

高等学校教材

电气化铁道远动技术

西南交通大学 钱清泉 主编

西南交通大学 潘启敬 主审
贺威俊

中国铁道出版社

1990年·北京

前 言

本书为铁道电气化专业的专业技术教材，是在1984年由中国铁道出版社出版的《电气化铁道远动技术》试用教材的基础上修订而成的。

与试用教材比较，加强了对编码理论及纠错码等理论上的深入讨论和阐述，在编写系统方面作了适当调整，对远动装置，由介绍整体系统的构成原理出发，引出概念，然后再集中讲述系统中的部件和接口、通道等；在总结科研成果的基础上，详细介绍了计算机远动系统及其功能部件，以适应现场的需要。

为了便于学习，本书列举了电气化铁道远动系统的实例。

本书由钱清泉教授主编，西南交通大学潘启敬教授、贺威俊教授主审。参加本书修订编写的有钱清泉、路素英、刘惠德、刘学军、张银龙等同志。西南交通大学电气化自动化研究所的同志及铁道科学研究院、华东交通大学、铁道部第二勘测设计院、铁道部电气化工程局、成都铁路局等单位的有关同志，对本书的内容提出了宝贵的修改意见；西南交通大学铁道电气化自动化研究所的同志为本书的完成给予了很大支持，在此表示感谢。

本教材讲授时数为68学时。

编 者

一九八八年八月

内 容 简 介

本书全面系统地讲述了运动技术的基本内容。全书共分八章：绪论，运动信息与编码的基本原理，运动系统组成原理，遥测变换装置，计算机运动系统基本概念及工作模式，微机运动构成原理，微机运动接口及运动通信设备。本书既着重于基本原理的阐述，又根据当前发展的需要，对微机运动构成方面的新技术作了重点介绍。

本书可作为铁道电气化专业的教材，同时还可供铁道电气化和工业控制方面的工程技术人员和其它有关专业参考。

高等学校教材

电气化铁道运动技术

西南交通大学 钱清泉 主编

*

中国铁道出版社出版、发行

(北京市东单三条14号)

责任编辑 方军 封面设计 王毓平

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本：787×1092毫米 $\frac{1}{16}$ 印张：15.5 字数：389 千

1990年6月 第1版 第1次印刷

印数：1—2,000册

ISBN7-113-00769-4/U·238 定价：3.10元

目 录

第一章 绪 论

第一节 概 述	1
第二节 远动系统的基本结构及分类	3
第三节 远动系统的性能指标	5

第二章 远动信息与编码的基本原理

信息计算、通信控制方案

第一节 信息量及数字信号传输要求	8
第二节 抗干扰编码概述	10
第三节 线性分组码	16
第四节 循环码	21
第五节 BCH码	30
第六节 卷积码	35
第七节 采用抗干扰编码后错误概率的估算	42

第三章 远动系统组成原理

第一节 概 述	45
第二节 时序部件及同步	49
第三节 遥控的发送与接收	62
第四节 遥信的发送与接收	68
第五节 遥测的发送与接收	72
第六节 布线逻辑远动装置举例	82

第四章 遥测变换装置

重点

第一节 交流电流、电压变送器	91
第二节 功率变送器	93
第三节 功率总加器	107
第四节 A/D和D/A转换器	110
第五节 遥测量的标度变换	117

第五章 计算机远动系统的基本概念及工作模式

第一节 概 述	120
第二节 工作模式	123
第三节 计算机化远动装置举例	127

第六章 微机远动构成原理

第一节 概 述.....	136
第二节 <u>微机远动装置的硬件结构</u>	137
第三节 微机远动系统软件.....	143
第四节 微机远动应用软件.....	151
第五节 BCH码编译码的程序设计.....	167

第七章 微机远动接口

第一节 通信接口.....	172
第二节 外设接口.....	187
第三节 屏幕显示及其接口.....	193
第四节 开关量采集接口.....	201
第五节 模拟量采集及接口.....	205

第八章 远动通信设备

第一节 概 述.....	213
第二节 通信线路.....	218
第三节 线性调制的概念.....	222
第四节 数字调频.....	225
第五节 数字调相.....	233
第六节 滤波器、衰耗器及二四线转换装置.....	238

第一章 绪 论

第一节 概 述

随着科学技术的发展,远动技术已经形成一门独立的学科。由于生产过程自动化程度日益提高,人们不断谋求对生产过程,特别是对处于分散状态的生产过程的集中监视、控制和统一管理。为适应上述目的,远动技术在综合了应用自动控制理论、计算机技术和现代通信技术之后而迅速发展起来。

远动系统在基本设想方面,在应用场合和完成其特定的任务方面都有着繁多的种类,各自有着不同的特征。有的可能是一个很简单的单一对象控制;有的可能是一个很大的综合系统。不管怎样,远动系统具有远距离的在人(或者机器)和机器之间交换信息的机能。

如电气化铁道供电系统设有电力调度所,统一指挥供电系统在正常及事故情况下的运行工作,并集中管理沿铁道线分布的许多牵引变电所、分区亭和开闭所中的电力设备。

为了保证供电系统运行的可靠性和经济性,调度所必须及时地掌握系统的实际运行情况。所以,从调度工作出发,一方面需要收集信息,要求变电所将断路器的位置信号、事故信号及主要运行参数等能迅速、正确、可靠地反映给调度所;另一方面,调度所切实了解到系统的运行情况并进行判断和处理后,应对变电所(包括分区亭和开闭所等)下达命令,去直接操作某些设备或调整某些参量,或去完成实时控制的任务。

为了完成变电所与调度所之间远距离信息的实时自动传输,必须应用远动技术,采用远动装置。远动技术即是调度所与各被控端(包括变电所等)之间实现遥控、遥测、遥信和遥调技术的总称。为此,由远动装置在调度所和变电所之间传送各种信息,其示意图如图1-1所示。采用远动装置对于监视和控制系统的运行是一个十分有利的工具。它是实现系统实时调度和进一步实现调度综合自动化的基础。传统远动装置的主要功能是遥控、遥调、遥测和遥信。

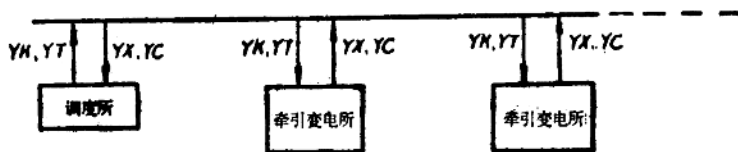


图 1-1 电气化铁道远动系统
YK——遥控, YX——遥信, YC——遥测, YT——遥调。

1. 遥控 (YK)

遥控是从调度所发出命令以实现远方操作和切换。这种命令只取有限个离散值,通常只取两种状态指令,例如命令开关的“合”、“分”指令。

2. 遥调 (YT)

遥调是调度所直接对被控站某些设备的工作状态和参数的调整。如调节变电所的某些量值（如电压等）。

3. 遥测 (YC)

遥测是将被控站的某些运行参数传送给调度所。如有功和无功功率、电度、电压、电流等电气参数及接触网故障点等非电气参数。

4. 遥信 (YX)

遥信是将被控站的设备状态信号远距离传送给调度所。如开关位置信号、报警信号等。

远动化的主要任务：其一是集中监视，提高安全经济运行水平。正常状态下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，加快事故处理；其二是集中控制，提高劳动生产率。调度人员可以借助远动装置进行遥控或遥调，实现无人化或少人化，并提高运行操作质量，改善运行人员的劳动条件。

电气化铁道供电系统采用远动装置，实现集中监视和控制，可以保证供电质量，提高可靠性和减少维修费用。其经济效益是很明显的。所以在一些技术先进国家的牵引供电设备中广泛采用远动装置。此外，如电力系统、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、原子能的应用以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远动的或是有危险不可靠近的，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。

总之，远动技术已经为国民经济各部门及国防部门所需要。尽管它的历史不长，但发展速度很快。最早使用的远动装置是有接点式装置，它的主要元器件是继电器。随着新型电子器件的出现，以晶体管为主要元件的无接点式远动装置相继出现。随之而来的是由集成元件构成的全集成电路装置的诞生，上述各型装置都属于布线逻辑装置，它们按预定的要求进行设计，使构成装置的各部分逻辑电路按固定的时间顺序工作，以完成预定的功能。这些装置属于硬件式的装置，不能随意进行功能的扩展。为了提高装置的灵活性和可扩展性，以适应多种用户的不同需要，人们又研制出了软件化的远动装置。如初期的微程序远动装置，近几年迅速发展起来的微型计算机远动装置（简称微机远动）等。

软件化的远动装置和布线逻辑远动装置的主要区别如图 1—2 所示。布线逻辑远动装置的逻辑电路中有一套时序电路，由它控制其余逻辑电路按时序工作，从而使输入的待处理信息（如遥信对象的状态量、要发送的遥控命令等）变成处理好的信息（如遥信信号、遥控指令等）。由于这种装置处理工作全部在逻辑电路中自动进行，要改变处理要求必须重新进行电路设计。而软件化远动装置除硬件外，还包括软件部分。它的硬件部分由远控器、存储器、输入/输出接口电路等组成，类似于计算机的硬件结构。整个装置的工作由输入的软件——加工程序控制。当需要改变处理要求时，只需对程序进行修改。即使需要增加硬件，由于各部分电路是由总线相互连结，扩展也很方便。因此软件化远动装置更具有灵活性和可扩展性。随着微型计算机技术的发展和普及，软件远动装置中以微机远动装置占绝对优势。

从硬件设计上进行划分，微机远动装置的发展经历了三个阶段：片级设计；板级或模块级设计；系统级设计。片级设计是指用户根据自己的要求选用不同种类的微处理器片、存储器片、输入输出片等联成自己的系统。板级或模块级设计则是直接采用单板机或软硬件结合的多功能集成模块构成用户系统。系统级设计是直接使用具有完整的硬件和软件结构的微型机系统，适当配置一些接口电路，即可更方便地构成一个满足用户要求的系统。显而易见，随

着微型计算机生产技术的发展,微机运动装置硬件的设计越趋简单。

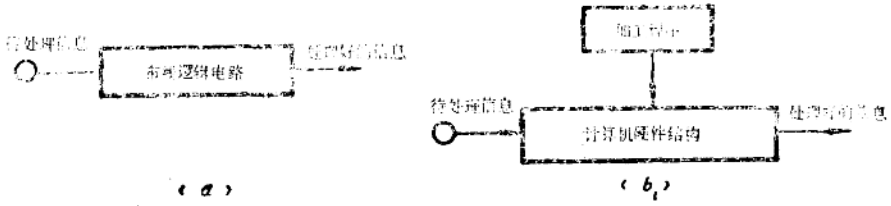


图 1-2 硬件运动装置和软件运动装置的区别
(a) 硬件运动装置; (b) 软件运动装置。

用微型机为主构成的远方监视控制和数据收集系统,简称为远方监控系统,用SCADA表示。这种监控系统中的被控端简称远方终端,用RTU表示。调度端称为前置处理机(相对调度自动化系统中的主计算机而言)。**RTU-远方终端**

由于微机运动装置的工作方式由软件进行控制,使装置的功能大大加强。它除了能同硬件装置一样完成四遥信号的编码和译码外,还能进行许多运算处理工作。比如对遥信信号进行变位判别、事故顺序记录、程序控制、用程序实现功率总加等。同时,还能进行信息转发。这时调度端运动装置既能接收遥测、遥信信号,又能发送遥测、遥信信号,与传统的概念略有所别。这种转发功能是布线逻辑运动装置难以实现的。除此之外,作为前置机的运动装置,还可进行一些实时计算,如多个站的功率总加,输电线线损计算、误码率统计等。可在一定程度上减轻主计算机的负担,或在没有设置主计算机的地方兼管主计算机的部分工作。

随着我国电气化铁道的迅速发展,供电系统的运行、调度、管理工作日趋复杂,要做到安全、经济、降低损耗,这就必须建立一个能对供电一次系统主要设备进行监视、测量、调整、控制以及管理的调度自动化系统。

调度自动化的功能主要包括安全监视、安全分析、经济调度及自动控制。调度自动化一般由三个子系统组成:远动子系统、计算机系统和人机子系统,如图 1-3 所示。远动子系统由前置处理机、多个远方终端和信道构成。计算机系统从发展看是一个多机系统。人机子系统包括键盘、打印机、屏幕显示器,它主要是加快调度员的决策过程,并减轻相应的监视和记录等日常工作。

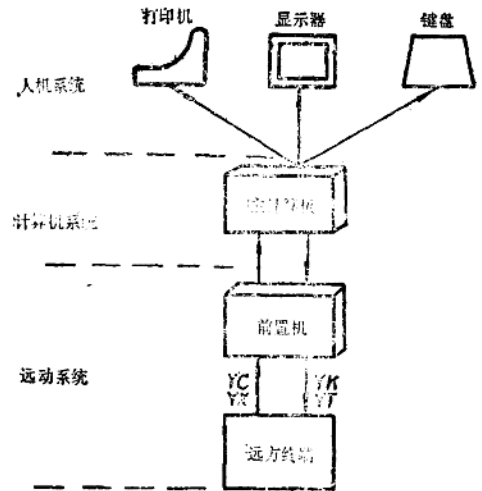


图 1-3 调度自动化系统

第二节 远动系统的基本结构及分类

最简单的远动系统包括三个部分:命令(远动信息)的产生、命令的传送以及命令的接收。

远动系统的发送端设备就是命令的产生部分,远动系统的接收端设备就是命令的接收部分,而命令的传送部分则称为远动系统的信道。从结构上讲,远动系统与一般自动化系统之

间最大的区别就在于信道的存在。

由于远动系统中存在着信道，那么被传达的命令也应该被转换成适合于在信道中传送的最好形式。这种形式往往与一般自动化系统中命令的形式有很大区别，因此在远动系统中就需要一些特殊的转换设备来转换命令。

由于距离较远，再加上信道的存在，远动系统在结构上就存在着一定的弱点，即易受外来的干扰，降低了命令的准确性和整个系统的可靠性。当所需传送的命令愈多、系统愈复杂时，信道的结构也就愈复杂，这个弱点也就愈突出，并且信道的成本也愈高。因此，需要有一系列的措施来保证系统的正常、可靠和经济地运行。

远动系统的结构是千变万化的，但基本原理是类似的。图 1—4 给出了远动系统原理框图。

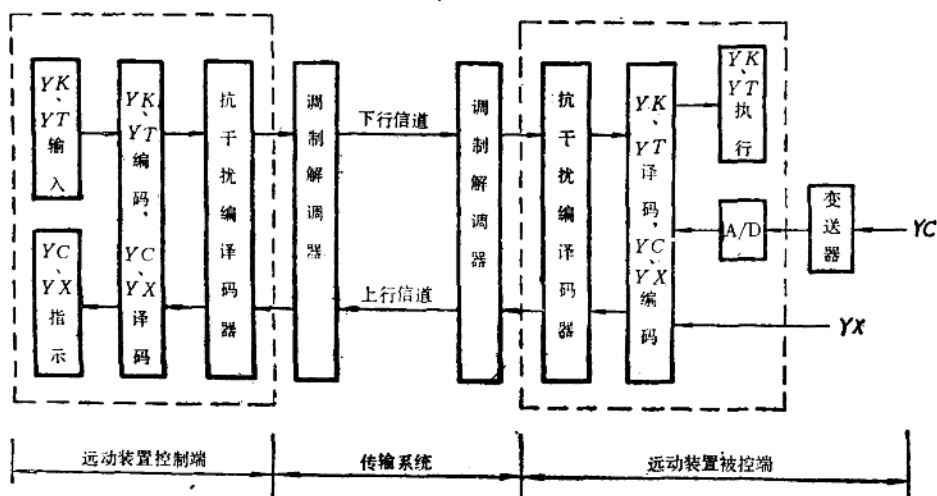


图 1—4 远动系统原理框图

我们把进行控制的一侧称为控制端（调度端），把被控制的一侧称为被控端（执行端）。这两端由信道连接起来，从控制端向被控端发送的信号称“下行”信号；反之，从被控端向控制端发送的信号称“上行”信号。

设在调度所的控制端要将遥控、遥调命令送到被控端去执行，遥控或遥调命令经编码器编成串行的数码。在远动系统中传送的信号，在传输过程中会受到各种干扰，可能使信号发生差错，为提高传输的可靠性，对遥控、遥调的数字信息要进行抗干扰编码，以减小由于干扰而引起的差错。由于数字脉冲信号一般不适宜于直接传输，例如利用电话线路作为信号传输的途径时，线路的电感、电容会使脉冲信号产生很大的衰减和变形，所以要用通信设备部分的调制器把数字脉冲信号变成适合于传输的信号，如变成正弦信号传输。这样，控制端就把经过调制后的遥控、遥调信号发送出去，送到被控端接收。接收端首先用通信设备中的解调器把正弦信号还原成原来的数字信号，再由抗干扰译码器进行检错，检查信号在传输过程中是否因干扰的影响而发生错码。检查出错误的码组就拒绝执行，正确时则遥控、遥调译码后分别执行。

对遥测、遥信，被控端则是发送端，而控制端是接收端。被控端要将遥测、遥信量送到调度所去显示或记录。遥测量是电量或非电量，经过变送器后，通常变成 5V 直流模拟电

压,输入模数转换器。模数转换器将输入的模拟电压转换成数字量,送给遥测、遥信编码器,将输入的并行数码编成在时间上依次顺序排列的串行数字信号。而遥信是开关量,可以直接输入编码器编码,再送到抗干扰编码器,经调制后发送出去,送到调度所接收端经解调和抗干扰译码器进行检查,检查出错的码组就放弃不用,正确的码组则分别去显示或指示。

由于距离远而使通信部分的投资费用增大,而调度所和变电所等被控端之间需要传送的信息又较多,为了使同一信道传送更多的信息,充分发挥信道的作用,就需要采用多次复用的办法。目前有按频率和时间划分的两种制式,简称为频分制和时分制。

在频分制中,各种运动信号是用不同频率的交流电来传送的,例如用频率 $f_1, f_2, \dots, f_n$ 分别代表 n 种不同的信号,这些交流频率信号可以在同一信道中同时传送。为了使传送的各种运动信号互不干扰,在发送端和接收端都设有通带频率滤波器。

在时分制中,待传的运动信号是按规定的时间先后顺序,依次在信道中逐个传送。例如有 n 个断路器位置状态信号需要传送,可以先送第一个断路器位置状态信号,再依次送第二个,第三个等等。时分制是我国目前运动装置采用的主要制式。

如上所述,运动技术是将供电系统的数据、命令从一端传送到另一端去控制执行、显示或记录。运动技术的传送方式分为两大类,即循环方式(称CDT方式)和查询方式(称Polling方式)。

循环传送方式是以被控端的运动装置为主,周期性地采集数据,并且周期性地以循环的方式向调度端发送数据,即由被控端传送遥测、遥信量给调度端。

查询传送方式是以调度端为主。由调度端发出查询命令,被控端按发来的命令而工作,被查询的站向调度端传送数据或状态信息。

运动装置按工作方式分类,可分为(1:1)工作方式,(1:N)工作方式及(M:N)工作方式。(1:1)工作方式是指在被控端装一台运动装置,在调度端对应地也装一台运动装置;(1:N)工作方式是指调度端一台运动装置对应着各被控站的 N 台运动装置;(M:N)工作方式是指调度端 M 台装置对应着被控站 N 台装置。

此外,根据运动系统所采用的信道、被控对象和所用元件的不同,也可以有不同的分类方法。例如传送信号是利用有线信道还是无线信道,可分为有线和无线运动系统;信道数目是随着控制对象数目而增加还是与被控对象数目的多少无关,可分为少信道和多信道运动系统;根据被控对象是分散还是集中、是固定还是活动、是在铁路沿线那样链式分布还是以控制端为中心向四周辐射式分布,就分别称为分散型或集中型运动系统、固定目标或活动目标运动系统、链式或辐射式运动系统等。也可以根据装置采用的元件是有接点还是无接点,而分为有接点和无接点运动系统;按运动功能是用硬件实现还是靠软件实现,而分为布线逻辑式和软件化运动系统;甚至可视其是否有一个远程自动调节系统,而分为开式和闭式运动系统等等。

第三节 运动系统的性能指标

对任何一种运动系统而言,都可以用运动系统的性能指标,或叫主要技术要求来衡量其优劣或作为设计、选型的要求,一般说来有如下主要几点。

1. 可靠性

运动系统的可靠性是指设备在技术要求所规定的工作条件下，能够保证所规定的技术指标的能力。

运动系统也象其他自动系统一样，往往要求无人监视，并且应用在重要的生产部门或国防部门中，对于装置的可靠性有很高的要求。一次误动作或是失效都有可能引起严重的后果，造成生命和财产的损失。可靠性包括装置本身的可靠性及信息传输的可靠性两个主要方面。

运动系统中每个设备的可靠性一般用平均故障间隔时间，即两次偶然故障的平均间隔时间来表示。而整个系统的可靠性通常可以用“可用率”来表示。

$$\text{系统可用率} = \frac{\text{运行时间}}{\text{运行时间} + \text{停用时间}} \% \quad (1-1)$$

式中停用时间包括故障和维修时间。影响可用率的重要因素有：设备的质量、维护检修情况、环境条件、电源供电可靠性及其备用的程度等。

国外的运动装置平均故障间隔时间已达到30000h，国内要求在8000~10000h以上。

运动信息传输过程中，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。

$$\text{差错率} = \frac{\text{信息出现差错的数量}}{\text{传输信息的总数量}} \quad (1-2)$$

在通常情况下，差错率要求在 10^{-10} 以下。

2. 容量

通常把遥控、遥调、遥测及遥信等对象的数量，统称为该装置的容量。首先运动装置的容量要满足实际用户的运动化要求。容量同运动系统的路数有着密切的关系。显然容量越大，则表示该运动系统所能完成的功能也就越多。此外，遥控、遥调、遥测及遥信的功能也要可扩展。因为随着技术的发展，运动装置还要完成事件记录，数据处理、信息转发等功能。

3. 实时性

从提高生产效率，加速事故处理等观点出发，对系统实时性要求是显而易见的。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。例如，电力系统典型的最大容许时延，在正常传送遥测、遥信时为2~10s，在状态变化（例如开关跳闸）时为0.5~5s，在传送遥控、遥调等命令时为0.1~2s。

4. 抗干扰能力

在有干扰的情况下，运动系统仍能保证技术指标的能力称为运动系统的抗干扰能力。

如所周知，任何信道中必然存在着人为的或自然的干扰。在自然干扰中最有害的是工业干扰和起伏干扰。此外，在多路传输时还有信道间的路际干扰。因此，在运动系统信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1-5所示。假如信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。

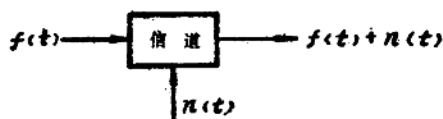


图 1-5 通道干扰

增加抗扰度的方法大致说来有两种：其一是在信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。

远动系统的上述主要性能指标对同一系统往往并非同时能够满足，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。远动系统还应在使用维护方便和成本低廉方面有所要求，逻辑设计尽可能地简单化，做到简化系统，使用户在操作上易于掌握和便于日常维护，这对降低成本和提高系统可靠性也将大有好处。

可靠性. { 装置本身的可靠性.
信息传输的可靠性.
设备平均故障间隔时间.
容易.
实时性.
抗干扰性.

第二章 运动信息与编码的基本原理

第一节 信息量及数字信号传输要求

远动是远距离传送消息的技术，例如，遥测、遥信中的数据是消息；遥控，遥调中的命令也是消息。

要传送的“消息”，对受信者来说是“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，对受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，当受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，一个事件发生的概率越小，它的信息量就越大。所以，对于要通信的事件——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，消息的信息量可按下式计算：

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

式中 P —— 事件发生的概率；

I —— 该事件发生时所得的信息量。

在 (2-1) 式中，对数的底数 N 取决于量度信息的单位。若取 2 为底，信息量的单位是 bit (比特)。

$$I = -\log_2 P \quad (\text{bit}) \quad (2-2)$$

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“合闸”或“分闸”。这种最简单的消息所含的信息量的计算公式为：

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

在工程中，这就意味着：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 bit 的信息量，收到这样一个符号就说收到了 1 bit 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。

一个消息如果用一位 N 进制符号表示，那么它的信息量就是

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

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。

消息传送的速度可用信息（或码元）传送的速度来表征。

信息传输速率又称信息速率或传信率，它被定义为每秒钟传送的信息量，单位是 bit/s。

在离散系统中，一个码元是一个 N 进制符号。消息的传送速度可用码元传输速度来表征。

码元传输速率，又称码元速率或传码率，定义为每秒钟传送的码元数目，单位是 Bd（波特）。例如某运动装置每秒钟传送 300 个码元，则该装置的码元速率是 300 Bd。需要特别指出的是（2—3）式中 N 可为任何正整数，当 N 为 2 时，这个码元就是二进制符号，叫做二进制码元， N 为 4 时是四进制码元，显然一个四进制码元可以用两个二进制码元表示。一般一个 N 进制码元可用 $\log_2 N$ （整数）个二进制码元表示。设二进制码元速率为 R_2 ， N 进制码元速率为 R_N ，则有如下转换公式：

$$R_2 = R_N \log_2 N \quad (\text{Bd}) \quad (2-4)$$

要注意码元速率与信息速率单位不同，而在数值上有一定的关系，（每一个二进制码元有 1bit 信息量）所以在二进制下的码元速率与信息速率在数值上相等。设信息速率为 R_b ，则有下列数值关系：

$$R_b = R_N \log_2 N \quad (\text{bit/s}) \quad (2-5)$$

上面讲的是消息具有信息量，并有一定的传输速度。那么物理上怎样实现消息或信息的传输呢？消息或信息是用信号来传送的，传送信号的途径叫信道，例如有线信道、无线信道等。

信号有两种主要类型——随时间连续变化的模拟信号和随时间不连续变化的离散信号。模拟信号通常是单一正弦波或是正弦波的组合，如图 2—1(a) 所示。离散信号是由在时间上离散出现的脉冲组成，脉冲可以是单个地以固定的周期出现，如图 2—1(b) 所示，也可以是以码组的形式出现，如图 2—1(c) 所示。

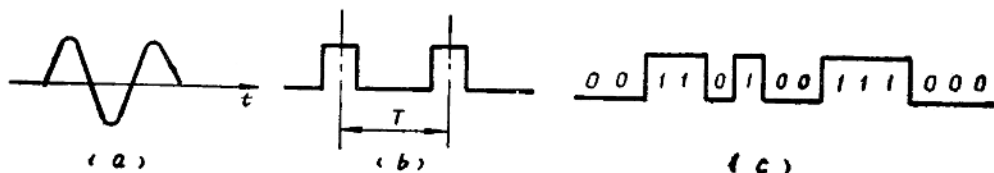


图 2—1 信号波形图
(a) 模拟信号；(b) 脉冲信号；(c) 脉冲编码信号。

由上可见，对数字信号的传输要求，可以从数量和质量两个方面提出要求。在数量方面，可用传输速率来衡量传输的有效性；而在质量方面，可用错误率来衡量传输的可靠性。传输速率可用码元速率和信息速率加以表达。

传输错误率则可有以下三种表达方式：

(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。

$$P_e = \frac{\text{错误接收消息的码元数}}{\text{传输消息的总码元数}} \quad (2-6)$$

(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。

$$P_e = \frac{\text{错误接收消息的比特数}}{\text{传输消息的总比特数}} \quad (2-7)$$

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，波形也越窄，能量亦越少，因而受到干扰后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。

在一定传输速率下，降低误码率的方法有多种，但可归纳为两类：一是选择适用的调制制度和解调方法；二是采用抗干扰编码。

第二节 抗干扰编码概述

一、数字运动系统模型

抗干扰编码亦称信道编码或检纠错编码。运动信号从发送端经信道传送到接收端，由于在信道中不可避免地存在着干扰和噪声，这就有可能在接收时产生差错。由于干扰引起的数字序列（“0”和“1”组成的二进制序列）的错误有两种形式：一种是随机错误，即数字序列中前后发生的彼此无关的错误，是随机独立的。产生这种错误的信道称为随机信道或无记忆信道；另一种是突发性的，即一个错误的出现往往影响后面错误的出现，错误之间不是彼此独立的，而是相互有关的。例如向信道中发送的数字序列为000000……，由于干扰变为0101010……。这种错误称为突发错误，第一个错误到最后一个错误之间的长度称为突发长度 b 。上例中 $b=5$ 。产生这种错误的信道称为突发信道或有记忆信道。一个实际的信道所产生的错误往往是随机错误和突发错误同时存在的，这称为复合信道。对信道产生的实际错误形式进行统计分析，掌握其分布规律，对于设计抗干扰编码器是很重要的。

数字式运动系统的主要任务是快速准确地传递消息。从通信观点我们把它看成如图2-2所示的模型。

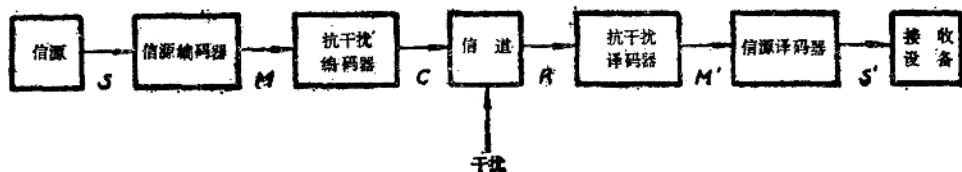


图2-2 数字运动系统模型

信源泛指被传送的各种参数、状态和命令。以供电系统为例，信源可以是开关的合闸或分闸状态、电压、功率、频率等数值，也可以是遥控遥调的命令内容。信源的输出 S 可以是连续变化的模拟信号波形或离散的符号或文字图样。

信源编码器是将各种形式的信源，经变换器、模数转换电路或其它各种编码电路变成离散的代码。即信源编码器把 S 变换为由 k 个信息元组成的二进制信息序列 M 。序列中的每一位“0”或“1”称为一位码元。对信源编码的要求有二点：一是使代表信源 S 的码元个数尽量少；二是要能从信息序列 M 重现原来的信源 S 。以信源是四个状态为例，如果信源编码采用二位二进制数的信息序列，则00、01、10、11可分别代表四种状态，其二进制数的个

数最少，且能重现原来的四种状态。若采用一位或三位二进制数，就不能满足上述二点要求。故信源编码又称有效性编码。

抗干扰编码器的作用是根据一定的规则，将 k 个信息元组成的信息序列 M 变成 $k+r$ 个码元组成的二进制数字序列 C ，称它为码字。因为信源编码是从有效性考虑，它产生的信息序列 M 是没有抗干扰能力的。抗干扰编码的目的则是提高信息序列 M 的抗干扰能力，使之能应付信息中的干扰。

信道是传输信号的媒质。信道有多种类型，传输运动信号的信道有通信电缆线对、微波、散射波信道等。信道中存在着各种类型的干扰，称它们为噪声。运动系统中的噪声有雷、电、电弧、电火花、无线电台频率干扰、多路通信的路际干扰等。任何运动系统中，干扰是永远存在的，不同的信道有不同的干扰源，信道编码就是抗干扰的措施之一。信道是包括调制器、实际通信线以及解调器在内的广义信道。码字 C 调制后在传输过程中可能受到干扰和噪声的影响，解调器对每个接收到的码元进行判决，其输出的数字信号 R 可能与发送的码字 C 不一致，这时我们说产生了传输差错。例如发送码字 $C = (1101)$ ，接收序列 $R = (1111)$ 。抗干扰译码器根据接收序列 R 、抗干扰编码规则及信道特性，完成以下两项任务：

(1) 设法检查并纠正 R 中的传输错误，产生真正发送码字 C 的估值。

(2) 变换 C 为信道序列 M 的估值 M' 。

信源译码器根据信源编码规则，变 M' 为原信源输出 S 的估值 S' ，并送至用户使用。若信道平静（无噪声），则估值 C' 、 M' 、 S' 分别等于 C 、 M 、 S 。若干扰严重，最后产生的 S' 将会与真正的信源输出 S 很不一样。

从图2-2可以看出，设计良好的抗干扰编码器——译码器对，是提高信息传输可靠性的关键。设计出的抗干扰编、译码器应根据信道实际存在的干扰类型，使得：

(1) 编出的码字能尽快地在噪声信道上传输，即提高传输率。

(2) 在传输率一定的条件下，使错误概率尽量小。也就是使码字的抗干扰能力强，在收端能正确地再现信息序列 M 。

抗干扰编码的基本原理就是如上所述，在表示信息的数字信号中，按一定规则附加一些不含有信息的多余码元，以便能发现或纠正信号在传输过程中产生的错误。若表示信息的数字信号由 k 个码元组成，我们称这 k 个码元为信息元。按照一定规则附加的 r 个不含有信息的码元称为监督元，而 $n = k + r$ 个码元组成的数字序列共有 2^n 种可能的组合。这些组合称为组。我们只采用其中 k 个信息位组成 2^k 个组，称为许用码组，简称码字。而剩下的 $(2^n - 2^k)$ 个不被采用，称为禁用码组。由信息元变换为码字的过程称为抗干扰编码。

二、差错控制方案及抗干扰编码的分类

利用抗干扰编码进行差错控制的方法基本上分为两大类：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 这种方法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。显然它需要有反馈信道，如图2-3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，经反馈信道送回原

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除掉。当接收端抗干扰译码器未发现错误时，则经反馈信道发出不重发指令，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。

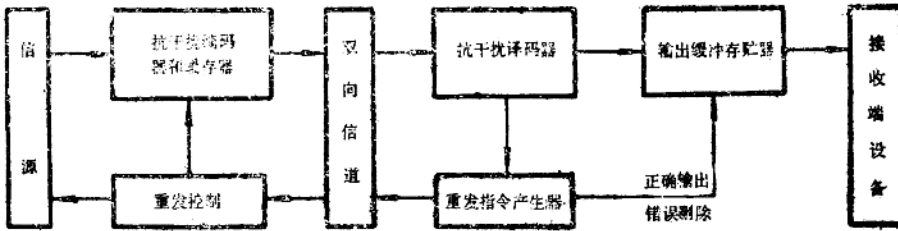


图 2-3 自动检错反馈重发法原理

(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有无错误，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，适时性好，不需要反馈信道。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。发送端发送具有检测错误和纠正错误能力的码字，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，但必须要经过反馈信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。

为了提高信息传输的可靠性，运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信道反传信息的。若从产生错码这一点看，正反向传输，信道中的错码产生是互不相关的。因此，尽管接受的是正确信息，但在反传途中出现差错时会有可能判断为传输中有差错。这在反馈信道质量提高时问题不大，但实际上多数正、反向传输信道的质量大致相同。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。

具有一定检测错误或纠正错误能力的码，统称为抗干扰码。其中只能检错的，称为检错码，不仅能检错而且能纠错的，则称为纠错码。抗干扰码还可根据监督元与信息元不同关系，分为线性码与非线性码。如果信息元与监督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元发生关系，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。