

普通高等教育“十五”国家级规划教材

卫星通信导论

吴诗其 李兴 主编

www.phei.com.cn



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

普通高等教育“十五”国家级规划教材

卫星通信导论

吴诗其 李 兴 主编

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书主要介绍卫星通信的基本原理和技术,并结合系统组成介绍主要设备及当前所达到的水平,同时包括了卫星通信的一些新技术和典型的实际系统。本书的主要特点:1. 着重卫星通信基本原理和特有技术,对于诸如调制、编码等通用技术未作介绍;2. 包含了卫星通信最新发展的重要内容,如卫星移动通信、卫星通信中的互联网技术和宽带多媒体技术等;3. 结合系统组成,介绍了主要设备配置和当今达到的水平,介绍了当前或即将服务的典型卫星通信系统。

本书是普通高等教育“十五”国家级规划教材之一,适合作为高等学校通信与信息系统相关专业的相关课程的本科生教材,也可以作为通信相关技术人员的参考书。

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

卫星通信导论/吴诗其,李兴主编. —北京:电子工业出版社,2002.8

普通高等教育“十五”国家级规划教材

ISBN 7-5053-7772-8

I. 卫… II. ①吴… ②李… III. 卫星通信—高等教育—教材 IV. TN927

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 046211 号

责任编辑:徐 莹 章海涛

印 刷:北京天竺颖华印刷厂

出版发行:电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×980 1/16 印张:14 字数:290千字

版 次:2002年8月第1版 2002年8月第1次印刷

印 数:5000册 定价:18.00元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。
联系电话:(010)68279077

前 言

本书是普通高等教育“十五”国家级规划教材之一。本教材的主要对象是通信工程、计算机通信以及信息工程等专业的本科高年级学生，也可作为跨专业学生和工程技术人员的参考书。

本书是一本介绍卫星通信原理、技术和系统的基础性教材，包括卫星移动通信的内容，同时对卫星通信系统中的因特网业务及宽带综合业务的特殊问题和技术进行了讨论。书中还列举了当前正在运行的一些典型的卫星通信系统。

本书共分 9 章，内容包括：卫星通信系统概述，卫星通信网结构，链路传输工程，多址技术，星载和地球站设备，VSAT 系统，卫星移动通信系统，卫星通信系统中的互联网业务和宽带综合业务，以及典型卫星通信系统简介。第 1~7 章由吴诗其教授编写，第 8~9 章和全书的习题由李兴同志编写。

由于卫星通信涉及的面很广，而本书是以卫星通信基础性教材为宗旨编写的，因此难以包容更多的内容和进行更深层次的阐述。为了便于读者进一步的思考，在习题中包含了一些超出本书范围的参考习题，需要结合“通信原理”等课程的基础知识才能完成。

限于时间和水平，难免有错误和遗漏之处，希望读者不吝指正。

编 者

sqwu@uestc.edu.cn

xingli@uestc.edu.cn

目 录

第 1 章 卫星通信系统概述	(3)
1.1 卫星轨道	(3)
1.2 系统的组成	(5)
1.2.1 空间段	(5)
1.2.2 地面段	(6)
1.3 频率分配	(7)
1.4 卫星通信的特点	(9)
1.5 卫星通信的发展	(10)
习题一	(11)
第 2 章 卫星通信网结构	(13)
2.1 卫星通信网的一般特性	(15)
2.1.1 专用带宽业务	(15)
2.1.2 电路交换业务	(15)
2.1.3 分组交换业务	(16)
2.1.4 数据通信和协议	(17)
2.1.5 卫星通信系统的服务质量问题	(17)
2.2 点—多点网络	(20)
2.2.1 视频广播	(20)
2.2.2 数据广播	(20)
2.3 点—点网络	(21)
2.3.1 网状网	(22)
2.3.2 多种数字业务	(22)
2.4 VSAT 网	(23)
习题二	(25)
第 3 章 链路传输工程	(27)
3.1 星—地链路传播特性	(29)
3.1.1 自由空间传播损耗	(29)
3.1.2 链路附加损耗	(31)
3.2 卫星移动通信链路特性	(34)

3.2.1	衰落特性	(34)
3.2.2	多普勒频移	(36)
3.3	天线的方向性和电极化问题	(36)
3.3.1	天线增益和方向图	(36)
3.3.2	极化隔离	(38)
3.4	噪声与干扰	(39)
3.4.1	系统热噪声	(39)
3.4.2	宇宙噪声	(41)
3.4.3	外部环境干扰	(42)
3.4.4	其他干扰	(43)
3.5	卫星通信全链路质量	(43)
3.5.1	链路预算分析	(43)
3.5.2	接收系统的等效噪声温度	(44)
3.5.3	全链路传输质量	(45)
3.5.4	链路预算实例	(46)
3.6	信道对传输信号的损害	(48)
3.7	上、下行链路的 RF 干扰	(50)
	习题三	(52)
第 4 章	多址技术	(55)
4.1	频分多址技术	(57)
4.2	时分多址技术	(58)
4.2.1	TDMA 技术	(58)
4.2.2	子帧的捕获和同步	(60)
4.3	码分多址技术	(61)
4.4	三种多址技术的 RF 利用方式	(63)
4.5	ALOHA 方式	(64)
	习题四	(67)
第 5 章	星载和地球站设备	(69)
5.1	高功率放大器和低噪声放大器	(71)
5.1.1	高功率放大器	(71)
5.1.2	低噪声放大器	(72)
5.2	星载转发器	(74)
5.2.1	弯管式转发器	(74)
5.2.2	转发器的 EIRP 和 G/T	(76)
5.2.3	星载天线	(78)

5.2.4	数字处理转发器	(80)
5.3	通信地球站设备	(84)
5.3.1	射频部分	(85)
5.3.2	中频与基带处理部分	(87)
5.3.3	地面接口与陆地链路	(88)
5.4	其他类型的地球站	(92)
5.4.1	TT&C 地球站	(93)
5.4.2	TV 上行站和广播中心	(95)
5.4.3	TV 单收站	(96)
5.5	MSS 移动终端和信关站	(99)
5.5.1	移动终端	(99)
5.5.2	信关站	(100)
	习题五	(101)
第 6 章	VSAT 系统	(103)
6.1	VSAT 网络结构和地面设备	(105)
6.1.1	VSAT 网络结构	(105)
6.1.2	VSAT 系统的主站和小站设备	(106)
6.2	VSAT 数据网	(107)
6.2.1'	网络体系结构	(107)
6.2.2	多址协议	(107)
6.2.3	链路传输延时对用户接入协议的影响	(109)
6.2.4	VSAT 数据网的响应时间	(110)
6.3	VSAT 电话网	(111)
6.3.1	VSAT 电话网的特点	(111)
6.3.2	VSAT 电话网的 DAMA 方式	(112)
	习题六	(113)
第 7 章	卫星移动通信系统	(115)
7.1	引言	(117)
7.2	非静止轨道卫星系统	(118)
7.2.1	非静止轨道卫星系统的特点	(118)
7.2.2	相关特性的图表曲线	(119)
7.3	星座与星际链路	(123)
7.3.1	近地卫星轨道特征和太阳同步轨道	(124)
7.3.2	极轨道星座	(127)
7.3.3	倾斜轨道星座	(128)

7.3.4	中轨区域星座	(129)
7.3.5	星际链路	(130)
7.4	频率计划	(133)
7.5	实际系统简介	(136)
7.5.1	Iridium (铱) 系统	(136)
7.5.2	Globalstar (全球星) 系统	(139)
7.5.3	小 LEO 系统——Orbcomm	(140)
7.5.4	Inmarsat (国际移动卫星通信系统)	(142)
7.5.5	GEO 卫星蜂窝系统	(144)
习题七	(145)
第 8 章	卫星通信系统中的互联网业务和宽带综合业务	(147)
8.1	概述	(149)
8.2	TCP 在卫星系统中存在的问题及其对策	(150)
8.2.1	链路传输误码造成信息丢失的应对措施	(150)
8.2.2	传播延时对 TCP 连接带宽 (速率) 的影响	(152)
8.2.3	传播延时对拥塞控制和流量恢复性能的影响	(153)
8.2.4	改善链路长延时对 TCP 性能影响的途径 (1)	(157)
8.2.5	改善链路长延时对 TCP 性能影响的途径 (2)	(159)
8.3	IP over Satellite (卫星 IP 技术) 的主要研究方向	(161)
8.3.1	卫星 IP QoS	(161)
8.3.2	隧道技术 (tunnelling)	(162)
8.3.3	异构网络互联	(163)
8.3.4	与星座有关的路由问题	(164)
8.3.5	卫星移动组播管理	(165)
8.4	适合多媒体传播的卫星数据链路层技术	(166)
8.5	针对卫星链路的 Web 新技术	(168)
8.6	现有的卫星 IP 技术简介	(170)
8.7	一种典型的宽带卫星通信平台	(175)
8.7.1	DIRECWAY 的技术指标	(176)
8.7.2	DIRECWAY 的 IP 点对点通信	(177)
8.7.3	DIRECWAY 的 IP 组播通信	(177)
8.7.4	DIRECWAY 的优先级控制和安全机制	(178)
8.7.5	DIRECWAY 的应用系统举例	(179)
习题八	(181)
第 9 章	典型卫星通信系统简介	(183)

9.1 国际卫星通信组织 (Intelsat) 的 IBS 系统简介	(185)
9.1.1 地球站标准	(185)
9.1.2 传输参数	(185)
9.1.3 服务质量	(186)
9.2 热鸟系列广播通信卫星系统简介	(187)
9.2.1 卫星参数和覆盖特性	(188)
9.2.2 天丛 (Skyplex) 网络概念和结构	(194)
9.2.3 传输速率和接入模式	(196)
9.2.4 网络控制与管理	(196)
9.3 跟踪和数据中继卫星系统简介	(198)
9.3.1 跟踪和数据中继卫星的原理	(198)
9.3.2 跟踪和数据中继卫星系统发展简史	(198)
9.3.3 系统网络组成	(199)
9.3.4 TDRSS 卫星	(201)
9.3.5 TDRSS 的业务类型	(201)
9.3.6 新一代 TDRS H, I, J 计划的目标要求	(202)
习题九	(203)
缩略词	(205)
参考文献	(211)

第 1 章

卫星通信系统概述

本章介绍卫星通信系统中卫星轨道、系统组成、频段和系统特点等；卫星轨道较多采用卫星与地球站相对静止的静止轨道；系统由空间段和地面段组成，空间段包括卫星和对它进行监控的跟踪遥测和控制站，地面段由地球站和用户终端组成；目前常用 C、Ku 和 Ka 频段。

本章主要内容

- 卫星轨道
- 系统的组成
- 频率分配
- 卫星通信的特点
- 卫星通信的发展

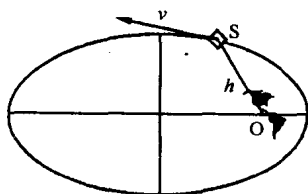
1.1 卫星轨道

在卫星通信系统中，卫星是通信的重要中继站。用于通信系统的卫星可以有不同的运行轨道，而不同轨道卫星的系统在网络结构、通信方式、服务范围和系统投资等方面均有较大的差异。因此，有必要首先简单介绍有关通信卫星的轨道的问题。

卫星通常围绕地球作无动力飞行，其轨道近似于椭圆，运动规律服从开普勒（Kepler）定律，图 1-1 给出了其示意图。卫星轨道具有如下特性：

- 卫星具有椭圆形轨道，地球是椭圆的一个焦点。
- 卫星在轨道上运动的过程中，单位时间内地心 O 与卫星 S 的连线扫过的面积（以轨道弧线为界）相等（参见图 1-1，图中 v 为卫星运行速度）。显然，卫星靠近地球时，运动速度较快；离地球较远时，运动速度较慢。
- 卫星运行周期的平方与它到地心距离的平均值的立方成正比，即

$$P_s = 1.659 \times 10^{-4} (6378 + h)^{3/2} \quad (1-1)$$



$$P_s = 1.659 \times 10^{-4} (6378 + h)^{3/2}$$

图 1-1 卫星运行的开普勒定律示意图

式中， P_s 为卫星运行周期，单位 min； h 为卫星离地面的平均高度，单位 km（地球半径为 6378 km）。对于圆形轨道来说， h 为卫星离地面的高度。

在卫星通信系统中，最常见的是圆形轨道，分为低轨（LEO, Low Earth Orbit）、中轨（MEO, Medium Earth Orbit）和静止轨道（GEO, Geostationary Earth Orbit，高度约 36000km）三类。LEO 系统的卫星高度范围为 500km~1 500km，相应的轨道周期约 1.6 小时~1.9 小时（h），而较高的轨道高度对应长的轨道周期。MEO 的轨道高度在 10000km 左右（周期约 6h）。在 2 000km~8 000km 的空间有一个由范伦（Van Allen）带形成的恶劣的电辐射环境，所以这一高度范围的空间往往不宜于卫星的运行。

卫星在轨道上运行时除受到地球（假定为理想球形）引力外，还将受到诸多非理想因素的影响而产生摄动，主要有地球形状不规则、大气阻力、太阳和月球引力等因素的存在等。对于 LEO 的近地卫星，前两种因素的影响是主要的。地球非球形产生的引力的变化，将使轨道面发生旋转和轨道长轴在轨道面内的转动（当轨道平面对赤道平面的倾角为 63.4° 时，长轴在轨道面内不再转动）；大气阻力将使轨道远地点不断降低，长轴缩短，运行周期减小，

同时偏心率不断变小, 轨道越来越圆。对于 GEO 卫星, 影响摄动的主要因素来自太阳和月球的引力, 而不存在大气阻力的影响。

处于一定高度的卫星将对地面形成一定范围的覆盖区, 卫星是覆盖区内用户之间进行通信的微波转发器。覆盖区的范围是以某一允许的最低仰角来定义的, 即覆盖区内用户对卫星的仰角都大于(或等于)某最低允许仰角。上世纪的卫星通信系统大多采用与地球上的观察者保持相对静止的 GEO 卫星。静止卫星的轨道在赤道平面内, 卫星绕地球一周的时间为一个恒星日(23 小时 56 分 4 秒), 此时卫星轨道高度是 35 786 km。一颗 GEO 卫星能以零仰角覆盖全球表面的 42%, 三颗经度差约 120° 的卫星, 能够覆盖除南、北极地区以外的几乎全球范围。地面用户利用地球站与卫星连接的链路进行通信, 从用户到卫星的距离至少 36 000 km, 微波链路设计应保证提供足够的接收信号功率, 而用户间单跳通信的信号传播延时可达 0.25 s。

由于摄动等非理想因素的影响, 卫星轨道是不稳定的, 必须加以控制, 比如, 为保持 GEO 卫星的定点精度, 需定期进行轨道修正; 太阳同步轨道(卫星经过某一特定位置的太阳光照条件相同)为保持其倾角和周期所实施的控制; 低轨道卫星为克服大气阻力, 延长轨道寿命所进行的控制等。通常, 称这种控制为轨道控制, 变轨和再入大气层控制不属于这种卫星在轨运行的轨道控制。按照控制力的来源, 可分为主动控制和被动控制两类。主动控制是依据所测试的轨道参数, 按一定规律产生控制指令, 执行指令将使星载发动机产生对卫星的控制力(矩)。被动控制利用空间环境或卫星动力学特性提供控制力, 而无需消耗卫星上的燃料。除轨道控制之外, 还必须对卫星的姿态进行控制, 实现并保持卫星在空间的定向, 以保证: ①卫星天线或传感器对准地面目标; ②卫星进行轨道控制时, 发动机应对准所要求的推力方向; ③卫星再入大气层时, 要求制动防热面对准迎面气流等。姿态控制与轨道控制一样, 有主动控制和被动控制两类。姿态稳定是保持已有姿态的控制。卫星姿态稳定有自旋稳定和三轴稳定两类, 前者依靠转动力矩保持自旋轴在惯性空间的指向; 后者利用主动或环境力矩, 保持星体三条正交轴线在某一参考空间的方向。目前, 采用三轴稳定的居多。

若卫星围绕地球旋转的周期与地球自转同步(称为同步轨道), 但由于诸多非理想因素的影响使轨道平面发生倾斜(不再保持在赤道平面内), 那么, 对于地球上的观察者来说, 卫星会在轨道的法线方向上产生漂移。商业应用的静止卫星系统不能允许大于 0.1° 的轨道倾斜(卫星在轨道法线方向上的飘移), 因为天线指向尖锐的大、中型地球站的跟踪能力是有限的。在卫星的寿命期内, 运行轨道的倾斜将受到卫星推进系统的控制, 并进行定期校正。

在一些文献资料中, 常将“静止轨道卫星”也称做“同步轨道卫星”。

轨道高度低于 36 000 km 的卫星, 围绕地球旋转的周期小于 24 小时, 统称为非静止轨道(NGEO, Non-GEO)卫星。由于卫星与地球上的观察点有相对运动, 为了保证对全球或特定地区的连续覆盖, 以支持服务区内用户的实时通信, 需要用较多数目的卫星组成特定的星座。比如, 低轨卫星移动通信系统“铱(Iridium)”的星座由 66 颗高度为 785 km 的卫星组成。低轨卫星的主要优点是信号传播距离短, 链路损耗小, 对用户终端的发射功率要求不高,

并且通信只有短的延时。但是，一颗低轨道卫星能为特定用户提供的服务时间也短（仅 10 分钟左右）。为保证通信的连续性，往往需要进行较频繁的切换。中轨卫星具有较长的运行周期，它为地球上某一地区内通信提供服务的时间以小时为计算单位，切换概率也较小。当然，其传播损耗和延时较 LEO 系统大，但比 GEO 系统小。

GEO 卫星的发射过程比较复杂，分为三个阶段，轨道需要进行倾角和形状的转变（从一个自由飞行段轨道转移到另一个自由飞行段轨道称为轨道转换）。在图 1-2 中示出了静止轨道卫星发射过程的轨道转换示意图。地面发射的卫星首先在 b 点进入 150km~300km 高度的圆形停泊轨道，该轨道通常为倾斜轨道（轨道平面与赤道平面夹角不为 0）。卫星的入轨点的速度矢量与地心径向矢量垂直，同时，速度满足所需轨道近地点速度的要求。末级火箭用于推动卫星从停泊轨道进入静止转移轨道（GTO, Geostationary Transfer Orbit）。GTO 为椭圆轨道，近地点为停泊轨道高度，远地点（图中的 a 点）为同步轨道高度（约 36 000km），周期 16 小时。远地点发动机将在 GTO 的远地点助推卫星从转移轨道进入 GEO 的圆形轨道，使近地点也升高到 36 000km 左右。通常，这一过程除完成轨道形状的转变外，将同时实现轨道倾角的转换（将倾斜的轨道平面转换为与赤道平面的零倾角要求）。

对于轨道高度较低的非静止轨道（NGEO）卫星，一般可直接发射进入预定轨道，避免了轨道转换的阶段。

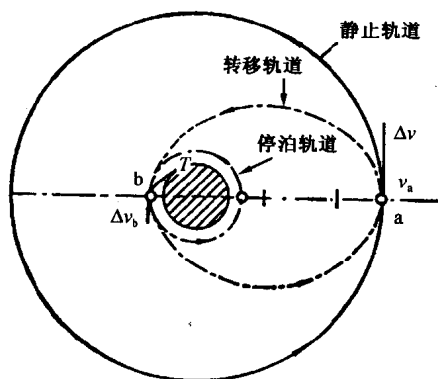


图 1-2 GEO 卫星的轨道转换

1.2 系统的组成

1.2.1 空间段

卫星通信系统由空间段和地面段两部分组成。空间段以卫星为主体，包括地面卫星控制中心（SCC, Satellite Control Center）及其跟踪、遥测和指令站（TT&C, Tracking, Telemetry and Command station）。在 TT&C 站与卫星之间有一条控制和监视链路，通常对卫星进行下

述几方面的监控:

- 在卫星发射阶段,一旦最后一级火箭释放,TT&C就必须对卫星进行跟踪和定位,并对天线和太阳能帆板的展开实施控制。
- 在系统运行过程中,对卫星的位置和轨道进行监测和校正,以便将轨道的漂移(倾斜)和卫星摄动控制在允许的范围内。在卫星寿命的最后阶段,轨道校正的星载燃料已基本耗尽,卫星应撤离服务岗位。GEO卫星通常的退役方法是利用剩下的少量燃料(如2kg)增加速度,使其轨道升高几千米,退役的卫星将永远停泊在该轨道上。当然,卫星上的转发器应予以关闭,以免干扰正常工作的GEO卫星。对于LEO卫星,如果不进行轨道校正,将由于大气阻力使轨道衰减,卫星最终会再进入大气层被烧毁。
- 星载转发器是卫星的有效载荷,也是通信系统的主要组成部分之一。SCC可以有独立于TT&C站的天线来对卫星转发器的输出以及整个空间通信分系统进行测试、监控,并对出现的故障进行检修。
- 对由于“双重照射”形成的地区性通信干扰问题进行监测。由于地球站或卫星在某个频率上错误地(可能是无意的,也可能是海盗行为,或是未经认可的卫星容量的使用)激活其发射机,对正常工作的卫星系统的覆盖区形成“双重照射”而引起严重干扰。TT&C必须迅速进行检测,探明干扰源所在,使正常业务受到的损害最小。

卫星星载的通信分系统主要是转发器,现代的星载转发器不仅仅是提供足够的增益(并包含从上行频率到下行频率的频率平移),而且具有(再生)处理和交换功能。

1.2.2 地面段

地面段应包含支持用户访问卫星转发器,并实现用户间通信的所有地面设施。用户可以是电话用户、电视观众和网络信息供应商等。卫星地球站是地面段的主体,它提供与卫星的连接链路,其硬件设备与相关协议均适合卫星信道的传输。除地球站外,地面段还应包括用户终端以及用户终端与地球站连接的“陆地链路”。当然,地球站应配备与“陆地链路”相匹配的接口(或网关)。但是,由于用户终端、“陆地链路”(通常为地面微波中继链路或光纤链路)及接口都是地面通信网的通用设备,所以地面段常常被狭义地理解为地球站。地球站可以是设置在地面的卫星通信站,也可以是设置在飞机或海洋船舶上的卫星通信站。图1-3示出了地球站通过“陆地链路”与地面网一个节点相连接的情况。

卫星通信业务有固定卫星业务(FSS, Fixed satellite Service)和移动卫星业务(MSS, Mobile Satellite Service)两类。与FSS有关的还有卫星广播业务(BSS, Broadcasting Satellite Service)。工作于低业务密度地区的一种小型通信地球站称为甚小天线口径终端(VSAT, Very Small Aperture Terminal),它能与个人计算机、电话或其他设备相连接。

FSS能在几兆赫带宽内支持不同的应用。当其在链路上(包括MSS和BSS链路)有提供不同业务的需求时,采用公共空中接口(CAI, Common Air Interface)是方便的。CAI的

概念已用于我国的 VSAT 专用网和巴西的农村电话网。

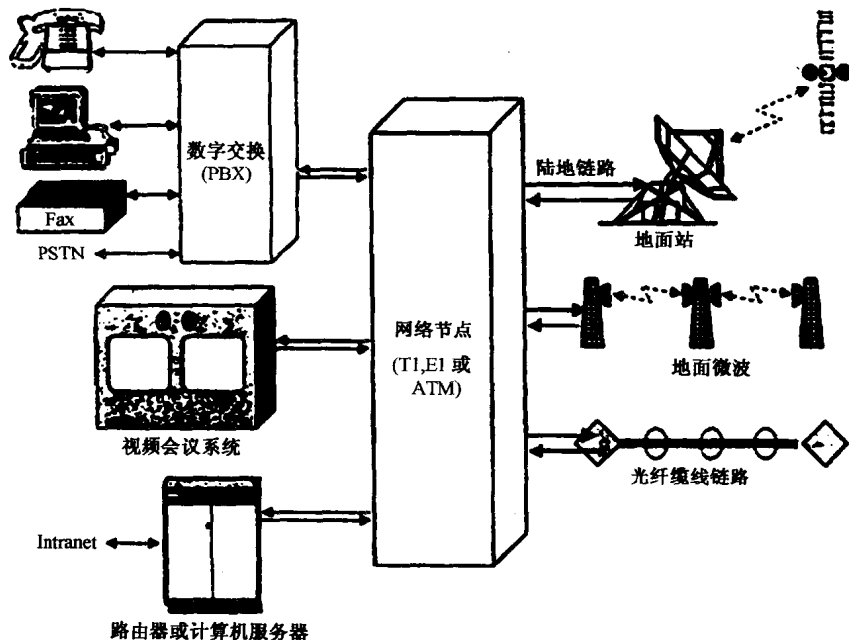


图 1-3 卫星地球站与地面网的一个节点连接的情况

1.3 频率分配

在卫星转发器与地面地球站之间，信息是利用电磁波来承载的。通常使用较高的频率，天线才能有效地进行电磁波的辐射，同时有利于承载较高的信息速率。卫星通信系统常用的频率在 $150\text{MHz}\sim 300\text{GHz}$ 的范围。图 1-4 示出了由于大气（晴朗天气）的影响（主要是 H_2O 、 O_2 的影响）引起的卫星与地面之间传输链路附加损耗与频率之间的关系。可以看出，在 10GHz 以下，链路附加损耗较小且平坦；频率超过 12GHz 后，损耗上升很快。同时，损耗存在若干极大点，使得 60GHz （或许还包括 22GHz ）频率不宜用于星一地之间的传送，但能用于卫星之间的星际链路。需要指出的是，图 1-4 是在波束大仰角（近于 90° ）条件下的特性。当仰角减小时，电波在大气层中通过的距离增大，附加损耗会有所增加。比如，对于 22GHz 的频率，仰角为 90°

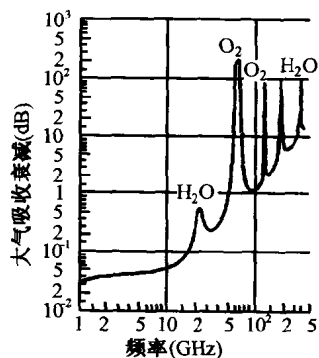


图 1-4 大气吸收附加损耗与频率的关系

时附加损耗约为 0.5dB；仰角为 10° 时，附加损耗可达 2dB。

特定的频率范围称为频（波）段。100MHz 以下的频段不能用于空间通信，而 100MHz 以上定义了两个频段 VHF 和 UHF。VHF 的范围为 30MHz~300MHz，UHF 的范围为 300MHz~3 000MHz。在卫星通信领域，UHF 的范围通常认为是 300MHz~1 000MHz。实际上这一频率范围的大部分已为地面无线通信所占。对于卫星系统而言，由于频率较低，只能传送较低的数据速率，因此通常只用于低轨小卫星（little LEO）数据通信系统、静止卫星的遥测和指令系统以及某些军用卫星通信系统。

超高频段（SHF, Super High Frequency）进一步被划分为更常用的 L, S, C, X, Ku 和 Ka 频段。各频段的频率大致范围如下，L: 1GHz~2GHz；S: 2GHz~4GHz；C: 4GHz~7GHz；X: 7GHz~12GHz；Ku: 12GHz~18GHz；Ka: 20GHz~40GHz。在卫星通信系统中，在某一频段内的上行链路频率往往比下行频率高很多。这是因为 RF（Radio Frequency）功率放大器的效率随着频率的升高而下降，而地球站较卫星能容忍这种功放的低效率。同时，通常地球站的发射功率较卫星大 10~100 倍。几个常用频段的上/下链路频率的习惯表示为：L 频段 1.6/1.5GHz，C 频段 6/4GHz，Ka 频段 14/12GHz，Ka 频段 30/20GHz。

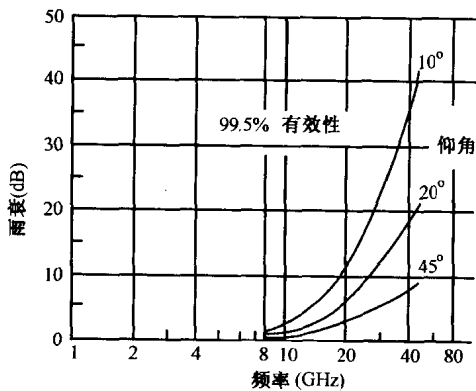


图 1-5 不同仰角时的雨衰频率特性

图 1-4 表示在晴朗天气条件时，大气（主要是 O_2 和 H_2O 分子）吸收引入的附加损耗。在雨天或有雾的气象条件下，雨滴和雾对于较高频率（如 10GHz 以上）的电波会产生散射和吸收作用，从而引入较大的附加损耗，称为雨衰。图 1-5 示出了以仰角为参变量的雨衰（雨量为大雨，10mm/h）随频率变化的情况。曲线的有效性 99.5% 表明，超过图示曲线标明雨衰数值的概率为 0.5%。

由于卫星通信系统覆盖范围广，频率的分配十分重要。为此，国际电信联盟（ITU, International Telecommunication Union）在有关规定中将全球划分为三个频率区域：I 区包括欧洲、非洲和俄罗斯亚洲部分、西亚地区以及蒙古等；II 区包括南、北美洲和格陵兰等；III 区为其他亚洲部分（包括我国）和澳洲。图 1-6 示出了频率划分的区域图。频率区域的划分有利于区域性业务的频率再用和全球业务频率的统一规划。

按不同的业务类型对不同频段有一个大致的划分。低于 2.5GHz 的 S 和 L 频段大部分用于移动通信业务和静止卫星的指令传输，以及特殊的卫星通信业务。多数商用卫星固定业务使用 C 频段（6/4GHz），目前该频段已十分拥挤，且存在与地面微波中继网的同频干扰问题。Ku 频段（14/12GHz）正在被大量利用，同时 Ka 频段（30/20GHz）已开始应用。