

中等专业学校试用教材

电气化铁道 远动技术

王伟光 李奇辉 李敏 编

郑州铁路机械学校

一九八九年十月

前 言

远动技术以其本身所具有的高效、准确等特点，受到电力系统等部门的重视。早在60年代初，我国就开始研究试制适应于铁路牵引供电系统的远动装置，并取得了重大进展。近年来，随着微型计算机技术的发展和运用，使远动装置的发展和运用进入了一个新的阶段，微机远动技术已成熟地应用于铁路牵引供电系统。

为解决教学急需，和满足生产现场学习掌握微机远动技术的需要，根据铁道部审定的“微机远动技术”教学大纲，由郑州铁路机械学校、西安铁路运输学校、内江铁路机械学校合编了这本讲义。其中第一、二、三章由李奇辉同志编写，第四、五章由李敏同志编写，第六、七、八、九章及附录由王伟光同志编写。由西安铁路运输学校王永康同志主审。参加审定的还有北京铁路电气化学校杨艳芳同志、广州铁路机械学校钱老师。

由于时间紧迫，编者水平有限，缺漏和谬误在所难免，敬请各位读者批评指正。

编审者

一九八九年七月

目 录

第一章	绪论	(1)
第一节	远动技术的内容	(1)
第二节	远动装置的结构及分类	(2)
第三节	远动系统的主要技术要求	(3)
第二章	信息传输基础	(6)
第一节	远动信号	(6)
第二节	抗干扰编码的基本原理	(8)
第三节	循环码	(13)
第四节	BCH 码	(26)
第三章	远动通道	(33)
第一节	远动通道概述	(33)
第二节	调制方法	(39)
第三节	数字调相	(43)
第四节	数字信号的最佳接收	(46)
第四章	布线逻辑远动装置原理	(51)
第一节	概述	(51)
第二节	时序系统	(54)
第三节	同步	(59)
第四节	遥控遥测的发送原理	(68)
第五节	遥控遥测的接收原理	(75)
第五章	遥测变换装置	(80)
第一节	交流电流、电压变送器	(80)
第二节	功率变送器	(82)
第三节	A/D 和 D/A 变换器	(83)

第四节	遥测量的标度变换.....	(91)
第六章	微机远动装置的构成.....	(93)
第一节	微机远动的概述.....	(93)
第二节	微机远动的功能.....	(96)
第三节	微型计算机简介.....	(100)
第四节	微机远动的外部设备.....	(116)
第七章	微机远动装置的程序设计和运行.....	(135)
第一节	模拟量采样程序.....	(135)
第二节	遥测量标度变换程序.....	(137)
第三节	遥测量的数字滤波.....	(142)
第四节	越限检查.....	(148)
第五节	二/十进制转换.....	(151)
第六节	信道编码与译码.....	(155)
第七节	发送程序.....	(158)
第八节	接收程序.....	(160)
第九节	常数的存贮与查找.....	(162)
第十节	工作模式.....	(164)
第八章	微机远动系统的故障分析及维护技术.....	(169)
第一节	微机远动系统的维护.....	(169)
第二节	故障诊断的基础知识.....	(170)
第三节	软件的维护.....	(171)
第四节	程序调试与维护.....	(178)
第九章	微机远动简介.....	(182)
I	京秦线的远动装置(东芝设备).....	(182)
第一节	系统的构成.....	(182)
第二节	系统容量和系统功能.....	(186)
第三节	远动信息的传输.....	(199)

第四节	远动装置电源	(202)
II	西南交大的DWY—1多微机远动系统简介	(203)
附录		(211)

第一章 绪 论

第一节 远动技术的内容及特点

在电气化铁路沿线，分布有牵引变电所、分区亭和开闭所等，它们和接触网等构成了牵引供电系统。和一般电力系统相比，牵引供电系统的运行条件要恶劣得多，操作也比较频繁，为了确保整个牵引供电系统可靠、经济、高质量地运行，迫切需要一个调度中心，统一指挥系统运行。很明显，这样的调度中心和牵引变电所（亭）之间的距离可达数十公里到数百公里。这就使得通常在近距离内传送信号、测量数据、进行操作的方法不再适用。基于电气化铁道牵引供电系统的特点，就产生了电气化铁道远动技术。

远动技术所要完成的主要任务是：一、监测牵引变电所（亭）的运行状况，收集各牵引变电所（亭）运行状况的信息；二、对各牵引变电所（亭）直接进行操作或调整。具体地说，远动装置应具有以下功能：

1、遥信（YX）：对牵引变电所（亭）的工作极限状态进行远距离测定。也就是将被监测的牵引变电所及线路的新路器位置信号和其它用途的信号（如事故跳闸信号等）传送给调度中心。在调度中心模拟盘上反映出来。

2、遥测（YC）：对牵引变电所（亭）的某些参数进行远距离测量，如有功率、无功功率、电压、电流及接触网故障点的阻抗值等参数，它们可以是模拟量或数字量。在调度中心由屏幕显示出来。

3、遥控（YK）：使牵引变电所（亭）中某些被控设备作单一的或两种极限状态的动作，如事故情况下操作供电系统中某些断路器等。

4、遥调（YT）：对牵引变电所（亭）的工作状态进行调整，如直接调节变电所的电压等。

远动技术的不断发展使远动系统的功能得到不断扩展。我们认为，任何远动系统，它的功能均可归结于遥信、遥测、遥控及遥调。

因此，可以说，电气化铁道远动技术就是将电气化铁道牵引供电系统的数据、命令从一端传送到另一端去显示、记录或控制，从而实现调度中心（调度端）对各被控牵引变电所（亭）（执行端）进行遥信、遥测、遥控和遥调的技术的总称。

电气化铁道远动技术有下列优点：

1、集中监视，提高了安全经济运行水平。正常时，实现合理的系统运行方式，事故时，及时了解事故的发生和范围，加速事故处理。

2、集中控制，提高了劳动生产率，可以改善运行人员的劳动条件，实现了少

人化甚至无人化。

3、为实现牵引供电系统乃至整个电气化铁道的综合自动化打下了基础。

不仅电气化铁道牵引供电系统，而且一般电力系统、列车运行、石油开采、煤矿、农田灌溉、给排水系统、大工厂及联合企业、气象、宇航、原子能的应用及军事目标的控制等，或是由于控制对象远离被控点，或是由于被控对象是运动的或有危险不可靠近的，均需采用远动技术，而且，需采用远动技术的领域和场合，更是日益广泛。

尽管远动技术的历史不长，但发展速度很快。在国外，二十年代就已有为4千伏变电所作遥测和监视应用的远动系统，那时应用的远动设备，五十年代以来发展了晶体管设备，但在原理上没有很大的变化。六十年代以来，远动装置的工作方式普遍由(1:N)式代替了(1:1)式，即调度端一套远动装置可以控制N个执行端。设备结构也从采用晶体管发展到采用集成电路。由于大规模集成电路的发展和推广特别是微型计算机的出现，应用微型计算机的远动系统也愈来愈多。在电气化铁道远动技术中也开始采用微型计算机，从而出现了电气化铁道微机远动技术。

第二节 远动装置的结构及分类

从功能实现的角度看，远动装置由以下三个部分，即：调度端、通道和执行端构成。如图1-1所示。

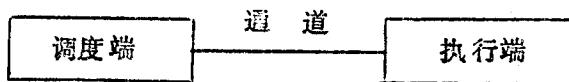


图1-1 远动装置的功能实现框图

从信息传输的角度看，远动装置包括以下三个部分，即：发送端、通道和接收端。如图1-2所示。

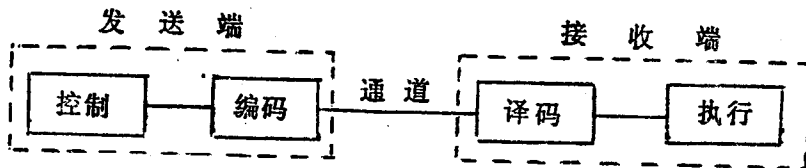


图1-2 远动装置的信息传输框图

发送端主要包括控制和编码两部分。其作用是将控制器发送的信息进行变换，编成电码以适于在通道中传送。

通道的作用是将发送端送来的电码传到接收端。

接收端主要包括译码和执行两部分。其作用是将接收到的电码译成命令，然后再执行。

不论远动系统所采用的通道、被控对象和所用元件是什么样的，按远动功能是

用硬件实现还是靠软件实现，可把远动系统分为硬件远动系统和软件化远动系统两大类。

硬件远动装置又叫布线逻辑式远动装置，它是通过专门的布线，由逻辑元件如门电路、触发器连接组成的。因为这些布线、门电路、触发器都是一些实体的器件，所以称为硬件。

软件化远动装置是在用户对远动装置不断提出新功能的要求，用传统的布线逻辑来设计这种远动装置时，经济指标和技术指标难以满足，并将花费大量的时间，而供电系统的自动化技术不断发展的前提下产生的。它虽然也有一些基本的硬件，即主机及若干外围设备，但是装置主要由软件来进行工作。

硬件远动装置与软件装置的区别如图1—3所示。在硬件远动装置中，被加工

的信息进入远动装置之后，根据装置的布线及逻辑电路固有的次序进行加工。这种装置一旦设计定型，其功能种类及容量就不易改变。因此较难适应供电系统发展的要求。而在软件化远动装置

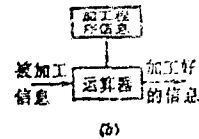
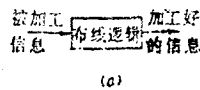


图1—3 硬件与软件远动装置的区别示意图

(a) 硬件; (b) 软件

中，是根据输入的如何加工“被加工信息”的信息来对“被加工信息”进行加工处理、发送和接收的。当远动装置的功能种类和容量需作变更时，只要适当修改程序并适当增减若干外围部件即可，所以，这种远动装置较能适应供电系统以及电气化铁道供电系统的变化和发展。

很明显，微机远动属于软件化远动装置。和一般计算机相比，微机计算机的功能强、功耗小、可靠性高且价格低廉，因此电气化铁道微机远动技术具有不可估量的生命力。

第三节 远动系统的主要技术要求

对远动系统的主要技术要求是：

1、可靠性要高

远动系统在供电系统中是起监控作用的，自然要求它具有高度的可靠性。可靠性包括装置本身的可用性及信息的传输可靠性两个主要方面。

可用性是指装置正常运行的能力，它用平均故障间隔时间来衡量。平均故障间隔时间是指远动装置在两个相邻故障间的平均正常工作时间。

远动装置在传输信息过程中，会因为干扰而出现差错，传输可靠性是用信息的差错率来表示的。

$$\text{差错率} = \frac{\text{信息出现差错的数量}}{\text{传输信息的总数量}}$$

2、精确度要高

接收到的数据与原始数据相符合的程度称为精确度。精确度包括静态精确度及动态精确度。误差则是精确度的相反意义。误差愈小则精确度愈高。通常远动系统的精确度是通过其误差来表示的。

若远动系统的输入信号是 x ，其输出信号是 x' ，则绝对静态误差为：

$$\Delta x = x - x' \quad (1-1)$$

因为 x 是时间的函数，则在某一瞬间当 $t = t'$ 时有

$$\Delta x(t_1) = x(t_1) - x'(t_1) \quad (1-2)$$

这个误差就是系统的绝对动态误差。

但是，远动系统的误差一般是引用相对误差的概念来表示，也就是绝对误差与信号最大值的比，用 ε 表示，则

$$\varepsilon = \Delta x / x_{max} \quad (1-3)$$

产生误差的原因很多，静态误差的产生主要是由于系统中变换环节的不稳定，以及所用元件不够精确所引起的，通道参数的变化也会产生误差。因此在远动系统中往往采用不易受通道参数影响的信号特征和具有高稳定性的变换器。动态误差是由于设备的动态特性以及通道中的干扰所产生的。

3、抗扰度要高

任何通道中必然存在着干扰（人为的或天然的）。因此，在远动系统通道另一端所得到的已不是原来的信号，而是信号 $f(t)$ 和干扰 $n(t)$ 的混合，如图 1-4 所示。假如通道的输出端没有特殊的方法把原来的信号 $f(t)$ 分离出来，减免干扰

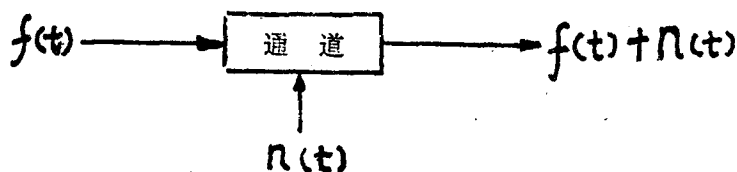


图 1-4 通道干扰示意图

的影响，则在遥测时将造成误差，而在遥控时将有可能发生误动作。远动系统避免干扰影响的能力叫做抗扰度。

增加抗扰度的方法大致说来有两个：其一是在通道输入端适当变换信号的形式，使其不易受干扰的影响；其二是在接收端变换环节的结构上加以改善，使其具有消除干扰的滤波能力。

4、实时性要强

调度端要求供电系统的实时信息，特别是在供电系统故障时，要求迅速地获得故障信息以及及时处理故障。实时性常用“传输时延”来衡量，它是指从发送端事件发生到接收端正确地收到该事件信息这一段时间间隔。

5、功能要多

通常把遥测、通信、遥控及遥调等对象的数量叫做远动装置的容量。首先，远动装置的容量要满足供电系统远动化的要求。其次，随着技术的发展，传统的遥测、通信、遥控及遥调功能应扩展到具有更多的数据采集和处理功能，状况判断功能及信息交换，再分配的功能等。

上述主要技术要求对同一远动系统并非能够同时满足，其中存在着矛盾，因此需要权衡利弊，予以选择。此外，远动系统还应具有足够的灵活性，以便使系统能在用途改变或容量变更时，只需稍加改动或简单地叠加一些设备就可运用；远动系统的结构应标准化，操作应易于掌握，维护应简单、方便，成本应尽量低廉。

第二章 信息传输基础

第一节 运动信号

实现运动系统的功能，实际上也就是，或反映牵引变电所（亭）运行状况、数据，或给牵引变电所（亭）下达命令让其做相应动作。这些运行状况、数据、命令等都属于消息，可以说，运动是远距离传送消息的技术。

要传送的“消息”，对收信者来说是“不确定”的。如果是“确定”的，传送就没有意义了。例如被控端的开关有两种状态：“合闸”和“分闸”，对调度员来说，在没有传送过来开关状态消息之前，开关状态是不确定的。消息的这种不确定性可以用“信息量”来表示，所以说消息具有信息量。

不同的消息，的确会有不同的信息量，一个必然发生的消息，对收信者来说没有任何收获，其信息量为零。一个很少出现的消息发生了，当收信者得知该消息后会感到收获很大，即该消息的信息量很大。抽象地说来，一个事件发生的概率越小，它的信息量就越大。所以，对于要传递的事件——消息，其不确定性可用该事件出现的概率的倒数来表示。此外，当该事件分成若干个独立事件时，该事件的总信息量应是各个单独的信息量之和。显然对数函数能满足这个要求，所以，消息的信息量可按式计算

$$I = \log \frac{1}{P} \quad (2-1)$$

式中 P ——事件发生的概率；

I ——该事件发生时所得的信息量。

在式（2-1）中，对数的底取决于量度信息的单位。由于二进制数字的英文缩写，音译为“比特”。若取2为底，信息量的单位则称为“比特”。

$$I = -\log_2 P \quad (2-2)$$

我们只讨论各种事件都是等概率出现的情况。最简单事件（或消息）只有两种状态，例如开关的消息就是两种：“合闸”或“跳闸”。这种最简单的消息所含的信息量的计算公式为：

$$I = -\log_2 \frac{1}{2} = 1 \text{ (比特)}$$

这就意味着，在工程中，最简单的具有两种状态的消息可用一“位”二进制符号来表示。发出这样一个符号就说发出了1比特的信息量，收到这样一个符号就说收到了1比特的信息量。

如果一个消息有 2^n 个状态，它就有 n 比特的信息量，可以用 n 位二进制符号表

示。这样，在等概率条件下，比特就可用二进制符号的“位”概念来解释。

一个消息如果用 N 进制符号表示，那么它的信息量就是：

$$I = \log_2 N \text{ (比特)} \quad (2-3)$$

在信息论中，把各种消息的传送概括定义为信息的传送。消息的信息量相当于被运送货物的“重量”，传送信息的多少就直观地使用“信息量”去衡量。

在远动系统中，我们将代表被转换并传送消息的波形称为“远动信号”。

远动信号可以有各种各样的形式。只要满足在空间传送消息的目的，从理论上说就可以作为远动信号的传送形式。然而，在绝大部分情况下，由于电流容易转换、贮存与传送，所以远动信号通常都采用电的形式。

远动信号不论采取何种形式，必然需要有某一特殊的因素来代表消息的意义。例如，同样是电的信号，消息甲与消息乙必须被区别开来，否则仅收了消息而无法知其内容，远动系统也是无法正常工作的。为了区别和传送这些消息，通常是利用不同特征的电信号来表示各种远动消息（即远动信息）。例如，我们可以取两种特征的电信号即高电平信号和低电平信号，并令高电平为“1”，低电平为“0”，这就构成了所谓二进制信号。

在数学上，与这种二进制信号对应的数字是二进制数字，它也只有“1”和“0”两个符号。对于二进制信号的处理常常可以用二进制数字的运算来进行。我们把将远动信息用二进制数字表示的过程称为二进制编码。因为二进制编码运算规律简单，实现容易，且传送可靠，故在计算机和远动技术中得到了广泛应用。

如前所述，对于只有两个状态的信息，如断路器的“分”与“合”，可以用一位二进制数“0”和“1”来表示。但对于多种状态的信息，则需多位二进制数表示。例如，两位二进制数 00, 01, 10, 11 可表示 $2^2 = 4$ 个状态的信息；三位二进制数 000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111 可表示 $2^3 = 8$ 个状态的信息。在远动系统中，各位数均为零时的编码不能采用，故 n 位二进制数能得到 $2^n - 1$ 个信息码。

上面用不同的二进制数字编成的每一个信息码称为码字，其中的每一位二进制数字称为码元。若一个码字由 n 个码元组成，则此码字可以表示为 $C_{n-1}, C_{n-2}, \dots, C_1, C_0$ 。

我国的孟宝段（孟塬—宝鸡）电气化铁道远动系统采用的是等长不归零码（NRZ-LE）。即用高、低电平分别表示逻辑“1”和“0”，脉宽相等，且等于码的整个间隔时间。而归零码（RZ）的脉宽稍窄，留有一部分宽度用归零，从而显示脉冲的特征。如图 2-1 所示。

显然，二进制信号是数字信号的一种基本形式。现在讨论数字信号的传输要求。对于数字信号的传输，可以从数量和质量两方面提出要求。在数量方面，以传输速率衡量传输的有效性；在质量方面，以错误率衡量传输的可靠性。

传输速率可用以下三种表达方式：

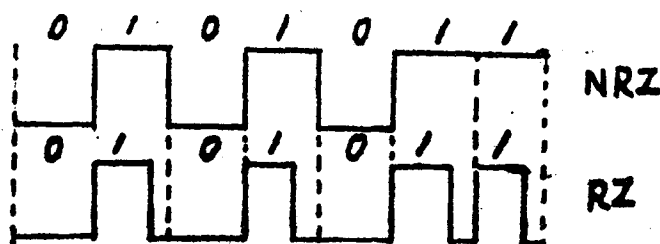


图 2—1 NRZ 与 RZ 的比较

(1) 码元速率 (R_B)：又称信号速率，它指每秒传送的码元数，单位为“波特”。

(2) 信息速率 (R_b)：指每秒传送的信息量，单位为“比特/秒”。

由于二进制信号每个码元含 1 比特信息量，故码元速率和信息速率在数值上相等。

对于 N 进制信号，两者的关系是：

$$R_b = R_B \log_2 N \quad (2-4)$$

(3) 消息速率 (R_m)：指单位时间内所传送消息的数量。

传输错误率也有以下三种表达式：

(1) 误码率 (P_e)：指错误接收消息的码元数在传输消息的总码元数中所占的比例。

$$P_e = \frac{\text{错误接收消息的码元数}}{\text{传输消息的总码元数}} \quad (2-5)$$

(2) 误比特率 (P_b)：指错误接收消息的比特数在传输消息的总比特数中所占的比例。

$$P_b = \frac{\text{错误接收消息的比特数}}{\text{传输消息的总比特数}} \quad (2-6)$$

显然，对于二进制信号而言，误比特率和误码率是相同的，即 $P_b = P_e$ 。

(3) 误字率 (P_w)：指错字数在传输总字数中所占的比例。

可靠性（或错误率）与信息传输速率有关。传输速率越高，即每秒内传送的二进制码元越多，则每个码元所占用的时间就越短，波形亦越窄，能量亦越少，因而受到干扰后的错误的可能性就越大，传送信息的可靠性就越低。反之，传输速率慢，则可靠性就高。

第二节 抗干扰编码的基本原理

现举例说明抗干扰编码的基本原理，例如一个由三位二进制数字构成的码组，它共有八种不同的组合，如表 2—1 信息组所示。这三位信息组中任一组发生一位或多位错误时，就变成另一信息组，无法发现错误。

表 2-1 偶监督码

信 息 组	码 字
0 0 0	0000
0 0 1	0011
0 1 0	0101
0 1 1	0110
1 0 0	1001
1 0 1	1010
1 1 0	1100
1 1 1	1111

如果增加一位监督位，使得四位码组中“1”的个数为偶数，则形成八个如表 2-1 右端的码字，这就是偶监督码。如果发生了奇数个错误，则码字中“1”的个数是奇数，所以能发现错误。四位数码可以有 $2^4 = 16$ 个不同的组合，其中八个是偶监督码，叫做“许用码字”。另外八个组合其中“1”的个数为奇数，不是码字，叫做“禁用码字”。这样，识别有无错码实际上就是区别许用码字和禁用码字。

远动信号在传输中，由于受到干扰的影响，会引起错码。抗干扰编码就是给予要传递的信息一定的特征，在发生错码时，能够识别出有错码（检错）来，或者进而能够纠正错码（纠错）。怎样给予传递信息一定的特征呢？常用的抗干扰编码方法是在要传递的信息位后按一定的规则附上几位监督位，即由信息组根据一定的规则得出监督位，以构成许用码字（或简称码字）。

一、分组码的概念

信息序列常是分组处理的例如遥测、遥信中把数据序列分为组：1 y c、2 y c、……等。设每一组由 R 个信息元 $m_0, m_1, \dots, m_{k-1}$ 组成，共有 2^k 个不同的组合。我们称这些长度为 R 的组合叫做信息组。

具有一定检测错误或纠正错误能力的码，叫做抗干扰码。其中只能检错的，叫做检错码；不仅能检错而且能纠错的，则叫做纠错码。根据监督元与信息元的不同关系，可将抗干扰码分为线性码与非线性码。如果监督元与信息元之间的关系是线性关系，则称为线性码，否则称为非线性码。根据对信息元处理方法的不同，可将抗干扰码分为分组码与卷积码。分组码中的每一码字的监督元只与本码字的信息发生关系，而与别的码字无关。卷积码的监督元不仅与本码字的信息元有关，而且与前面若干码字的信息元也有关，这就使前后几个码组相互发生了关联。

分组码是对每个长度为 k 的信息组，以一定的规则增加 r 个监督位，组成长度为 $n = k + r$ 的二进制序列 $C_{n-1}, C_{n-2}, \dots, C_0$ 。这个长为 n 的序列叫做码字、码组或码矢，并称此 2^k 个码字的集合为 (n, k) 分组码，其中 n 表示码长，而 $r = n - k$ 为监督位长。用 $R_c = \frac{k}{n}$ 表示码字中信息位所占的比例，称为编码效率。它是衡量编码性能的一个重要参数，显然 R_c 越大编码效率越高。

在 (n, k) 分组码中有 2^k 个许用码字, $2^n - 2^k$ 个禁用码字。所以分组码的编码问题是如何从 2^n 个可能的组合中, 按一定的规则构成 2^k 个码字的问题。不同的规则构成不同的分组码。

一般的分组码, 其监督元可以安排在任意位置。在通常应用中常采用偶监督码格式, 即前面 k 个是信息位,

后面跟着 r 位监督位, 如图 2-1

2 所示。表 2-1 中的码字就是

系统码的格式, $(4, 3)$ 分组

码是偶监督码, 码字 0011, 前三位是信息元, 第四位为监督元。

图 2-1 系统码格式

二、码距和最大似然译码

在分组码中, 把码字中“1”的数目叫做码字的重量, 简称码重。任意两个码字对应位上数字符号不同的位数叫做码字距离, 简称码距。例如在表 2-1 中, 两个码字 0000 与 0011 的码距为 2, 而 0000 与 1111 的码距为 4, 把所有码字间的最小码距, 记作 d 。例如表 2-1 中 $(4, 3)$ 码的许用码最小码距 $d = 2$ 。

如上所述, 检错是用区分许用码字和禁用码字来实现的, 那么纠错怎样实现呢? 通常采用“最大似然译码”原则, 这个原则是“收到的数字序列和某一个许用码字的距离最小, 就把它译成这个码字”, 这里所说的距离最小, 就是“最似然”或“最象”的意思。最大似然译码原则是基于这样的想法: 即一个码字在传输过程中发生错码位数少的可能性, 要比发生错码多的可能性大, 根据这一前提作出纠错判决。

例如, 在表 2-1 中的 $(4, 3)$ 偶监督码。如果接收端收到的码序列是 0001, 显然它是禁用码字, 检错判断它是错码。能否纠错呢? 这个 0001 与许用码字: 0000, 0011, 0101, 1001 的距离都为 1。与表 2-1 中的其他四个许用码字距离都为 3。而 0001 与四个许用码字距离均为“1”, 不能判断发送的正确码字是哪一个, 所以不能作出纠错判决。因此, 偶监督码, $d = 2$, 只能检错, 不能实现纠错。

如果在表 2-1 中只取 0000 及 1111 作为许用码字, 构成 $(4, 1)$ 码。若收到码为 0001, 它与 0000 的距离最小, 由最大似然译码原则应判为 0000, 即把 0001 的最后一位取反, 实现了纠错。显然, 如果这个 $(4, 1)$ 码只用作检错, 它能发现三位错码。

上面列举的 $(4, 3)$ 码, $d = 2$, 能保证发现一位错码。而 $(4, 1)$ 码, $d = 4$, 用作检错可检查三位错码, 若用作纠错, 能纠正一位错码。可见最小码距是与检错、纠错能力有关的。

三、分组码的检错、纠错能力

检错能力是指能够发现几位错码。纠错能力是指能够纠正几位错码。下面介绍的是对随机错码的检错、纠错能力。

(1) 要发现 (检查) e 个错码, 要求最小码距,

$$d_0 \geq e + 1 \quad (2-7)$$

用图 2-3 (a) 证明如下：设一码字 A 位于 0 点，若码字发生 e 位错码，则该码字的位置移到以 0 点为中心，以 e 为半径的圆周上。若最小码距 $d_0 = e + 1$ ，则该圆周上不会有任何许用码字，都是禁用码字。即码字 A 发生 e 位错码时，变成禁用码字，而不会变成任一许用码字。因而能发现 e 个错码。

(2) 要纠正 t 个错码，要求最小码距：

$$d_0 \geq 2t + 1 \quad (2-8)$$

用图 2-3 (b) 证明如下：例如 A、B 两码字的距离为 5。码字 A 或 B 若发生 2 位或以下的错码，则其位置不超过以 A 为圆心、半径为 2 的圆周外，B 发生 2 位错码也一样。这两个圆的圆周不会有交点。根据最大似然译码原则来判决，若接收到的码序列落在以 A 为圆心、半径为 2 的圆上或圆内，就判为码字 A。如果落在以 B 为圆心、半径为 2 的圆上或圆内则判为 B。所以码距为 5 能纠正 2 位错码。我们注意 A、B 两码字是任意取的，所以最小码距为 5 必能保证纠正两位错码。一般来说，若 A 有 t 个错码，若满足 $d_0 \geq 2t + 1$ ，必然仍旧与 A 最接近，不会发生与其他码组最接近的情况，根据最大似然原则，可正确地判为 A 码字。

(3) 要纠正 t 个错码，同时要发现 e 个错码，并且 $e > t$ ，则要求最小码距：

$$d_0 \geq e + t + 1 \quad (2-9)$$

用图 2-3 (c) 证明，设 $d_0 = 4$ ，A 码字或 B 码字发生 $t = 1$ 位错码时，由 (2-8) 式，必能被纠正。若发生 $e = 2$ 位错码时，虽然 $e > t$ ，但其位置与 B 码字的距离为 2，即没有落在 B 码字的纠错范围内，不致被错判为 B 码，并且它是一个禁用码字能被检错发现。所以一个分组码要同时用于检错和纠错时，必须满足 (2-9) 式。

最后我们说明：(2-9) 式中，若 $e \leq t$ 是没有意义的，因为由 (2-3) 式知必能被纠正过来。

四、抗干扰码的差错控制

我们知道，运动信号从发送端经通道传送到接收端，由于在通道中不可避免地

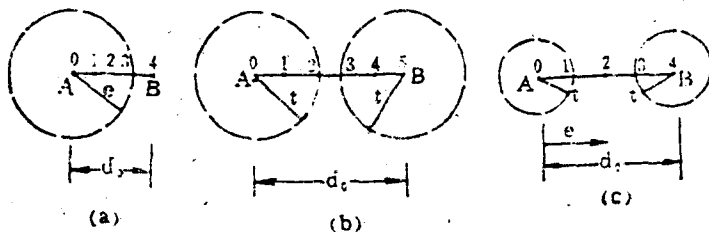


图 2-3 检错、纠错能力示意图

存在着干扰和噪声，这就有可能在接收时产生差错。

采用抗干扰编码后，进行差错控制的方法基本上有：一是自动检错反馈重发法，又称反馈纠错法；另一是前向纠错法。

(1) 自动检错反馈重发法 采用这种方法时，就是发送端发送能够发现（检测）一定错误的码字。接收端的抗干扰译码器根据该码的编码规则来判定传输有无差错。当发现错误后，即自动向发送端发出一个要求重发的指令，发送端收到这一

指令后就重发原来的码字。直到接收端收到的码字认为正确时为止。显然它需要有反馈通道。如图 2—4 所示。

在发送端输入的数据经抗干扰编码器编码后，除立即发送外，尚暂存缓冲存储器中。若接收端抗干扰译码器检出错误，则由抗干扰译码器控制产生一重发指令，经反馈通道送回原发送端，由发送端重发控制器控制缓冲存储器重发一次。接收端仅当认为码字正确时，才将它送给接收端设备，否则在输出缓冲存储器中删掉。当接收端抗干扰译码器未发现错误时，则经反馈通道发出不重发指令，发送端收到此指令后，即继续发送后续消息，发送缓冲存储器也随之代以后续发送消息。

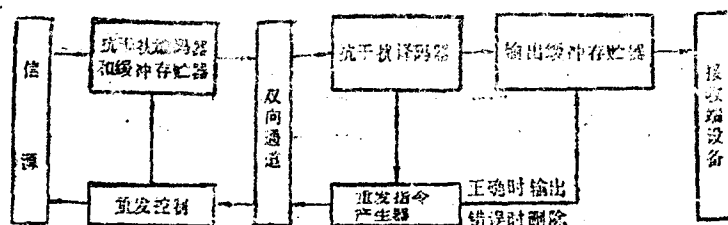


图 2—4 自动检错反馈重发法原理

(2) 前向纠错法 采用这种方法时，发送端发送具有能纠正一定错误的码字，接收端的抗干扰译码器不仅能发现码组中是否有错误，而且还能判定错误码元的位置，从而纠正错误。其优点是适用于传输连续的数字序列，实时性好，不需要反馈通道。但抗干扰译码器一般比较复杂。

以上两种方法结合使用，便成混合纠错法。发送端发送具有检错和纠错能力的码字。接收端收到后，首先检验差错情况。若只有少量错误，在码字的纠错能力以内，则自动纠正；若发生的错误较多，超出了码字的纠错能力，这时虽然能检测出来，但必须要经过反馈通道发出请求重发的指令。发送端收到重发指令后，重发原来的码字。

为提高信息传输的可靠性，远动系统还常采用反传校验方式和连发方式。反传校验方式是在接收端将收到的信息直接反传回发送端，在发送端将预先存储的信息和返回信息进行校验并判断有无差错。根据此判断的结果，决定发送下一信息，或通知对方取消原发送信息。连发方式是将同一信息连发两次，甚至三次，或二次正反码（第二次将数据倒相）等等，在接收端校验连发的信息，检查有无差错。

反传校验方式是用反馈通道反传信息的。若从产生错码这一点看，正反向传输通道中的错码产生是互不相关的，因此，尽管接收的是正确信息，但在反传途中出现差错时会有可能判断为传输中有差错，这在反馈通道质量提高时问题不大，但实际上多数正、反向传输通道的质量大致相同。因此，在发送端判断为有错的传输中，实际有近半数的正确接收被误判了。每当判断有错时，都应采取纠正动作（如重新发送等），但这种纠正动作超过实际需要。连发方式虽简单，但数据发送多余度（冗余度）大，信息传输效率甚低。