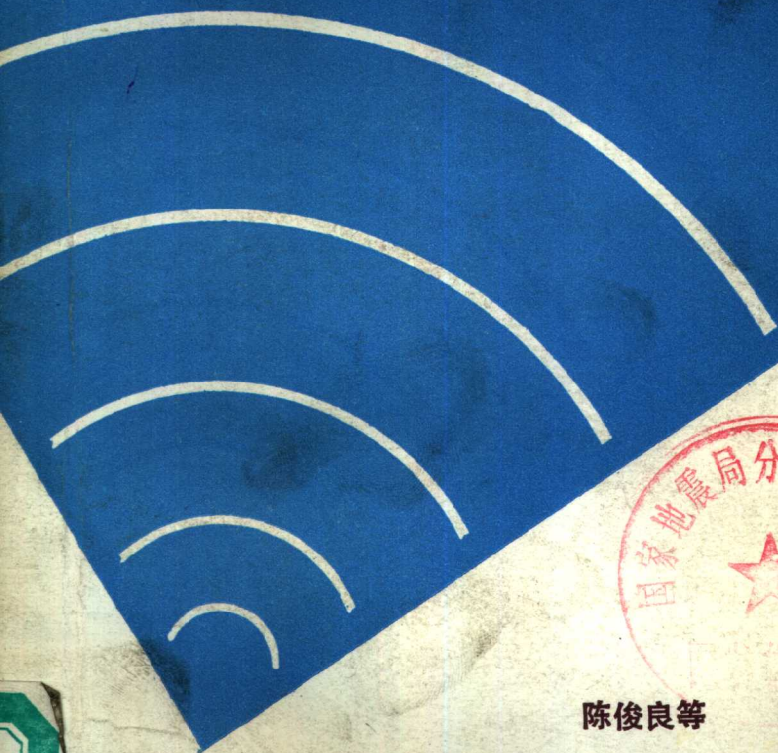
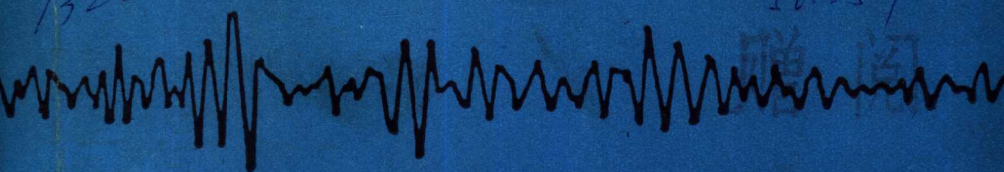


7320

56.257



陈俊良等

编著

# 地震遥测原理

地震出版社



# 地震遥测原理

陈俊良等 编著

地震出版社

1988

## 内 容 提 要

本书扼要地介绍了与遥测系统有关的理论与技术。内容包括：信息论基础，调制，采样，多路化，误差，增益调整，同步与系统设计等。本书侧重有关数字化系统的论述，注意阐明物理概念，突出重点，强调系统观念及实用性。

本书可供从事遥测、遥讯、通信、数字系统等有关方面的科技人员和大专院校有关专业的师生参考。

## 地 震 遥 测 原 理

陈俊良等 编著

责任编辑 马兰

---

地 震 工 业 出 版

北京复兴路88号

山东电子工业印刷厂印刷

(淄博市周村)

新华书店北京发行所发行

全国各地新华书店经售

---

850×1168 1/32 12.75 印张 341 千字

1988年9月第一版 1988年9月第一次印刷

印数 0001—1000

ISBN 7-5028-0020-8/P·25

(398)定价：5.20元

# 目 录

|                      |         |
|----------------------|---------|
| 绪 论                  | ( 1 )   |
| 第一章 信息论基础            | ( 7 )   |
| § 1.1 通信系统           | ( 7 )   |
| § 1.2 信息量            | ( 9 )   |
| § 1.3 通道容量           | ( 12 )  |
| § 1.4 噪声             | ( 15 )  |
| § 1.5 弱信号的接收         | ( 29 )  |
| 第二章 调制               | ( 38 )  |
| § 2.1 信号变换           | ( 38 )  |
| § 2.2 连续波调制          | ( 39 )  |
| § 2.3 脉冲调制           | ( 64 )  |
| § 2.4 脉码调制           | ( 95 )  |
| § 2.5 各种调制方法的比较      | ( 102 ) |
| 第三章 采样               | ( 108 ) |
| § 3.1 离散化            | ( 108 ) |
| § 3.2 采样定理           | ( 109 ) |
| § 3.3 自然采样与平顶采样      | ( 113 ) |
| § 3.4 假频现象及其与采样率的关系  | ( 120 ) |
| § 3.5 地震信号采样时的一些实际考虑 | ( 133 ) |
| 第四章 多路化              | ( 132 ) |
| § 4.1 正交             | ( 138 ) |
| § 4.2 频率划分           | ( 144 ) |
| § 4.3 时间划分           | ( 158 ) |
| § 4.4 双重多路化          | ( 170 ) |
| § 4.5 各种多路化方法的比较     | ( 173 ) |

|                             |       |
|-----------------------------|-------|
| <b>第五章 误差</b> .....         | (192) |
| § 5.1 误差分析.....             | (192) |
| § 5.2 静态误差.....             | (193) |
| § 5.3 动态误差.....             | (206) |
| § 5.4 误差与信息量的关系.....        | (207) |
| § 5.5 误码率与误差的关系.....        | (211) |
| § 5.6 定时偏差与误差的关系.....       | (215) |
| <b>第六章 增益调整</b> .....       | (220) |
| § 6.1 增益调整概述.....           | (220) |
| § 6.2 增益调整的几个问题.....        | (222) |
| § 6.3 几种基本的增益调整型式.....      | (246) |
| § 6.4 几种新的增益调整型式.....       | (258) |
| <b>第七章 同步</b> .....         | (282) |
| § 7.1 同步的概念.....            | (282) |
| § 7.2 模拟时分遥测系统的同步.....      | (283) |
| § 7.3 数字遥测系统的同步.....        | (291) |
| § 7.4 码同步.....              | (292) |
| § 7.5 群同步.....              | (311) |
| § 7.6 采用数字滤波器的高可靠群同步系统..... | (325) |
| § 7.7 同步性能之测试方法.....        | (258) |
| <b>第八章 系统设计</b> .....       | (361) |
| § 8.1 设计原则.....             | (361) |
| § 8.2 脉码调制地震遥测系统.....       | (371) |
| § 8.3 频率调制地震遥测系统.....       | (392) |
| 后记.....                     | (400) |
| <b>参考文献</b> .....           | (401) |

## 绪 论

地震是一种极为复杂的自然现象。无论是为了研究地震预报还是从事地震学基础的研究，地震观测都是必不可少的。

然而，就振幅来说，从8级大震到零级乃至负级的微震所释放的能量，其间相差上万倍，大震时的地动达数十厘米以上，而微震时的振幅往往不足一毫米的千分之一；就周期来说，大地震将导致整个地球的自由振荡，其周期长达一小时以上，而在附近所发生的微震，它的振动周期可能不超过五十分之一秒。显然，建立这样的观测系统绝非轻而易举的事。而且，无论是探索地球内部构造还是解释地震均有赖于高质量的观测资料，故部署由相当数量的观测点组成的观测网是拾取地震信息的有效手段。遥测技术正是构成台网的纽带。

遥测技术应用于地震观测的历史不长，大体上是从五十年代前后开始的。后来由于核侦察的需要以及地震预报研究逐渐受到重视，从而发展了大量的各种类型的地震观测台网、地震台阵和联机的数据分析处理设施等，这样才使得地震遥测技术成为地震观测现代化的重要组成部分。

显然，遥测技术的广泛应用大大改善了震情监视、大震速报等工作，也促进了地震预报研究的发展。因此受到了各地震部门的重视。

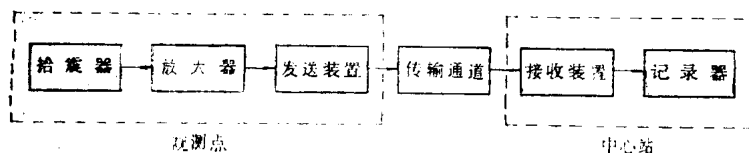
首先，采用遥测技术的结果，使得观测点仪器十分简单，而复杂的、费电的记录处理装置被集中在记录中心，使得观测点有实现无人管理的可能，也就有可能按照研究需要大量布设观测点；其次，由于观测结果直接传输到记录处理中心，使地震分析人员可以及时掌握资料，大大缩短了测定地震参数的时间，这对防

灾、救灾是十分必要的。从地震预报工作考虑,及时掌握包括微震在内的前兆现象更是至关重要的。此外,由于采用遥测技术,实现了大量观测点的集中记录,这就可以大大提高地震信号的观测质量。近年来应用到地震观测中的最有效的技术之一就是将在地面上的许多拾震器按一定的几何图形联结起来,组成一个台阵。台阵技术对于侦察地下核试验特别有用。台阵在地震学研究中也日益重要,因为如果台阵的尺度可以和信号在地面上的视波长相比,就可以用来测定所需震相在地面上的视速度和压制不需要的信号及噪声,这有助于震相的识别和减少干扰。近年来,地震观测台网逐步实现了半自动化,用人机联合方式测定地震参数,有效地提高了监测水平。

因此,遥测不仅提高了地震观测的速度,也大大提高了观测的质量。尽管,与传统的地震观测方式相比,增加了用于遥测的装备,要增加投资,但由于省去了观测维护人员及其生活设施,总起来看,在经济上也是合宜的。

随着近年来电子技术的发展,促进了遥测技术在地震观测中的广泛应用,它已成为建立无人管理的野外流动观测、井下观测、海底观测台网,区域性密集台网乃至大小孔径的地震台阵等的重要手段。

采用遥测方式构成地震观测系统的实质就是远距离测量问题,其原理如方框图 A.1 所示。拾震器放在野外观测点上(一般



图A.1 地震遥测系统方框图

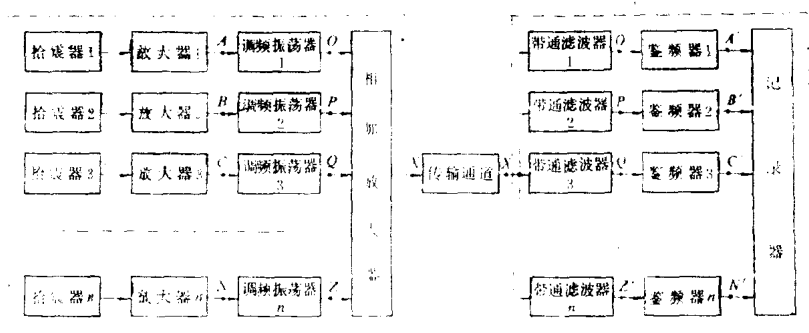
无人管理), 拾取到的地动信号经过超低频放大器放大后送入发

送装置，在发送装置中将地动信号变换成保持原有信息且适于传输的信号形式(如音频、高频振荡、视频、射频脉冲列等)，这种信号形式经过通道(有线或无线)传送到中心站接收装置中，在接收装置中滤去这种信号形式中的干扰，解调出地动信号并记录下来。保证远距离传送被测量信号的准确度和经济地利用通道是地震遥测系统中应当解决的两个基本问题。由于无线电电子学的迅速发展，在地震观测实践中，这些问题在很大程度上得到了解决：将被测量的信号用调制的方法变换成适于传输的各种信号形式大大提高了抗干扰能力；采用信息论研究发展形成的各种弱信号接收方法可以有效地提取有用信息；而多路化技术又使通道利用的经济性有了显著的提高。

遥测技术应用到地震观测中以来，针对不同的观测要求，形成了多种多样的地震遥测系统。比较有代表性的是：频率调制地震遥测系统；脉冲幅度调制-频率调制地震遥测系统；脉冲编码调制地震遥测系统。

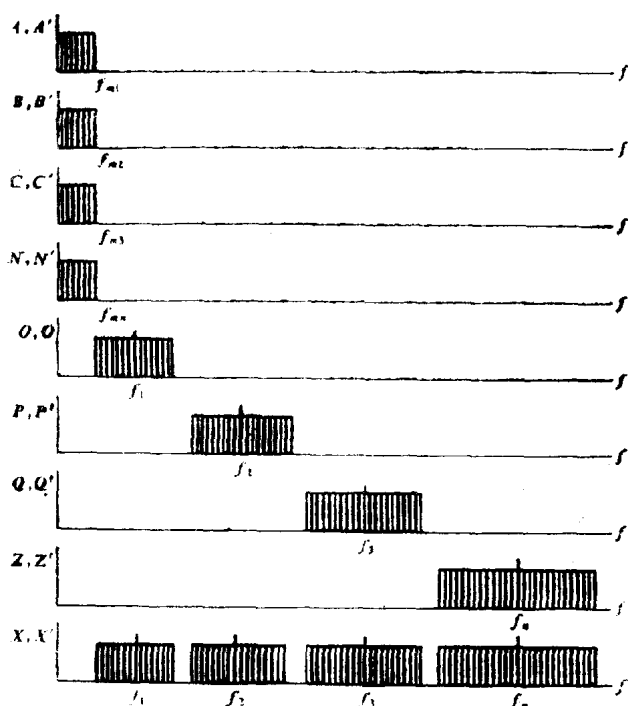
频率调制地震遥测系统的原理性方框图如图A.2所示。

从野外观测点拾取到的地动信号经过放大后在调频振荡器中进行变换，可以适当地选择各振荡器的频率，使各个振荡器输出



图A.2 频率调制地震遥测系统方框图

的调频信号的频谱互不重叠(如图A.3), 这样把它们混合后送上传输通道(有线或无线)。在接收端用各个相应的带通滤波器把它们区分开, 在鉴频器中又恢复为地动信号, 用记录器记录下来。

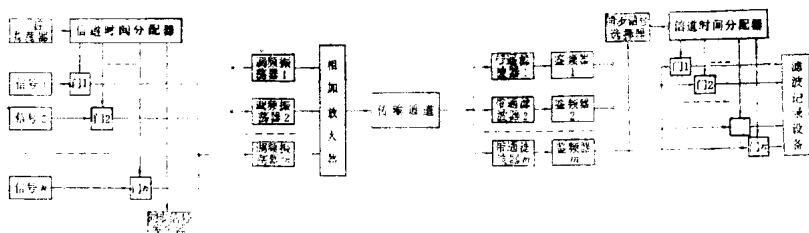


图A.3 图A.2中各点的信号频谱图

这种传输方法的设备简单, 容易标准化, 所以得到了广泛的应用。它的主要缺点是通道非线性引起的交叉失真不易消除, 而这种失真的有害程度随路数俱增, 因而一般都用在18路以下。

脉冲幅度调制-频率调制地震遥测系统的原理性方框图如图A.4所示。

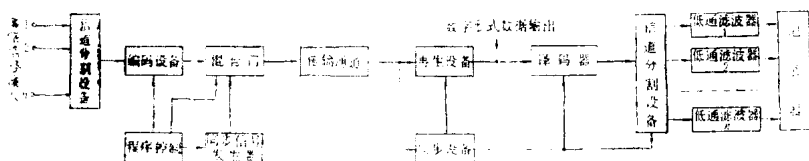
我们知道, 需要观测的信号中有些信号的频率是很低的, 对于这一类长周期信号, 仍采用上述频率调制的方法在传输信息效



图A.4 脉冲幅度调制-频率调制地震遥测系统方框图

率方面就显得很不经济，在传输通道频带受到限制的情况下就更不可取了。比较常用的方法是采用多重调制。而脉冲幅度调制-频率调制就是最简单的一种。它是先将多路慢变化信号进行时间划分变换成综合的幅度调制脉冲序列，然后再进行通常的频率调制。根据采样定理，任意一个具有有限频谱的连续信息都可以用足够多的离散的时刻值来表示，因此这样做并不损失信息。由上图可见在系统中仍然保留了直接频率调制的信道，可以用来同时传送短周期信号，因而使系统具有一定的灵活性，不过这种系统的精度不很高。

脉冲编码调制地震遥测系统的原理性方框图如图A.5所示。



图A.5 脉冲编码调制地震遥测系统方框图

在发送端，多路信号经过信道分割设备变换成幅度调制脉冲序列后送入编码设备，这样模拟量就变换成数码，并被发送出去。一般常用的是普通二进制编码，因为这种编码技术上比较容易实现，设备也不太复杂。此外还有抗干扰编码、自校正编码和统计

编码等。前二种编码抗干扰性较强；而统计编码能最经济地利用通道，因此这些特殊的编码方法在某些要求较高的场合也受到重视。

在接收端，将接收到的信号输入数据再生设备滤去干扰后送入译码器，恢复成模拟形式，再由信道分割设备将其分配到相应信道中去记录下来。如果需要对结果进行数字形式处理（如送入数字电子计算机自动处理），可不经译码而直接输出，这样可以简化计算机入口设备，提高处理精度。

随着无线电电子学的发展，低电平采样开关、瞬时浮点增益调整方法、微型大容量存储器等的出现，使数字化地震遥测系统更具有了大量程、宽频带、自动预处理等功能。

这种遥测系统的主要缺点是设备比较复杂，因此，尽管这种调制方式在三十年代后期已经提出来，然而直到六十年代后，由于半导体技术和大规模集成电路的发展，这种技术才真正获得了实际应用。

近年来，由于大量新材料、新元件的涌现，尤其是微处理器及超大规模集成电路的问世，使遥测设备面貌为之一新，设备的重量、尺寸几乎比原来用分立元件制成的缩小了一、二个数量级，可靠性也大大提高，而对操作、维护人员的技术水平要求却显著降低了。这些特点无疑会大大促进数字化地震遥测系统的广泛应用，并且使遥测技术与计算技术的结合更为紧密了。在目前地震台阵、台网中使用的有些地震遥测系统中已经很难划清两种技术的界限，具有初步处理功能的遥测设备体现了地震观测方式的深刻变化：遥测设备不仅是单纯地传送信号，还具有判断是否是信号，应该如何传送等较复杂的功能（有些文献上称之为具有“智能”），并且具有自适应的特性。显然，这些性能将使地震遥测系统具有更大的适应性。对地震观测技术的发展起着重要的作用，也可以说，已经成为地震观测现代化的主要标志之

# 第一章 信息论基础

## § 1.1 通信系统

现有的通信系统是多种多样的，不过如果撇开每个环节的实际形式加以抽象化、理想化，则可以概括地用图1.1表示。

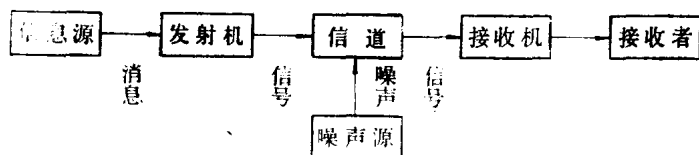


图1.1 通信系统模型

由图1.1看出，这个系统分成下列五部分：

**信息源** 产生要传输的信息的来源称为信息源，从信息源产生的信息叫做消息。在地震遥测中广义地讲信息源就是地球，而各种形式传感器的输出就是消息，又如打电报的人的大脑即是信息源，写在纸上的文字即是消息。在电话、广播中声压变化的时间函数 $f(t)$ ，黑白电视中的时间、空间变量的函数 $f(x, y, t)$ 等都是消息的例子。可见消息的形式是多种多样的，但概括起来不外乎离散量与连续量两种形式。

**发射机** 把信息源产生的消息变成适合于信道传输的信号的设备称为发射机。（注意：这里是广义的抽象概念，不要和无线电发射机的具体专业名词混同起来）。在地震遥测中往往需采用调制等方法来实现。发射机的输出称为发射信号，注意消息和信号不同，但两者之间有严格的一一对应关系，只有这样才能实现

消息的正确传递。

**信道** 信道是信号由发射机传输到接收机所使用的媒介。它可以是一对导线，同轴电缆，一定宽度频带的无线电波，也可以是光通信中的光线等。信号在信道中传输时不可避免地要受到噪声的干扰，因此使接收机不可能正确无误地恢复原始消息。需要指出的是噪声与失真不同，后者往往是由于设备性能的变化造成的，一般说是可以控制的。而噪声却是随机的。另外尚需指出的是，实际噪声源往往是分散的，但理想化地集中为一个噪声源使处理分析问题比较简便，而处理结果是等效的。

**接收机** 把信道传送来的信号与噪声的混合体接收下来，设法恢复原始消息的设备称为接收机。与发射机的作用正好相反。

**接收者** 接收消息的人或者各种类型的器械称为接收者。

从以上的通信系统模型中可看出，它不仅适用于地震遥测系统以及各种电气通信系统，即使像神经系统等广义的通信系统也是适用的，它们只有形式上的差别，而信息传递过程的实质是一致的。

另外，通信系统需要研究解决的问题也是多种多样的，但是概括起来看，无非是这样两类问题：

**有效性** 在一个系统内，人们总希望信息传输速率尽可能高，使得系统具有较高的效率。

**可靠性** 由于传输途中受到噪声的干扰，使消息畸变甚至错误，希望能采取有效的措施来尽可能地减少噪声干扰的后果，以保证信息传输的可靠。

有效性与可靠性也是各种信息系统的基本问题。在高度概括的基础上形成的信息论也正是研究信息系统有效性与可靠性的科学。近二十年来，信息科学有了极为迅速的发展，它的高度概括性使它所论及的范围远超出了通信及类似的学科而延伸到许多其他学科，甚至进入像生物学、生理学、心理学、社会科学等领

域。信息论的许多规律由于其概括性、综合性而具有广泛的指导意义。

因此了解一些信息论的初步知识有助于分析处理各种具体的信息系统，以下将对此作扼要介绍。

## § 1.2 信 息 量

在上面的叙述中经常提到“信息”一词，所谓“信息”，是指具体的信号、消息中含有某些为接收者需要的知识，人们常说“得到不少信息”，或者“没有多少信息”，可见信息是可度量的，而这些说法还只是一种通常意义下的大概估计而已。

1928年哈特莱给出了信息量的经典定义。他把信息考虑为代码或是单语的序列，把它所代表的语义当做次要的而不予考虑。于是由  $S$  个代码序列中选  $N$  个码即构成  $S^N$  个可能的信息，他指出“信息量  $I$ ”定义为  $I = N \log S$  是合理的。传输一定的信息量的带宽与传输时间的乘积为常数：带宽愈宽，传输时间可愈短；带宽愈窄，则传输时间相应地要增长。

显然，信号中信息量的大小是不能单纯地从信号的持续时间或占据频带的大小来衡量的。在哈特莱的定义中，实际上认为信息量的大小与接收到该消息的可能性大小有关，可能性越小，消息的意义就越大，相应的信息量也越大。反之，若该消息是必然的事件，可能性是百分之百，则接收到这样的消息就毫无意义，相应的信息量就等于零。

但是，哈特莱的理论没有考虑到噪声和概率，后来香农把哈特莱的信息量从概率论的更广泛的基础上加以定义，同时发展了有噪声时信息传输的理论，为当代信息论奠定了基础。

### 一、非平均信息量

据上所述，可以这样来度量消息中的信息量  $I$ ，即：

$I = (\text{收到消息前对某个事件的不了解程度}) - (\text{收到消息后对}$

同一事件的不了解程度)。

在无干扰的情况下,收到消息后对该事件的不了解程度为零,而收到消息前对某个事件的不了解程度与该事件由消息源发出的先验概率 $P$ 有关。所以将信息量 $I$ 表示为 $P$ 的函数,可得

$$I = f(P). \quad (1.1)$$

这样问题就转为选择 $f(P)$ 。显然任何一个物理量的度量都应当如实地、方便地反映客观规律。为此,有以下信息量的客观规律性:

1. 事件的先验概率 $P$ 越大,则收到消息前对它的不了解程度就越小,反之亦然。

2. 若接收到的消息是个必然事件,则对其不了解程度为零,收到的信息量也为零。即

$$I = f(P) = 0, \quad \text{当 } P = 1 \text{ 时}. \quad (1.2)$$

3. 若接收到两个独立的消息,则收到的信息量应为两个独立消息各自信息量之和。也即信息量具有可加性,即

$$f(P_i, P_j) = f(P_i) + f(P_j). \quad (1.3)$$

从以上三条基本规律来看,对数函数可以满足所有的要求,因此定义:

$$I = f(P) = -\log_a P. \quad (1.4)$$

上式中负号的作用是使这样定义的信息量为正值,因为 $P \leq 1$ ,因此 $\log_a P \leq 0$ 。

一般情况下可写成:

$$I = \log_a P(x/y) - \log_a P(x). \quad (1.5)$$

式中 $P(x)$ 为收到消息前事件出现的先验概率, $P(x/y)$ 是收到消息后事件出现的后验概率。在没有干扰的情况下 $P(x/y) = 1$ ,因此(1.5)式就变成(1.4)式。

## 二、平均信息量

上面定义了非平均信息量,亦即消息的信息量,应该指出这种定义是有缺陷的。因为通信系统是为信息源设计的,并不仅针

对某个消息，同时当消息中符号很多时，由消息出现的概率来计算消息的信息量是很麻烦的。因而引出了平均信息量的概念。用它来刻划消息源中消息平均携带的信息的多少。我们称组成消息的平均每个符号所携带的信息为信息源的信息量，即平均信息量。

若信息源为

$$x \begin{pmatrix} x_1 & x_2 & \cdots & x_m \\ p_1 & p_2 & \cdots & p_m \end{pmatrix}, \quad (1.6)$$

设各符号之间统计独立，则每个符号所含的信息量的统计平均值为：

$$H(x) = - \sum_{i=1}^m p_i \log_2 p_i. \quad (1.7)$$

用平均信息量来计算长消息中所含的信息量是很方便的，若消息的符号总数为 $n$ ，则消息的信息量为：

$$I = nH(x). \quad (1.8)$$

由上式可见，只要知道消息所包含的符号数，就可由信息源的信息量算出消息的信息量。

因为由(1.7)式所表达的信息源的信息量公式与热力学中“熵”的统计表达式完全相似，因此香农把 $H(x)$ 称为“熵”，用它作为信息源信息量的名词，这在信息论中是比较重要的概念，它刻划了信息源的特性。

### 三、信息量的单位

为了便于运算与使用，通常用二进单位作为信息量的单位，在英文中二进数字为“Binary digit”，其缩写为Bit，中文译作“比特”。

在实际工作中有些事件的概率常常是 $\frac{1}{2}$ ，例如在很多电报中符号“0”与“1”出现的概率都是 $\frac{1}{2}$ ，所以每个符号所含的信息量为

$$I = - \log_2 \left( \frac{1}{2} \right) = 1, \quad a = 2. \quad (1.9)$$

也就是说,当消息的不了解程度为 $\frac{1}{2}$ 时,收到此消息后获得的信息量为一个单位。

为了运算方便,有时亦取 $e$ 为基数,即 $a=e$ ,这时信息量的单位为自然单位:

$$I = -\log_e P_{ij} \quad (1.10)$$

一个二进单位(一比特)等于 $1/1.443$ 个自然单位。

### § 1.3 通 道 容 量

在一个通信系统中,接收者收到的信息量不仅取决于信息源的熵,而且和信道的传输能力有关,如何确切地定义传输能力呢?在无噪声信道中传输信息时,如果传输信息源的信息量为 $H$ ,由于没有噪声干扰,信息量没有损失,所以送到接收机中的信息量仍为 $H$ ,信道单位时间内传送信息量的多少称为这个信道的传输速率 $R(\text{Bit/s})$ ,我们定义在一个信道中所能传送信息的最大速率为该信道的通道容量,以 $C$ 表示,则:

$$C = R_{\max}, \quad (1.11)$$

这样该通道在时间 $T$ 内所能传送的最大的信息总量为:

$$I = CT. \quad (1.12)$$

图1.2表示传送单一信号的情况。信道的通道容量为 $C$ ,工作时间为 $T$ ,由信息源送入的信息传送速率为 $R_1$ ,历时 $t_1$ ,因此要求该信道传送的信息总量为:

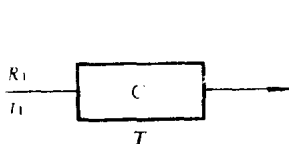


图1.2 单一信号传送

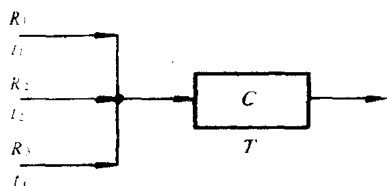


图1.3 多路信号传送