

# 数字电话通信

国防工业出版社

(只限国内发行)

统一书号

15034·1382

定价0.23元

# 数字电话通信

文 汕 编

国防工业出版社

1975

# 数字电话通信

文 汕 编

(只限国内发行)

\*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

\*

787×1092<sup>1</sup>/<sub>32</sub> 印张 2<sup>5</sup>/<sub>8</sub> 53 千字

1974年9月第一版 1975年6月第二次印刷 印数: 8,201—17,200册

统一书号: 15034·1382 定价: 0.23元

# 目 录

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| 前言 .....                             | 5  |
| 一、话音特性与传输质量 .....                    | 7  |
| § 1.1 话音的构成与频谱 .....                 | 7  |
| § 1.2 话音的动态范围 .....                  | 10 |
| § 1.3 话音质量的测试——单词清晰度、句子可懂度、自然度 ..... | 10 |
| § 1.4 话音质量与带宽的关系 .....               | 11 |
| § 1.5 噪声和失对话音质量的影响 .....             | 13 |
| 二、话音信号的编码与解码 .....                   | 15 |
| § 2.1 数字信号和数字电话信号 .....              | 15 |
| § 2.2 脉码调制 .....                     | 20 |
| § 2.2.1 取样与平滑 .....                  | 21 |
| § 2.2.2 编码与解码 .....                  | 25 |
| § 2.2.3 线性编码的量化噪声 .....              | 28 |
| § 2.2.4 压缩与扩张 .....                  | 29 |
| § 2.2.5 非线性编码的量化噪声 .....             | 31 |
| § 2.2.6 差分脉码调制 .....                 | 34 |
| § 2.3 增量调制 .....                     | 35 |
| § 2.3.1 工作原理 .....                   | 35 |
| § 2.3.2 编码动态范围 .....                 | 37 |
| § 2.3.3 量化噪声 .....                   | 39 |
| § 2.3.4 增量调制的改进 .....                | 41 |
| § 2.4 声码器 .....                      | 47 |
| § 2.5 数字压缩与预测编码 .....                | 50 |
| § 2.5.1 数字压缩编码 .....                 | 50 |
| § 2.5.2 预测编码 .....                   | 52 |
| § 2.6 几种编码、解码制度的比较 .....             | 53 |

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 三、时分多路数字电话 .....         | 59 |
| § 3.1 时分多路脉冲调制系统 .....   | 60 |
| § 3.2 时分多路数字电话终端设备 ..... | 61 |
| § 3.2.1 时序产生 .....       | 65 |
| § 3.2.2 帧同步 .....        | 66 |
| 四、数字信号传输对信道特性的要求 .....   | 73 |
| § 4.1 信道容量 .....         | 73 |
| § 4.2 数码率与带宽 .....       | 76 |
| § 4.3 误码率与信噪比的关系 .....   | 81 |
| § 4.4 有线多次再生传输系统 .....   | 83 |
| 参考书与资料 .....             | 84 |

## 前 言

近年来，数字电话通信的应用日趋广泛。数字电话是对普通电话信号进行编码，将随时间变化的连续值转换成时间上间隔出现的离散值，即数字电话信号。数字电话信号经数字传输设备送到收话方后，再经过解码恢复成普通电话信号。时分多路数字电话通信在实用上有很多优点。更重要的是，数字电话信号经密码加密后，具有高度的保密性能。因此，发展数字电话通信对保卫我们社会主义祖国的国家机密有重大意义。

在这本小册子中，介绍了数字电话通信的基本知识。第一部分简要地叙述了话音的特性和传输质量。第二部分介绍数字信号和数字电话信号的性质以及几种话音编码、解码制度的基本原理，并对这几种编码、解码制度进行了比较。在第三部分中，阐述了时分多路数字电话的设备构成、时序产生和帧同步问题。最后，在第四部分中，对数字电话信号传输要求的几个主要问题作了一般说明。

由于编者的水平所限，一定会有不少的缺点和错误，希望读者批评指正。

编 者



## 一、话音特性与传输质量<sup>[1]</sup>

### § 1.1 话音的构成与频谱

在电话通信中，话音经话筒变成电信号传输到接收端，再经听盒转换成话音。了解话音的基本性质以及话音信号在传输中对话音质量的影响，对电话通信体制设计有很重要的意义。

说话是为了传达思想的。直到现在，对于一个人怎样控制他的发话机构以及听觉怎样感知话音，还不很清楚。但是，话音的产生和结构已经为人们所详细了解。并且，在长期实践中，人们了解到，在话音信号通过传输信道时，一些因素与话音质量的关系。

话音是很复杂的声音信号。它可以被看成是由一些单音所组成。这些单音主要可以分为两类：一种是所谓“有声音”，就是声带振动发出的声音，元音就属于这一类；一种是所谓“无声音”，指的是声带不振动，而由空气流强行通过被压窄的声道所产生的类似噪声的声音，如 S、F 等无声辅音。人的声道是由喉、鼻和口腔（包括舌、牙和唇）构成。还有一些单音包含以上两种性质，有声辅音属于这一类。

在发“有声音”时，声带振动的基本频率称为基音。人在说话时，基音频率是不断变化的。基音频率的变化构成音调。我国汉语的四声主要是表征在发某一音时基音频率变化的趋势。男声的基音频率一般最低在 100 赫左右，女声则可达 300 赫以上。

如果我们维持基音频率不变，持久地发某一单个元音，则由频谱分析表明，这种音是由基音和它的高次谐波所组成。声带振动时产生周期性的近似三角波，这种波形的频谱的趋势是高次谐波迅速下降。声道各部分形成的声共振腔，最后输出的声音在频谱上形成起伏的峰和谷（图1）。

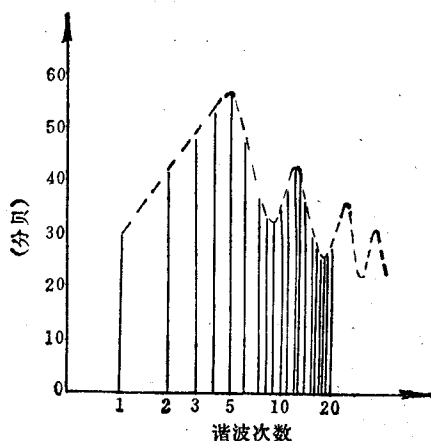


图1 有声音的典型频谱

实验表明，第一、二、三个共振峰对辨别话音的意义特别重要。不同的元音有不同位置的第一、二、三共振峰。而基音频率则对辨别话音的关系不大，但对辨别是那一个人的话音则有重要影响。

“有声音”的频谱是离散的，而“无声音”的频谱则是连续的。发“无声音”时声带不振动，有类似于噪声的频谱。各种“无声音”频谱能量一般分布在较高频率，形成的峰和

谷不如“有声音”那样明显(图2)。

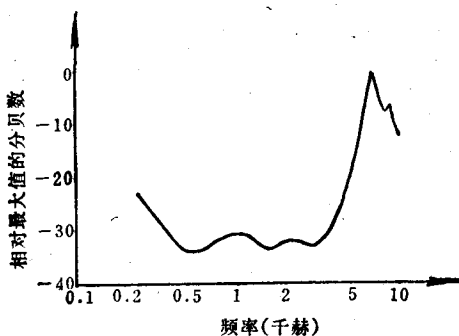


图2 无声音S的频谱

图3是长时间话音的平均功率频谱。不同的人的长时间平均功率频谱也有些差别,但总的趋势是一样的。在500赫左右,平均功率频谱有最大值。在约700赫以上的高频成分下降很快。由图3可见,在700赫以上,频率每增加一倍频程,下降约10分贝。

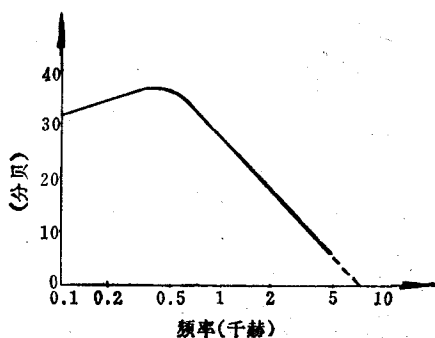


图3 长时间话音的平均功率频谱

## § 1.2 话音的动态范围

人在讲话时的话音动态范围（即话音强弱的变化范围）大约是 30 分贝左右。不同的人讲话时，话音强弱差别也很大。在电话通信中，话音是经过话筒变成电信号的。由于发话人拿话筒时姿势不一样，变成电信号时大小差别可能就更大。如果考虑到各个不同的人发话，话音变成电信号后，动态范围就可达 60 至 70 分贝。在一般的电话传输系统中，要做到有这样宽的动态范围是很困难的。一般的情况是考虑话音动态范围为 30 至 40 分贝左右。

在电话传输中，发话人话音的强弱还会受到外界一些因素的影响。例如，在周围噪声比较大，或者是发话人听到对方的话音比较微弱时，发话人常常提高了自己的声音。

## § 1.3 话音质量的测试——单词清晰度、 句子可懂度、自然度

话音在通信中转换成电信号传输。我们常常可以用信噪比、频率响应和非线性失真等来表示话音的质量。但是话音最终是由收话方收听的，因此，话音质量最好是直接由听觉来判断。其中，是否能正确分辨对方的话音是一个重要的质量标准。

在电话传输系统中，发端由发话人发出一些单音词，在收端则由几个收听者记录，核对统计正确记录下来的单词的百分比，称为单词清晰度。如果发话端发出整个的句子，则统计能正确理解原句意义的百分比，称为句子可懂度。一般情况下，单词的清晰度和句子的可懂度有一定关系。句子可

懂度比单词清晰度要高，单词清晰度达到百分之六、七十时，句子可懂度可达百分之九十五以上。

清晰度的测试虽然能够很好地说明话音质量，但是做这种实验比较费时间，且实验结果也不很稳定。在实验中，由于收听者积累了经验，判断的正确率是不断上升的。用于测试的单词的选择范围对测量结果的影响也很大。

除了清晰度和可懂度外，还有所谓自然度。自然度就更难用数值来表明，只能分一些等级，如：比较好、比较差。自然度一般是指经过变换、传输后恢复的话音与原来的话音听起来是不是相似，或者是用收听者能否判断发话人是谁来衡量自然度。自然度与清晰度并没有恒定的关系。在有些电话通信体制中，清晰度可能比较高，而自然度却比较差。

### §1.4 话音质量与带宽的关系

对电话通信来说，一个重要的问题是，在传输中需要多宽的频带才能保证话音的质量。由于话音质量在很大程度上是用清晰度来表征的，因此，最好是研究一下带宽和清晰度的关系。

人们在长期积累对清晰度的测试结果后，推演了一种计算清晰度指数的方法。在一般的电话通信系统中，利用其中一些参数可以计算出传输后话音的清晰度指数。清晰度指数与单词清晰度、句子可懂度有一定的关系，这种关系曲线见图4。对于大多数通信系统来说，计算得到的清晰度和测量的结果相差很小。

由实验得知，如果没有其他因素（例如噪声）对话音产生影响，话音的带宽限制在200赫至6100赫左右，可以完全

不影响话音的清晰度。  
在200~6100赫带宽中，可以大致划分成二十个对清晰度指数起相等作用的频带，列成表1。如果在通信系统中没有其他影响清晰度的因素，清晰度指数就等于传输带宽占表1中起相等作用的频带数除以20。

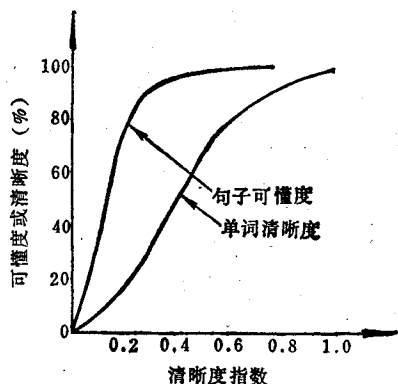


图4 单词清晰度、句子可懂度与清晰度指数的关系

表1 对话音清晰度指数起相等作用的频带

| 序号 | 频率范围(赫)   | 带宽(赫) | 序号 | 频率范围(赫)   | 带宽(赫) |
|----|-----------|-------|----|-----------|-------|
| 1  | 200~330   | 130   | 11 | 1660~1830 | 170   |
| 2  | 330~430   | 100   | 12 | 1830~2020 | 190   |
| 3  | 430~560   | 130   | 13 | 2020~2240 | 220   |
| 4  | 560~700   | 140   | 14 | 2240~2500 | 260   |
| 5  | 700~840   | 140   | 15 | 2500~2820 | 320   |
| 6  | 840~1000  | 160   | 16 | 2820~3200 | 380   |
| 7  | 1000~1150 | 150   | 17 | 3200~3650 | 450   |
| 8  | 1150~1310 | 160   | 18 | 3650~4250 | 600   |
| 9  | 1310~1480 | 170   | 19 | 4250~5050 | 800   |
| 10 | 1480~1660 | 180   | 20 | 5050~6100 | 1050  |

在一般电话传输系统中，话音的频带为300~3000赫左右，此时清晰度指数的最大可能值为0.7左右，相当于单词清晰度为85~90%，句子可懂度接近为100%。实际上，因为有噪声和失真的存在，清晰度总是低于这些数值。在战术无

线电台中，在带宽受到限制的情况下，话音频带也可能低于 2000 赫。

## § 1.5 噪声和失真对话音质量的影响

### 1. 噪声

我们常用信噪比来说明话音的质量，这在噪声的性质相同时是可以的。例如，有些载波线路规定信噪比不小于 30 分贝，一般指的是具有均匀连续频谱的噪声。但是对于时间上间断出现的开关噪声，收听者常常感到不习惯。人的听觉对于近于单音频的声音特别敏感。话音中出现这种单音频干扰，即使功率很小，也能被察觉。

话音的强弱变化很大。一般，信噪比的定义是最大信号与噪声的功率比。在弱信号时，信号与噪声的比值随着信号电平的下降而下降。有些话音编码制度产生的噪声（称为量化噪声）随着信号减弱而减弱。在这种情况下，较低的信噪比对质量影响就不是那么显著。

### 2. 幅度-频率失真

在传输过程中，如果通带内的频率响应略有起伏，对话音清晰度的影响是不大的。在有些通信系统中，为了提高话音高频分量的信号噪声比，有时将 700 赫左右以下的频率加以衰减来相应地提高高频成分。由图 3 可知，话音的高频分量比较小。在信道中，噪声比较大而传输功率一定时，提高高频成分可以提高传输的话音的清晰度。

### 3. 相位失真

在通常的通信系统中产生的相位失真，听者是不容易觉察的。但是在某些情况下，相位-频率特性形成很多起伏很

大的峰和谷，也可以引起收听质量的下降。

#### 4. 非线性失真

非线性失真会引起话音质量的下降。但是，对称的限幅对话音的清晰度影响却比较小。即使是在限幅很大的情况下，话音信号仍可保持较高的清晰度。图 5 表示话音经对称限幅后的波形。

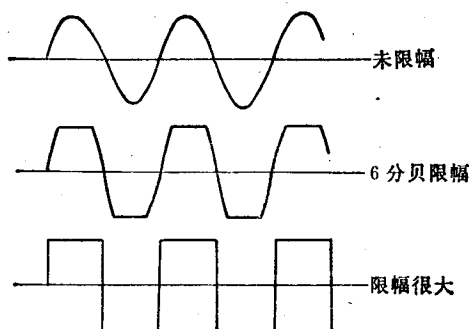


图 5 对称限幅后的波形

在有些电话通信系统中，输入话音信号的信噪比很高，但是在传输信道中噪声却较大。这时，如果对输入信号进行一定程度的对称限幅，则在传输峰值话音信号的功率保持原来大小的情况下，话音中的弱信号就相对的提高了，这样就提高了传输的弱话音信号的信噪比。因此，在有些情况下，适当地将话音限幅甚至可以得到较高的传输话音质量。

## 二、语音信号的编码与解码

### § 2.1 数字信号和数字电话信号

数字信号是在时间上分成很多小段，在每一小段时间内只可能出现有限的几个数中的一个。这种数有几个就称为几进制。就象我们常用的数字是十进制一样，每一位数可以是 0, 1, 2, ..., 9 这十个数中的一个。但是一般的数字信号不是十进制的，而常是二进制的。就是说，这种数字信号在一段时间内只可能出现两个数（0 和 1）中的一个。

数字信号也象常用的数字一样，可以用几位数字来表示一个值。两位的常用十进制数字可以有 100 (即  $10^2$ ) 个不同值 (即: 0, 1, 2, ..., 99), 而两位的二进制数字则有 4 (即  $2^2$ ) 个不同值 (即: 00, 01, 10, 11)。n 位的二进制数字可以表示  $2^n$  个不同值。一般来说，n 位 S 进制数字可以表示  $S^n$  个不同值。我们可以按照常用数字的表示规律将二进制或其他非十进制换算成常用的十进制数字。例如，二进制数字 10110 可以相当于十进制的  $1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 = 22$ 。

上面谈到，数字信号是每隔一段时间出现一个值，这就是一个码元。在二进制数字信号中，又称为一比特。如果数字信号的这种时间分段是等间隔的，就称为是周期性的。这个时间间隔称为数码周期。数字电话信号一般是周期性的数字信号。

数字信号的速度是每秒钟时间内的码元的数目；称为数