

邮电高等学校教材

通信线路原理

张乘风 赵树荣 编著
高新民 李履信
高攸纲 区惟煦 审

人民邮电出版社

登记证号（京）143号

内 容 提 要

本书是邮电高等院校的教学用书之一，符合1985年《邮电高等院校通信线路原理教学大纲》的要求。

全书在叙述了基本的传输线理论以后，具体分析了对称和同轴线路的传输特性、串音特性，以及外界电磁场对通信回路的影响及防护措施。对光缆则是从光波导的基本理论开始，较为系统地介绍了光纤的传光原理、模式分析和模式变换，以及光纤的传输和串光特性。选材注意了近年来技术上的发展，例如，在传输线理论中增加了信号时域特性的分析，在同轴电缆中介绍了研究中的超导同轴电缆。

本书可以作为大专院校通信专业的教材，也可供中等专业学校师生和在职工程技术人员阅读。

邮电高等学校教材

通信线路原理

张乘风 赵树荣 编著
高新民 李履信
高攸纲 区惟煦 审

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

北京广益印刷厂印刷

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11月第一版
印张：15²⁰/₃₂ 页数：250 1992年4月河北第2次印刷
字数：412千字 印数：3 001—9 000册

ISBN 7-115-03747-7/TN·153

定价：5.00元

目 录

序

第一章 绪论	(1)
第一节 电信网的概念.....	(1)
第二节 通信线路的发展和复用.....	(13)
第三节 通信线路的种类和结构.....	(18)
复习题.....	(33)
主要参考资料.....	(33)
第二章 传输线的基本理论	(35)
第一节 传输线的基本方程式及其稳态解.....	(35)
第二节 通信回路的二次传输参数.....	(44)
第三节 行波.....	(49)
第四节 传输线的终端效应.....	(56)
第五节 均匀传输线的瞬态.....	(71)
第六节 传输线上电压、电流的时域特性.....	(78)
复习题.....	(98)
主要参考资料.....	(102)
第三章 对称通信线路	(104)
第一节 对称通信回路中的电磁场.....	(104)
第二节 对称通信线路的传输参数.....	(112)
第三节 对称通信回路间串音的基本概念.....	(133)
第四节 明线回路交叉对串音影响的分析.....	(150)
第五节 对称电缆回路间串音的平衡.....	(169)
第六节 音频电缆的加感.....	(201)
第七节 市话电缆数字信号的传输.....	(211)

附录 高频电缆耦合导纳频率特性曲线的测绘.....	(216)
复习题.....	(224)
参考资料.....	(225)
第四章 同轴通信电缆	(226)
第一节 概述.....	(226)
第二节 同轴回路的传输参数.....	(231)
第三节 同轴回路的内部阻抗不均匀性.....	(250)
第四节 同轴回路间的串音.....	(269)
第五节 超导同轴电缆.....	(293)
附录4-1 同轴电缆的电气性能	(296)
附录4-2 同轴电缆的结构不均匀性及波阻抗的测试	
原理.....	(299)
复习题.....	(308)
参考资料.....	(309)
第五章 外界电磁场对通信线路的影响和防护	(310)
第一节 概述.....	(310)
第二节 强电线对通信线影响的定性分析.....	(316)
第三节 危险影响的计算方法.....	(339)
第四节 干扰影响的计算方法.....	(348)
第五节 地电流对通信线的影响和计算.....	(356)
第六节 直流电流对地下电缆金属护套的腐蚀.....	(361)
第七节 防护措施.....	(364)
第八节 雷电对通信线路的影响和防护.....	(373)
第九节 无线电台和有线广播对通信线的干扰和防护	
.....	(388)
第十节 核爆炸电磁脉冲的影响.....	(394)
复习题.....	(399)
主要参考资料.....	(400)
第六章 光缆	(402)

第一节	概述	(402)
第二节	光波导理论基础	(406)
第三节	光纤的传光原理	(423)
第四节	模式理论	(434)
第五节	光纤的传输特性	(460)
第六节	模式变换	(478)
第七节	串光	(484)
复习题		(487)
主要参考资料		(489)

第一章

绪 论

内 容 提 要

本章介绍有关电信网和通信线路的一些基本概念、通信线路的类型、通信线路的复用和传输方式，还叙述了各种通信线路的结构特点。

第一节 电信网的概念

一、电信通信系统

通信系统，概括地说 是由用户设备一指产生信息（如声音、符号、图象等）的装置，局内设备一指交换机、发送和接收机、以及电源等装置，还有传输媒介一指明线、电缆、光缆和自由空间等构成的具有传送信息功能的完整体系，如图1-1所示。通信系统中，因采用的传输媒介不同，分为有线和无线通信系统两大类。凡利用明线、电缆或光缆线路构成的通信系统，都是有线通信系统。利用自由空间传播信息的通信系统，称之为无线通信系统。

二、通信网的种类

通信网是由两个或多个通信系统相互有机地联系起来组成的总体。

一个简单的通信系统，只能实现两个用户之间的通信；组织成

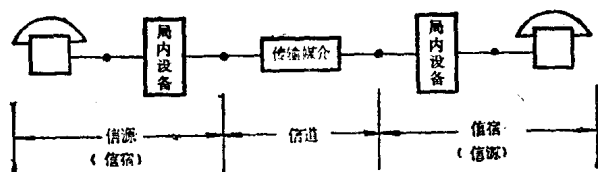


图 1-1 通信系统的构成

为通信网之后，便可以在大范围内实现大量用户之间的相互通信。

通信网中所传输的信号，一般是以电压或电流的变化来代表消息的。按照电压或电流的取值和反映消息的方式，通信网可分为模拟网和数字网两类；如果按照业务的性质，又有电话网、传真网、数据网等等专业网之分；至于提到长途网和本地网，则是概括了各专业网的机能在内，附加有地域概念的公用通信网的总称。我国的长途网是连接四级以上交换中心（县中心）的通信网；本地网则是连接用户和端局，并与四级交换中心相连的通信网，即市内电信网和农村电信网。构成长途网和本地网的基础之一，便是通信线路。

迄今我国已建立了包括一至四级交换中心在内的四级汇接的长途电话通信网，如图1-2所示。这四级交换中心，我国习惯上分别称为省间中心（北京、天津、上海和南京、武汉、沈阳、西安和兰州，以及成都和重庆），省中心（各省或自治区的省会或首府），县间中心（专区所在地）和县中心。

为了便于对公用通信网的分工管理，我国规定省间中心之间和从省间中心至省中心的长途通信电路，称之为一级电路。由省中心至各县及各县之间的电路，称为二级电路。本地网包括市话网和农话网两类，通常称为三级电路。

三、电信线路网的基本结构

电信线路网主要根据各级电信网的实际需要设置。结构上一般可以归纳为下列四种基本结构，如图1-3所示。图中 P_1 、 P_2 、 P_3 和 P_4 各点表示通信点的位置；各点之间的联线表示通信线路。将各

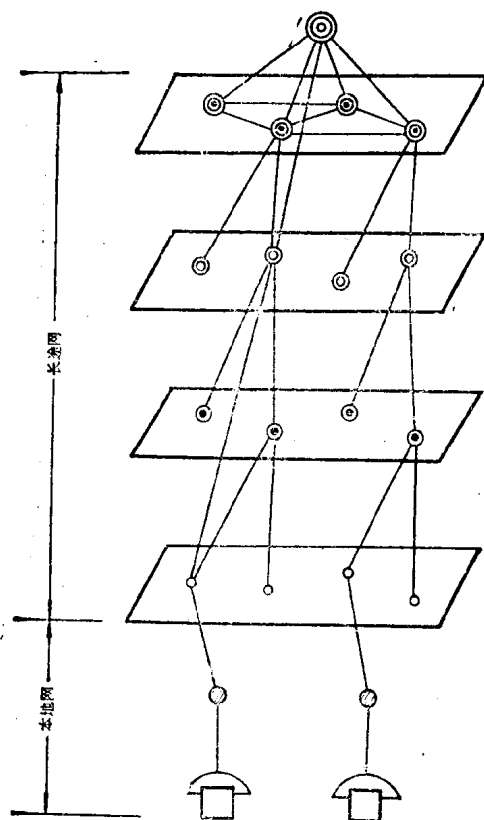


图 1-2 我国的通信网结构

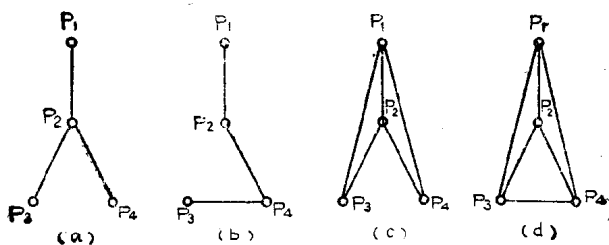


图 1-3 电信线路网的基本结构

点连接沟通，就可以组成各种各样的电信网。至于每一种的特点，分别叙述如下：

1. 辐射型—以 P_2 为中心，向 P_1 、 P_3 …… P_4 各点的联线，构成辐射状的网络。如省间中心至省中心，省中心至县中心，或电话局至各个用户点等，如图1-3(a)所示。

2. 串联型—各通信点之间的通信联系，需要经过多次串联转接所形成的网络。如从省间中心至县中心的电话联系，不同省的各县用户之间的电信联系，常需要经过多级汇接，才能沟通的网络结构。如图1-3(b)所示。

3. 闭合型—各通信点之间组成的若干闭合环路，如图1-3(c)所示。

4. 直接型—各通信点之间的通信联系，都利用直达电路，而不必经过第三通信点转接的。如图1-3(d)所示。

现在人类社会正在逐步进入信息化时代，为使信息对社会进步和国民经济发展获得最大效益，就有赖于这些信息能及时而有效地传输和交换。通信线路就是通信网中实现信息传输的主要工具。

四、电话网的传输标准及其分配

1. 话音回路的容许衰减值

为了使任何两个电话用户之间的通话效果令人满意，必须规定话路各个组成部分的允许衰减值。在两个地点的用户互相通话时，如果发送端的话机输出功率(W_1)为一毫瓦，接收端话机灵敏度可容许收听的最低功率(W_2)是一微瓦时，则保证收听到的话音清楚。这样推导出的话音回路中容许衰减值为：

$$\alpha = 10 \lg \frac{W_1}{W_2} = 10 \lg \frac{1 \times 10^{-3}}{1 \times 10^{-6}} \cong 30 \text{ dB} \quad (1-1)$$

或

$$\alpha = \frac{1}{2} \lg \frac{W_1}{W_2} = 3.45 \text{ Np}$$

根据正常人耳的听觉测定结果，话路衰减值与实际通话质量的关系如表1-1所示。

表 1-1

正常人耳听觉效果等级

话路中的传输衰减 dB(Np)	8.687 (1)	17.4 (2)	26.0 (3)	34.7 (4)	43.4 (5)
按电话音的要求实际效果	很好	好	完全满意	不完全满意	不满意

2. 现行长途和市内电话的传输衰减分配

(1)我国邮电部现行的邮电技术基础标准文件(YDC08-64)中，规定长途电路(不包括用户话机)的传输衰减标准：在国内通信网任意两个长途电话用户之间，以音频800Hz为基础，全程的最大净衰减是30dB或3.4Np。照顾到国内通信网的目前水平，在转接次数很多和其他特殊情况下，允许适当放宽到33dB或3.8Np。

净衰减的定义，就是在电路中既有衰减又有增益的情况，从总衰减中减去增益以后所剩余的衰减值。

必须指出，这里规定的30~33dB衰减是包括国内通信网中的两个用户接通电话所允许的全程最大衰减值。其中包括了市内和长途电话网中每段电路(如用户线路、长市中继线、进局设备、交换设备和终端机等)引起的衰减之和。这样，就有必要将上述规定的全程衰减值30~33dB合理地分配到组成通路的每个分段，而且要保证在每个分段内都不许超过分配的衰减值，才能确保用户通话时获得满意的效果。

国内通信网的任两个长途电话用户之间的全程衰减值，一般是按照图1-4分配给用户线路、长途线路以及中间的交换设备。

实际上，长途电话往往需要经过几段长途直达电路的转接，这时，仍然要求长途电路全程的净衰减不能超过规定的标准12.16dB(1.4Np)。因此，应在所经过的长途交换台(机)上装设假线自动控制设备，如图1-5(a)所示，便是两段在电路终端设有假线的长

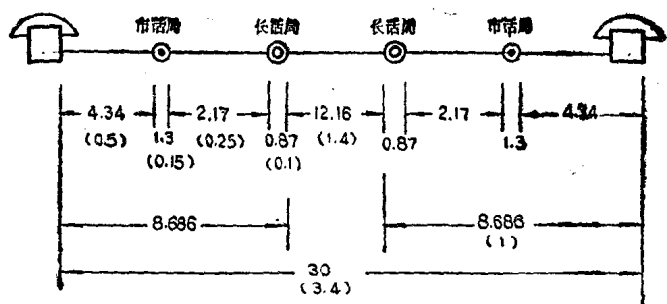


图 1-4 长途电话电路的传输衰减分配, dB(NP)

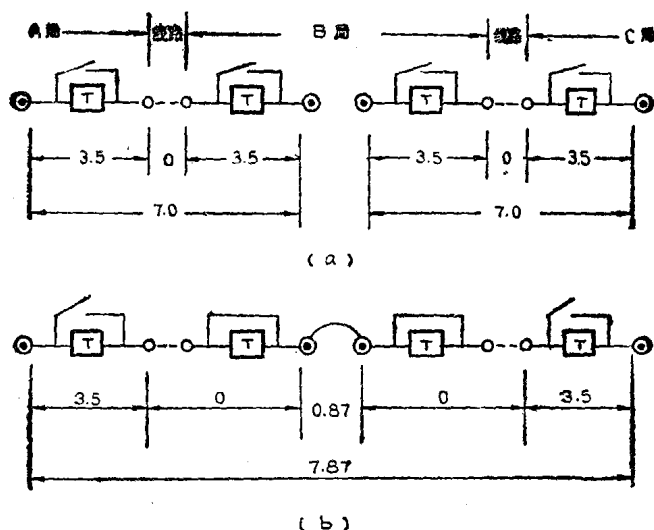


图 1-5 转接长途电路的净衰减 (dB)

途电路，每段各有7dB的净衰减。一旦要在B局进行转接时，B局两侧的假线便自动短路，使转接电路AC的净衰减较直达电路只增加0.87dB的转接衰减，如图1-5(b)所示。这样，就使长途电路最多可经六次转接。

(2) 根据现行标准 (YDC09-64)，同一城市内的任意两个用

户之间的最大容许衰减值规定为24dB或2.8Np。在这种情况下，其通话回路传输衰减值分配，如图1-6中所示。

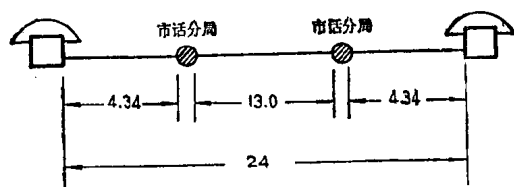


图 1-6 市内电话线路的传输衰减值分配, dB(Np)

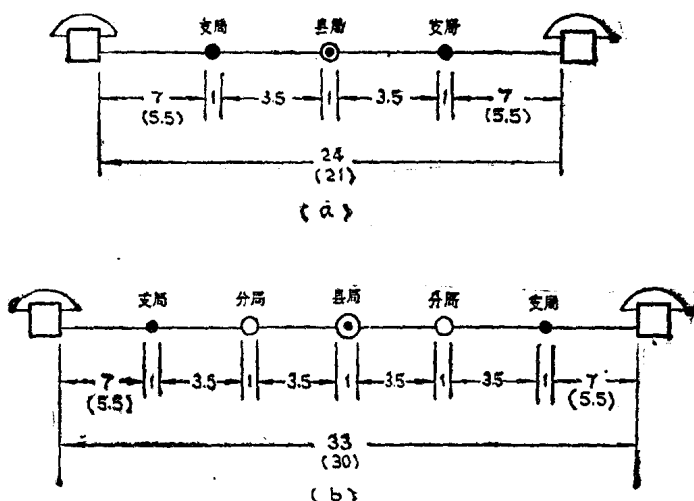
还必须指出：在考虑市内电话传输衰减的同时，一定还要注意到用户线路的环路电阻值能否满足信号对线路的限值要求。因为市内电话的通话电源是由局内的公用电源供给的，线路电阻过大时，流到话机的直流电就要减少。电流太小，会造成拨号脉冲失真，使自动电话交换机不能正常动作，以致发生错号等现象。

用户线路的通话距离很长时，可以采用下列措施改善信号传输效果。

- (a) 挑选灵敏度高的送、受话器；
- (b) 应用二线式放大器，如负阻抗增音机；
- (c) 利用四线式传输，可采用短距离模拟载波机或脉码调制(PCM)设备。
- (d) 采用附设有送话或受话放大器的话机；
- (e) 用户线加感，或采用较粗的芯线线径。

3. 农话线路网的传输衰减值分配

我国现行的传输标准，农村电话网的传输衰减分配，按照一级汇接和二级汇接两种方式分别规定如图1-7所示。一级汇接的县内电话网中，用户至县局只需要经过支局一次转接；而二级汇接则要增加分局的第二次转接。按照图1-7中规定的传输衰减分配标准，在农村电话网内，各中继电路都需要采用载波电路，各段的净衰减为



注：括号内为磁石式用户

图 1-7 共电式县内电话网的传输衰减分配(dB)

3.5dB (0.4Np)，各局内设备的衰减为1dB (0.1Np)，由于县局的农话交换台和长途台都是设置在同一局址内，其中继线很短，这时的中继线衰减规定为0.5dB(0.05Np)。

农话用户线的允许衰减，根据采用的人工交换机制式不同，有不同的规定，如共电式的是7dB(0.8Np)，磁石式的是5.5dB(0.6Np)。按照这样的衰减分配标准，对一般农村用户只经一级汇接至县局，其衰减在10dB(磁石式)或12dB(共电式)。这样的用户线传输衰减，基本上与市话线路网的衰减分配接近，可以和市内电话用户相类似，能与全网中其他用户清楚地通话。但是，若经过二级汇接，线路衰减约大5dB左右。

在规划和新建农村通信网时，要考虑传输衰减分配问题，尽可能建成类似一级汇接的农村通信网路，或者采用较先进的通信手段减少农村交换点长途中继线的净衰减。使农村通信网在可能条件下，逐步接近市内电话网的衰减分配标准，以保证高质量的全网传输效果。

4. 长话自动拨号网的传输标准（试行）方案

上述的现行传输标准(YDC08-64和YDC09-64)中的传输衰减不包括电话机在内。既不能体现实际的通话质量,也不经济合理。因为在相同的传输系统中,如果电话机的传输性能提高,则在符合同样指标的前提下,不仅可以大量地节省用户线路的投资和有色金属,还可以扩大市话网的服务范围。

所谓传输质量,是指话音经过传输系统再现时良好程度的量度。主要的评定方法有:

- (a) 话音响度参考当量法;
- (b) 清晰度参考当量法;
- (c) 收听意见测试法;
- (d) 通话意见测试法。

其中(a)和(b)两法直接与采用的基准系统*有关,(c)和(d)两法间接与基准系统有关。

所谓通话质量,是以通话的良好程度为评定尺度。用响度,清晰度和逼真度三个因素量度。

目前,普遍采用话音响度参考当量作评价方法为基准。此当量系以被测系统与NOSFER基准系统在规定的发送和接收条件下,调节系统内的平衡衰减器,使被测系统与基准系统达到同样的响度。这时两系统的衰减差,即为被测系统的参考当量(单位是分贝)。如果被测系统优于基准的,该当量为负值;反之,为正值。

我国的有关部门调查了用户线路的长度分布规律(95%离市话局在5km以内),话机水平和市内电话、长途电话全程的现状条件,参照CCITT建议和其他国家电话传输标准分配情况,提出了我国长途电话自动拨号网的传输标准(试行)方案。其主要内容如

*当前国际上基本是以1960年CCITT建议的新的测量参考当量基准系统(NOSFER)取代欧洲的基本电话传输参考系统(SFERT)。我国于1980年也已经建立了国家一级的电话参考当量基准系统,1979年颁布的电话机国家标准中,业已采用参考当量作为话机电声质量的尺度。

下:

(1) 用户电路参考当量的限值

用户电路, 是指从用户话机的送话器至其所连交换局(端局)的交换点(包括馈电桥), 或从受话用户所在的交换局的交换点(包含馈电桥)至用户话机的受话器为止。

传输标准(试行)方案中规定: 用户电路的发送参考当量(SRE)最大限值为+12dB; 按接收参考当量(RRE)最大限值为+3dB。见表1-2。

表 1-2 用户电路的参考当量限值

项 目	发送系统(dB)	接收系统(dB)	备 注
电话机参考当量	+ 0	- 6	不带用户线主观评定值
用户线参考当量	+ 8	+ 8	0.5mm 径电缆5k m
话机馈电损失	+ 4		0.5mm 径电缆5k m
预留噪声富余度		+ 1	
合 计	+ 12	+ 8	

表中的用户线路参考当量(q), 利用式(1-2)确定:

$$q = K\alpha_{800}L \quad (1-2)$$

式中 L ——用户线路长度, km。

α_{800} ——非加感市话电缆线对单位长度在800Hz时的镜像衰减, 如0.5mm径铜线的 $\alpha_{800}=1.37\text{dB/km}$ 。

K ——单位长度电缆芯线直径系数, 如表1-3所示。

表 1-3 单位长度电缆心线直径系数(K)

电缆线径, mm	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.2
K (用户线路)	1.27	1.17	1.13	1.11	1.11	1.12	1.17

(2) 全程参考当量分配

国内两用户之间，最大的连接全程参考当量不大于33dB。其分配如图1-8所示。

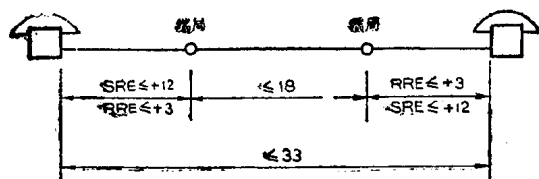


图 1-8 国内长途电话全程参考当量分配 (dB)

利用此系统做过汉语单字清晰度实验，评定的清晰度达到88%。因此，可以认为该系统是令人满意的。

图1-8中两个端局（市话或农话交换局）之间长途电路的参考当量限值及其分配，如图1-9所示。

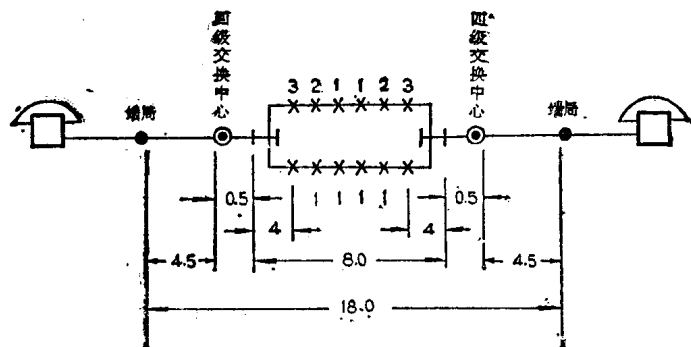


图 1-9 端局间参考当量限值分配 (dB)

图1-9中，从用户经端局至长话交换中心属于本地网。为了实践上的方便，也可以用传输衰减来表示，其限值及分配如图1-10所示。

(3) 市话网传输衰减限值分配

基于上述限值，市话网中采用非加感电缆，在800Hz时的传输

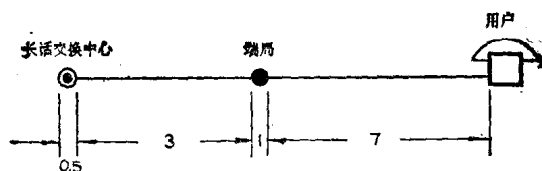


图 1-10 长途终端系统传输衰减限值分配(dB)

衰减，两分局之间中继线路的衰减不大于13dB；用户线路衰减不大于7dB（终端用标准话机）。如图1-11所示。

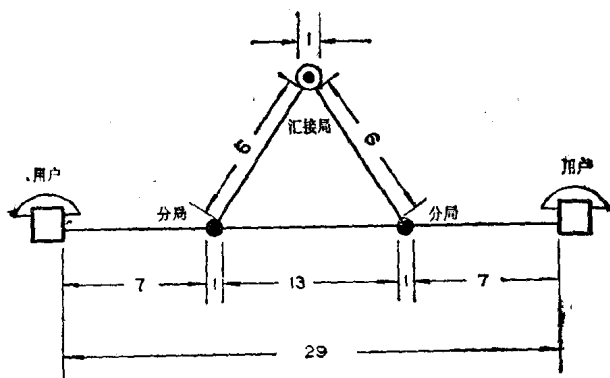


图 1-11 市话网传输衰减分配(dB)

文献〔6〕中提出的模拟电话网的传输标准（试行）方案，根据资料〔7〕的分析证明，如果市话网兼容数字传输系统时，仍能保证传输质量。

上述传输标准（试行）方案的主要特点之一，是在用户线路中考虑了话机的性能。在保证传输质量的前提下，在较短的用户线路上便可以使用灵敏度较低的送、受话器，而把灵敏度较高的话机用在较长的用户线路上。同理，如果提高话机的质量水平，用户线路便可以使用较小的线径，或在线径相同的情况下扩大市话局的服务范围，提高经济效益和服务水平。

按用户线路环阻范围，电话机可划分为三个等级，如表1-4所