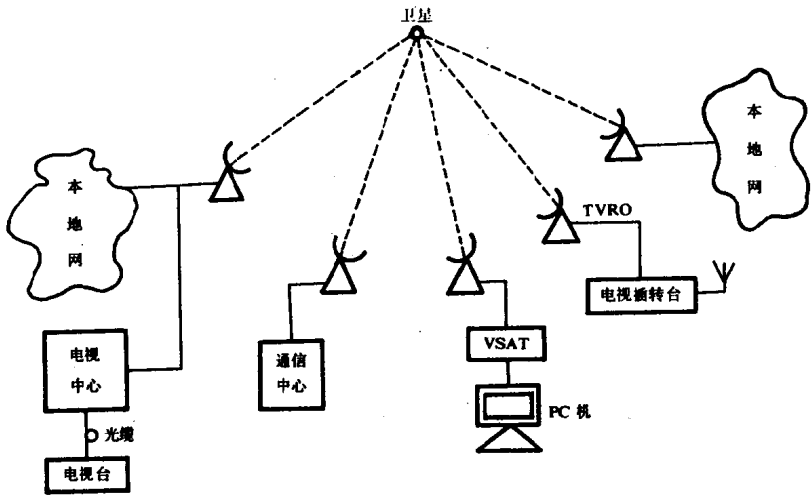


图 1.1 卫星通信系统

用于卫星通信的通信卫星很多。本书只涉及静止卫星。所谓静止卫星,是指具有圆形、运动方向与地球自转方向相同并且位于赤道平面上的轨道的地球同步卫星。它距地球表面的垂直距离约为 35800 km,卫星在轨道上运行的周期等于地球自转周期,所以从地球上观察到的卫星是相对静止的。但是由于许多复杂作用力的作用,静止卫星的轨道通常有比较小的偏离赤道平面的倾角(0.05°)和比较小的偏心率,故从地球上观察到的静止卫星每天有微小的“8”字漂移。尽管如此,在一定程度上仍可认为卫星是静止的。

如果在静止轨道上以 120° 等间隔配置三颗通信卫星,就可以覆盖除两极以外的地球表面地区,构成全球卫星通信系统如图 1.2 所示。对于由一个卫星波束覆盖不到的两个地球站间建立卫星通信连接的情况,可以借助在卫星波束重叠区的地球站作为中继站,经二次卫星转接,即所谓“双跳”实现不同覆盖区地球站间的通信。一般称从地球站到卫星转发器的传输链路为上行链路,从卫星转发器到地球站的传输链路为下行链路。一个上行链路和一个下行链路组成一条卫星链路。信号经过一次卫星链路传输称为一跳,信号经过两次卫星

链路传输称为双跳。

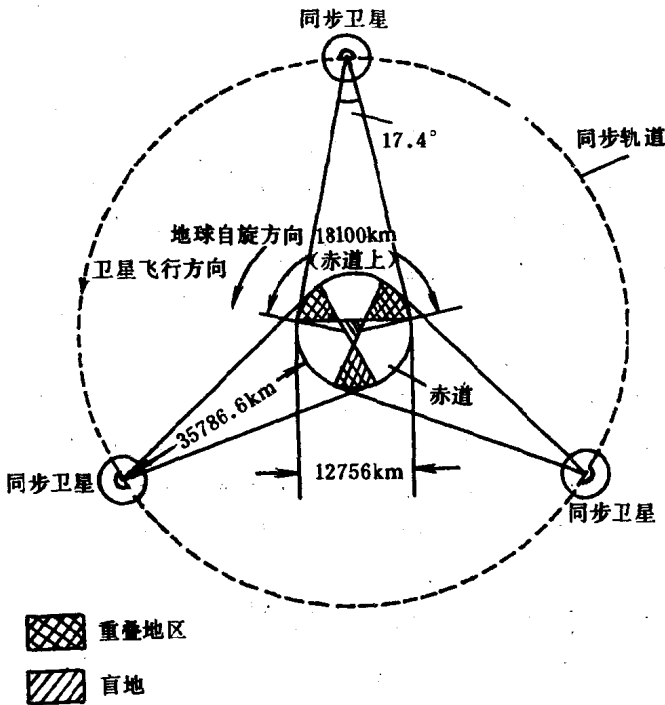


图 1.2 全球卫星通信系统

目前,国际卫星通信组织 INTELSAT 分别在太平洋、印度洋、大西洋等三大洋上空设置多颗静止卫星,构成全球卫星通信系统,供国际卫星通信使用。近年来,随着我国经济的发展,国内卫星通信事业进入了迅猛发展的阶段。我国成功地发射了多颗静止卫星,供国内卫星通信使用,同时也租用一部分国际通信卫星,用于国内卫星通信。

与其它通信方式相比,卫星通信具有如下特点:

(1)建设费用、维护费用与通信距离无关。卫星通信以卫星为中继站,只要在卫星波束覆盖区域内,地球站间不论距离远近,都可进行通信。而像光纤、微波、海底光缆等通信方式,其建设费用、维护费

用则与距离成正比。

(2)多址技术的应用是卫星通信的另一个突出特点。某一地球站发出的载波可被卫星覆盖区内的多个地球站同时接收,相应地某一地球站也可接收经卫星转发器发出的来自多个地球站的载波。

(3)机动、灵活、不受地面电路及地理位置的限制。不论所服务的地区多远多偏僻,只要在卫星覆盖区内均可建立地球站并投入使用。随着 VSAT、TVRO 等通信方式的发展,地球站更趋小型化,便于携带、安装。这一特点特别适用于自然灾害、战争以及偏远地区和稀路由的场合。

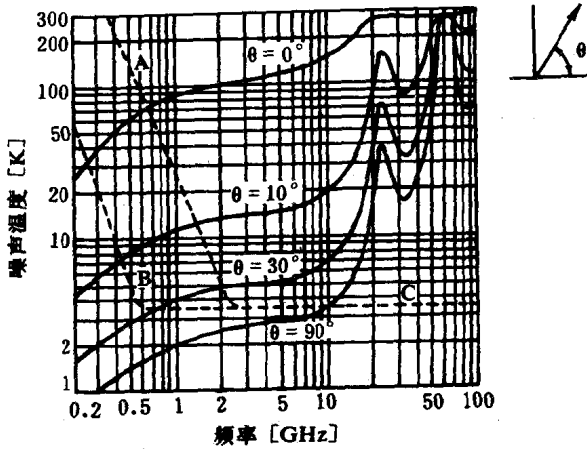
(4)卫星通信具有较大的时延。电波从地面传到卫星,然后再由卫星传回地面,这一传输时间大约需要 0.25 s。由于这一时延较大,对电话业务来说,如不采取措施,发话人就能听到自己的回声,感到不舒服。所以卫星电路均配有回声抑制或回声取消装置。另外这一时延对某些实时数据传输也有一定影响。

(5)由于卫星距离地面十分遥远,使得自由空间传播损耗非常大,因此必须采用下列措施加以补偿:提高发信功率,提高接收机灵敏度,采用高增益天线。

1.1.2 卫星通信频段和频率再用

由于电离层的反射和吸收,用于宇宙通信的电波频率必须大于 100 MHz,同时对于高于 10 GHz 频率的电波,由于云层、降雨以及大气层的吸收,也会受到较大程度的衰减。另外宇宙空间的噪声,特别是银河系产生的噪声在 1 GHz 比较大。因此适用于宇宙通信的频段为 1 GHz~10 GHz,这段频率一般称为无线电窗口,如图 1.3 所示。根据无线电规则分配的频率,目前大多数卫星固定业务使用 6 GHz 和 4 GHz 频段(C 频段)。同时,因采用了相应的降雨补偿措施,有许多系统正在 14 GHz 和 11 GHz(或 12 GHz,Ku 频段)上建设或计划建设。INTELSAT 从它的第五代卫星起,配有 11/14 GHz 转发器,并开放商用业务。目前,一些国家和国际组织也在加紧 Ka 频段(30

GHz 和 20 GHz)的开发与利用。



虚线：宇宙噪声(A：最大值；B：最小值) 实线：具有入射角特性的大气噪声(C为各向同性3.5K宇宙背景噪声) CCIR Rep.205-2

图 1.3 无线电窗口

现阶段 INTELSAT 使用的频段有 C 频段和 Ku 频段。C 频段的上行频率为 5925 MHz 至 6425 MHz,下行频率为 3700 MHz 至 4200 MHz,共 500 MHz 带宽。从 INTELSAT 第六代卫星开始使用扩充 C 波段即 5850~6425 MHz/3625~4200 MHz,共 575 MHz 带宽。Ku 频段的上行频率为 14.0 GHz 至 14.5 GHz,下行频率为 10.95 GHz 至 11.20 GHz 和 11.45 GHz 至 11.7 GHz。

为了提高卫星通信频段的利用率,在卫星通信系统中采用了下列两种方式实现频率再用:

(1)波束分隔频率再用。利用卫星上不同波束方向的天线,实现频率再用,比如采用所谓半球波束,分别服务于东、西两个覆盖区,或采用所谓区域波束,分别服务于不同区域。

(2)极化分割频率再用。利用两个相互正交的极化波在同一频率、同一时间传送两组独立的信号,相互之间没有干扰。不同覆盖区域内的两个正交极化波の利用,可实现双重频率再用。

通常采用的正交极化方式有：正交双线极化波——两个相互正交的水平与垂直线极化波，正交双圆极化波——两个相互正交的左旋与右旋圆极化波。所谓线极化波是指电场强度合成矢量的端点随时间变化所描绘的轨迹是一条直线。如果将地面作为参考面，电场强度垂直于参考面的线极化波称为垂直极化波，电场强度平行于参考面的线极化波称为水平极化波。所谓圆极化波是指电场强度合成矢量的端点随时间变化所描绘的轨迹是圆。若以传输方向为参考，顺着传输方向看电场强度合成矢量端点顺时针旋转的圆极化波称为右旋圆极化波，电场强度合成矢量端点逆时针旋转的圆极化波称为左旋圆极化波。

当系统采用正交双极化应用时，必须要求卫星和地球站都具有一定的交叉极化隔离度，以防止极化间干扰。对于地球站来说，要求线极化的极化隔离度优于 35 dB，圆极化的极化隔离度优于 30 dB。

1.1.3 卫星通信地球站

一个典型的地球站构成如图 1.4 所示。其主要设备有天线设备（天线分系统）、高功率放大设备、低噪声接收设备、上/下变频设备和相应的调制解调设备。

1. 天线分系统

天线分系统包括天线机械系统、馈源及天线跟踪三部分。它是地球站的主要设备之一，直接决定着地球站的品质因素 G/T 值。天线的作用是将地球站的发射功率有效地转换成电磁波的能量，并发向卫星，同时将分布于空间卫星发出的极微弱的电磁波能量有效地转换成同频信号的高频功率馈送给接收机。它应具有高增益、低旁瓣、强辐射、低噪声等特点。根据天线收、发互易原理，一副天线既可用于发射，也可用于接收。事实上，地球站都是用一副天线同时完成收发功能的。

天线的机械系统包括主反射器、副反射器、底座、驱动齿轮和伺服系统。它的主要作用是完成电磁波的辐射和接收，提高天线增益。