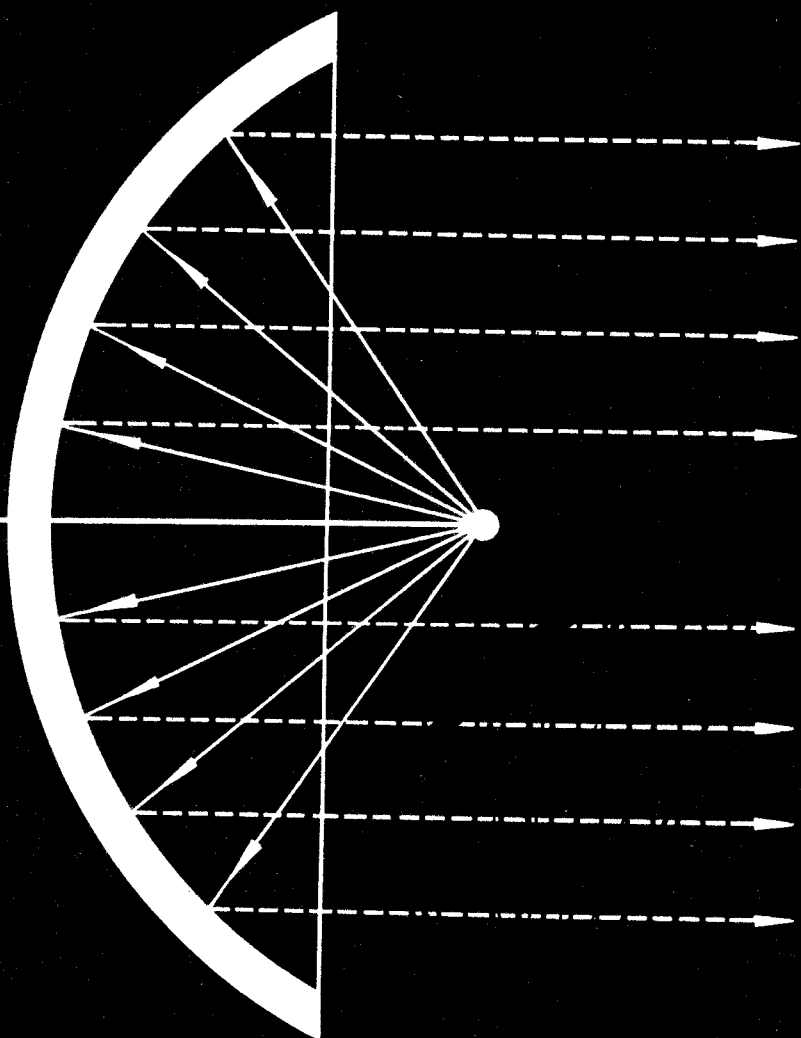


微波通信

系统设计和设备



内 容 提 要

本书是根据 1970 年日本出版的“微波通信—系统设计和新设备”一书编译的。书中着重介绍了日本微波通信的系统设计，其中包括视距中继及几种超视距中继系统的设计实例。并对脉码调制微波中继、毫米波波导通信及激光通信等系统也作了简单介绍。

可供从事微波设备研制及微波通信体制设计的工人、战士和技术人员参考。

微波通信系统设计和设备

邮电五〇六厂编译

•

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

限 国 内 发 行

•

开本：850×1168 1/32 1978年5月 第 一 版

印张：10 8/32 页数：164 1978年5月河北第1次印刷

字数：269千字 插页：1 印数：1—9,500 册

统一书号：15045·总2004—无603

定价：1.20 元

出 版 说 明

我国微波通信建设事业正在迅速地发展，遵照伟大领袖毛主席“洋为中用”的教导，我们组织编译了1970年日本出版的“微波通信一系统设计和新设备”一书。供从事有关工作的工人、技术人员参考。

本书着重介绍了微波通信系统的设计，包括视距调频微波中继、超视距微波中继和新技术概论等三个部分。在本书的编译过程中，对原书中的部分内容采用了意译，一些繁琐和欠妥之处作了适当的删改。

本书主要由邮电五〇六厂编译，曾得到邮电五〇三厂、邮电第四研究所、西安交通大学、西北电信工程学院等单位及一些有关同志的很大支持和帮助，在此表示感谢。

目 录

第一部分 视距调频无线中继系统

第一章 传输标准	1
1.1 电话传输网络标准	1
1.1.1 电话传输工程标准	1
1.1.2 通信网络的构成	1
1.1.3 损耗和噪声分配	3
1.1.4 传输质量	5
1.2 电视传输网络标准	7
1.2.1 电视制式标准	7
1.2.2 电视网络构成	9
1.2.3 传输质量	10
第二章 系统设计	15
2.1 设计目标和设备性能	15
2.1.1 概述	15
2.1.2 电话传输特性与设备性能的关系	15
2.1.3 电视传输特性与设备性能的关系	30
2.1.4 叠加规律	39
2.1.5 电视信号和伴音信号同时传输	41
2.2 系统构成	44
2.2.1 中继方法	44
2.2.2 备用系统	45
2.2.3 分路方法	46

2.2.4	电路构成	47
2.2.5	公务波道	48
2.3	系统选择	49
2.3.1	概述	49
2.3.2	电路等级	50
2.3.3	电视或电话; 传输的信号种类	51
2.3.4	业务要求	52
2.3.5	地理和地形考虑	54
2.3.6	可靠性和维护	55
2.3.7	经济比较	55
2.4	站址选择	56
2.4.1	选站的基本问题	57
2.4.2	微波路由绘制	58
2.4.3	电路传播路径的检查	62
2.4.4	传输质量的预算	69
2.4.5	选站工作程序	74
2.5	对房屋与铁塔的要求	79
2.5.1	房屋	80
2.5.2	铁塔	91
第三章	实用系统设计举例	94
3.1	长途电话和电视系统	94
3.1.1	固态4GHz系统	94
3.1.2	固态6GHz系统	112
3.1.3	2700路微波中继系统	123
3.2	短程电话及电视系统	127
3.2.1	全固态2GHz系统	127
3.2.2	固态11GHz系统	128
3.2.3	固态15GHz系统	129
3.3	空间分集系统	130

3.3.1	概要	130
3.3.2	从频率分集和空间分集的观点来看传播特性	131
3.3.3	空间分集系统	132
3.3.4	空间分集系统对衰落效应的改善	138
3.3.5	空间分集系统及其应用	139
3.3.6	设计实例	144
3.3.7	结论	145
第四章	新型微波设备	146
4.1	基本设计概念	146
4.2	收、发信机分类	147
4.3	外差中继系统	148
4.3.1	原理	148
4.3.2	本地振荡器	150
4.3.3	振荡—放大方法	151
4.3.4	分出和插入方法	153
4.4	宽频带调频调制器和解调器	155
4.4.1	调频调制器	155
4.4.2	自动频率控制 (AFC)	157
4.4.3	调频解调器	158
4.5	基带中继机	161
4.5.1	原理	161
4.5.2	备用系统	163
4.5.3	高灵敏度中继机	165
4.5.4	辅助收发信机	165
4.5.5	11GHz移动式播音室至发信机链路(STL)	166
4.6	分集和音频—视频传输辅助设备	166
4.6.1	分集接收	166
4.6.2	音频—视频传输	173

4.7 天线和馈线系统	177
4.7.1 概述	177
4.7.2 圆波导馈线	180
4.7.3 可弯曲的波导	185
4.7.4 分路滤波器	186
4.7.5 圆馈线的抛物面天线	187
4.7.6 用于多频段的喇叭反射器天线	189

第二部分 超视距无线电中继系统

第五章 系统设计	191
5.1 传输质量	191
5.1.1 模拟参考电路	191
5.1.2 传输指标	191
5.1.3 电视传输	192
5.2 系统设计	193
5.2.1 影响系统设计的各种因素	193
5.2.2 空间分集的效果	201
5.2.3 系统经济的考虑	203
第六章 系统设计实例	205
6.1 对流层散射系统	205
6.1.1 概述	205
6.1.2 设计指标和系统参数	206
6.1.3 中继站设计	208
6.2 山头绕射系统	209
6.2.1 概述	209
6.2.2 设计指标和系统参数	212
6.3 绕射栅系统	214
6.3.1 概述	214

6.3.2	绕射栅的理论	216
6.3.3	实际应用	219
6.3.4	设计特点和性能	220
第七章	设备	222
7.1	大功率发信机	222
7.2	收信设备	223
7.2.1	低噪声放大器	223
7.2.2	门限扩展解调器	226
7.2.3	并合器	227
7.3	高增益天线	229
7.4	移动式超视距设备	232

第三部分 新技术概论

第八章	脉码调制(PCM)的无线中继系统	235
8.1	基本原理	235
8.1.1	脉码调制系统的原理	235
8.1.2	调制和解调	236
8.1.3	载波脉冲的特性	239
8.1.4	微波脉码调制系统的特点	241
8.2	总体设计	242
8.2.1	传输质量	242
8.2.2	系统设计指标	248
8.2.3	中继系统的构成	249
8.3	2GHz脉码调制系统总体设计实例	252
8.3.1	概述	252
8.3.2	频率分配和传输容量	252
8.3.3	模拟参考电路和传输标准	255
8.3.4	传输标准的分配	255

8.3.5	系统参数	257
8.3.6	辅助设备	258
8.3.7	安装	258
8.4	设备	261
8.4.1	发信机和收信机	261
8.4.2	辅助设备	265
8.4.3	复用设备	268
第九章	毫米波波导传输系统	273
9.1	基本原理	273
9.2	系统设计	274
9.3	PCM中继机	277
9.4	波导和波导元件	280
9.5	分路滤波器	283
第十章	激光通信系统	286
10.1	概述	286
10.2	通信系统	286
10.3	激光振荡器	287
10.3.1	激光振荡器特性	287
10.3.2	锁模激光器和光脉码调制	288
10.4	光调制	289
10.5	光解调	291
10.6	光通信系统的复用	292
10.6.1	时分复用	292
10.6.2	空间区分复用	293
10.7	光传输线	293
10.8	后记	294
附录	基本设计图表	295
参考资料		313

第一部分 视距调频无线中继系统

第一章 传 输 标 准

1.1 电话传输网络标准

1.1.1 电话传输工程标准

一次电话通话是经过两个用户的送、受话器和它们之间的许多传输电路和交换设备来完成的。对于电话网络的要求是：具有良好的传话质量和合理的建设费用。为此，须确定话音质量和电话网络的传输性能应当达到怎样的程度。这就是所谓电话传输工程标准。话音质量定量地说明听到的语音质量如何，它是由用户环境（室内噪声和话音电平）和送、受话器间电路性能（话机性能、用户线损耗、传输损耗、噪声等）所决定的。话音质量指标应尽可能正确地表达出对用户的服务质量；而与此相对应的传输性能应该做为电话网络的设计标准，这样，两者就易于互相联系起来。目前采用的典型指标如表1.1所示。

1.1.2 通信网络的构成

长途电话网络建设费用很大。为了经济起见，可采用长途区域制，以增加网络效用。全国网络可分成几个大区，每个大区有一个大区中心局。一大区又分成几个区，每个区有一个长途汇接局（又称中心局）。在每一个区里再分成若干分区，每个分区各有一个长途初接局（又称集中局），而最后的交换机构是市内局（又称端局）。长

途线路用星形接法分级连接这些转接局和中心局，如图1—1所示。

表 1.1 各种话音和传输质量指标

项 目	话 音 质 量 指 标	传 输 质 量 指 标	特 点
话 音 可 懂 度	声音清晰度	清晰度等效衰减 (<i>AEN</i>)	1.可综合处理各种影响传输质量的因素 2.测量需要很多时间 3.此指标用于日本
话 音 音 量	响 度	参考当量 (<i>RE</i>)	1.此项目被认为是表示话音质量最基本的和最典型的指标之一 2.用这种方法估价传输性能，如频率特性、噪声等较为困难，故除估量响度之外，尚需结合采用意见调查等其他方法 3.测量简单 4.国际电话电报谘询委员会(<i>CCITT</i>)推荐这个方法为国际电话网络传输质量指标

译注：

AEN：清晰度等效衰减量，为实际通话质量与*SRAEN*的比较值。

SRAEN：作*AEN*测量基准的设备，此设备放在国际电话电报谘询委员会研究所。

在日本，采用清晰度等效衰减量(*AEN*)为传输性能指标，因为它综合估量了各种破坏清晰度的因素，且易于估算质量限度。一给定系统的清晰度等效衰减量(*AEN*)，为在保持80%声音清晰度的状况下确定其清晰度等效衰减量(*AEN*)时，参考系统的衰减器读数与换到此被测系统后衰减器读数之差。

电路传输工程标准所规定的总的清晰度等效衰减量(*AEN*)，对所有用户不超过49*dB*（特远用户除外），见表1.2（根据近来的四线制长途局情况，总清晰度等效衰减量不应超过42*dB*。但由于采用的长途局很少，故从略）。

表 1.2 清晰度等效衰减量(*AEN*)的分配(两线制长途局)

项 目	清 晰 度 等 效 衰 减 量 (<i>AEN</i>)
用 户 送 话 部 分	13.4 <i>dB</i> (包括7 <i>dB</i> 用户线损耗)
用 户 受 话 部 分	11.4 <i>dB</i> (最坏条件为12.4 <i>dB</i> ，包括7 <i>dB</i> 用户线损耗)
有 效 传 输 频 带	0.5 <i>dB</i>
传 输 损 耗 和 送、受 话 器 灵 敏 度 变 化	5.7 <i>dB</i>
传 输 干 线 损 耗	17.0 <i>dB</i>
总 计	48 <i>dB</i> (最坏条件为49 <i>dB</i>)

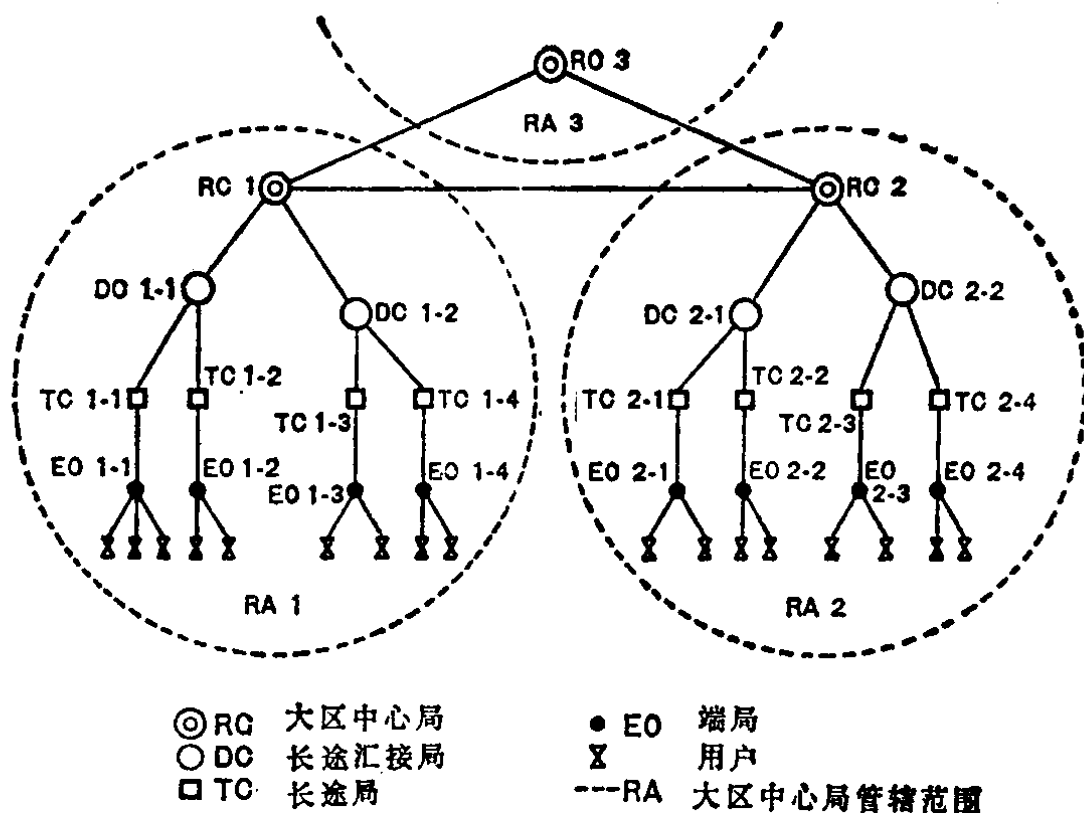


图 1—1 长途通信分级连接图

注：连接长途通信站的实线，表示主干电路

电话电路传输损耗是一个需要考虑的重要因素，因它最能使话音质量恶化，所以要尽量减少。但若减少得太多，又会引起装有放大器的电话电路产生振鸣和回音等不应有的现象。防止这些现象，要紧的是设计损耗最小的电话电路。在 $RC-RC$ 、 $RC-DC$ 、 $DC-DC$ 区间用四线制连接，以及在 $RC-DC$ 局用四线转换，可把两个 DC 级或更高级的局间电话线路的传输损耗保持为 $0dB$ 。在 $TC-EO$ 和 $EO-用户$ 间，用二线制连接和转换。

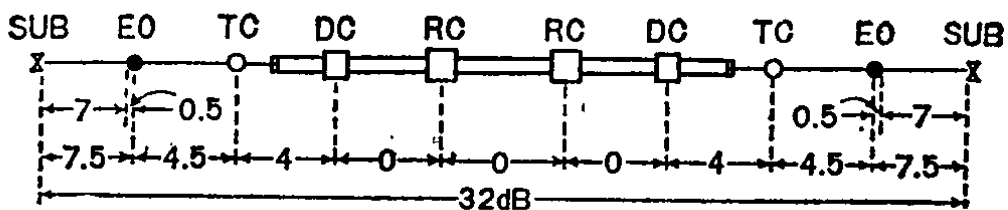
1.1.3 损耗和噪声分配

(1) 损耗分配

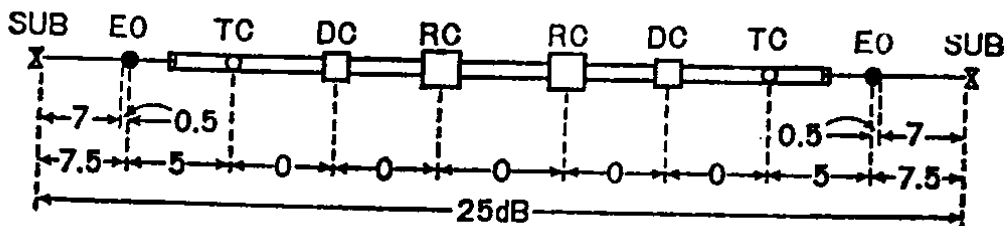
图1—2是采用日本国内标准电话连接的各局和各电路所容许的在 $0.8KHz$ 的传输损耗。

因为大区区间和长途初接及主接局间的长途线路为四线制载波电缆或微波中继* 电路，所以长途局间（甚至包括长途局采用四线交

* 中继亦称接力



(a) 两线转换的长途局



(b) 四线转换的长途局

图 1—2 传输损耗分配

换的终端局间) 传输损耗分配的数值应较低。另外, 在长途局间的音频电路上, 应比市内局间和用户线间尽可能多分配些损耗。这个标准中, 决定电路中最小容许损耗的主要因素是振鸣和接近振鸣, 而回音问题不很严重。

决定传输损耗分配的考虑如上所述。若全部直达中继线均为忙线, 则对直达中继线损耗的分配与代替应用的枢纽干线的总损耗基本相同。在长途初接局采用二线制交换的直达中继线上, 其损耗分配可举例如下:

A) 直通电路损耗分配 (直通电路是指长途呼叫由一个长途初接局起不经转接而直接通到另一个长途初接局的长途电路)

在两长途初接局之间的直通电路上, 损耗分配为 $8dB$ 。市内局和长途初接局间直通电路损耗分配为 $12.5dB$ 。

B) 转接电路损耗分配

转接电路损耗等于分配给被此转接电路短路的枢纽干线的损耗。例如: 长途初接局和长途主接局间转接电路的损耗分配为 $4dB$ 。

(2) 噪声分配

电话网络产生的噪声分为线路噪声、接转局噪声和用户线路噪声, 用噪声计加权的长时间平均噪声功率来表示。

NTT 枢纽干线噪声的分配见表1—3。

表 1—3 噪 声 分 配

电 路	噪 声 功 率	S/N
$RC-RC$	符合CCITT建议	(10000pW/2500kM)
$RC-DC$	2,000pW	57.0dB
$DC-TC$	5,000pW	53.0dB
	2,000pW	57.0dB
$TC-EO$	2,000pW	57.0dB

转接局噪声主要分为转接噪声和电源噪声。分配给两个市内局间的长途电话电路的总转接局噪声,在收话局端为0.6mV。用户线噪声包括来自电源线的感应噪声及由讲话和拨号音引起的串话噪声。在用户端感应噪声限制在0.5mV;而对产生在用户线上的串话,因为它通常小到可以忽略,故不提要求。

1.1.4 传输质量

(1) 模拟电路

在研究长途电路噪声和其他特性时,以实际设备为对象并不方便,因为实际电路系统的长度和组成基本上各不相同,所以国际无线电咨询委员会(CCIR)推荐了模拟电路,用以指导系统、设备的设计和构成。它们有既定长度,由几个中间站和终端站设备组成,设备数量是按实际电路的情况来选择的。根据CCIR建议,每一波道包括60路以上电话的频分制视距微波中继模拟电路,其长度为2500公里,并包括:

- 3 套话路调制组
- 6 套群调制组
- 9 套超群调制组

上述每套“调制组”包括一调制器及一解调器。此电路也包括9套射频调制器和解调器,分别放在均等长度的9个调制段内,见图1—3。

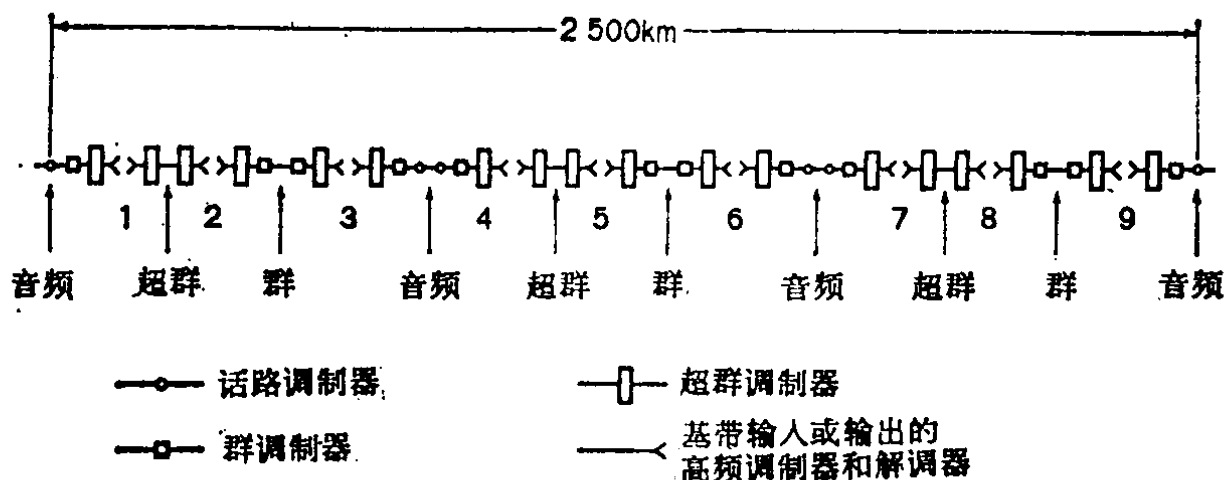


图 1—3 60路以上的频分制无线中继模拟电路

(2) 总性能

模拟电路的容许噪声功率是作为设计目标而提出的。在频分制多路复用无线电中继系统2500公里模拟电路上，任一话路的零相对电平点噪声功率，不应超过把衰落考虑在内所选定的下列值：

a) 在任一小时中的噪声计加权平均功率值 $7500 pW$ ($48.7 dB^*$)；

b) 任一个月的20%以上时间，一分钟噪声计加权平均噪声功率值 $7500 pW$ ($48.7 dB^*$)；

c) 任一个月的0.1%以上时间，一分钟噪声计加权平均噪声功率值 $47500 pW$ ($40.7 dB^*$)；

d) 任一个月的0.01%以上（五毫秒积分时间）时间，噪声计不加权噪声功率值 $1000,000 pW$ ($30.0 dB^*$)。

实际电路有时与模拟电路不同，因此，要根据线路长度和系统结构，在设计指标中分别规定噪声指标。例如话路长度 L 为 $280 KM - 2500 KM$ 的噪声计加权噪声功率不应超过以下指标：

a) 任一小时平均功率值 $3L pW$ ；

b) 任一个月的20%以上时间一分钟平均功率值 $3L pW$ ；

c) 任一个月的 $(L/2500) \times 0.1\%$ 以上时间，一分钟平均功率值 $47500 pW$ 。

* 为等效信号与不加权噪声比

1.2 电视传输网络标准

1.2.1 电视制式标准

目前世界上电视制式有几种标准。625行/50场制式主要用于欧洲，典型系统之一的525行/60场制式用于美国和日本。由于黑白电视制式过去尚未统一，故国际无线电谘询委员会讨论彩色电视标准化时，同时也讨论了黑白电视标准化问题。这种讨论持续了相当长的时间，尚未获得一致的意见。因而NTSC制采用525行制；PAL制和SECAM制，采用625行制。德、英用PAL制；法、苏用SECAM制。总之，各国自己选择他们所赞成的彩色电视广播制式。

NTSC制利用一个平衡调制器，使两个正交彩色副载波为两个彩色信号所调幅，并与亮度信号一起发射出去。在接收端用同步检波器检波。

PAL制与NTSC制相似，所不同之点在于PAL制是每扫描到新的一行时把两个彩色信号之一反相位来传送。在SECAM制，副载波在这一行被一个彩色信号调频，而在下一行则被另一个彩色信号调频，并如此重复下去。在接收机中再现彩色图象时，是用一延迟线，把副载波滞后一行。在每一单行上的色度信息，系由连续的两个扫描线来再现，即：一为直接信号，一为滞后信号。电视标准系统的特性示于表1—4。

在好的传输和接收条件下，上述三种制式可以再现有很好清晰度和良好色调的电视图像。但是三种制式总特性所能容许的误差各不相同，SECAM制很少受传输电路产生的非线性失真的影响，PAL制可容许有 $\pm 40^\circ$ 以内的微分相位的变化。这两种制式都需要在接收机上装一延迟线来做到滞后一行。但从与黑白系统的兼容性来看，NTSC制是三种中最好的一种。

表 1—4 电 视 系 统 特 性

特 性	525 行 制		625 行 制	
	单 色	彩 色	单色(G)*	单色(I)**
视 频 特 性				
每帧行数	525	525	625	625
场 频 (场/秒)	60	59.94	50	50
隔行扫描	$\frac{2}{1}$	$\frac{2}{1}$	$\frac{2}{1}$	$\frac{2}{1}$
帧 频 (帧/秒)	30	29.79	25	$25 \pm 0.001\%$
行频和允差(行/秒)	15750	$15734、264 \pm 0.044\%$	15625	$15625 \pm 0.001\%$
尺 寸 比 (宽/高)	$\frac{4}{3}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{4}{3}$
扫描顺序 (行) (场)	左—右 上—下	左—右 上—下	左—右 上—下	左—右 上—下
工作是否受电源频率的影响	否	否	否	否
图像信号灰度系数近似值	0.45	0.45	0.5	0.5
标称视频带宽 (MHz)	4.2	4.2	5	5.5
彩色副载波频率 (MHz)		3.579545		
容许误差 (Hz)		± 10		
高 频 频 率 特 性				
标称高频频率带宽 (MHz)	6	6	8	8
伴音载波相对于图象载波 (MHz)	+ 4.5	+ 4.5	+ 5.5	6
伴音载波相对于最近的波道 边缘 (MHz)	- 0.25	- 0.25	- 0.25	- 0.25
主边带标称带宽 (MHz)	4.2	4.2	5	5.5
残余边带标称带宽 (MHz)	0.75	0.75	0.75	1.25
图像调制极性种类	A5C,负	A5C,负	A5C,负	A5C,负
同步电平 (以峰值载波的百 分数来表示)	100	100	100	100
黑色电平 (以峰值载波的百 分数来表示)	72.5—77.5	72.5—77.5	72.5—77.5	77