



“十二五”高等学校专业教材建设工程

工业控制网络技术 实验教程

GONGYE KONGZHI WANGLUO JISHU SHIYAN JIAOCHENG

梁清华 赵越岭 戴永彬 郭 栋 编著



東北大學出版社
Northeastern University Press



“十二五”高等学校专业教材建设工程

工业控制网络技术实验教程

梁清华 赵越岭 戴永彬 郭 栋 编著

东北大学出版社

· 沈 阳 ·



© 梁清华 赵越岭 戴永彬 郭 栋 2013

图书在版编目 (CIP) 数据

工业控制网络技术实验教程/梁清华等编著. —沈阳: 东北大学出版社, 2013. 7
ISBN 978 - 7 - 5517 - 0405 - 2

I. ①工… II. ①梁… III. ①工业控制计算机—计算机网络—实验—教材
IV. ①TP273 - 33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 176756 号

内容摘要

工业控制网络技术越来越成熟, 已经成为高等院校自动化、测控等专业的必修课内容。本教程为这门课程的实践性教学而编写, 根据当前比较流行的工业控制网络技术内容, 设计了系列实验例程, 包括: 单片机串口通信、PC 机 RS-232 口通信、RS-485 通信、集散控制系统、现场总线控制系统、工业以太网以及这些系统的集成技术。

本教程以串行数字通信为主线, 循序渐进, 由浅入深。书中内容无论硬件还是程序, 均通过实际验证。所列举的实验例程既可以作为配合理论教学的实验项目, 也可以作为课程设计题目。本书适合作为自动化、测控专业的研究生、本科生实验教材使用, 也可供相关的工程技术人员参考。

出 版 者: 东北大学出版社

地址: 沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号

邮编: 110004

电话: 024—83687331 (市场部) 83680267 (社务室)

传真: 024—83680180 (市场部) 83680265 (社务室)

E-mail: neuph @ neupress. com http: //www. neupress. com

印 刷 者: 沈阳航空发动机研究所印刷厂

发 行 者: 东北大学出版社

幅面尺寸: 185mm × 260mm

印 张: 13

字 数: 324 千字

出版时间: 2013 年 7 月第 1 版

印刷时间: 2013 年 7 月第 1 次印刷

策划编辑: 王兆元

责任编辑: 潘佳宁

责任校对: 叶 子

封面设计: 刘江旻

责任出版: 唐敏志

ISBN 978 - 7 - 5517 - 0405 - 2

定 价: 25.00 元

前 言

工业生产过程的自动控制在近些年得到了飞速发展，系统的网络化技术已得到相当普遍的应用。目前高等院校的自动化、测控等相关专业都已把工业控制网络课程列为主干专业课，且理论课教材也相继出现。考虑到该门课是应用性较强的课程，为配合理论课教学，我们编写了本实验教程。本教程根据目前比较流行的网络控制技术和理论课教材的重点内容设计了实验例程，通过这些实验，对学生理解网络控制理论和掌握应用技术将很有益处。

整个教程共分 6 章。第 1, 2 章包括：理论要点、基础实验和综合实验三部分。第 3, 4, 5, 6 章包括理论要点和实验两部分。第 1 章的串行通信实验理论要点中介绍了单片机串行通信基础、RS-232 通信标准和 RS-485 通信标准；基础实验包括两台单片机通信、两台 PC 机通信和单片机与 PC 机之间的通信；综合实验考虑到接近工程实际采用 RS-485 节点通信和 RS-485 网络作为例程。第 2 章 CAN 总线实验中的理论要点部分主要介绍 CAN 总线电平、CAN 总线分层结构和控制子层帧结构、SJA1000 和 PCA82C250 两个芯片的性能；实验例程以 CAN 总线节点两点通信为基础展开，拓展多点通信；综合实验设计成由 PC 机加转换卡、中继器和下节点构成的 CAN 三层网系统。第 3 章 DeviceNet 总线实验理论要点介绍了该总线的技术特点和对象模型。设计了基于 DeviceNet 网络配置及通信、控制电机启停、变频调速和 I/O 数据触发方式四个实验。第 4 章 ControlNet 总线实验理论要点主要阐述了其技术内容。实验安排了网络配置、通信及应用和变频器频率控制两个例程。第 5 章工业以太网（EtherNet/IP）实验理论要点介绍了工业以太网协议和网络模型。实验设计了基于以太网远程 FLEX I/O 指示灯控制、远程液位控制两个例程。第 6 章控制网络集成 OPC 实验理论要点说明了 OPC 技术规范。由于实验

内容复杂一些，设计了1个基于 OPC 的电机启停实验。

本教程素材来源于作者多年来使用的工业控制网络课程实验指导书，各例程中的硬件、软件都经过实际运行，可靠成熟。考虑到电类本科学生都学习过汇编、C 和 VB 语言，整个教程中采用了这三种语言进行程序的编写。教程的编写力争做到注重基础，实验设计简单，结果直观。工业控制网络课程并不包含单片机串口和 PC 机通信部分，这两部分内容在单片机原理和微机原理中讲述过。增加这两部分实验可以使教程内容在技术上有连续性，可供学生复习或作为基础选学。

本书第1, 2章由梁清华教授编写。第3~6章由赵越岭副教授编写。戴永彬副教授编写并调试了前两章实验例程中的大部分程序。郭栋副教授完成了 CAN 总线硬件模块的设计与制作。

本教程中的实验得到辽宁工业大学罗克韦尔工业控制网络平台的支撑，在此对该公司表示感谢！

我们在本书的编写过程中参考了相关文献，在此对相关作者表示感谢。

编著者

2012 年 10 月

目 录

第1章 串行通信实验	1
1.1 串行通信理论要点	1
1.1.1 串行通信技术	1
1.1.2 单片机串行通信	5
1.1.3 RS-232 通信标准	7
1.1.4 RS-485 通信标准	8
1.2 串行通信基础实验	9
1.2.1 单片机串口通信	10
1.2.2 PC 机串口通信	14
1.2.3 PC 机与单片机 RS-232 节点通信	17
1.3 串行通信综合实验	21
1.3.1 单片机 RS-485 节点两点通信	21
1.3.2 单片机 RS-485 节点多点通信	25
1.3.3 RS-485 通信网络构建	30
第2章 CAN 总线实验	37
2.1 CAN 总线理论要点	37
2.1.1 CAN 总线电平	37
2.1.2 CAN 总线分层结构	38
2.1.3 媒体访问控制子层的帧结构	38
2.1.4 SJA1000 与 PCA82C250	40
2.1.5 CAN 总线技术特点	42
2.2 CAN 总线基础实验	43
2.2.1 CAN 总线数据传输波形观测	43
2.2.2 CAN 总线下节点接口控制	45
2.2.3 CAN 总线下节点两点通信	51
实验一: BasicCAN 模式下的两点通信	51

实验二: PelinCAN 模式下两点通信	57
2.3 CAN 总线系统实验	63
2.3.1 CAN 总线三层网演示	64
2.3.2 CAN 总线系统上位机	64
2.3.3 RS-232/CAN 转换卡	70
2.3.4 CAN 总线中继器	79
2.3.5 CAN 下节点多点通信	88
2.3.6 CAN 总线三层网构建	94
第3章 DeviceNet 总线实验	96
3.1 DeviceNet 总线理论要点	96
3.1.1 DeviceNet 的技术特点	96
3.1.2 DeviceNet 智能接口设计的一般步骤	97
3.1.3 DeviceNet 节点对象模型	97
3.2 DeviceNet 实验	97
3.2.1 DeviceNet 网络配置及通信	97
3.2.2 基于 DeviceNet 控制电机启停实验	102
3.2.3 基于 DeviceNet 的变频调速实验	107
3.2.4 DeviceNet 的 I/O 数据触发方式实验	109
第4章 ControlNet 总线实验	112
4.1 ControlNet 总线理论要点	112
4.1.1 ControlNet 历史及发展	112
4.1.2 ControlNet 的技术特点	112
4.1.3 ControlNet 技术	113
4.2 ControlNet 现场总线实验	115
4.2.1 ControlNet 网络配置、通信及应用	115
4.2.2 基于 ControlNet 的变频器频率控制	123
第5章 工业以太网实验	133
5.1 工业以太网理论要点	133
5.1.1 工业以太网概况	133
5.1.2 工业以太网协议	133
5.1.3 Ethernet/IP 的网络模型	134
5.2 工业以太网实验	136
5.2.1 基于以太网远程 FLEX I/O 指示灯控制	136

5.2.2 基于 EtherNet/IP 远程液位控制实验	142
第6章 控制网络集成 OPC 实验	148
6.1 控制网络 OPC 理论要点	148
6.1.1 OPC 技术背景	148
6.1.2 OPC 技术规范	148
6.2 OPC 通讯设置	150
6.2.1 步骤通讯设置步骤	150
6.2.2 数据服务器	150
6.2.3 数据服务器类型	150
6.2.4 使用多个数据服务器	150
6.3 基于 OPC 的电机启停实验	151
附录 SJA1000 独立 CAN 控制器	158
1. 特 性	158
2. 总体说明	158
3. SJA1000 内部结构框图	159
4. SJA1000 管脚排列	159
5. 功能说明	160
6. 极限值	196
7. 温度特性	196
8. 直流特性	196
9. 交流特性	198

第1章 串行通信实验

在工业控制未形成网络化之前，串行通信技术在工业控制中应用十分广泛。随着计算机技术、通信技术的发展，形成了当今的工业控制网络。或者说串行通信技术是控制网络技术的基础，掌握串行通信技术，有助于工业控制网络技术的学习及更深刻的理解。

本章设计了串行通信的基本实验，包括单片机串行通信，RS-232 节点、RS-485 节点的通信实验。这些通信技术在简单的工业控制中是经常用到的。

1.1 串行通信理论要点

本章介绍的串行通信理论主要涉及本教程所设计的实验，包括：串行数据传输原理，单片机串行通信，RS-232、RS-485 通信标准。

1.1.1 串行通信技术

1. 概 述

数据传输有并行和串行两种方式。并行方式需要的通道线路要与传输的数据位相同。因此传输线数量较大，成本高，线路之间干扰严重，不适合远距离传输，但是这种方式传输速度较快。串行传输只需一条线路，其低成本具有明显优势。尽管其速度不如并行方式，但是随着计算机技术、通信技术的发展，数据传输速度明显提高，串行传输已完全满足大多数情况的需要，因此串行传输得到了广泛的应用。

数据信号的传输，发送端必须与接收端同步。同步的意思是，接收端要按发送端每个数据或数据块的重复频率以及起止时间来接收数据。否则会造成通信数据的混乱，接收方无法弄清每个数据位的性质。同步方式分为两种：同步式与异步式。

同步式按照数据信号的基本组织单位，又分为位同步、字符同步和帧同步。位同步要求每个位必须在收发两端保持位同步，可理解为两端同时出现高低电平。一般接收端服从发送端，即接收端比特变化遵从发送端。字符同步使用同步字符是双方进入同步状态，即进入比特同步状态，然后成批发送和接收数据。帧同步也采取类似的办法。同步式要求有准确的时钟，对硬件要求较高，适用于高速成批数据传输。

异步式又称起止同步方式，数据传输大多采取这种方式。异步式同步不要求每个位在收发两端保持位同步，只是在发送数据前设置一个启动用的起始位，结束后设置一个结束位。接收方无需同步接收数据比特流，只要接受下来即可，再从中提取数据。这种方式实现容易，频率漂移不会积累，对线路和收发器要求较低。缺点是线路效率低，每个字符需要占 2 个字符的开销。

在串行通信中，数据传输方式有三种。

(1) 单工方式

单工方式的数据传送是单向的，一方固定为发送端，另一方固定为接收端。单工方式只需要一条数据线。

(2) 半双工方式

半双工方式的数据传送是双向的，数据既可以从一端发送到另一端，又可以以相反方向发送，不过在同一时间只能做一个方向的传送。半双工方式也只需一条数据线。

(3) 全双工方式

全双工方式的数据传送是双向的，两端既可同时发送，又可同时接收。全双工方式需要两条数据线。

工业控制系统中信息的传输，已经从模拟信号过渡到了全数字信号，并且完成了网络化。目前的工业控制系统，从现场最底层设备一直到高层的管理计算机，信息流完全为数字信号。系统中的各个点即设备通常由单片机或其他微处理器及外围电路构成，它们之间的通信最终归结为单片机与单片机通信、单片机与 PC 机的通信、PC 机与 PC 机之间的通信。这些通信技术都遵从系列串行通信标准，包括：RS-232，RS-485，以及各种现场总线标准和工业以太网标准。串行数据通信成为了工业控制技术中很重要的一个部分。

2. 通信原理

串行通信中两台或多台设备通常共享一条物理通道。发送者依次逐位发送一串数据信号，按一定的约定规则为收听者所接收。为确保每次传送的数据报文能准确到达目的地，使每一个接收者能够收听到所有发向它的数据，必须在通信连接上采取相应的措施。

另外，在带有串行端口的设备中，绝大多数除了等待接收数据之外还会有其他任务。例如，一个数据采集单元需要周期性地收集和存储现场数据；一个控制器需要根据被控设备的工作状态发送控制命令；一台设备可能会在接收方正在完成其他任务时向它发送信息。这就要求通信有能应对多种不同工作状态的一系列规则来保证有效性。一般情况下，有效的通信应包括以下一些步骤：通信的起始，建立连接握手，数据发送及停止，数据的确认接收，最后还要进行错误检查与纠正。下面对几个步骤给予说明。

(1) 通信的起始

在串行端口的异步传输中，接收方一般事先并不知道数据会在什么时候到达。在它检测到数据并做出响应之前，第一个数据位就已经过去了。因此每次异步传输都应该在发送的数据之前设置至少一个起始位，以通知接收方有数据将到达，留给接收方准备接收数据、缓存数据和做出其他响应所需要的时间。

现行的串行通信系统，一般线路在空闲态即没有数据传送时处于高电平，设计起始位将线路带入低电平，当接收方检测到这个低电平信号时，便知道应该准备接收尾随其后的数据。在异步方式中，每个通信帧报文前面都应有一个“起始”位，以表示数据开始发送。同步方式在发送数据块时需要发送一个字符来表示。

(2) 连接握手

通信帧的起始位可以引起接收方的注意，但发送方并不知道，也不能确认接收方是否已经做好了接收数据的准备。通过连接握手可以使收发双方确认已经建立了连接关系，接收方已经做好准备，可以进入数据收发状态。

连接握手过程是指发送方在发送一个数据之前，使用一个特定的握手信号来引起接收

方的注意,表明要发送数据,接收方则通过握手信号回应发送方,说明它已经做好了接收数据的准备。连接握手可以通过软件,也可以通过硬件来实现。在软件连接握手中,发送方通过发送一个特定字节给接收方。接收方看到这个字节的时候,也发送一个编码来声明自己可以接收数据,这样完成握手连接。硬件握手方式比较复杂,在不同的系统中采用的方式有所不同,不加以详细介绍。在某些对可靠性要求不太高的通信系统,也有不设计握手连接过程的情况。

(3) 数据发送与停止

发送方收到握手信号后,便可将数据发出。数据发送完毕,则应有一个停止位通知接收方本次传输过程已终止,以便接收方正常终止本次通信而转入其他工作程序。接收方接到停止位,停止接收,将数据放入缓冲器,开始其他工作。

(4) 接收与确认

接收方收到正确数据后,有义务通知发送方数据正确收到。为表明数据已经收到而向发送者回复信息的过程称为确认。有的传输过程可能会收到报文而不需要向相关节点回复确认信息。但是在许多情况下,需要通过确认告知发送方数据已经收到。有的发送方需要根据是否收到确认信息来采取相应的措施,因而确认对某些通信过程是必需的和有用的。即便接收方没有其他信息要告诉发送方,也要为此单独发送确认信息。

确认报文可以是一个特别定义的字节。发送方收到确认报文就可以认为数据传输过程正常结束。如果发送方没有收到所希望回复的确认报文,它就认为通信出现了问题,然后将采取重发或其他行动。

(5) 差错控制

差错控制指的是传输错误的校验和错误的纠正。数据通信由于干扰等其他原因,有可能出现数据错误。如果不进行校验、纠正,将会带来不同程度的影响。所以,一个完整的传输系统必须有检错与纠错能力。

数据通信中的接收方可以通过差错校验来判断所接收的数据是否正确。冗余数据校验、奇偶校验、校验和字节、循环冗余码校验等都是串行通信中常用的差错检验方法。

① 奇偶校验。奇偶校验是在所发送数据后面附加一位“0”或“1”,这一位称为校验位。采用奇校验时,使其数据位加上校验位有奇数个“1”发送出,接收方按奇校验规则进行校验,出现奇数个“1”,认为正确;如果出现偶数个“1”,则发送错误。校验位填充“0”或“1”,发送方由软件或硬件相应的办法完成。偶校验按照数据位加上校验位共有偶数个1的规则填写校验位。也可以采用计算“0”的个数的办法完成。

这种办法冗余码少,但漏检率高。如果在一帧数据中出现两个“1”变为“0”时,显然会出现误判。

② 累加和校验。累加和校验是在传输数据帧中增加一个字节,其内容为所发送数据字节的数学或逻辑运算的结果,这一字节称为校验和,发送时作为这一数据帧的组成部分发出。接收方接到数据后进行同样计算,并将其结果与校验和进行比较,判断所发送数据是否正确。

比较常用而简单的办法是将所发送字节相加,得到校验和。这种办法比奇偶校验冗余码要多,检错率要高一些。

③ 循环冗余码校验。循环冗余码校验简称CRC校验。它的基本原理是将要发送的数

据序列当作一个二进制数，然后用收发双方约定的另一个二进制数去除，得到一个余数，将余数加入同一数据帧发送。接收方用同样的办法对接收到的数据进行处理，与收到的余数进行比较，以检验所收到数据的对错。

循环冗余码校验是目前应用最广泛的校验方法之一。这种方法检错能力强，实现容易。

④ 出错的简单处理。当一个节点检测到通信中出现的差错或者接收到一条无法理解的报文时，应该尽快通知发送方，要求它重新发送或者采取别的措施来纠正。经过多次重发，如果发送方仍不能纠正这个差错，发送方应该跳过这个节点的发送，发布一条出错信息，通过报警或者其他操作来通知操作人员发生了通信差错，并尽可能继续执行其他任务。

3. 通信协议

工业控制中的数字传输协议仍然是必不可少的，不过比起商用网要简单一些，特别是在底层，因为传输数据量小，有时要简单得多。但要求有更高的可靠性。

所谓协议就是通信双方的一种约定。一般包括：数据格式、同步方式、传输速率、检验纠错方法及控制字符定义等。

不同的通信方式，协议也有所不同。在基本的串行通信方式中有：基于 TTL 电平的单片机之间通信，基于 PC 机的 RS-232 标准方式，常用的 RS-485 标准方式。这三种方式只是对物理口做了一些规定，物理层以上，软件方面由用户自己形成。下面对这三种方式常采用的协议做以介绍。

(1) 单片机通信协议

单片机通信需要规定：串口工作方式，波特率，数据格式，校验方法，握手信号。例如：一个典型的串行通信的帧结构由 1 个起始位、8 个数据位、1 个校验位和一个停止位共同组成。串口工作方式通过串口控制寄存器设定，数据格式与工作方式有关，波特率通过电源控制寄存器设定，握手信号通过特定字约定。

(2) RS-232 通信协议

PC 上的串行数据通信是通过 UART 芯片来处理的，比较新的 UART 芯片是 16550，它有 1 个起始位，用逻辑 0 表示；数据位可以由 4、5、6、7、8 位构成 1 个字符；1 位奇偶校验位；停止位可以是 1 位、1.5 位或 2 位高电平。空闲位处于逻辑 1，表示当前线路上有数据传送。在应用中采用何种帧格式可以有不同选择。

(3) RS-485 通信协议

RS-485 广泛应用于工业控制中，诸多公司建立了各自的协议，并且十分成熟。如：Modbus 通信协议，是一种主从式通信协议，由 Modicon 公司开发，在工业控制中得到广泛的应用。通用串行协议 (universal serial protocol) 是一种采用串行通信和主从式介质访问控制方式实现自控设备间通信的工业控制网络协议。其总线操作过程与 PROFIBUS 现场总线基本相同。主从协议是控制网络中常用的通信协议。网段的一个节点被指定为主节点，其他节点为从节点。由主节点负责控制该网段上的所有通信连接。为保证每个节点都有机会传送数据，主节点通常对从节点依次逐一轮询，形成严格的周期性报文传输。主节点不停地传送报文给从节点，并等待相应的从节点的应答报文。

协议的详细内容在后续相应章节中论述。数据格式的形成与节点是由单片机为控制器，还是由 PC 机作为控制器有关。

1.1.2 单片机串行通信

在工业控制系统的通信中，以单片机为核心的通信节点占据着底层。接口方式有时直接利用单片机串口（即 TTL 电平），有时转成 RS-232 标准，有时转成 RS-485 标准。这里介绍直接利用单片机串口的通信技术。

1. 单片机串口结构

以 MCS-51 系列单片机为例，它的串口共有 3 个寄存器。

(1) 发送接收数据缓冲器 SBUF

SBUF 是两个在物理上独立的发送、接收缓冲器，可同时发送、接收数据。两个缓冲器只用一个字节地址 99H，可通过指令对 SBUF 的读写来区别是对接收缓冲器的操作还是对发送缓冲器的操作。串行口对外有两条独立的收发信号线 RXD (P3.0)，TXD (P3.1)，因此可以同时发送、接收数据，实现全双工工作模式。

(2) 控制寄存器 SCON

SCON 用来控制串行口的工作模式和状态，可按位寻址，其字节地址为 98H。其格式见表 1.1。

表 1.1 SCON 寄存器

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
SM0	SM1	SM2	REN	TB8	RB8	TI	RI

RI (Receive Interrupt Flag)：接收中断标志。由硬件置位，必须由软件清零。

TI (Transmit Interrupt)：发送中断标志。由硬件置位，必须由软件清零。

RB8：模式 2 和模式 3 时，为接收数据的第 9 位；模式 1 时，若 SM2 = 0，为收到的停止位；模式 0 时该位未用。

TB8：方式 2 和方式 3 时，为发送的第 9 位数据，也可以作为奇偶校验位。

REN (Receiver Enable)：串行口接收允许位。

1——允许串行口接收；

0——禁止串行口接收。

SM2：多机通信控制位（方式 2，方式 3）。

1——只有接收到第 9 位（RB8）为 1，RI 才置位；

0——接收到字符，RI 就置位。

SM0, SM1 (Mode Select Bit)：串行口工作方式控制位，具体工作方式见表 1.2。

表 1.2 串行口工作方式

SM0	SM1	工作方式	说 明	波 特 率
0	1	方式 0	同位移位寄存器	$f_{osc}/12$
0	1	方式 1	10 位异步收发	由定时器控制
1	0	方式 2	11 位异步收发	$f_{osc}/32$ 或 $f_{osc}/64$
1	1	方式 3	11 位异步收发	由定时器控制

(3) 电源控制寄存器 PCON

PCON 的第 8 位 SMOD 是与串行口的波特率设置有关的选择位，用来控制波特率加

倍。其他位与串行通信无关。PCON 寄存器各位功能见表 1.3。

表 1.3 PCON 各位功能

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
SMOD				GF1	GF0	PD	IDL

SMOD (Serial Mode)：串行口的波特率加倍位。

1——方式 1 和方式 3 时，波特率 = 定时器 1 溢出率/16；方式 2 时，波特率 = $f_{osc}/32$ (f_{osc} 为系统振荡频率)。

0——方式 1 和方式 3 时，波特率 = 定时器 1 溢出率/32；方式 2 时，波特率 = $f_{osc}/64$ 。

2. 串行口的工作方式及波特率的计算

(1) 方式 0

方式 0 为同步移位寄存器方式，可用于扩展并行 I/O 接口，也可以外接同步输入/输出设备。8 位串行数据从 RXD 输入或输出，TXD 用于输出同步脉冲。

方式 0 波特率固定：波特率 = $f_{osc}/12$ 。

(2) 方式 1

方式 1 为 8 位数据异步通信方式，一帧数据包含 10 位，即 8 位数据位、1 个起始位和 1 个停止位。RXD 为接收数据端，TXD 为发送数据端。T1 作为波特率发生器。

方式 1 波特率计算：波特率 = $(2^{SMOD}/32) \times T1$ 溢出率。

(3) 方式 2

方式 2 为 9 位数据异步通信方式，一帧数据为 11 位包括 9 个数据位、1 个起始位、1 个停止位。第 9 位数据位在 TB8/RB8 中，常用作校验位和多机通信标识位。

方式 2 中的波特率计算：波特率 = $(2^{SMOD}/64) \times f_{osc}$ 。

(4) 方式 3

方式 3 为波特率可变的 11 位 UART 方式，除波特率外与方式 2 相同。

方式 3 中的波特率计算： $(2^{SMOD}/32) \times T1$ 溢出率。

3. 通信技术

(1) 硬件连接

串行通信是数据节点与外界交换信息的一种基本通信方式，MCS-51 内部含有一个可编程全双工串行通信接口，具有 UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) 的全部功能。利用 MCS-51 系列单片机的串口可实现多机通信。常采用总线形主从式结构，硬件连接图如图 1.1 所示。

(2) 软件设计

单片机串行口通信程序主要包括：初始化（既对相关寄存器赋初值），数据发送，数据接收，握手确认等。

在使用串行口之前，应对它进行编程初始化，主要是设置产生波特率的定时器 1、串行口控制寄存器。具体包括：

- ① 设置定时计数器 T1 的模式控制寄存器 TMOD；
- ② 赋定时计数器 T1 的初值（装载 TH1，TL1），确定波特率；

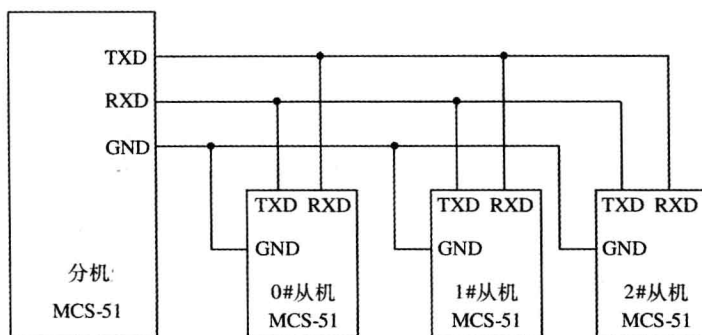


图 1.1 单片机串行通信连接图

- ③ 设置串行口的控制寄存器 SCON;
- ④ 设置电源控制寄存器 PCON, 波特率是否加倍;
- ⑤ 启动定时器 1——编程 TCON 的 TR1 位。

串行口在中断方式工作时, 须考虑设置与中断相关的寄存器。

无须握手时, 只需发送、接收即可。需要握手确认, 可以通过发送方送出一个特定字节, 接收方接到后验证无误后, 接收方向发送方也送回一个特定字节。发送方接到后, 验证无误开始发送数据。

发送与接收程序主要根据双方约定即协议进行组帧, 发送方将数据送入串口发送接收数据缓冲器, 接收方接到数据后从数据缓冲器中取出, 即完成一次发送接收过程。

1.1.3 RS-232 通信标准

RS-232 标准被 PC 机串口所采用。PC 机在工业控制系统中同样占据重要地位, 在现场设备层之上。在一主多从简单控制网络中, 主机由 PC 机担任。但受到传输距离等因素限制, 一般要求将 RS-232 标准转换为 RS-485 标准。

RS-232 是美国电子工业协会 EIA (Electronic Industries Association) 制定的物理接口标准, 也是目前数据通信中应用最广泛的一种标准。它的前身是 EIA 在 1969 年制定的 RS-232-C 标准。RS (Recommended Standard) 是推荐标准词头的缩写, 表示是 EIA 的一种“推荐标准”, 232 是标准号。RS-232-C 是 RS-232 标准的第三版, 是一种应用十分广泛的物理接口标准。经 1987 年 1 月修改后, 定名为 EIA-232-D。由于两者相差不大, 因此 EIA-232-D 与 RS-232-C 在物理接口标准中基本成为等同的标准, 人们经常简称它们为“RS-232 标准”。

(1) RS-232 机械特性

在机械特性方面, RS-232 规定使用一个 25 根插针 (DB-25) 的标准连接器。这一点与 ISO 2110 标准是一致的。RS-232 对 DB-25 连接器的机械尺寸及每根针排列的位置均做了明确的规定, 从而保证符合 RS-232 标准的接口在国际上是通用的。后来为了节省空间, 又产生了 9 针标准, 称为 DB-9, 目前使用较多的是 9 针标准, 后续试验中也采用 9 针标准。其结构如图 1.2 所示。

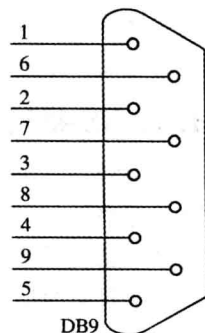


图 1.2 RS-232 连接器结构

(2) RS-232 电气特性

在电气特性方面 RS-232 与 CCITT V. 28 建议书是一致的。RS-232 采用负逻辑，即逻辑 0 用 $(+5 \sim +15)\text{V}$ 表示，逻辑 1 用 $(-5 \sim -15)\text{V}$ 表示。由于 RS-232 电平与 TTL 电平是不一致的，目前是采用专用的电平转换器实现 TTL 电平与 RS-232 电平的转换，RS-232 的发送器和接收器均采用非平衡电路，这就决定了 DTE 与 DCE 之间的 RS-232 连接电缆的长度、数据传输速率与抗干扰能力。当非平衡的 RS-232 发送器与接收器电缆长度为 15m 时，数据传输速率最大为 20kb/s，抗共模干扰能力较差。电气连接图如图 1.3 所示。

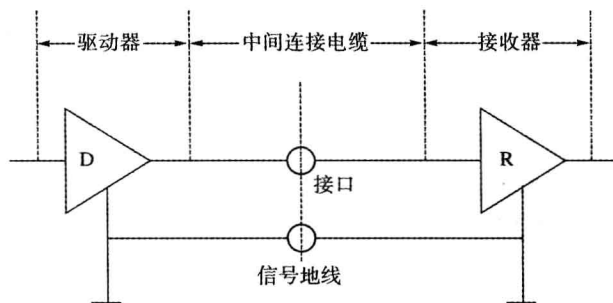


图 1.3 RS-232 的电气连接图

(3) 接口功能特性

在功能特性方面，RS-232 定义了 DB-9 连接器中 9 条线和 DB-25 连接器中 20 条连接线的功能。在以上常用的连线中可以根据其传递信号的功能分为三类：数据线：TXD，RXD；控制线：RTS，CTS，DSR，DCD，DTR，RI；地线：GND。9 针标准提供主要几条控制线是：

7 脚：请求发送 RTS (Request To Send)

8 脚：允许发送 CTS (Clear To Send)，向发送方回送一个 CTS 信号作为回答。

4 脚：数据终端准备好 DTR (Data Terminal Ready)，通知发送方进行数据发送。

6 脚：数据集就绪 DSR (Data Set Ready)，向接收方送出一个 DSR 信号作为对 DTR 信号回答。

1 脚：载波检测 CD (Carry Detect)，用于检测是否建立了连接。

9 脚：振铃信号 RI (Ringing)，收到对方振铃呼叫信号时，使该管脚有效，通知对方已被呼叫。

数据线：TXD，RXD，为 2，3 脚；GND 为 5 脚。

当无需握手时，或采用软件握手时，只需连接三条线即可：RXD、TXD 和 GND。

1.1.4 RS-485 通信标准

RS-485 是美国电气工业协会 (EIA) 制定的通信标准。最早的 RS-232 标准存在通信距离短、速率低问题。接下来定义了 RS-422，提高了通信距离和传输速率。但 RS-422 带负载能力不能满足要求。为了扩展应用范围，在 RS-422 基础上又定义了 RS-485 标准，增加了多点、双向通信能力。RS-485 协议正是针对远距离、高灵敏度、多点通信制定的标准。RS-485 接口信号电平比 RS-232 降低了，接口电路的芯片不易损坏，且该电平与 TTL 电平兼容。它的平衡差分电路图如图 1.4 所示。

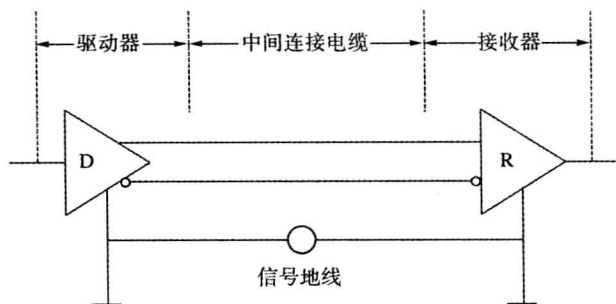


图 1.4 RS-485 电气连接图

RS-485 具有以下特点：

(1) RS-485 的电气特性：逻辑“1”以两线间的电压差 $+ (2 \sim 6) \text{V}$ 表示；逻辑“0”以两线间的电压差为 $- (2 \sim 6) \text{V}$ 表示。

(2) RS-485 的数据最高传输速率为 10Mb/s ，最大传输距离可达 1200m 。

(3) 最大可连接 32 个驱动器和收发器。

(4) 利用平衡双绞线作传输线，采用差分信号进行传输，大大提高共模抗干扰能力。

RS-485 标准是为弥补 RS-232 通信距离短、速率低等缺点而产生的。RS-422/485 标准在电气特性上非常相近，在传输方式上有所区别。表 1.4 列出了 RS-232，RS-422，RS-485 通信标准的区别。

表 1.4 RS-232，RS-422，RS-485 通信标准的区别

规 范	RS-232	RS-422	RS-485
最大传输距离	15m	1200m (100kb/s)	1200m (100kb/s)
最大传输速度	20kb/s	10Mb/s (距离 12m)	10Mb/s (距离 12m)
驱动器最小输出/V	± 5	± 2	± 1.5
驱动器最大输出/V	± 15	± 10	± 6
接收器敏感度/V	± 3	± 0.2	± 0.2
最大驱动器数量	1	1	32 单位负载
最大接收器数量	1	10	32 单位负载
传输方式	单端	差分	差分

1.2 串行通信基础实验

串行通信的基础实验包括单片机串口通信，两台 PC 机之间串口通信，由单片机和 MAX232 组成的 RS-232 节点与 PC 机串口的通信。这些实验是串行通信技术的基础，完成这些实验可为下一步通信网络实验建立基础。