

摘 要

自动化仪器仪表工业的发展对阀门电动执行机构的性能提出了越来越高的要求，世界阀门市场需求的不断上升也促使电动执行机构的应用越来越广泛。随着微电子技术、传感器技术、通信网络技术以及机电一体化技术的发展，电动执行机构将跨入数字化、智能化、网络化的时代。

基于现场总线的智能电动执行机构由智能控制器和执行机构两部分组成。智能控制器是指单片机与现场总线连接的控制阀门开关的控制部分，它接收来自调节器的模拟信号或上位机的数字信号，并将其转换为电动执行器相应的角位移或直线位移输出，带动阀门动作，以实现对各种过程参数的自动控制。执行机构由电动机、传动装置及其带动的阀门组成。

本文对控制器硬件电路、单片机软件以及上位机通信界面三部分的设计进行详细说明：硬件电路以 ADuC812 为控制中心，采用光电隔离式输入输出电路和限位控制电路、独立电源模块、可靠性高的电机驱动电路、精确的阀门位置反馈电路，以及灵活的人机界面电路；单片机软件设计包含自整定程序、执行器控制算法、人机交换信息程序，以及 RS485 串口通信协议的通讯程序等的编写；上位机通信界面采用 VC.NET 编写，界面直观性强，便于监测电动执行机构的运行状态。同时，对所研制的电动执行控制系统进行了实验测试，测试结果表明系统软硬件设计正确。文章最后通过分析设计中存在的问题，针对性的提出基于光机电一体化的电动执行控制系统，并给出具体改进方案。

关键词：电动执行机构；现场总线；自整定；机电一体化

Abstract

Because of the developments of the automation instrumentation industry, the performances of electric actuator will be better and better. At the same time, the application of electric actuators will be wider and wider as the market demand of valves is rising. With the developments of the technology of microelectronics, sensors, communications network and mechatronics, electric actuator will enter a digital, intelligent and network era.

The intelligent electric actuator based on fieldbus is composed of intelligent controller and actuator. The intelligent controller that joined by SCM and FCS is used to control the valve switch. It can not only receive analog signals from regulators, but also receive digital signals from PC. Then these signals are changed to angular displacement or linear displacement to drive the valves. Because of these, the controller can make the process controlling come true. Actuator is composed of motor, shift gear and valve.

This paper dwells on three parts which is the design of hardware circuit of the controller, software of the controller and interface of the PC. The core of the controller is ADuC812 SCM. And photoelectricity seclusion input and output circuit, limit circuit, independent power circuit, high reliability motor drive circuit, accurate position feedback circuit and flexible human-machine interface circuit are used. Software of the controller is composed of self-adjusting program, control algorithm program, human-machine exchange of information program, serial communication program which use RS485 as its communication protocol, etc. VC.NET is used in the interface of the PC. This interface has high visibility, and it can monitor the operation of the actuator. At the same time, the electric actuator control system is tested. And the design of the software and hardware of the system is proved correctly by the test results. At the end of this paper, the existing problems are analyzed. Against these problems, a new kind of intelligent electric actuator based on Optical-mechanical-electrical integration is put forward, and its operation methods are given.

Key words: electric actuator; fieldbus; self-adjusting; mechatronics

独创性声明

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，除文中已经标明引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的研究成果。对本文的研究做出贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

学位论文作者签名：

日期： 年 月 日

学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解学校有关保留、使用学位论文的规定，即：学校有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅。本人授权华中科技大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文。

本论文属于 保密，在_____年解密后适用本授权书。
 不保密。

(请在以上方框内打“ ”)

学位论文作者签名：

日期： 年 月 日

指导教师签名：

日期： 年 月 日

1 概述

据《世界市场报告》报道，2007 年世界工业阀门市场将超过 440 亿美元。阀门的各种类型中，自动调节控制阀所占比例最大，将占有市场总份额的 20% 以上。自动化工业中的开度控制以及各种流量控制对阀门电动执行机构控制器的性能提出了越来越高的要求，微电子、计算机、通信网络技术和机电一体化技术也在迅速发展，这两个因素使得具有双向通信、自校正与自诊断等智能控制功能的电动执行机构成为发展的总趋势。

1.1 智能电动执行机构简介

执行器是过程控制系统的重要组成部分，按照驱动能源形式分为电动、气动和液动三大类。气压传动是指以压缩气体为工作介质传递动力和控制信号的系统，气动执行机构具有防火、防爆、防电磁干扰、抗振动冲击辐射、结构简单，但是工作速度慢，压缩气体不容易得到；液压传动是根据静压传动原理而发展起来的，液压执行机构运动平稳，传动无间隙，可在高速下启动、制动、换向，但是液压调节阀推力大，体积大，使用、安装、拆卸、维修都很困难，且不适合在较小功率场合使用。电动执行机构也称作阀门控制器或阀门电动装置，是电动单元组合仪表中的执行单元。相对于气动、液压执行器而言，电动执行器主要有三点优势：

(1) 不需要特殊的气源和空气净化等装置。即使电源掉电，执行器也能保持在原执行位置；

(2) 可远距离传输信号，电缆的铺设比气管和液体管道的铺设方便，且便于线路检查；

(3) 与计算机连接方便简洁，更适应采用电子信息技术。

另外，电动执行机构动作和响应速度极快，工作效率高，调速性能好，因此研究电动执行机构的国内外发展趋势和开发设计新型电动执行机构具有重要的工业意义和很高的经济效益^[1~2]。

1.1.1 国内发展概况

我国自 1958 年开始自行设计、制造了与 DDZ - 型和 DZZ - 型电动单元组合

仪表配套的电动执行器系列产品。这些产品主要是按照苏联的有触点执行机构进行仿制的。改革开放以后，我国自动化仪表行业有了长足的进步，当时的主要产品是无触点的 DKJ 型角行程电动执行机构和 DKZ 型直行程电动执行机构两大类产品。到 1985 年，全国电动执行机构总产量已接近 50000 台，总产值约 6000 余万元。

随着我国工业发展和自动化程度的不断提高，新产品的开发研制能力、产品科技含量和推广应用等方面都取得了很好的成绩。但是由于我国仪器仪表工业起步较晚，相对基础薄弱，目前我国仪器仪表行业产品大多属于中低档水平，而高档、大型仪器设备基本上依靠进口，中档产品以及许多关键零部件国外公司占有我国市场 60% 以上的份额，国产分析仪器约占全球市场不到千分之二份额。国内电动执行机构产品采用分立元件，接收输入模拟信号，伺服电机的制动器使用寿命短，而且容易烧坏，可靠性低，使用维修困难，技术参数落后，如死区大、稳定性差、制动器寿命短、平均无故障时间短，与国外同类型产品有很大差距。目前国内电动执行机构厂商的主要工作是消化和吸收国外技术，如上海吴泾热电厂引进日本梅森尼兰公司给水调节阀，与其配套的执行器是美国 LIMITORQUE 多转式直行程电动执行器，市场上生产和使用的大部分仍然是六十年代设计的产品。少数单位和企业数字化和智能化工作上作了一些探索，如上海自动化仪表研究所开发的新型智能电动执行器具有自诊断、自调整和 PID 调节功能。目前仅个别使用，没有形成产品，在先进产品的开发上也没有重大进展。

针对国产电动执行机构存在控制方式落后，可靠性不高，不便于调试和维修，缺乏完善的保护和故障报警措施以及必要的通信手段等问题，国家“十一五”大力发展阀门以及电动执行机构行业，争取逐步赶上国际先进水平，并在重大项目（例如 500 万吨炼油、1200 立方米高炉、300MW 发电机组等大型工程）上实现突破，在此期间，智能执行器系列年需求量 50 万台（件）。预测到 2010 年，我国整个通用设备阀门行业阀门需求总量为 345 亿元^[3~4]。

1.1.2 国外发展概况

90 年代以后，国际上开始出现智能电动执行机构。随着现代化仪器仪表向微型化、集成化、智能化和总线化方向的迅速发展，以及关键元器件技术的难关突破，国外已经开发出新一代智能化电动执行机构产品，并且处于领先甚至垄断地位。英国的

ROTORK 公司、德国的 SIMENS 公司、美国的 VALTEK 公司和 LIMITORQUE 公司等几家国外著名公司生产的智能化电动执行机构功能强大、简单可靠、技术先进、代表着该领域的世界先进水平。这些公司的产品主要有以下几个特点：

(1) 计算机控制。先进的阀门电动装置具有完善的智能控制，可按给定值自动进行 PID 调节，控制流量和压力等过程变量。例如 VALTEK 公司的 Starpac 智能阀门电动装置即能响应外部 4 - 20mA 模拟信号，也能接收经由 RS485 通信口传送的数字信号或按自身程序设定的参数进行 PID 控制；

(2) 安全措施。智能化电动执行机构具有高度的自身保护及系统保护功能，当电机出现故障或者是阀门卡死的情况下能够保护装置。国外智能型阀门电动执行机构具有自身保护功能，系统保护功能，例如 ROTORK 公司生产的 IQ 型智能化阀门电动装置。

(3) 通信功能。智能阀门电动装置采用数字通讯的方法与主控室相连，根据接收到的来自主控室的寻址数字信号对电动装置进行相应的控制。例如 LIMITORQUE 公司的 Controlinc 系统就是采用数字通信技术将电动执行机构、计算机阀门控制器（CVC）网络接口部件以及主计算机等数字设备连接的一个局部网络。

(4) 智能诊断，即故障自诊断，自动采取应急措施并报警。国外智能型电动执行机构通过装载附加传感器增加故障诊断功能。

(5) 一体化结构。一体化结构把整个控制回路装在一个现场仪表之中，使控制系统的设计、安装、操作和维护等工作大为简化，且减少因信号在传输中的泄漏和干扰等因素对系统的影响，提高可靠性。

目前国内外智能电动执行机构的发展趋势为：机电一体化、逐步取代组合式机构；智能化控制技术逐步取代纯电子控制技术；数字通信功能逐渐加强。随着光学器件的发展以及光学应用的开发，光机电一体化技术也逐渐引入到电动执行机构的体系中来 [5~8]。

1.2 课题内容

本课题是采用机电一体化的结构，采用现场总线机制，设计出一款具有远程监控与通信、现场操作以及自整定等功能的智能型电动执行控制系统。在此设计的基础之

上，提出采用光电器件检测阀门位置和运动方向的光机电一体化结构的电动执行控制系统。

1.3 论文内容安排

第二章：对电动执行机构的主电路和控制软件提出总体设计方案，对模块的功能进行简单介绍。

第三章：对电动执行机构的电路进行分块设计，包括电源电路、光电隔离电路、串口通信电路、电机驱动电路等；对单片机智能软件进行设计和分析；对现场总线技术进行分析，设计上位机与单片机串口通信的界面。

第四章：根据第三章的设计组装系统，对系统进行实验测试，根据测试结果验证方案正确与否。

第五章：对设计中的优缺点进行分析，提出光机电一体化化的设计方案，给出光机电一体化电动执行机构的模型，介绍基于光机电一体化的电动执行机构的实施方案。

第六章：总结系统设计的经验和所作的工作，比较得出优缺点，结合光机电一体化化的设计对智能型电动执行机构的发展提出自己的看法和展望。

2 电动执行机构的总体介绍

电动执行器以电能为动力，接受调节器来的标准信号（模拟量 DC 4 -20mA、DC 1 -5V 或数字量），通过将这些信号变成相对应的机械位移（转角、直线或多转）来自动改变操作变量（调节阀、风门、挡板开度等），以达到对被调整参数（温度、压力、流量、液位等）进行自动调节的目的，使生产过程按预定要求进行^[9]。

电动执行机构大致分为控制器和执行器两大功能模块，结合这一思想本设计方案的工作原理如图 2-1 所示。系统采用机电一体化设计，它将阀门、伺服电机、控制器合为一体，利用电机直接驱动阀门的开与关。系统带通讯功能，实现远程通信，接收上位机的指令，进行远程数字控制，也可以在人机界面上通过菜单和按钮实现手动控制或者接收 4-20mA 工业二线制电流信号对阀门进行控制^[10]。

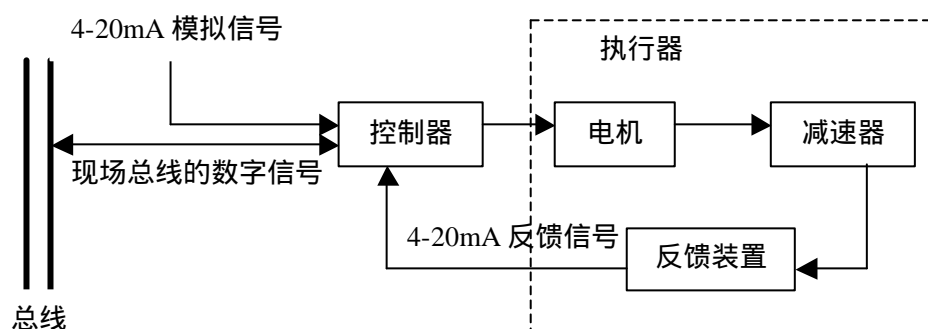


图 2-1 电动执行机构原理框图

2.1 控制器介绍

控制器以 ADuC812 单片机为核心，接收 4-20mA 二线制模拟信号或者上位机发出的数字信号对执行器进行控制，不同大小的电流信号或数字信号对应阀门不同的开度（0-100%）。控制器接收到位置传感器反馈的位置信号，通过比较输入信号与反馈信号的偏差，由单片机产生启动、停止或者正传反转信号来控制电机的运作，从而使阀门运行到指定开度位置。如果电机在运动过程中出现故障，控制器便产生报警信号，此信号由单片机通过串口发送给上位机，这样上位机便可监测电动执行机构的运行状态。同时，上位机可以与单片机进行串口通讯通信，输出数字信号控制电机进行适当的操作，从而避免电机等的损坏。人机界面由发光二极管和数码管显示系统运行状态，

操作人员可以通过界面上的按钮选择控制模式、设置电流控制信号的大小、在任意时刻改变系统的零位（0%）和满位（100%）值、设置系统出现故障时电机的运行状态等。硬件的设计和单片机软件编写的结合实现电动执行机构的智能控制，控制电路的精确度、响应速度以及扩展性是硬件设计的难点，阀门行程的自整定以及其它智能性设计是软件设计的难点。

现场总线将自动化控制中最底层的现场控制器和现场智能仪表设备互联，全数字现场总线控制系统（FCS）是当今自动化仪器仪表发展的潮流，也是智能电动执行机构发展的重要趋势之一。为了实现工业上的集中控制，考虑到电动执行机构网络中设备的单一性，本设计中利用 ADuC812 单片机的串行口，在单片机内部编写串口通信程序，通过 RS-485 通信协议实现与上位机的通讯，上位机上采用 VC6.0 开发串口通信程序和操作界面。

2.2 执行器介绍

电机、减速机构、行程限制机构（限位开关等）、位置反馈装置共同构成电动执行机构的执行器。电机与减速机构示意图如图 2-2 所示（以直行程为例）：

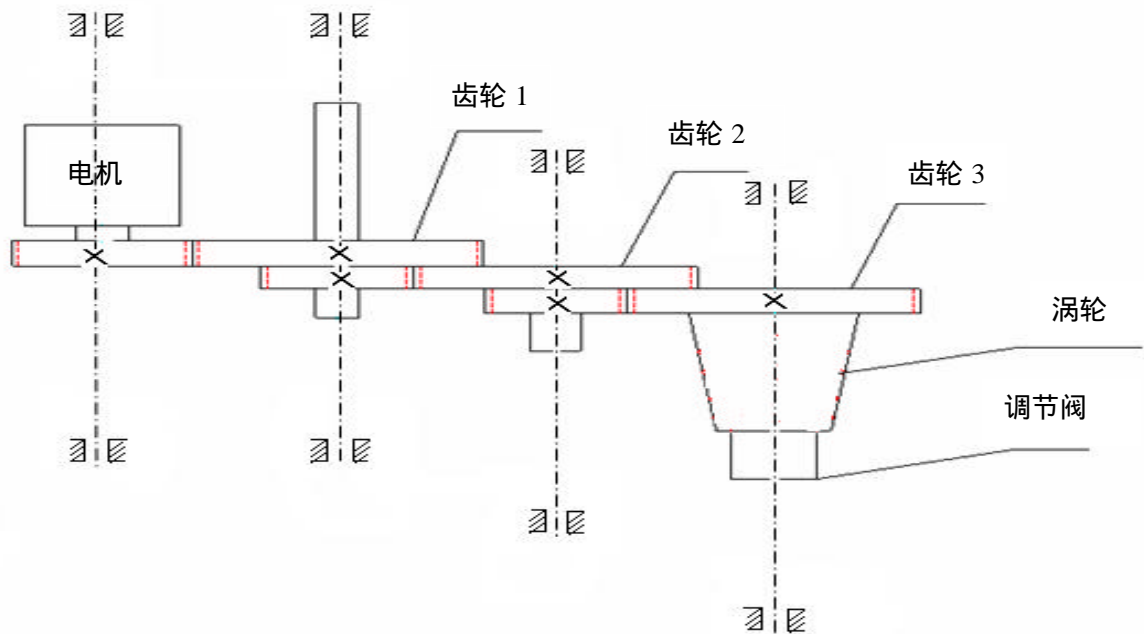


图 2-2 电机与减速机构示意图

智能型电动执行机构要求电机的功率小、转速恒定、散热快，本设计中使用的电

机为单相交流可逆电动机 SM70-2，额定电压为 220V，频率为 50HZ，额定功率为 40W，转速为 300 转/分钟，实验证明该电机能够满足需求，工作稳定。减速机构通过多级齿轮和涡轮杆构成，传动线路为电机 齿轮 输出轴，由于减速作用明显，齿轮及输出轴的转速比电机小很多，第四章的专利“基于光机电一体化智能电动执行机构”正是基于减速机构良好的减速作用和高精度而提出的一种创新型设计。位置反馈装置采用电阻式反馈，本设计中使用精密电位器。电机高速转动带动多级齿轮转动，多级齿轮带动输出轴上下运动(以直行程为例)，输出轴的上下运动带动电位器的小齿轮转动，则电位器以一定的传动比随输出轴转动，相应的电位器阻值发生变化，经过控制电路中运放电路后，电阻值的变化转变成电压值的变化，电压信号经过单片机的 A/D 转换后进行定位控制和处理。

阀门零位和满位的检测装置由两个极限开关和上下凸轮组成。以直行程为例，当阀门在输出轴带动下向上或者向下运行到某一极限位置时，凸轮推动相应的极限开关，限位传感器产生一个脉冲信号，控制中心的单片机接收到脉冲信号后进行处理，产生停止信号控制阀门运作。用户可以根据自己的需要设定上下位限传感器的定位点位置即极限位置，也可以通过软件编写需要的极限位置以便适应工业上不同的定位需求。

执行器与阀门连接部分的示意图如图 2-3 所示：1 为连接件，2 为销，3 为盘簧，4 为保持螺母，5 为阀杆，6 为阀体。如果阀杆带螺纹，连接件可以加工成相应内螺纹，为防止安装后旋转，连接件通过销孔连接或者在保持螺母下方并上双螺母。执行器与阀门保持良好连接有助于阀门的精确定位。

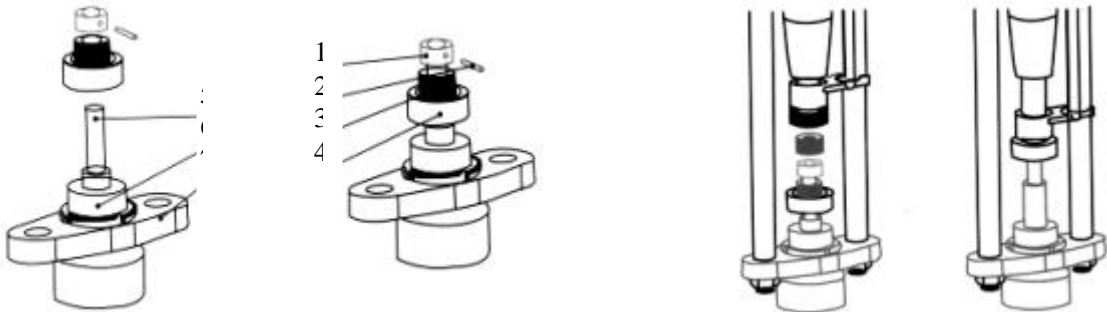


图 2-3 执行机构与阀门连接图

执行器行业中已经出现了诸如谐波齿轮的传动机构，它的优点是传动比大、齿面

磨损小以及传动精度高，在产品的进一步优化中可以不断调整执行器的性能以提高电动执行机构的整体性能^[11~14]。

2.3 上位机界面介绍

基于现场总线的电动执行机构必须实现与上位机的通讯，这也是智能型电动执行机构发展的必然趋势。由于 RS485 通讯符合现场总线的通讯协议，采用半双工的通讯方式，电动执行机构与上位机或主控室之间可通过总线进行双向数字通讯，可以极大提高系统的控制精度和稳定性。本文中单片机采用中断方式处理串口通讯程序，实时性很强。本设计中控制器既可以接收 4-20mA 模拟信号，又可以接收上位机数字信号，这样用户可以继续使用原来的现场仪表。本系统既实现了现场仪表与控制系统的通信功能，又减小了经济成本。上位机需要与各从设备交换信息，因此通讯的信息分为上位机控制信息和从设备返回信息两类。

本电动执行控制系统中上位机界面的内容包括：二线制电流控制信号的大小、位置反馈信号的大小、电机运动的方式、通信的单片机控制器地址、通信波特率、电机故障的有无、电机工作的模式、上位机输出的控制电流、电机的上升、下降或停止信号，以及保存设置的信息等。上位机界面的可观性、可操作性强是 VC.NET 程序编写的重点。

2.4 主要功能特性

(1) 直接接收 4-20mA 或者上位机的控制信号进行控制，反馈输出隔离 4-20mA 阀门位置反馈信号；

(2) 控制信号断路故障判断、报警及保护功能，同时，断信号时可使执行机构或开、或关、或保持、或在 0-100% 之间预置的任意值；

(3) 数字显示，显示控制信号值、阀位值、故障类别；

(4) 机电一体化的结构设计，友好的人机界面；

(5) 可在软件中设定行程的上下限，同时也在硬件上采用上下限位开关，从而使执行器具有双重保护功能；

(6) 远程通信功能，通过通讯协议在上位机进行编程组态，对过程量、开关量作

数据或图形处理；

(7) 阀门行程自整定，具有故障自诊断功能；

(8) 电动执行机构控制指标：行程控制的相对误差和回差的相对误差均小于等于1.5%。

2.5 本章小结

本章从电动执行机构的原理结构开始分析，介绍了本设计中三大组成部分，控制器、执行器、上位机界面的构成和主要设计内容，并对各个部分设计的难点进行了分析，提出设计方案，最后简要介绍了基于现场总线的电动执行控制系统的功能特性。

3 电动执行控制系统的设计

电动执行机构控制器的设计由两部分组成，即硬件设计和软件设计。硬件设计包括：输入输出电路、电源电路、电机驱动电路、限位控制电路、阀门位置反馈电路、状态显示电路以及串口通信电路等。硬件设计是电动执行控制系统的基础，正确完整的电路才能称为软件的依附。软件设计包括：单片机初始化、自整定程序、串口通信程序等，本文中软件设计还包括上位机的界面设计以及上位机的串口通信程序。完善的软件设计才能使硬件电路的工作实现程序化和智能化。

3.1 硬件电路设计

作为一个实现功能丰富、元器件复杂、工作高效的电动执行控制系统硬件电路的设计必须遵循一定的原则：(1) 尽可能选择典型电路，并符合单片机的常规用法，为硬件系统的标准化、模块化打下良好的基础；(2) 系统的扩展与外围设备配置的水平应充分满足应用系统的功能要求，并留有适当的余地，以便进行二次开发；(3) 硬件结构应结合应用软件方案一并考虑。硬件结构与软件方案会产生相互影响，考虑的原则是：软件能实现的功能尽可能由软件来实现，以简化硬件结构。设计中必须注意，由软件实现的硬件功能，其响应时间要比直接用硬件响应长，而且占用 CPU 的时间（比如延时程序）；(4) 整个系统要尽量做到性能匹配，例如选用晶振频率较高时，存储器的存取时间有限，应该选择存取速度较高的芯片；(5) 可靠性及抗干扰设计是硬件系统设计不可缺少的一部分，它包括芯片、器件选择、去耦滤波、印刷电路板布线、通道隔离等；(6) 单片机外接电路较多时，必须考虑器件的驱动能力。驱动能力不足时，系统工作不可靠。

3.1.1 芯片选择以及方案介绍

电动执行控制系统的控制中心采用 ADuC812 单片机。ADuC812 单片机组成为：一个 8 通道 5 μ s 转换时间且精度自校准的 12 位逐次逼近 A/D 转换器、两个 12 位的 D/A 转换器、8KB 片内闪速/电擦除程序存储器、640 字节片内闪速/电擦除数据存储器、256 字节片内 RAM、80C52 单片机内核。。另外，ADuC812 单片机还包含有一个看门狗定时器和

电源监控器、ADC 与数据存储器之间的 DMA 电路、存储保护电路、SPI 和 I2C 总线接口。ADuC812 集成了完全可编程的、自校准、高精度的模拟数据采集系统。

选用 ADuC812 作为控制中心的原因：

(1) 集成度高，体积小：机电一体化是电动执行机构发展的必然趋势，ADuC812 单片小体积的性能满足了这一要求。ADuC812 芯片大小为 14.15mm*10.11mm，采用 52 脚的 LPQF 封装，相比于其他同性能的单片机，其封装体积非常小，价格便宜，对于工业上大批量的生产有利，适合推广使用。

(2) 响应速度快：工业上液位和流量的控制，尤其是在一些安全系数要求很高的场合，往往需要控制中心快速响应。ADuC812 单片机 A/D 转换的速度高达 200kb/s (12MHz 晶振)，满足了工业上实时性的需求。

(3) 足够的资源：ADuC812 的 I/O 口多达 32 个，除部分口复用外，其他的 I/O 口足够驱动电机，界面显示以及反馈上下位限信号使用。同时，ADuC812 的许多片内资源也符合控制器的要求，A/D 转换用于模拟输入信号的检测和阀门位置反馈信号的实时监测，I2C 口用于外接掉电数据存储器 EEPROM，两个 PWM 口用来产生电机的控制信号(上升、下降或停止)等。ADuC812 丰富的 I/O 口资源为电动执行机构的智能化提供了可能。

(4) 性能稳定，抗干扰能力强：ADuC812 的多个 I/O 口使得整个系统的芯片数量减少，且其本身的功耗低，整个系统的功耗降低。电动执行机构内有 220V 的交流电源，还有可控硅的不断开关，这些都是干扰源，ADuC812 在干扰下能稳定工作，使得整个系统抗干扰性加强^[15~17]。

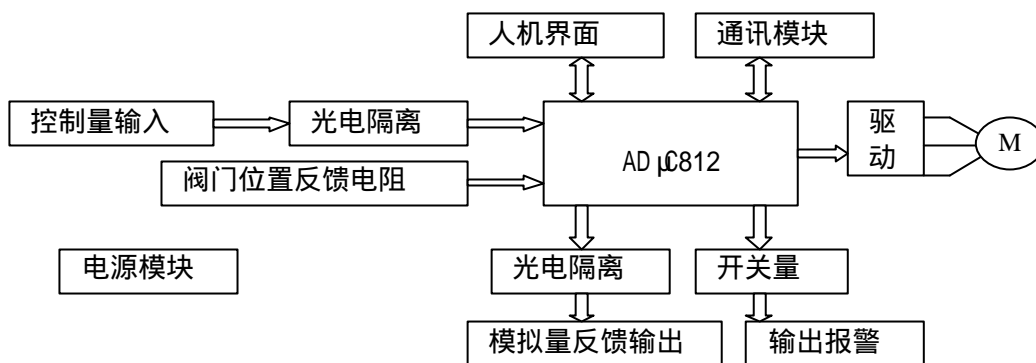


图 3-1 电动执行机构控制系统方框图

整个系统的硬件设计图如图 3-1 所示：ADuC812 为控制中心，输入输出电路均采用光电隔离式设计；电源模块与系统电路隔开，便于散热并防止干扰；人机信息交流既

可以通过人机界面来设置，也可以通过上位机的界面来监测和控制，可操作性极强；通讯模块实现上位机与单片机的串口通讯，实现现场总线式的工业网络控制，进一步实现电动执行机构的智能化；开关量输出产生报警信号，使系统更加安全和可靠。

3.1.2 控制信号输入电路

在工业自动化控制系统中，往往是把系统控制对象的某一特征参数如流量、压力或温度作为控制参数，根据这一参数是否符合要求来控制阀门的开度，调节管道系统中介质的流量，从而控制参数符合要求。控制信号输入电路即单片机的前向通道，指的是单片机应用系统的信号采集通道，从信号的接收、变换、直到输入单片机。前向通道的设计与被测对象的状态、特征、所处环境密切相关。在前向通道的设计中要考虑到传感器或敏感元件的选择、通道结构、信号调节、电源配置、抗干扰设计等。因此，单片机应用系统中的前向通道体现了被测对象与系统相互联系信号的输入通道；同时，对被测对象信号的拾取，前向通道其主要任务就是准确地反映被测对象的真实状态，包括实时性与测量精度，最终传输给单片机的信号应该能够满足 CPU 输入接口的电平要求。

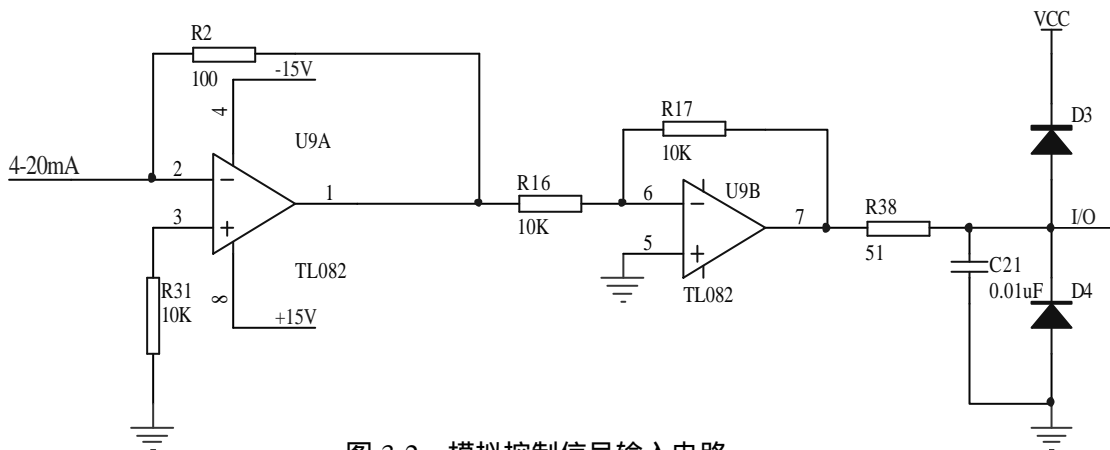


图 3-2 模拟控制信号输入电路

遵循以上原则，开展以下控制信号输入电路的设计。如图 3-1 所示，本电动执行控制系统接收的控制信号分为 4-20mA 二线制模拟信号和上位机数字信号两种。对于二线制信号，其输入电路如图 3-2 所示，将二线制电流信号转换成电压信号，ADuC812 的 A/D 转换口对电压信号进行 A/D 转换，并产生信号控制电机上升或下降。为防止电压超过测量范围，采用电阻 R38 稳定电压值。对于数字信号，根据通信协议规定的数

据通信格式获取控制信息，根据这些信息控制电机运动。设计中为避免模拟信号与数字信号的相互串扰，控制信号输入电路和开关量输出电路均采用光电隔离设计。光电隔离电路中心采用光耦，选用芯片 TLP521-1，TLP521 的发光元件（发光二极管）为输入回路，它将电流信号转换为光信号，光敏元件（光电三极管）接收光信号并转换为电信号输出。此电路中数字地与模拟地隔离，将外界电路与控制中心隔开，有效避免了数字电路与模拟电路的信号串扰，提高了整个系统的抗干扰能力和定位精度^[18]。

3.1.3 电源电路

电源技术，是采用功率电子技术，将一种电源变换成另一规格大小电源的技术。控制系统的电子电路需要由直流稳压电源来供电，可以自行设计，也可以选用现代集成模块电源。自行设计的电源多选用分立元件，可靠性不高，而且会使控制器体积增大，而模块化电源已经集成封装，体积小，可靠性高。随着微电子技术的发展，集成电路得到了广泛应用，从而推动了电子设备向固体化、小型化、轻量化方向发展，这一发展趋势对电子设备的电源装置也提出了小型化、轻量化和高效率等要求。在传统的系统或设备中，都建有庞大的电力供应系统，为系统或设备不同的需求提供相应的电力，这种电力供应系统不但机构复杂、成本高，而且所提供的电力的稳定性也不十分理想，并伴随有巨大的能源损耗。现代集成模块化电源，将系统或设备的集中供电变为分散供电。电源经过这种功率电子技术处理，能获得良好的节能效果。国外发达国家作为电源的电能，已有 80% 经过这种技术处理，节能效果达 15% 到 40%。本设计中机电一体化的结构也要求各功能模块由分立元器件向集成化、小型化发展，因此电源模块采用集成化模块^[19]。

电源是电动执行控制系统的核心，整个系统的供电均由电源电路产生。外界提供给电动执行控制系统的是 220V 的交流电压，而电路中运算放大器需要 $\pm 15V$ 直流电压供电，ADuC812 单片机以及光电隔离等电路需要 +5V 直流电压供电，因此必须获得这两种类型的电压以维持系统的正常工作。本设计中选用的集成化电源模块是开板电源，它直接将 220V 交流电压转化为 $\pm 15V$ 电压， $\pm 15V$ 电压经过 7805 芯片处理后获得 +5V 电压。所用开板电源为长沙创立达电源设备制造厂的 KD3- ± 12 型号电源，电源外观如图 3-3 所示，输入电压为 165-265V 的交流电压，输出为 $\pm 15V$ 直流电压信号，其安

装尺寸为 37*18.5mm。实践证明，该电源工作稳定，有效抑制干扰，同时具有较高的转换效率，系统可靠性强，体积小，便于安装和调试。

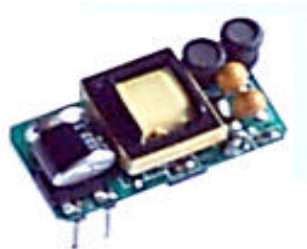


图 3-3 开板电源外观图

3.1.4 电机驱动电路

电机是电动执行机构的动力，带动执行器运作的器件。本设计中采用单相交流可逆电动机 SM70-2（额定电压为 220V，频率为 50HZ，额定功率为 40W，转速为 300 转/分钟）。目前对电机的控制一般采用机械控制手段，如继电器控制，继电器的机械触点在频繁的开启过程中会打火结炭，使用寿命不长，同时响应速度较慢。由于机械式控制的这些缺点，本设计中采用电力电子技术来控制电机运转，电力电子器件一般开关速度快、寿命长、控制功率小、灵敏度高、无火花和拉弧现象，保证电动执行机构在高温条件下长期可靠运行，同时有助于对电机的保护^[20-21]。

电机控制原理如图 3-4 所示，电机与控制器相连的总共有 3 个接口，一个公共端接 220V 的零线，一端接电机驱动电路正转信号输出口，一端接电机驱动电路反转信号输出口。

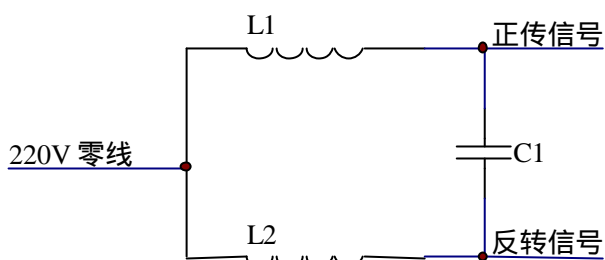


图 3-4 电机控制原理图

电机驱动电路如图 3-5 所示：采用双向可控硅来控制电机的运行，可控硅的驱动采用 MOTOROLA 公司生产的 MOC3083。MOC3083 为过零双向可控硅输出光电耦合器（6Pin），它不仅具有光耦的隔离 CPU 与电机控制回路的功能，还有驱动的功能。MOC3083

输出管耐压 800V，隔离电压达到 7500V，当电机反电势比较大时，可防止电路受到干扰，保持电机正常工作。当 ADuC812 控制电机开通时，双向可控硅在电压波形周期的过零点开通，可控硅上压降接近于零；关断时，单片机产生关断的控制脉冲，可控硅在电压波形的过零点切断，恢复关断状态，可控硅上电压波形等于电源波形。

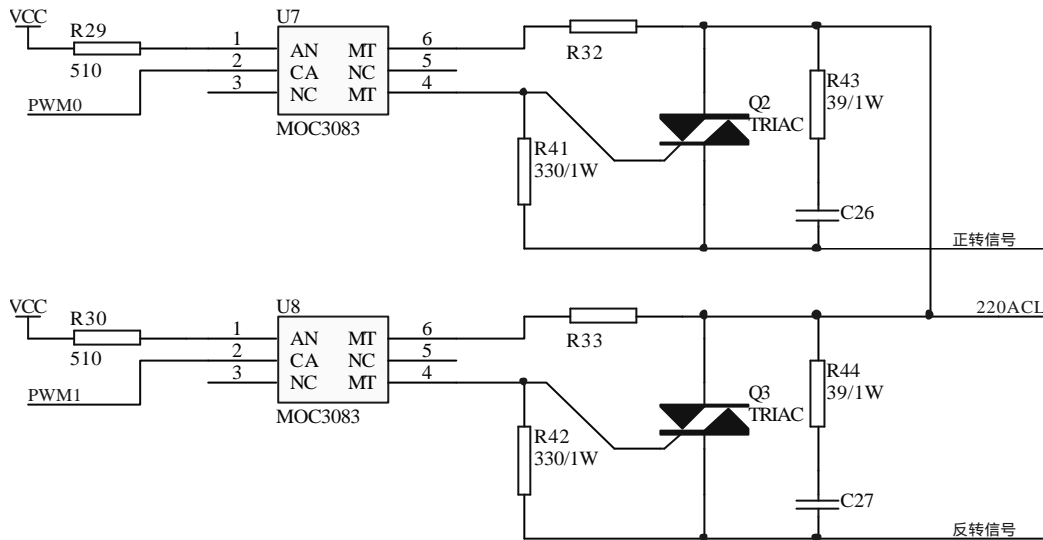


图 3-5 电机驱动电路

3.1.5 限位控制电路

当阀门运动到极限位置时，单片机必须控制电机停止运动，以免由于过转或定位误差而造成零部件损坏甚至经济损失。本设计中限位装置采用传统式机械设计，阀门的上下限位信号由凸轮和极限开关提供，当阀门运动到最大位置或者是最小位置时，凸轮推动相应的极限开关，限位传感器产生一个脉冲信号，此脉冲信号传输给单片机处理，单片机产生相应信号控制电机停止运动，电路如图 3-6 所示。当阀门没有运动

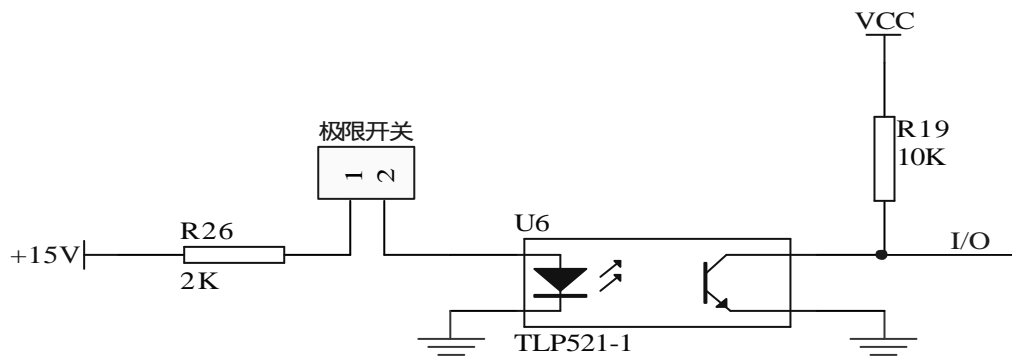


图 3-6 限位控制电路

到极限位置时，限位开关一般处于断开状态，此时光耦的发光二极管没有电流通过，不产生光，光电三极管不导通，集电极输出为高电平；阀门运动到极限位置时，限位开关启动，发光二极管发射的光使光电三极管导通，集电极输出为低电平。集电极电平的这一高低变化产生一个负脉冲信号，信号传输到 ADuC812 的 I/O 口，单片机识别信号并控制电机停止运动，保护电机安全。

3.1.6 阀门位置反馈电路

阀门位置（阀门开度）是电动执行机构中需要精确测量的量，阀门位置的反馈由位置传感器和反馈电路组成。位置传感器是检测和获取阀门所处开度位置并产生反馈信号电子装置，主要有电位器式、电容式、螺线管电感式、涡流式机械传感器等几种类型^[22-24]。本设计中的位置传感器为电位器式，使用高精度的旋转电位器，其最大阻值为 1K。安装时电位器与齿轮同轴，输出轴的上下运动带动电位器的齿轮转动，进而引起电阻值的变化。反馈电路将电阻值的变化转变成电压的变化，再传输给单片机的 A/D 转换器的输入口进行 A/D 转换，根据转换后的结果与输入的控制信号值进行比较，判断阀门是否运行到所要求的位置。阀门位置反馈电路如图 3-7 所示：电路中 VREF 即基准电压为 ADuC812 自带的 2.5V 电压。阀门位置的变化转变成电位器电阻值的变化，电阻值的变化经过电路转化为电压值的变化。由于转换过程中均为线性关系，因此得到电压的变化线性地反映了阀门开度的变化。线性关系的应用使得测量和软件编写都更为简便。

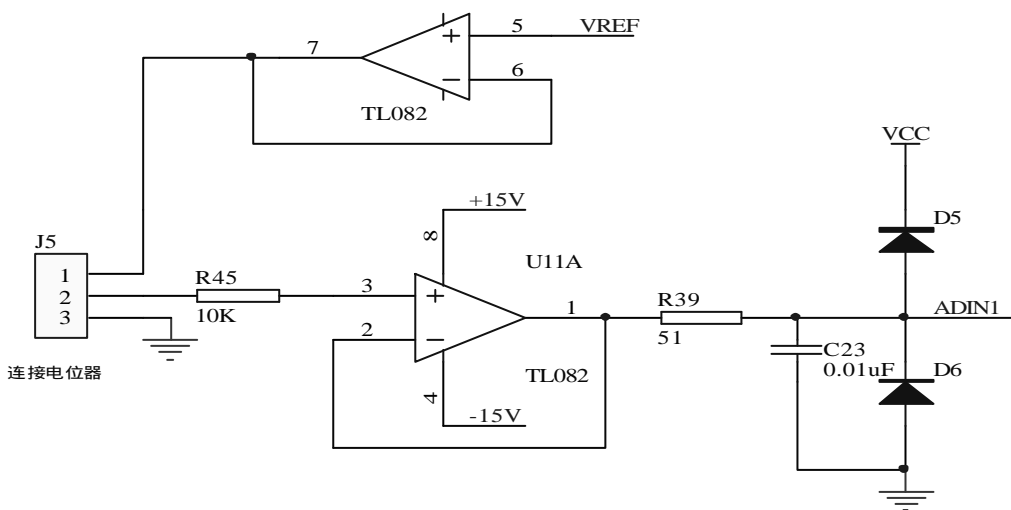


图 3-7 阀门位置反馈电路

3.1.7 人机接口电路

单片机应用系统中，通常有人机对话的功能。本智能型电动执行机构的人机接口电路包括系统运行状态的显示以及电机运动模式的选择，使用按钮开关进行模式选择；用发光二极管显示系统运行状态，用七段八数码管显示系统运行参数。图 3-8 为发光二极管接口电路，图中电阻的作用是限制电流。图 3-9 为数码管的显示电路，开关三极管一端接单片机的 I/O 口，一端接数码管。本设计中共有 5 个发光二极管显示状态，分别为工作指示、断线指示、电源指示、正转指示、反转指示。系统上电后，电源指示灯亮，数码管显示“P”为当前阀门位置的百分数，工作指示灯每两秒闪烁一次，若无控制线时，断线指示灯亮。电机运行过程中，若电机正转，正转指示灯亮；若电机反转，反转指示灯亮；电机停转时，正传指示灯和反转指示灯都熄灭。系统上电后，如果无控制信号，断线指示灯亮，系统读取系统参数，选择停在原地、回到零点或回设定位置方式运行，系统参数可以通过按键来设置。如果在运行过程中，失去控制电流信号，系统将选择停在原地、回到零点或者回到设定位置方式运行。

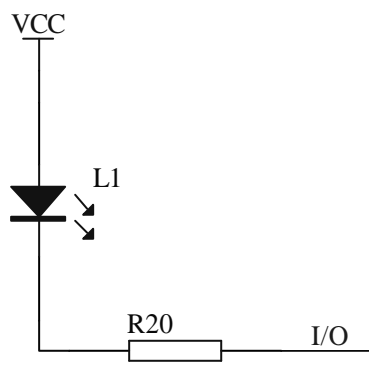


图 3-8 发光二极管接口电路

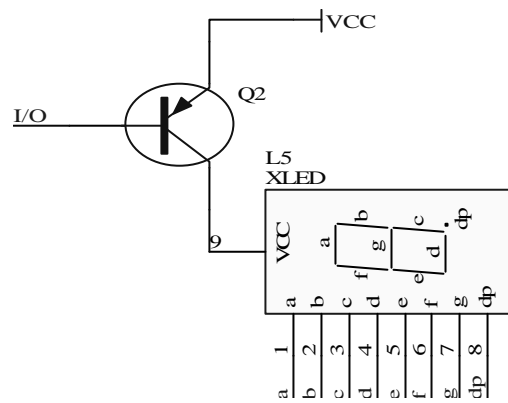


图 3-9 数码管接口电路

3.1.8 通信电路

为了完成工业控制和组网的需要，本电动执行控制系统支持 RS485 通讯，电平转换芯片采用 MAX485，通讯网络总线图如图 3-10 所示。MAX485 接口芯片是 Maxim 公司的一种 RS485 芯片，采用单一电源+5V 工作，额定电流为 300uA，半双工通讯方式，它完成由 TTL 电平转换为 RS485 通讯协议规定电平的功能。MAX485 芯片的结构和引脚都非

常简单,内部含有一个驱动器和接收器。RO 和 DI 端分别为接收器的输出和驱动器的输入端,与单片机连接时只需分别与单片机的 RXD 和 TXD 相连即可;/RE 和 DE 端分别为接收和发送的使能端,当 /RE 为逻辑 0 时,器件处于接收状态;当 DE 为逻辑 1 时,器件处于发送状态,因为 MAX485 工作在半双工状态,所以只需用单片机的一个 I/O 口控制这两个引脚即可;A 端和 B 端分别为接收和发送的差分信号端,当 A 引脚的电平高于 B 时,代表发送的数据为 1;当 A 的电平低于 B 端时,代表发送的数据为 0。MAX485 芯片与单片机连接非常简单,只需要一个信号控制 MAX485 的接收和发送即可,同时需要在 A 和 B 端之间加匹配电阻,一般可选阻值为 100 [25~28]。

通讯电路实际工作时,可以与上位机进行远程通讯,控制运行方式并监控运行状态,若干个阀门执行机构可同时受上位机控制。由于 PC 机拥有的是 RS232 标准串行接口,而单片机的串行口是 TTL 电平的,因此需要一个远程通讯卡实现 RS485 通讯协议电平与 RS232 通讯协议电平的相互转换,这样才能实现单片机与上位机之间信息准确无误的传输。串口通讯协议不使用 RS232 的原因是,RS232 要求设备的通讯距离不大于 15m,且传输速率比较小,最大为 20KB/s,可连接设备最多为 2 台,存在共地噪声和不能抑制共模干扰等问题;而 RS485 采用平衡发送和差分接收,因此具有抑制共模干扰的能力,其用于多点互联时非常方便,可以省掉许多信号线。图 3-10 为 RS485 的通讯网络总线,图中所使用的芯片为 MAX485。

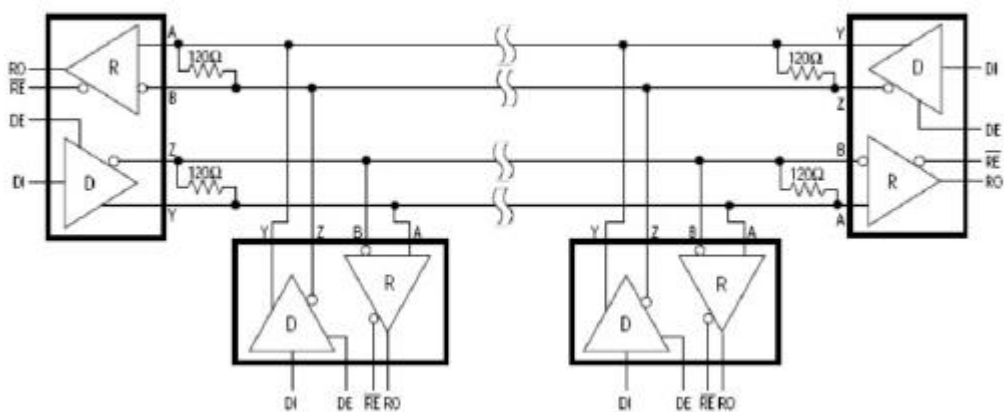


图 3-10 RS485 通讯网络总线图

3.2 系统软件设计

软件设计是电动执行控制系统实现智能化的关键,功能完善的软件设计应该具备

的特性有：(1) 程序结构合理，占用存储器空间小，适合进一步开发；(2) 人机界面操作简单，人性化设置；(3) 功能齐全，适合工业组网和扩展使用；(4) 可读性强，可维护性强。硬件电路设计完成后，系统的设计思想的体现和主要功能的完成都依赖于系统软件的设计。单片机的程序设计有其自身的特点，首先，单片机系统的系统程序与应用程序密不可分，系统程序与应用程序必须在一起考虑；其次，在单片机系统中，硬件与软件紧密节合，软件直接操作硬件，硬件设计的优劣直接影响到软件设计难易和质量。同时，软件可以替代硬件的功能，当然，需要付出额外占用 CPU 时间的代价（例如延时、检测端口程序）。在程序设计时，往往存在着时间与空间的矛盾体。在一些程序编译器中，有着时间优化和空间优化的选项，但时间优化与空间优化不能同时存在。这些编译器在处理这些优化时实际是在采用时间换取空间或者空间换取时间的策略。在设计程序时，我们也可以采取这样的策略提高系统的性能。比如，目前程序存储器的容量已不是设计的关

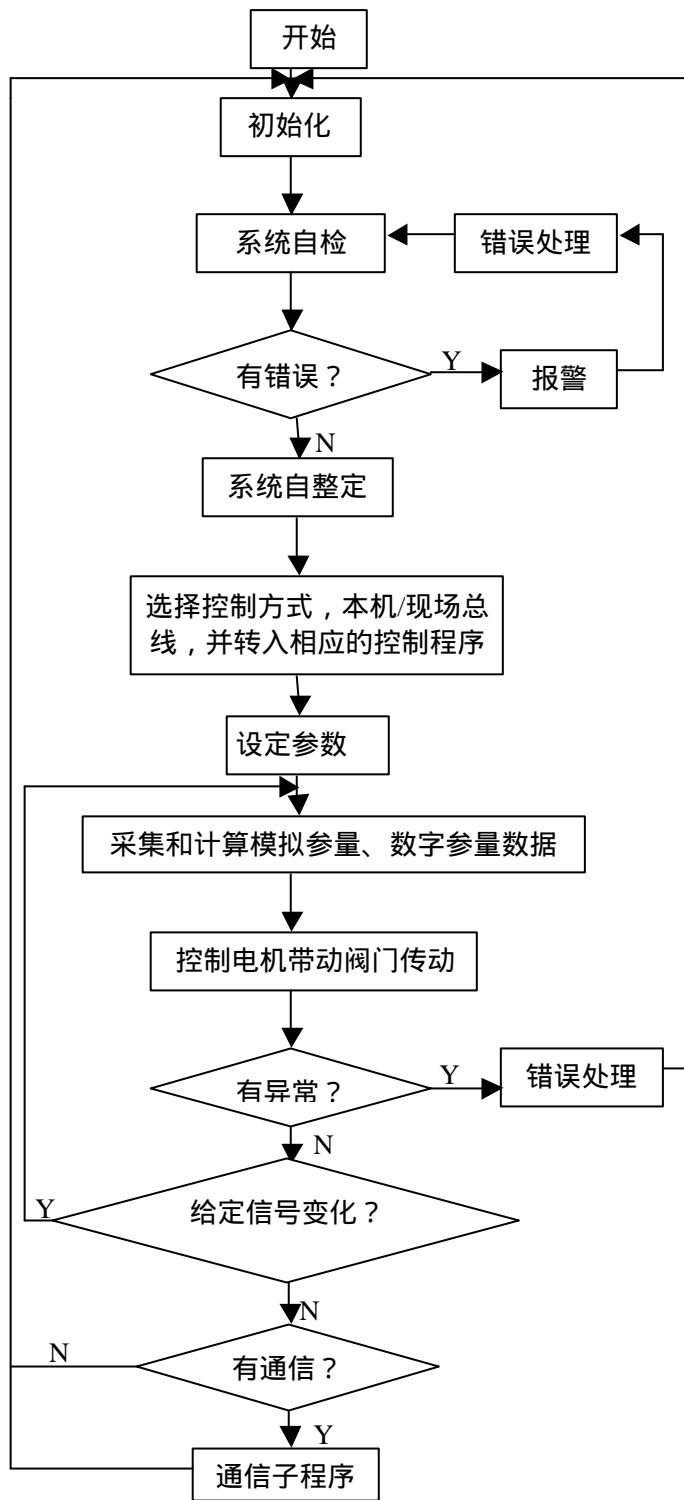


图 3-11 系统流程图

键因素，我们可以利用存储器的空间实现程序响应速度的加快。鉴于以上要求，本部分详细介绍电动执行控制系统软件设计的方案以及具体的实现方法。

本系统软件控制部分主要包括以下几个模块：模式选择模块、故障检测以及处理模块、A/D 模块、数码管显示模块、485 串口通讯模块、中断处理模块等。系统整个流程图如图 3-11 所示。系统上电后运行流程如下：

(1) 上电后，系统运行初始化程序，对串行通讯口、A/D 转换口、D/A 转换口等进行初始化，对阀门初始状态进行设定；

(2) 初始化完成后，系统进行自检，读取 EEPROM 的数据并检测阀门初始状态是否出错，检查数码管是否损坏；

(3) 自检程序完成后，进入自整定模式，阀门自动运行到最大值和最小值并获得阀门实际的最大开度和最小开度值，存储到相应单元；

(4) 选择控制方式（即工业二线制 4-20mA 电流控制或上位机数字信号控制）并获得控制信号，控制电机进行上下运动至所需要的位置。

3.2.1 编程语言的选择

ADuC812 属于 51 系列的单片机，可以选用汇编语言和 C 语言来编程。用汇编语言执行速度快，但是在设计前必须对单片机的硬件环境、指令及编程方法有充分的了解，尤其是有关存储器地址分配、状态寄存器、中断系统及专用寄存器等结构和地址必须很清楚，否则编写程序将有困难。C 语言为目前最为流行的一种计算机开发语言，美国 Archimedes 和 Franklin Software 公司在九十年代专为基于 MCS-51 系列的单片机开发了高级语言工具 C-51，它与标准 C 语言完全兼容，它可以使程序结构化，将可变的选项与特殊的操作组合在一起，增强了程序的可读性和实时性，编程及调试时间缩短。C-51 提供的库函数丰富，支持浮点运算，具有较强的数据处理能力，且已编好的程序可以很容易植入到新程序中，它不依赖于机器硬件系统，基本上不做修改就可以根据单片机的不同较快的移植过来。因此本系统采用 C-51 语言来编写软件^[29~30]。

3.2.2 阀门位置自整定

自整定程序是本系统实现智能化很重要的一个设计。在工业现场，(1) 由于各种

机械结构或安装等原因，实际的阀门行程往往小于最大行程；(2) 实际操作中，为了实现不同程度阀门的开度，需要不断地调整限位开关的位置；(3) 为了适应不同的工业需求调换不同行程的执行机构，对于以上三种情况，如果按照系统默认的最大行程值来进行定位会引起误差，在定位要求非常精确的工业场合由于这种误差会造成巨大的损失，因此必须设法减小或者消除这一误差实现精准定位的需求。

消除误差有两种方法：硬件消除和软件消除。硬件消除是指在阀门运动以前，操作人员根据系统默认的行程调节上下限位开关的位置使之到达要求值，这一设计可以减小软件设计的难度以及程序所占的空间，但是存在调节不便，误差较大，以及工业适应性不强等问题，尤其是对于执行器行程需要经常更换的场合，硬件消除的办法就显得极为繁琐，并且定位的精确度与操作工操作的熟练程度也有关系。软件消除是指通过软件的编写，系统根据实际的行程改变系统默认值达到工业控制的要求，这一设计便于使用，定位精确，实时性强。比较硬件消除和软件消除这两种方法的优缺点，本设计使用软件消除误差。具体操作如下：

控制中心（ADuC812 单片机）在软件初始化后，运行自整定程序，重新记录现场的零位（0%）和满位（100%）并进行记忆，按照记忆的行程值对阀门进行定位以满足实际定位需求。

自整定程序的流程图如图 3-12 所示：程序开始后，驱动电机向零位运动，直至下限位开关产生脉冲信号，电机停止运动，并记录存储零位反馈值；然后电机向相反即满位方向运动，直到上限位开关产生脉冲信号，记录存储满位反馈值。存储的零位和满位

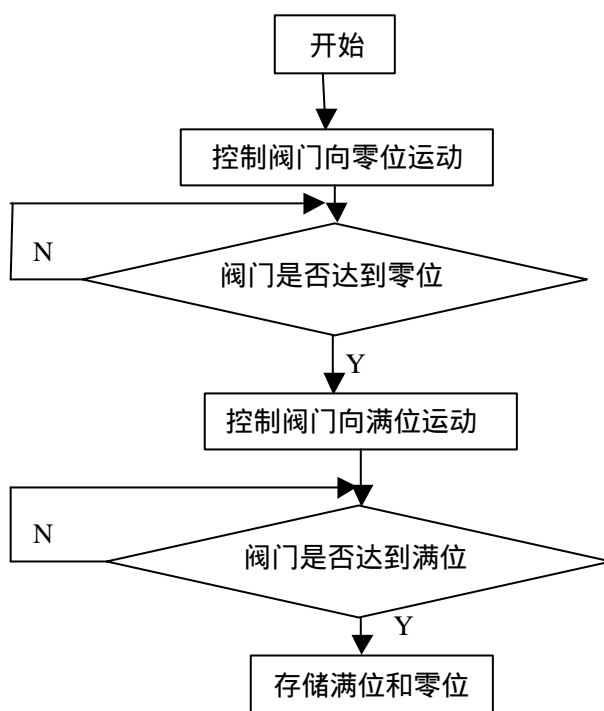


图 3-12 阀门自整定程序流程图

值作为新的零位和满位实现后端的智能控制。阀门开度的精确在安全性要求很高的工业控制场合尤为重要，因此行程自整定在智能化控制中是必不可少的一个环节。具体

编写的程序如下所示：

```
void FirstAdjust(void)
{
    if(low_flag==0) DriveMotorNegativeRun();
    else
    {
        low_flag=1;
        lowposition=CaculatePositionPercentage();
        DriveMotorPositiveRun();
        if(high_flag==0)DriveMotorPositiveRun();
        else
        {
            high_flag=1;
            highposition=CaculatePositionPercentage();
            StopDriveMotor();
        }
    }
}
```

3.2.3 执行器控制的算法

执行器是否到达所要求的位置，怎样驱动电机运动，都涉及到控制器的算法，因此控制器算法对于控制器的执行速度和智能性都有很大影响。对于工业二线制电流信号，经过电路的处理和单片机的 A/D 单元进行 A/D 转换，单片机计算控制电流要求位置，并折合到 4096 侧以便进行计算和比较。计算输入控制电流的程序如下：

```
unsigned int CaculateCtrlAmpAskPosition(void)
{
    long int temp_l1,temp_l2;
    unsigned char temp_uc1,temp_uc2;
    temp_uc1=GetSysSetData('A');
    temp_uc2=GetSysSetData('B');
```

```

if(GetSysSetData('E'))
{
    temp_l2=_lrol_((unsigned long)temp_uc1,12);           //A*4096
    temp_l1=(unsigned long)amp_sampval*250;
    if(temp_l1<=temp_l2)    temp_l1=0;
    else
    {
        temp_l1=temp_l1-temp_l2;
        temp_l2=(unsigned long)(temp_uc2-temp_uc1);
        temp_l1/=temp_l2;
    }
}
else
{
    temp_l2=_lrol_((unsigned long)temp_uc2,12);           //B*4096
    temp_l1=(unsigned long)amp_sampval*250;
    if(temp_l1>=temp_l2)    temp_l1=4095;
    else
    {
        temp_l1=temp_l2-temp_l1;
        temp_l2=(unsigned long)(temp_uc2-temp_uc1);
        temp_l1/=temp_l2;
    }
}
return((unsigned int)temp_l1);
}

```

单片机根据计算得到的控制参数，跟阀门反馈的实际位置值比较，驱动电机向要求方向运动，到达所需位置时电机停止运动。返回电机位置的百分比扩大十倍计量，即用百分数乘以 1000，例 99.8% 计作 998。对于上位机的数字控制信号，不需要进行 A/D 转换和计算，直接比较此数字信号和实际的位置信号，根据比较的结果控制单片

机向要求的方向运行。如果外界输入信号突发性断开或是没有输入信号时，用户可以通过人机界面来设置电机的运动方式，供选择的有三种：停在原地、回到零点或者回到设定位置。如果要求阀门运动到全闭，但是由于断线使得设置失效，电机便停留在原地而不能回到零位，这种情况一旦发生将会造成工业上的损失，而在控制算法中加入断线时状态的设置就可以改善这种状况，减小工业损失发生的可能性。

3.2.4 串口通信程序

串口通信是指将外设和计算机间使用一根数据线（另还需要地线和控制线），数据在一根数据线上位一位的进行传输，每一位数据都占据一个固定的时间长度。这种通信方式使用的数据线少，在远距离通信中可以节约通信成本^[3]。数据输入过程中，数据一位一位地从外设进入接口的接收移位寄存器，当接收移位寄存器中接收完一个字符的各位后，数据就从接收移位寄存器进入数据输入寄存器。CPU 从数据输入寄存器中并行读取接收到的字符。接收移位寄存器的移位速度由接收时钟确定。在数据输出过程中，CPU 把要输出的字符并行地送入数据输出寄存器，数据输出寄存器的内容传输到发送移位寄存器，然后由发送移位寄存器移位，把数据一位一位送到上位机。发送移位寄存器的速度由发送时钟确定，接口中的控制寄存器用来容纳 CPU 送给接口的各种控制信息，这些控制信息决定接口的工作方式。状态寄存器的各位称为状态位，每一个状态位都可以用来指示数据传输过程中的状态或某种错误。

本设计中的串口通信主要是 ADuC812 单片机与上位机之间的通信，使用 RS485 通讯协议完成这一通信任务，根据 485 通信要求采用半双工异步传输方式。ADuC812 单片机的串行口控制器的各位构成如下：

SM0	SM1	SM2	REN	TB8	RB8	TI	RI
-----	-----	-----	-----	-----	-----	----	----

SM0、SM1：控制串行口工作方式

SM2：在方式 1 时，SM2 被清零；在方式 2，3 时，SM2 作为多机通讯的控制位。

REN：通过软件设置，REN=1 时允许接收，REN=0 时，串行通讯被禁止。

TB8：在方式 2，3 时，串行通讯的第 9 位数为 TB8。

TI/RI：串行通讯发送 / 接收标志位，，必须由软件清零。

串口通信的初始化设置如下：

```
SCON = 0x50 ;
```

```
TMOD |= 0x20 ;
```

```
TH1 = 221 ;
```

```
TR1 = 1 ;
```

```
TI = 1 ;
```

晶振频率为 16MHZ 时，通讯波特率为 1200。本设计中串口参数设置为方式 1 通讯即 8 位异步通讯，这一方式下波特率可变。方式 1 通讯的数据格式为：每帧数据由 10 位构成，1 位起始位，8 位数据位，1 位停止位。ADuC812 单片机用中断方式处理串口通信程序，因此可以随时与上位机进行串口通讯。根据上位机发送的控制信号内容，单片机返回给上位机相应的电动执行机构的运行参数。

本机的串口通讯包括上位机发出的位置控制信号以及单片机传输的实际位置信息和故障状况。由于上位机是标准的 RS232 串行接口，单片机的串行口是 TTL 电平，传输协议为 RS485 串行通讯协议，因此在 MAX485 芯片与上位机连接端需要把 RS485 协议的逻辑电平信号转化为 RS232 协议的逻辑电平信号^[31~34]。

3.2.5 人机界面软件

传统的电动执行器出厂后参数不可更改，而智能型电动执行控制系统彻底改变了这种局限性，它通过内部程序和人机界面的联合使用使得参数可以随时修改，设备的灵活性得到增强。本设计中的人机界面主要有参数组态，模式选择和故障诊断几部分组成。参数主要有 A（控制电流最小值），B（控制电流最大值），C（电机回设定位置设置），D（回差，死区），E（执行机构作用方式，分为正作用和反作用两种），F（输入信号丢失时，电机应处的位置）。模式重要有 MODE、ADD、SET 三个键来控制。

以 A 参数设置的程序为例：

```
if(setnum=='A' || setnum=='B')
{
    if(setnum=='A')
    {
```

```

        if(set_data==80) set_data=40;
        else set_data=set_data+1;
    }
else
{
    if(set_data==200) set_data=160;
    else set_data=set_data+1;
}
disp_buff[0]=(set_data%10)|FLASHMASK;
disp_buff[1]=((set_data/10)%10)|(DECIMALMASK+FLASHMASK);
if(set_data/100==0) disp_buff[2]=' ';
else disp_buff[2]=(set_data/100)|FLASHMASK;
disp_buff[3]=setnum;
}

```

故障诊断报警在控制器上由发光二极管显示，也可以在上位机的状态窗口显示。人机界面软件的设计主要包括：按键去抖、键值确认、键值储存、数码管显示的驱动和显示相应参数、发光二极管的状态显示。键闭合与否，反映在电压上就呈现出高低电平的变化，通过对电平的高低状态的检测，便可确认按键按下与否。但是由于触点在断开和闭合瞬间均会产生抖动，这样会产生不稳定的逻辑电平，由此可能会产生错误的执行，因此必须对按键进行消抖处理。按键消抖有软件消抖和硬件消抖两种方法，硬件消抖会增加硬件成本，且响应速度较慢，因此本设计中采用软件消抖的方法。按键消抖后，确认并根据按键值来驱动发光二极管显示电机运行的状态，以及数码管显示设置的参数值或者实际的位置值。

3.3 现场总线技术

现场总线要组成纯数字的总线控制系统 FCS，基于现场总新的各种智能型现场设备是基础元素。本文设计的就是基于现场总线的电动执行控制系统，单片机与上位机进行简单的现场总线式通信。

根据国际电工委员会 IEC61158 标准的定义，现场总线是指安装在制造或过程区域

的现场装置与控制室内的自动控制装置之间数字式、串行、多点通信的数据总线。它是当今自动化领域技术发展的热点之一，是计算机局域网在自动化领域中应用，现场总线技术的出现是当今 3C 技术，即计算机技术(Computer)、通信技术(Communication)与控制技术(Control)飞速发展的必然产物。现场总线电动执行机构在原有电动执行机构功能的基础上，实现了双向通信、自诊断与自校正等多种控制功能^[35-38]。

常见的现场总线协议有 HART、FF、CAN、Profibus DP 以及符合 RS485 通讯标准的 MODBUS 协议等，尽管 RS485 不能称为现场总线，但是作为现场总线技术的鼻祖，现在有许多设备继续沿用这种通讯协议。虽然 RS485 只能实现较单一功能，只适用于类型单一的设备，但是由于本设计中只需要一个主设备即上位机，网络中只有电动执行机构一种从设备，且单片机与上位机通讯内容简单，所以采用 RS485 即可以完成现场总线的各种功能。采用 RS485 通讯具有设备简单、传输距离远、抗干扰能力强、负载性能好、通信速度快、可靠性强、低成本等优势，因此仍然有很大的生命力。

RS485采用半双工工作方式，通信距离可达几百米到上千米，例如，当通信距离为 120m 时，最大通信速度为 1Mb/s；通信距离为 1200m 时，最大通信速度为 100kb/s。采用平行发送和差分接收，具有抑制共模干扰的能力。用于多点互连时非常方便，可节约信号线，应用 RS-485 可以联网构成分布式系统，它允许最多并联 32 台驱动器和 32 台接收器。RS-485 标准接口的这些特点使之适合电力自动化系统设备层与间隔层之间的通信要求。采用 RS485 通讯完成总线功能需要注意的是，RS485 总线在状态切换时需要做适当延时，再进行数据收发。在数据发送状态时需要有一个时间延迟再发送数据；数据发送完后可立即转到数据接收状态；数据接收完后也需有一个时间延迟转到数据发送状态^[39-40]。

3.3.1 现场总线结构的特点

传统方式如图 3-13 所示，现场设备与控制器之间连接采用一对一所谓 I/O 接线方式，传递 4-20mA 或 24VDC 信号。现场总线方式如图 3-14 所示，它采用数字式通信方式，使用一根电缆连接所有现场设备。

与传统方式相比，现场总线方式的特点是：

(1) 传统的信号制由 4-20mA 模拟信号转换为双向数字通信的现场总线信号制；

(2) 自动控制系统的体系结构将由模拟与数字的分散型控制系统 (DCS) 转换为全数字现场总线控制系统 (FCS);

(3) 现场总线把自动控制系统和设备带进了信息网络之中, 形成了企业信息网络的底层, 从而实现企业信息集成和企业综合自动化提供可行的基础。

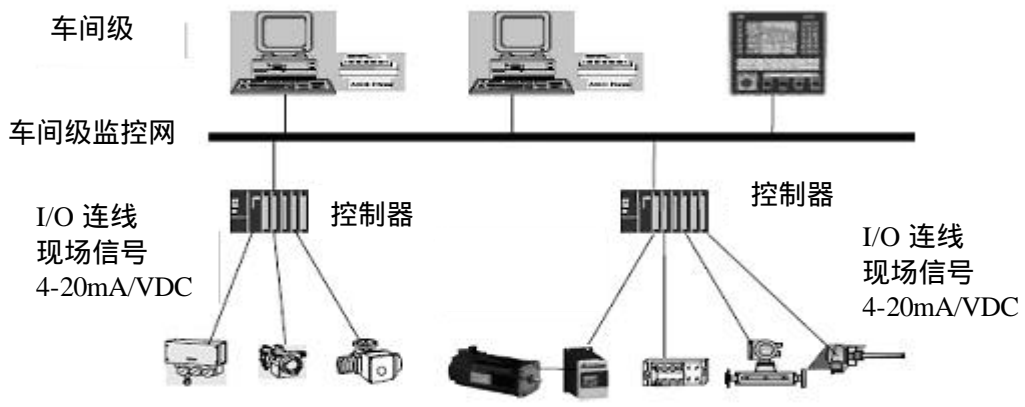


图 3-13 传统方式控制

使用现场总线技术的优点：节省硬件成本；设计组态安装调试简便；系统安全可靠性好，减少故障停机时间；系统维护设备更换和系统扩充方便；用户对系统配置设备选型有最大的自主权。现场总线是当今多项成熟技术的融合，是技术发展的前沿，是未来仪器、仪表、自动化行业发展的方向。

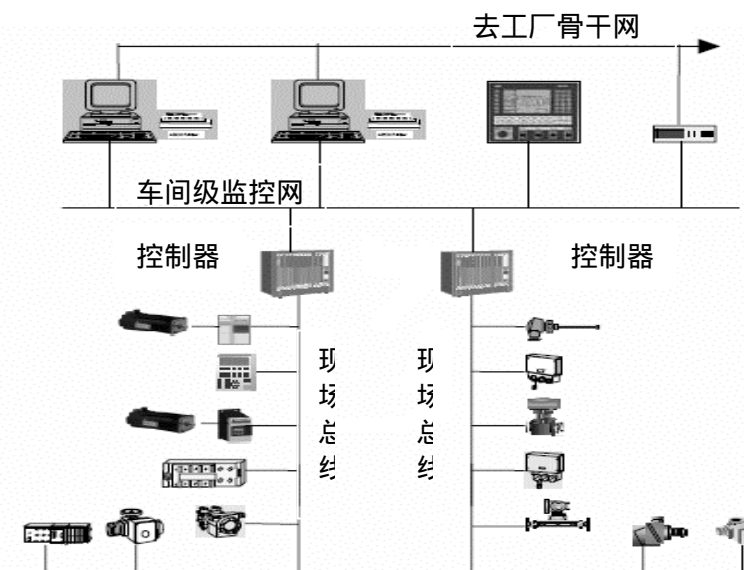


图 3-14 现场总线方式控制

3.3.2 现场总线与上位机界面设计

本设计中采用 RS485 串行通讯协议完成现场总线控制，通过上位机界面的显示可以很直观的在线监测各个电动执行机构的工作状态和实时信息。传统的电动执行器不具备信息提示功能，所以在控制室不能观察到电动阀门的运行状况情况，尤其当电机等执行机构出现故障时不容易诊断并排除故障，而现场总线式智能电动执行机构能够及时地解决这些问题。控制室上位机用 VC.NET 编写的界面采用中文显示，便于操作工检测和操作。

上位机与单片机通讯内容两大部分：上位机的控制信息和单片机的返回信息。上位机的控制信息包括：控制电机上下运动的数字信号、通讯波特率以及返回信息种类；上位机控制电机上下运动的信号在界面上显示为电流信号，但是传输时按照二进制数字信号传输，即上位机的程序中需要进行数值转化；通讯的波特率可调，可供选择的波特率有为 9600 4800 2400 等。上位机发送的内容顺序为 控制器地址(地址位 0x00 ~ 0x1f 共 32 个) 输出电流即定位信号(0x28f ~ 0xccc 0x28f 代表 4mA 0xccc 代表 20mA) 电机工作模式 (0x00 代表使用同步电机，0xff 代表使用异步电机)。另外，如果电流是 0xffff 代表停止命令，电流是 0x0000 代表建立通信。

单片机返回信息包括：工业二线制控制电流的大小、实时位置信息、电机实时运动方向以及故障信号。工业二线制电流是模拟信号，经过单片机的 A/D 转换后变为数字信号，由于电子电路和单片机的调整，最小电流 4mA 转变为为 0x28f，最大电流 20mA 转变为 0xccc。ADuC812 采用方式 1 与上位机进行通讯，即数据位为 8 位，因此单片机需要将信号分两次传输给上位机，返回给上位机后，需要进行转换为 4-20mA 的电流表示；实时位置信息也按照同样方式传输和转换，同样在界面上显示为 4-20mA；电机实时运动方向用字符型数据和整型数据共同表示，例如字符型数据 F 和整形数据 0 表示向上运动即正作用，F 和 1 表示向下即反作用，同样数值分两次向上位机传输；故障信号返回由字符型数据 E 和数字 0 和 1 表示，E 和 0 表示没有故障，上位机界面上显示无，发送 E 和 1 表示有故障，上位机界面即显示有故障。单片机返回给上位机的信息顺序为：二线制输入电流、反馈位置信号、运动方向、错误信号。上位机部分串口通信程序如下：


```

void CMSComm::SetCDHolding(BOOL bNewValue)
{
    static BYTE parms[] =VTS_BOOL;
    InvokeHelper(0x1, DISPATCH_PROPERTYPUT, VT_EMPTY, NULL, parms,
        bNewValue);
}
BOOL CMSComm::GetCDHolding()
{
    BOOL result;
    InvokeHelper(0x1, DISPATCH_PROPERTYGET, VT_BOOL, (void*)&result,
        NULL);
    return result;
}
void CMSComm::SetCommID(long nNewValue)
{
    static BYTE parms[] =VTS_I4;
    InvokeHelper(0x3, DISPATCH_PROPERTYPUT, VT_EMPTY, NULL, parms,
        nNewValue);
}
long CMSComm::GetCommID()
{
    long result;
    InvokeHelper(0x3, DISPATCH_PROPERTYGET, VT_I4, (void*)&result, NULL);
    return result;
}
void CMSComm::SetCommPort(short nNewValue)
{
    static BYTE parms[] =VTS_I2;
    InvokeHelper(0x4, DISPATCH_PROPERTYPUT, VT_EMPTY, NULL, parms,
        nNewValue);
}
short CMSComm::GetCommPort()
{
    short result;
    InvokeHelper(0x4, DISPATCH_PROPERTYGET, VT_I2, (void*)&result, NULL);
    return result;
}
void CMSComm::SetCTSHolding(BOOL bNewValue)
{

```

```

        static BYTE parms[] =VTS_BOOL;
        InvokeHelper(0x5, DISPATCH_PROPERTYPUT, VT_EMPTY, NULL, parms,
            bNewValue);
    }
    BOOL CMSComm::GetCTSHolding()
    {
        BOOL result;
        InvokeHelper(0x5, DISPATCH_PROPERTYGET, VT_BOOL, (void*)&result,
            NULL);
        return result;
    }
    void CMSComm::SetDSR Holding(BOOL bNewValue)
    {
        static BYTE parms[] =VTS_BOOL;
        InvokeHelper(0x7, DISPATCH_PROPERTYPUT, VT_EMPTY, NULL, parms,
            bNewValue);
    }
    BOOL CMSComm::GetDSR Holding()
    {
        BOOL result;
        InvokeHelper(0x7, DISPATCH_PROPERTYGET, VT_BOOL, (void*)&result,
            NULL);
        return result;
    }
    ...

```

3.4 本章小结

本章详细介绍了基于现场总线的电动执行控制系统的硬件电路设计，软件设计和上位机串口通讯界面的设计。硬件电路部分详细介绍了输入输出电路、电源电路、电机驱动电路、限位控制电路、阀门位置反馈电路、状态显示电路以及串口通信电路等功能模块的设计；软件部分介绍了总体流程图，自整定程序、控制器算法以及人机界面软件等的编写；现场总线部分介绍了上位机通信界面的设计。

4 实验与调试

本设计的硬件电路分为模拟部分和数字部分，分别参见附录图 1、附录图 2；软件设计分为单片机软件和上位机通讯软件和界面。模拟电路与数字电路隔离是为了防止信号的串扰。完成硬件电路的设计和软件编程之后，需要经过调试验证。本次论文实验主要分为三部分：硬件功能检测（主要包括基本误差和回差），单片机软件功能调试（主要检测执行器的智能运动状态），上位机通信界面功能调试。

4.1 硬件性能测试

按照附录图 1 和附录图 2 的电路图进行制版，焊接好图中的个电子元器件；将单片机程序烧入单片机内；将信号输入线、电源输入线与控制器相连；将执行器上的电位器以及限位传感器上的连线与控制器的相应接口相连；485 通讯口通过 485/232 转换口与上位机相连；将控制器与执行器安装在一起，实现机电一体化的结构，构成本设计中的基于现场总线的智能电动执行机构；最后根据需要检测各个参数，与预定指标值进行比较，验证设计方案的正确性。装配好的控制器分为上下两层，下层的电路板为模拟电路部分，上层的电路板为数字电路部分，两层之间用绝缘材料隔离（防止信号的串扰），如图 4-1 所示：

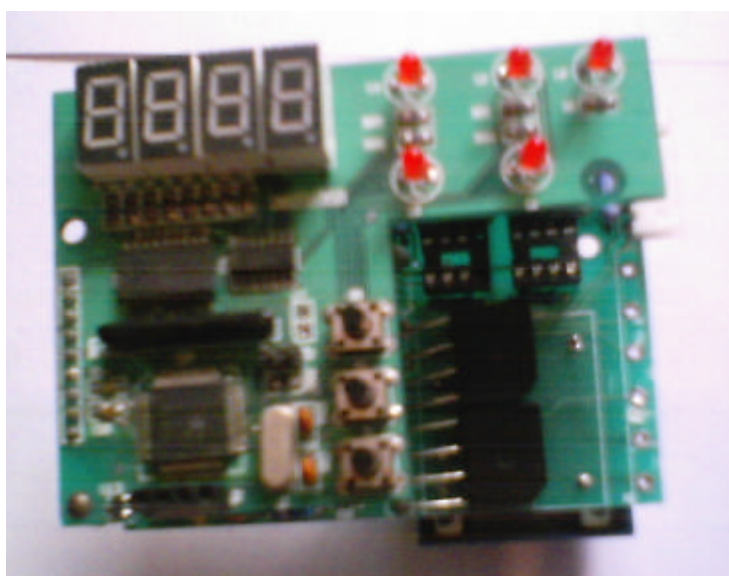


图 4-1 控制器

4.1.1 基本误差检测

基本误差定义为数码显示管上显示的电动执行机构的行程与实际行程的差值的百分比。设计中用四位七段八数码管显示当前电位器反馈的位置百分数（0~100），实验中预先在智能软件中设定电位器阻值为总值的 10%和 50%时电机反转，往返各 10 次。实验测量结果如下（本设计为直行程电动执行机构，总行程为 31mm）：

表 4-1 10%行程的误差（标准值 3.1mm）

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10% (mm)	3.518	3.509	2.801	3.498	3.495	3.496	3.492	3.494	2.799	3.492
差值 (mm)	0.418	0.409	-0.299	0.398	0.395	0.396	0.392	0.394	-0.301	0.392

表 4-2 50%行程的误差（标准值为 15.5mm）

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
50% (mm)	15.907	15.901	15.898	15.899	15.102	15.108	15.117	15.109	15.899	15.904
差值 (mm)	0.407	0.401	0.398	0.399	-0.398	-0.392	-0.383	-0.391	0.399	0.404

由表中数据得出：

行程为总值的 10%时，最大基本误差为： $0.418 / 31 = 1.35\% < 1.5\%$

行程为总值的 50%时，最大基本误差为： $0.407 / 31 = 1.31\% < 1.5\%$

4.1.2 回差检测

回差定义为在同一输入信号上测得的正反行程的差值，这一参数反映电动执行机构的来回运行准确性。实验中测试了两个不同百分位位置的六组数据，位置 12.5%对应输入电流为 6mA，位置 37.5%对应输入电流为 10 mA。输入测量结果如下：

表 4-3 输入电流为 6mA 的回差比较

次数	1	2	3
正行程 12.5% (mm)	4.264	4.240	4.222
反行程 12.5% (mm)	4.386	4.384	4.474
回差 (mm)	0.122	0.124	0.252

表 4-4 输入电流为 10mA 的回差比较

次数	1	2	3
正行程 37.5% (mm)	11.924	11.916	11.336
反行程 37.5% (mm)	12.173	12.180	11.685
回差 (mm)	0.249	0.264	0.349

由表中数据得出：

位置百分比为 12.5% 即输入电流为 6 mA 时，回差的最大误差为：

$$0.252 / 31 = 0.8\% < 1.5\%$$

位置百分比为 37.5% 即输入电流为 10mA 时，回差的最大误差为：

$$0.349 / 31 = 1.13\% < 1.5\%$$

根据两组实验数据可以得出一下结论：本设计中的智能电动执行机构在输入信号电流值发生变化时，输出轴的位移也相应发生变化。通过基本误差和回差值的分析比较和计算得出，控制的相对误差均小于 1.5%，超过第二章中预定的技术指标，达到工业控制要求。后期的开发中应进一步减小误差百分比以实现阀门的精准定位。

4.2 软件性能测试

软件测试主要是确认智能电动执行机构系统满足设计的要求。本文中的软件调试分为两部分：一是单片机智能软件的调试，二是上位机通信界面的调试。

4.2.1 单片机智能软件调试

电动执行控制系统属于单片机应用系统，而单片机软件系统的调试并不能与硬件系统调试完全分开，通过上述硬件性能的测试可以判断出该软件中算法的设计满足要求。

本设计中，当电动执行控制系统上电启动后，执行器自动向零位即百分比为零的位置运动，到达零位后，电机控制执行器反向运动，到达阀门最大位置处电机停止运动，根据上一节中控制精度的计算可以判断出阀门记录的零位和满位值可以达到不同

工业环境定位的要求，因此自整定算法通过验证。单片机系统的操作界面上，五个发光二极管按照实际的需求熄灭，按键可以方便的设置不同模式的参数值，四个数码管实时反映电机运动状态和显示设置的不同参数，均符合设计的要求，证明键盘消抖以及显示驱动程序均正常。串口通信程序的检验，由于设计时间有限，本次检测中没有与上位机进行联机调试，在课题组的进一步开发中可以进行实验验证。

4.2.2 上位机通讯界面调试

本设计中控制系统单一，只有电动执行机构一种，因此反馈信息较少，界面相对比较简单。设计的界面如图 4-2 所示，图中有向下箭头的方框表示用户可以通过界面设置来控制电机的运行状态：通讯波特率可选，有 9600，4800，1200 三种；通信地址表示需要通信的电动执行机构具体为哪一个，0~32 可选；输出电流表示定位器的具体定位位置，与二线制模拟电流信号意义相同，4~20 可选；电机工作模式表示可选同步或异步电机控制执行器运动。图中最左边的四个方框不可操作，用来显示电动执行机构的返回值：输入信号表示工业二线制控制电流的大小；位置反馈信号表示实际的位置值；运动方式表示电机是在正向还是反向运动；执行机构运行出现故障时，图中运行状态显示为红灯，执行机构运行正常时，运行状态显示为绿灯，没有返回值时显示为黄灯。建立通信按钮表示上位机与单片机控制系统建立通信；保存设置按钮用来保存上位机设置的各参数值；执行按钮表示当设置好输出电流值后，电机开始运作；当电机出现故障或人为地需要停止电机运动时，停止按钮可以控制电机停止运行。

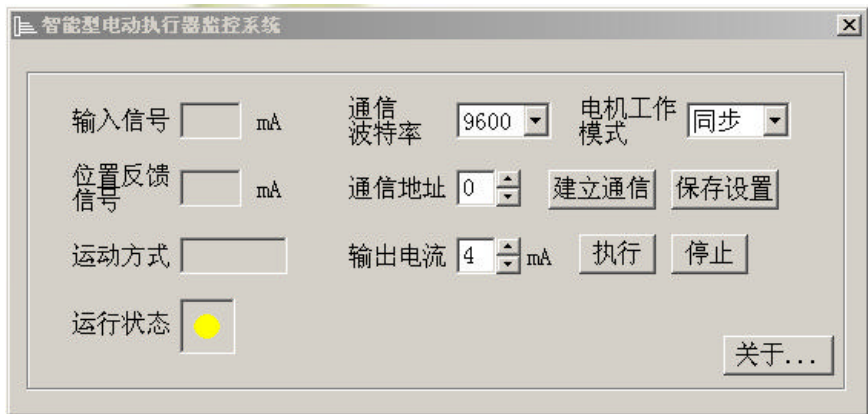


图 4-2 上位机界面示意图

4.3 本章小结

本章介绍了基于现场总线的电动执行控制系统的安装和检测。其中检测包括硬件功能测试和软件调试（单片机智能软件和上位机通信界面的软件），通过基本误差和回差的检测表明该控制系统满足设计要求，上位机界面检测给出了界面图并介绍界面上的按钮可以实现的功能。

5 电动执行控制系统的分析和改进

5.1 电动执行控制系统的分析

本设计经过调试和实验，电动执行控制系统的总体设计方案是正确可行的，具有较好的抗干扰性和自我保护功能，为产品的工业化应用打下很好的基础。ADuC812 单片机的高性能使得控制系统的结构更加优化，机电一体化结构设计使它的安装和调试更为方便，自整定的程序设计使其在工业上的应用智能化，与上位机的串口通讯、上位机界面的编写以及人机界面的设置使电动执行控制系统的控制更为直观和人性化。但是课题的完成是一个不断更新和升华的过程，从设计的试验测试结果中也发现了如下的一些几个问题：

(1) 不管是直行程还是角行程的电动执行机构，其位置反馈信息都是从动轴上匹配的电位器反馈得到，而这一反馈量是模拟量，需要进行 A/D 转换。这样就要使用专门的 A/D 转换器，或者是具有 A/D 转换功能的单片机，电动执行机构的成本随之增加。另外，A/D 转换也减慢了位置信息的响应速度，在实时性要求很高的场合这一设计是需要改进的。

(2) 由于位置信息反馈由电位器以及机械式传动装置构成，这一结构设计需要付出的代价是机械部分体积增大，而且要提高阀门定位的精度就必须提高传动装置加工的精密度，因此定位部件安装调试不方便，维修成本大。

(3) 程序设计中，为了判断电机运动的方向，需要不断的检验 A/D 转换端口来比较现在的位置信息和设定的位置信息，因此整个系统的速度被减慢^[41]。

针对以上设计中存在的问题，我提出改进方案——“基于光机电一体化电动执行控制系统”，并介绍具体的实施方法。

5.2 电动执行控制系统的改进

为了克服上述分析中存在的技术问题，结合文献所提供的设计思想，本设计中提出一种实用新型的基于光机电一体化的电动执行控制系统，其结构简单，响应速度快，实用性强，成本低。该实用新型的电动执行机构主要由控制器、执行器、光电检测反

馈装置组成。

5.2.1 基于光机电一体化电动执行控制系统的方案

基于光机电一体化的电动执行控制系统的核心为光电式编码盘，利用光电检测的优点改善电动执行机构的性能。法国伯纳德公司新设计的一款智能型电动执行机构采用自行设计的光电绝对编码器，也是采用光电检测的方法确定阀门的位置信息。伯纳德公司自行设计的光电绝对编码盘由三个编码盘组成，均安装在主输出轴上，最大编码圈数为 914 圈，编码位数为 15 位，系统可靠性增强，但结构还是过于复杂，而且成本过高，对于工业上量产是不合适的，因此必须设计一款价格低廉，性能优异的光电检测器件来完成光机电一体化的电动执行机构。

我提出的方案为：光电编码盘由发送端、接收端和信号发生器三部分组成，发送端为发光二极管，一前一后固定安装；接收端为光电三极管，也是一前一后安装，接收端同时与控制器的电路相连；信号发生器均匀分布在一张圆盘（称之为主盘）上，形状为齿沿或空隙。两个发送端与两个接收端分别处于同一垂直线上，构成一前一后两对光耦，主盘上的信号发生器用来遮断或透过发送端与接收端之间的光。整个光电编码盘安装在电动机主驱动轴上，因为相对于其它驱动轴，主驱动轴转动速度最快，将光电编码盘安装在此位置可以减小定位误差，提高检测精度。为了实现定位器运动方向的智能检测，两对光耦的设计起到了很好的作用。信号发生器均匀分布在主盘上，也起到了减小检测误差的作用。如果要进一步提高检测精度，增加主盘上信号发生器的数量即可以实现。

5.2.2 基于光机电一体化的电动执行控制系统具体实施方法

光电式编码盘的示意图如图 5-1 所示，主盘安装在主传动轴上，随传动轴转动。由于电动机的转速比其他传动齿轮的转速大许多，因此主盘安装在此位置可减小系统误差，提高定位精度。当图中信号发生器与发送器、接收器不在同一垂直线上，发送器发出的光被编码盘主盘遮挡，接收端不能接收光信号；当信号发生器转至与发送器、接收器在同一垂直线上，光线透过空隙，接收端感应到光信号，随之产生一个脉冲信号。由于接收器为光电三极管，接收到光时导通，集电极输出为低电平。接收端与控

制器通过反相器后相连接，电路将此脉冲信号直接转变成单片机 I/O 口可以处理的电平信号。结构中采用双光耦技术的主要原因是可以判断方向，具体方法为：根据两个光耦接收到光信号时间的不同判断定位器运动的方向。

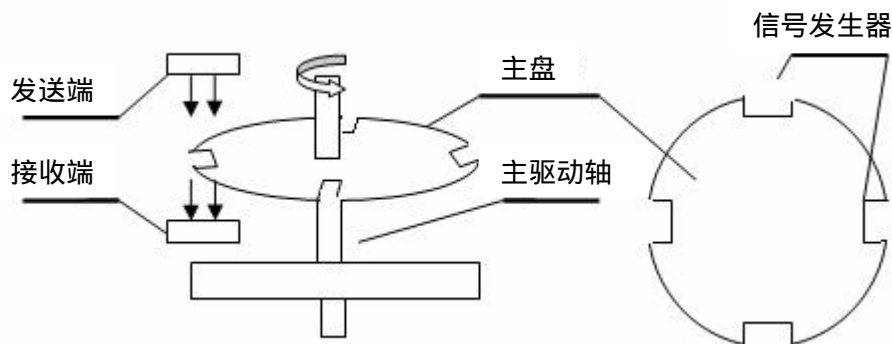


图 5-1 光电编码盘检测原理

理想状态下，脉冲信号为标准的方波信号，实际检测中波形是有延迟的，而且第一个和最后一个计数波往往不是完整的计数波，如图 5-2 所示，这样就会给计数或者计时带来误差，因此需要通过软件算法对计数波进行处理来减小或者消除这个误差。一个完整的计数波代表电机转过一个固定的角度，而电机转过的角度代表阀门上下运动的位移，因此可以由角度与计数值之间的关系计算执行机构的定位位置。

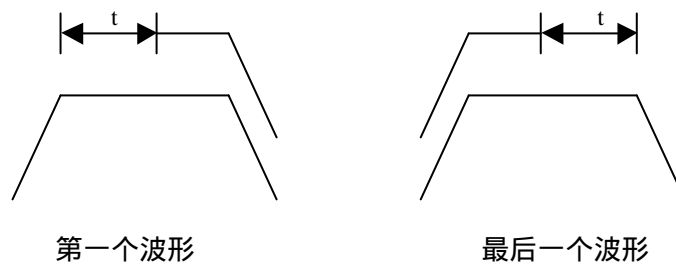


图 5-2 误差波形图

修正误差的方法：当电平由低到高变化时产生一次中断，中断程序的入口启动单片机的定时/计数器开始计数，等到下一个中断开始或者是到达极限位置时，计数停止。根据计数值以及控制电路中单片机所使用的晶振频率 f 获得时间 T ，中断程序出口处计数器清零，准备开始下一次的计数。由于有两对光耦，比较得出方向后，只需要对其中一个进行计数即可，具体对哪一个接收器的脉冲计数技术根据运动的方向来决定，可以选择对先产生脉冲信号的接收器的计数波进行计数和计时处理。由于第一个和最

后一个脉冲不是完整的计数脉冲，因此其脉冲时间与其它脉冲的时间有差异，计算出其它脉冲持续的时间的平均值，得出每个脉冲持续时间内电机转过的角度，并对第一个和最后一个脉冲进行修正。

根据修正后的数据便可得到实际的位置值，这一新型位置反馈直接对数字信号进行处理，软件算法减小了难度。同时，由于采用光机电一体化结构，整个系统的体积减小，调试方便。光电器件响应速度仅为毫秒量级；省去了 A/D 转换；双光耦技术直接判断方向，不需要单片机不停检测和比较实际位置值，使得系统响应速度加快，更适合工业上实时性的需求。这一技术的关键就在于光电式编码盘的设计和加工，由于设计简单，可操作性强，成本低，适合大面积的推广和使用。由以上分析可知，对于本章第一节中分析的电动执行控制系统存在的三个问题，基于光机电一体化的电动执行控制系统都一一解决。

5.3 本章小结

本章首先分析了设计的基于现场总线的电动执行机构系统中存在的问题，并根据这几个问题有针对性的提出了一种新型设计——基于光机电一体化的电动执行机构，最后对设计的构想和实施方法进行了详细的阐述。

6 结论与展望

6.1 结论

在整个系统的开发过程中，通过研究阅读大量文献和应用实例，根据电动执行机构的国内外发展情况和市场需求，设计出一款基于现场总线的电动执行控制系统，并在此设计的基础上提出改进方案——基于光机电一体化化的电动执行控制系统，可以得到如下结论：

(1) 系统总体设计方案达到预期要求。开发的电动执行控制系统性能有很好的扩展性，安全可靠，操作简便，为产品的更新发展打下良好的基础。

(2) 系统软件设计基本实现原定的功能要求，上位机的界面设计也降低了工人的操作难度，基本上达到智能目的。

(3) 系统采用 RS485 通讯协议实现电动执行控制系统与上位机的通讯，通讯速度快，减小外界对控制器和传输信息的干扰。

(4) 系统采用机电一体化的结构设计，顺应自动化仪器仪表的发展趋势。

(5) 基于光机电一体化化的电动执行控制系统具有成本低，检测方便，响应速度快等多个特点，可以广泛应用到工业控制中。

智能电动执行机构要应用到工业流量等的控制中，因此它要不断接受工业应用的考验，设计者应该从实际应用中找到设计的不足，并进一步加强它的性能，逐渐使设计走向产业化的道路。由于本次设计时间有限，并没有进行上位机与单片机为中心的控制器的联机调试，在后面的研究开发需要对双方的串口通信进行验证，达到监控目的。通过本文的工作，结合当今智能化电动执行机构发展的总趋势，可以发现一下的不足：

(1) 限位传感器产用机械式控制仍然存在响应速度慢、维修困难等问题。

(2) RS485 只能代表通讯的物理介质层和链路层，如果要实现数据的双向访问，就必须自己编写通讯应用程序，但这种程序多数都不能符合 ISO/OSI 的规范，只能实现较单一的功能，适用于单一设备类型，程序不具备通用性，因此对于设备种类多的控制环境 RS485 通讯协议不能实现现场总线式通信。

(3) 外界环境例如温度等有可能造成电机的堵转现象，而电机堵转则会使生产停止，从而增加了生产成本，而且电机维修时间长，费用高，工作量大。

总之，智能电动执行机构要根据实际的生产控制需求不断更新其自身的性能。

6.2 展望

随着微电子技术、自动控制技术和传感器技术的发展以及对工业过程控制系统要求的提高，结合当今光机电一体化技术的发展，通过本文的工作，有以下几点展望：

(1) 采用光电器件替代传统的机械式限位装置，提高调节的精度及准确性，同时加快系统响应的速度，增强应用的实时性。

(2) 研究自适应的算法，增强电动执行机构自学习和自调整的功能；研究电机转速控制的优化算法，提高控制的精度。

(3) 采用更为高级的现场总线协议，例如HART、CAN等构成工业控制网络，适应设备多样化的工业控制环境，增强系统的适应性。

(4) 在结构上推陈出新，使光机电一体化的结构更为优化，体积进一步减小，安装更为方便。

(5) 关注行业发展趋势和相关电子、计算机、传感测试等方面技术的发展，选择更先进合理的器件及电路方案，不断提高系统设计水平^[42-44]。

电动执行机构是自动化仪表控制重点发展的一个方面，因此需要不断的更新和改进，它的成功研究和应用为其自身的发展打下良好基础，具有广阔的市场发展前景。

致 谢

本文是在王老师的悉心指导下和热情的帮助下完成的。在整个研究生学习和论文完成过程中，王老师以他严谨的治学态度和诲人不倦的精神给予了我很大的帮助；在平时的生活中，王老师总是以他的人生经历告诉我很多做人、做学问的深刻道理，让我受益匪浅，并将在我以后的学习生活中产生重大的影响，可以说，我现在所取得的每一点进步都是与王老师分不开的，在此，我谨向王老师表示最衷心的感谢！

感谢课题组的韦先霜同学，在硕士期间我们一直相互交流和探讨，她踏实的作风和扎实的专业基础都给我很深的印象。同时也要感谢组内的师弟张晓栋和易丰松，他们的帮助和建议使我感受到集体的温暖和合作的愉快！

感谢我的舍友丁园和周敏娟，在这两年间她们不断在生活和学习上给予我帮助。每当我有困难和烦恼时，总是她们安慰我并帮我找到解决问题的方法，她们的友谊让我感受到研究生生活的快乐和活力！

感谢光电科学与工程学院的各位老师在这两年间给予我的支持和帮助！

感谢我的父亲在过去的二十四年里给予我精神上的无法替代的支持和鼓励，感谢母亲这么多年无微不至的照顾和关怀，感谢我的弟弟陪伴我成长和给我带来的欢乐，谢谢你们，因为你们让我更有勇气的学习和生活！

袁媛

二〇〇七年五月

参考文献

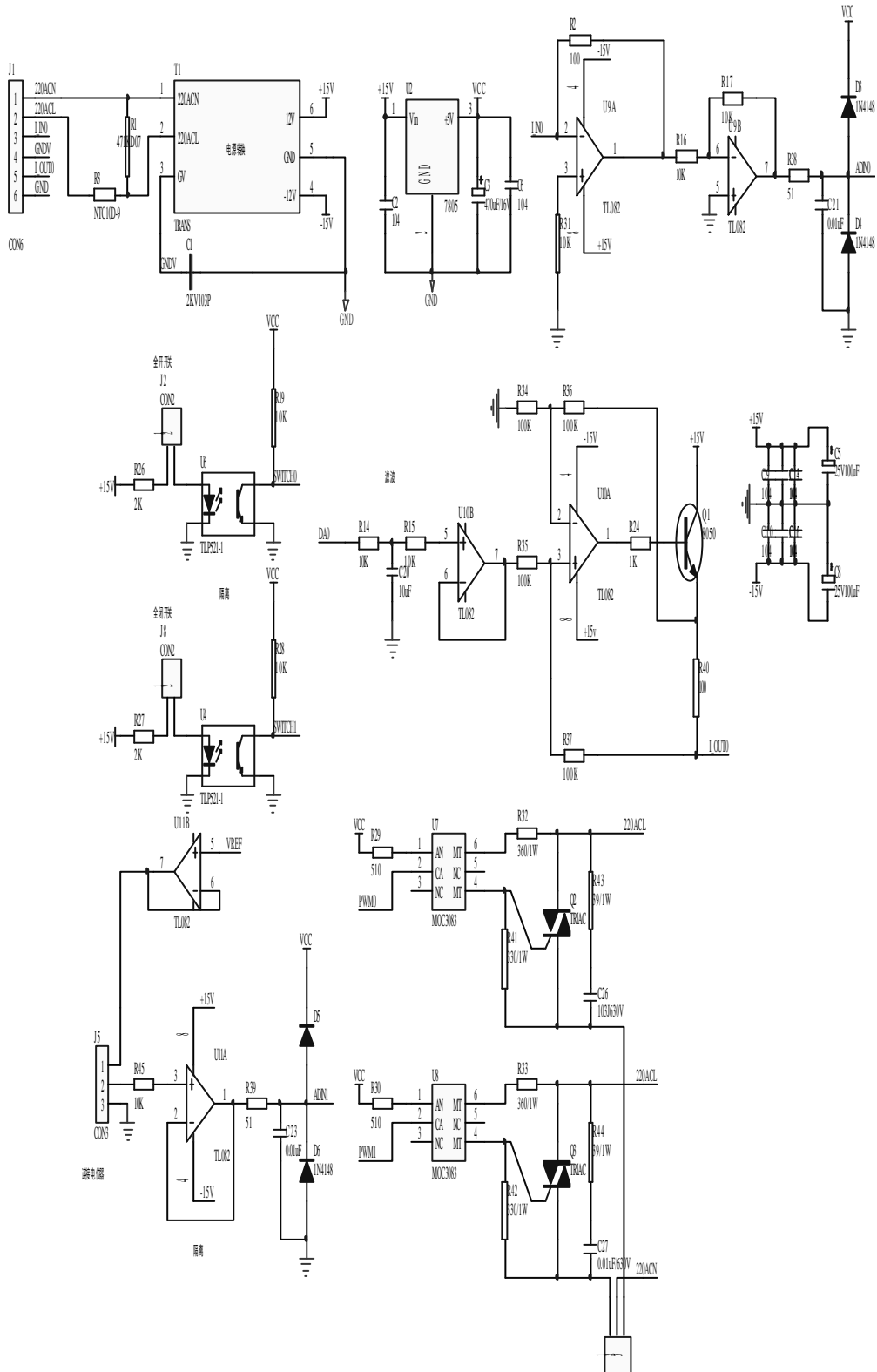
- [1] 王化祥, 林慧. 智能式电气阀门定位器. 自控系统, 测试技术与自动化, 2003, (9): 16~19
- [2] Mitsuhiro Shikida, Kazuo Sato. Characteristics of an Electrostatically-driven Gas Valve under High-pressure Conditions. Sensors and Actuators, 1990, 21: 161~167
- [3] 李勇. 我国阀门行业的现状和开发思路. 沪天化科技, 2005, 4: 314~316
- [4] M.A.Atmanand, M.S.konnur. A Novel Method of Using a Control Valve for Measurement and Control of Flow. IEEE transaction and measurement, 1999, 48(6): 1224~1226
- [5] 邓华. 电动阀门智能控制器及手持调试仪研制: [硕士学位论文]. 大连: 大连理工大学图书馆, 2003
- [6] 邓兵, 潘俊民, 潘志扬. 数字化阀门电动执行机构. 自动化仪表, 2001, 7: 74~75
- [7] 席培刚, 谢剑英, 陈影麟. 新型智能阀门电动执行装置的硬件设计和实现. 单片机开发与应用, 2006, 22(3-2): 1~3
- [8] Saad Mekhilef, N.A.Rahim, A.M.Omar. Microprocessor Implementation of Three Phase PWM Switching Strategies. IEEE 1999 International Conference on Power Electronics and Drive Systems, Hong Kong, 1999. 161~166
- [9] 祝荣荣, 张士文, 扈国华. 智能型阀门电动执行机构控制器的设计. 工业仪表与自动化装置, 2005, 4: 26~28
- [10] 汪勇, 王贵成, 宋琳等. 一种智能电动阀门控制器的设计. 辽宁化工, 2004, 33(6): 368~370
- [11] 王兴, 蒋庆华. 电动执行机构. (第一版). 北京: 机械工业出版社, 1982. 2~4
- [12] 徐毓军. 基于工业以太网的电动执行机构的设计和开发: [硕士学位论文]. 北京: 清华大学图书馆, 2003
- [13] Guoxiao Li, Hexu Sun, Yan Dong et al. A Study of the Control Strategy for Mechatronics System of Electric Valve. in WCICA'02 Shanghai, 2002. 1622~1625
- [14] Deng Bing, Pan JunMin. Research and development of control system in digital valve electric actuator. The 27th Annual Conference of the IEEE Electronics Society, 2001.

193~197

- [15] 邓海棠. ADuC812 单片机与 K9S6408VOSA 在存储测试中的应用. 科技情报开发与经济, 2003, 13(7): 184~185
- [16] 曹娜, 于群, 王业平等. 基于 ADuC812 的中小型异步电动机微机保护. 微计算机信息, 2002, 18(8): 34~35
- [17] HOANG LE-HUY. Microprocessors and Digital IC's for Motion Control. Proceedings of the IEEE, 1994, 82(8): 1140~1163
- [18] 赵家贵. 电子电路设计. (第一版). 北京: 中国计量出版社, 2005. 227~292
- [19] 王兆安. 电力电子技术. (第一版). 北京: 机械工业出版社, 2001. 75~78
- [20] 吴爱国, 王立石. 智能阀门定位系统的设计. 中国工程科学, 2005, 7(4): 69~73
- [21] Keiji Ozaki, Kenichi Watanabe, Satoshi Itaya et al. A Fault-Tolerant Model for Wireless Sensor-Actor System. Proceedings of the 20th International Conference on Advanced Information Networking and Applications, 2006. 445~448
- [22] 金发庆. 传感器技术与应用. (第一版). 北京. 机械工业出版社, 2002. 102~104
- [23] Mohamed A.Sharif, Msc, MlstMC et al. Fault Diagnosis in Industrial Control Valves and Actuators. IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference: St. Paul, Minnesota, USA, 1998. 770~778
- [24] Reza Hoseinnezhad. Position sensing in brake-by-wire callipers using resolvers. IEEE transactions on vehicular technology, 2006, 55(3): 924~932
- [25] 陈晓平. Protel 99 SE—电子线路 CAD 应用教程. (第一版). 南京: 东南大学出版社, 2005. 56~70
- [26] Hiroshi Kobayashi, Fumio Hara, Akira Tange. A Basic Study on Dynamic Control of Facial Expressions for Face Robot. IEEE International Workshop on Robot and Human Communication, 1994. 168~173
- [27] 黄绍平, 秦祖泽. 智能化电器 RS485 通信设计. 低压电器, 2003, 3: 24~26
- [28] Faa-Jeng Lin, Rong-Jong Wai. Adaptive Fuzzy-Neural-Network Control for Induction Spindle Motor Drive. IEEE transactions on energy concersion, 2002, 17(4): 507~513
- [29] Shinn-Jang Ho, Li-Sun Shu, Shinn-Ying Ho. Optimizing Fuzzifying Neural Networks for Tuning PID Controllers Using an Orthogonal Simulated Annealing Algorithm OSA. IEEE transactions on fuzzy systems, 2006, 14(3): 421~434

- [30] 熊益铭. C 语言在单片机串口通信中的应用. 电子科技, 2005, 8: 39~42
- [31] 陈如琪. 微型机与单片机串行通信的实现. 北京印刷学院学报, 2006, 14(1): 29~32
- [32] 陈伟人. MCS51 系列单片机实用子程序集锦. (第一版). 北京: 清华大学出版社, 2002. 62
- [33] 曲东才. 通用微型机与 MCS51 系列单片机的数据通讯技术. 微计算机信息, 1998, 14(3): 32~33
- [34] 刘宝华, 朱海. RS422A/485 通信网络设计. 电子测量技术, 2002, 2: 32~34
- [35] 蒋月红. 基于现场总线的电动执行机构在电站工程的应用研究. 现场总线与网络技术, 2006, 12(PLC&EA): 80~83
- [36] 王兆鹏. 基于 CAN 总线的电动执行机构的研究: [硕士学位论文]. 武汉: 武汉大学图书馆, 2005
- [37] 罗沅林. 现场总线、PLC 在制造自动化系统中的应用. 现代机械, 2006, 6: 70~71
- [38] 诸银兴, 施竹仁, 巢乐等. 现场总线智能电动执行机构的研制. 自动化仪表, 2001, 22(2): 5~7
- [39] 李明青. PC 机及单片机数据通信技术. (第一版). 北京: 北京航空航天大学出版社, 2000. 25~30
- [40] 黄采伦, 徐光远. Win98 下 PC 机与单片机串行通信的软硬件实现. 计算机应用研究, 1999, 12: 106~109
- [41] 于德贤. 电动执行机构. 中国, 实用新型, 02209886. 0, 2003: 1~3
- [42] Wang Li-xin. Sable adaptive fuzzy controllers with application to inverted pendulum tracking. IEEE Transactions on Cybernetics, 1996, 26(5): 677~691
- [43] Krstic M-Kanel1ak0D0u1ou5 I, Ko-Kotovic P V. Adaptive nonlinear control without over parametrization. System control Letters, 1992, 19: 177~185
- [44] Langari G Tomizuka M. Stability of fuzzy linguistic control system. Proc IEEE Conf on Decision and Control, 1990. 2185~2190

附录 1 模拟部分电路图



附录2 数字部分电路图

