论文题目：PROFIBUS-DP 技术研究及其接口卡的实现
专　　业：测试计量技术及仪器
硕 士 生：李　彪(签名)
指导教师：汉泽西(签名)

摘　要

现场总线综合了自动控制技术、计算机技术、数字通信技术、网络技术和智能仪表技术等多种技术手段，构成了一种全分散、全数字、智能、双向、互连、多变量、多接点的通信与控制系统，成为自动控制发展的趋势，被誉为自动化领域的计算机局域网。在现有的各种现场总线标准中，PROFIBUS 总线是一种比较流行的现场总线标准，用于分散外设间高速传输的 PROFIBUS-DP 是有很大市场占有率的总线技术。

本文是针对现场总线在我国的应用和发展现状，在研究 PROFIBUS-DP 现场总线基本理论(主要包括系统组成、协议结构、传输技术、数据存取机制、从站通信原理)的基础上，提出了 PROFIBUS-DP 智能从站接口的软硬件设计和实现方法，利用 SIEMENS 协议芯片 SPC3 和 51 单片机开发出具有 PROFIBUS-DP 接口的从站接口卡，接着由 S7-300 作为主站，RQ 系列执行器与开发的接口卡作为从站，组成 PROFIBUS-DP 现场总线通信系统，对开发的从站接口卡进行了实验验证，达到预期效果。

最后本文对课题的研究工作进行了总结，并对 PROFIBUS-DP 智能从站接口的开发和 PROFIBUS 现场总线技术的研究方向提出了进一步的讨论。

关键词：现场总线　PROFIBUS-DP　SPC3　通信协议　电动执行机构
论文类型：应用研究

Subject: Research on Technology of PROFIBUS-DP and Realization of Interface card
Speciality: Measuring & Testing Technology and Instrument
Name: Li Biao(signature) Li Biao
Instructor: Han Zexi(signature) Hanzexi

ABSTRACT

Many technologies such as automation and control technology, computer technology, digital communication technology, network technology and intelligent instruments technology are integrated into the Fieldbus. Fieldbus control system constitutes the distribute, digital, intelligent, two-direction, interlink, multi-parameters, multi-point communication and control system, and becomes the trend of the development of automation and control, it is called LAN of automation. Among the present fieldbus standards, PROFIBUS is the popular fieldbus. PROIBUS-DP that used in distributed equipment for high speed is a high market share fieldbus technology.

Exactly according to the current status of Fieldbus development and application in our country, this paper presents software/hardware design and implementation method of PROFIBUS-DP intelligent slave station interface based on studying the basic theory of PROFIBUS-DP (including system composing, protocol structure, transmission technique, data access mechanism and slave station communication principle). By using the protocol chip SPC3 and MCS-51, the card of the intelligent slave station interface with PROFIBUS-DP has been developed. And using the S7-300 as the master station, combining with the card of the slave station interface and the actuator of RQ series to compose the communication system of PROFIBUS-DP, to test the card of the intelligent slave station interface, and has reached the anticipated design object.

Finally, this paper summarizes the whole work of the task, and takes the discussion on the development of the intelligent interface with PROFIBUS-DP and the direction of the research about PROFIBUS technology.

Key words: Fieldbus, PROFIBUS-DP, SPC3, Communication Protocol, electric actuator
Thesis: Application Study

学位论文创新性声明

本人声明所呈交的学位论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢中所罗列的内容以外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果；也不包含为获得西安石油大学或其它教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中做了明确的说明并表示了谢意。

申请学位论文与资料若有不实之处，本人承担一切相关责任。

论文作者签名：李航　　日期：2008.6.4

学位论文使用授权的说明

本人完全了解西安石油大学有关保留和使用学位论文的规定，即：研究生在校攻读学位期间论文工作的知识产权单位属西安石油大学。学校享有以任何方法发表、复制、公开阅览、借阅以及申请专利等权利，同时授权中国科学技术信息研究所将本论文收录到《中国学位论文全文数据库》并通过网络向社会公众提供信息服务。本人离校后发表或使用学位论文或与该论文直接相关的学术论文或成果时，署名单位仍然为西安石油大学。

论文作者签名：李航　　日期：2008.6.4

导　师　签名：[illegible]　　日期：2008.6.4

• 注：如本论文涉密，请在使用授权的说明中指出（含解密年限等）。

第一章 绪论

1.1 现场总线的现状

随着控制、计算机、通信、网络等技术的发展，企业信息交换沟通的领域正在迅速覆盖从现场设备层到控制、管理的各个层次，同时也引起了工业控制系统体系结构与设备的重大变革。顺应工业控制系统领域技术向现场仪表智能化、控制功能分散化、控制系统开放化的发展趋势，80 年代末、90 年代初，新一代全分布式控制系统——现场总线控制系统（FCS）应用而生，现场总线（Fieldbus）正是这种新型控制系统的核心技术。根据国际电工委员会 IEC（International Electrical Commission）的定义：现场总线是一种应用于生产现场，在现场设备之间、现场设备与控制装置之间实行双向、串行、多节点数字通信的技术，也被称为开放式、数字化、多点通信的底层控制网络[1]。

人们习惯把 50 年代前的气动信号控制系统（PCS）称作第一代，把 4～20mA 等电动模拟信号控制系统（ACS）称为第二代，把数字计算机集中式控制系统(CCS)称为第三代，把 70 年代中期以来的集散式分布控制系统（DCS）称作第四代，而把现场总线控制系统（FCS）称为第五代控制系统。作为新一代的控制系统，一方面，FCS 突破了 DCS 系统采用通信专用网络的局限，应用了基于公开化、标准化的解决方案，克服了封闭系统所造成的缺陷；另一方面把 DCS 集中与分散相结合的集散系统结构，变成了新型的全分布式结构，把控制功能彻底下放到现场，并且实现了全数字式通信，提高了系统的抗干扰能力。

1.1.1 现场总线技术的特点[2]

现场总线设备的工作环境处于过程控制的底层，作为工厂设备级基础通信网络，要求具有协议简单、容错能力强、安全性好、成本低等特点，具有一定的时间确定性和较高的实时性等要求，还应具有网络负载稳定、多数为短帧传送、信息交换频繁等特点。由于上述特点，现场总线系统从网络结构到通信技术，都具有不同于高速数据通信网的特色。特色如下：

（1）系统的开放性。开放系统是指通信协议公开，各不同厂家的设备之间可进行互连并实现信息交换，现场总线开发者就是要致力于建立统一的工厂底层网络的开放系统。这里的开放是指对相关标准的一致性、公开性，强调对标准的共识与遵从。一个开放系统，它可以与任何遵守相同标准的其它设备或系统相连。一个具有总线功能的现场总线网络系统必须是开放的，开放系统把系统集成的权利交给了用户，用户可按自己的需要和对象把来自不同供应商的产品组成随意大小的系统。

（2）互操作性。互操作性是指设备的可互换性和可互操作性。互换性是指不同生产厂家的性能类似的设备可进行互换而实现互用。可互操作性指不同厂商的设备可相互通

信，并能在各厂商的操作环境中完成其功能。为了使制造商发展其特有的功能，现场总线技术还为制造商留有可供其发挥的余地。

（3）现场设备的智能化与功能自治性。它将传感测量、补偿计算、工程量处理与控制等功能分散到现场设备中完成，仅靠现场设备即可完成自动控制的基本功能，并可随时诊断设备的运行状态。

（4）系统结构的高度分散性。由于现场设备本身已可完成自动控制的基本功能，使得现场总线已构成一种全新的分布式控制系统的体系。从根本上改变了现有 DCS 集中与分散相结合的集散控制系统体系，简化了系统结构，提高了可靠性[3]。

（5）对现场环境的适应性。工作在现场设备前端，作为工厂网络底层的现场总线，是专为在现场环境工作的设备而设计。表现为通信媒体可采用双绞线、同轴电缆和光缆等多种类型；对电磁干扰的抗干扰性；可满足本质安全防爆要求；可总线供电等。

1.1.2 现场总线技术的优点[4]

由于现场总线的以上特点，特别是现场总线系统结构的简化，使控制系统的设计、安装、投运到正常生产运行及其检修维护，都体现出了优越性。因此，现场总线的主要优点为：

（1）节省硬件数量与投资。由于现场总线系统中分散在设备前端的智能设备能直接执行传感、控制、报警和计算的功能，因而可减少变送器的数量，不再需要单独的控制器、计算单元等，也不再需要 DCS 系统的信号调理、转换、隔离等功能单元及其复杂接线；可以用工控 PC 作为操作站，从而节省了一大笔硬件投资；由于控制设备的减少，可减少控制室的占地面积。

（2）节省安装费用和维护费用。现场总线系统的接线十分简单，一对双绞线或一条电缆上通常可挂接多个设备，因而电缆、端子、槽盒、桥架的用量大大减少，连线设计与接头校对的工作量也大大减少。当需要增加现场控制设备时，无需增设新的电缆，可就近连接在原有的电缆上，既节省了投资，也减少了设计、安装的工作量。据有关典型试验工程的测算资料，可节约安装费用 60%以上。此外，由于现场控制设备具有自诊断与简单故障处理的能力，并通过数字通讯将相关的诊断维护信息送往控制室，用户可以查询所有设备的运行、诊断、维护信息，以便早期分析故障原因并快速排除。缩短了维护停工时间，同时由于连线简单而减少了维护工作量。

（3）消除模拟仪表通信的瓶颈现象。采用模拟仪表通信时，通信是单向的模拟通信，而现场总线仪表的通信是双向的数字通信。因此，现场总线仪表与仪表计算机控制系统间的通信不需要进行模数信号的转换。同时，在同一通信线上可以进行多个变量的双向通信，消除了模拟仪表通信的瓶颈现象。

（4）用户具有高度的系统集成主动权。用户可以自由选择不同厂商所提供的设备来集成系统。避免因选择了某一品牌的产品被“框死”了设备的选择范围，不会为系统集

成中不兼容的协议、接口而一筹莫展，使系统集成过程中的主动权完全掌握在用户手中。

（5）提高了系统的准确性与可靠性。由于现场总线设备的智能化、数字化，与模拟信号相比，它从根本上提高了测量与控制的准确度，减少了传送误差。同时，由于系统的结构简化、设备与连线减少、现场仪表内部功能加强，减少了信号的往返传输，提高了系统的工作可靠性。

（6）提高安全性。设备状态信息和故障预警信息为设备运行状态的评估提供条件，使故障未发生前就能得以消除；故障发生时能及时对故障定位，及时处理；故障发生后，提供的故障信息便于对故障的分析，从而提高系统安全性。

此外，由于现场总线的设备标准化和功能模块化，因而还具有设计简单，易于重构等优点。

1.1.3 国内外研究动态

由于采用现场总线技术将使控制系统结构简单，系统安装费用减少并且易于维护，用户可以自由选择不同厂商、不同品牌的现场设备实现系统集成的最优化等一系列优点，20世纪90年代以来，现场总线技术以及基于该技术的控制系统在国内外引起人们的高度重视，成为世界范围内自动化技术发展的热点。国际上许多有实力、有影响的公司都先后在不同程度上进行了现场总线技术与产品的研发[5]。据不完全统计，世界上有近200种现场总线技术，经过十几年的竞争和完善，较具生命力的有十几种，特别是IEC61158成为国际标准，多总线并存已成定局。由于这些总线都有着各自不同的技术特长及其擅长的应用领域，并且都有国际上的大型跨国公司作背景和依托，如著名的SIEMENS、AEG、ABB公司，因此多总线共存的局面将持续相当长的时间。

目前，PROFIBUS和基金会现场总线（FF）共同构成当今现场总线的两大体系，由于PROFIBUS现场总线投运时间较长，已广泛应用于工业自动化的各个主要领域。PROFIBUS的三个模块（DP、FMS、PA）可以满足不同的应用对象和通信速率方面的要求，其开放性好，而且鉴于PROFIBUS已成为国际标准，因此，得到了众多生产厂家的支持。此外，PROFIBUS是从PLC发展而来，得到了PLC销售商的大力支持，再加上FF标准迟迟得不到完善，PROFIBUS将会有更大的发展空间，有望成为国际上推广速度最快、用户最多、应用范围最广及最有发展前景的现场总线[6][7]。

PROFIBUS是德国于90年代初指定的国家工业现场总线协议标准，1996年3月15日批准为欧洲标准，即EN50170 V.2。PROFIBUS现在已是欧洲首屈一指的开放式现场总线系统，并已被全世界所接受，成为国际化的开放式现场总线标准。经过十多年的发展，现场总线技术取得了高速发展，现场总线技术大大加快了仪表智能化的进程，现场总线技术与各种智能化的现场仪表共同组成现场总线控制系统，这是工业控制系统的一场技术革命。就国内而言，我国的自动化企业和科研单位在跟踪PROFIBUS-DP现场总线技术发展的同时，也先后开始了PROFIBUS-DP现场总线的研究工作[8]。1997年7月中国现场总

线（PROFIBUS）专业委员会组建成立，同时开始筹建现场总线产品演示及认证实验室。起初我国对于PROFIBUS-DP现场总线技术主要以系统集成和应用为主，处于系统底层的智能仪表和设备都是由国外大公司提供的。此后，包括北京鼎实公司、浙江正泰集团以及华中理工大学、上海交通大学、西安电子科技大学等企业和科研院校都开始研制PROFIBUS-DP现场总线控制系统底层的智能仪表和设备，希望实现相关产品的国产化。

1.1.4 现场总线的最新标准

由于世界各国和各集团为了维护自身的经济利益，现场总线国际标准的统一经历了一个长期的过程，直到1999年12月通过了现场总线国际标准IEC61158，包括8种现场总线，经过几年的补充和完善，在2003年4月由IEC/SC65C/MT9小组负责制订的IEC61158-Ed.3（现场总线标准第3版）正式成为国际标准。新版本标准规定了10种类型的现场总线，以反映工业网络通信技术的最新发展[9]。分别是：

类型1（TYPE1）：1999年IEC61158TS技术规范全面定义的现场总线，即FF基金会现场总线H1；

类型2（TYPE2）：Control Net现场总线；

类型3（TYPE3）：PROFIbus现场总线；

类型4（TYPE4）：P-NET现场总线；

类型5（TYPE5）：FF HSE高速以太网总线；

类型6（TYPE6）：Swift Net现场总线；

类型7（TYPE7）：WorldFIP现场总线；

类型8（TYPE8）：Interbus现场总线；

类型9（TYPE9）：IEC/ISA SP50现场总线；

类型10（TYPE10）：PROFInet现场总线。

除了IEC61158规定的以上十种类型现场总线外，目前市场上流行的现场总线还有CAN, HART, LonWorks, Modbus, CC-Link等，它们也广泛分布于各个自动化应用的现场。

由于现场总线长期以来难以实现统一的标准，使得FCS系统的发展相对缓慢，为了加快FCS新一代控制系统的发展，人们开始寻求新的出路。近年来，现场总线开始转向IT领域广泛应用的Ethernet网络技术。为IT领域应用而开发的Ethernet过去在工业自动化领域只得到了有限应用，随着网络技术的发展，其以前存在的一些问题迅速得到解决，所以人们普遍认为Ethernet是未来控制网络的最佳解决方案，工业以太网已成为现场总线中的主流技术，目前PROFIBUS、DeviceNet、ControlNet、LonWorks等都在使用Ethernet技术[10]。

1.2 本课题的来源和意义

本课题来源于温州瑞基测控设备有限公司。在了解掌握PROFIBUS-DP技术的基础

上，设计 DP 从站接口卡，使本公司 RQ 系列电动执行机构能成功接入 PROFIBUS 网络。PROFIBUS-DP 是西门子公司推出的现场总线，在中国市场占有较大的市场份额，能够实现通信双方数据的可靠传输、对现场设备的可靠控制。在已有研究成果和开发经验的基础上，对 PROFIBUS-DP 技术做出更深一步的剖析和研究，同时把 PROFIBUS-DP 技术应用于执行器领域，设计开发出带 PROFIBUS-DP 接口卡的电动执行机构，为今后现场总线技术的应用提供了有益的尝试。

1.3 本论文的研究内容

本论文主要在以下几个方面做了研究和开发工作：

（1）在查阅国内外相关文献和调研的基础上，了解现场总线的发展现状和动态；

（2）深入研究 PROFIBUS-DP 现场总线技术；

（3）选择设计方案；

（4）设计原理图，制PCB线路板；

（5）编写程序，实现软件功能；

（6）利用西门子公司 SIMATIC S7-300 主站、RQ 系列电动执行机构和开发的 DP 从站接口卡搭建一个调试平台，进行组网测试。

本论文共分六章，第一章为绪论，概述了现场总线的背景、特点和发展现状，简要介绍本课题的来源和意义以及论文所要完成的主要内容。第二章为 PROFIBUS-DP 现场总线技术，介绍了 PROFIBUS 现场总线技术的特点，包括 PROFIBUS 协议结构和传输技术，并具体介绍 PROFIBUS-DP 技术的基本特性、数据链路层服务和报文传输分析，以及 DP 状态机的实现。第三章为 PROFIBUS-DP 从站接口卡的硬件设计，对解决方案进行比较选择，在此基础上实现 PROFIBUS-DP 接口卡的硬件设计，包括对单片机、IL485 芯片和协议芯片 SPC3 的介绍，并详细分析了各部分接口电路的实现。第四章为 PROFIBUS-DP 从站接口卡的软件设计，详细介绍了软件方面的总体设计思想、功能模块设计以及程序流程，另外，对 CRC 校验和 GSD 文件的编写进行了详细阐述。第五章为研究与设计结果的实验验证，简单介绍了组网调试所用到的 RQ 执行器和 STEP7 组态软件，详细记录了实验过程和结果，并对结果进行简单的分析。第六章为总结，对整个设计过程进行回顾以及对本课题研究的体会，最后对 PROFIBUS 技术进行展望。

第二章 PROFIBUS-DP 现场总线技术

2.1 PROFIBUS 技术概述

PROFIBUS 是 Process Field Bus 的缩写，是 1987 年由西门子等 13 家公司和 5 家研究机构联合开发，于九十年代初成为德国工业现场总线协议标准，代号 DIN19245，1996 年经欧洲电工委员会批准成为欧洲标准 EN50170，1999 年 12 月被批准成为国际标准 IEC61158 的组成部分(Type3)。因此，PROFIBUS 已经成为一种国际化、开放的现场总线标准。目前世界上许多自动化技术生产厂家都为它们生产的设备提供 PROFIBUS 接口。PROFIBUS 广泛应用于加工制造、过程和楼宇自动化，其应用范围如图 2-1 所示。

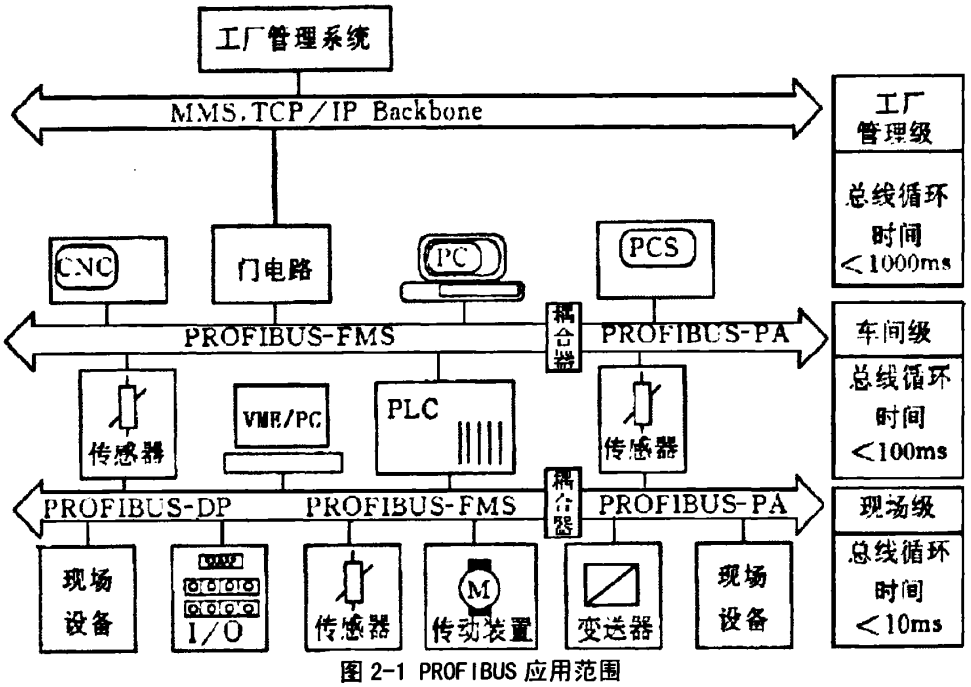


图 2-1 PROFIBUS 应用范围

PROFIBUS 根据应用特点可分为 PROFIBUS-DP、PROFIBUS-FMS、PROFIBUS-PA 三个兼容版本[11][12]。

PROFIBUS-DP：用于传感器和执行器的高速数据传输，它以德国工业标准 DIN19245 的第一部分为基础，根据其所需要达到的目标对通信功能加以扩充。DP 的传输速率可达 12Mbit/s，一般构成单主站系统，主站、从站间采用循环数据传输方式工作。它的设计旨在用于设备一级的高速数据传输。在这一级，中央控制器（如 PLC/PC）通过高速串行线同分散的现场设备（如 I/O、驱动器、阀门等）进行通信，同这些分散的设备进行数据交换多数是周期性的。DP 型用于分散外设间的高速传输，适合于加工自动化领域的应用。

PROFIBUS-FMS：FMS 意思为现场信息规范，它的设计旨在解决车间一级通用性通

信任务。FMS 提供大量的通信服务，用以完成以中等传输速率进行的循环和非循环的通信任务。由于它是完成控制器和智能现场设备之间的通信以及控制器之间的信息交换，因此它考虑的是系统的功能而不是系统响应时间，应用过程通常要求的是随机的信息交换（如改变设定参数等）。强有力的 FMS 服务向人们提供了广泛的应用范围和更大的灵活性，可用于大范围和复杂的通信系统，如适用于纺织、楼宇自动化、可编程控制器、低压开关等一般自动化。

PROFIBUS-PA：对于安全性要求较高的场合，制定了 PROFIBUS-PA 协议，这由德国工业标准 DIN19245 的第四部分描述。PA 具有本质安全特性，它实现了 IEC1158-2 规定的通信规程。PROFIBUS-PA 是 PROFIBUS 的过程自动化解决方案，代替了 4~20mA 模拟信号的传输技术，在现场设备的规划、敷设电缆、调试、投入运行和维修等方面可节约成本 40%之多，并大大提高了系统功能和安全可靠性。因此，PA 尤其适用于石油、化工、冶金等行业的过程自动化控制系统。

PRIFIBUS 这三层协议使其成为能够提供制造业自动化、工程自动化、楼宇自动化以及电力自动化完整解决方案的唯一的现场总线系统。

2.1.1 PROFIBUS 协议结构

为了实现不同厂家生产设备之间的互连操作与数据交换，国际标准化组织制定了我们熟悉的开放系统互联分层模型，即 OSI（Open System Interconnection）参考模型，为异种计算机互联提供了一个共同基础和标准框架，并为保持相关标准的一致性和兼容性提供了共同的参考。OSI 参考模型促进了数据通信与计算机网络的发展，提供了概念性和功能性结构，将开放系统的通信功能划分为 7 层。

PROFIBUS 可将数字自动化设备从低级（传感器/执行器）到中间执行级（单元级）分散开来。通信协议按照应用领域进行优化，不需要复杂的接口都可以实现，它参考了 ISO/OSI 参考模型，但与 7 层模型不同的是，PROFIBUS 只采用了第 1 层、第 2 层，必要时采用第 7 层。第 1 层和第 2 层的导线和传输协议依据美国标准 EIA RS-485、国际标准 IEC 870-5-1 和欧洲标准 EN 60870-5-1，总线存取程序、数据传输和管理服务依据 DIN19241 标准的第 1 到 3 部分以及 IEC 955 标准，管理功能（FMA7）采用 ISO DIS 7498-4（管理框架）的概念。协议结构见表 2-1。

PROFIBUS-DP 只使用了 ISO/OSI 参考模型的第 1 层、第 2 层，并自定义了用户接口层，未使用 3～7 层，这种流体型结构保证了数据传输的快速有效。PROFIBUS-DP 的用户层包括直接数据链路映射(DDLM：Direct Data Link Mapping)、DP 的基本功能、扩展功能以及设备行规。DDLM 提供了方便访问现场总线数据链路层（FDL）的接口。DP 设备行规是对用户数据含义的具体说明，规定了各种应用系统和设备的行为特性。

表 2-1 PROFIBUS 的协议结构

	DP 设备行规	FMS 设备行规	PA 设备行规
用户层	基本功能 扩展功能		基本功能 扩展功能
	DP 用户接口 直接数据链路映射程序（DDLM）	应用层接口 （ALI）	DP 用户接口 直接数据链路映射程序（DDLM）
第 7 层（应用层）	未使用	现场总线报文规范 （FMS）	未使用
第 3～6 层	未使用		
第 2 层(数据链路层)	现场总线数据链路层 （FDL）	现场总线数据链路层 （FDL）	IEC 接口
第 1 层（物理层）	物理层 （RS-485/光纤）	物理层 （RS-485/光纤）	IEC 1158-2

PROFIBUS-FMS 定义了第 1、2、7 层，3～6 层没有定义，第 7 层由现场总线报文规范(FMS：Fieldbus Message Specification)和低层接口(LLI：Low Layer Interface)组成。FMS 包括了应用协议和提供的通信服务，LLI 协调不同的通信关系并提供不依赖设备的对第二层的访问服务。第二层可完成总线存取控制和数据的可靠传输。由于 PROFIBUS-DP 和 PROFIBUS-FMS 使用了同样的传输技术和统一的总线存取协议，因此，这两套系统可在同一根电缆上同时运行。

PROFIBUS-PA 使用扩展的 PROFIBUS-DP 协议进行数据传输，同时它还执行规定现场设备特性的 PA 设备行规。传输技术依据 IEC 1158-2 标准，确保本质安全和通过总线对现场设备供电。使用段耦合器可将 PROFIBUS-PA 设备很容易地集成到 PROFIBUS-DP 网络之中，即使在防爆区域的传感器和执行器也可以。PROFIBUS-PA 是为过程自动化工程中的高速、可靠的通信要求而特别设计的[13]。

2.1.2 PROFIBUS 传输技术

现场总线系统的应用在很大程度上取决于选用的传输技术，既要考虑一些总的要求(传输可靠性，传输距离和高速)，又要考虑一些简便而费用又不大的机电因数。当涉及过程自动化时，数据和电源的传送必须在同一根电缆上。由于单一的传输技术不可能满足所有的要求，因此 PROFIBUS 提供以下三种类型：DP 和 FMS 的 RS485 传输；PA 的 IEC 1158-2 传输；光纤(FO)传输[14][15]。

a. RS485 传输技术：PROFIBUS-DP 和 PROFIBUS-FMS 采用 RS 485 传输技术，在线性拓扑中采用屏蔽双绞线电缆连接以实现对称数据传输，这种技术称为 H2 传输技术。通过采用差分电压输出的 RS485 实现电流连接。DP 和 FMS 规定在一个总线段内的两端必须各设置一个终端器，如图 2-2 所示。当信号在总线上传输时，由于阻抗不连续会形成信号反射，导致传输信号畸变。因此，必须在传输线末端加电阻来消除阻抗不连续。所加电阻其值应尽量接近传输线的特征阻抗。而且，当总线上没有其它站处于发射状态时，发射器就禁止，使其处于高阻态，此状态下总线处于“1”。设计时在 D 型插座

的针脚 3 和 8 上分别加一上拉电阻和一下拉电阻，使所有的接收器总是处于允许状态。因此，在空闲状态下，每个接收器收到的都是“1”。特征阻抗值与导线的长度无关，一般为 100~165 Ω。

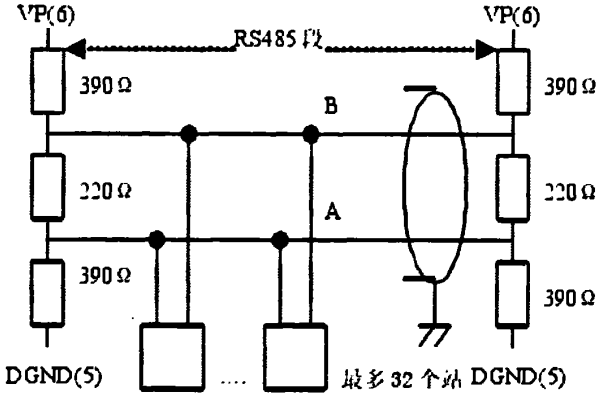


图 2-2 RS485 总线段的结构

EN50170 标准推荐两种类型的电缆：类型 A 和类型 B，见表 2-2。对于规定的导线参数，其总线段长度是不一样的。传输速率可在 9.6Kbit/s 和 12Mbit/s 之间选用。系统运行时，总线上的所有设备都应选用相同的传输速率，传输速率的高低取决于电缆的长度。如表 2-3 所示。

表 2-2 类型 A 和类型 B 的电缆比较

类型	特性阻抗 Ω	截面积 mm^2	上拉电阻 Ω	下拉电阻 Ω	中间电阻 Ω
类型 A	130～165	>0.34	390	390	220
类型 B	100～130	>0.22	390	390	150

表 2-3 RS485 传输速率与电缆的距离

波特率(kpbs)	9.6	19.2	93.75	187.5	500	1500	12000
距离(m)	1200	1200	1200	1000	400	200	100

按照 EN50170 标准，PROFIBUS-DP 采用 RS485 规范，为 9 针 D 型插头连接器，其管脚分配如表 2-4 所示。为了连接外部控制设备和维护设备，用户需要提供电流容量不少于 100mA 的 24V 电源。当从站站点连接到 DP 总线上时，每个站点应保证提供 5V 和 GND 信号到针脚 5 和 6，这样总线就可用终端电阻终止。在 DP 总线上可以连接 126 个站点，总线可分若干段，每段可以连接 32 个站，如果总线距离超过数据传输要求可加中继器来延长距离，但中继器要计为一个站。在数据线 A 和 B 两端需加总线终端下拉电阻(与数据传输地 DGND 相连接)和上拉电阻(与正 24V 供电电压相连接)。当总线上没有站发送数据时(即两个报文间总线令牌空闲状态时)，这两个电阻确保总线上有一个确定的空闲电位。

表 2-4 9 针 D 型插头针脚分配

针脚号	信 号	规 定
1	Shield	屏蔽/保护地
2	M24	24V 输出电压的地
3	* RxD/TxD-P	接收数据/传输数据阳极（+），B 线
4	CNTR-P	方向控制信号 P
5	* DGND	数据基准电位（地）
6	* VP	终端电阻供电电源（5V）
7	P24	输出电压+24V
8	* RxD/TxD-N	接收数据/传输数据阴极（一），A 线
9	CNTR-N	方向控制信号 N

注：）* 为每个站必须提供的信号

b. IEC 1158-2 传输技术：IEC 1158-2 传输技术能满足石化工业的要求，它可保持其本质安全性并使现场设备通过总线供电，此技术是一种位同步协议，可进行无电流的连续传输，通常称之为 Hl，适用于 PROFIBUS-PA。其传输技术特性如表 2-5 所示。IEC 1158-2 传输技术原理如下：

- 每段只有一个电源，供电装置；
- 站发送信息时不向总线供电；
- 每站现场设备所消耗的为常量稳态基本电流；
- 现场设备的作用如无源的电流吸收装置；
- 主总线两端起无源终端线的作用；
- 允许使用线、树型和星型网络；
- 设计时可采用冗余的总线段，用以提高可靠性。

表 2-5 IEC1158-2 传输技术特性

数据传输	数字式，位同步，曼彻斯特编码
传输速率	31.25kbps，电压式
数据可靠性	预兆性，避免误差采用起始和终止限定符
电缆	双绞线（屏蔽或非屏蔽）
远程电源	可选附件，通过数据线
防爆型	可以进行本质或非本质安全操作
拓扑	线型或树型，或两者相结合
站点数	每段最多 32 个，总数最多 127 个
转发器	可扩展至 4 台

使用 DP/PA 段耦合器，PROFIBUS-PA 设备能非常方便地集成到 PFOFIBUS-DP 网

络中[16]。

c. 光纤传输技术：在电磁干扰很大的环境下应用 PROFIBUS 系统时，可使用光纤导体以延长高速传输的最大距离。目前玻璃光纤能处理的连接距离达到 15Km，而塑料光纤只能达 80m。许多厂商，如 SIEMENS、Honeywell 公司提供专用的总线插头可将 RS485 信号转换成光纤信号或光纤信号转换成 RS485 信号，这样就使得同一系统上既可以使用 RS485 传输又能使用光纤传输。近几年来，光纤连接技术主要有光链路模块技术(OLM：Optical Link Module)、光链路插头技术(OLP：Optical Link Plug)和集成的光纤电缆连接技术。

2.1.3 PROFIBUS 总线存取协议

PROFIBUS 的 DP、FMS 和 PA 均使用单一的总线存取协议，通过 OSI 参考模型的第 2 层实现，包括数据的可靠性、传输协议和报文的处理。在 PROFIBUS 中，第 2 层称之为现场总线数据链路层(FDL：fieldbus data link)。介质存取控制(MAC：media access control)具体控制数据传输的程序，MAC 必须确保在任何时刻只能有一个发送数据。PROFIBUS 协议的设计旨在满足介质存取控制的基本要求：在复杂的自动化系统（主站）间通信，必须保证在确切限定的时间间隔内，任何一个站点要有足够的时间来完成通信任务；在复杂的程序控制器和简单的 I/O 设备（从站）间通信，应尽可能快速又简单地完成数据的实时传输。因此，PROFIBUS 总线存取协议包括主站之间的令牌传递方式和主站与从站之间的主从方式，如图 2-3 所示。

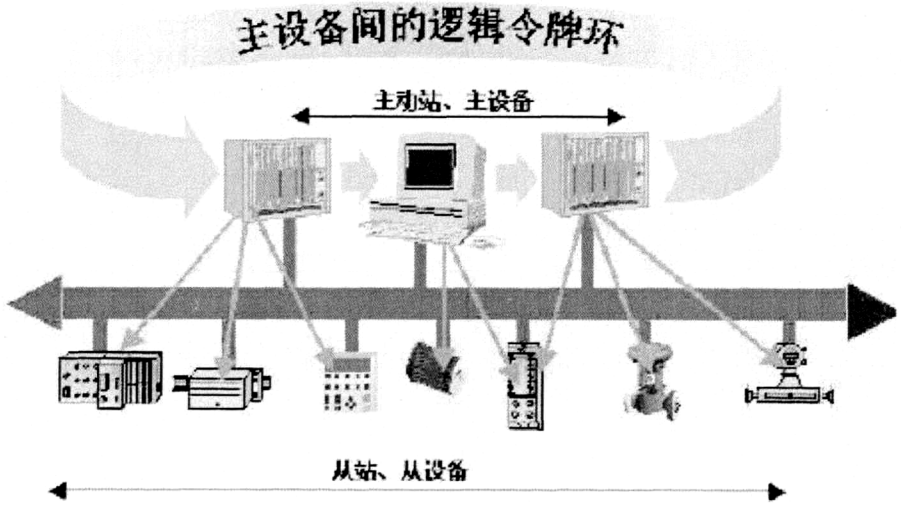


图 2-3 PROFIBUS 总线存取协议

令牌传递程序保证了每个主站在一个确切规定的时间框内得到总线存取权(令牌)，令牌是一条特殊的电文，它在所有主站循环一周的最长时间是事先规定的，在 PROFIBUS 中，令牌只在各主站之间通信时使用。

主从方式允许主站在得到总线存取令牌时可与从站通信，每个主站均可向从站发送或索取信息，通过这种方法有可能实现三种系统配置：纯主－从系统；纯主－主系统（带

令牌传递)；混合系统[17]。

图 2-3 中的三个主站构成令牌逻辑环，当某主站得到令牌电文后，该主站可在一定的时间内执行主站的工作，在这段时间内，它可依照主－从关系表与所有从站通信，也可依照主－主关系表与所有主站通信。

令牌环是所有主站的组织链，按照主站的地址构成逻辑环，在这个环中，令牌在规定的时间内按照地址的升序在各主站中依次传递。在总线系统初建时，主站介质存取控制的任务是制定总线上的站点分配并建立逻辑环。在总线运行期间，断电或损坏的主站必须从环中排除，新上电的主站必须加入环中。介质存取控制的特点是监测传输介质以及收发器是否损坏，检查站点地址是否出错，是否有地址重复，或者令牌丢失等等。

2.2 PROFIBUS-DP 技术基本特性

PROFIBUS-DP 用于传感器和执行机构的高速数据传输，它以德国标准 DIN19245 的第一部分为基础。PROFIBUS-DP 协议是为了自动化制造工厂中分散的 I/O 设备和现场设备所需要的高速数据通信而设计的。中央控制器周期地读取从站设备的输入信息并周期地向从站发送输出信息，总线循环时间必须要比中央控制的程序循环时间短。除周期性用户数据传输外，PROFIBUS-DP 还提供强有力的诊断和配置功能，数据通信是由主机和从机进行监控的[18]。

2.2.1 PROFIBUS-DP 的基本功能

（1）传输技术

RS485 双绞线双线电缆或光缆，波特率为 9.6kbps～12Mbps。

（2）总线存取

各主站间令牌传送，主站与从站间为主－从传送。支持单主或多主系统，总线上最多站点(主、从设备)数为 126。

（3）通信功能

PROFIBUS-DP 实行点对点或者广播通信方式，点对点也就是用户数据传输，广播也就是控制指令的传输。还支持循环主－从用户数据传输方式和非循环主－从数据传输方式。

（4）运行模式

PROFIBUS-DP 规定了三种运行模式，这些模式主要取决于 1 类主站的操作状态，1 类主站在一个预先设定的时间间隔以有选择的广播方式，将其状态发送给每一个有选择的从站。而 1 类主站的状态由本地或总体的配置设备所控制。

运行：输入和输出数据的循环传输，1 类主站由从站读取输入信息并向 DP 从站写入输出信息。

清除：1 类主站读取从站的输入信息，并使输出信息保持为故障/安全状态。

停止：只能进行主－主数据传输，1 类主站和从站之间没有数据传输。

（5）其它功能

除了以上的主要功能外，PROFIBUS-DP 还有诊断，同步、可靠性和保护机制等功能。如经过扩展的 PROFIBUS-DP 诊断功能是对故障进行快速的定位，诊断信息在总线上传输并由主站收集，分为本站诊断操作，模块诊断操作，通道诊断操作等；如控制指令允许输入和输出的同步；如 DP 从站带看门狗定时，DP 从站的输入输出存取保护，DP 主站上带可变定时器的用户数据传输监视等功能。

2.2.2 PROFIBUS-DP 系统配置和设备类型

PROFIBUS-DP 有三种设备类型：

（1）DP-1 类主设备，也就是中央处理器，它与从站（也就是分散的 I/O 设备）进行数据的交换，DP 允许若干个此类的主站，典型的设备有 PCL，PC 等，主要完成总线通信控制与管理。

（2）DP-2 类主设备，也就是组态、监视或者工程工具，它被用来设定网络或者参数，监视从站设备，包括操作员工作站、编程器、操作员接口等，完成各站点的数据读写、系统配置、故障诊断等。

（3）DP-从站设备，也就是直接连接 I/O 信号的外围设备，典型的设备是带二进制或模拟量的输入设备、输出设备、驱动器、传感器、阀门、操作面板等等，本文的设计是一个 PROFIBUS-DP 智能接口，用于 DP 从站设备，由主站完成系统配置、参数修改、数据交换等功能，对于哪些参数可以进行通信以及参数格式等是由 PROFIBUS 行规规定。

典型的 PROFIBUS-DP 配置是单主站结构，这种结构实现最短的总线循环时间，它的组成为：1 个 DP-1 类主设备，1 到多个 DP-从站设备（最多可达到 125 个从站设备），DP-2 类主设备可有可无。这种结构的通信基于主－从原理，即仅当主站请求时，总线上的从站才能活动。从站由主站按轮询表依次访问。如图 2-4 所示。

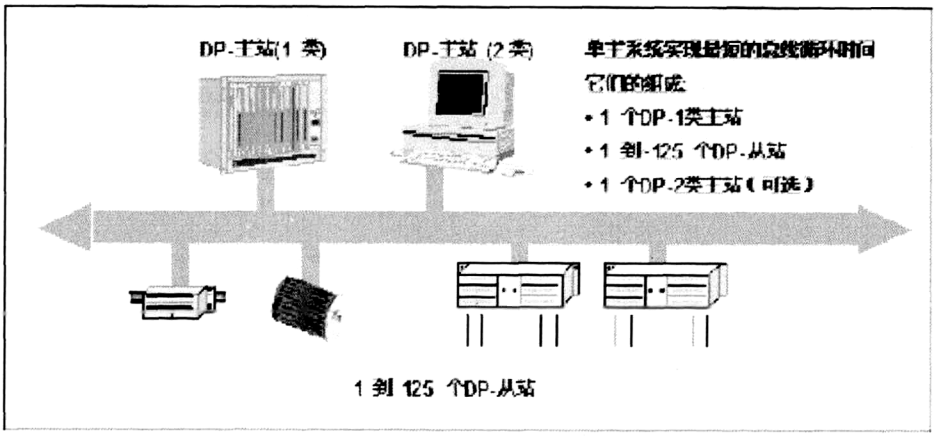


图 2-4 PROFIBUS-DP 单主站系统

还有一种结构为多主站结构，它的循环时间比单主站结构的循环时间短。这种结构

由多个主设备（1 类或者 2 类），1 到多个 DP 从站设备（1 个到最多可达到 124 个）构成，同一个总线上最多 126 个设备。在这种结构中，若干个 DP 主站可以用读功能去访问一个从站设备，如图 2-5。

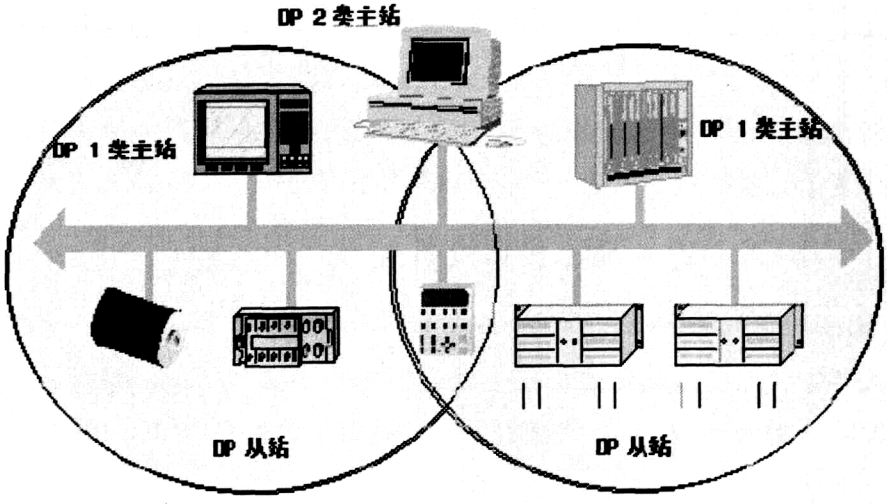


图 2-5 PROFIBUS-DP 多主站系统

2.3 物理传输方式及数据链路层服务的实现

2.3.1 物理传输方式

PROFIBUS-DP 通信采用半双工方式，编码方式为 NRZ 码(即非归零码)，一个字符在 PROFIBUS 总线上按 11 位传输，1 个起始位 0，8 位数据位，1 个奇偶校验位和 1 个停止位 1。最低有效位(LSB)被第一个发送，最高有效位(MSB)被最后发送。其传输信号如图 2-6 所示。当两数据线 RXD/TXD-P 与 RXD/TXD-N 之间为恒定正差分电压时代表“1”，负差分电压时代表“0”，其差分电压值范围为+2V～＋6V，-6V～-2V。总线上没有数据传输时，空载电位为“1”，起始位为“0”。在位持续期间，二值信号“0”或“1”不改变。

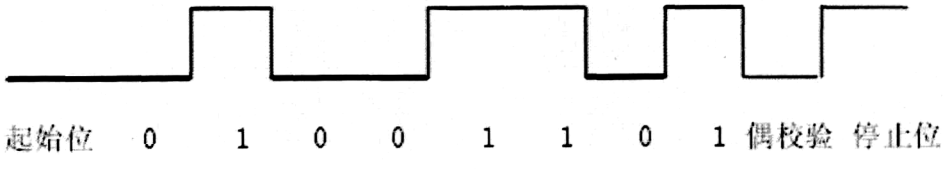


图 2-6 非归零码信号

2.3.2 数据链路层服务的实现[19]

数据链路层用于描述报文的一般格式、安全机制和可用的传输服务。数据链路层提供以下的服务：

（1）SDA(Send Data with Acknowledge)：发送有应答的数据(仅对 FMS)。主站(本地站)的 FDL 用户(本地用户)用这个服务发送数据到单个从站(远端站)，如果没有错误，从站(远端站)的 FDL 把数据提交给远端用户，主站(本地站)会接收到应答，报告数据是否被远端用户收到。出错时，本地用户会重发数据。

（2）SDN(Send Data with No Acknowledge)：发送没有应答的数据(对 DP 和 FMS)。本地用户可以通过此服务发送数据到一个、多个或全部的远端用户，实现组播和广播的功能。在数据发送结束时本地用户会接到来自链路层的确认，但只说明数据是否正常发送，数据是否到达远端用户不被确认。

（3）SRD(Send and Request Data with Reply)：发送和请求有应答的数据(对 DP 和 FMS)。此服务允许本地站发送数据到单个远端站，同时请求远端站已准备好的数据。此服务允许本地站只请求远端数据而发送数据为空。远端站的应答信息包括数据接收到、数据没有接收到、数据没有准备好。如果出错，则本地 FDL 会重发数据。

（4）CSRD(Cyclic Send and Request Data with Reply)：循环发送和请求数据(仅对 FMS)。服务允许本地用户循环的发送数据到远端用户，同时请求远端数据。允许发送数据为空，只请求远端的数据。本地用户会循环的接收到应答信息，包括数据接收到、数据没有接收到、数据没有准备好。PROFIBUS-DP 仅限于 SRD 和 SDN 服务。在 SRD 服务时，主站发送输出数据到从站并接收从站已经准备好的数据，从站在规定的时间周期内应答。SDN 服务发送数据到规定的一组从站，可按照要求触发 SDN 服务，对 SDN 报文没有应答。PROFIBUS-DP 协议的报文分为高优先级报文和低优先级报文。所有的请求报文都是高优先级报文。但是，在数据交换的时候，DP 从站的响应报文中，如果存在新的诊断信息，那么此报文就被以高优先级的形式发送。其它情况下，响应报文都是低优先级报文。

PROFIBUS-DP 采用异步非归零(NRZ)的编码方式，传输线的空载电平是“1”。为了避免数据传输中发生冲突所导致数据丢失，一个空载状态至少 33Tbit(同步时间)，在每个请求报文发送前必须保证此同步时间。在单个字符间所有数据传送没有间隙，即无缝的。报文各个部分的含义和缩写如下：

SD：起始定界符(区别报文类型)；

FC：帧控制字节，包含用于帧服务、优先权等的详细说明；

DU：数据字段，包含有效的数据信息；

LE/LEr：长度字节，指示数据字段的长度，LEr=LE；

DA：目的地址，指示接收到该帧的站；

SA：源地址，指示发送该帧的站；

DSAP：目的服务存取点，目的站用 DSAP 决定执行什么服务；

SSAP：源服务存取点；

ED：帧结束界定符(16H)。

每一个报文含有一个源服务存取点(SSAP)和一个目的服务存取点(DSAP)以指示要执行的服务。基于检测服务访问点(SAP)，每个站都能清楚地辨认出什么数据已被请求和需要提供什么样的响应数据。若地址字节 DA 或者 SA 的最高位为 1，说明该报文的数据单元 DU 中含有 DSAP(目的服务访问点)，SSAP(源服务访问点)的内容。在 PROFIBUS-DP

中 SAP 的作用是区分数据报文的服务类型，PROFIBUS-DP 定义了 10 种 SAP(服务访问点)服务，分别是：

*Default SAP：WRITE_READ_DATA 数据交换　　主站请求，从站响应

SAP53：保留

SAP55：SET_SLAVE_ADDRESS 改变站地址

*SAP56：READ_INPUT 读输入　　主站响应

*SAP57：READ_OUTPUT 读输出　　从站响应

*SAP58：GLOBAL_CONTROL DP 从站的控制命令　主站请求，从站响应

SAP59：GET_CONFIG 读配置数据　　从站响应

SAP60：SLAVE_CONFIG 读诊断信息　　主站请求，从站响应

SAP61：SET_PARAM 发送参数设置数据　　主站请求，从站响应

SAP62：CHECK_CONFIG 检查配置数据　　主站请求，从站响应

除了标*号的 Default SAP、SAP56、SAP57、SAP58，这四个 SAPs 在 DP 从站状态机制进入数据交换状态才使能，而其它的 SAPs 可以一直使能，当然也可以通过相应的缓存器指针的设置来使其无效。图 2-7 表示 1 类主站，2 类主站以及从站各自的服务，本文中所用到的是从站与 1 类主站之间的服务。

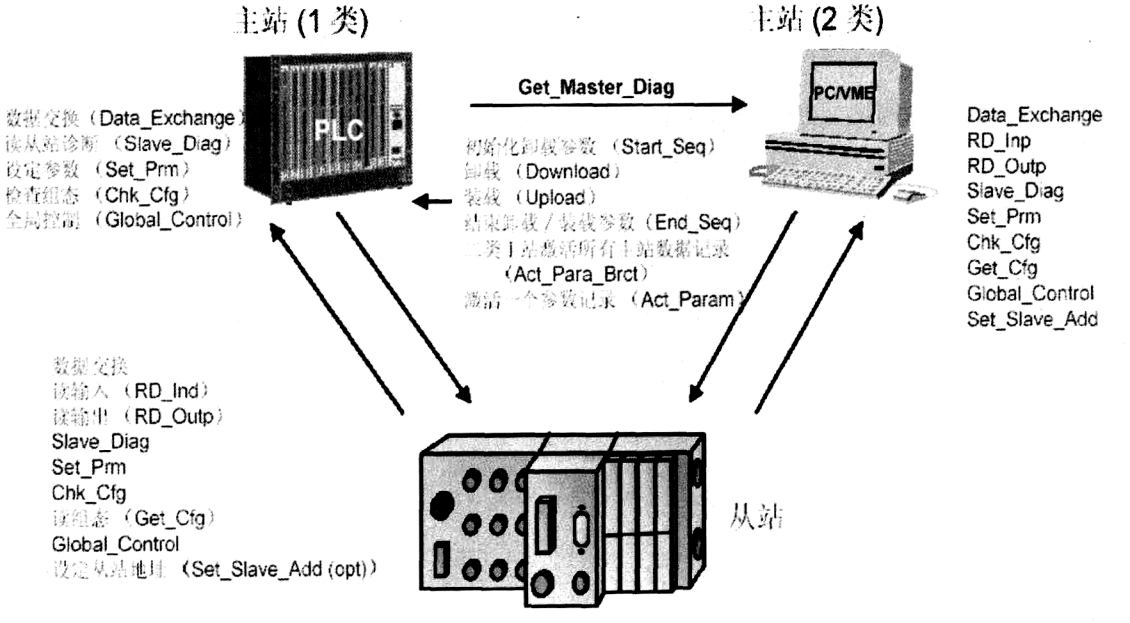


图 2-7 PROFIBUS-DP 的服务

2.4 PROFIBUS-DP 报文传输分析

2.4.1 PROFIBUS-DP 报文结构

PROFIBUS 根据起始定界符的不同，把报文分为五种：

（1）信息报文 SD1

信息报文一般用于主站向从站发送数据请求，其格式为：

SD1	DA	SA	FC	FCS	ED
10H	XX	XX	X	X	16H

（2）变长报文 SD2

变长度报文是 DP 中使用最多的形式，因为其长度可变，形式较灵活，可满足不同数据传输的要求。其格式为：

SD2	LE	LEr	SD2	DA	SA	FC	DSAP	SSAP	DU	FCS	ED
68H	X	X	68H	XX	XX	X	3CH	3EH	X	X	16H

（3）固定长度报文 SD3

固定长度报文的数据长度是固定的，所以使用不是很多，但在传输过程中准确率高，不容易出错。其格式为：

SD3	DA	SA	FC	DU	FCS	ED
A2H	XX	XX	X	X	X	16H

（4）令牌报文 SD4

令牌报文用于多主系统中的主一主通信，其格式为：

SD4	DA	SA	ED
DCH	XX	XX	16H

（5）短确认报文 SD5

用于从站对主站的响应，主站收到这些信息即证明从站的通信正常，其格式为：

SD5
E5H

2.4.2 PROFIBUS-DP 报文通信的基本顺序

图 2-8 为报文通信的基本顺序，为了使主站和从站进行数据交换，在启动时主站应遵守以下的报文顺序：(1)请求诊断；(2)改变站地址；(3)参数化从站；(4)组态从站；(5)在数据交换前请求诊断，以保证系统在启动状态；(6)数据交换；(7)全局控制。

其中，请求诊断报文、参数化从站报文、组态从站报文和全局控制报文也可串行传送。在目的地址(DA)和源地址(SA)中，如 MSB(最高位)=1，则报文报头中紧跟的是 DSAP 和 SSAP，如这一位是 0，对应于默认值 SAP（报文用于数据通信），则报文报头中没有 DSAP 和 SSAP。

在从站中，除了诊断报文外，其他报文都在中断程序中进行处理，报文包括参数化从站报文(PPM)、组态从站报文(CFG)、改变站地址报文(SSA)。另外，还要处理一些其它主站发送的信息，如数据交换开始或结束、全局控制命令等信息。

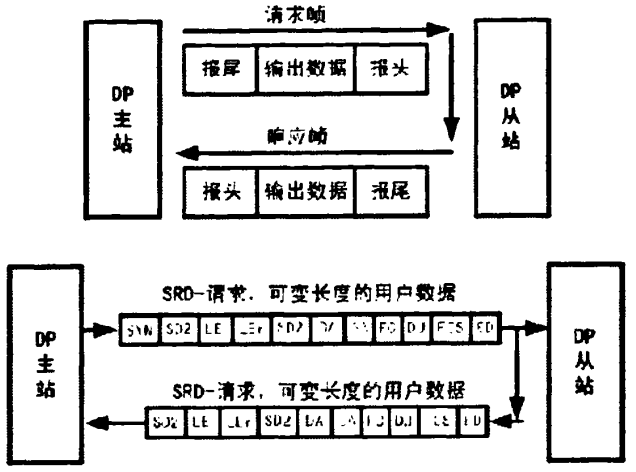


图 2-8 报文通信顺序

2.5 DP 状态机制的实现

要开发 PROFIBUS-DP 智能从站设备，首先必须了解从站的状态机制。从站的状态机制描述了 PROFIBUS-DP 从站在各种情况下的行为，以保证它的一致性。DP 从站有四种状态：POWER_ON（通电）、WAIT_PRM（等待参数化）、WAIT_CFG（等待组态）、DATA_EXCH（数据交换），图 2-9 为 DP 从站状态机制的简单图示。各个椭圆表示不同的状态，一个状态转换为另一个状态称为事件。带箭头的连线表示状态间的转换，连线上的文字表示状态转换所需满足的条件。

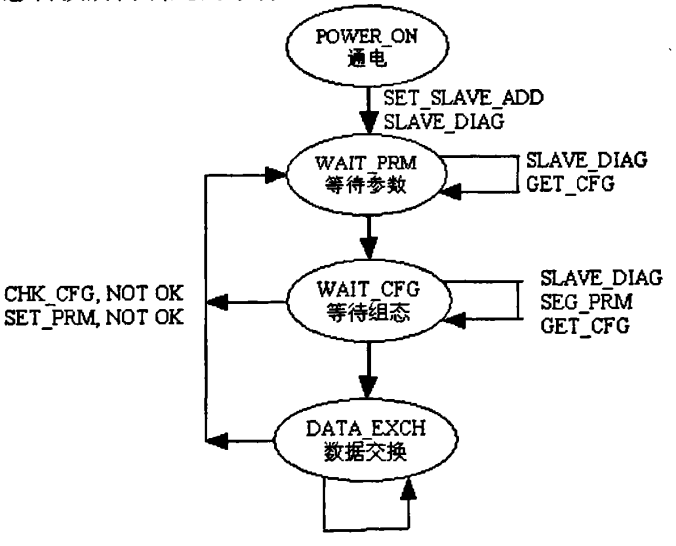


图 2-9 PROFIBUS-DP 状态机制

在通电的状态下，从站才能从主站接受 SET_SLAVE_ADD 报文（设置从站地址）来改变它的地址。启动后，从站进入参数化状态，等待参数化报文或 GET_CFG 报文。此时，从站排斥其它形式的报文或拒绝处理，不能进行数据通信。参数化完成以后，从站进入等待组态状态，等待 CHK_CFG 报文，还接受 SLAVE_DIAG、SET_PRM、GET_CFG

报文。如果 CHK_CFG 不正确，则返回参数化阶段；如果 CHK_CFG 正确，从站将进入数据交换状态，进行数据通信，此时从站还可接受 SLAVE_DIAG、GET_CFG、GLOBAL_CONTROL、READ_INPUTS、READ_OUTPUTS 等报文。如果数据交换不成功，也要返回参数化阶段，否则接续交换数据和接受报文。在参数化时，从站接收到看门狗定时器的值，如果总线拥挤而未能触发看门狗，状态机制进入故障安全状态等待参数化。对 DP 状态机制的实现，大量使用了结构体数据，部分注解如下：

```
INT_REQ_REG                 //中断请求寄存器
INT_REG                     //中断寄存器
INT_SHE                     //中断屏蔽
STATUS_REG                  //状态寄存器
WRITE_READ AREA             //读写区域
SLAVE_DIAG                  //诊断标志
SET_PARAM                   //参数化标志
CHECK_CONFIG                //组态标志
SLAVE_ADDRESS               //从站地址
WATCHDOG_TIMER              //看门狗定时器
R_LEN_DOUT_BUF              //输出缓存器长度
R_LEN_DIN_BUF               //输入缓存器长度
BITLEN_DIAG                 //诊断位长度
SEGADDRESS_DIAG             //诊断段地址
LEN_ASS_BUF                 //辅助缓存长度
SEGADDRESS_ASS_BUF          //辅助缓存段地址
SLAVE_SEGADDRESS            //从站段地址
GLOBAL_CONTROL              //全局控制
```

2.6 本章小节

本章首先从协议结构、传输技术以及总线存取协议三个方面介绍 PROFIBUS 现场总线技术的基本概念，这些基本概念对 PROFIBUS 总线技术的三个兼容版本(DP、FMS、PA)都是通用的。针对本文的研究内容，重点介绍了 PROFIBUS-DP 现场总线技术，包括 PROFIBUS-DP 的基本功能、设备类型以及单主系统和多主系统的配置。随后介绍了 PROFIBUS-DP 物理层的传输方式和数据链路层提供的四种服务功能，以及用户如何通过 SAP 调用数据链路层所提供的服务，在报文传输方面重点介绍了 PROFIBUS-DP 现场总线的五种报文结构和主站与从站之间报文通信的基本顺序。最后介绍了从站状态机制的工作原理和过程。这部分对 PROFIBUS-DP 现场总线基本理论的介绍将有助于 DP 从站接口卡软硬件的开发和设计。

第三章 PROFIBUS-DP 从站接口卡的硬件设计

3.1 从站接口卡的实现方法

由于 PROFIBUS-DP 现场总线是开放的，与制造厂商无关，无知识产权保护的标准。因此，任何人都可以获得这个标准并设计各自的软、硬件解决方案。原则上，PROFIBUS-DP 协议可以在任何带有异步串行通信接口(UART)的微控制器(MCU)上实现。所以基于上述特点，对下面的三种解决方案进行分析，选择一种在理论和实际上都比较适合于本课题的方案进行开发[20]。

3.1.1 控制器+软件的解决方案

软件实现是直接使用 MCU 微控制器，完全利用软件实现 PROFIBUS-DP 协议。如图 3-1。

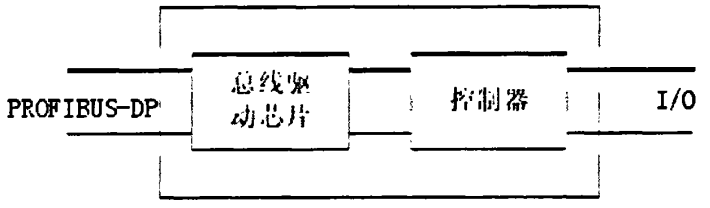


图 3-1 PROFIBUS-DP 从站软件实现框图

软件实现包括在 MCU 中编程实现 PROFIBUS-DP 的全部功能，诸如 PROFIBUS-DP 通信协议、数据链路层 FDL 服务存取点 SAP 程序编写等，有相当大的开发难度。该实现方式不仅程序编写工作量较大，开发周期长，而且对开发人员的要求较高，需要开发人员透彻了解 PROFIBUS-DP 技术细节。虽然软件实现方式只需外加总线接口驱动芯片、晶振等，硬件相对较简单，但由于传输速率受 MCU 芯片工作频率的限制，即使采用 40MHz 晶振，软件实现传输速率仍突破不了 500Kbit/s。因此只有少数国外公司使用该方法开发从站接口。

3.1.2 控制器+ASIC 的解决方案

硬件实现是利用从站协议芯片，即利用硬件实现协议功能。目前世界上许多公司提供了集成 PROFIBUS 协议的芯片，有的芯片可用来实现简单从站，有的芯片可以实现复杂智能从站。这些芯片大都集成了 PROFIBUS-DP 绝大部分协议，可使开发人员抛开复杂总线通信协议编写，只需通过总线接口访问 FDL 的服务存取点，访问当前各种报文信息的 BUF 即可。开发需要进行电路设计制作，单片机与 ASIC 的结合，编写 GSD 文件，最后进行调试。因此，相对于第一种方案，可降低开发难度和成本，开发周期较短。同时由于使用硬件实现协议，可以确保接口协议的可靠性[21]。

3.1.3 应用嵌入式 PROFIBUS 总线桥技术的解决方案

应用嵌入式 PROFIBUS 接口开发 PROFIBUS 产品有完整的解决方案。实现的方法：使用嵌入式 PROFIBUS 接口，按照接插件和管脚定义，改产品电路板(可能涉及结构的调整)。将用户样板源程序，连接到用户产品软件中，按照一个推荐的调试系统和 GSD 文件调试产品。此方案技术仅取决于选择使用嵌入式 PROFIBUS 接口型号。此方案的开发人员不必了解 PROFIBUS 技术细节，周期短，但费用很高[22]。

鉴于上述三种方案的分析与比较，本文采用 MCU 微控制器+PROFIBUS 通信专用协议芯片 ASIC 的解决方案来实现 PROFIBUS-DP 从站的开发和协议转换功能。

3.2 核心器件介绍

3.2.1 微处理器 STC89C51

STC89C51RC 系列单片机是宏晶科技公司推出的新一代超强抗干扰、高速、低功耗的单片机，指令代码完全兼容传统的 8051 单片机，12 时钟机器周期和 6 时钟机器周期可以任意选择。其特点如下：

• 工作电压宽：3.4V－5.5V（5V 单片机），2.0V－3.8V（3V 单片机）；

• 工作频率范围：0－40MHz，相当于普通 8051 的 0－80MHz。实际工作频率可达到 48MHz；

• 用户应用程序空间 4K，片上集成 512 字节 RAM；

• 通用 I/O 口（32/36 个），复位后为：PI/P2/P3/P4 是准双向口，弱上拉。P0 口是开漏输出，作为总线扩展用时，不用加上拉电阻；作为 I/O 口用时，需加上拉电阻；

• ISP（在系统可编程）/IAP（在应用可编程），无需专用编程器/仿真器。可通过串口（P3.0/P3.1）直接下载用户程序，8K 程序 3 秒即可完成一片；

• 共 3 个 16 位定时器/计数器，其中定时器 0 还可以当成 2 个 8 位定时器使用；

•外部中断 4 路，下降沿中断或低电平触发中断，Power Down 模式可由外部中断低电平触发中断方式唤醒；

• 通用异步串行口（UART），还可用定时器软件实现多个 UART；

• 工作温度范围：0－75℃/-40－+85℃；

• 封装：PDIP-40，PLCC-44，PQFP-44。

3. 2. 2 IL485 芯片

SPC3 集成了全部的 PROFIBUS-DP 协议，但是对于传输技术只集成了部分功能，没有集成模拟功能，即 RS-485 驱动器，这里所用到的是光电隔离 RS485 接口驱动器 IL485 芯片，是一个电流隔离的、高速传输总线的收发器，在平衡传输线上可进行双向数据交换。IL485 是一个隔离的 RS-485 接口在标准的 16 脚 SOIC 封装，能满足 ANSI 标准的 EIA/TIA-422-B 和 RS-485，同时，它也能用 3.3V 的电压驱动。有 1ns 的脉冲响应和 16ns

的传播延时，对于 PROFIBUS 非常的适用，而且 IL485 可以提供最高达到 35M 波特率。

其主要的引脚及其功能：引脚 3 为从总线输出数据（R），引脚 5 为驱动使能（DE），引脚 6 为数据输入到总线（D），引脚 12 为类型 A 总线，引脚 13 为类型 B 总线。

3.2.3 协议芯片 SPC3

为了使可编程控制器之间简单快速地交换数据，Siemens 公司为他的用户提供了不同的 ASIC 芯片，如 SPC2、ASPC2、SPC3、SPC4 等。这些 ASIC 基于并完全遵从 PROFIBUS DIN 19245 的第一部分和 DRAFT 的第二部分中关于个人 PLC 站间的数据传输规则。

SPC3 (Siemens PROFIBUS Controller)被直接建立在 OSI 模型的第一层，并需要一个额外的微处理器来应用第二层至第七层。其中第二层的有关总线协议的部分已集成在芯片中，剩下的第二层的功能如用户接口，数据管理等，就需要附加的微处理器来完成。下面我们主要介绍在本课题中用到的 ASIC_SPC3 协议专用芯片[23]。

SPC3 是一种应用于从站或从设备的智能通信芯片，它用在与 PROFIBUS-DP 连接的接口模板中，可独立完成全部 PROFIBUS-DP 协议的通信功能，从而加速通信协议的执行，相应的减少了接口模板上微处理器的软件长度。总线的存取由硬件驱动，数据的传送通过一个 1.5K 字节的内部 RAM 进行。与应用对象之间的接口采用数据接口，因此，数据的交换是独立于总线周期的。为了便于与接口模板上微处理器的协调运行，系统还提供了具有调用接口的单片机固态程序。

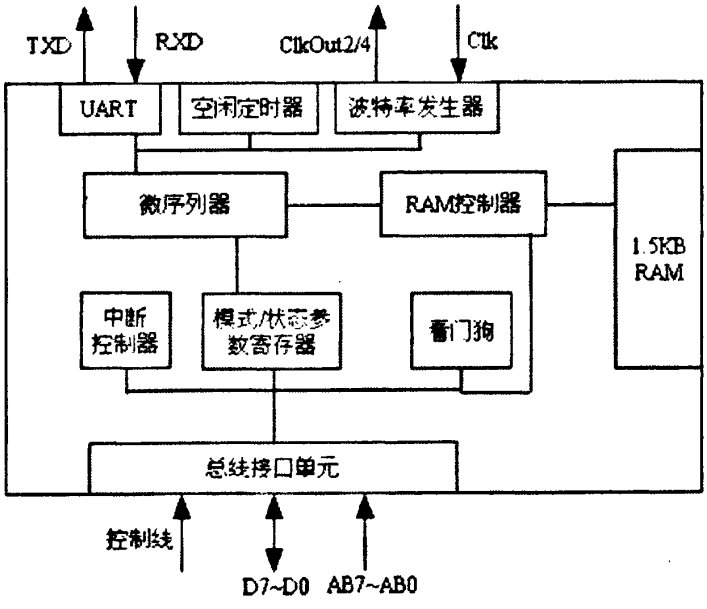


图 3-2 SPC3 内部结构

SPC3 是优化的 PROFIBUS-DP 智能从站协议芯片，其内部结构示意图如 3-2 所示。SPC3 集成有完整的 DP 协议，能自动检测波特率从 9.6k 到 12M，集成有 1.5k 的 RAM 和方式寄存器、状态寄存器、中断寄存器及各种缓冲器指针、缓冲区等。SPC3 有 8 根

数据线和 11 根地址线，其中低 8 位地址线与数据线复用。SPC3 本身有地址锁存功能，不须另加锁存器。SPC3 自身可以产生片选信号，它的地址范围为 0x1000－0x1FFF。SPC3 的方式寄存器 0 用来设置 PROFIBUS-DP 的操作方式，方式寄存器 1 用来设置可动态改变的状态。一个保护监视定时器(WATCHDOG)集成在 SPC3 中，如应用处理器有故障则禁止 PROFIBUS-DP 通信，因而不至于危及外围设备。SPC3 有一个公共的中断输出，可以通过读取中断寄存器来判断中断源的性质。中断源包括 New_GC_Command、New_SSA_Data、New_Cfg_Data、New_Prm_Data、Diag_buffer_Changed、DX_OUT 等。作为 SPC3 的心脏，微顺序控制器控制整个工作过程，它包括有完整的 PROBIBUS-DP 协议。遵照 EN50170 标准，SPC3 主要性能指标有[24]：

- 支持 PROFIBUS-DP 协议；
- 最大数据传输率达 12Mbit/s，可自动检测并调整数据传输速率；
- 与 80C32、80X86、80C166、80C165、80C167、HC11、HC16、HC916 系列芯片兼容；
- 44 管脚的 PQFP 封装；
- 集成了 1.5K 数据通信 RAM；
- 集成的看门狗定时器(WATCHDOG TIMER)；
- 外部时钟接口频率为 24MHz 或 48MHz。

下面将 SPC3 内部重要的寄存器给予具体的介绍：

（1）方式寄存器

它分为两个 16 位方式寄存器 0 和方式寄存器 1。方式寄存器 0 设置特殊的 PROFIBUS-DP 操作方式，包括 PROFIBUS-DP 参数如：$\min T_{SDR}$、SYNC(输出同步)、FREEZE(输入的锁定)、中断极性的参数化等。方式寄存器 1 设置动态可改变的参数，如 EOI(中断中止)和启动/停止 PROFIBUS-DP 等，一个监视定时器(Watchdog)集成在 SPC3 芯片中，如应用处理器有故障则禁止通信，而不危及外围设备。

（2）中断控制器

通过中断控制器（最多可存储 16 个中断时间）通知处理各种中断信息和错误事件，如图 3-3 所示，通过中断控制器，中断事件被传送到共同的中断输出（X/INT 引脚），SPC3 的中断控制器不提供优先级和中断矢量。

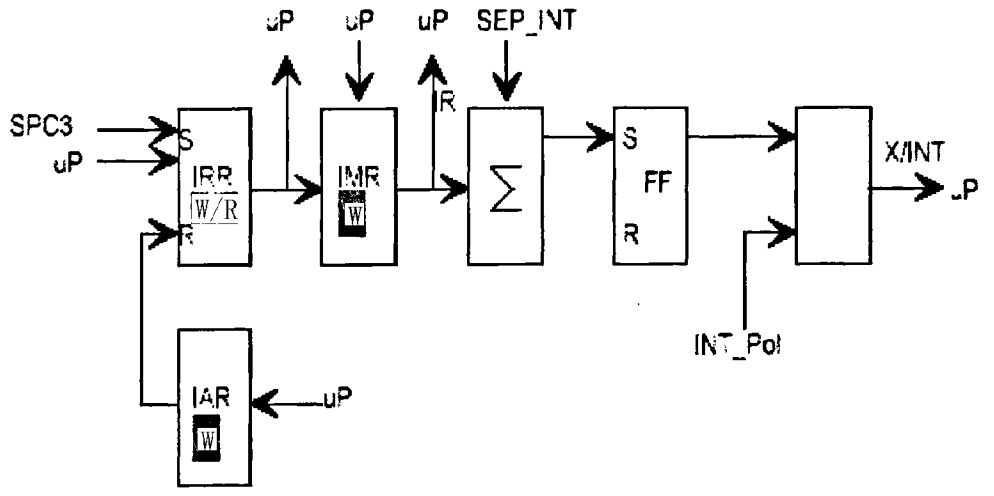


图 3-3 SPC3 的中断控制器

包括 4 个寄存器：中断请求寄存器（IRR：Int_Req_Reg），中断屏蔽寄存器（IMR：Int_Mask_Reg），中断寄存器（IR：Int_Reg），中断响应寄存器（IAR：Int_Ack_Reg）。

IRR（中断请求寄存器）：其地址为 00H 和 01H，其详细信息见表 3-1。SPC3 共有 14 个中断源，但 SPC3 并未提供中断优先级控制和中断矢量，在接收到 PROFIBUS 主站传送的不同输出数据（New_GC_Command；New_SSA_Data；New_Cfg_Data；New_Prm_Data；Diag_buffer_Changed；DX_OUT）或者是外部操作事件时（看门狗定时器时间到、检测波特率、数据交换等），IRR 的相应中断标志位被置位，产生中断请求。IRR 可读可写，写时主要用于调试。

表 3-1 IRR 的位描述

ADD	7	6	5	4	3	2	1	0	NAME
00H	Res	Res	Res	User_Timer _Clock	WD_DP_Mode _Timeout	Baud_rate _Detect	Go/Leave Data_EX	MAC_ Reset	Int_Req_ Reg7..0
ADD	15	14	13	12	11	10	9	8	NAME
01H	Res	Res	DX_ OUT	Diag_buffer _Changed	New_Prm _Data	New_Cfg _Data	New_SSA _Data	New_GC_ Command	Int_Req_ Reg15..8

IMR（中断屏蔽寄存器）：地址为 04H 和 05H。在 SPC3 初始化阶段，用户可以对 IMR 进行设置，以允许或禁止各种中断。若 IRR 中断请求未被 IMR 中的相应位屏蔽，SPC3 就会通过公共的中断输出端输出中断信号给微处理器，或者由微处理器通过在应用程序循环中轮询中断标志位来实现相应的操作。对于实时性要求严格的系统，应采用中断方式进行输出数据和诊断数据处理。IMR 只可写，复位时为全 1。

IR（中断寄存器）：地址为 02H 和 03H。IR 为 IMR 的输出，当有中断源（未被 IMR 禁止的中断）通过公共的中断输出向微处理器发出中断请求时，微处理器必须读取 IR 的值，以确定是哪个中断请求。IR 只可读，复位时全 0。

IAR（中断应答寄存器）：地址为 02H 和 03H。用户处理完一种中断时，必须置 IAR

的相应位，表示中断处理完，从而取消这种中断(New_Prm_Data、New_Cfg_Data 除外)。IAR 只可写，复位时全 0。当 SPC3 中断结束后，用户必须对方式寄存器 1 中的 EOI 置位（即 EOI=1），中断信号线失效。

（3）微顺序控制器

作为 SPC3 的心脏，微顺序控制器通过状态寄存器控制整个过程。在 UART 中，并行数据流变换成串行数据流和将串行数据流变换成并行数据流，在第一个字符发送之前，SPC3 生成 Request_To_Send(RTS)信号。它以发送速率的 4 倍速率扫描串行的数据流。PROFIBUS-DP 协议的一个要求是在报文字符间不允许有空闲状态，SPC3 的 UART 保证满足这个要求。SPC3 需要一个外部 48MHz 的时钟脉冲源，此外，SPC3 配有一个时钟分频，它将外部脉冲 2 分频或 4 分频在 CLKOUT2/4 针脚上输出，因而允许低成本的较慢速度的微处理器并不需要任何附加费用，时钟脉冲直接送出，与 RESET'情况无关。

（4）SPC3 存储器的配置

在 SPC3 中有 1.5K 的存储器，地址空间为 00H－5FFH，按功能区分，可分为三个区域，如表 3-2 所示：

表 3-2 SPC3 存储器分配

地 址	功 能	
000H	处理器参数寄存器区（22 个字节）	内部工作单元
016H	配置参数寄存器区（42 个字节）	
040H	DP 缓冲器：数据输入（3） 数据输出（3） 诊断（2）	
	设置参数（1） 配置数据（2） 辅助缓冲器（2）	
5FFH	从站地址缓冲器（1）	

SPC3 的内部集成了 1.5K 双端口 RAM，其地址空间从 000H 到 5FFH，内部以 8 个字节为一个单元，分成 192 段。RAM 空间以功能区分，可分为三个区域：000H～015H，016H～03FH，040～5FFH。

从 000H 到 015H 为方式设定和状态指示寄存器区域。中断请求寄存器可读可写，写时要用于调试：必须配置的还有中断屏蔽寄存器、工作模式寄存器 0 和 1，在 SPC3 启动后，加载过程指定参数；看门狗用于波特率控制的定时值寄存器；还有从站最小延迟时间寄存器。用于指示 SPC3 工作情况的寄存器有：中断请求和中断发生寄存器、状态寄存器。

从 016H 到 03FH 为配置参数区域，各种 BUF 的指针与长度(包括本站地址、地址允许改变变量、用户看门狗值和设备标识号)在此区域设置。这些 BUF 包括三个输入 BUF、三个输出 BUF、两个诊断 BUF 和一个地址设置 BUF。这里的输入输出是相对于主站而言。值得注意的是各个 BUF 的指针定义，此处的指针指的是段序号。由于各个 BUF 的长度必须是 8 字节的整数倍，即各 BUF 的起始地址能被 8 整除，所以可以用段序号(0～

191)标识出具体的 BUF 起始地址。

从 040H 到 5FFH 的 1471 字节为用户区域，它们用来接收来自 I/O 应用和主站的数据。这些 BUF 的配置，包括 BUF 的长度和初始地址必须在 SPC3 的“离线状态(offline state)”下完成。在操作过程中，除了 Dout_buf 和 Din_buf 的长度可变外，其它配置不能更改。用户 I/O 可以通过中断或者轮循方式与 SPC3 交互数据，具体操作如图 3-4 所示。

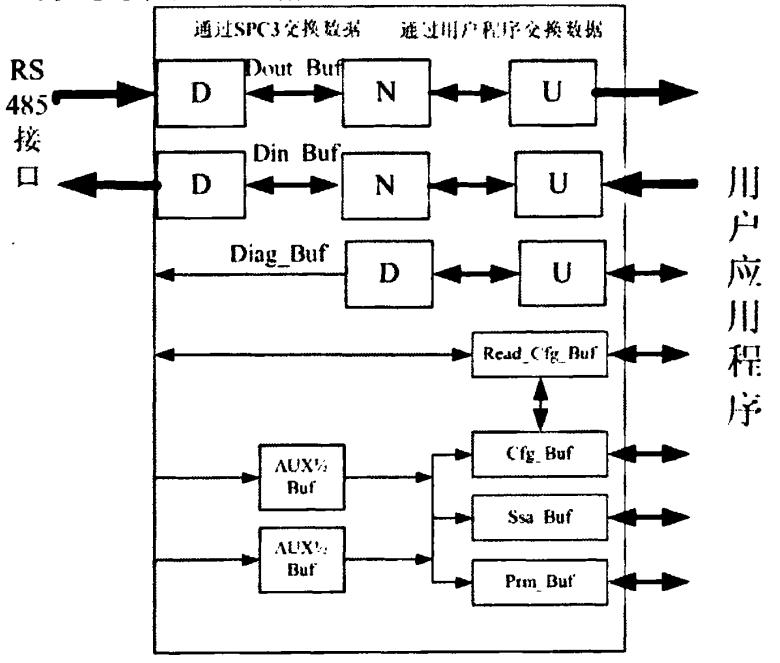


图 3-4 SPC3 数据缓存器的结构

总线上串行数据经过 UART 转换为并行数据进入 SPC3，SPC3 自动识别并接收传送给本站的数据报文。它根据报文结构的不同，识别出不同的服务访问点，将数据存进对应的 BUF。图 3-4 中三个 Dout_buf 具有相同长度，其中的 D 对应于数据传输，U 对应于用户应用，而 N 为中间 BUF。当 SPC3 接收到新的 Dout 报文后，SPC3 迫使 D 与 N 相互交换。当中断请求寄存器置位后，用户可以通过轮循诊断标志或通过中断进行 U 与 N 的交换，从而完成 Dout 数据的传送。U、N 和 D 由 Dout_buf_SM 寄存器决定对应于那一个 Dout_buf_ptr，交换实际上是 Dout_buf_SM 中相应位的改变。当用户应用有新的数据需要传送到主站时，用户将数据传到 Din_buf 中的 U，然后请求数据传送，主站响应这个请求并迫使 SPC3 进行 D 与 N 的交换，从而达到数据输入的目的。这里的 D、N 和 U 由 Din_buf_SM 决定。对于诊断信息，标准的诊断信息自动形成并传送，有关用户的诊断必须由用户输入到诊断 BUF，由用户请求数据传送。

用户进行诊断信息输入前，必须检查是否有可用的诊断 BUF。Cfg_buf、SSA_buf 和 Prm_buf 的数据传送必须借助于辅助 BUF，由 Aux_buf_sel 寄存器决定借助于那个辅助 BUF。当 SPC3 工作于特定参数模式时，参数 BUF 跳过辅助 BUF 与 UART 相连。辅助 BUF 与配置、参数化和地址设置 BUF 的数据交换由 SPC3 自动完成，用户只需在相

应的中断请求字节置位后，取出相应的数据即可。

（5）看门狗定时器

SPC3 的看门狗定时器有三个功能：自动确定波特率、波特率监视、响应时间监视。它们三者之间的状态转换如图 3-5 所示：

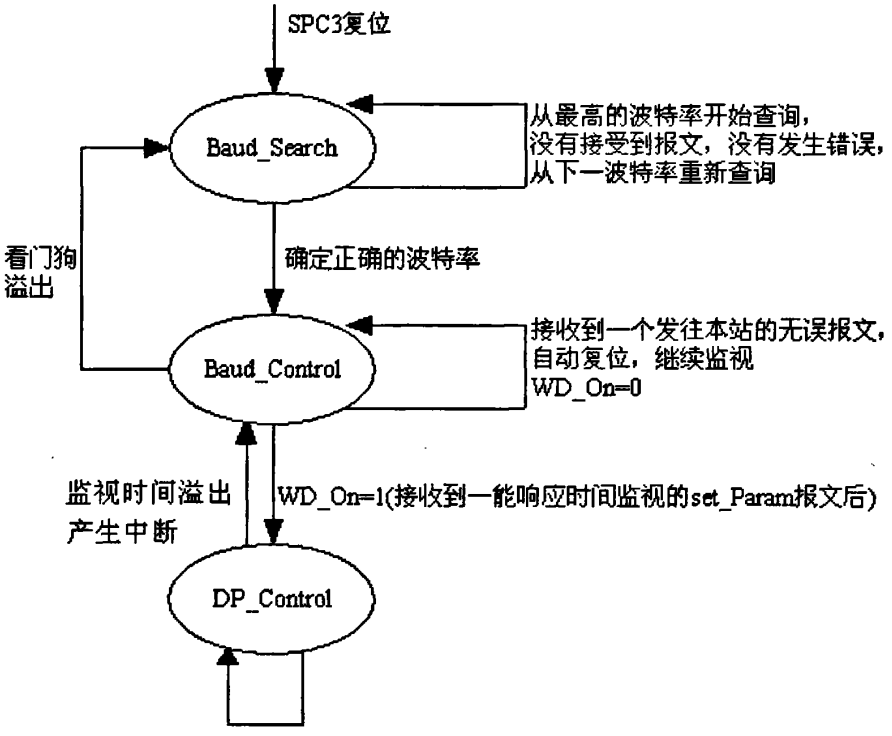


图 3-5 SPC3 看门狗定时器的状态

SPC3 能够自动确定波特率，每次复位或者在 Baud_Control 状态时看门狗溢出后，SPC3 自动进入 Baud_Search 状态（这些状态可在状态寄存器中读出）。协议规定 SPC3 从最高的波特率开始查询，在监控时间内，如果没有接受到 SD1、SD2 或 SD3 报文，并且没有错误，SPC3 将从下一级波特率开始查询。一旦确定正确的波特率，SPC3 进入 Baud_Control 状态。

波特率监视状态，在 Baud_Control 状态下，看门狗不停的监视波特率。监视时间可参数化（监视时间=用户设置参数*时间基址 10ms）。每接收到发往本站的正确报文后，看门狗自动复位。如果监视时间溢出，看门狗状态机重新回到 Baud_Search 状态。

如果用户执行 SPC3 的 DP 协议，并接受到一个能响应时间监视的 Set_Param 报文后，WD_On=1，看门狗工作在 DP_Control 状态。若 WD_On=0，看门狗一直工作在波特率监视状态。

响应时间监视，DP_Control 状态能响应 DP 主站的时间监视。监视时间可以是 2ms~650s 之间的值，取决于看门狗因子，与波特率无关。如果监视时间溢出，SPC3 回到 Baud_Control 状态，SPC3 产生中断。另外，DP 状态机制复位，也就是产生缓存器管

理的复位。如果其它主站接受 SPC3，则转入 Baud_Control（WD_On=0），或在 DP_Control 下产生延时（WD_On=1），与响应时间监视使能有关（WD_On=0）。

3.3 PROFIBUS-DP 从站接口卡的总体设计

本论文主要是在了解掌握 PROFIBUS-DP 的基础上，开发 DP 从站接口卡，使电动执行机构能够接入 PROFIBUS 网络。我们采用专用 ASICs 芯片与 51 单片机进行硬件电路的设计。原理框图如图 3-6 所示[25][26]：

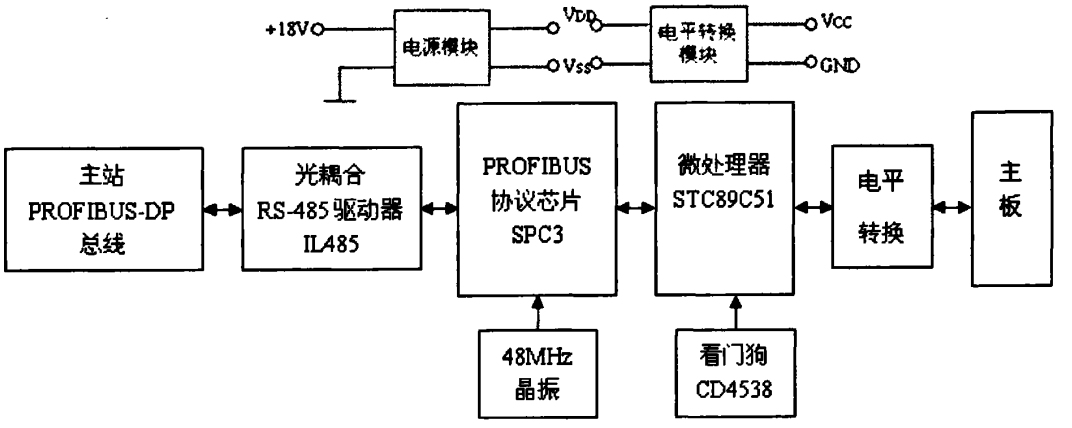


图 3-6 PROFIBUS-DP 总体硬件设计框图

从站由 DP 卡和主板（电动执行机构）构成。整体的硬件电路有单片机 STC89C51、协议芯片 SPC3、带光电隔离的 IL485 芯片的通信接口、电压转换、DP 卡与执行器（主板）之间的通信接口等组成。DP 卡与主站之间以 RS-485 总线的形式进行数据交换。SPC3 是 PROFIBUS-DP 专用的协议芯片，负责把主站送来的数据拆包，送往单片机，同时把单片机送来的数据打包，送往主站；STC89C51 是主板与 SPC3 的桥梁，负责初始化和协议转换。同时，DP 卡也保留了开关量控制和模拟控制部分，满足用户 4~20mA 模拟控制的需求。在该方案种，DP 卡是一块独立的印刷线路板，在接入 PROFIBUS 总线网络时使用。将硬件电路分成以下几个部分介绍，本论文中给出了部分电路和示意图，详细原理图和 PCB 线路板[27][28]见附录 1 和附录 2，DP 接口卡实物图见附录 3。

3.4 系统硬件设计

3.4.1 STC89C51 与 SPC3 接口电路

设计中最主要的是 STC89C51RC 微处理器与 SPC3 的连接，如图 3-7 所示。SPC3 相当于处理器扩展的一个外部 RAM，SPC3 内部有地址锁存电路，AB_5~AB_{10} 接地。我们通过 11 位地址线和 8 位数据线进行数据交换，此处设计的时候，用到 AB4~AB0 这 5 位地址线和 DB7~DB0 这 8 位数据地址复用总线。DB7~DB0 可以产生低 8 位的地址，高 5 位有 AB4~AB0 产生。可寻址范围为 0000H~1FFFH。满足 SPC3 内部的 1.5K 的空间的寻址（1000H~15FFH）。由于软件开发采用汇编语言编程，所以 STC89C51 内部的存储

空间足够满足设计要求，所以无需再接外部的 RAM，如果采用高级语言进行软件设计，则需要考虑外部 RAM[29]。

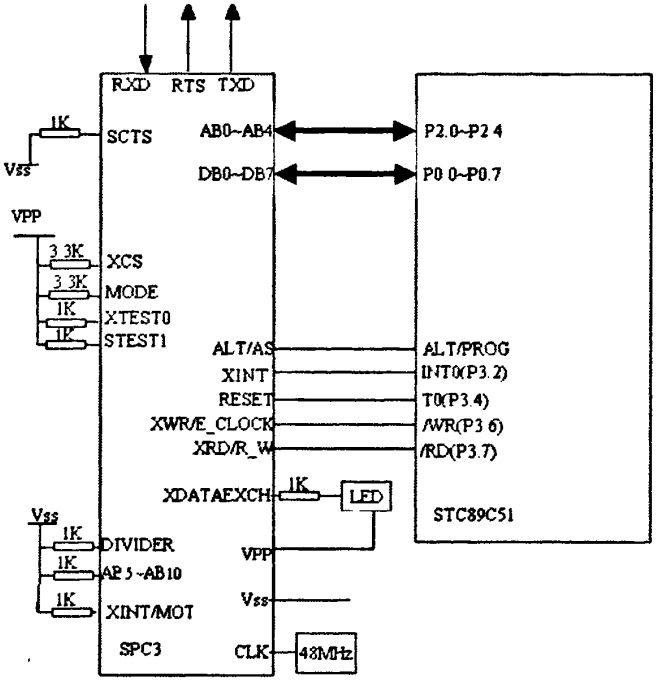


图 3-7 SPC3 与 STC89C51 接口电路图

空间分配如下：

起始地址	结束地址	用途
0000H	03FFH	STC89C51RC 内部存储空间（1K*8 XRAM 和 256*8 RAM）
1000H	15FFH	SPC3 内部的 RAM （1.5K*8）

在 XDATAEXCH 引脚接上一个发光二极管，是为了在 SPC3 与 PROFIBUS-DP 交换数据的时候的状态由发光二极管来显示，即在交换数据的时候，二极管亮。

3.4.2 RS485 驱动器接口

SPC3 与 IL485 之间采用串行通信，用于通信的 4 个引脚分别为 XCTS、TXD、RXD 和 RTS，连接如图 3-8 所示。其中 XCTS 为清除发送信号，是 SPC3 的输入信号，此信号低电平有效，表示允许 SPC3 发送数据。SPC3 的发送一直有效，所以这个引脚接低电平。RXD 和 TXD 分别表示串行数据的接收和发送端口，RTS 接 RS485 驱动器的输出使能端口，为 SPC3 的请求发送信号。

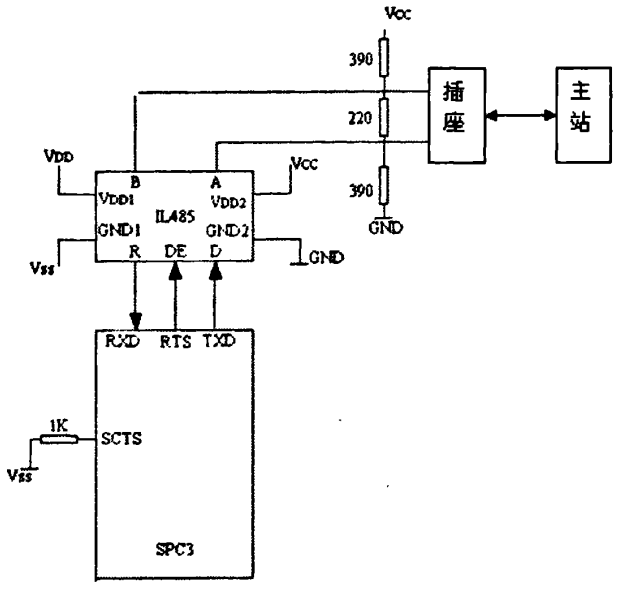


图 3-8 SPC3 与 IL485 接口电路图

以往的传统设计是 RS485 总线驱动一侧与 D 型插座相连，另一侧通过光耦与 SPC3 相连，能满足 12Mbps 的驱动器芯片不多，有 SN65ALS176，SN75ALS176，MAX485 等。采用光耦隔离主要是为了消除来自零线的干扰，满足 12Mbps 的光耦有 HCPL7720，HCPL0720，HCPL7710 等。另外，要求电源也采取隔离措施，需要加变压器隔离或采用两路电源。在本文的设计中，采用了 IL485 作为总线驱动器，它的一侧与 D 型插座连接，另一侧与 SPC3 连接，由于 IL485 本身就带有光耦，所以无需再通过光耦电路。而且波特率可达到 35M，远远满足我们设计的需要，所以 IL485 经常被用来作为 PROFIBUS 的传输驱动使用。IL485 与主站间采用的是 RS485 传输技术。另外，当信号在总线上传输时，如发生阻抗不连续，将形成信号的反射，导致数据传输信号畸变，因此在传输线的末端，需要加终端电阻来消除这种阻抗不连续，并且所加的电阻阻值应尽量接近传输线的特性阻抗。

3.4.3 硬件看门狗电路

看门狗电路主要用来监视系统的执行情况，当遇到意外情况而使程序跑飞或供电电压低于系统正常运行电压时，看门狗能及时发现并对电路进行复位，使得系统能重新执行程序，而不至于导致系统工作的中断，造成不必要的损失。在看门狗电路中最重要的是喂狗操作，只有定时地对看门狗芯片进行喂狗，才能使系统连续正常地运行，一旦喂狗信号不能在规定的时间内产生，系统将会自动复位，从而使系统重新启动。本系统采用 CD4538 芯片做外部看门狗，如图 3-9，此接法是上升沿触发的可重触发单稳态电路。单片机 STC89C51 的 P1.4 口设计成输出口，由 STC89C51 的 CPU 向看门狗电路发送喂狗信号——正脉冲，在两个正脉冲间隔内，P1.4 保持为低电平（此功能要结合软件才能实现）。当系统正常工作时，每隔 0.5s 来一个正脉冲，芯片 10 脚的信号始终保持低电平，

从而使看门狗电路对单片机不起作用。若由于程序跑飞或进入死循环，则 CD4538 得不到 P1.4 口送来的喂狗信号，芯片的 10 脚就会输出一个脉宽为 5ms 的高电平信号，使单片机复位。根据 C14 和 R26 的值可以调整喂狗信号的时间[30]。

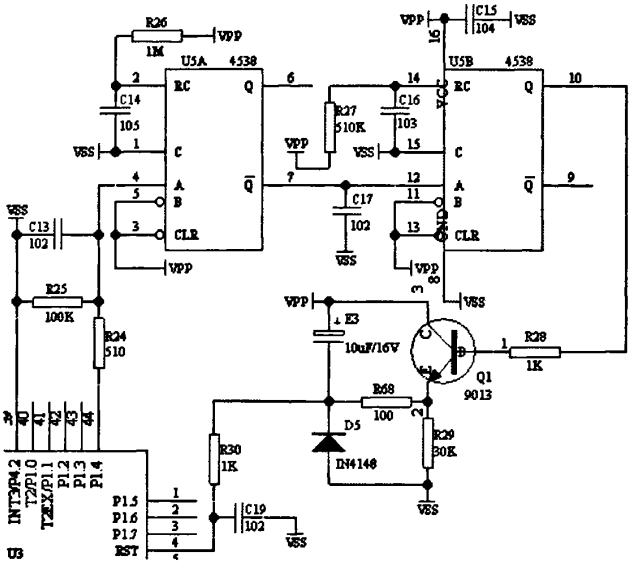


图 3-9 看门狗硬件电路图

3.4.4 DP 卡与主板接口

由于执行器的主板电压分 5V 和 3.3V，故 DP 卡与主板相连时，分以下两种情况：

（1）主板电压为 5V，如图 3-10 所示。

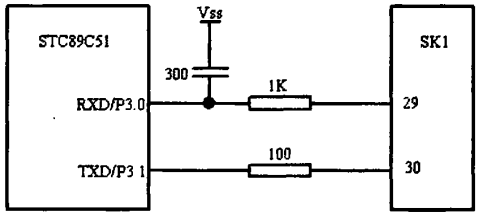


图 3-10 电压为 5V 的接口电路图

（2）主板电压为 3.3V，串口通讯时，需进行电平转换，如图 3-11 所示。

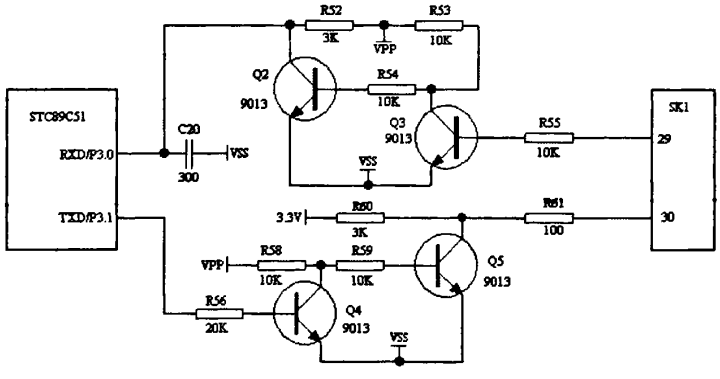


图 3-11 电压为 3.3V 的接口电路图

在此次 DP 卡的设计中，考虑到实用性，两种接口电路兼顾。在调试时，根据需要选择接口电路，DP 卡与主板连接实物图见附录 4。

3.4.5 电源转换模块

电源板提供的电压是 18V，DP 卡需要 5V 的工作电压，所以需要将 18V 电压转换成 V_{DD}=5V，Vss=0V，以供给 IL485 芯片。如图 3-12 所示，采用 MC3306A 芯片。

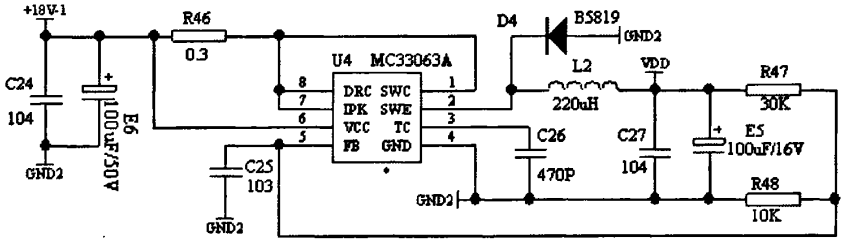


图 3-12 18V-5V 电压转换电路

3.5 本章小结

本章在介绍 PROFIBUS-DP 从站接口系统工作原理的基础上，结合本课题的具体要求，拟订了系统的整体设计方案。并根据系统的功能要求，选择了合适的芯片，对所选主要芯片的性能、特点及应用情况作了详细的阐述。并介绍了 PROFIBUS-DP 从站接口系统的硬件设计框图，对 STC89C51 与 SPC3 的连接模块、RS-485 接口电路模块、硬件看门狗电路模块、电源转换模块等几个部分作了详细阐述。

第四章 PROFIBUS-DP 从站接口卡的软件设计

在 PROFIBUS-DP 从站接口卡的开发中，硬件的选择无疑是很关键的，硬件设计和调试工作直接影响从站性能的稳定和通信的可靠性，但它仅仅占整个工作量的一部分。程序设计也是整个从站系统设计的一个非常重要的部分，程序的好坏直接影响整个系统功能的实现。

4.1 软件设计思路

软件的设计主要是完成微处理器 STC89C51RC 自身和 SPC3 的初始化，启动 SPC3，进行数据的接收和发送（这里的接收和发送有两部分，一是单片机与 SPC3 之间的数据传递，二是单片机与主板之间的数据传递，即从主板读入数据，然后传递给 SPC3，SPC3 协议芯片对数据进行处理，发送到 PROFIBUS-DP 总线上由主站接收），还有完成处理诊断事务、中断的处理、用户接口数据的处理等等。系统的主程序为循环结构，在上电以后，对处理器和 SPC3 先进行初始化工作，然后启动 SPC3，进入与主站交换数据阶段，即 DP 的状态机启动[31][32]。

SPC3 的软件开发主要的难点是在系统初始化时对其 64 字节的寄存器进行配置，这个工作必须与设备的 GSD 文件相符，否则将会导致主站对从站的误操作。这些寄存器包括输入、输出、诊断等缓存区的基地址以及大小等等。当设备完成初始化后，芯片开始进行波特率扫描，为了解决现场环境与电缆延时对通信的影响，SPC3 以及所有的协议芯片都支持波特率自适应，当 SPC3 加电或复位时，将自己的波特率设置最高，如果设定时器内没有接收到三个连续的完整的包，则将它的波特率调低一个档次并开始新的扫描，直到找到正确的波特率为止。

当 SPC3 正常工作时，会进行波特率跟踪，如果接收到一个给自己的错误包，它会自动复位并延时一个指定的时间再重新开始波特率扫描，同时还支持对主站回应超时的监测。SPC3 完成了物理层的功能，与数据链路层的接口是通过服务存取点来完成的，SPC3 支持 10 种服务，这些服务大部分都有 SPC3 自动完成，我们只能通过设置寄存器来影响它们。

SPC3 是通过中断与单片微处理器进行通信的，但是单片微处理器的中断不够用，所以 SPC3 内部有一个中断寄存器，当我们接收到中断后再去寄存器查中断号来确定具体操作。

4.2 各部分软件设计

因为 SPC3 集成了完整的 DP 协议，所以在与主站通信时，STC89C51 不用参与处理 DP 状态机制。它主要负责存储和处理主站送来的数据以及组织送往主站的数据。微处理器与 SPC3 之间的软件接口如图 4-1 所示。整个软件设计主要部分有 SPC3 初始化、中断

处理、DP 卡与主板的通信、数据交换等[33]。

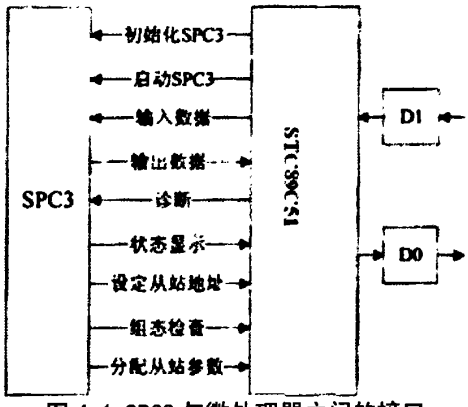


图 4-1 SPC3 与微处理器之间的接口

4.2.1 主程序流程

从站检查自 DP 主站处接收到的参数和配置信息，如果没有错误而且允许由 DP 主站请求的设定，则 DP 从站发送诊断数据，报告它已经为循环交换用户数据做好准备。在数据交换期间，只有由定义该从站的参数并配置它的 DP 主站发出的 Data_Exchange 报文，从站才会做出响应。其双向交换报文的用户数据最多可以有 244 个字节。主程序流程如图 4-2 所示。

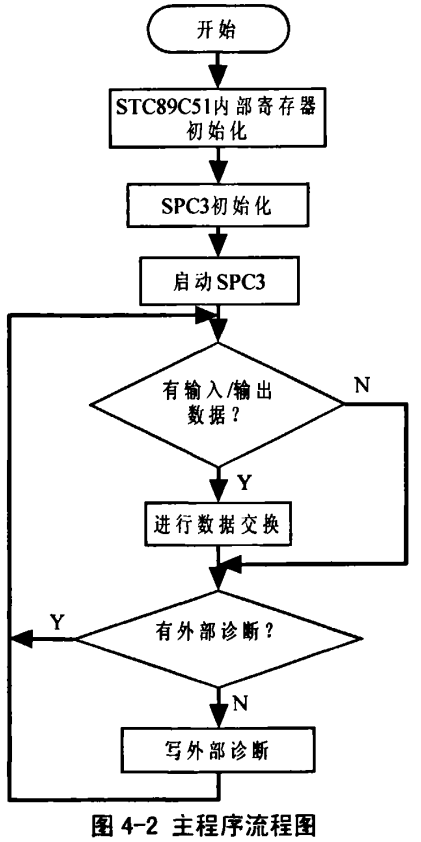


图 4-2 主程序流程图

4.2.2 STC89C51 初始化

其初始化包括微处理器内部的一些存储单元的初始化，方式寄存器、定时器、设置中断优先级、设置串口模式等，流程如图 4-3 所示[34]。

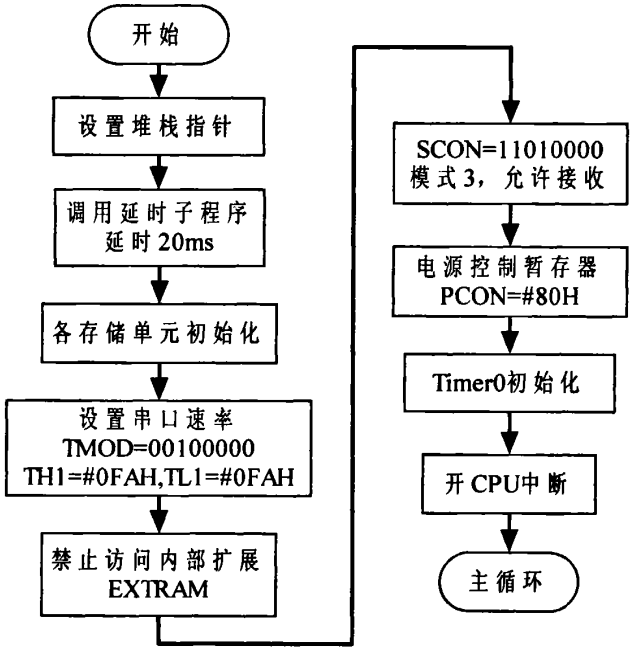


图 4-3 CPU 内部初始化流程图

晶振是 11.0592MHz，串口通讯速率为 9600bps，单片机在串行传输模式 3 下工作。由于 STC89C51 有内部扩展，而单片机要访问外部 RAM，即协议芯片 SPC3，故在单片机初始化完成之后，加上如下的指令：

```
MOV   8EH，#00000011B      ；禁止内部扩展 AUX-RAM.
MOV   0A2H，#00H
```

20ms 延迟的子程序如下：

```
DELAY20MS：
        MOV     R6, #1AH
DELAY20MS_10：
        MOV     R7, #0FFH
DELAY20MS_20：
        NOP
        DJNZ    R7, DELAY20MS_20
        DJNZ    R6, DELAY20MS_10
        RET
```

4.2.3 SPC3 初始化

SPC3 的初始化就是对其进行状态配置。首先，将 SPC3 设置为离线状态。然后，设置主模块的标志号。此标志号就是用户的 GSD 文件中 DP 设备标志号即“Ident Number”项的值。接着，设置 SPC3 的中断屏蔽寄存器、SPC3 内部的看门狗的参数和 SPC3 方式寄存器。再设置诊断缓冲区、配置缓冲区、读配置缓冲区、输入缓冲区、输出缓冲区、参数缓冲区等的基指针和缓冲区的大小。其中的某些参数要与从站的 GSD 文件相符。做完以上工作后，就可以启动 SPC3，从而完成 SPC3 初始化工作。SPC3 的初始化流程如图 4-4 所示。

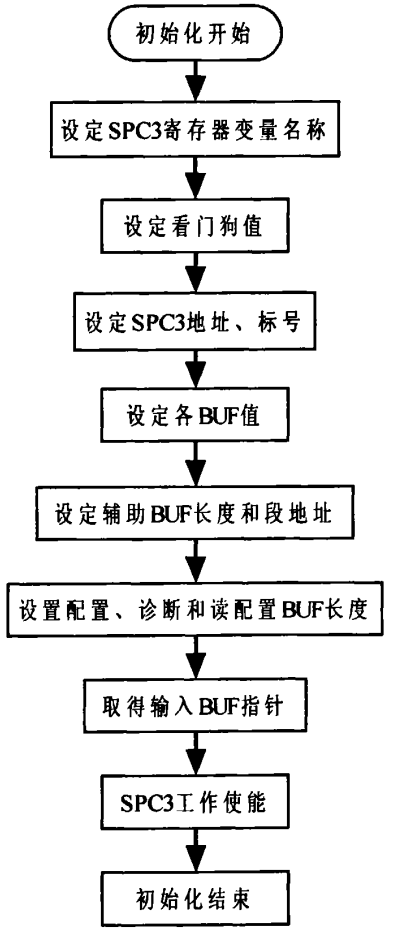


图 4-4 SPC3 初始化流程图

4.2.4 DP 卡与主板的通信协议及其实现

整个软件设计中关键的是：CPU 根据 SPC3 产生中断，对 SPC3 接收到的主站输出数据进行转存，以便从站读取，以及处理从站通过 SPC3 发给主站的数据。SPC3 实质上是主站与从站间的“通讯站”，即将主站发来的数据包解开送给从站，将从站送来的数据打包给主站。在数据交换之前必须先要了解主板(下位机)的通信报文以及与 DP 卡之间的

通信协议。根据 PROFIBUS-DP 的报文格式设计以下通信协议以及报文的定义。

a. 通信协议

（1）DP 卡与主板之间的通信采用的是主—从方式，DP 卡为主机，主板为从机。

（2）一次通信由 DP 卡发送参数或命令，主板发送响应构成。

（3）DP 卡在收到响应后，至少要隔 20ms 后才能发送下一条命令。

（4）DP 卡在发送命令 400ms 后还未收到主板的响应，可以认定通信线路或者主板有问题。

（5）DP 卡在检测到通信线路或主板故障后，除了向主站报警外，还必须一直与主板建立连接，并且在重新建立通信后要及时清除报警。这里所说的一直需要与主板建立连接是出于以下的考虑：有可能主板的处理器由于某种原因在要响应的时候发生重启，那么就需要一定的时间等待，而并非主站一接收到报警就断定有问题。

（6）DP 卡或主板在发送报文前，要先送握手信号，并且在报文发送过程中，握手信号一直有效，直到报文发送完成才可以取消握手信号。DP 卡送给主板的握手信号高电平有效，主板送给 DP 卡的握手信号低电平有效。握手是指一种内部的通讯协议，通过它将数据从硬件端口传输到接收缓冲区。当串行端口收到一个字符时，通讯设备必须将它移入接收缓冲区中，使程序能够读到它。如果数据到达端口的速度太快，通讯设备可能来不及将数据移入接收缓冲区，握手协议保证不会由于缓冲区溢出而导致丢失数据。

（7）主板在向 DP 卡发送响应信号时，必须等到 DP 卡送出的握手信号无效时，才能先送出握手信号，随后再发送响应报文。

（8）DP 卡与主控板之间的通信数据的字节格式为 11bits：

ST	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	PA	SP

ST：起始位；D0D7：8 位数据；PA：硬件奇校验位；SP：停止位。

b. DP 卡与主板之间的通信报文

在下表 4-1 中，DP 卡与主板之间的传输数据有 4 项功能，每一项功能都是一问一答的形式，即请求和响应，最后还定义了接收错误的响应。针对不同的功能进行判断，找出响应的报文在 CPU 中存储区的首地址。在交换数据的过程中必须进行比较，是否出现错误。如果出现错误必须将诊断数据存储区进行设置，以备在数据交换完之后，进行诊断请求的时候发送给主站进行处理。诊断流程如图 4-5 所示。

表 4-1 DP 卡与主板之间的通信报文定义

通信报文	功能号和字节数	内容
DP 卡发送参数给主板（F1）	1 号功能，9 字节	功能码 0001+0000 +丢信动作+低信阀位+高信阀位 +死区+禁动时间+屏蔽辅助触点 +丢信阀位+丢信时间
主板响应 DP 卡	1 号功能响应，9 字节	功能码 0001+校验信息 1111 +丢信动作+低信阀位+高信阀位 +死区+禁动时间+屏蔽辅助触点 +丢信阀位+丢信时间
DP 卡读主板里的 DP 地址（F2）	2 号功能，1 字节	功能码 0010+0000
主板响应 DP 卡	2 号功能响应，2 字节	功能码 0010+校验信息 1111+Adress
DP 卡向主板发送动作命令（F3）	3 号功能，3 字节	功能码 0011+Command +ActPos
主控板响应 DP 卡	3 号功能响应，3 字节	功能码 0011+校验信息 1111 +Command+ActPos
DP 卡向主板发送请求状态及过程（F4）	4 号功能，1 字节	功能码 0100+0000
主板响应 DP 卡	4 号功能响应，9 字节	功能码 0100+校验信息 1111 +IData1+IData2+IData3+Diagr1 +Positn+RawPos+Nj+Diagr0
主板接收到请求 40ms 没有响应	1 字节	E5H
主板向 DP 卡发送接收的错误响应	1 字节	E6H

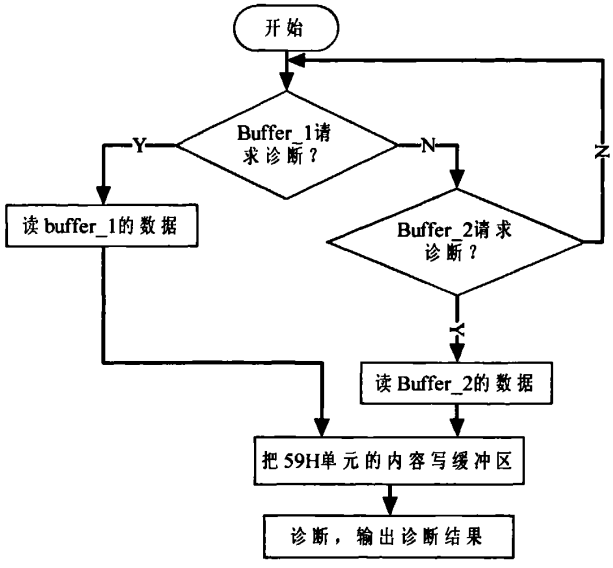


图 4-5 诊断流程框图

参数报文需要在程序中进行比较，比较主站发送的参数报文是否和主板响应的报文一致。如果不一致，需要请求主板进行重发，重发的次数规定为 4 次，如果超过 4 次仍为错误信息，则 DP 卡向主站报警。3 号功能流程如图 4-6 所示。

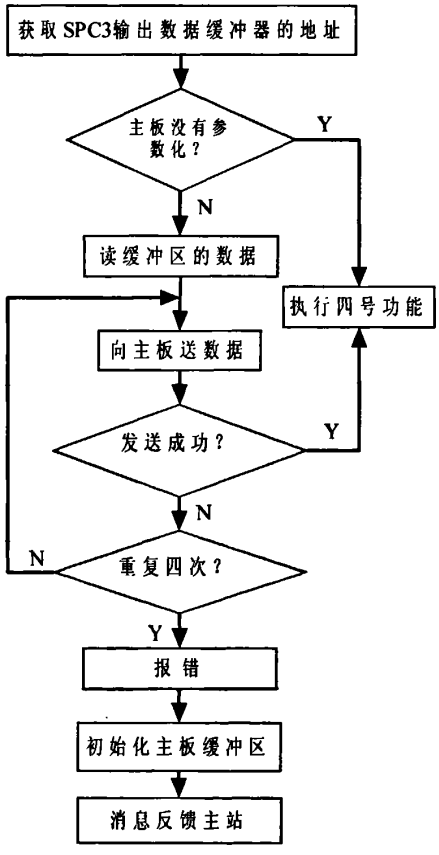


图 4-6 三号功能流程图

根据报文在 CPU 中安排的缓存区有：诊断报文（即错误响应报文 1 个，1 字节）、参数报文（2 个，各 9 字节）、地址报文（1 个，2 字节），动作命令报文（1 个，2 字节），状态及过程报文（1 个，8 字节）。而每个报文前面的功能码由一个专门的功能单元存储，每次报文传输之前，先判断一下功能码，然后再查表到相应缓存区的首地址。如果是由 DP 卡向主板发送，则将这些数据从 SPC3 相应的缓存区传送给由首地址确定的区域，再通过串行口发送出去；如果是主板向 DP 卡发送，则先从串行口读入到首地址确定的区域，再将数据传送到 SPC3 相应的缓存区。当然在这期间需要对某些数据进行判断，是否正确，如果不正确需要重发或者错误报警。

4.2.5 数据交换

SPC3 中的组织参数存储在 RAM16H～3DH 地址，在初始化的时候就将需要的值写入相应的寄存器。在数据交换之前需要对其起始地址进行计算，即调用更新输入/输出缓存器指针的子程序。由于各个缓冲区的指针定义为段基址，各缓冲区的长度必须是 8 字节的整数倍，各个缓冲区的起始地址能被 8 整除，所以在编程的时候获得的基址要乘上 8 才得到数据缓冲区的起始地址。数据交换部分分为读入输出的数据（主站向从站输出的数据）和写入输入的数据（从站向主站发送的数据）。如图 4-7，更新 SPC3 输入输出缓存区指针之后，先判断主站是否有数据输出，如果有，就将 SPC3 中输出缓存器中的数据读到 CPU 相应的单元中，如果没有或者执行完了读之后，就从 CPU 中的相应的单元将主板要传递给主站的数据写入 SPC3 相应的数据输入缓存器中，送给主站。

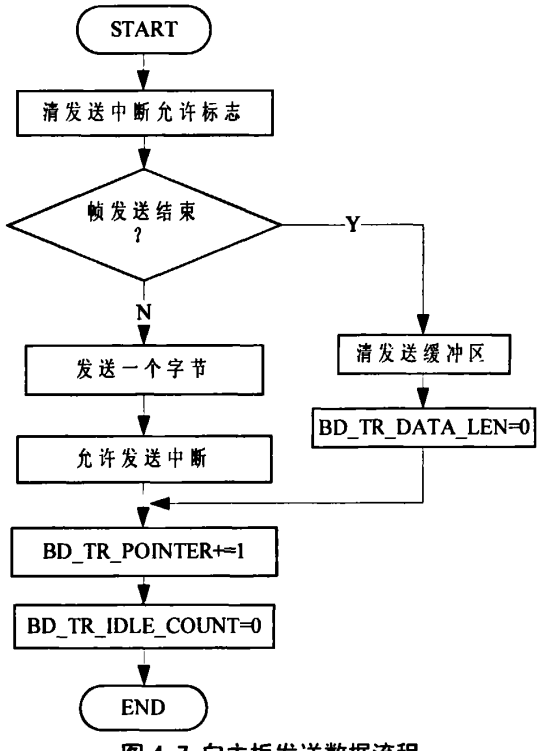


图 4-7 向主板发送数据流程

4.2.6 中断处理程序设计

定时器中断如图 4-8。当 SPC3 的中断控制器有中断出现，STC89C51 的外部中断 INT0 就会产生一个中断，程序转向中断程序，流程图如 4-9 所示。这里的中断主要是处理主站是否向从站请求新的参数报文，新的地址报文，新的配置报文，从站接收到这样的中断，就立即去响应中断，相应地去处理这些数据的传输和校对。如果正确就发送，如果错误或者是在规定的时间内没有收到响应，则将错误的信息写入外部诊断的存储区，等待主站发出请求外部诊断的时候，将错误的信息传送给主站。而 DP 看门狗溢出中断，用户时间中断，波特率检测中断发生的时候，SPC3 根据看门狗的几种状态进行处理。这里必须将其相应的中断响应寄存器里置位，以允许相应的中断。

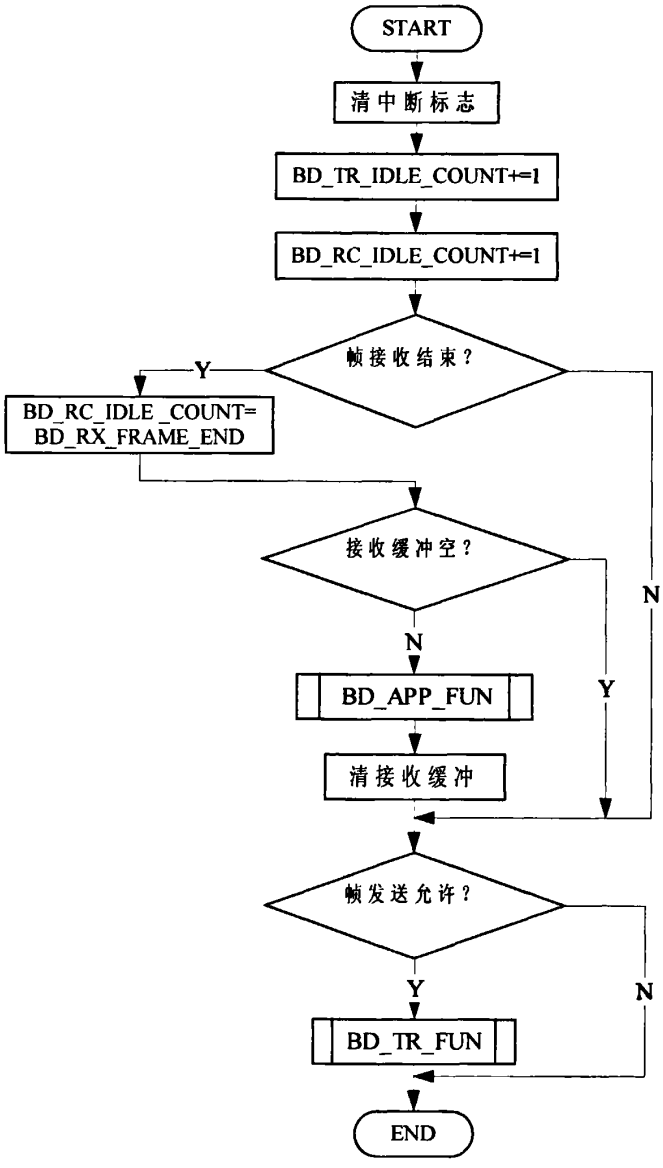


图 4-8 定时器中断

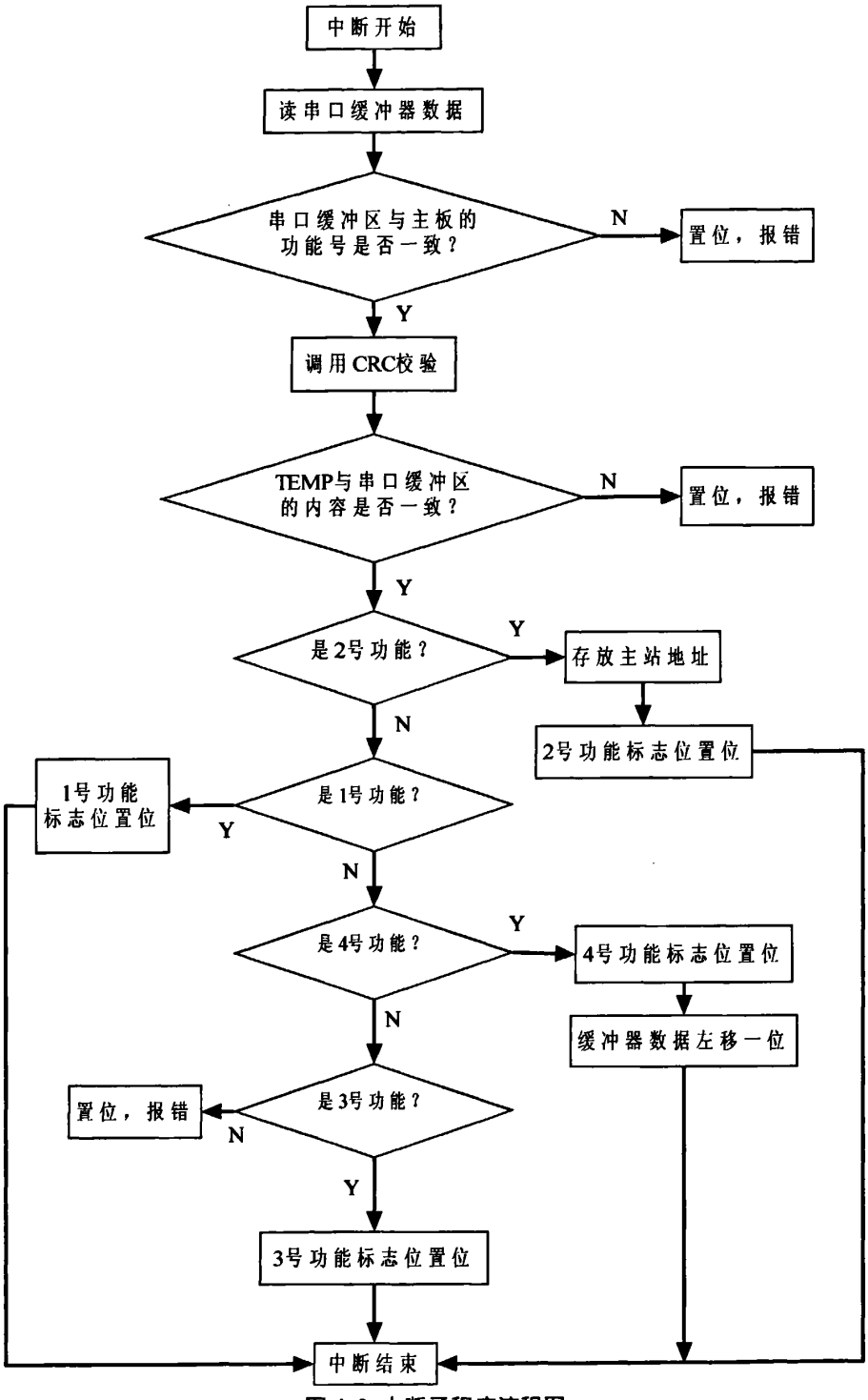


图 4-9 中断子程序流程图

4.2.7 CRC 校验[35][36]

数据在传输过程中可能会受到干扰、丢码或产生错误码，为了确保传输质量和检查

二进制码的错误，在每帧信息末尾要加上校验码。在帧校验序列的实现中，循环冗余校验码(CRC：Cyclic Redundancy Check)以其高效率、高性能获得了广泛的应用。

CRC 校验算法既可以由硬件来实现，也可以由软件来实现。用软件实现的 CRC 校验算法通常有两种：查表法和计算法。所谓查表法是在使用之前建立一张 CRC 码值的表。它的优点是通过查表可以快速求得 CRC 校验值，缺点是建立和使用该表要占用 CPU 一定的内存资源。计算法则是在每次需要生成 CRC 校验码时按照一定的算法计算得到，不需要建表，且实现起来比较方便，缺点是每次计算会花费 CPU 一定的计算时间。本论文的 CRC 校验采用软件的计算法则来实现的。

循环冗余校验(CRC)的理论基础是利用线性编码理论，其编码方法是将要发送的数据比特序列当作一个二进制多项式 A(x)的系数，该系数除以发送方和接收方预先约定好的生成多项式 g(x)后，将求得的余数 P(x)作为 CRC 校验码附加到原始的报文上，一起发给接收方。接收方用同样的 g(x)去除收到的报文 B(x)，如果余数等于 P(x)，则传输无误（此时 A(x)和 B(x)相同）；否则传输过程中出错，由发送端重发，重新开始 CRC 校验，直到无误为止。校验过程中需注意以下几点：

（1）在进行 CRC 计算时，采用二进制(模 2)运算法，即加法不进位，减法不借位，其本质就是两个操作数进行逻辑异或运算；

（2）在进行 CRC 计算前先将发送报文所表示的多项式 A(x)乘以 x^n，其中 n 为生成多项式 g(x)的最高幂值。对与二进制乘法来说，$A(x)\cdot x^n$ 就是将发送数据比特序列左移 n 位，用来存放余数 P(x)，所以实际发送的报文就变为 $A(x)\cdot x^n + P(x)$；

（3）生成多项式 g(x)的首位和最后一位的系数必须为 1。图 4-10 为 CRC 校验的工作过程。

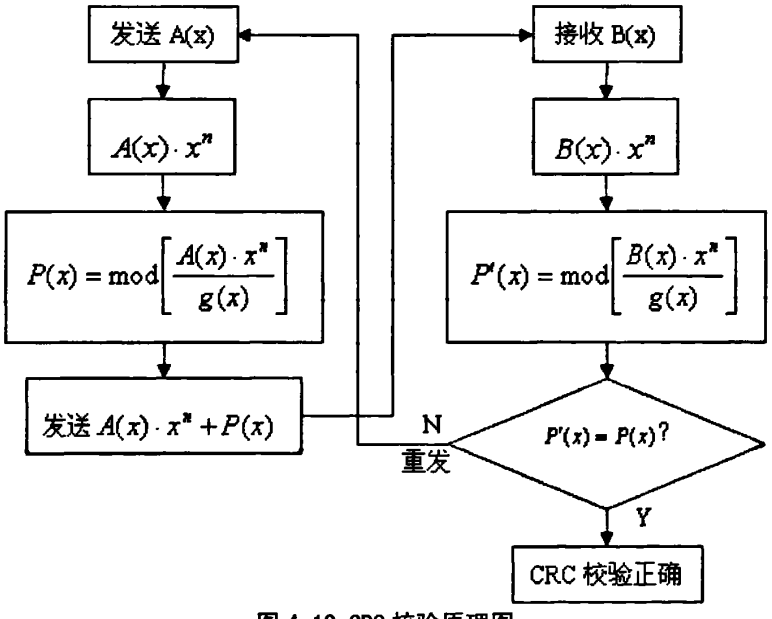


图 4-10 CRC 校验原理图

4.3 GSD 文件的编写

GSD 为电子设备数据库文件的缩写，为了方便 PROFIBUS 设备的即插即用，生产商需根据设备的特性，要为每个 PROFIBUS 设备提供 GSD 文件。GSD 文件描述的设备特性包括 I/O 参数、诊断信息、波特率、时间监视等，并以一种准确定义的格式加以描述。通过使用基于 GSD 文件的组态工具(如西门子公司的 STEP7 软件)可将不同厂商生产的设备集成在同一个总线系统中。每种从设备都有一个确定的 ID 号，主设备将所连接的 DP 设备的标识号与在组态数据中用组态工具指定的标识号进行比较，直到具有正确站地址的设备连接到总线上后，才开始发送用户数据。设备的 ID 号由制造商向 PROFIBUS User Organization 申请。GSD 分为三部分：总体说明、DP 主设备相关规格、DP 从设备相关规格。

总体说明包括厂商和设备名称、软件和硬件版本情况、支持的波特率、可能的监控时间间隔以及总线插头的信号分配等。

DP 主设备需要描述其所有只适用于 DP 主设备的参数，这些参数从设备是没有规定的。如可连接的从设备的最多数目，加载和卸载的能力等。

DP 从设备的相关规格包括适用于从设备相关的所有规定，如 I/O 通道的数量和类型、诊断测试的规格、I/O 数据的一致性信息等。

GSD 文件是 ASCII 文件，可以用任何一种 ASCII 编辑器编辑，如记事本，也可使用 PROFIBUS 用户组织提供的编辑程序 GSD Edit。GSD 文件是由若干行组成，每行都用一个关键字开头，包括关键字及参数(无符号数或字符串)两部分。本设备的 GSD 文件及其说明如下：

```
#PROFIBUS_DP                    ; DP设备的GSD文件均以此关键字开头
PrmText=1                       ; 参数化报文
Text(0)="禁用丢信"
Text(1)="到POSMAX"
Text(3)="到POSMIN"
Text(5)="保位"
Text(7)="到LOSPOS"
EndPrmText
PrmText=2
Text(1)="ESD高"
Text(0)="ESD低"
Text(2)="even Parity"
EndPrmText
PrmText=3
```

```
Text(0)="禁用辅助"
Text(1)="允许辅助"
EndPrmText
PrmText=4
Text(1)="允许ESD"
Text(0)="禁用ESD"
EndPrmText
ExtUserPrmData=1 "POSALS"          ；丢信动作
BitArea(0-3) 5 0-7
Prm_Text_Ref=1
EndExtUserPrmData
ExtUserPrmData=2 "POSMIN"          ；低信阀位
Unsigned8   0 0-255
EndExtUserPrmData
ExtUserPrmData=3 "POSMAX"          ；高信阀位
Unsigned8 255 0-255
EndExtUserPrmData
ExtUserPrmData=4 "POSDBD"          ；死区
Unsigned8 30 0-255
EndExtUserPrmData
ExtUserPrmData=5 "POSMIT"          ；禁动时间
Unsigned8 20 0-255
EndExtUserPrmData
ExtUserPrmData=6 "AUXMSK1"         ；屏蔽辅助触点
Bit(3) 1 0-1
Prm_Text_Ref=2
EndExtUserPrmData
ExtUserPrmData=7 "AUXMSK2"
BitArea(4-6) 0 0-7
Prm_Text_Ref=3
EndExtUserPrmData
ExtUserPrmData=8 "AUXMSK3"
Bit(7) 0 0-1
EndExtUserPrmData
ExtUserPrmData=9 "LOSPOS"          ；丢信阀位
```

```
Unsigned8 0 0-255
EndExtUserPrmData
ExtUserPrmData=10 "DPSLTO"          ；丢信时间
Unsigned8 50 3-255
EndExtUserPrmData
GSD_REVISION=2                      ；GSD文件版本号
VENDOR_NAME= "RUIJI"                ；设备制造商
MODEL_NAME="RQM_DP_NEW"             ；产品名称
REVISION="REVISION 1"               ；DP设备的产品号
IDENT_NUMBER=0X09DD                 ；ID号，必须与初始化报文一致
PROTOCOL_IDENT=0                    ；协议类型（0表示DP）
STATION_TYPE=0                      ；站类型（0表示从站）
FMS_SUPP=0                          ；纯DP设备
HARDWARE_RELEASE="A01"              ；硬件版本
SOFTWARE_RELEASE="Z01"              ；软件版本
9.6_SUPP=1                          ；支持9.6kbit/s波特率
19.2_SUPP=1
93.75_SUPP =1
187.5_SUPP=1
500_SUPP=1
1.5M_SUPP=1
3M_SUPP=1
6M_SUPP=1
12M_SUPP=1
MAXTSDR_9.6=60                      ；9.6kbit/s波特率时最大从站延迟时间
MAXTSDR_19.2=60
MAXTSDR_93.75=60
MAXTSDR_187.5=60
MAXTSDR_500=100
MAXTSDR_1.5M=150
MAXTSDR_3M=250
MAXTSDR_6M=450
MAXTSDR_12M=800
REDUNDANCY=1                        ；不支持冗余
REPEATer_CTRL_SIG=0                 ；连接器信号电平
```

```
24V_PINS=0                          ；不提供24V电压
IMPLEMENTATION_TYPE="SPC3"          ；采用的解决方案
FREEZE_MODE_SUPP=1                  ；支持锁定模式
SYNC_MODE_SUPP=1                    ；支持同步模式
AUTO_BAUD_SUPP=1                    ；支持自动配置通信波特率
SET_SLAVE_ADD_SUPP=0                ；不支持设置从站地址
MIN_SLAVE_INTERVALL=1;              ；两从站之间的最小循环时间间隔
MODULAR_STATION=0                   ；定义模块从站
MODUL_OFFSET=1                      ；组态时可以插入的起始槽号
;max_module=1                       ；最大模块数为1
;max_input_len=128                  ；最大输入数据长度128字节
;max_output_len=128                 ；最大输出数据长度128字节
;max_data_len=256                   ；最大数据长度256字节
;Slave-Specification:
;Slave_Family=10@TdF@BMS
FAIL_SAFE=0                         ；故障安全模式类型
SLAVE_FAMILY=5                      ；定义硬件组态时GSD存放位置
MAX_DIAG_DATA_LEN=8                 ；最大诊断缓冲区长度
MODULE="MODULE1" 0X21,0X17
ENDMODULE
```

4.4 本章小结

本章主要介绍了 PROFIBUS-DP 从站接口系统的软件设计。本系统的软件设计是用汇编语言编程，主要包括微处理器 STC89C51 初始化、SPC3 芯片初始化、中断检测程序、主程序流程、功能模块流程等，还有 PROFIBUS-DP 从站设备必不可少的 GSD 文件的编写。

第五章　研究与设计结果的实验验证

5.1 电动执行机构简介

电动执行机构，又称执行器，是一种自动控制领域常用的机电一体化设备(器件)，是自动化仪表的三大组成部分(检测设备、调节设备和执行设备)中的执行设备。主要功能是对一些设备和装置进行自动操作，控制其开关和调节，代替人工作业。按动力类型可分为气动、液动、电动、电液动等几类；按运动形式可分为直行程、角行程、回转型(多转式)等几类[37]。

实验中选用的是智能型 RQ 系列的电动执行机构，它可以通过一个独立的设定器对其进行非侵入性的快速设定、检查和查询。该执行机构采用图形点阵式液晶显示器，以中文、数字、图形等形式显示执行机构的转矩、阀位等工作状态和报警信息。DP 接口卡与 RQ 执行机构组成从站，接入总线网络，可实现远程通信、远程诊断与维护。

5.2 step7 软件介绍[38]

STEP7 基本软件是用于 SIMATIC S7-300/400 创建可编程逻辑控制程序的标准软件，应用 STEP7 软件可以方便地构造和组态 PROFIBUS-DP 网络。在实验中采用的是 STEP7 V5.2。STEP7 软件包括硬件配置和参数设置、定义系统通信、编程、测试、启动和系统维护、文件建档和操作、诊断等基本功能，并为控制工程提供了各种不同的应用工具。

（1）SIMATIC Manager：集中管理系统的所有的工具软件和数据。

（2）符号编辑器：定义符号名称、数据类型和全局变量的注释。

（3）硬件配置：配置系统和对各种模块进行参数设置。

（4）通信：配置连接及定义经 MPI 连接的组件及周期性数据传送，定义用 MPI、PROFIBUS、或工业以太网进行的连接和数据传送。

（5）信息功能：快速浏览 CPU 数据和控制程序在运行中的故障原因。

STEP7 软件具有三种编程语言：梯形图（LAD）、功能块图（FBD）和语句表（STL），一般预先装在 PG720、PG740 和 PG760 等编程器中，也可以在 PC 中运行。如果在 PC 中运行，需要有以下设备：

（1）一个 MPI 卡或 PC 适配器；

（2）STEP7 软件包和授权盘；

（3）一个 SIMATIC S7-300/400 可编程控制器。

5.3 测试系统搭建

完成了硬件软件的设计，在实验室条件下进行了组网测试[39]。

本测试的硬件要求：安装有 WINDOWS2000/98/NT 操作系统的计算机一台；西门子 S7-300 主站一台+西门子编程设定器一套；长度为 400m 的通讯线缆 1 条，长度 100m 的

通讯线缆 2 条；支持 PROFIBUS 总线控制的执行机构 2 台。

软件要求：SIMATIC STEP 7V5.2 软件安装盘，客户端执行机构的 GSD 文件。

测试步骤如下：

（1）按照图 5-1 所示，完成硬件测试系统的安装和连接。图 5-2 和图 5-3 为实物连接。

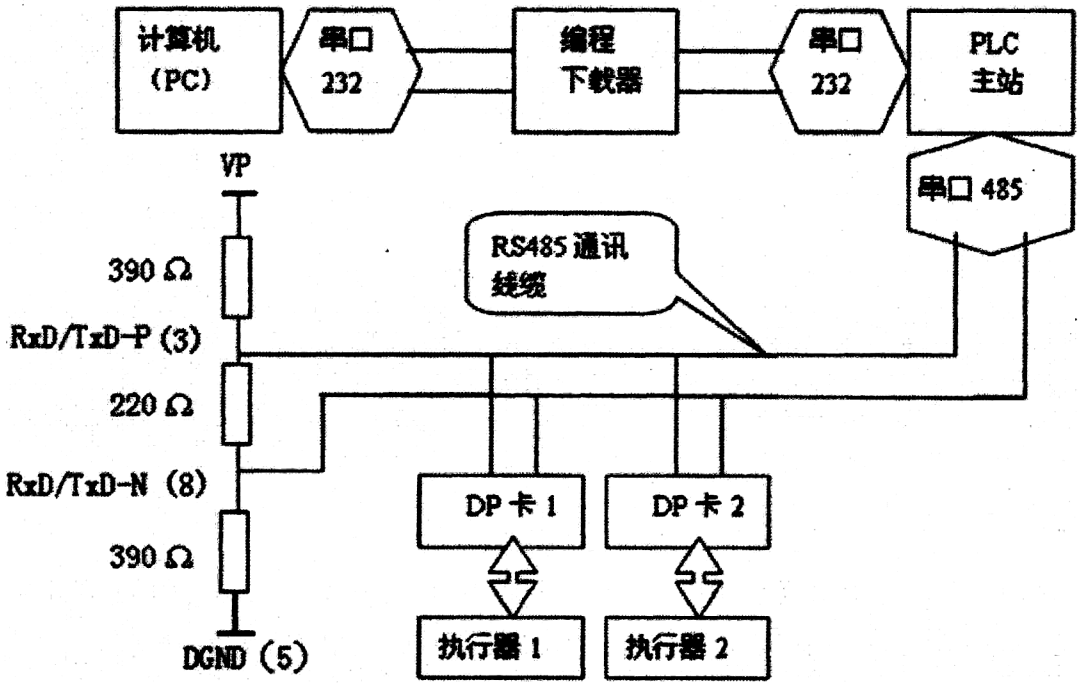


图 5-1 系统测试硬件连接示意图

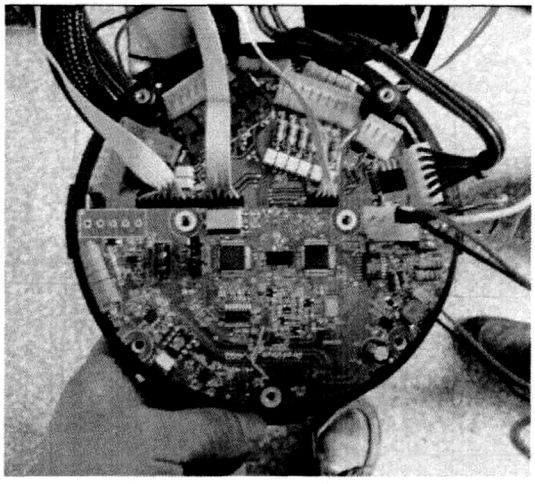


图 5-2 DP 卡与主板

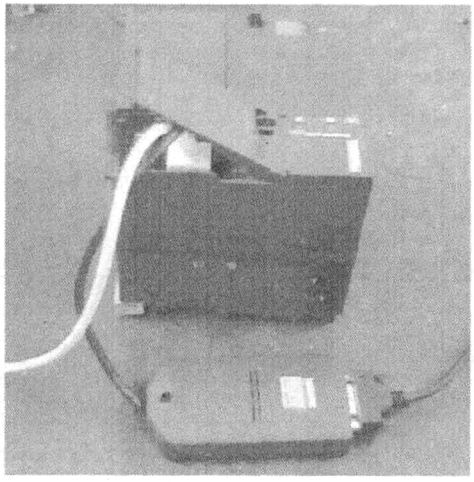


图 5-3 西门子主站与编程设定器

（2）在计算机上安装 SIMATIC STEP 7V5.2 软件。在该软件上新建工程，进入网络设置，增加 PROFIBUS 总线，添加一个主站，在硬件配置中添加导轨和 CPU，再添加 DP 总线。硬件配置完成后添加 GSD 文件，添加 GSD 文件后出现从站模型，将从站模型直接拖到总线上，从站也就添加完成，如图 5-4 所示。总线上的从站个数及其地址要与实际情况一致，否则主站与从站将无法通讯。最后将配置下载到 PLC 里。

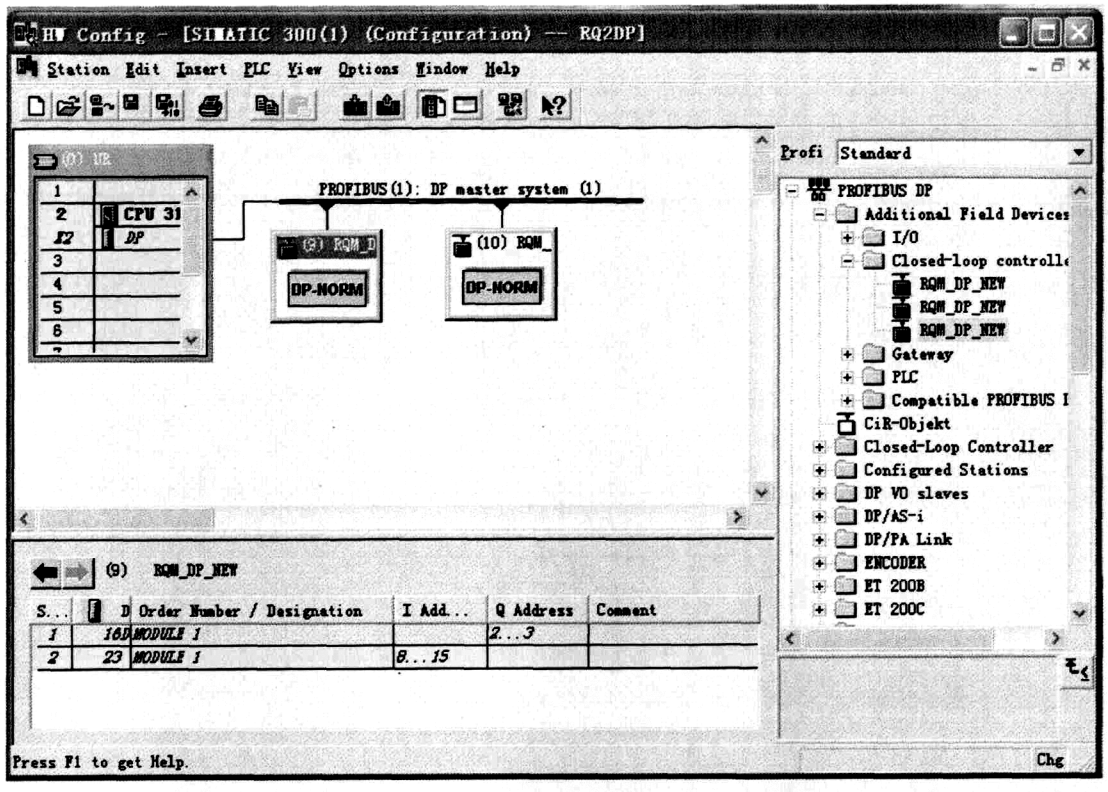
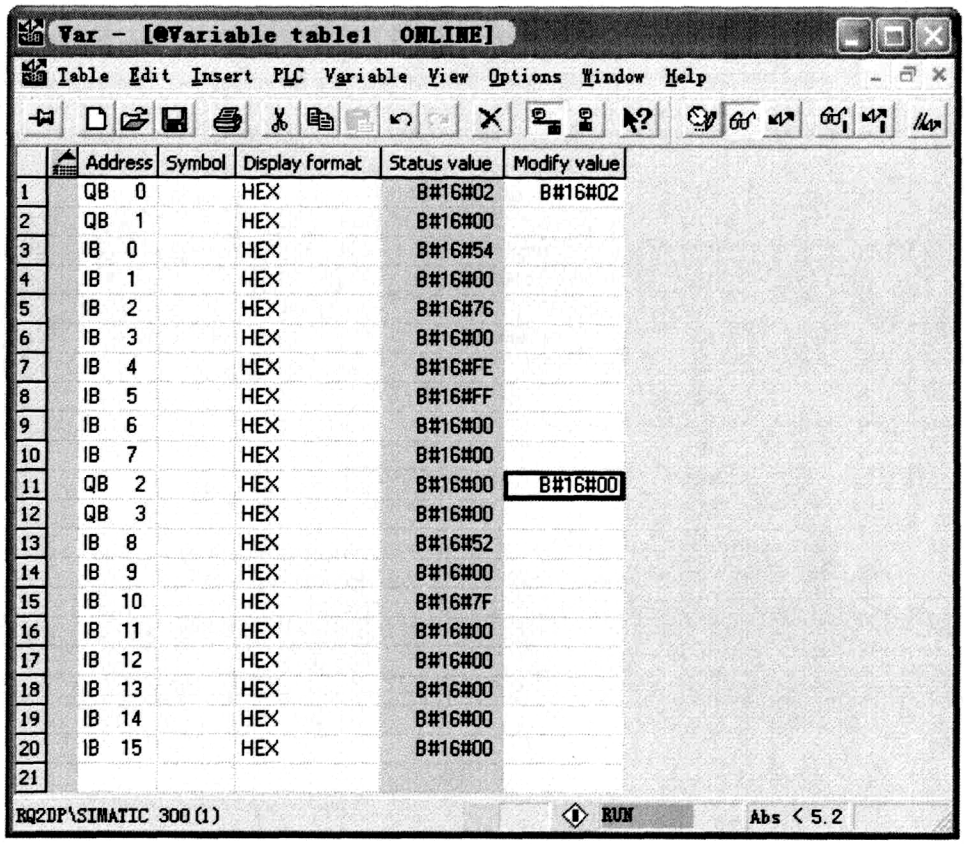


图 5-4 在 DP 总线上添加从站

（3）通过 PLC 操纵执行器和获取执行器状态数据。等待 PLC 与执行器通讯正常之后，启动 Step7，打开主站配置工程，在右边的窗口中双击“SIMATIC 300”，进入 SIMATIC 300 后，在右边的窗口空白的地方，单击鼠标右键，再弹出的菜单中选择“PLC\Monitor/Modify Variables”，在弹出的“Variable Table”中增加相应的变量，在“address”栏中分别填入：“QB0、QB1、IB0、IB1、IB2、IB3、IB4、IB5、IB6、IB7”。其中地址为“QB0、QB1”的变量对应执行器的控制命令，地址为“IB0、IB1、IB2、IB3、IB4、IB5、IB6、IB7”的变量对应执行器反馈的 8 字节状态数据。输入变量完毕后，在工具栏上按下“Monitor variable”按钮，就可以实现观察状态数据的变化。要控制执行器，在修改地址为“QB0、QB1”的变量的值，然后一定要在工具栏上点击“Modify variable”按钮，输入的控制命令才会被送到执行器。另外，第二个从站执行器的控制变量对应地址为“QB2、QB3”，依次类推更多从站执行器的命令控制变量所对应的地址。同理，第二个从站执行器反馈的 8 字节状态数据对应地址从 IB8 开始，依次类推更多从站反馈状态数据对应的地址。如图 5-5 所示，同时控制 2 台执行器的变量表。



	Address	Symbol	Display format	Status value	Modify value
1	QB 0		HEX	B#16#02	B#16#02
2	QB 1		HEX	B#16#00	
3	IB 0		HEX	B#16#54	
4	IB 1		HEX	B#16#00	
5	IB 2		HEX	B#16#76	
6	IB 3		HEX	B#16#00	
7	IB 4		HEX	B#16#FE	
8	IB 5		HEX	B#16#FF	
9	IB 6		HEX	B#16#00	
10	IB 7		HEX	B#16#00	
11	QB 2		HEX	B#16#00	B#16#00
12	QB 3		HEX	B#16#00	
13	IB 8		HEX	B#16#52	
14	IB 9		HEX	B#16#00	
15	IB 10		HEX	B#16#7F	
16	IB 11		HEX	B#16#00	
17	IB 12		HEX	B#16#00	
18	IB 13		HEX	B#16#00	
19	IB 14		HEX	B#16#00	
20	IB 15		HEX	B#16#00	
21					

图 5-5 通过 PLC 操纵执行器和获取执行器状态数据的数据表界面

5.4 实验过程与数据记录及分析

5.4.1 控制与反馈

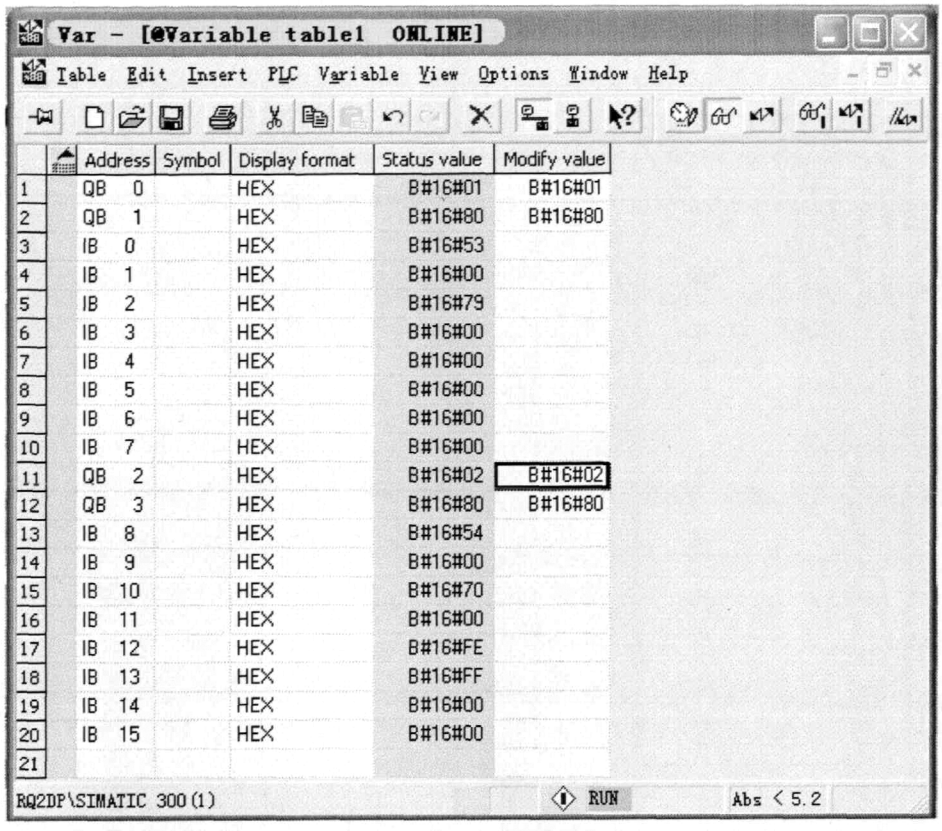
根据用户执行器说明书的远程总线控制部分，计算机将两个字节的控制命令数据发给主站，主站通过网络地址识别发给相应的 PROFIBUS-DP 卡，最后由 DP 卡通过串口发给执行器，执行器根据命令执行相应的动作。在计算机 Step7 软件变量表（var-variable table）窗口下，通过改写命令 QB0、QB1 的数据，如表 5-1 所示，观测到的与改写命令对应的执行器动作状态。执行器通过 PROFIBUS-DP 卡回复给主站并显示在计算机上的状态数据，共 8 个字节。

表 5-1 命令 QB0、QB1 对应的执行器动作状态

字节 1	命 令 （QB0）	BIT0~BIT7	=0，立即停止 =1，动作到全关 =2，动作到全开 =3，紧急动作 =8，动作到 ACTPOS 指定的位置
字节 2	响应位置 （QB1）	BIT0~IBT7	=0，表示最小开度 =FF，表示最大开度

a. 测试分五次：

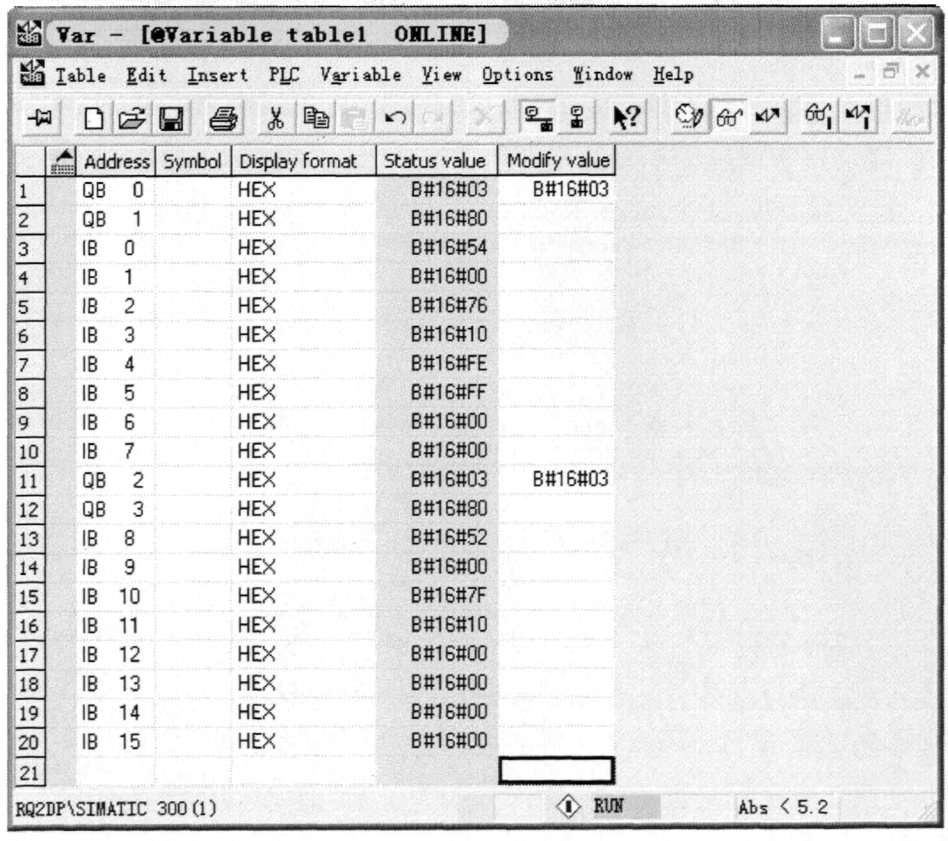
（1）分别在 2 台执行器上测试“动作到全开位置”、“动作到全关位置”的命令，如图 5-6 所示。



	Address	Symbol	Display format	Status value	Modify value
1	QB 0		HEX	B#16#01	B#16#01
2	QB 1		HEX	B#16#80	B#16#80
3	IB 0		HEX	B#16#53	
4	IB 1		HEX	B#16#00	
5	IB 2		HEX	B#16#79	
6	IB 3		HEX	B#16#00	
7	IB 4		HEX	B#16#00	
8	IB 5		HEX	B#16#00	
9	IB 6		HEX	B#16#00	
10	IB 7		HEX	B#16#00	
11	QB 2		HEX	B#16#02	B#16#02
12	QB 3		HEX	B#16#80	B#16#80
13	IB 8		HEX	B#16#54	
14	IB 9		HEX	B#16#00	
15	IB 10		HEX	B#16#70	
16	IB 11		HEX	B#16#00	
17	IB 12		HEX	B#16#FE	
18	IB 13		HEX	B#16#FF	
19	IB 14		HEX	B#16#00	
20	IB 15		HEX	B#16#00	
21					

图 5-6 动作到全开全关的界面

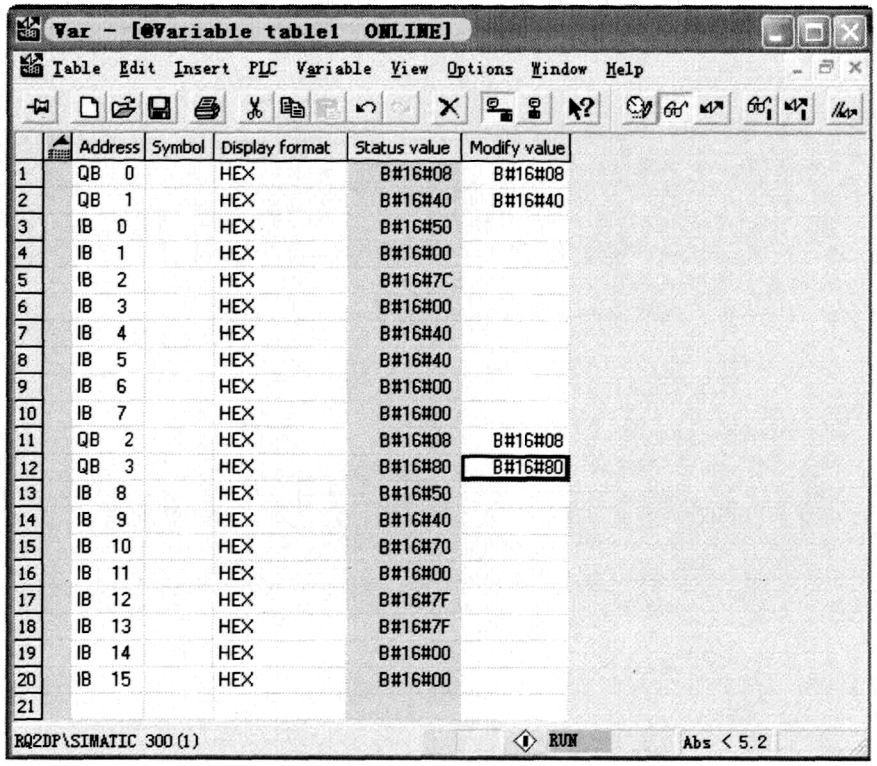
（2）分别在 2 台执行器上测试“紧急动作到全开”、“紧急动作到全关”的命令，见图 5-7。其中，紧急动作的位置是在执行器上设置的。



	Address	Symbol	Display format	Status value	Modify value
1	QB 0		HEX	B#16#03	B#16#03
2	QB 1		HEX	B#16#80	
3	IB 0		HEX	B#16#54	
4	IB 1		HEX	B#16#00	
5	IB 2		HEX	B#16#76	
6	IB 3		HEX	B#16#10	
7	IB 4		HEX	B#16#FE	
8	IB 5		HEX	B#16#FF	
9	IB 6		HEX	B#16#00	
10	IB 7		HEX	B#16#00	
11	QB 2		HEX	B#16#03	B#16#03
12	QB 3		HEX	B#16#80	
13	IB 8		HEX	B#16#52	
14	IB 9		HEX	B#16#00	
15	IB 10		HEX	B#16#7F	
16	IB 11		HEX	B#16#10	
17	IB 12		HEX	B#16#00	
18	IB 13		HEX	B#16#00	
19	IB 14		HEX	B#16#00	
20	IB 15		HEX	B#16#00	
21					

图 5-7 紧急动作到全开全关的界面

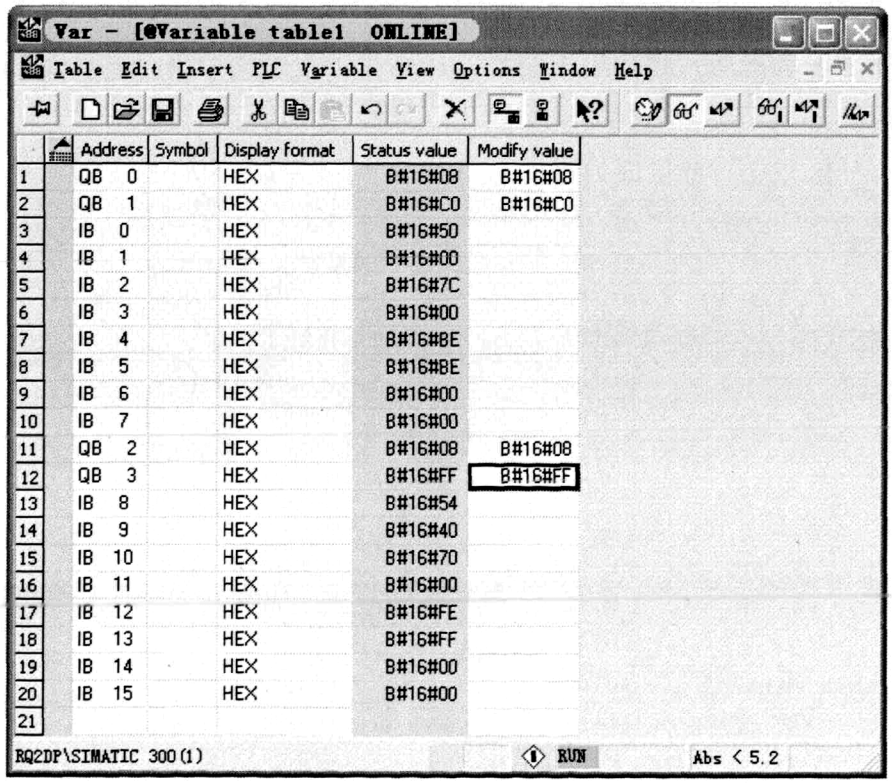
（3）分别在 2 台执行器上测试“动作到指定位置”的命令，指定位置为 25%和 50%，界面如下图 5-8 所示。



	Address	Symbol	Display format	Status value	Modify value
1	QB 0		HEX	B#16#08	B#16#08
2	QB 1		HEX	B#16#40	B#16#40
3	IB 0		HEX	B#16#50	
4	IB 1		HEX	B#16#00	
5	IB 2		HEX	B#16#7C	
6	IB 3		HEX	B#16#00	
7	IB 4		HEX	B#16#40	
8	IB 5		HEX	B#16#40	
9	IB 6		HEX	B#16#00	
10	IB 7		HEX	B#16#00	
11	QB 2		HEX	B#16#08	B#16#08
12	QB 3		HEX	B#16#80	B#16#80
13	IB 8		HEX	B#16#50	
14	IB 9		HEX	B#16#40	
15	IB 10		HEX	B#16#70	
16	IB 11		HEX	B#16#00	
17	IB 12		HEX	B#16#7F	
18	IB 13		HEX	B#16#7F	
19	IB 14		HEX	B#16#00	
20	IB 15		HEX	B#16#00	
21					

图 5-8 动作到指定位置 25%和 50%的界面

（4）分别在 2 台执行器上测试“动作到指定位置”的命令，指定位置为 75%和 100%，如图 5-9 所示。



	Address	Symbol	Display format	Status value	Modify value
1	QB 0		HEX	B#16#08	B#16#08
2	QB 1		HEX	B#16#C0	B#16#C0
3	IB 0		HEX	B#16#50	
4	IB 1		HEX	B#16#00	
5	IB 2		HEX	B#16#7C	
6	IB 3		HEX	B#16#00	
7	IB 4		HEX	B#16#BE	
8	IB 5		HEX	B#16#BE	
9	IB 6		HEX	B#16#00	
10	IB 7		HEX	B#16#00	
11	QB 2		HEX	B#16#08	B#16#08
12	QB 3		HEX	B#16#FF	B#16#FF
13	IB 8		HEX	B#16#54	
14	IB 9		HEX	B#16#40	
15	IB 10		HEX	B#16#70	
16	IB 11		HEX	B#16#00	
17	IB 12		HEX	B#16#FE	
18	IB 13		HEX	B#16#FF	
19	IB 14		HEX	B#16#00	
20	IB 15		HEX	B#16#00	
21					

图 5-9 动作到指定位置 75%和 100%的界面

（5）分别在2台执行器上测试“立即停止”的命令，动作到全关的过程中立即停止和动作到全开的过程中立即停止，界面如图5-10所示。

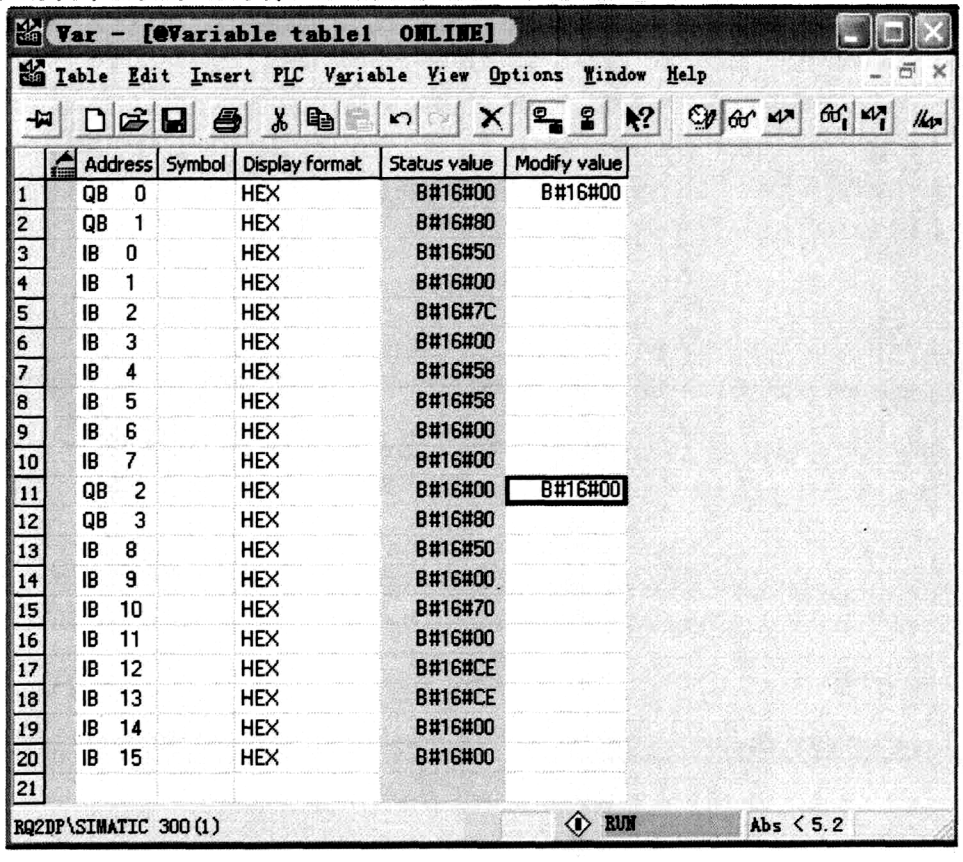


图5-10 立即停止的界面

b. 数据分析

通过与表5-2的对照，得出以下结果：从站对于主站的命令能正确接收和处理，所有状态反馈达到预期设想。另外要说明的是，当执行“运行到指定位置”命令时，由于执行器本身有死区设定（默认值为3%），如当指定其运行到80H位置时，实际能运行到的位置范围是7CH～83H。

表5-2 状态数据的格式及含义

字节1	IB0（IDATA1）	BIT0	=1，表示正在动作（电动或手动）
		BIT1	=1，表示正处于关限位
		BIT2	=1，表示正处于开限位
		BIT3	=1，表示电机过热
		BIT4	=1，监视继电器吸合（表示无综合报警，有下列情况之一即产生综合报警：方式旋钮不在远程、电源掉电、电源缺相、电机过热、丢信）
		BIT5	=1，表示方式旋钮在就地方式
		BIT6	=1，表示方式旋钮在远程方式
		BIT7	=1，表示电池量低
字节2	IB1（IDATA2）	BIT0	=1，表示已触发电动关闭
		BIT1	=1，表示已触发电动打开
		BIT2	=1，表示中断定时器正处于停止位置
		BIT3	=1，表示正在禁动时间内

		BIT4	=1，表示“开阀联锁”信号有效
		BIT5	=1，表示“关阀联锁”信号有效
		BIT6	=1，表示位置调节命令有效
		BIT7	=1，内部数据通讯出错（卡通讯故障）
字节 3	IB2（IDATA3）	BIT0	=1，继电器 S1 吸合
		BIT1	=1，继电器 S2 吸合
		BIT2	=1，继电器 S3 吸合
		BIT3	=1，继电器 S4 吸合
		BIT4	=0，辅助 3 输入/无辅助保持动作信号[注 2]
			=1，辅助 3 输入/有辅助保持动作信号[注 2]
		BIT5	=0，辅助 2 输入/无辅助关动作信号[注 2]
			=1，辅助 2 输入/有辅助关动作信号[注 2]
		BIT6	=0，辅助 1 输入/无辅助开动作信号[注 2]
			=1，辅助 1 输入/有辅助开动作信号[注 2]
		BIT7	=0，辅助 4 输入/无辅助 ESD 信号[注 2]
			=1，辅助 4 输入/有辅助 ESD 信号[注 2]
字节 4	IB3（DIAGR1）	BIT0	=1，表示电机失速/电机堵转
		BIT1	保留
		BIT2	=1，表示阀位出错
		BIT3	=1，表示正在执行位置调节命令
		BIT4	=1，表示收到总线 ESD 命令
		BIT5	=1，辅助开、关、点动/保持控制被允许
		BIT6	=1，表示阀位溢出
		BIT7	保留
字节 5	IB4（POSMIN）	BIT0~BIT7	=00~FF，表示从 POSMIN 到 POSMAN 之间的百分比位置，00 表示 0%，FF 表示 100%
字节 6	IB5（RAWPOS）	BIT0~BIT7	=00~FF，表示从 0%行程处到 100%行程处之间的百分比位置，00 表示 0%，FF 表示 100%
字节 7	IB6（NJ）	BIT0~BIT7	=00~FF，表示从 0%额定扭矩到 100%额定扭矩之间的百分比，00 表示 0%，FF 表示 100%
字节 8	IB7（DIAGR0）	BIT0	=1，表示执行机构转向错误
		BIT1	=1，表示死区或禁动时间设定出错
		BIT2	=1，表示丢信时间设定出错
		BIT3	=1，表示正处于关过矩
		BIT4	=1，表示正处于开过矩
		BIT5	=1，表示电源缺相
		BIT6	保留
		BIT7	保留

[注 2]依据参数（PARAMETER）设置中的“辅助控制输入”屏蔽寄存器（AUXMSK）的设置，反馈相应的状态信息。

5.4.2 波特率与传输距离

不同的波特率下所能达到的通信距离和通信质量也是 PROFIBUS-DP 规范的一个重要指标。本实验采用屏蔽双绞线来验证总线的这一特性。由于条件限制，本文根据实际条件，做了 10m 和 305m 的实验。表 5-3 为实验所测数据。由于现场环境、屏蔽双绞线质量等因素，实际传输距离与理论值存在差异。

表 5-3 波特率与通信距离测试

波特率（Kbps）	标准规定的最长通讯距离（m）	实际距离（m）	
		305	10
9.6	1200	Y	Y
19.2	1200	Y	Y
93.75	1200	Y	Y
187.5	1000	Y	Y
500	400	Y	Y
1500	200	N	Y
12000	100	N	N

5.5 本章小结

本章首先简要介绍了与 DP 接口卡一起组成从站的 RQ 系列的电动执行机构和用于组态 PROFIBUS 网络的 STEP7 软件，接着按照测试步骤对智能从站的通信进行测试。在从站与 SIMATIC S7-300 主站通信成功后，做了主站发命令与从站响应的测试和波特率与通信距离关系的测试。通过测试所得的数据验证了本文开发的 PROFIBUS-DP 从站接口卡具备了从站通信的基本功能，达到预期效果。

第六章 总结与展望

6.1 总结

6.1.1 工作归纳

现场总线技术及其相关产品的开发已经成为当今工业自动化控制及仪表领域研究的热点，本文研究的是当前市场占有率较高并且具有广泛发展前景的 PROFIBUS-DP 现场总线技术，以及其从站接口卡的开发。经过一年多的努力，结合温州瑞基测控设备有限公司 RQ 系列的电动执行机构，进行了 PROFIBUS-DP 从站接口卡的设计、开发和调试工作，使该公司的执行器能够接入 PROFIBUS 网络。具体的工作归纳为以下几点：

（1）查阅、研究了大量国内外关于 PROFIBUS-DP 现场总线技术的文献、规范和资料，从总体上对 PROFIBUS-DP 现场总线的概念、技术特点、优点、通信原理和应用前景有了一定的理解和掌握。PROFIBUS-DP 协议的结构只用到物理层和数据链路层，这样可以减少层间操作与转换的复杂性，节省了协议开销时间，从而能够满足工业现场底层的实时性要求。

（2）通过对控制器+软件、控制器+协议芯片和嵌入式 PROFIBUS 总线桥技术三种开发方案的比较，确定了本文从站接口的开发方案，经过详细的市场调查和理论分析，选择了适合本系统的硬件器件，在此基础上完成了从站原理图的设计。

（3）根据所设计的从站原理图，利用 Protel 99SE 软件完成了从站电路板的绘制，最终焊接完成了 DP 从站接口卡。

（4）根据本文设计从站的要求，完成了用户程序的软件设计。主要实现了 DP 卡发送 PARAMETER 给主板、DP 卡请求地址、DP 卡给主板发送动作命令和 DP 卡向主板请求数据及状态四个功能。

（5）详细了解 GSD 的规范，编写了适合于 RQ 系列执行器的 GSD 文件。

（6）熟悉 RQ 系列执行机构，了解其基本原理，学会操作，以便组网测试。

（7）学习了西门子公司 PLC 的编程方法和 STEP7 软件的使用，为调试工作奠定了基础。

（8）根据设计要求，DP 接口卡与 RQ 系列执行器组成从站通信测试系统，SIMATIC 的 S7-300 为主站，完成了对本文开发的 DP 从站的测试，达到了预期结果。

（9）SPC3 协议芯片是整个从站系统设计中的关键，因此在设计之前需要详细阅读有关 SPC3 协议芯片的资料，了解其内部结构和工作原理，掌握对 SPC3 协议芯片的操作方法。

6.1.2 几点体会

经过 DP 从站接口卡的整个研究、开发过程，有以下几点体会：

（1）自主设计开发 PROFIBUS-DP 从站之前，需要熟悉 PROFIBUS-DP 总线的工作原理。用户可以先熟悉 PRODIBUS 总线在实际工程中的应用，然后再开发自己的从站接口，这样会大大减少设计过程中出现的问题，从而能减少设计开发的时间。

（2）SPC3 协议芯片是整个从站系统设计中的关键，因此在设计之前详细阅读有关 SPC3 协议芯片说明资料，了解其内部结构和工作原理，掌握对 SPC3 协议芯片的操作方法。

（3）在原理图的设计上要实用、经济而可靠。在设计 PCB 线路板时，对其所占面积大小、空间大小有所估计；充分考虑其电气特性；合理布局（如接插件的放置等）。

（4）硬件电路调试时，分块逐步调试。出现故障时，按实现的功能模块逐一排查。对于软件调试，也要按其所实现的功能，设置断点，逐一调试。

总之，开发 PROFIBUS-DP 从站接口卡经历了从无到有，从陌生到熟悉的过程，是一个漫长而艰辛的过程。切实体会到了踏实、细心、善于发现问题和解决问题在研发当中的重要性。系统走过了从理论研究到做出初步成果，对开发有了一个感性认识，深切的感受到基础知识的重要。但是由于是第一次接触这方面的知识，还有很多不足之处，表现在 PCB 线路板设计不够美观，软硬件抗干扰的设计有待进一步调试并改进等。

6.2 展望

通过本课题的研究工作，结合当今技术发展的实际情况，对现场总线技术的发展有以下几点展望：

（1）由于工厂工作的连续性，需要开发冗余的 DP 卡，通过软件控制，保证通信的可靠性，同时也便于检修；

（2）大多数 PROFIBUS 从站的开发都采用了协议芯片，由于其技术的保密性和价格的垄断性，可以尝试绕开协议芯片开发从站；

（3）在国内，从站开发已经比较成熟，主站的研究与开发已成为一个热点，同时也是一个难点；

（4）由于各方面的利益关系，多种总线并存的局面将持续很长一段时间，各种总线相互转换的接口，也将是总线研究的一个热点；

（5）为了满足不断变化的市场需求，PROFIBUS 现场总线技术仍在不断发展中，近年来 PROFIBUS 现场总线技术提出了几项新的标准，它们是 PROFISafe(基于 PROFIBUS 的安全技术)、PROFIBUSDrive(基于 PROFIBUS 的传动技术)、PROFINet(基于标准以太网的 PROFIBUS 技术)，对这些技术的研究将会扩充 PROFIBUS 现场总线技术的应用领域。

致 谢

收笔之际，向曾经给该研究帮助过的所有人表示最衷心的感谢。

首先要感谢我的导师汉泽西教授，在我攻读硕士学位的三年的时间里，我的每一个进步、取得的每一个成绩无不渗透着汉老师的心血。一直以来，汉老师以身作则，言传身教，为我树立了良好的榜样。他在学术上对我提出了严格的要求，使我在攻读硕士学位期间学到了很多东西。同时他给我创造了一个良好的研究条件，保证了我的毕业设计和毕业论文得以顺利完成。在论文完成之际，衷心感谢导师三年来对我的培养、关怀和教育。

特别感谢温州瑞基测控设备有限公司的郑勇总工程师和张武江助工，以及研发部的所有同仁，是瑞基公司给我提供了良好的实验平台，郑老师悉心的指导，才能让该研究得以顺利进行。郑老师渊博的知识、严谨的科研态度以及积极的工作热情都令我钦佩。

感谢同实验室的郭正虹、甘志强等同学，是他们热情而真诚的帮助帮我克服了一个又一个研究中遇到的难题。在此表示最真挚的谢意。

感谢母校——西安石油大学，七年来，在母校的教导下，我掌握了扎实的专业理论知识，同时也教会我做人的道理，真心地感谢曾经给予过帮助的每一位老师和同学。

感谢参考文献中的各位作者对论文的完成提供的帮助。

感谢百忙之中抽出时间审阅论文的各位专家教授。

参考文献

[1] 李正军. 现场总线与工业以太网及其应用系统设计[M]. 北京：人民邮电出版社，2006：66～96.

[2] 韩兵，于飞. 现场总线控制系统应用实例[M]. 北京：化学工业出版社，2006：1～8.

[3] E Tovar，F Vasques. Real-time Fieldbus Communications using Profibus Networks[J]. Transactions on Industrial Electronics，1999，46(6)：1241～1251.

[4] 阳宪惠. 现场总线技术及其应用[M]. 北京：清华大学出版社，1999：6～8.

[5] 何艾，张波，李婷婷等. PROFIBUS 现场总线在徐塘电厂烟气脱硫中的应用[J]. 国外电子测量技术，2007，26（11）：49～51.

[6] 陈月婷，何芳. PROFIBUS 现场总线技术及发展分析[J]. 济南大学学报，2007，21(3)：226～229.

[7] Yao Z，Li T，Wang X. Field-bus profibus and its prospects[J]. Proceedings of the International Symposium on Test and Measurement，2001，(2)：1247～1250.

[8] 陈杭君. PROFIBUS 现场总线技术在宁海电厂的应用[J]. 中国电力，2005，38(7)：57～60.

[9] 王慧锋，何衍庆. 现场总线控制系统原理及应用[M]. 北京：化学工业出版社，2005：6～9.

[10] 郭福社，贺天柱，段峻. 现场总线的发展与标准现状[J]. 现代电子技术，2004，(18)：31～32.

[11] 刘美俊. PROFIBUS 总线技术[J]. 机床电器，2005，(3)：5～8.

[12] Yao Zhuting，Li Ting，Wang Xianchao. PROFIBUS and PROFIBUS-DP'S characterization[J]. Proceedings of the International Symposium on Test and Measurement，1999：1132～1135.

[13] Hie W.T，Philip Chin S.M，Yang R.H. Profibus DP and FMS，a simple and effective fieldbus for factory automation[J]. Instrumentation in the Aerospace Industry，Proceedings of the International Symposium，2000，397：133～141.

[14] 刘泽祥. 现场总线技术[M]. 北京：机械工业出版社，2006：35～44.

[15] 李曦，曹广益，方康玲等. PROFIBUS 现场总线通讯技术的应用研究[J]. 自动化技术与应用，2004，23（3）：40～42.

[16] 刘成俊，王善永，周劲鹰. PROFIBUS-DP 智能从站通信接口的研究与设计. 工业控制计算机，2007，20(1)：11～12.

[17] 陈家佳. Profibus 总线存取机制分析[J]. 重庆工学院学报，2007，21(5)：104～106.

[18] Moller-Nehring Walter，Volz Michael. Motion control with profibus-DP[J]. Elektron，

2002，19（5）：42～44.

[19] 王永华，A. Verwer. 现场总线技术及应用教程[M]. 北京：机械工业出版社，2006：71～72.

[20] 唐济扬. PROFIBUS 产品开发解决方案[R]. 北京：中国现场总线 PROFIBUS 资格认证中心，中国 PROFIBUS 产品测试实验室，北京鼎实创新科技有限公司，2002：1～169.

[21] 高华，姚竹亭. 采用 SPC3 开发 PROFIBUS-DP 智能化从站通信接口[J]. 电器工业，2005，(5)：40～43.

[22] 唐济扬. PROFIBUS 产品开发及总线桥技术[R]. 北京：中国现场总线 PROFIBUS 资格认证中心，北京鼎实创新科技有限公司，2003：1～117.

[23] 姜运芳，兰西柱. 智能仪表的 PROFIBUS 总线接口的研究与开发[J]. 计量与测试技术，2006，33（4）：20～22.

[24] SIEMENS. SPC3(SIEMENS PROFIBUS CONTROLLER)User Description. Oct，1996.

[25] 李颖宏，袁孝纯，田红芳. SPC3 实现的 Profibus-DP 从站系统的设计. 中国仪器仪表，2006，(9)：29～31

[26] 崔倩，韩璞，王浩. 带 PROFIBUS-DP 接口的智能氧量分析仪的开发[J]. 仪表技术与传感器，2007，(7)：23～24.

[27] 吉雷. Protel99 从入门到精通[M]. 西安：西安电子科技大学出版社，2000：297～356.

[28] 葛长虹. 工业测控系统的抗干扰技术[M]. 北京：冶金工业出版社，2006：146～156.

[29] 江平，赵辉，孙丽梅. Profibus-DP 智能从站的设计与实现[J]. 天津理工大学学报，2007，23(1)：52～55.

[30] 彭芬. 单片机应用系统设计中的看门狗技术探究[J]. 武汉职业技术学院学报，2006，5（1）：87～69.

[31] 郑小倩，黄明琪. PROFIBUS-DP 及通讯转换接口的开发[J]. 微计算机信息，2007，23(2－1)：10～12.

[32] 梁传波，赵敏，胡鹤立. PROFIBUS-DP 多功能从站设计. 电子测量技术，2006，29(3)：107～109.

[33] 邬宽明. 现场总线技术应用选编 3[M]. 北京：北京航空航天大学出版社，2005：480～566.

[34] 林伸茂. 8051 单片机彻底研究[M]. 北京：中国电力出版社，2007：170～193.

[35] 阳宪惠. 工业数据通信与控制网络[M]. 北京：清华大学出版社，2003：33～35.

[36] 姚七栋，张春玉. CRC 校验软件实现[J]. 现代电子技术，2006，(13)：67～68.

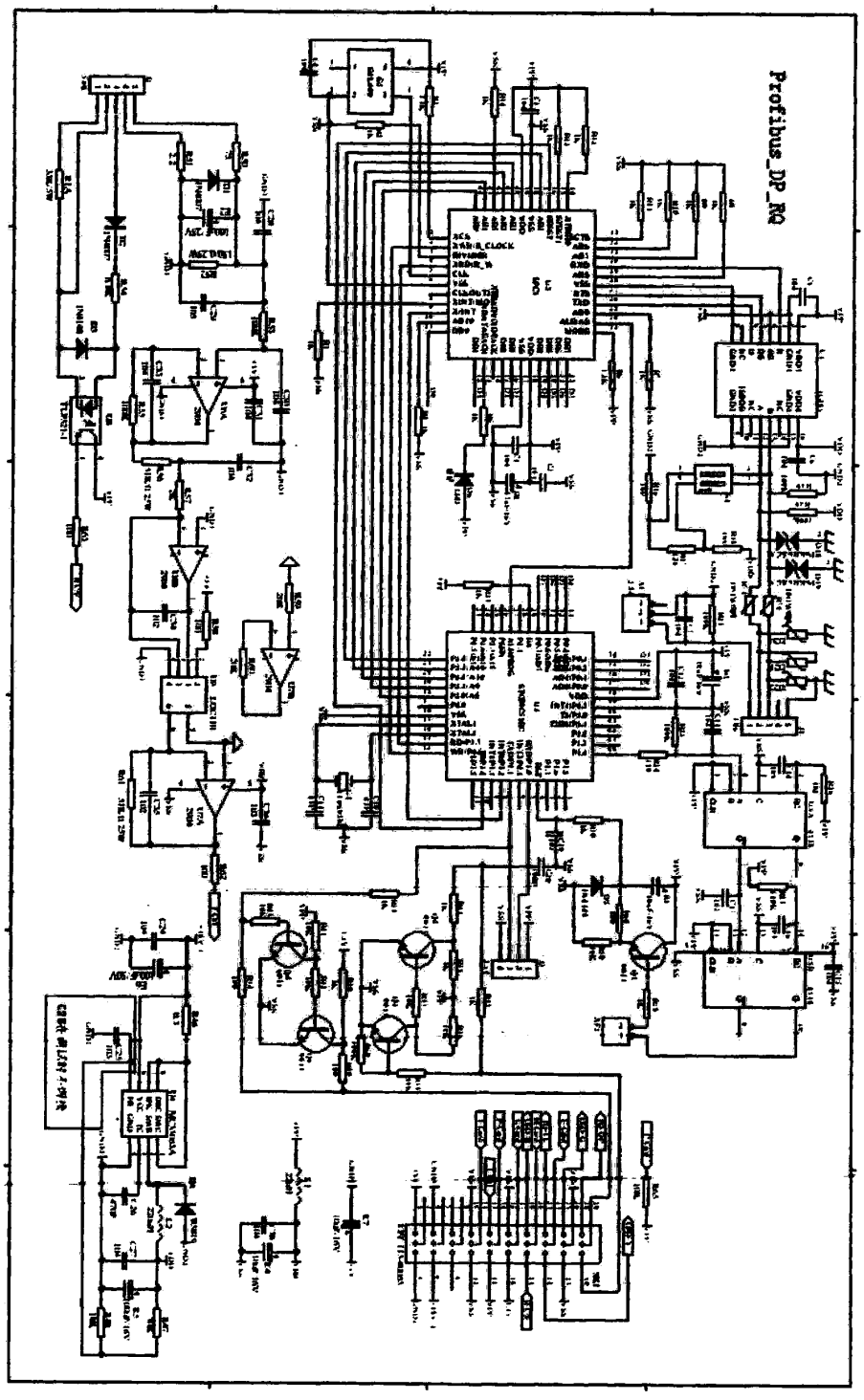
[37] 武自才，郭万军. 多转式智能阀门电动执行机构控制系统设计[J]. 阀门，2007，(1)：25～28.

[38] 高鸿斌，孔美静，赫孟合. 西门子 PLC 与工业控制网络应用[M]. 北京：电子工业出版社，2006：166～175.

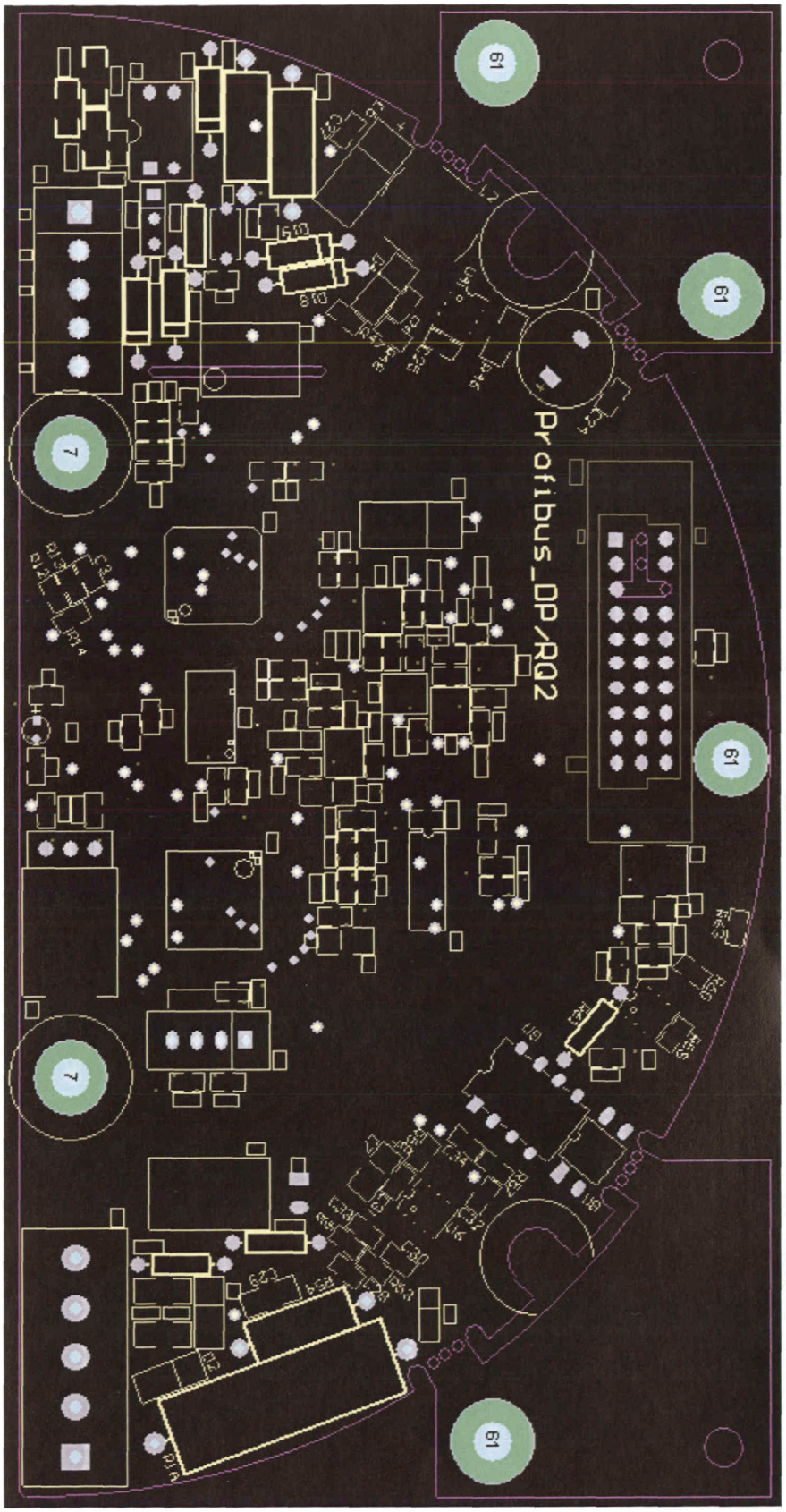
[39] 谭爱红. 现场总线技术在电动执行机构中的应用[J]. 机电工程技术，2004，33（5）：74～75.

附 录

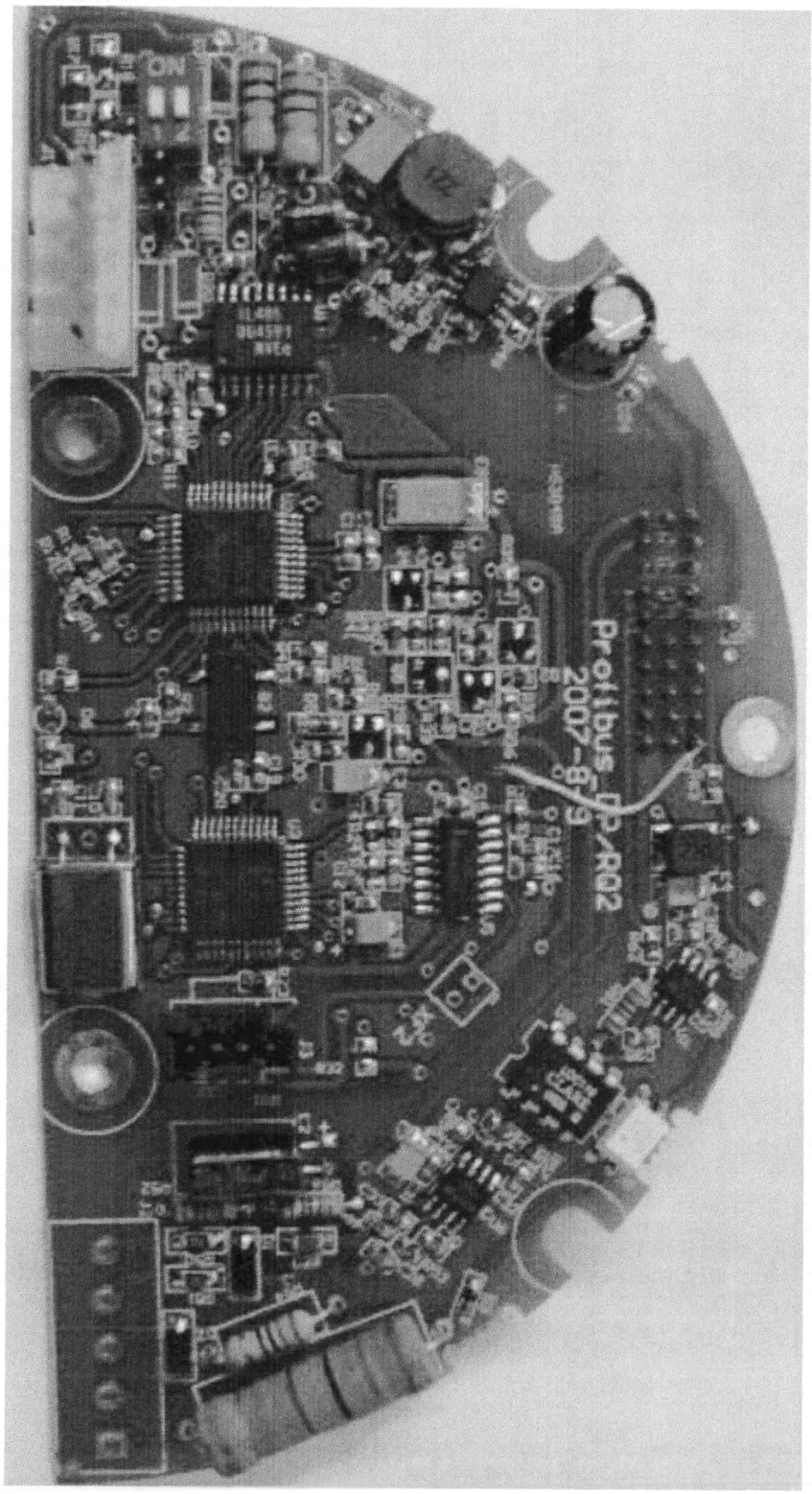
附录 1 PROFIBUS-DP 接口卡的原理图



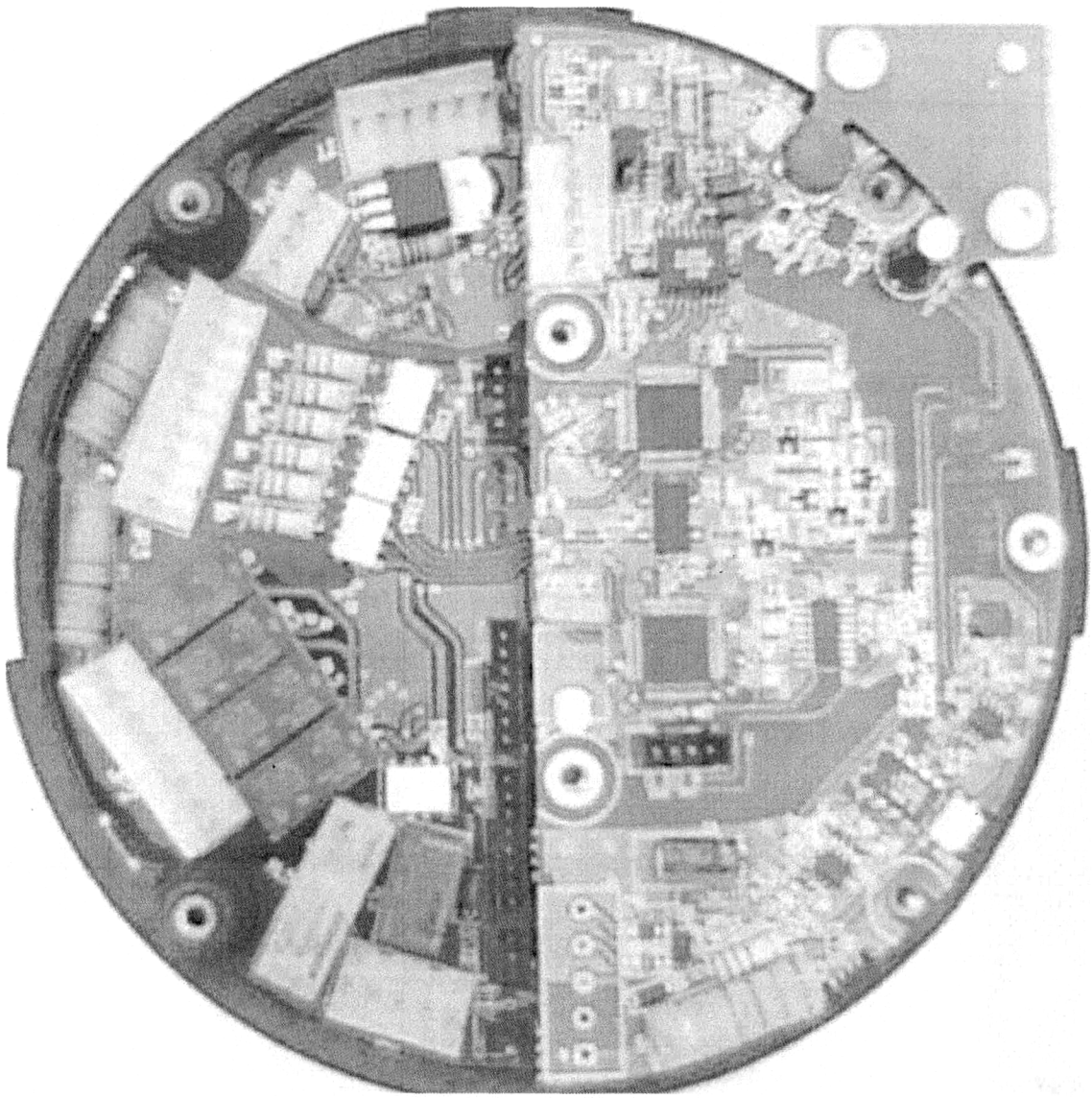
附录 2 PROFIBUS-DP 接口卡的 PCB 线路板



附录 3 PROFIBUS-DP 接口卡实物



附录 4 PROFIBUS-DP 接口卡与主板



攻读硕士学位期间已发表和已录用的论文

[1] 汉泽西，李彪等．地震检波器发展初探．石油仪器，2006，20（6）：1～4．

[2] 汉泽西，李彪等．接地抗干扰技术的探讨．测控技术，2007，26（12）：74～77．

[3] 汉泽西，李彪等．带 PROFIBUS-DP 接口的电动执行机构的开发及应用．电子测量技术，2008，31（6）．（已录用）

[4] 汉泽西，郭正虹，李彪．石油测试仪器的可靠性研究．石油工业技术监督，2007，(2)：17～20．