

卫星通信地球站

实用规程

顾中舜 童咏章 等编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

卫星通信地球站 实用规程

顾中舜 童咏章 郭强华
马立波 董行健 杨雪梅 编著
宇天航 吕志波

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书针对卫星通信的实际应用情况,全面系统地阐述了卫星通信地球站的通用技术要求、链路及接口、入网测试流程及方法、性能测试方法、维护方法、运行管理模式等方面的内容。

本书是卫星通信专业技术人员和组织管理人员难得的实用工具书,可以作为培训教材,也可以作为工科院校通信专业的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

卫星通信地球站实用规程/顾中舜等编著. —北京:国防工业出版社, 2016.2

ISBN 978-7-118-11006-7

I. ①卫… II. ①顾… III. ①卫星通信地面站—技术规范
IV. ①TN927-65

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 218472 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)

腾飞印务有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 710×1000 1/16 印张 11 字数 214 千字

2016 年 2 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—6000 册 定价 69.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010) 88540777

发行邮购: (010) 88540776

发行传真: (010) 88540755

发行业务: (010) 88540717

前 言

卫星通信是现代信息传输的重要手段,它具有覆盖范围广、传输距离远、中间环节少、开通链路快、适合移动通信的特点。在全球通信、广播电视、导航定位及航天发射测控等各个领域都有着广泛的应用。卫星通信系统发展到现在,已形成了多星种、多制式、多频段、多业务种类的体系完备的复杂系统,要求卫星通信系统的设计、研制、建设、使用、维护维修及管理都必须严格遵循规范和规程。为了帮助卫星通信专业技术人员和组织管理人员了解卫星通信系统,掌握卫星通信系统通用技术要求、设备性能指标和测试方法,熟悉卫星通信网络组成和业务组织管理流程,提高卫星通信系统运行维护水平和组织管理能力,我们编写了本书。

本书第1章主要介绍卫星通信的基本概念、工作频段及发展简史。第2章主要介绍卫星通信地球站分类、组成、系统性能指标要求、设备指标及卫星通信网网管。第3章主要介绍卫星资源和频率分配原则、系统链路组成、连接要求、测试及调整。第4章主要介绍卫星通信地球站入网、开通测试流程及方法。第5章主要介绍卫星通信地球站系统、分系统测试方法。第6章主要介绍卫星通信地球站的维护设备及维护制度、方法。第7章主要介绍卫星通信地球站运行管理制度及工作流程。

本书体系完整、条理清楚、结构严谨、内容准确、材料翔实,具有很强的实用性和可操作性。

本书的作者均为多年从事卫星通信工作的专家和技术骨干,具有深厚的理论基础和丰富的实践经验。书中内容是作者十几年如一日,在总体规划设计、工程建设、组网测试、网络管理、岗位培训、值勤值班、运行维护及操作使用等工作中积累的经验总结,是作者多年心血的结晶。希望能对从事卫星通信工作的专业技术人员和组织管理人员提供有益的帮助。

在本书编写过程中,得到了刘培远、仝磊、梁猛、陈磊、李子昱、李晓芳、张文静、柳梅树等人的大力帮助,在此表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,书中疏漏和错误在所难免,敬请读者批评指正。

编著者

2015年12月

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 卫星通信基本组成	1
1.2 卫星通信系统分类	1
1.3 卫星通信业务	2
1.4 卫星通信频段划分	2
1.5 卫星通信发展简史	4
第 2 章 卫星通信地球站通用技术要求	5
2.1 概述	5
2.2 卫星通信地球站分类及组成	5
2.2.1 卫星通信地球站分类	5
2.2.2 卫星通信地球站组成	6
2.3 系统性能指标要求	7
2.4 设备指标	10
2.4.1 天馈伺服分系统	10
2.4.2 高功率放大器	13
2.4.3 低噪声放大器	14
2.4.4 上变频器	15
2.4.5 下变频器	17
2.4.6 调制解调器	18
2.4.7 室外单元 (ODU)	20
2.5 卫星通信网网管	21
2.5.1 功能要求	21
2.5.2 组成	22
2.5.3 主要技术指标	22
参考文献	23
第 3 章 卫星通信地球站链路和接口	24

3.1	概述	24
3.2	卫星频带资源和频率分配原则	24
3.2.1	卫星频带资源	24
3.2.2	频率带宽分配	25
3.3	系统描述	27
3.4	系统链路组成	28
3.4.1	MCPC 链路	29
3.4.2	DVB-S 链路	30
3.4.3	海事 IP 数据流链路	31
3.5	链路连接要求	32
3.5.1	设备基本参数	32
3.5.2	各种接口要求	34
3.6	时钟同步要求	36
3.6.1	原则	36
3.6.2	钟源选择	36
3.6.3	同步链路建立	36
3.6.4	卫星信道时钟影响的补偿	37
3.7	链路测试与调整	40
3.7.1	信道质量与 E_b/N_0 要求	40
3.7.2	本站检测	41
3.7.3	链路检测	41
3.7.4	信道误码率测试	42
3.7.5	业务接口检查	44
3.8	信道电平分配要求	44
3.9	技术参考	45
3.9.1	C/N 值转换与测量	46
3.9.2	常用射频电缆与波导技术参数	47
3.9.3	同轴电缆连接器	48
3.9.4	接入设备说明	49
	参考文献	49
第 4 章	卫星通信地球站入网测试流程及方法	50
4.1	概述	50
4.2	申请程序	50
4.3	入网测试	51
4.3.1	入网测试项目	51

4.3.2	测试方法	52
4.4	开通测试	62
4.4.1	简要说明	62
4.4.2	开通测试链路模型	62
4.4.3	开通测试前准备工作	63
4.4.4	测试项目	64
4.4.5	测试程序	64
4.5	测试报告	72
	参考文献	72
第 5 章	卫星通信地球站性能测试方法	74
5.1	概述	74
5.2	测试一般要求	74
5.3	系统测试	75
5.3.1	上行系统杂散测试	75
5.3.2	上行系统三阶互调电平测试	75
5.3.3	上行系统发射功率稳定度测试	76
5.3.4	上行系统发射频率稳定度测试	77
5.3.5	射频环误码率测试	77
5.3.6	下行系统 G/T 值测试	78
5.4	分系统测试	79
5.4.1	天伺馈跟分系统测试	79
5.4.2	高功率放大器测试	87
5.4.3	低噪声放大器测试	93
5.4.4	上变频器测试	96
5.4.5	下变频器测试	98
5.4.6	调制解调器测试	99
5.4.7	室外单元测试	107
5.4.8	卫通网管站测试	111
5.4.9	可靠性测试	112
5.4.10	温度测试	113
5.4.11	振动测试	113
5.4.12	冲击测试	114
5.4.13	湿热测试	114
	参考文献	115

第 6 章 卫星通信地球站维护方法	116
6.1 概述	116
6.2 卫星通信地球站应维护的设备	116
6.3 卫星通信地球站设备的维护制度	116
6.3.1 维护与检修原则	116
6.3.2 准备工作	117
6.3.3 维护与检测要求	118
6.4 天线	118
6.4.1 基本原理	118
6.4.2 固定站天线	118
6.4.3 车载天线	119
6.4.4 船载天线	120
6.4.5 机载天线	122
6.4.6 便携天线	122
6.5 高功放	122
6.5.1 基本原理	122
6.5.2 维护	122
6.6 低噪声放大器	123
6.6.1 基本原理	123
6.6.2 维护	123
6.7 变频器	124
6.7.1 基本原理	124
6.7.2 维护	124
6.8 室外单元	125
6.8.1 基本原理	125
6.8.2 维护	125
6.9 调制解调器	126
6.9.1 基本原理	126
6.9.2 维护	126
6.10 主要设备的维护项目和维护周期	127
参考文献	136
第 7 章 卫星通信地球站运行管理模式	137
7.1 概述	137
7.2 卫星通信地球站人员职责	137

7.3	卫星通信地球站管理制度	139
7.4	卫星通信地球站工作流程	144
7.4.1	专业岗位工作流程	144
7.4.2	日常值勤工作流程	145
7.4.3	卫星通信电路开通测试流程	146
7.4.4	卫星通信电路拆除流程	146
7.4.5	故障处置流程	147
7.4.6	技术状态变更流程	152
7.4.7	安全应急处置流程	153
7.4.8	卫星通信网检查流程	153
7.4.9	卫星通信地球站安全操作流程	154
	参考文献	154
	附录 卫星通信常用缩略语	155

第 1 章 概 述

1.1 卫星通信基本组成

卫星通信是地球上（包括陆地、海洋、大气层和临近外层空间）及空间的通信站之间利用人造通信卫星作为中继站而进行的一种通信方式。

卫星通信系统由通信卫星（空间段）、地球站、跟踪遥测指令系统和监测管理系统等组成，如图 1-1 所示。通信卫星主要起通信中继的作用，即所有地球站发出的信号均经过卫星进行中继。卫星通信地球站完成用户与用户间经卫星转发的无线电通信。跟踪遥测指令系统控制卫星准确进入指定轨道，并对在轨卫星的轨道、位置、姿态进行监测及控制。监测管理系统在卫星通信业务开通前对卫星参数进行在轨测试，在卫星通信业务开通后对卫星及地球站参数进行监测、控制及管理。

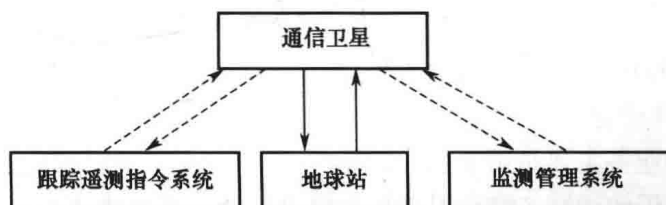


图 1-1 卫星通信系统的基本组成

由于跟踪遥测指令系统和监测管理系统不涉及卫星通信具体业务，因此习惯上将由卫星通信地球站和通信卫星组成的通信网络称为卫星通信系统。

1.2 卫星通信系统分类

卫星通信有多种分类方式，可按运行轨道、覆盖范围、多址方式、工作频段、业务类型等进行分类。典型的分类方法如图 1-2 所示。

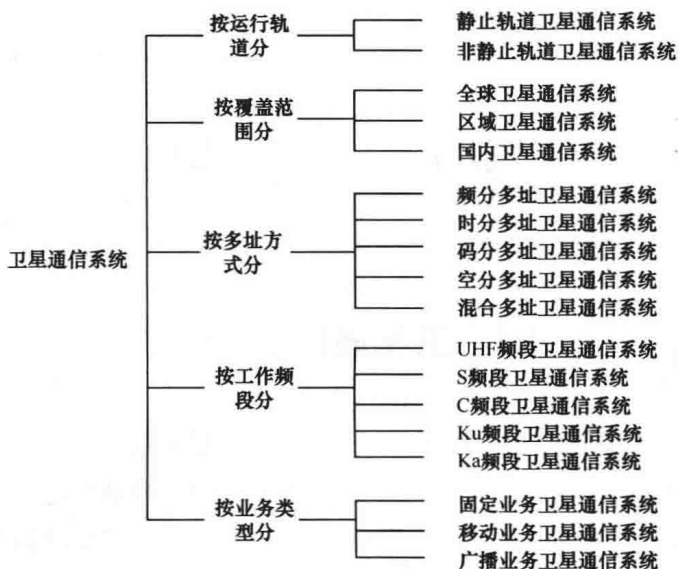


图 1-2 卫星通信系统分类

1.3 卫星通信业务

卫星通信业务分为固定业务、移动业务、广播业务。

1) 卫星固定业务

卫星固定业务是利用卫星给处于固定位置的地球站之间提供的无线电通信业务，该固定位置可以是一个指定的固定地点或指定区域内的任何一个固定地点。

2) 卫星移动业务

卫星移动业务主要是用于船只、飞机、车辆和个人等移动载体之间的通信，通信时卫星通信地球站（简称卫通站）可以移动。卫星移动业务还包含航天器与卫通站之间的通信业务。

3) 卫星广播业务

卫星广播业务利用卫星直接向用户进行电视节目和音频节目广播。卫星广播业务通常为单向业务，传输容量大，用户接收站较小，也有双向点播和互联网业务。广播卫星转发器的输出功率要比一般通信卫星转发器输出功率大得多。

1.4 卫星通信频段划分

无线电通信一般都通过电磁波传播实现，能传播的电磁波频谱资源如表 1-1 所列。

表 1-1 无线电波频谱资源

名称	中、长波、极长波	短波	超短波	微波	亚毫米波、红外、光波
频率	<3MHz	3~30MHz	30~300MHz	0.3~300GHz	>300GHz
主要应用	AM 广播、通信	广播、通信等	FM 广播、电视、通信	通信、广播、雷达等	

大部分卫星通信使用的工作频段都处在微波频率范围内，原因是只有在这些频段，才能提供足够大的带宽；而且当这些电磁波通过大气层时，不会被电离层所反射，这是卫星通信所必需的。微波频段，按无线电频率的习惯称呼又将其细分为：L 频段（1~2GHz）；S 频段（2~4GHz）；C 频段（4~8GHz）；X 频段（8~12GHz）；Ku 频段（12~18GHz）；K 频段（18~26GHz）；Ka 频段（26~40GHz）。微波频段命名如表 1-2 所列。

表 1-2 微波频段命名

微波频段命名	L	S	C	X	Ku	K	Ka
频率范围/GHz	1~2	2~4	4~8	8~12	12~18	18~26	26~40

卫星通信的工作频段以 1~10GHz 最为实用，这个范围的电波在大气中传播衰减较小，也常把这个频段称为卫星通信的无线电窗口。目前，C 频段、Ku 频段和 Ka 频段是静止卫星干线通信中应用最多的频段；X 频段是美军和北约的军用干线卫星通信频段；UHF 频段、L/S 频段和 EHF 频段也用于卫星通信。

国际电信联盟（ITU）对固定卫星通信（FSS）、移动卫星通信（MSS）、广播卫星通信（RSS）等通信业务使用的频段进行了划分和规定，如表 1-3 所列。

表 1-3 卫星通信业务频段划分

卫星通信业务	卫通链路上行/下行典型频率/GHz	使用频段
FSS	6/4	C 频段
	8/7	X 频段
	14/12	Ku 频段
	30/20	Ka 频段
	50/40	V 频段
MSS	1.6/1.5	L 频段
	30/20	Ka 频段
RSS	2.0/2.2	S 频段
	2.6/2.5	S 频段
	14/12	Ku 频段

1.5 卫星通信发展简史

1945 年, 英国的 Ather Clarke 提出可以用火箭把一颗静止人造地球卫星送到地球赤道上空约 36000km 处, 转播通信和电视信号的设想。1957 年 10 月苏联成功发射了第一颗人造地球卫星。1964 年, 美国成功地将一颗地球同步卫星发射到地球赤道上空约 36000km 处。1965 年第一颗商用同步卫星 INTELSAT I (或“早鸟”) 发射成功, 标志着商用卫星通信进入实用阶段。这时的卫星工作在 C 频段, 卫星通信地球站尺寸较大, 天线口径达 30 m, 采用模拟的调频 (FM) / 频分多址 (FDMA) 技术体制, 这是卫星通信发展的初期。

20 世纪 70 至 80 年代中期是卫星通信发展的成熟时期, 大功率卫星、Ku 频段投入使用, 卫星通信的应用以面向干线通信为主。进入 20 世纪 80 年代, 随着卫星功率的提高、集成电路技术、射频器件技术以及编码和调制等数字信号处理技术的成熟, 卫星通信的应用可以面向小型用户并得到了迅速普及。我国于 1970 年成功发射了“东方红”1 号人造地球卫星, 1984 年成功发射了我国第一颗同步通信卫星, 定点于东经 125°。

20 世纪 90 年代以“铱”系统为代表的低轨星座移动卫星通信系统, 代表了当时民用卫星通信技术的最高水平。由于光纤通信和地面蜂窝移动通信的崛起, 传统的国际、国内长途通信和陆地移动通信业务已不再属于卫星通信的主要领地, 整个卫星通信行业进入了低速增长期。

20 世纪 90 年代以后, 卫星通信扬长避短, 重又找到了自己的位置, 系统进行了革命性的升级换代, Ka 频段得到广泛应用。系统在两个方面的发展比较突出, 支持手持机的窄带移动卫星通信系统以及支持个人用户的宽带多媒体系统。

第 2 章 卫星通信地球站通用技术要求

2.1 概 述

本章给出了卫星通信地球站的分类及各类站通用技术要求，可作为卫星通信技术人员设计建设、使用和维护卫星通信地球站等方面工作的参考。

卫星通信地球站使用的环境及载体可分为陆地固定卫星通信地球站（简称固定卫通站）、车载卫星通信地球站（简称车载卫通站）、船载卫星通信地球站（简称船载卫通站），机（飞机）载卫星通信地球站（简称机载卫通站）。本章的要求适用于 C 频段、Ku 频段和 Ka 频段的固定卫通站、车载卫通站、船载卫通站、机载卫通站。

2.2 卫星通信地球站分类及组成

2.2.1 卫星通信地球站分类

目前，我国卫星通信地球站工作频率为 C 频段、Ku 频段和 Ka 频段（移动卫星通信系统除外），对于 C 频段、Ku 频段卫星通信地球站可以采用国际卫星通信组织已有的分类方法，对于近年拓展的 Ka 频段卫星通信地球站在本章中给出了分类建议。C 频段、Ku 频段和 Ka 频段卫通站统一按地球站的接收品质因数（ G/T ）值进行分类，C 频段、Ku 频段可划分为 A、B、C、D、E、F、H 等站型，Ka 频段是高频卫星通信频段，定义为 G 系列卫通站。卫星通信地球站分类见表 2-1。

表 2-1 卫星通信地球站分类表

标准站型	$(G/T) / (\text{dB/K})$	工作频率（发送/接收）/GHz	参考口径/m	备注
A	$\geq 35.0 + 20\lg(F/4)$	6/4	16.0~18.0	采用国际卫星组织分类
B	$\geq 31.7 + 20\lg(F/4)$	6/4	11.0~15.0	
C	$\geq 37.0 + 20\lg(F/11)$	14/11、14/12	11.0~13.0	
E-1	$\geq 25.0 + 20\lg(F/11)$	14/11、14/12	3.4~5.0	

(续)

标准站型	$(G/T) / (\text{dB/K})$	工作频率 (发送/接收) /GHz	参考口径/m	备注
E-2	$\geq 29.0 + 20\lg(F/11)$	14/11、14/12	5.5~7.5	采用国际卫星组织分类
E-3	$\geq 34.0 + 20\lg(F/11)$	14/11、14/12	8.0~10.0	
F-1	$\geq 22.7 + 20\lg(F/4)$	6/4	5.0~6.0	
F-2	$\geq 27.0 + 20\lg(F/4)$	6/4	7.3~8.0	
F-3	$\geq 29.0 + 20\lg(F/4)$	6/4	9.0~10.0	
H-1	$\geq 14.0 + 20\lg(F/4)$	6/4	1.5~1.8	
H-2	$\geq 15.1 + 20\lg(F/4)$	6/4	2.0~2.5	
H-3	$\geq 18.3 + 20\lg(F/4)$	6/4	3.0~3.8	
H-4	$\geq 22.1 + 20\lg(F/4)$	6/4	4.0~4.5	
K-2	$\geq 19.8 + 20\lg(F/11)$	14/11、14/12	1.2~1.8	
K-3	$\geq 23.3 + 20\lg(F/11)$	14/11、14/12	2.0~3.0	
V	$< 19.8 + 20\lg(F/11)$	14/11、14/12	< 1.2	本书建议分类
G-1	$< 8.0 + 20\lg(F/20)$	30/20	< 0.3	
G-2	$\geq 9.0 + 20\lg(F/20)$	30/20	0.35~0.5	
G-3	$\geq 12.0 + 20\lg(F/20)$	30/20	0.50~1.5	
G-4	$\geq 24.5 + 20\lg(F/20)$	30/20	2.0~3.0	
G-5	$\geq 32.5 + 20\lg(F/20)$	30/20	5.0~7.0	
G-6	$\geq 35.5 + 20\lg(F/20)$	30/20	7.0~9.0	

注: F 为卫通站工作频率, 单位 GHz

2.2.2 卫星通信地球站组成

卫星通信地球站主要设备组成一般包括天线、高功率放大器 (简称高功放)、上下变频器、低噪声放大器 (LNA)、调制解调器 (MODEM)、数据传输终端、监控单元、电源等设备, 但随着卫通站设备集成度的提高, 出现了不同的设备形态, 而且还在不断变化之中, 难以直接按设备来定义卫通站组成。按设备功能来定义卫通站的组成则具有普遍的适应性, 卫通站的基本组成可分为以下几种:

- (1) 天馈伺服分系统 (简称天线分系统);
- (2) 发射设备分系统 (简称发射分系统);
- (3) 接收设备分系统 (简称接收分系统);
- (4) 终端设备分系统 (简称终端分系统);
- (5) 监控分系统 (也称卫通网管站);
- (6) 电源分系统。

典型的卫星通信地球站组成方框图见图 2-1。

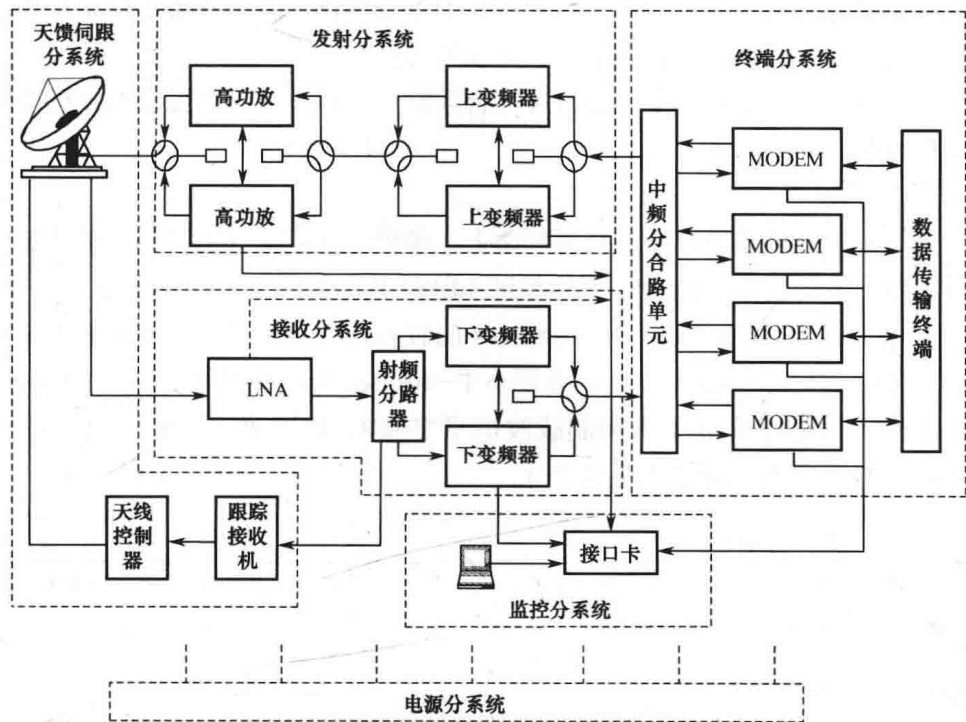


图 2-1 卫星通信地球站组成方框图

2.3 系统性能指标要求

1. 工作频率

目前我国卫星通信地球站主要工作于 C、Ku 和 Ka 频段，频率范围见表 2-2。

表 2-2 卫星通信地球站工作频率范围

工作频段	发射频率范围/GHz	接收频率范围/GHz
C	5.850~6.425	3.625~4.200
Ku	14.0~14.5	12.25~12.75
Ka	29.40~31.00	19.60~21.20

2. 电平分配

电平分配是指卫星通信地球站各参考点的电平。电平分配与地球站的业务、容量等指标有关。电平分配原则如下：

(1) 多载波工作的地球站，功放的输出回退要保证在 3dB（对固态高功放）

或 7dB (对行波管高功放) 以上;

(2) 各设备 (包括高功放、低噪放、上下变频器) 输入参考点的电平不能超过额定电平, 确保功放设备工作在线性状态;

(3) 各设备的增益或衰减器设置在合适的工作点, 保证各设备有足够的线性调整范围。

3. 带外辐射

在给定的载波带宽以外的任何频率上, 带外杂散辐射 (不包括互调产物) 的有效全向辐射功率 (EIRP) 不能超过 4dBW/4kHz。

对于信息速率小于或等于 2.048Mb/s 的载波, 杂散信号电平应低于未调制载波电平 40dB, 即杂散信号电平必须小于 -40dBc。当信息速率大于 2.048Mb/s 时, 杂散信号电平应低于未调制载波电平 50dB, 即杂散信号电平必须小于 -50dBc。杂散电平指标要求见表 2-3。

表 2-3 杂散电平指标

载波分类	工作频段/GHz	杂散电平/dBc	辐射 EIRP/ (dBW/4kHz)
符号速率 $R_b \leq 2.048\text{Mb/s}$	C 频段: (5.850~6.425)	≤ -40	≤ 4
符号速率 $R_b > 2.048\text{Mb/s}$	Ku 频段: (14.0~14.5) Ka 频段: (29.50~31.03)	≤ -50	≤ 4

4. 相位噪声

卫通站系统 (包括上行和下行支路) 连续的相位噪声不能超过图 2-2 给出的框架。在交流电源频率基波 (50Hz) 处的离散杂波成分相对载波电平不能超过 -30dBc, 所有其他单边带离散杂波成分之和相对载波电平不能超过 -36dBc。

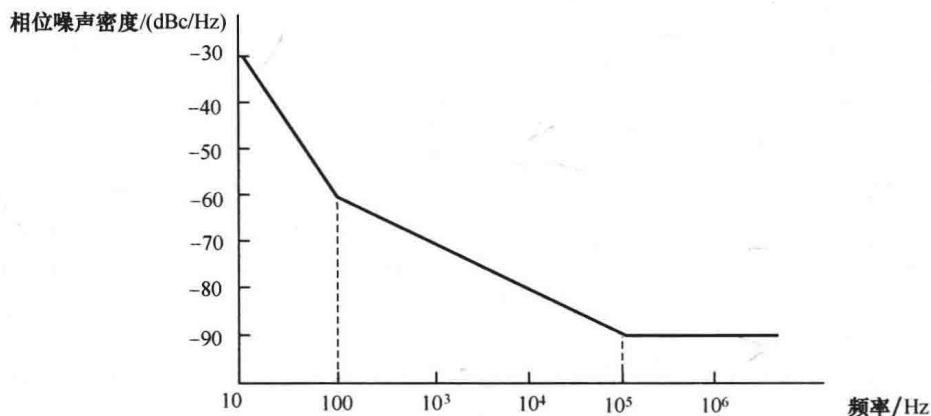


图 2-2 地球站系统 (包括上行和下行支路) 相位噪声限制框架图