

# 脉码调制通信解说

916.53

## 内 容 提 要

本书译自日文《解说PCM通信》。内容从PCM(脉码调制)通信的发展、特点、原理谈起,在讲述了PCM基本原理的基础上,论述了PCM—24路方式,中容量PCM方式概要和特点也占相当的篇幅,还简述了PCM在卫星通信、电子交换及遥测中的应用。可供从事通信专业的工人、干部、科技人员及工农兵学员入门参考。

## 脉 码 调 制 通 信 解 说

〔日〕 齋藤 仁著

本书翻译组译

\*

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: 787×1092 1/32 1977年1月第一版

印张: 4.20/32 页数: 74 1977年1月河北第一次印刷

字数: 1.07千字 印数: 1—7,000册

统一书号: 15045·总2149—有557

定价: 0.39元

## 译 者 的 话

脉码调制 (PCM) 通信作为一种新的通信方式, 极受重视, 并已在有线、无线的领域里得到迅速的发展, 在交换方面也已开始应用。这是一种有发展前途的通信方式。无产阶级文化大革命以来, 我国的脉码调制通信也正在迅速的发展。遵循“洋为中用”的原则, 我们翻译了这本《脉码调制通信解说》。对原文中一些非技术性内容作了适当的删改。

本书对日本 PCM 通信系统研制中的主要问题进行了归纳综合, 并作了简单扼要的解说, 对这种通信方式的基本原理及其组成进行了论述, 并注意各种电路方案的比较。在技术内容上, 着眼于基本概念的介绍, 没有繁琐的数学推导, 比较通俗易懂。但原文在1970年底初版发行, 未能写到1972年投入商用试验的PCM-24B (即日本PCM-24方式的改进型); 原文写了 $\mu$ -特性, 却没有写A-特性; 写了二极管压扩, 却没有写折线近似数字压扩; 写了反馈编码和级联编码, 却没有写混合编码, 等等。尽管如此, 本书仍可作脉码调制通信的入门参考。

由于水平所限, 译文中一定还有不少缺点和错误, 谨希读者批评指正。

一九七六年二月

# 目 录

<b>第 1 章 概说</b> .....	( 1 )
1.1 什么叫脉码调制 (PCM) 通信.....	( 1 )
1.2 PCM通信的历史.....	( 5 )
1.3 PCM通信的原理.....	( 6 )
1.4 PCM通信方式的构成.....	( 10 )
1.5 PCM通信方式的特点.....	( 13 )
<b>第 2 章 PCM通信的基础</b> .....	( 16 )
2.1 抽样.....	( 16 )
2.2 量化.....	( 20 )
2.3 编码与解码.....	( 24 )
2.4 压缩与扩展.....	( 30 )
2.5 时分复用.....	( 33 )
2.6 同步.....	( 35 )
2.7 再生中继.....	( 41 )
<b>第 3 章 PCM—24路方式</b> .....	( 47 )
3.1 方式概要.....	( 47 )
3.2 端机结构与工作原理.....	( 51 )
3.3 中继传输线路构成与工作原理.....	( 78 )
3.4 综合特性.....	( 92 )

3.5	监视 .....	( 97 )
<b>第 4 章</b>	<b>PCM通信的发展.....</b>	<b>( 103 )</b>
4.1	中容量PCM方式概要.....	( 103 )
4.2	PCM—120方式 .....	( 105 )
4.3	2千兆赫微波PCM方式.....	( 122 )
<b>第 5 章</b>	<b>PCM通信的应用.....</b>	<b>( 126 )</b>
5.1	卫星通信 .....	( 126 )
5.2	电子交换 .....	( 131 )
5.3	遥测计 .....	( 138 )

# 第 1 章 概 说

## 1.1 什么叫脉码调制 (PCM) 通信

如所周知，通信在人类社会中起着极为重要的作用。随着社会的发展，相互交换传递的信息种类越来越多，量越来越大，速度要求越来越高。从而对通信的要求也越来越高。电气通信正是由于以上种种情况以及科学技术的进展而急速地发展着。

脉码调制 (*Pulse Code Modulation*) 通信简称 *PCM* 通信，是一种新的比较理想的通信方式。近年来已逐渐投入使用并迅速普及开来。*PCM* 通信在高速而准确地进行信息传递和信息处理中，起着极为重要的作用。

*PCM* 通信的原理早在 1937 年就已发明，但当时限于技术条件而无法实现，直到 1962 年才完成 24 路的 *PCM* 通信方式。对于 *PCM* 通信方式的实现，晶体管的发明起着决定性的作用。

这里已经提到的信息，很自然地被理解成报纸或电视新闻一类的东西，但就信息本质而言，完全是抽象的。例如，把报纸的内容拍摄到缩微胶卷上，篇幅是显著压缩了，但从信息的角度来看，既没有变化，也没有减少。但要认识信息，就必须通过具体的物体，如印刷品、电视、电话等。要把这种具体信息迅速而准确地向远处进行传递，或是进行计算判断，则用电的方法，尤其用 *PCM* 通信的方法最为有效。

表现抽象信息的方法有模拟与数字两种。下面以图 1.1 的时钟为例来进行说明。

普通时钟是使指针比例于时间过程而变化的方法，对时间作连续表示。该图的时钟读出约 3 时零 1 分半，实际该图表示的时间应该用无限延续的数列 3 时 1 分 25.687172 ……秒表示的时间。这就是模拟表示法。所谓模拟，就是在表示信息时，使物体的长度、角度的大小、电流的大小等作相似于信息变化的变化。

另外还有电子钟在表面上直接显示出 3 时零 1 分。这种时钟从 3 时零 1 分到 3 时零 2 分是阶跃变化，而不是连续变化。这是数字表示法，即按规定的基本单位作阶跃变化的表示方法。

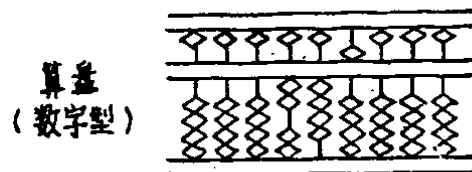
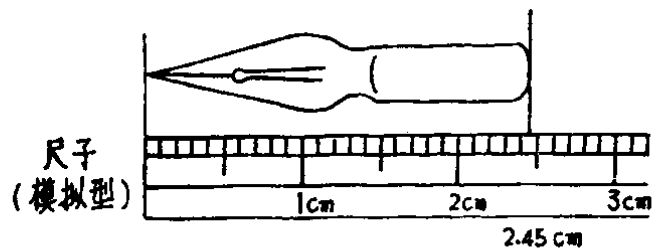
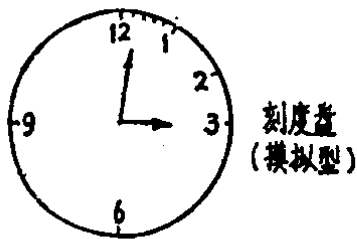


图 1.1 表示时间的两种方法

图 1.2 表示长度的两种方法

图 1.2 中以尺子和算盘为例给出表示长度的两种方法，尺子是模拟表示法，算盘则是数字表示法。

模拟法与数字法有什么差别呢？

模拟方法表示时间和长度时，表示量与被表示量完全对应，从而连续地准确无误地进行表示。而数字方法只能通过增加位数来提高精度，但不能表示小于最小单位的变化，即数字法是按最小单位作阶跃变化的表示方法。

模拟方法用物理量（长度、角度）进行表示，而数字方法则用符号（数字）和抽象的办法（如算盘子）来表示。物理量要受温度、湿度等的影响，而数字符号表示的数字或算盘子的含义则不受温度的影响，因而可靠性高，读出误差小。

以往一直广泛采用的电话通信是模拟型的，PCM 通信实现了电话通信的数字化。

为了理解PCM（脉码调制）的概念，先说明几个术语。

调制，就是把要进行通信的信号纳入有利于线路或空间传播的高频电流（即载波）。常见的无线电广播中进行的调制，是使具有一定振幅和频率的高频正弦波随话音强弱而变化。因为正弦波的振荡、放大等都较为容易，所以采用正弦波作载波。

调制方法有下列三种，这些都是模拟调制方法。

AM（幅度调制）：使高频正弦波振幅随信号的变化而变化。

PM（相位调制）：使高频正弦波相位随信号的变化而变化。

FM（频率调制）：使高频正弦波频率随信号的变化而变化。

脉冲在时间上是间断的，从而是不连续的波形。所谓脉冲波是以一定周期重复的脉冲。调制脉冲波的方法有以下几种。其波形示于图1.3中。

PAM（脉幅调制）：使脉冲幅度随信号的变化而变化。

PPM（脉位调制）：使脉冲位置随信号的变化而变化。

PWM（脉宽调制）：使脉冲宽度随信号的变化而变化。

PNM（脉冲数调制）：使脉冲数随信号的变化而变化。

PCM（脉码调制）：使脉冲序列变成代表信号的代码（脉冲有、无的组合）。



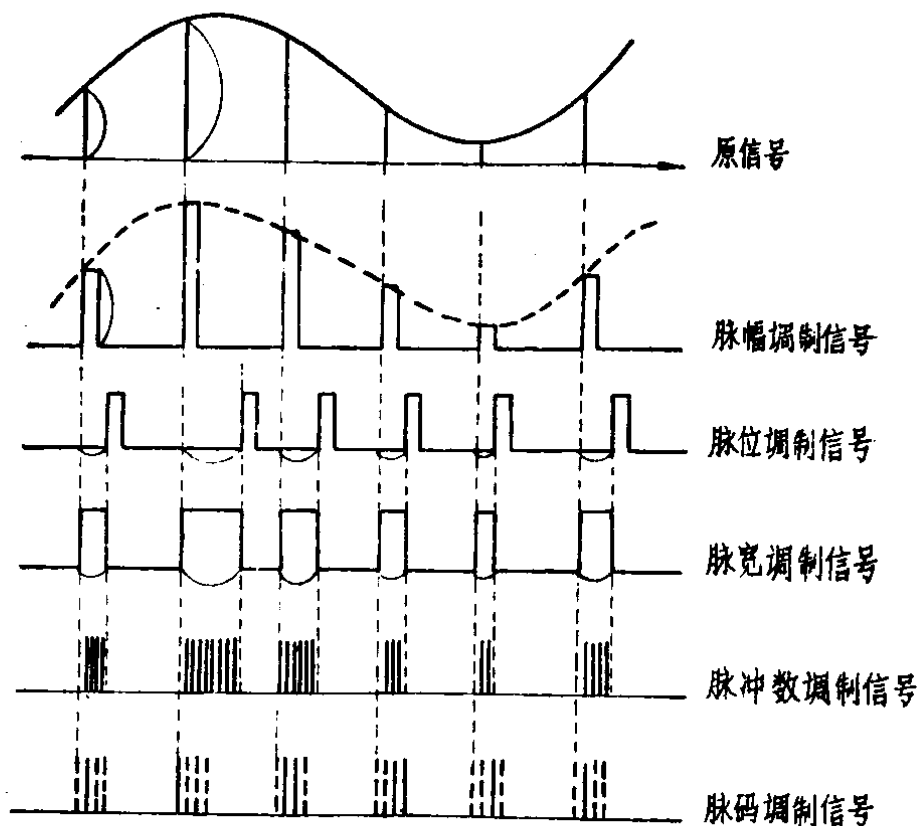


图 1.3 调制波形

前三种方法用不连续的脉冲，使其振幅、宽度和位置分别随输入信号的变化作相应变化，是模拟调制方式。但 *PCM* 通信是对输入信息进行不连续的阶跃的近似表示的数字通信。很早就已使用的电报就是采用把字母表示成长短脉冲组合的莫尔斯码的数字通信。但 *PCM* 通信是一种高质量的通信方式，这种方式把话音或电视信号的瞬时电流及时变换成代码进行传输，在收端再还原成原来的话音或电视信号。

虽然 *PCM* 通信方式的基本设想是早就有了的，但理论上已经证明，它应用于电子计算机基础的脉冲技术和采用晶体管以及集成电路等半导体元部件后，才作为一种新的通信方式广泛应用。

## 1.2 PCM通信的历史

载波方式通过变更载波频率来进行多路复用，这就是频分复用方式，即FDM方式。这种方式早已广泛应用。开始是三路载波电话，目前已有不少国家使用2700路载波方式。

此外，三十年代研制了变换每路传输时间来进行多路复用的时分复用，即TDM方式，并制成PAM(脉幅调制)和PWM(脉宽调制)的24路设备。不过这些都是使用脉冲的模拟方式，传输质量还不如频分复用方式，而且再要增加复用路数更是困难，因此不久就被淘汰，不再使用。

1937年从改善PAM(脉幅调制)、PPM(脉位调制)的研究中得到PCM通信原理的设想，这就是在时间轴上以适当的间隔把话音信号划分成细条，然后求出各个细条的振幅值，进而作出与各个振幅值对应的码组(脉冲有、无的组合)，显然这就是PCM通信原理的三个过程：抽样、量化、编码。

这种方式抗干扰能力强，效率高，但频带展宽了，要求宽频带传输线路，而且对脉冲速度的要求也要比PAM方式高，所以在当初是难以急速发展的。

PCM技术在四十年代进行了广泛的研究，证明在已有的各种通信方式中，这种PCM通信方式的通信容量(通过该方式所能传输的信息量的极限)最大。而且在1948年试制成最早的实验PCM设备，这在PCM通信方式实用化过程中是重要的实验。但这次实验除证实PCM设备的复杂性外，因当时使用的有源元件都是电子管，编码用电子束编码管，所以可靠性，成本也都较高。

后来又对PCM继续进行改善性能与降低成本的研究。

1953年发明了不用编码管的编码器（反馈型编码器）。还研制成新的量化级不均匀的编码方式（非线性编码方式）。随着方式的改善，在PCM通信的实用化中起决定作用的是1948年发明了晶体管，再就是推动半导体技术与电子计算机向前发展的数字技术的发展。

总之，由于半导体元件与脉冲电路技术的应用，使复杂昂贵而且不稳定的电子管PCM设备变得比使用昂贵滤波器的频分复用方式还经济，而且充分稳定可靠，从此就明确了在实际应用中是完全可能的。

另一方面，应用PCM通信的要求也日益迫切了。这是因为，随着长途自动拨号电话的进展，对于近距离郊区线路的需求急速增加，若在现有局间增设电缆，土建工程极为困难，所以势必要求使用复用方式。为适应这种形势，便尽快应用PCM方式，以代替以往频分短程载波方式。因为是再生中继，PCM传输质量不发生劣化，由这一特点出发，一开始PCM通信方式就考虑成适合于多中继长距离的方式，但实际应用时，当然宁可从短距离线路着手。

其理由显然是因下列种种原因：PCM端机成本比以往使用昂贵滤波器的频分短距离载波机便宜；能抵抗局间中继线路中不可避免的相当高的噪声电平；以及能利用因高频传输特性变坏，FDM方式已无法利用的电缆等优点。

### 1.3 PCM通信的原理

PCM通信原理由抽样、量化、编码三步操作构成。

首先讲抽样，如图1.4所示，就是把连续的输入波形用一定周期的脉冲振幅来代表，这就是1.1节所述的PAM。使抽样

脉冲重复频率  $F$  为一定值，当输入频率  $f$  逐渐增高成  $f_1$ 、 $f_2$ 、

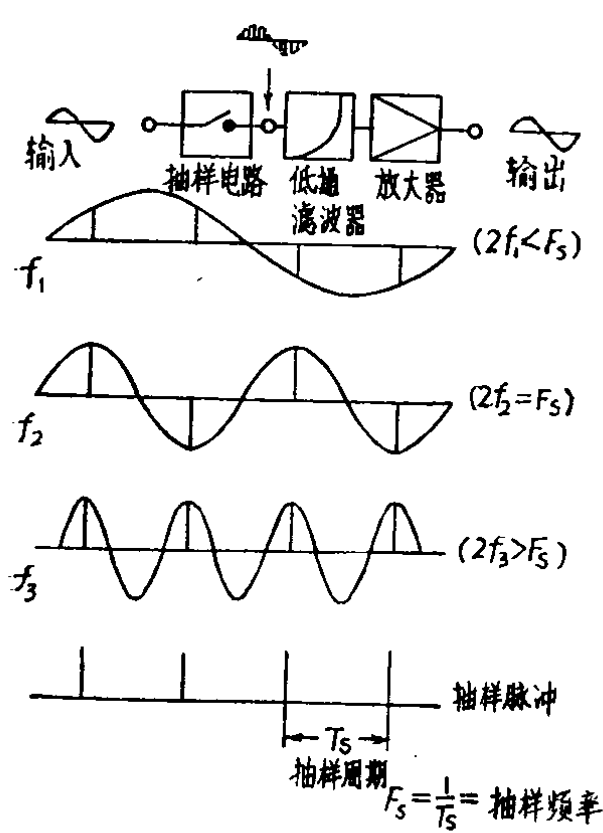


图 1.4 抽样

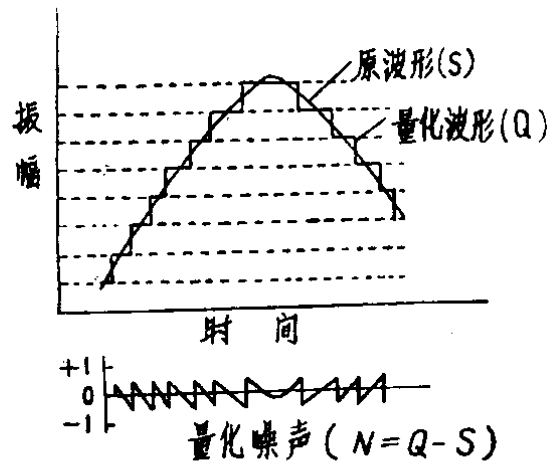


图 1.5 量化与量化噪声

$f_3$  时，显而易见 PAM 波形渐渐变得与输入波形不再相似。关于这一问题，有重要的抽样定理：若输入信号的最高频率为  $f_0$ ，则采用  $2f_0$  以上的抽样频率时，就完全能恢复输入波形。

例如电话语音信号的上限频率  $f_0 = 3.4$  千赫，抽样频率  $F$ ，选为 8 千赫。这种抽样出来的 PAM 波形若通过截止频率为  $F/2$  的低通滤波器，并加以放大，就还原出原信号。

再讲量化，如图 1.5 所示，就是用阶梯波去近似输入波形，就是把连续的模拟振幅值，用一定个数的代表值来表示，如同四舍五入。结果如图所示，原波形和量化波形间当然要产生一定的误差，这种误差波形形成量化噪声。为减小这种量化噪声，显然阶梯高度即量化级越小越好。然而分级越细，量化级数便增多，当然也就要增加下面要讲的编码位数，从而使编码装置复杂化。

以相等量化级进行量化叫做均匀量化。还有如图 1.6 所示

的非均匀量化法，这就是对小信号用小的量化级去近似，对大信号则用大的量化级去近似。这样就使输入信号与量化噪声之比在小信号到大信号的整个范围内基本一致。而且对大信号进行量化所需要的量化级数，要比均匀量化情况少的多。进行这种非均匀量化的过程，如图 1.6 所示，首先把输入信号进行压缩，然后进行均匀量化，在接收端则进行相反的操作，即扩展。

话音信号振幅的动态范围较宽，考虑到量化噪声的限制，均匀量化所需量化级数约为 2000。与此相反，在采用压缩器和扩展器的情况下，进行 128 个量化级的均匀量化就能收到同样的效果。这种压扩器（压缩器和扩展器）利用二极管电压电流间的非线性特性就能实现。

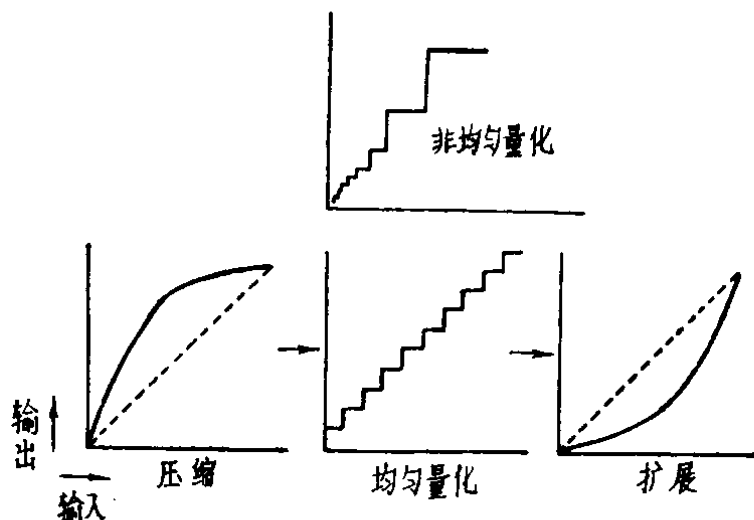


图 1.6 量化与压扩

所谓编码就是把量化了的输入脉冲幅值分别变换成与之对应的代码。与此相反的操作则称为解码。

虽然代码的种类颇多，但为了使脉冲的传输容易，采用振幅和周期都一定的脉冲的有、无来代表的代码最为有利。脉冲的有、无又正好与二进码的 1 和 0 对应。

如图 1.7 所示，三位二进数能与十进数的 0 到 7，即 8 个

量化级对应。下面用该图来说明，通过三步量化编码，就能把输入电压 $6.3V$ 变换为 $6V \equiv 110$ 代码的原理。

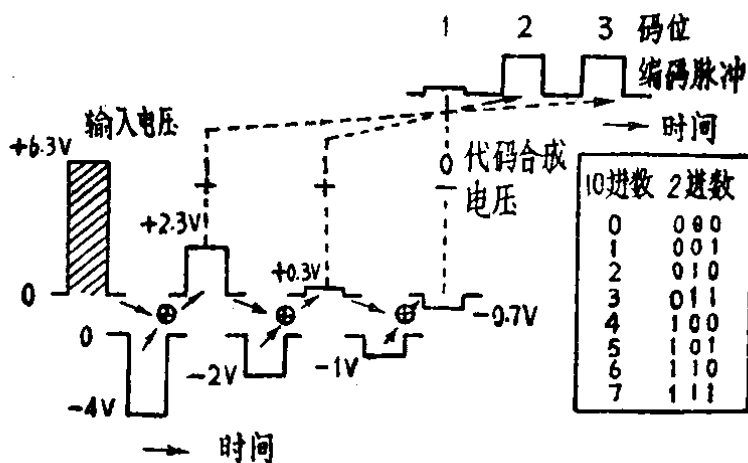


图 1.7 编码方法

首先准备以下几种电压：输入信号振幅动态范围的一半即  $4V$ ， $4V$  的一半  $2V$ ，进而  $1V$ ，其极性与输入电压相反，并依次与输入电压、合成电压相加（等于相减）。首先得到  $+6.3V - 4V = +2.3V$ ，合成电压的极性为+，然后是  $+2.3V - 2V = +0.3V$ ，合成电压极性为+，进而  $+0.3V - 1V = -0.7V$ ，极性为-。使各步合成电压极性的+、-分别与代码 1 和 0，从而与脉冲的有、无对应，就得出PCM码 110。

图1.8表示出原信号的抽样、量化及编码的过程。对于实际话音信号，使用压扩器，用7位二进制码来表示128个均匀量化级（ $2^7 = 128$ ），等效

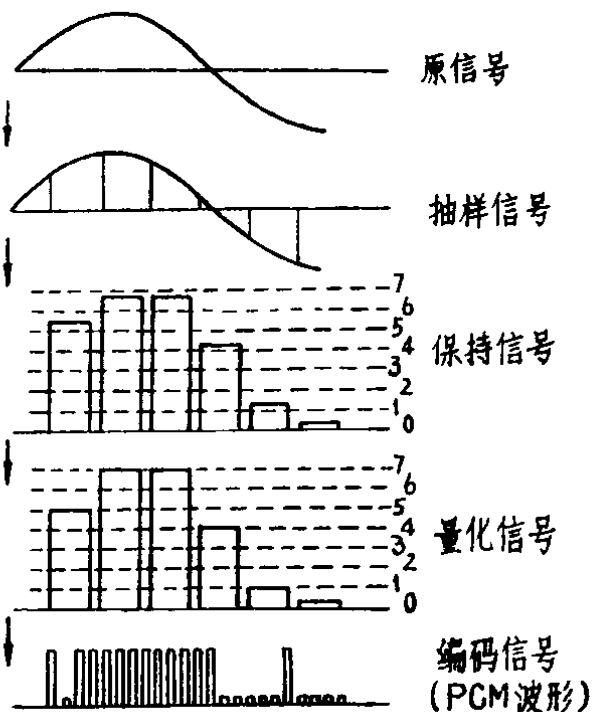


图 1.8 PCM的过程

于不用压扩器情况的11位码。编码脉冲因传输而发生波形失真，但只要在能正确判别有、无的限度内，就能正确无误地恢复原信号。

这些原理将在第2章中详细叙述。

## 1.4 PCM通信方式的构成

用图1.8所示的过程作为PCM通信方式是不够的。必须具有使多个话路共用一条传输线路的多路复用机能。多路复用操作早就为以往的频分复用方式广泛采用，这就是按话音频带进行分隔从而实现多路复用的方式，叫做频分复用(FDM)方式。然而在PCM中，因为处理的是脉冲，所以容易实现时分

多路复用(TDM)。

时分复用中，抽样和同步起着极为重要的作用。

图1.9示出对4个话路进行复用的情况，显然把各路抽样时间错开，并将各路样值并合起来即可。由此可知，若抽样脉冲很窄，就能对非常多的话路进行复用。而且抽样和复用是同时进行的。

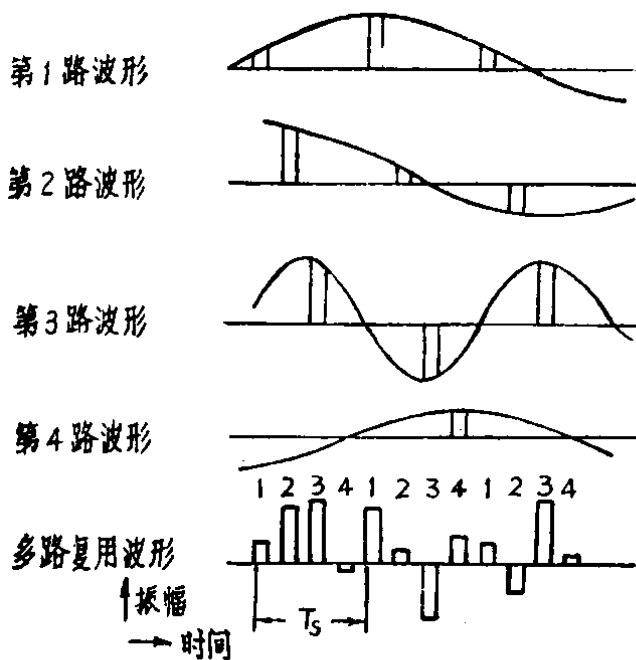


图 1.9 时分复用的原理

如前所述对4个话路依次抽样，并合成复用信号，送入传输线路。在接收端必须把这些复用信号正确地分配给各个话路。就是说，发送端的复用顺序及其转换速度如果与接收端不完

全一致，就会发生混乱，从而无法进行通信。这种同步方法如图1.10所示，在发送端插入标识码，在接收端对该标识码分离出来进行核对，如果未能收到标识码，则使收端同步装置暂停一下，以便恢复同步状态。

图1.11示出24路时分复用PCM装置的输出波形。在一个抽样周期（1/8千赫）内纳入24个话路的脉冲和一个同步脉冲，每个话路由一位信号（拨号用）脉冲和7位话音编码脉冲构成。从而一个抽样周期内共有 $(1+7) \times 24 + 1 = 193$ 个脉冲，每0.65微秒一个脉冲，脉冲宽度为0.65微秒的一半，即脉宽为0.325微秒。所以送到传输线路上的脉冲重复频率为8千赫 $\times 193 = 1544$ 千赫。这种脉冲在传输中要受到衰减，还要混入波形复杂的噪声，不过由于传输电缆中大约每隔两公里就插入一个再生中继器，这些中继器把话音信号无畸变地被再生后再往下传送，直至送入收信装置。

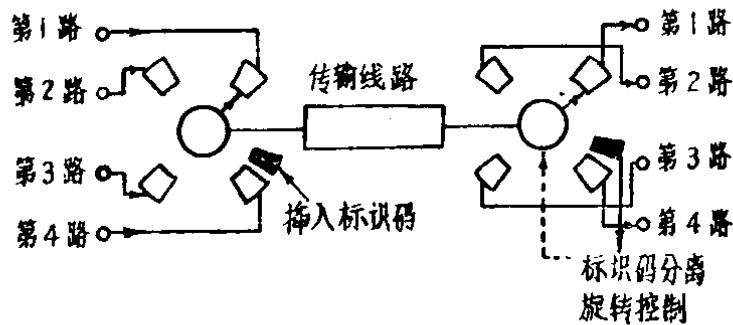


图 1.10 同步原理

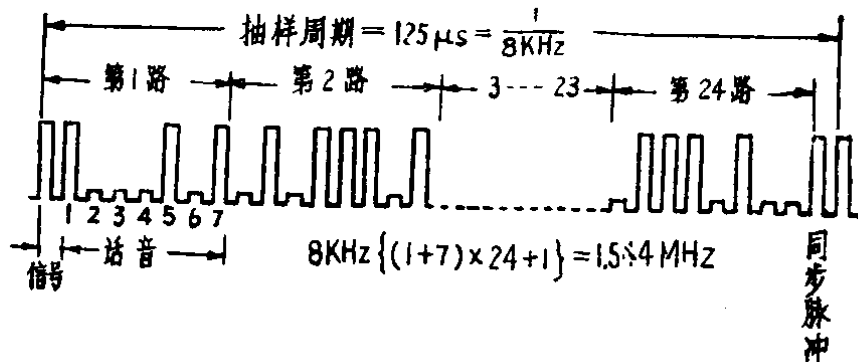


图 1.11 时分复用PCM输出波形



图1.12示出再生中继器的原理。在传输线路上受到衰减的

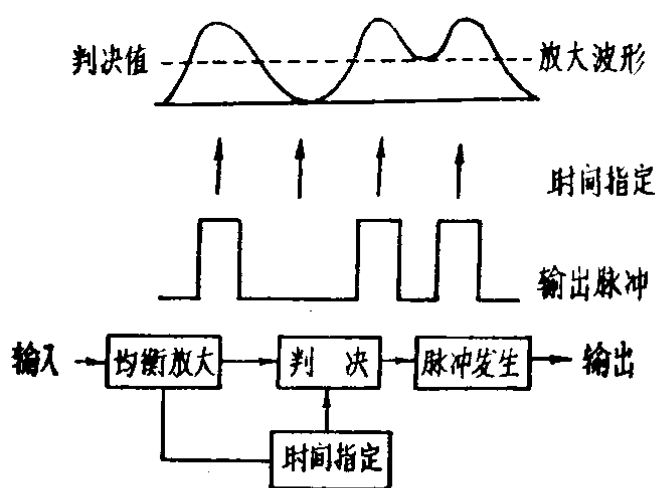


图 1.12 再生中继原理

脉冲波形首先被均衡放大,送入判决电路。另一方面,由放大波形形成指定判决时间的脉冲,判决电路的输入波形在指定时间超过振幅半值就判定为有脉冲,反之判定为无脉冲。再根据有脉冲的判定,产生出新的脉冲。这样对

传输中混入的噪声从时间和振幅两方面进行排除,如实进行脉冲再生。在以往的模拟通信方式中,不可能采用这样完善的排除噪声影响的方法,所以在长距离多中继情况下,失真累积起来,以至无法通信。

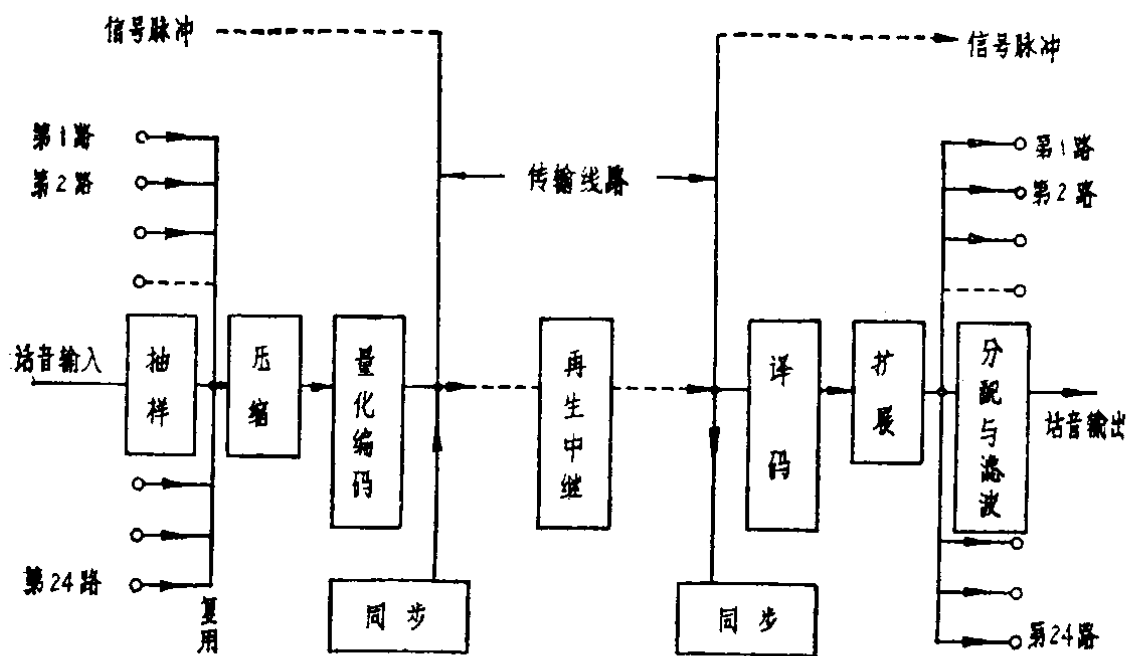


图 1.13 PCM通信方式的构成