

电力通信规约

DIANLI TONGXIN GUIYUE

主 编 李振甲 刘建英

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

电力通信规约

主 编 李振甲 刘建英

副主编 盛 非 张鹏举

参 编 张 鹏

主 审 辛婧姝 邢笑岩

内 容 简 介

本书以电力行业所用通信技术及通信规约为主线,分别从基础知识模块和专业知识模块两个方面进行相关知识介绍。基础知识模块分别对数据通信网络、通信技术、计算机网络、控制系统四个方面进行介绍,作为学习专业知识的知识储备;专业知识模块分别对电力行业常用的 IEC 62357 电力系统控制和相关通信——参考架构的对象模型、服务和协议;IEC 61968 电力企业应用集成配电管理的系统接口;IEC 61850 变电站通信网络和系统;IEC 60870 远动设备及系统四个通信规约进行介绍。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

电力通信规约 / 李振甲, 刘建英主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2014.7
ISBN 978-7-5640-8927-6

I. ①电… II. ①李… ②刘… III. ①电信—国际标准 IV. ①TN91-65

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第038357号



出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

82562903 (教材售后服务热线)

68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 保定市市中画美凯印刷有限公司

开 本 / 710毫米 × 1000毫米 1/16

印 张 / 27

字 数 / 395千字

版 次 / 2014年7月第1版 2014年7月第1次印刷

定 价 / 78.00元

责任编辑 / 施胜娟

文案编辑 / 施胜娟

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 王美丽

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

前言

PREFACE

随着自动控制在电力行业生产、管理等方面的大量应用，通信技术已成为控制信息传递的重要纽带，电力通信技术及电力通信规约已在电力生产、管理等行业得到了十分广泛的应用。电力通信技术及电力通信规约已经成为从事电力行业的专业技术人员必须了解和掌握的专业知识。

本书以电力行业所用通信技术及通信规约为主线，分别从基础知识模块和专业模块两个方面进行相关知识介绍。基础知识模块以介绍基础知识为主，分别对数据通信网络、通信技术、计算机网络、控制系统 4 个方面进行介绍，作为学习专业知识知识储备；专业模块以介绍专业知识为主，分别对电力行业常用的 IEC 62357 电力系统控制和相关通信——参考架构的对象模型、服务和协议；IEC 61968 电力企业应用集成配电管理的系统接口；IEC 61850 变电站通信网络和系统；IEC 60870 远动设备及系统 4 个通信规约进行介绍。

本书根据电力行业专业技术人员岗位的要求，对所需知识内容进行调整，打破传统知识体系结构，利用较短篇幅有针对性地介绍目标岗位所需知识，摒弃知识体系中目标岗位不需要的知识，内容全面、针对性强，为学生今后可以较好地适应工作的需要奠定基础。

李振甲、刘建英担任本书主编；盛非、张鹏举担任副主编；张鹏担任参编；辛婧姝、邢笑岩担任本书主审对本书内容进行了把关。其中，刘建英负责编写基础知识模块单元 1 数据通信网络及专业模块单元 3 IEC61850 变电站通信网络和系统部分，李振甲负责编写基础知识模块单元 4 控制系统及专业模块单元 2 IEC61968 电力企业应用集成配电管理的系统接口部分；盛非编写基础知识模块单元 3 计算机网络及专业模块单元 4 IEC60870 远动设

目 录

CONTENTS

基础知识模块

学习单元 1	数据通信网络	3
第一节	数据通信概述	3
第二节	数据编码与调制	11
第三节	数据远传的信息通道	18
第四节	串行数据通信接口标准	31
第五节	计算机网络基础	36
第六节	局域网技术的应用	48
学习单元 2	通信技术	58
第一节	电话网与电路交换技术	59
第二节	数据网与分组交换技术	69
第三节	光纤通信技术	74
第四节	移动通信技术	85
学习单元 3	计算机网络	106
第一节	计算机网络概述	106
第二节	网络连接设备	118
第三节	网络通信协议及网络体系结构	129
第四节	网络操作系统	139
第五节	计算机局域网	144

学习单元 4	控制系统	182
第一节	计算机控制系统概述	182
第二节	集散控制系统	193
第三节	现场总线控制系统	204

专业知识模块

学习单元 1	IEC 62357 电力系统控制和相关通信——参考架构的对象 模型、服务和协议	223
TECHNICAL REPORT		249
学习单元 2	IEC 61968 电力企业应用集成配电管理的系统接口	296
学习单元 3	IEC 61850 变电站通信网络和系统	368
学习单元 4	IEC 60870 远动设备及系统	403

基础知识模块



学习单元 1

数据通信网络



学习单元描述

本学习单元为基础知识模块的第一部分。学习单元内的知识点以介绍数据通信网络为主线，重点介绍数据通信网络的概念、工作原理、组成结构、性能特点及应用范围等方面的数据通信相关知识，同时也介绍了现代数据通信网络的发展历程及数据通信网络的发展方向。



学习任务

1. 理解数据通信网络的概念、工作原理、组成结构、性能特点及应用范围。
2. 理解数据编码与调制的概念、工作原理、组成结构、性能特点及应用范围。
3. 理解数据远传的信息通道的概念、工作原理、组成结构、性能特点及应用范围。

第一节 数据通信概述

在远动系统中，数据通信是一个重要环节，既可能是在一个厂站内部进行，也可能是在距离较远的厂站与调度中心之间进行。

一、模拟通信与数字通信

通信时要传输的信息是多种多样的，可以将所有不同的信息归结为两类：一类称作模拟量；另一类称作离散量。模拟量的状态是连续变化的，当信号的某一参量无论在时间上或是在幅度上都是连续的，这种信号就是模拟信号，如话筒产生的话音电压信号。离散量的状态是可数的或离散型的，当信号的某一参量携带着离散信息，而使该参量的取值是离散的，这样的信号被称为数字信号，如电报信号。现在最常见的数字信号是幅度取值只有两种（用0和1代表）的波形，称为“二进制信号”。数字通信是指用数字信号作为载体来传输信息，或者用数字信号对载波进行数字调制后再传输的通信方式。

数字通信与模拟通信相比，具有以下优点。

（1）来自声音、视频和其他数据源的各类数据均可统一为数字信号的形式，并通过数字通信系统传输。

（2）以数据帧为单位传输数据，并通过检错编码和重发数据帧来发现与纠正通信错误，从而有效保证通信的可靠性。

（3）在长距离数字通信中可通过中继器放大和整形来保证数字信号的完整及不累积噪声。

（4）使用加密技术可有效增强通信的安全性。

（5）数字技术比模拟技术发展更快，数字设备很容易通过集成电路来实现，并与计算机相结合，而由于超大规模集成电路技术的迅速发展，数字设备的体积与成本的下降速度大大超过模拟设备，性能价格比高。

（6）多路光纤技术的发展大大提高了数字通信的效率。

实现数字通信，必须使发送端发出的模拟信号变为数字信号，这个过程称为“模/数变换”。模拟信号数字化最基本的方法有三个过程：第一步是“采样”，就是对连续的模拟信号进行离散化处理，通常是以相等的时间间隔来抽取模拟信号的样值；第二步是“量化”，将模拟信号样值变换到最接近的数字值，因抽样后的样值在时间上虽是离散的，但在幅度上仍是连续的，量化过程就是把幅度值连续的抽样也变为离散的；第三步是“编码”，就是把量化后的样值信号用一组二进制数字代码来表示，最终完成模拟信号的数字化。

二、二进制数字通信的应用

二进制数字仅有两个码元“1”和“0”。通常以8位为一个“字节”，可代表一组信息。采用二进制所对应的电路最简单，只有高低两种电平即可。

通常以一定幅度的电信号脉冲代表“1”(高电平),而以电路中无信号代表“0”(低电平),这样一系列二进制数字信号就变成一长串电脉冲信号。接收端通常采用一种检测电路定时检测各码元“取样信号”的电平值的方法,并按照“像谁就是谁”进行简单判断,凡取样值接近代表“1”的电平值就判为“1”,凡取样值接近代表“0”的电平值就判为“0”,非“1”即“0”,非“0”即“1”,即使传输过程中由于干扰而有些失真,在一定距离内也不容易达到“1”、“0”颠倒的程度,这样通过正确的判读就排除了干扰。长途传输时为了不使干扰逐步积累,可在一定的距离设置中继站,正确判读后再重新发送,所以数字通信没有距离限制。

这里提到的码元,即数据通信中,信息以数字方式传送,开关位置状态、测量值或远动命令等都变成数字代码,转换成相应的物理信号,如电脉冲等,把每个信号脉冲称为一个码元,再经过适当变换后由信道传送给对方。常用的是二进制代码“0”、“1”。数据传送的速度可以用每秒传送的码元数来衡量,称码元速率,也称波特率。在串行数据传送中,数据传送速率是用每秒传送二进制数码的位数来表示,单位为 bps (bit per second) 或 b/s (位/秒)。数据经传输后发生错误的码元数与总传输码元数之比,称为误码率。在电网远动通信中,一般要求误码率小于 10^{-5} 数量级。误码率与线路质量、干扰等因素有关。

三、并行数据传输与串行数据传输

并行数据传输是指数据的各位同时传送,如图 1-1 所示。可以以字节为单位(8 位数据总线)并行传送,也可以以字为单位(16 位数据总线)通过专用或通用的并行接口电路传送,各位数据同时传送,同时接收。

并行传输速度快,但是在并行传输系统中,除了需要数据线外,往往还需要一组状态信号线和控制信号线,数据线的根数等于并行传输信号的位数。显然并行传输需要的传输信号线多、成本高,因此常用在短距离传输(通常小于 10 m)、要求传输速度高的场合。

串行数据传输是数据一位一位顺序地传送,如图 1-2 所示。显而易见,串行数据传输的各不同位,可以分时使用同一传输线,故串行数据传输最大的优点是可以节约传输线,特别是当位数很多和远距离传送时,这个优点更为突出,数据不仅可以降低传输线的投资,而且简化了接线。但串行数据传输的缺点是传输速度慢,且通信软件相对复杂些,因此适合于远距离的传输,串行数据传输的距离可达数千千米。目前,电力系统远动装置中各厂站到调度中心的通信都是串行通信。

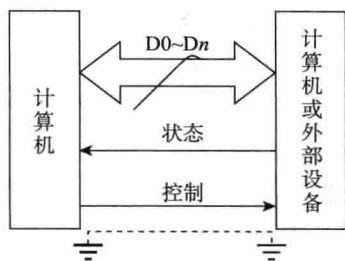


图 1-1 并行数据传输

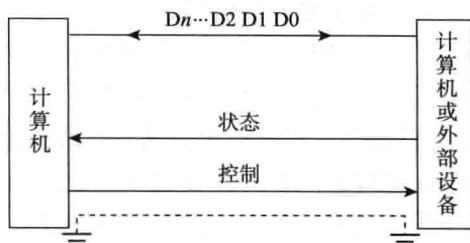


图 1-2 串行数据传输

四、异步数据传输和同步数据传输

1. 异步数据传输

在串行数据传输中，有异步传输和同步传输两种基本的通信方式。

在异步传输方式中，发送的每一个字符均带有起始位、停止位和可选的奇偶校验位。用一个起始位表示字符的开始，用停止位表示字符的结束，构成一帧，其成帧格式如图 1-3 (a) 所示。

针对图 1-3 (a) 中的空闲位，可以有也可以没有，若不设空闲位，则紧跟着上一个要传送的字符的停止位后面，便是下一个要传输的字符的起始位。在这种情况下，若传输的字符为 ASC II 码，其字符为 7 位，加上一个奇偶校验位、一个起始位、一个停止位，总共 10 位，如图 1-3 (b) 所示。

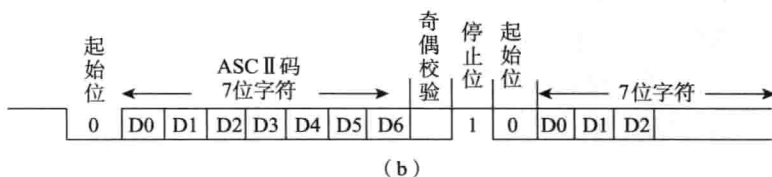
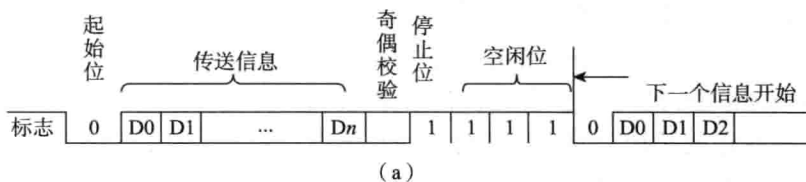


图 1-3 异步数据传输示意

(a) 一般信息帧；(b) ASC II 码帧

2. 同步数据传输

在异步传输中，每一个字符要用起始位和停止位作为字符开始和结束的标志，占用了时间。所以在数据块传输时，为了提高速度，就去掉这些标准，

采用同步传输。同步传输的特点是在数据块的开始处集中使用同步字符来做传输的指示，其成帧格式如图 1-4 所示。

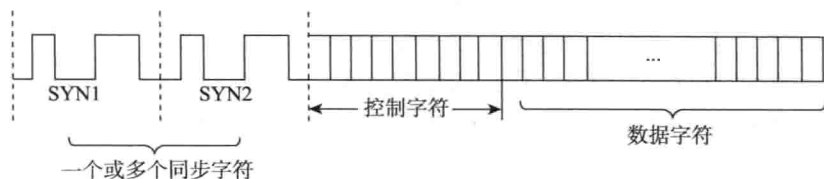


图 1-4 同步数据传输示意

同步传输中，每个帧以一个或多个“同步字符”开始。同步字符通常称 SYN，是一种特殊的码元组合。通知接收装置是一个字符块的开始，接着是控制字符。帧的长度可包括在控制字符中，并对本帧发送地址、目的地址、信息类别等加以说明，再后面就是“信息字”。接收装置用于寻找 SYN 字符，确定帧长，读取指定数目，然后再寻找下一个 SYN 符，以便开始下一帧。

同步是数据通信系统的一个重要环节。数字式远传的各种信息是按规定的顺序一个码元一个码元地逐位发送，接收端也必须对应地一个码元一个码元地逐位接收，收、发两端必须同步协调地工作。同步是指收、发两端的时钟频率相同、相位一致地运转。同步字虽然也占了时间，但因一帧信息很长，一帧中有效信息所占比例仍比异步传输时大，因此传输效率提高了。

1991 年我国发布的电力行业标准时的循环式远动传输规约（CDT 规约），是采用同步传输方式，同步字符为 EB90 H。同步字符连续发 3 个，共占 6 个字节，按照低位先发、高位后发，每字的低编号字节先发、高字节后发的原则顺序发送。若详细了解，可参考《中华人民共和国电力行业标准 DL451-91》。

五、数据通信的工作方式

通信是发送和接收双方的工作，根据收、发通信双方是否同时工作，可以分成全双工、半双工和单工三种不同的工作方式。

图 1-5（a）是单工方式，收和发是固定的，单工方式只能向一个方向传送数据。最简单的终端在采集数据后按既定程序自动地传送给调度中心，而不能接收调度端的指令，就属于单工方式。串行传输时单工方式只需要一回传输线（2 根）。

图 1-5（b）是半双工方式，通信双方都有接收和发送能力，可以互为发、收。但是它的接收器和发送器不同时工作，采用切换方式分时交替进行。半

双工方式也只需一回传输线。

图 1-5 (c) 是全双工方式, 通信双方都有发送和接收设备, 由一个控制器协调收、发两者之间的工作, 接收和发送可以同时进行, 四条线供数据传输用, 故称为全双工。如果对数据信号的表达形式进行适当加工, 也可以在同一对线上同时进行收和发两种工作, 即线上允许同时做双向传输, 称为双向全双工。三种工作方式的接收原理是基本相同的, 只是在收发控制上有所区别而已。

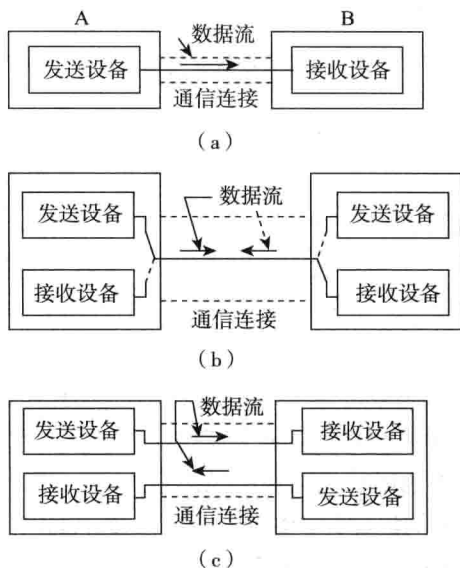


图 1-5 数据通信的三种工作方式

(a) 单工通信; (b) 半双工通信; (c) 全双工通信

六、数据通信的差错控制

通过通信信道收到的数据与发送的数据不一致的现象称为传输差错。差错的存在不可避免。在信息传输过程中时常会出现各种干扰, 使已传送的信号码元发生差错, 如图 1-6 所示, 接收的就是错误信号。



图 1-6 数据通过通信信道的过程

当数据从信源出发, 经过通信信道时, 由于通信信道总是有一定的噪声存在, 信息在到达信宿时, 接收信号是信号与噪声的叠加。在接收端, 接收

电路在取样时判断信号电平。如果噪声对信号叠加的结果在电平判决时出现错误,就会引起传输数据的错误,如图 1-7 所示。

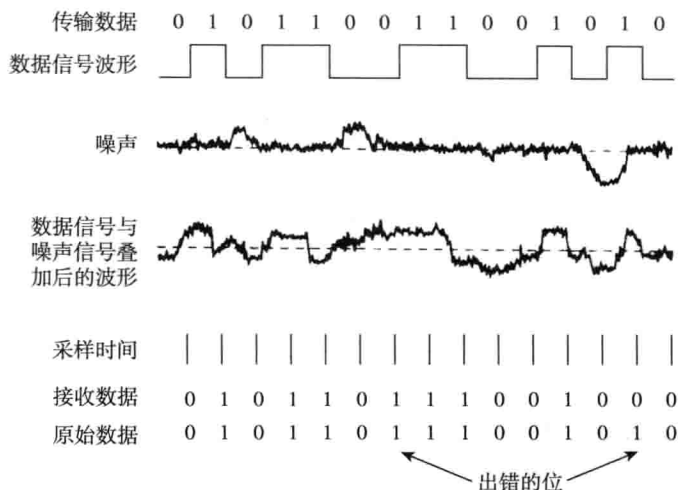


图 1-7 数据传输过程中噪声的影响

在一个实用的通信系统中一定要能发现(检测)这种差错,并采取纠正措施,把出错控制在所允许的尽可能小的范围内,这就是差错控制。

差错控制最常用的方法是差错控制编码。要发送的数据称为信息位。在向信道发送之前,先按某种关系加上一定的监督位(这个过程称为差错控制编码),构成一个码字再发送。接收端在接收到码字后查看信息位和冗余位,并检查它们之间的关系(检验过程),以发现传输过程是否有差错发生。差错控制编码又可分为检错码和纠错码,前者是指能自动发现差错的编码,后者是指不仅能发现差错而且能自动纠正差错的编码。附加在有效信息后面的监督码又有校验码、冗余码、保护码等,它们像铁路乘警保护旅客一样保护着传输信息的安全,尽管这样做会降低列车运送旅客的有效运力。

要提高数据传输质量,可从硬件和软件两方面采取措施。硬件方面的措施费用是很高的,如采用性能更好的通信方式和信道,采取多种屏蔽措施,甚至移动线路避开或远离干扰源等,即使这样也不能完全避免干扰。而在软件方面花费不多,效果可能更好,例如下面介绍的差错控制措施。差错控制又称为抗干扰编码。

例如要传送一个 2 状态的开关位置信息,用“0”表示开关处于断开状态,用“1”表示开关处于闭合状态。若传输中发生差错,将表示开关闭合的“1”

错成了“0”，接收端只能以收到的“0”错误地判读开关已“断开”，而不会发觉这种错误。如果增加一个“监督位”，例如用重复码方式（即监督位是信息位的重复），改用“11”表示开关闭合，“00”表示开关断开。假设传输中又将“11”错成了“10”或“01”（只错一位的概率远大于2位皆错的概率），接收端起码知道收到的码是错的，可不必采信（丢弃），总比误认为开关已“断开”好。这种码就使接收端有了检错能力，但却不能纠正错误。如果再增加一位监督位，仍用重复的方式，用“111”代表开关闭合，用“000”代表开关断开，假设传送时又将“111”错成“110”、“101”或“011”，接收端首先知道这是错码，然后根据“像谁是谁”的判断原则，可以判定原始发送码为“111”（而不会判为“000”），表示开关已经闭合，从而纠正了错误（但如果同时错2位就纠正不了）。当然，这种具有纠错能力的码是需要付出“代价”的，即在有效信息位后面添加了若干位“冗余”的监督位，这就降低了编码效率。所谓编码效率表示信息码元数占总的传送码元数的比例。

最简单和最常用的检错方法是奇偶校验。如采用偶校验传送7位二进制信息，则在传送的7个信息位后加上一个偶校验位，如前7位中“1”的个数是偶数，则第8位加“0”；如前7位中“1”的个数是奇数，则第8位加“1”。这样使整个字符代码（共8位）中“1”的个数恒为偶数。接收端如检测到某字符代码中“1”的个数不是偶数，即可判断为错码而不予接收。同样道理也可采用奇校验位。

在电力系统远动数据通信中，常使用循环冗余校验 CRC（Cyclic Redundancy Check）方法，它是对一个数据块进行校验，对随机或突发差错造成的帧破坏有很好的校验效果。下面简单介绍其原理。

一个二进制序列是由若干个“0”或“1”组成。设一个8位的二进制数可用一个7阶位的二进制多项式（ $A_7x^7+A_6x^6+A_5x^5+A_4x^4+A_3x^3+A_2x^2+A_1x^1+A_0x^0$ ）表示。一般来说， n 位二进制数，可以用 $(n-1)$ 阶多项式表示。例如：11000101可表示为：

$$\begin{aligned} A(x) &= 1x^7 + 1x^6 + 0x^5 + 0x^4 + 0x^3 + 1x^2 + 0x^1 + 1x^0 \\ &= x^7 + x^6 + x^2 + 1 \end{aligned}$$

对于一个长度为 k 的二进制信息码元，用 $M(x)$ 表示。发送装置将产生一个 r 位的码元序列，称监督码序列，用 $R(x)$ 表示，附加在 k 位的信息码元序列后面，组成总长度为 n 位（ $n=k+r$ ）的循环码序列 $C(x)$ ，使得这个 n 位的循环码序列，可以被某个预定的生成多项式 $G(x)$ 整除，并把 n 位的循环码 $C(x)$ 作为一帧信息发送出去。接收装置对接收到的 n 位码元的帧，除

以同样的生成多项式 $G(x)$ 。当无余数时,则认为没有错误。CRC 字符的计算可以用软件实现,也可以用硬件实现,一般功能较强的串行输入/输出接口电路,能自动产生 CRC 字符,可编程选择 CRC 码。

可以证明,循环校验码对下列的错误可以检测:

- (1) 所有单个码元错误;
- (2) 所有双码元错误,只要 $G(x)$ 具有至少三项因式;
- (3) 任何奇数个差错,只要 $G(x)$ 包含因式 $(x+1)$;
- (4) 任何其长度小于 $n(x)$ 长度的猝发性错误;
- (5) 大多数较大的猝发性错误。

常用的差错控制方式有循环检错法、检错重发法、反馈检错法、前向纠错法等。

(1) 循环检错法。在接收到的码序列中检测出有错码时就将该序列丢弃不用,到下一循环传送过来时再检错,直到不再有错码时方采用该码组。这种方法只需单向通道且设备简单。

(2) 检错重发法。发现接收端有错码时,通知发送端重发,直到该码组不再有错为止。这种方法需要双向信道。

(3) 反馈检错法。接收端收到的码序列原封不动地回送给发送端,发送端将其与原来所发码字进行比较,如果发现有错,则重发原来的码字,无错则发送下一个新的码组。这种方法设备也比较简单,单反馈会延误时间,影响传输效率。它也需要双向信道。

(4) 前向纠错法。接收端对收到的码序列进行检测,这种检测不仅能发现有无错码,还能判定错码的具体位置,并随后将该位纠正(即将“1”改为“0”,或“0”改为“1”),这种方法纠正错误快,而且只需要单向信道,前向纠错的设备比较复杂。

对改正错误的时间要求不高,所传输的信息变化比较缓慢,常常采用循环检错法或检错重发法。因为这类设备比较简单,价格也较低廉。

第二节 数据编码与调制

通信的目的是传递信息,信息又必须依靠各种载体才能表示和实现传递。在远动数据通信中,所传递的报文和控制信息必须由代表一定意义的字符串组成,但是在线路中传输的不可能是人们日常生活中见到的印刷形式,而是