

通 信 工 程 丛 书

卫星通信系统

吕海寰 蔡剑铭 甘仲民 编著
陈九治 王明忠

卫星通信

1

中国通信学会主编 • 人民邮电出版社

通信工程丛书

卫星通信(1)

卫星通信系统

吕海寰 蔡剑铭 甘仲民 编著
陈九治 王明忠

中国通信学会
人民邮电出版社出版

内 容 提 要

本书比较系统、深入地讲述了卫星通信系统的基本理论、关键技术、系统设计及线路计算等问题，基本反映了当前卫星通信发展的状况。共十章：概述，通信卫星，卫星信道中信号的传输，卫星通信体制导论，频分多址方式，时分多址方式，分组通信方式，码分多址方式，国内卫星通信系统的设计、规划与建立，卫星通信网举例。

本书主要适用于从事卫星通信专业的工程技术人员、大专院校高年级学生及研究生阅读，也可供从事其他专业的通信工程技术人员作参考。

通信工程丛书

卫星通信(1)

卫 星 通 信 系 统

吕海寰 蔡剑铭 甘仲民 编著
陈九治 王明忠

责任编辑 李小曼

*

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

河北省邮电印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

*

开本：850×1168 1/32

1988年5月第一版

印张：22 24/32 页数：364

1988年5月河北第一次印刷

字数：602千字

印数：1—3 800册

ISBN7115—03527—X/TN

定价：6.15 元

丛 书 前 言

为了帮助我国通信工程技术人员有系统地掌握通信学科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”，准备陆续出版。

这套丛书的主要读者对象是从事通信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

卫星通信是一种新的通信方式，是现代通信技术的重要成果。近二十年来，它在国际通信、国内通信、国防通信、移动通信以及广播电视等领域，得到了广泛的应用。卫星通信之所以成为强有力的现代通信手段之一，是因为它具有频带宽、容量大、适用于多种业务、覆盖能力强、性能稳定可靠、不受地理条件限制、机动灵活、成本与通信距离无关等特点。

卫星通信是在地面微波通信和空间技术的基础上发展起来的。它十分广泛地综合运用了各种通信领域及其它领域的理论和技术；反过来，它所形成的理论和技术又被其它通信领域所利用。卫星通信的有关理论和技术继续在发展。随着用户对各种业务不断地提出新的要求，随着航天技术的进步以及数字技术、大规模集成电路和计算技术的发展，卫星通信目前正在新频段、新体制、新业务以及卫星和地球站的新技术等方面进行探索并进行各种现场实验。

我国在70年代初便对卫星通信进行工程性的研究，研制出各种类型的地球站，并于1984年成功地发射了我国第一颗对地静止同步试验通信卫星，初步建立了我国卫星通信网。今后，随着我国通信及广播业务日益发展的需要，卫星通信一定将会得到更进一步的发展。

本书主要是为从事卫星通信工作不久的大专院校通信学科各专业毕业生、各通信部门的有关工程技术人员编写的。力求从实际需要出发，结合当前通信科技水平和未来的发展，阐述一个从事卫星通信的工程师需要掌握的专业知识。力求具有理论性、实用性、系统性和方向性。本书共分十章：第一章介绍了卫星通信系统的组成、作用、发展过程、工作频段等基本问题，研究了卫星通信线路的传输损耗、噪声影响，并对卫星通信线路方程进行了讨论。第二

章叙述了卫星轨道、通信卫星本身及有关的技术问题，并用国际上已经使用的几个典型卫星为例说明。第三章研究卫星通信线路中，模拟以及数字信号传输的若干理论和技术问题。第四章叙述了卫星通信体制，着重讨论了多址联接方式的基本概念和多址分配制度。在此基础上，第五、六、七、八章分别研究了频分多址、时分多址、分组通信和码分多址通信方式的基本理论、关键性工程技术问题以及传输线路参数的设计计算。第九章研究国内卫星通信系统的设计、规划与建立。第十章则为卫星通信网举例。

此书由吕海寰、蔡剑铭、陈九治、甘仲民和王明忠同志分工编写出初稿。由吕海寰同志审稿、修改、整理，蔡剑铭同志协助吕海寰同志做了大量具体工作。林伟明同志也做了不少具体工作。由于水平所限，书中一定有不少不妥和错误之处，敬请读者批评指正。

编 者

1985.12.

符 号 表

(本书中用()表示分贝值)

- A** 面积, 天线口面面积; 振幅; 话务量; 常数
- $a_i(t)$ 第 i 个地址码序列
- a** 加速度; 椭圆半长轴
-
- B** 频带宽度
- b** 椭圆半短轴
- B_c 卡松带宽
- b_{ch} 电话每通路的带宽
- B_d 低通滤波器带宽
- B_{IF} 中频滤波器带宽
- bit (或 b) 比特 (二进制码元的数目; 信息量单位)
- b/s 每秒的比特数 (速率单位)
- $B(N, A)$ 阻塞率 (为通道数 N 与话务量 A 的函数)
- B_n 噪声等效带宽
- $[BO_i]$ 输入补偿 (dB)
- $[BO_o]$ 输出补偿 (dB)
- B_p 窄带带通滤波器带宽; 报头比特数
- B_s 基准突发的比特数
- B_R 接收机带宽 (三分贝带宽)
- B_s 已调伴音副载波占用带宽
- $B_{s'}$ 扩展频谱调制后的信号占用带宽
- BTR** 比特定时恢复
- BWR** 基带带宽比
-
- C** 载波功率; 通信容量
- c** 光速

$\frac{C}{N}$ 载波与噪声的功率比(真值), 简称为载噪比

$[\frac{C}{N}]$ 载噪比(dB)

$[\frac{C}{n_0}]$ 载波功率与噪声单边功率谱密度之比(dB·Hz)

$[\frac{C}{T}]$ 载波功率与噪声温度之比(dB W/K)

下标: U ——上行线路

D ——下行线路

IM ——互调干扰

I ——其它干扰

A ——邻道干扰

t ——总的

th ——门限

op ——工作点的

CH (或 ch) 通道

$C_i(t)$ 第 i 个已扩频的射频载波

CPA 同极化的降雨衰减

CR 载波恢复

D 直径; 通道数的降低因子; 微分线性

$D(\tau)$ 时延鉴别特性

$[D]$ 相对损耗(dB)

d 距离; 直径; 汉明距离

dB 分贝

dB_i 相对于各向同性天线而言的定向天线的增益

dBm 分贝毫瓦

dBm_0 在零参考电平点上的分贝毫瓦数

dBW 分贝瓦

$D(f)$ 去加重电路传输函数

DG 微分增益

DP 微分线性

E 东径; 门限备余量

$[E]$ 门限备余量; 等均匀辐射功率因子 (dB)

e 话务量单位 (欧兰); 椭圆偏心率; 复振幅的归一化值

E_b 已调波在每比特的持续时间内的能量

$\left[\frac{E_b}{n_0}\right]$ 每比特信号能量与单边噪声功率谱密度之比 (dB)

$\left[\frac{E_c}{n_0}\right]$ 纠错编码后的每比特信号能量与单边噪声功率谱密度之比 (dB)

$[Ee]$ 设备备余量

$[EIRP]$ 有效全向辐射功率 (dBW)

下标: s ——卫星发射的

$s.s$ ——卫星单载波饱和输出的

$S.M$ ——卫星在多载波工作时实际总输出的

E ——地球站发射的

$E.S$ ——使卫星单载波饱和, 地球站应发射的

$E.M$ ——对应于 $s.m$, 地球站应发射的

$$\exp(-x) = e^{-x}$$

$$\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-y^2} dy$$

$$\operatorname{erfc}(x) = 1 - \operatorname{erf}(x)$$

F 噪声系数; 频偏压缩率

f 频率 (Hz)

f_c 中心频率

f_{CH} 测试音频率

F_d 多普勒频率

f_H 行频

f_R 有效值频偏

f_i 加重特性谐振点频率

f_m 基带最高频率

f_{max} 基带最高频率

f_{min} 基带最低频率

f_{mc} 通路中心频率

$F(s)$ 、 $F(\omega)$ 传递函数

F_s 伴音副载波频率

F_{SC} 色副载波频率

f_s 伴音基带信号的最高频率

Δf 峰值频偏

ΔF_{P-P} 峰—峰频偏 (又写为 Δf_{P-P})

ΔF_e 能量扩散信号产生的峰—峰频偏

ΔF_{B-W} 对应于黑色电平到白色电平的图象信号所产生的频偏

Δf_{rms} 有效值频偏

ΔF_s 由伴音副载波所引起的主载波峰值频偏

Δf_s 由伴音信号引起的副载波峰值频偏

G 增益; 天线增益; 群

[**G**] 天线增益; 多路电话信号的峰值因数 (dB)

下标: T —— 发射

R —— 接收

g 峰值因数 (真值)

[**G_C**] 编码增益 (dB)

[$\frac{G}{T}$] 接收系统的性能因数 (dB 1/K)

下标: E —— 地球站的

S —— 卫星的

$g(f)$ 加权网络的传递函数

[**G_W(f)**] 加权网络的传递函数 (dB)

GHz 吉赫

G_P 扩频处理增益; 最大资用功率增益

G(x) 生成多项式

H 高度; 检测器输出

H(f) 传递函数

h 小时; 普朗克常数; 高度; 本原多项式中各项系数

h_E 卫星离地面的高度

h_A 、 h_B 远地点、近地点离地面的高度

h_i 系数

$h(x)$ 本原多项式

I 降雪强度；干扰

I_D 伴音去加重及加权改善系数

IF 中频

i 倾角；序数

IM 互调

J 焦耳；干扰平均功率

$J(t)$ 干扰电压

K 倍数；传输系数；绝对温度

k 玻耳兹曼常数；分组码中信息码的比特数。

K_d 鉴相灵敏度

K_{d1} 鉴频灵敏度

K_f 调频灵敏度

k_m 千米

K_P 转发器功率增益

k_P 幅—相转换 (AM—PM) 系数

K_V 压控灵敏度

L 传输损耗；每通路的比特数

[L] 传输损耗；多路负载系数，(dB)

下标： U ——上行线路

D ——下行线路

[L_a] 大气吸收损耗 (dB)

[L_{d_e}] 散焦损耗 (dB)

[L_{d_i}] 漫射损耗 (dB)

[L_P] 馈线损耗 (dB)

- (L_f) 自由空间传播损耗 (dB)
 (L_P) 极化误差损耗 (dB)
 (L_{T_r}) 天线跟踪误差损耗 (dB)
 l 长度; 多路负载系数 (真值)
 l_g 常用对数
 l_n 自然对数
 l_R 有效传输长度
 $L(p)$ 干扰信号的传输损耗, 小于此值的时间百分数应小于括号中的 p 值

 M 地球质量; 周期码序列的码长
 (M) 降雨备余量 (dB)
 m 米; 降雨备余量 (真值); 卫星质量
 MHz 兆赫
 $m_i(t)$ 信码序列 (第 i 路)
 min 分 (时间单位)
 N 噪声平均功率; 多路电话的标称话路数; 一个数据分组平均需发次数。
 n 通道数; 地球站数; 分组码码长
 n_0 白噪声 (或等效噪声) 单边功率谱密度
 \hat{n} 位置矢量 $r(t)$ 的横向单位矢量
 $N_B = n_0 B_0$ 解调器输入端噪声功率
 $N_m = 2n_0 f_m$ 等效到基带的噪声功率
 $N(f)$ 单边噪声功率谱密度函数
 N_i 输入噪声功率
 N_0 输出噪声功率; 无线电波折射率
 $n(t)$ 噪声电压
 NPR 噪声功率比 (噪噪比)
 n_i 频率击中数
 $N(\sigma)$ 噪声功率谱密度函数

OW 指令信号

- P** 功率；加重改善系数；素数；半焦弦
- P** 百分数；单路语音相对于测试音的峰值因数
- P_a 天线接收到的功率
- P_b 误比特率
- P_c 采用纠错编码后，译码器输入端的误比特率
- P_e 误码率
- $P(f)$ 预加重电路传输函数
- PN** 伪噪声（伪随机）
- P_R 接收信号功率
- $P_i(p)$ 接收到的干扰功率，超过此值的时间百分数应小于括号内的 p 值
- P_s 去加重对伴音副载波的改善系数
- P_T 发射功率
- P_{TB} 发射机输出功率
- $pW0p$ 微微瓦加权值（在零分贝参考点）
- Q** 判决量化电平数 2^Q 的指数
- q_i 地址码码长 M 的第 i 个因子
- R** 码符速率；重发概率；半径；电阻
- R_a 地址码速率
- R_b 比特速率
- R_{b_i} 功率受限时的比特速率
- R_{b_w} 频带受限时的比特速率
- R_0 编码后的比特速率；阻抗
- R_E 地球半径
- R_H 跳频速率
- r 编码率；位置矢量 $\vec{r}(t)$ 的模
- $r = \frac{T_U + T_{IM} + T_I}{T_D}$ 上行、互调、干扰噪声温度之和与下行噪声温度之比
- $\dot{\vec{r}}$ 、 $\ddot{\vec{r}}$ $\vec{r}(t)$ 对时间的一阶、二阶导数
- R_s 信码速率

RF 射頻

$R_i(\tau)$ 第 i 个地址码的自相关函数

$R_{ij}(\tau)$ 第 i 个与第 j 个地址码的互相关函数

$\vec{r}(t)$ 位置矢量

$\vec{r}_0(t)$ $\vec{r}(t)$ 的径向单位矢量

r_{max} 、 r_{min} 远地点、近地点到地心的距离

rad 弧度

S 信号功率；拉普拉斯变换算子；校验子；受扰站的灵敏度因子。

SC 勤务联络

S_i 输入信号功率

S_o 输出信号功率

$[\frac{S}{N}]_i = [\frac{S_i}{N}]$ 输入信噪比 (dB)

$[\frac{S}{N}]_o = [\frac{S_o}{N_o}]$ 输出信噪比 (dB)

$[S_{B-W}/N_W]$ 电视图象黑色电平到白色电平所对应的信号功率与加权噪声功率之比 (dB)

T 温度；等效噪声温度；持续时间；周期

t 时间；能纠错的位数

T_a 天线等效噪声温度

T_{a_s} 天线噪声中太阳在寂静期所贡献的部份

T_b 分帧长度

T_D 下行线路等效噪声温度

T_e 等效噪声温度 (通常指折算到网络输入端的)

T_B 地球站发射机的互调噪声温度

T_{e_s} 折算到网络输出端的等效噪声温度

T_{e_r} 接收机等效噪声温度

T_{e_f} 馈线等效噪声温度

T_f 帧长；频率同步建立时间

T_g 保护时隙长度

T_I 除互调噪声外的其它干扰的等效噪声温度

T_{IM} 互调干扰的等效噪声温度

T 环境温度
 T_m 信码码元宽度
 T_c 室温 (通常取为 290K)
 T_n 太阳在寂静期间的噪声温度
 T_S 接收系统总的等效噪声温度 (折算到馈线入端); 取样周期
 T_{SR} 接收系统总的等效噪声温度 (折算到接收机的输入端)
 T 时间同步的建立时间
 T_D 上行线路等效噪声温度
 T_L, T_H 话音检测器的门限电平

u 瞬时电压
 V 电压
 V_m 能见度
 $v(t)$ 速度
 $\overline{v(t)}$ 包络
 v 相对径向速度
 ν 地址码码长 M 的重因子 q_i 的个数

W 瓦; 转发器带宽; 加权系数; 字; 宽度
 W_B 电磁波在接收点的功率通量密度 (W/m^2)
 $\overline{W_{IM}}$ 互调噪声功率谱密度的平均值
 W_N 单边杂用噪声功率谱密度
 W_S 卫星天线口面的输入功率通量密度
 $W_{S.S}$ 使卫星转发器单波饱和输出时卫星天线应输入的功率通量密度
 W/s 每秒字数
 $[W_T]$ 去加重电路及加权网络对三角噪声的改善系数 (dB)
 $[W_W]$ 去加重电路及加权网络对白噪声的改善系数 (dB)

x 幅度取样值
 \tilde{x} 取样保持值
 X_R 接收轴比

X_T	发射轴比
XPD	交叉极化鉴别度
$x(t)$	信号电压
[Y]	功率分配因子
y	平均斜率
$y(t)$	信号电压
[Z]	音节压扩改善系数
$Z(t)$	信号电压；混合线圈收端泄漏到发端的信号
$\hat{Z}(t)$	$Z(t)$ 的复制品
α	两椭圆极化波轴之间的夹角；天线噪声温度中各分量的加权系数
$\alpha(t)$	合成矢量
β	调频指数；比特速率与码符速率之比
Δ	孔径宽度；量化阶；地址码码元宽度；夹角
δ	天际线仰角
η	效率
θ	角度；位置矢量 $r(t)$ 的幅角；纬度
$\dot{\theta}, \ddot{\theta}$	$\theta(t)$ 对时间的一阶、二阶导数
θ_e	水平角
θ_{ij}	夹角
$\theta_{\frac{1}{2}}$	天线波束半功率宽度
λ	波长；呼叫强度；每秒钟发送分帧数
$\lambda(n)$	n 次本原多项式的个数
μ	开普勒常数
ρ	信道利用率（或吞吐率），归一化自相关函数
σ	角频率
σ_x	标准偏差
τ	码元持续时间；延迟时间；群时延；时常数
ϕ	角度；相角；夹角；经度差
	下标： o ——初相角
	a ——方位角
	e ——仰角

$\phi(M)$	欧拉函数
$\Delta\phi$	波束上翘角度
$\overline{\Delta\phi}$	波束上翘角度的年平均值
Ψ	相位差, 相移
ω	角频率 ($\omega = 2\pi f$)
$\dot{\Omega}$	调制信号的角频率
Σ	求和符号
π	相乘符号
\oplus	模二加符号