

高等学校教学用书

长途电信学

(下 册)

原編者：北京邮电学院长途电信教研組

审校者：邮电学院长途电信学教材选編組



人民邮电出版社

73.441
163
2.2

高等学校教学用书

长途电信学

(下册)

原編者：北京邮电学院长途电信教研組

审校者：邮电学院长途电信学教材选編組



103583

DT17/29

內 容 提 要

本書是以北京郵電學院長途電信教研組參考蘇聯教材逐年編寫並結合教學改革後幾次教學實踐經驗加以修改的講義為基礎，審核修訂而成。全書共十三章，分上下兩冊。

本書上冊為第一部分，共分七章，首先介紹明綫音頻通信系統，然後就高頻通信系統說明各種制式載波電話機的结构方案；重點闡述載頻供給系統和自動電平調節系統的基本原理、電路分析和設計方法；並討論振鈴系統的工作原理。下冊為第二部分及第三部分，共分六章（第八章至第十三章）。第二部分介紹長途通路的技术指标。包括長途通路品質的分析以及明綫和電纜通路的设计方法；並根據整個系統的质量要求提出羣變頻器、濾波器和羣放大器的技术要求。第三部分介紹長途通路的运用与維護。包括載波室的设计和會議電話工作原理的一般介紹。最後介紹短距離載波電話系統和電力綫載波電話系統的一般說明。

本書適用於高等學校電話電報通信專業作教學用書，也可作為電信工程技術人員的參考用書。

長 途 電 信 學 (下冊)

原編者：北京郵電學院長途電信教研組

審核者：郵電學院長途電信學教材選編組

出版者：人民郵電出版社

北京東四六條13號

(北京市書刊出版業營業許可証出字第〇四八號)

印刷者：北 京 市 印 刷 一 廠

發行者：新 華 書 店

開本 859×1168 1/32

1962年5月北京第一版

印張6 1/32，頁數200

插頁3 1962年5月北京第一次印刷

印刷字數166,000字

印數1—6,000冊

統一書號：K15045·總1302—有279

定價：(10) 1.10元

目 录

第 八 章 长途电信通路的品质	1
§ 8-1 通信信号及其传输特点	1
1. 通信信号的特征	1
2. 各种信号的工作范围	2
3. 各种通信系统的传输能力	8
§ 8-2 通路品质的衡量和影响通路品质的因素	11
1. 通路品质的衡量	11
2. 影响通路品质的因素	12
§ 8-3 通路净衰耗及其频率特性	14
1. 通路净衰耗	14
2. 通路净衰耗的频率特性	16
3. 通路的稳定度	17
§ 8-4 振幅特性和非直线性畸变	19
1. 通路的振幅特性	19
2. 非直线性畸变	21
3. 限幅器的应用	24
§ 8-5 通路的串杂音	25
1. 杂音的来源	25
2. 杂音影响的表示	27
3. 串话	29
§ 8-6 通路的其他质量指标	31
1. 载频的频率差别	31
2. 传播时间的影响	31
§ 8-7 对二次复用通路特殊要求	34
1. 对音频电报二次复用通路的特殊要求	35
2. 对传真通路品质的特殊要求	37
3. 对广播通路品质的特殊要求	38
4. 压缩扩张器的原理	39

103583

5. 对电视通路的特殊要求	42
第九章 高频电话通路设计	49
§ 9-1 长途电信网的构成	49
1. 长途电信网的构成原则	49
2. 高频电话通路的转接	51
3. 转接通路的稳定度	53
§ 9-2 高频电话通路设计的基本内容及杂音定额	60
1. 杂音定额	60
2. 通路设计的基本内容	61
3. 概算——勘查前的准备工作	62
4. 勘查	63
§ 9-3 线路程式的选择及增音站的分布	64
1. 路由的选择	64
2. 线路程式选择	65
3. 根据通信通路数量确定线路容量	66
4. 增音站的分布	67
5. 转接站的分布	68
§ 9-4 通路电平图的计算和绘制	68
1. 明线通路电平图的计算和绘制	68
2. 电缆通路电平图的计算和绘制	75
§ 9-5 明线线路杂音积累	77
§ 9-6 电缆通路的热杂音积累	78
1. 热杂音的概念	78
2. 热杂音的计算和积累	80
§ 9-7 非线性干扰的积累	81
1. 单个放大器非线性产物的计算	82
2. 非线性干扰的积累	89
§ 9-8 串话杂音的计算和积累	92
§ 9-9 通路质量的评定	91
第十章 主要部件的技术要求	96
§ 10-1 群变频器的产物分析及技术要求	96

1. 群变频器产物的分析	96
2. 群变频器的技术要求	98
3. 群变频器的工作性能	99
§ 10-2 滤波器的技术要求	100
1. 分路带通滤波器的技术要求	100
2. 方向滤波器的技术要求	105
3. 线路滤波器的技术要求	109
§ 10-3 群放大器的技术要求及电路分析	111
1. 群放大器的技术要求	111
2. 群放大器的电路分析	119
第十一章 载波室的设计	124
§ 11-1 有关基本建设的技术要求	124
1. 机房面积及高度的确定	124
2. 对载波室的一般要求	127
§ 11-2 机械设备的安排	128
§ 11-3 布线系统	130
§ 11-4 载波室设备用电源容量及馈电线截面积的計算	133
1. 载波室设备用电源容量的計算	133
2. 载波室馈电线截面积的計算	135
§ 11-5 无人维护增音站	137
1. 遙远控制	137
2. 遙远供电	145
第十二章 会议电话	150
§ 12-1 会议电话的組成	150
1. 会议电话的任务	150
2. 会议电话网的組織形式和要求	151
§ 12-2 汇接机	151
1. 差动式汇接机	151
2. 电阻式分配器汇接机	152
3. 桥分式分配器汇接机	160
4. 分配器式和差动式汇接机的连接問題	162

§ 12.3 会议电话室	163
1. 混响时间	163
2. 回损衰耗	164
§ 12.4 会议电话自动化	165
1. 自动分割	165
2. 自动汇接	167
第十三章 其他制式载波通信	168
§ 13.1 短距离载波电话	168
1. 短距离载波电话的特点	168
2. 铁线载波机	171
3. 市话中继线用短距离载波机	173
§ 13.2 晶体管在载波机中的应用	175
1. 载波机使用晶体管的特点	175
2. 晶体管载波机介绍	177
§ 13.3 电力线上的载波电话	179
1. 利用电力线传输载波电话的特点	179
2. 耦合系统	181
3. 电力线载波电话机件	183
4. 电力线上的集体通话	186
§ 13.4 载波系统与无线接力系统的联系	188
1. 用于无线接力制的载波机	188
2. 无线接力制载波机装设地点的考虑	190
参考书刊	192

第八章 長途電信通路的品質

§ 8.1 通信信号及其傳輸特点

1. 通信信号的特征

長途電信通路由綫路和通信机械組成。为了保證足够滿意的通信质量，对于綫路和通信机械需要提出一定的要求。这些要求成为長途綫路和通信机械設計、制造、安装、运用等的依据。为此，需要研究怎样才能达到合格的质量。在討論怎样算是合格的质量之前，首先要了解長途電信的几种通信信号形式和它們的特点。

長途電信通信信号一般可分電話、电报、传真、广播（指声音广播）和电视。这些信号的傳輸，都是首先把信号的内容轉換成交变的电流，把电流傳輸到接收端，然后在接收端再把交变的电流轉換成信号。这种轉換設備就是電話机、电报机、传真机、电视机、微音器、揚声器等。这些机件結構的討論属于其他專門課程范围，这里只研究轉換后的信号电流在長途電信系統中傳輸的問題。

信号电流的特征表现在三方面，就是頻率、振幅和时间。若以 h 表示瞬时振幅、 f 表示頻率，图 8.1 a 表明瞬时振幅随时间的变化曲线；图 8.1 b 表明頻譜振幅 A 和頻率成份 f 的关系曲线。和通

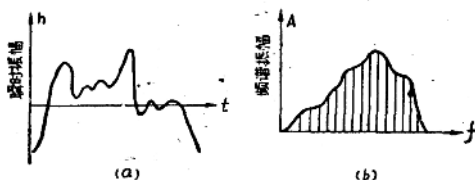


图 8.1 信号特征的相互关系曲线

路傳輸能力有密切关系的是这几个变数的变化范围。图 8.2 是 h 、 f 、 t 这三个变数变化范围的图形表示。这里把 h 、 f 、 t 的值用空

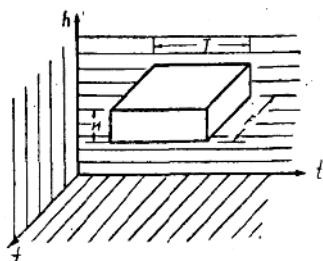


图 8-2 信号体

間相互垂直的三个軸表示，并用 H 表示振幅的变化范围， F 表示頻率的变化范围， T 表示時間的变化范围^①；那末信号的整个工作范围可以用一个称为信号体的立方体来表示。这个信号体的体积 C 是：

$$C = H \cdot F \cdot T \quad (8.1)$$

通路的容量要足够容纳信号的体积。长途载波通路不考虑時間因素（時間多重制的通信系統除外）。

振幅变化范围 H 又称为动态范围，頻率变化范围 F 又称为頻带宽度。

2. 各种信号的工作范围

(1) 电话和广播信号 电话信号非常复杂，每一个声音包括若干不同頻率不同振幅的組合，其諧波成份和持續時間又各不相同。語言中最高頻率成份可达 8000~10000 赫，但仅使用 300~3400 赫的頻率范围已經足够保証語言的了解度和一定的自然度。自然度随頻带的縮窄而減低，例如頻带窄到 300~2700 赫时自然度就稍差一些。

載波电话所以用 300~3400 赫或 300~2700 赫的頻率，这是从保証通話质量和經濟利用綫路設備相結合而考虑的。如果頻带窄，則同一綫路上通路数量可以增加，但通話质量較差。如果放寬每一路的頻带，那末通話质量虽可以好些，但可开通的路数就要减少。电话通信主要是要求双方能了解对方的語言，自然度稍差些影响也不大。因此在 12 路以上的載波电话中使用 300~3400 赫頻带已經足够了。在这范围以外的語言頻率成份虽不传送，并不妨碍語言的理解。

註①： T 可以理解为傳輸同样信号所需要的时间。例如，如果把傳真机轉筒轉速提高一倍，則同样图片所需傳輸時間減半。

一般的三路载波电话中多采用较窄频带如 300~2700 赫等，这主要是由于历史发展的原因，以后，无论哪一种载波电话都有采用 300~3400 赫频带的趋势。

广播的要求和电话不同。广播内容包括语言、歌唱和音乐，不仅要求被了解而且要求保持相当的自然度；因此，传输频带要求为 150~5200 赫，较高质量的广播要求传送 50~7500 赫，最高质量的广播则要求传送 30~15000 赫的频带。

关于声音的动态范围，语言约达 6 奈，交响乐可达 11.5 奈，即相当于最大与最小功率比达 9.75×10^3 倍。事实上，要设计一种机械设备能无畸变地传输这样大的动态范围是困难的。一般电话通路把动态范围限制在 4.6 奈以内。广播传输如嫌动态范围不够，可用别的方法补救，这留待后面说明。

(2) 电报信号 电报通信是用电码代替文字来传递消息。一般直流电报依据代表所需传递的文字的电码，发送直流脉冲序列。常用的电码有莫尔斯电码和均匀电码。

莫尔斯电码用长短不同的脉冲序列表示不同的字母。脉冲分点和划两种，划脉冲的持续时间点是点脉冲的三倍。每两个脉冲间有一单位时间（和点脉冲的持续时间相同）的间隔，一个字母和一个字母之间有 3 个单位时间的间隔。这样，每一个字母的持续时间最短的有 8 个单位（如图 8.3a），最长的有 22 个单位（如图 8.3b）。这

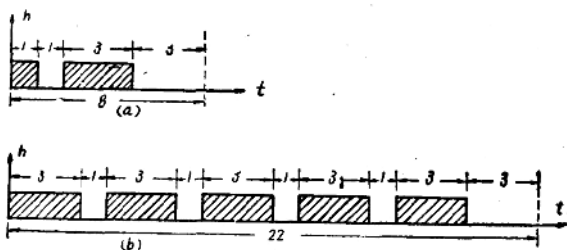


图 8.3 莫尔斯电码

种电码的缺点是不均匀,发出同样内容的文字所费的时间一般比用均匀电码长。

均匀电码中任何字母都用同样个数的基本信号来表达。基本信号有两种,即脉冲的有无或正负(+、-或+、○或-、○)。如果用6位电码,那末基本信号可有 $2^6=64$ 种不同组合,足够区别不同字母、数码和标点符号。均匀电码的脉冲序列如图8.4所示。现今电报快机使用均匀电码的较多。一秒钟所拍发的基本信号数目就是通报的速度,单位是波特。



图 8.4 均匀电码

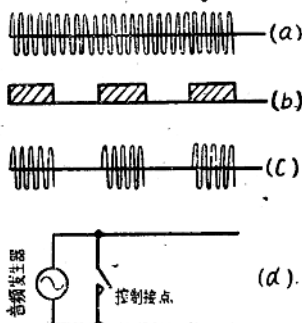


图 8.5 音频脉冲序列

- a. 连续音频电流 b. 直流脉冲
c. 断续音频 d. 控制原理

利用长途电话通路可传输音频电报,但需将直流脉冲转换成断续的音频信号,然后送到电话通路中传输。如果直流脉冲是如图8.5b所示,那末输出音频电流将如图8.5c所示。这个转换过程在于把图8.5a的音频电流用图8.5b的直流脉冲进行调制。直流脉冲可用傅氏级数分析成一个频率为 α 的基波和它的各次谐波之和,故调制结果中应包含音频 f_s 和 $f_s \pm n\alpha$ (n 为正整数)等频率成分。由于二次以上和差项对电报接收影响很小,一般考虑传输频带的宽度时,只需考虑一次和差项,即 $f_s \pm \alpha$ 。

通报速度一般最高约80波特;在这样的通报速度,每个基本信号的持续时间,

$$t_s = \frac{1}{80} = 12.5 \text{ 毫秒。}$$

信号的重复频率（即分解为傅氏级数后的基波频率）是：

$$\alpha = \frac{1}{2t_s} = \frac{1}{T} = \frac{1000}{25} = 40 \text{ 赫},$$

式中 T 是重复周期。

为了能传输音频和它的两个边带，电路的频带宽度 Δf 应是：

$$\Delta f = (f_s + \alpha) - (f_s - \alpha) = 2\alpha = 80 \text{ 赫} \quad (8.2)$$

因此，每一路音频电报的频带宽度不应小于 80 赫。

对于调频系数较小的调频制音频电报频带宽度的要求也是不小于 80 赫。调频系数较大时，则频带要求更宽。

音频电报信号的动态范围决定于电报机械的性能，一般可不提出比电话通路更大的要求。

传输音频电报时，滤波系统的电流建立时间要求小于基本信号的持续时间 τ ，否则电流来不及达到足够的值以前，下一个信号将又接着输入。如果频带宽度不超过 80 赫，即基本信号的持续时间

$$\tau = \frac{1}{\Delta f} \geq 12.5 \text{ 毫秒} \quad (8.3)$$

时，一般的滤波器可以满足上述要求。不过电报速度不能超过额定值无限地加快，否则不仅电报机不能适应，滤波器也不能适应。

(3) 传真信号 传真的基本原理如图 8.6 所示。这里要发送的图系绕在滚筒上，由电动机带动旋转。光源发出的光通过穿孔圆板上的孔，经透镜、三稜镜而射到滚筒上的图象上，由图象反射到光电管，使光电管有电流输出。图象上的黑白决定反射光的强弱，从而决定光电管输出电流的大小。圆板上有很多小孔，通过圆板的旋转进行光的机械调制。滚筒一边旋转一边前进，使图象逐行逐点被扫描。

如果用 D 表示滚筒的直径， d 表示光点的直径（见图 8.7）， n 表示滚筒每分钟所转的次数，那末输出信号电流的最高频率是：

$$f_{\text{max}} = \frac{\pi D \cdot n}{2d \cdot 60} \text{ 赫}, \quad (8.4)$$

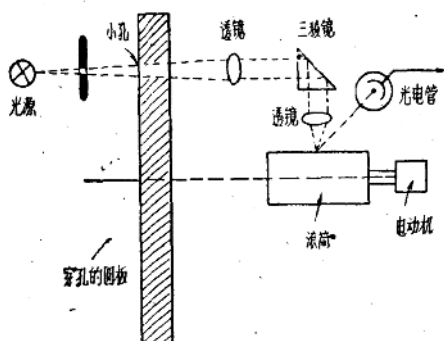


图 8-6 传真原理

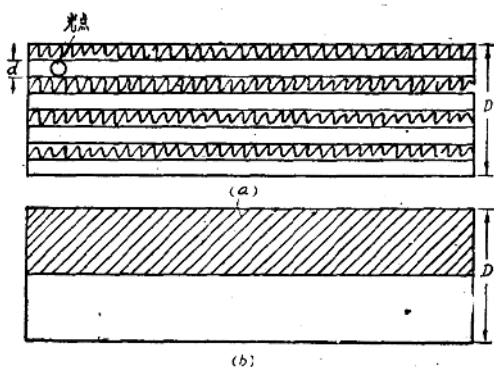


图 8-7 图象黑白变化的极端情况

最低频率是

$$f_{\text{min}} = \frac{n}{60} \text{ 赫。} \quad (8.5)$$

以上最高频率是相当于图象的邻近光点都是黑白相间的情况，那末光每扫描 $2d$ 距离，电流就是一周。图象每秒推进的距离等于

滚筒每秒轉速 $\frac{n}{60}$ 乘以滚筒的周围长度 πD 。用电流一周相当的扫描距离 $2d$ 除图象每秒推进的距离，就是 $f_{\text{макс}}$ 。

設 $n=112$ 轉/分， $d=0.2$ 毫米， $D=70$ 毫米时，則图象电流的頻率 $f_{\text{рис}}$ 是：

$$f_{\text{рис}} = 2 \sim 1000 \text{ 赫。}$$

如果 $n=300$ 轉/分， $d=0.14$ 毫米， $D=70$ 毫米时，則

$$f_{\text{рис}} = 5 \sim 4000 \text{ 赫。}$$

通路可傳輸的頻帶寬度必須大於傳真图象最高最低頻率之差，因最低頻率的數值很小，可要求頻帶寬度大於最高頻率。因此可令頻帶寬度等於图象最高頻率乘以一個大於 1 的係數，即

$$\Delta f = K f_{\text{макс}}。 \quad (8.6)$$

在單邊帶傳輸時，取 $K=1.1 \sim 1.2$ 。在雙邊帶傳輸時，取 $K=2$ 。

傳真傳輸實際上多採取如下頻帶：在傳輸照象和一般文件時，取 3200~5200 赫（載頻 4200 赫），或 6600~9500 赫（載頻 8050 赫）；在傳輸報紙時，取 300~5200 赫（載頻 2750 赫）。

(4) 電視信號 電視和傳真的區別在於傳真是傳送靜止的图象而電視是傳送活動的图象。顯然可見，傳送電視图象時，掃描速度要比傳真大為增加。電視的最低信號頻率決定於图象每秒钟更換的幀數。以 n 表示幀的頻率，那末最低信號頻率是：

$$f_{\text{мин}} = n。 \quad (8.7)$$

對於隔行掃描（這是常用的方法），

$$f_{\text{мин}} = 2n。 \quad (8.8)$$

如果幀的重复頻率不低於 25 赫，那末眼睛通常感覺不出閃動。採用隔行掃描時，图象閃動的速度二倍於图象更換的速度。

圖 8.8 所表示的图象其寬度、長度分別是 a 和 b ，每幀有 Z 行。前進掃描（即逐行掃描）最低頻率的周期就是幀頻率的周期（圖 8.8a）。隔行掃描時，閃動頻率的周期是幀頻率周期的一半（圖 8.8b）。如果 $n=25$ ，那末隔行掃描時最低頻率是

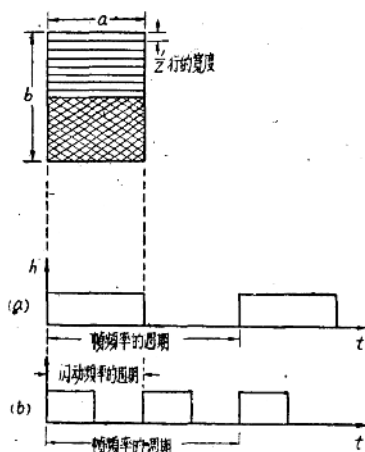


图 8-8 电视图象的扫描
a. 前进扫描 b. 隔行扫描

$$f_{\text{HH}} = 2 \times 25 = 50 \text{ 赫。}$$

电视信号的最高频率可由下式决定:

$$f_1 = \frac{nkZ}{2}, \quad (8.9)$$

式中 $k = \frac{a}{b}$, 即帧的尺寸比例, 一般用 $k = \frac{4}{3}$ 。该式是这样得出的: 每帧的行数是 Z , 而每个光点的宽度认为和行的宽度一样, 那末每行应有 $\frac{a}{b}Z = kZ$ 个光点。每秒钟扫描的光点数是帧数 $\times$ 每帧行数 $\times$ 每行光点数, 即 $nZ(kZ) = nkZ^2$ 。最高频率相当于邻近光点都是黑白相

间的情况, 故最高频率应是式(8.9)所表达的 f_1 。

实际上不致于每帧图象内邻近光点都是黑白相间, 因此最高频率可取得低一些, 一般采用

$$f_2 = 0.38 nkZ^2. \quad (8.10)$$

例如每帧用 625 行, 那末最高频率是

$$f_2 = 0.38 \times 25 \times 1.33 \times 625^2 \cong 5 \times 10^6 \text{ 赫。}$$

电视信号的动态范围就是黑象和白象的电平差, 一般可取 2 ~ 3 奈。

3. 各种通信系统的传输能力

决定了各种电信信号传输所需的频带宽度和动态范围之后, 根据传输系统所可能传输的范围, 可以决定可复用的通路数。各种线路可以传输的范围, 应能保证一定的通信质量的要求, 这和目前的技术水平有关。然而从经济的角度考虑, 关系最密切的则是复用的

限制的问题，这种复用限度决定于通信质量。杂音是影响通信质量的重要因素。一般说来，信号频率越高，受杂音干扰越厉害。杂音超过一定限度，通信质量就不能保证合格。不过杂音大小随线路不同而有差别；因此采用频率复用制度时，可用的最高频率在各种线路不同，因而可复用的通路数也不同。架空明线因暴露在大气中，受外界干扰影响大，目前利用的频率只到 150 千赫或略高。对称电缆因有屏蔽，杂音主要由通路内部以及电缆内部各线对之间相互影响引起，可用的最高频率较高，目前达 500 多千赫，还可再高些。同轴电缆则由于外导线的屏蔽作用，更可将线对间相互干扰影响减到极小，因此最高传输频率可达 8 兆赫或更高。

除杂音外，通信系统中还可能有畸变、不稳定等现象影响通信质量，限制通信系统效能的发挥。这些主要和机械制造及运用方式有关。为此，我们要研究这些影响通信质量的因素。掌握了这些因素的规律，就可以知道怎样运用才能充分利用线路的传输能力，而又保证通信的质量；另一方面也可以对线路和通信设备提出合理的要求，作为设计制造的根据。

长途电信也可以用无线电传输。无线电传输根据所用波长，大体可分为长波、中波、短波等，其波长和频率范围见表 8-1。

无线电波长分类

表 8-1

名 称			波 长 λ	频 率 f
长		波	30 公里~3 公里	10~100 千赫
中		波	3 公里~200 米	100~1500 千赫
中	短	波	200 米~50 米	1500~6000 千赫
短		波	50 米~10 米	6~30 兆赫
超	短	波	10 米~1 厘米	30~30000 兆赫

在短波以下频率因频率分配的限制，难于实行通路大量复用，只有超短波频率范围宽，适宜多路通信。不过超短波的传播方式差

不多是依直线进行的。由于地球是圆形的，直线传播的距离有一定限制。如图 8-9 所示，A 点发送的超短波，最远只能到达 B 点。虽然提高天线的高度可增加通信距离，但天线受建筑和经济条件的限制不能太高。因此，如果利用超短波

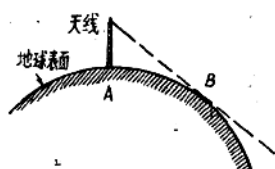


图 8-9 超短波传播

传输长途电信，中间须设置很多接力站，将接收到的信号再重发出去。目前对微波（1 米以下的超短波）接力制电话通路的质量要求，和对同轴电缆长途电路一样。关于这方面的技术

问题，将在“超高频通信”课程中讨论。

以上都是从频率复用方面考虑线路或传输媒介的充分利用。信号容量既然是 H 、 F 、 T 三者的乘积，如何充分利用传输能力的问题从理论上说来，也可以从其他两个参量 H 和 T 来考虑。不过，根据目前的技术条件，还只能做到时间 T 的复用。时间复用就是时间分割多重制，或称脉冲调制，其理论基础是考虑到人对信号的了解能力，不需要把信号连续发送和接收，只要有一部分时间把信号的主要特点传送到，就可使人了解。例如图 8-10a 的连续信号转换成同图 b 的不连续抽样信号，还是可以了解的。这样，可以用同一通路，在一部分时间传送一个信号而在其它时间传送其它信号。例如用一个通路传送十二个信号时，就把每一单元时间分为 12 部分，第一部分传送第一个信号，第二部分传送第二个信号，余类推。到第二单元时间又以第 1 部分传送第 1 个信号，第 2 部分传送第 2 个信号，余类推。这种办法因为所需传输频带较宽，目前还只用于无线电传输，并多用于遥测、遥控系统；如果有有线线路能传送更高频率，例如波导传输技术成熟时，当然同样可用于有线多路电话传输。

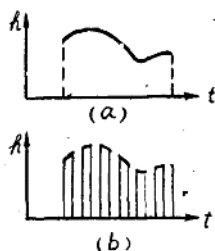


图 8-10 时间分割
a. 连续信号 b. 抽样信号