

王文鸾 审

王明忠 赵兴生 林品祥 毛关炯 编著

中国通信学会主编 人民邮电出版社

工程技术 卫星通信地球站

通信工程丛书



通信工程丛书

卫星通信(2)

卫星通信地球站工程技术

王明忠 赵兴生 编著
林品祥 毛关炯
王文鸾 审

中国通信学会主编·人民邮电出版社出版

登记证号(京)143号

2106/27-17
内 容 提 要

本书从工程实用角度出发,就地球站的工程建设及运行维护等问题介绍了建站时应予以考虑的诸如选址、干扰、设备配置、供电、环境条件等事项;入网验证、不同业务开通时,应进行的测试项目和原理。还介绍了地球站的监控系统;卫星通信网的操作与协调;卫星系统的监控等。附录中还表列了国际卫星资料、业务电路参数、我国卫星参数、SSOG测试项目和使用仪表以及卫星倾斜轨道运用等资料。全书内容丰富,资料较新,且吸收了许多地球站实际工作人员的经验。适于从事地球站建设、维护和管理的技术人员阅读,也可供相关专业院、校师生参考。

通信工程丛书:卫星通信(2)

卫星通信地球站工程技术

王明忠 赵兴生 编

林品祥 毛关炯

王文鸾 审

责任编辑 李小曼

*

人民邮电出版社出版发行

北京东长安街27号

人民邮电出版社河北印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所经销

*

开本: 850×1168 1/32 1992年1月 第一版

印张: 12^{8/32} 页数: 196 1992年1月 河北第1次印刷

字数: 323千字 插页: 1 印数: 1 —1 000册(平)

1 —2 000册(精)

(平): ISBN7-115-04579-8/TN·485

(精): ISBN7-115-04580-1/TN·486

定价: 9.50元(平)

定价: 12.00元(精)

丛书前言

为了帮助我国通信工程技术人员有系统地掌握有关专业的基础理论知识，提高解决专业科技问题、做好实际工作的能力，了解通信技术的新知识和发展趋势，以便为加快我国通信建设、实现通信现代化作出应有的贡献，我会与人民邮电出版社协作，组织编写这套“通信工程丛书”，陆续出版。

这套丛书的主要读者对象是工作不久的大专院校通信学科各专业毕业生、各通信部门的助理工程师、工程师和其他通信工程技术人员。希望能够有助于他们较快地实际达到通信各专业工程师所应有的理论水平和技术水平。

这套丛书的特点是力求具有理论性、实用性、系统性和方向性。丛书内容从我国实际出发，密切结合当前通信科技工作和未来发展的需要，阐述通信各专业工程师应当掌握的专业知识，包括有关的系统、体制、技术标准、规格、指标、要求，以及技术更新等方面。力求做到资料比较丰富完备，深浅适宜，条理清楚，对专业技术发展有一定的预见性。这套丛书不同于高深专著或一般教材，不仅介绍有关的物理概念和基本原理，而且着重于引导读者把这些概念和原理应用于实际；论证简明扼要，避免繁琐的数学推导。

对于支持编辑出版这套丛书的各个通信部门和专家们，我们表示衷心感谢。殷切希望广大读者和各有关方面提出宝贵的意见和建议，使这套丛书日臻完善。

中国通信学会

前 言

卫星通信覆盖面积大，不受距离和地理条件的限制，同时频带宽，容量大，因而在国际通信领域内，已经成为必不可少的通信手段，并愈来愈多的用于国内通信。从60年代中期开始，用于商业通信以来，卫星通信已承担了80%以上的国际通信业务和全部的国际电视业务。进入70年代后，卫星通信在区域性和国内通信中的应用，又揭开了新的一页。80年代中期，VSAT和卫星移动业务的出现，又为卫星通信的发展和應用开拓了更为广阔的前景。预计90年代仍将是卫星通信蓬勃发展的时代。

我国自1974年开展卫星及卫星通信的研究工作以来，很快研制出了地球站的全套设备，也形成了一定规模的生产能力。1984年，我国成功地发射了第一颗静止通信卫星。尔后，又陆续地发射了多颗实用通信卫星。自1985年以来，已相继承担了两套中央电视台节目和两套教育电视节目的卫星转播，国土覆盖率已达80%以上，建立了超过两万台电视单收站。公用卫星通信网建自1986年，目前它已成为边远地区主要通信手段在“八五”期间，容量和通达地点将成倍增长。与此同时，各种专用网，如石油、电力等部门也已陆续建网。总之，卫星通信在我国正在迅速发展，并已成为重要的通信手段之一。

本书内容力求从实际出发，结合当前卫星通信发展水平，系统介绍有关卫星地球站的建设、维护、管理、测试等方面的技术问题。

全书共分六章，另有附录七个。第一章概述，简要地介绍地球站的分类和国际、国内通信用地球站的特点。第二章就地球站的建设问题，诸如站址的选择、设备的配置和选择、干扰的协调和处理

防护等均作了较详细的、切合实际的论述。第三章介绍了地球站的性能指标及其分配、主要指标的测试原理及方法，并重点讨论了入网验证测试和各种业务开通测试项目、指标及方法。第四章着重介绍了地球站的监测、控制系统的类型、基本结构、还举例了一种智能化的计算机监控系统。第五章以国际通信卫星组织为例介绍了卫星通信网技术与业务的管理和协调问题。第六章介绍了卫星通信系统的监控。主要论述了TTC&M站的构成、工作任务和星体参数、载波参数的测量，还概述了入网验证的任务和目的。本书还附有七个附录，它们是CCIR有关卫星能量辐射的限制、SSOG监测项目及使用仪表目录、IS系列卫星参数及业务参数、中国卫星的参数、国内卫星通信地球站总技术条件(GB11443.1)以及倾斜轨道运行(IESS-411)、地球站指向数据(IESS-412)。

本书由王明忠、赵兴生、林品祥和毛关炯四同志分工编写，由王文鸾同志审校补充。限于水平及时间、书中内容有欠妥及错误之处，敬请读者不吝指教。

编著者1991年元月

目 录

第一章 概述

- 1.1 地球站的分类..... (1)
- 1.2 国际通信卫星组织 (INTELSAT) 地球站的分类..... (3)
 - 1.2.1 分类标准 (4)
 - 1.2.2 各类地球站的特点及其应用 (5)
- 1.3 国内卫星通信系统用的地球站..... (14)

第二章 地球站的建设

- 2.1 站址选择..... (20)
 - 2.1.1 环境条件 (20)
 - 2.1.2 地面微波站对卫星通信的干扰 (29)
 - 2.1.3 降低干扰的一般方法 (63)
 - 2.1.4 干扰协调 (67)
- 2.2 地球站设备配置..... (68)
 - 2.2.1 不同类型地球站设备的配置 (68)
 - 2.2.2 机房设备布置 (97)
 - 2.2.3 供电 (102)
- 2.3 与地面网的接续..... (107)
 - 2.3.1 一般方法及要求 (107)
 - 2.3.2 地面中继传输方式 (108)
 - 2.3.3 地面中继接续方式 (110)

第三章 地球站性能的检验和维护

3.1 性能指标的分类.....	(120)
3.1.1 业务电路的指标	(120)
3.1.2 地球站通用指标	(124)
3.2 主要指标及其测试原理、方法.....	(126)
3.2.1 天线方向图	(126)
3.2.2 双极化天线的轴比	(131)
3.2.3 稳定度	(134)
3.2.4 天线增益.....	(135)
3.2.5 噪声温度和品质因数(G/T值).....	(136)
3.2.6 群时延	(140)
3.2.7 调制特性.....	(146)
3.2.8 噪声测量和白噪声加载试验.....	(148)
3.2.9 误码率.....	(150)
3.2.10 带外辐射	(153)
3.2.11 工程勤务电路(ESC)的测试	(155)
3.3 地球站的验证(入网)测试	(158)
3.3.1 验证前的准备工作	(158)
3.3.2 验证测试的项目	(160)
3.3.3 验证测试程序及相关事项	(160)
3.4 业务电路的开通测试	(163)
3.4.1 几种不同的开通测试	(163)
3.4.2 <i>FDM-MUX</i> (基带复用设备)的开通测试.....	(164)
3.4.3 <i>FDM/FM</i> 业务的开通测试	(168)
3.4.4 <i>TV/FM</i> 业务的开通测试	(179)
3.4.5 <i>SCPC</i> 系统的开通测试	(201)
3.4.6 <i>IDR/DCME</i> 业务的开通测试	(215)

3.4.7 TDMA/DSI系统的开通测试	(229)
3.4.8 VSAT	(249)
参考文献	(251)

第四章 地球站的日常维护与管理

4.1 运行管理的目的和内容	(253)
4.2 维护管理的内容	(255)
4.3 运行记录、报告的保存和分析	(256)
4.4 地球站的监视、告警和控制(MAC)系统	(258)
4.4.1 MAC系统的主要功能	(259)
4.4.2 MAC系统及MAC设备的分类	(260)
4.4.3 MAC的监控项目	(264)
4.4.4 选择MAC系统的原则	(266)
4.4.5 计算机化的MAC系统简介	(268)
参考文献	(276)

第五章 卫星通信网的操作协调

5.1 协调的必要性	(278)
5.2 INTELSAT组织机构	(279)
5.2.1 操作管理中心	(280)
5.2.2 协调指挥中心	(281)
5.3 主要的操作协调	(283)
5.3.1 技术协调	(283)
5.3.2 业务协调	(286)

第六章 卫星通信系统的监控

6.1 通信卫星的监控分系统	(290)
6.2 卫星通信电路的监控分系统	(298)
6.3 卫星转发器参数的测量	(303)

6.3.1	单载波饱和工作时,转发器输出与输入功率的测量	(303)
6.3.2	卫星转发器接收品质因数(G/T) _s 的测定	(308)
6.3.3	卫星天线方向图的测量	(309)
6.3.4	转发器本振频率稳定度的测量	(309)
6.3.5	转发器增益的测量	(310)
6.4	载波监测	(311)
6.5	对新地球站的入网验证	(312)
	参考文献	(313)
附录 I	辐射限制的国际规定	(314)
附录 I	<i>INTELSAT</i> 卫星参数和业务参数	(318)
附录 II	<i>SSOG</i> 测试项目总表	(350)
附录 IV	中国国内卫星通信地球站总技术要求(第一部分:通用要求)	(351)
附录 V	中国通信卫星的性能参数	(366)
附录 VI	<i>INTELSAT</i> 卫星的倾斜轨道运用	(369)
附录 VII	地球站指向数据	(379)

第一章 概 述

1.1 地球站的分类

根据国际惯例卫星通信系统分为两段，即空间段（电波传输通道及卫星）和地面段。地面段又包括地面收发系统及地面延伸电路。地球站就是安装地面收发系统的地方，是组成卫星通信系统的重要组成部份。

由于卫星使用的工作频率是微波、空间传输距离又很长，衰减很大（达200dB左右），故地球站要有很大的发射功率和接收很低电平信号的能力。因此，初期的地球站天线口径很大(30m)、低噪声放大器采用液氮致冷的参量放大器(18K)。

卫星通信的初期，只使用4/6GHz（C频段）、和调频(FM)技术、传送模拟电话和电视。随着卫星技术和通信技术的发展，通信卫星容量和功率越来越大，在轨卫星数量也越来越多，每颗卫星承担的业务种类也越来越多种多样。为了统一规格和便于衡量它们的性能指标并根据卫星所承担的业务范围，有必要对地球站进行分类。

根据不同业务标准和技术标准可对地球站进行不同分类。以业务标准分类时，又可按业务目的分成军用地球站、民用地球站、通信用地球站、广播用地球站、情报（信息）搜集地球站等。按业务系统的不同又分为国际通信卫星地球站、国际海事卫星地球站、航空导航地球站、国内（或区域性）卫星地球站和商务专用地球站及

气象卫星地球站、地球资源勘测卫星地球站、实验卫星地球站等等。按业务种类又可分为固定业务地球站、移动业务地球站、广播业务（包括单收）地球站、业余业务地球站，专网业务地球站、综合业务地球站等。还可进一步细分为频分多址站、时分多址站、单路单载波站等等。以上各种承担正常通信业务的站又可总称为业务站，以区别于专为对卫星系统（星体及业务）进行遥控、遥信、遥测及监视功能的监测及控制站（TTC & M站简称监控站）。

按技术标准有两种分类法：①按工作频段可分为C频段(4/6 GHz)站、Ku频段(14/12, 11GHz)站和Ka频段(30/20GHz)站。②按地球站品质因数(G/T)分类——由于各国自有不同分类法（如我国通信卫星体制有甲、乙、丙型站之分），但通常均沿用国际通信卫星组织(INTELSAT)的分类标准（即A, B, C, D, E, F, G, Z型标准站），这在下面还要作详细介绍。

除上述分类法外，按地球站安装方式可分为固定式和可移动式两类。固定式地球站的天线口径较大，它与设备一起均固定于地面设施中。可移动式地球站又可分为可搬迁式（包括车载式）和移动中可进行通信的真正移动式（船站、车站、飞机载站）两类。可搬迁式站的天线口径为6米以下，并制成便于运输的可拆卸（折叠）式，设备也装成便于集装箱式，便于迅速迁移和安装。移动式站则装在可移动载体上（车、船、飞机），天线口径更小（3m以下），设备也更紧凑，并可在移动状态下进行通信，但通信能力有限。

另外，还有一类分类法是，可直接安装于终端用户所在地的新型甚小口径及微小口径地球站（VSAT及USAT），前者天线口径为2.8m~1.2m，后者只有1.2m~0.3m，所用设备也很紧凑坚固，使用方便，不需日常维修。用户可以省去地面电路，直接通过它与主站及计算中心、数据库进行数据（语音）通信。这类站已广泛用于专用数据网，是办公室自动化的理想设备。

通常，对地球站还有大、中、小型的说法。这是一个模糊的概

念，既指天线口径的大小，又指承担业务种类或量的多少。随着技术和业务的发展，过去认为小型站（如7 m站）现在可能是中型站了；而过去认为大业务量的站，今天可能也认为只是中等业务量了。因此由严格的意义上说，不宜采用这种说法。

还要说明的是，通信卫星有位于对地静止同步轨道上的，也有位于低空轨道上的。利用这两种卫星进行通信的地球站其结构和要求也各不相同（主要在天线驱动和跟踪系统方面）。本书的论述是针对静止卫星通信用的地球站，但在主要原理和结构上、经过适当修正后也能适用于其它地球站。

1.2 国际通信卫星组织(INTELSAT)

地球站的分类

INTELSAT是最早建立卫星通信系统的组织，该组织拥有世界上最早、最大和最多的商用地球站。自1964年第一颗商用卫星开始，到1987年为止，已有156个国家和地区的约850座地球站遍布全球，其中约550座供国内卫星通信使用，约300座供国际卫星通信使用。

在它的发展初期，由于航天技术、卫星技术、地球站技术都处于初级阶段，同时使用领域、业务应用范围也不够广泛，因此，当时只有一种类型地球站，即 $G/T=40.7\text{dB/K}$ 的30米大型地球站。目前，这种地球站在INTELSAT系统中仍占相当比重的数量。它能最有效地利用卫星的频带和功率资源、优化系统性能，但因造价昂贵，对许多应用是不经济的。

20多年来，卫星通信技术迅速发展，例如卫星功率已从23dBW增加到35dBW左右，业务类别由单一的模拟调频制国际电话、电视发展到多种数字制的时分多址、中速数据、数据网、稀路由、按需分配等多种公众业务，以及以不同形式租用转发器来组建专用网

业务和国内网业务，再加上正在开发的卫星移动业务，呈现了一派百花齐放的局面。在技术上，已由模拟向数字过渡，各种调制、复用、多址技术与业务的组合已有上百种；频谱也由C频段发展到K频段，频率再用由1次到2次、3次，最多可达6次，大大地提高了频谱效率。凡此种种，都要求对地球站制定标准，以适应不同的业务需求。为此，INTELSAT陆续制定了相应的适合于各频段、不同业务需求的各种标准地球站的技术规范，到目前为止，已制定了A、B、C、D、E、F、G、Z等8种标准地球站的技术规范。随着技术发展、业务需求的增加，今后必将引入并制定更多种类地球站的标准。

1.2.1 分类标准

卫星通信的特点是，在一个卫星波束覆盖区内，任一地球站发射的信号经卫星转发后，所有的区内地球站均可收到。因此每个站必须严格遵照相应规定来发射信号，才能保证整个卫星系统协调工作，否则就会影响别的站或别的系统的正常工作。例如，载波频率不稳或偏移过大就会干扰相邻信号；发射电平过高，会导致转发器互调产物增加，破坏正常工作状态，而发射电平过低，又会影响电路质量；天线旁瓣过高，会干扰相邻卫星的工作等等。因此，为了确保本卫星系统及其它卫星系统的正常运转、高质量地传输各类业务信号和最有效地利用卫星频带、功率资源，INTELSAT对进入该组织卫星网的各种地球站，在技术性能和业务范围方面都制定了一整套技术标准（称为“INTELSAT地球站标准”，简称IESS）开通入网规范（称为“卫星系统操作指南”，简称SSOG）。由于其技术上的合理性和权威性，现已为大多数国家建立和运行卫星系统时所采纳并作为分类标准，它们成为实际上的国际性的规范。

在INTELSAT这些标准中，把技术性能指标按其是否影响其它系统和扰乱其它站的工作，或仅影响本电路的某些性能和质量而划

分为关键性的和非关键性(建议)的两类。符合这些标准的称为标准地球站;这些标准中的某些项目不作要求的站则称为非标准地球站。

关键性的性能要求,亦称必备特性(称为强制性规定),即为了确保系统正常运转,对于入网的地球站必须符合这些规定,否则将不准进网。此外,其它的性能要求,比如天线可控性、改变载频和EIRP的能力、更换地球站极化方向的能力、防止干扰的方法等,均为建议特性,这些特性是为了能高效利用卫星、保持地球站灵活运转并考虑系统未来发展所期望的。

不同频段的地球站,结构也略有差异;不同G/T值的地球站,对卫星功率要求也不同;不同用途的地球站,对其性能要求也不一样。因此,INTELSAT又将其标准地球站,按它们的G/T值大小、频段和用途等划分为A、B、C、D、E、F、G、Z八类标准地球站;其中D、E、F三类又细分为D₁、D₂、E₁、E₂、E₃、F₁、F₂、F₃几种,见表1.1。

1.2.2 各类地球站的特点及其应用

1.2.2.1 A标准地球站

目前,INTELSAT A标准地球站有两种类型,一为原有的 $G/T \geq 40.7 + 20 \lg \frac{f}{4} \text{ dB/K}$ 的A标准地球站;一为修订的 $G/T \geq 35.0 + 20 \lg \frac{f}{4} \text{ dB/K}$ 的A标准地球站(其中, f 为工作频率,以GHz为单位; K 为噪声绝对温度)。前者称为“原有A标准地球站”,后者称为“修订A标准地球站”。

原有A标准地球站是INTELSAT系统中最早的标准地球站。当时卫星(IS-1)的等效全向辐射功率(eirp)小(只有10dBW左右),为使卫星通信得以实现,必须采用30米天线和等效噪声温度为18K,

表 1.1

INTELSAT地球站

主要业务种类 ⁽¹⁾	国际全部	国际全部	国际全部	VISTA ⁽⁹⁾	
站 型	A ⁽¹¹⁾	B	C	D1	D2
IESS ⁽²⁾	(新)	201-1	202	203-2	204-1
	(旧)	BG-28-72	BG-28-74	BG3-28-73	BG-56-72E
标准号	(旧)	BG-28-72	BG-28-74	BG3-28-73	BG-56-72E
天线发射增益(dBi)	63/59	53.2	65.0	46.5	(53)
天线口径 ⁽³⁾ (m)	30/15~18	11	13	4.5 ⁽¹²⁾	11~13
跟踪方式	自动	自动	自动	固定 ⁽¹⁵⁾	自动
G/T值 ⁽⁴⁾ (dB/K)	40.7/35	31.7	39	22.7	31.7
eirp _{max} ⁽⁵⁾ (dBW)	79~95	63~85	75~92	56.6	52.7
工作频段 ⁽⁶⁾ (GHz)	T: 5.925~ 6.425 R: 3.7~4.2	T: 5.925~ 6.425 R: 3.7~4.2	T: 14~14.5 R: 10.95~ 11.2 11.45~11.7	T: 5.925~6.425 R: 3.70~4.20	
极化工作方式 ⁽⁷⁾	RHCP LHCP	RHCP LHCP	线极化	RHCP LHCP	
轴 比 ⁽⁷⁾	1.09/1.06	1.09/1.06	31.6	1.3	1.06

说
明

- (1) 主要业务种类指国际通用的 FDM/FM, TV/FM, TDMA, IDR, IBS, VISTA, INTELNET, SCPC 等“全部”业务,即可承担任何已有的业务和新业务。
- (2) IESS为“国际通信卫星组织地球站标准”的缩语
- (3) 天线旁瓣限制条件 ($D > 150\lambda$):
1988年以前站: $G = 32 - 25\lg\theta$, $1^\circ \leq \theta \leq 48^\circ$, $G = -10\text{dBi}$ $48^\circ < \theta$
1989年以后站 $G = 20 - 25\lg\theta$ $1^\circ \leq \theta \leq 20^\circ$, 其余不变
- (4) G/T值为4/11GHz的数值,对其它频率应加上修正量:
C频段(6/4GHz)站为 $20\lg f/4$; K频段(14/11, 12GHz)站为 $20\lg f/11$
- (5) eirp_{max}视各种业务及业务量不同。表列为常用范围。
- (6) 工作频段中,对C频段站,建议最好能覆盖3.625~4.200GHz和5.850~6.425GHz,在E型站中,随卫星型号(V, VA, VB, VI)和波束不同,接收频段也不同。

标准及主要特性表

IBS/INTELNET ⁽¹⁰⁾			IBS/INTELNET			INTE-LNET	国内网
E1	E2	E3	F1	F2	F3	G	Z
205-1			206			601 ⁽⁷⁾	602 ⁽⁷⁾
						BG-60-60	BG-52-75-1
			47.7	51.6	53.0	(14)	(14)
3.5 ⁽¹²⁾	5.5	8	4.5~5 ⁽¹²⁾	7.5~8	9~10	(14)	(14)
人工	人工	自动	固定	人工	自动		
25	29	34	22.7	27	29	(14)	(14)
56.7~86	54.5~83.7	49.3~76.6	50.4~82		75~91.2	(14)	(14)
T: 14.0~14.5 R: 10.95~11.20 (14/11,12) 11.70~11.95, 12.50~12.75			T: 5.925~6.425 R: 3.70~4.20 (6/4)			6/4, 14/11, 12	6/4, 14/11, 12
线极化 (Linear)			RHCP LHCP			RHCP LHCP Linear	RHCP LHCP Linear
31.6			1.09		1.06	(13)	(13)

(7) C频段为双圆极化频率再用方式, 正极化工作发左(LHCP)收右(RHCP)。

(8) 轴比: C频段为轴度比, K频段为电压比。

(9) VJSTA为稀路由业务, 采用CFM/FM/SCPC工作。

(10) IBS为商用业务, 系租用转发器组建的专用网(技术特性相似的公众业务称为IDR), INTELNET系小数据业务即VSAT业务, 小站天线为0.6~2.4m。

(11) A型站标准已修订, 1986年以前站称原有A型站, G/T为40.7dB/K, 天线口径30m, 1986年以后称修正A型站, G/T值35dB/K, 天线口径15~18m。

(12) 小口径天线 ($D \leq 100\lambda$) 的旁瓣指标为 $32-25\lg\theta$, $100 \frac{\lambda}{D} \leq \theta \leq 48^\circ$

(13) 若不需频率再用测轴比不做考核, 但建议圆极化时 ≤ 1.4 , 线极化时 $\geq 26\text{dB}$ 。

(14) 这些参数由使用者确定, 但须经INTELSAT批准才能使用国际卫星, 也不能造成对其它系统的干扰, 应符合CCIR有关规定。