

摘要

在焦炉燃煤过程中，由于煤层高低不平，分配不均等问题导致燃煤燃烧不充分，极大的影响了燃烧效率，也增加了能源的损耗。由此，均匀、高效、先进的布料设备和布料方式在焦炉燃煤过程中起到了越来越重要的作用。

本文针对马鞍山钢铁股份有限公司新区一号焦炉布料设备以继电器为核心的自动控制系统存在故障率高、操作程序复杂、界面人性化不足和辅助管理能力不强等问题，设计了以 PLC、触摸屏等技术为核心的自动回转布料机控制系统。

通过对布料系统的检测环节、控制模式和控制策略进行分析，针对布料过程具有大时滞、非线性、难以建立精确数学模型等特点，提出了一种基于 PLC 的模糊逻辑控制实现方法，论述了模糊控制器的原理和结构，设计了一个两输入单输出的模糊控制器来实现过程中加料速度参数的实时控制，用 PLC 编程通过查询表的方式实现了模糊控制器的设计，用 MATLAB 实现了模糊控制查询表的离线生成。

本文的控制方案在马鞍山钢铁股份有限公司煤塔布料系统中应用以来，系统运行良好，本文所设计的回转布料机自动控制系统具有稳定、高效的特点，并通过模糊控制算法提高了布料的均匀度。从而为布料系统的研究和应用提供了新的控制思维和控制策略，具有一定的理论和实践意义。

关键词：回转布料机，模糊控制，PLC，触摸屏

ABSTRACT

In the process of coke-fired, because of the rugged coal layer, uneven distribution, lead the coal burning insufficiency, influence the burning efficiency and an increase of energy loss. Thus, a even, high efficiency, advanced coal distribution equipment and system in the coke coal play an increasingly important role.

In terms of the based on relay control system of no.1 coke even coal distribution equipment of Maanshan Iron & Steel Co.,Ltd, faced with many problems, such as high fault rate, low accuracy, operate complex, low capacity of management and so on. This paper designs a rotate coal distribution auto-control system based on PLC and touch screen.

By analyzing and studying the checking link, the controlling mode and control strategy on coal distribution system, in connection with some features such as long time lag, nonlinearity and modeling difficulties, it puts toward a fuzzy control method based on PLC and discoursed Principle and structure of the fuzzy controller ,and designs a fuzzy controller of two inputs and one output to control the Parameters of speed on line, The design of fuzzy controller is realized by PLC, the off-line calculation of fuzzy-control table is realized by MATLAB.

This control scheme has been applied in the coke even coal distribution system of Maanshan Iron & Steel Co.,Ltd, and the system operates well. The control system by this paper is stabilize and high efficiency, and improved the evenness degree by fuzzy control algorithm. Thus, it Provides a new control mentality and new control strategy for research and application of coal distribution system.

KEY WORDS: Rotate coal distribution machine, fuzzy control, PLC, touch screen

原创性声明

本人声明，所呈交的学位论文是本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，除了论文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得中南大学或其他单位的学位或证书而使用过的材料。与我共同工作的同志对本研究所作的贡献均已在论文中作了明确的说明。

作者签名： 罗云将 日期： 2009 年 5 月 25 日

学位论文版权使用授权书

本人了解中南大学有关保留、使用学位论文的规定，即：学校有权保留学位论文并根据国家或湖南省有关部门规定送交学位论文，允许学位论文被查阅和借阅；学校可以公布学位论文的全部或部分内容，可以采用复印、缩印或其它手段保存学位论文。同时授权中国科学技术信息研究所将本学位论文收录到《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。

作者签名：罗云将 导师签名：黄九如 日期： 2009 年 5 月 25 日

第一章 绪论

1.1 选题背景

钢铁行业是国民经济中占有十分重要地位的基础性行业，钢铁生产与国民经济的整体发展密切相关。目前，钢铁产品数量已经不是发展中的主要矛盾，而加速结构调整、转变增长方式、提高综合竞争力则成为钢铁行业面临的紧迫任务。在 2008 年底开始的世界金融危机影响下，钢铁行业的发展受到了很大的影响。行业内的设备技术更新已经成为制约钢铁厂发展的瓶颈。

在钢铁冶炼过程中，焦炭是不可或缺的原料之一。焦炭质量的高低直接影响冶炼的效率。而在焦炉燃煤燃烧生成焦炭的过程中，由于煤层高低不平，分配不均等问题导致燃煤燃烧不充分，极大的影响了燃烧效率，也增加了能源的损耗。在焦化配料过程中，配煤仓出现混煤对产品质量也有着直接的影响。由此，均匀、高效、先进的布料设备和布料方式在焦炉燃煤的燃烧过程中起到了越来越重要的作用^{[1][2][3]}。

马鞍山钢铁股份有限公司(以下简称马钢)是我国特大型钢铁联合企业之一，经过五十多年的艰苦创业、滚动发展，从当年的一个小铁厂发展成为粗钢产能具备 1200 万吨规模的大型企业集团。马钢新区一号焦炉年产 110 万吨，为 70 孔碳化室，高 7.63 米，是我国目前焦炉容量最大之一。在新区一号焦炉中选用了长沙通发高新科技有限公司生产的自动回转布料机，目前布料机使用稳定，布料均匀，故障率低，自动化程度高，极大的提高了燃煤燃烧效率。我有幸参与了设备的整个安装调试过程。

1.2 研究的目的和意义

我在设备的安装调试过程中，有机会见到过其他厂家生产的布料机设备，综合搜索到的资料经观察和工程实践中了解到，这些布料设备存在着以下的严重缺陷^{[1][2]}：

1、故障率较高，主要原因是布料机现场环境极度恶劣，煤尘飞扬，对设备的工作环境要求较高；再者使用大功率电气电网的干扰，空间电磁波的干扰和触点及电机电刷产生的火花对系统的稳定性构成了很大威胁；

2、操作界面和程序复杂，人性化不足；

3、现场需人值守操作，自动化程度不高，也增加了工人的劳动强度；

4、维修不方便。

在焦炉生产过程中，设备出现故障导致的生产停产会造成巨大的经济损失。因此，急需一套操作维修方便、布料高效均匀、自动化程度高、性能稳定、故障率低的布料控制系统。

因为基础建设的拉动，国家刺激内需，对钢铁的市场需求也在增多，而现在钢铁行业的发展已经不再只单单对数量有要求，为建设资源节约型社会，加强对资源的有效利用和对环境的保护，就对焦炉的燃烧效率提出了更高的要求，从而布料机的市场潜力更大。

随着网络技术、计算机技术和控制技术的不断发展，顺应时代潮流出现了现场总线控制系统(FCS)，它是一种开放的、可互操作性的、彻底分散的、低成本的分布式控制系统，由分散控制发展到现场总线控制，数据传输采用总线方式即现场总线；PLC 控制技术已经成熟，故障率低，相对于目前占据市场的单片机控制系统性能更优，便于在施工现场维护使用；现场总线控制技术和 PLC 技术二者相互渗透，互为补充，能构成复杂的分级控制；从趋势来看，二者的归宿和统一将是全分布式计算机控制系统；而它们的快速发展必定会使布料机自动控制系统的成为高效、稳定、安全的控制系统。

本课题以回转布料机及其装料、布料等辅助系统构成的回转布料机全系统为主要研究对象，采用西门子 PLC 为核心处理器，结合现场总线技术、模糊控制技术、变频调速技术，将现场所有控制设备构建为分布式系统，通过软件编程和软硬件组态技术实现回转布料机的现代化监控与管理。开发出性能优良的、适用于各型焦炉的上位机和 PLC 二级控制系统：操作员在上位机上操作，现场装有工业摄像头，操作员可就地或远程控制现场布料机设备，避免了现场恶劣环境对工人的身体伤害；上位机具有各种报表功能，方便统计、查询和打印交接班记录薄，煤塔的上料时间、上料量(料位的高度变化)和生产运行情况等工作数据资料，并给出了产生相应故障的可能原因，便于操作员及时排除故障，保障生产。

本课题的研究，是过程控制与现代先进科学技术的有机结合，使得现代新技术在传统的布料机控制系统中得到推广和应用。极大地提高了布料机的生产自动化程度和可靠性，是布料机控制系统革命性的进步，在计算机技术飞速发展、网络技术快速普及、自主知识产权越来越引起人们的高度重视的今天是十分必要的。

此系统还可用于混凝土布料^[13]，石灰窑布料等场合，具有很大的实用价值和推广意义。

1.3 布料机发展现状及存在问题

在焦炉的生产过程中，为保证整个生产系统的稳定性和连续性，提高生产效率，一旦由于设备故障造成的生产停产将会对整个企业造成巨大的损失。所以布料机控制系统的稳定性至关重要^{[4][5]}。随着集成电路芯片的更新和计算机控制技术的发展，布料机控制系统经历了从继电器逻辑控制方式、单片机控制方式、可编程序控制器（PLC）控制方式、工控机集中控制方式，发展到现在正在完善的基于现场总线控制系统。基于现场总线的控制系统具有的自动化程度高、运行速度快、运行稳定可靠以及具备强大的数据管理功能等特点得到充分显示，已成为当今布料机的主要控制模式。

目前我国布料机生产企业众多，产品已形成系列化，但技术水平参差不齐，只有少量产品接近国际先进水平，其中部分产品自动化程度较高、稳定性较好、故障率较低、价格适中，主机和主要元器件基本实现国产化，但我国的布料机^{[6][7]}还存在着整体技术含量较少、普及率偏低、地区差异较大、智能化程度不高和环保性能较差等缺点。

目前，国内冶金焦化行业炼焦煤塔布料普遍采用的是梭式（直线）布料机和转动挡板布料^[8]。

1、梭式布料机：在煤塔上直线行走，只能在规定的直线范围内布料，煤塔内的燃料不能实现均匀分布，且煤塔角落不能布料。

2、转动挡板布料机：其特征是在下方的落煤筒上设有两片呈上下设置的十字交叉转动挡板，通过转动挡板的倾斜方向和角度，实现偏置加煤，从而有效保证整个燃煤层的均匀加煤；在十字转动挡板上方设置定量均匀落煤装置，可以基本保证煤气发生炉燃煤层的均匀，充分发挥最佳产气功能。其不足之处是性能不够稳定，设备容易损坏，自动化程度不够高，操作不够方便。

以上两种布料机在应用过程中存在的不足，影响到设备的正常运转，提高了能源的消耗。

发达国家在布料方式上^{[9][10]}有日本的格筛式溜槽布料机，曲线型反射板布料机，俄罗斯的旋转漏斗布料机和水平摆动反射板布料机等。控制精度和自动化程度较高。目前我国的布料设备和发达国家的还有一定的水平差距，需待进一步提高。

1.4 主要内容及安排

论文以现场总线技术和 PLC 控制理论为基础，采用功能强、速度快、扩展灵活、模块化的 S7-200 PLC 作为下位机，利用触摸屏和工业控制计算机作为上

位机，通过现场总线技术实现 PLC、触摸屏、工业控制计算机及其他元件间的连接、通信和组态，研制了回转布料机自动控制系统^[14]。整个项目需要完成的工作内容有：控制系统方案制定、电器原理图设计、低压电器选型、电气控制柜安装与布线、上下位机程序编制、系统调试、项目资料整理等。主要内容及安排如下：

1、主要内容。

- (1) 对布料机现有的自动控制系统进行深入的调研，分析现有控制系统不足，并对新的布料机自动控制系统进行详细地设计，提出新的自动化控制系统模型；
- (2) 根据新的布料机自动化控制系统实际情况，进行硬件设计；
- (3) 根据需求选择 PLC 类型，并在 Step7 Micro-Win 4.0 编程环境下完成 PLC 软件编程；
- (4) 根据上层监控系统的需求，在 ProTool 软件的设计环境中完成对布料机现场监控系统的组态，在 VB6.0 中完成对远程上位机监控界面的设计；
- (5) 针对布料机自动控制系统的布料不够均匀的情况，基于模糊控制技术对其布料控制算法进行了研究。

2、全文安排。

第一章 回转布料机控制系统研制的背景、国内外现状与水平，论文的目的和意义进行概述，提出本文研究和设计的重点及方向。

第二章 回转布料机的工作原理以及系统的结构以及控制功能做分析。从系统总体控制需求、系统方案选型等几个方面对其进行一个总体的分析，从而得出 PLC+现场触摸屏+远程上位机的控制模式。

第三章 对回转布料机自动控制的布料模糊控制算法进行了分析和模糊控制器的实现过程。

第四章 对系统底层的软硬件作了详细地分析和设计，对 PLC 程序设计进行了介绍，对 PLC 实现模糊控制表查询作了阐述，并对算法实现效果做了简要分析。

第五章 对回转布料机自动控制系统的上层监控系统的作了详细地组态研究和界面设计。

第六章 对本论文开展的工作及成果作了一个总结，并指明有待继续的工作。

第二章 回转布料机系统分析

2.1 回转布料机系统概述

自动回转布料机一般安装在煤塔的顶部，根据焦炉生产工艺要求将配煤车间制备合格的装炉煤均匀的布入煤塔，以满足焦炉的生产需要。它具有工作环境恶劣、连续工作时间长、负荷重等特点，适用于各大中型钢厂，焦化厂的炼焦炉。自动布料机采用电气程序控制，按需求具有手动和自动两种操作方式，操作地点也有现场和远程两种方案选择，灵活型比较高，综合管理能力较强。

本章先对回转布料机的基本工作原理及构成做一简要介绍，然后从回转布料机自动控制系统研制的目的和意义、系统的总体分析、系统方案的选型、系统的需求分析以及系统的组成等几个方面对其进行一个总体的分析，研制出新的基于PLC+触摸屏+远程计算机的自动回转布料机控制系统，以达到使用方便、提高生产、稳定生产、安全生产的目的，使其更加接近世界先进布料机自动控制系统的水平。

2.2 回转布料机工作原理及构成

2.2.1 基本结构

自动回转布料机主要由接料系统、行走系统、布料系统和控制系统等构成。

1、接料系统：主要由可安装在大车上的可逆行走的小车组成。小车由接料斗、驱动机构和用于在轨道上的行走机构构成。接料斗为高2米、宽3.5米的方形容器，可一次性装载2T由备煤车间送过来的优质煤。接料斗下端留有出口，出口打开后接料斗中的煤料可直接落到输送皮带上，继续下一流程。小车由两台1.5KW的交流电机驱动；

2、行走系统：主要由安装在煤塔顶端环形轨道上的布料大车组成。大车由支撑机构、驱动机构构成。大车尺寸由现场煤塔顶部截面的尺寸确定，本项目中大车长7.5米，宽4米。大车上安装有轨道，便于布料小车行走。大车安装在环形轨道上，可顺/逆时针旋转行走，行走范围为 $-170^\circ \sim +170^\circ$ ，可实现整个煤塔范围内的布料。大车由两台1.5KW的交流电机驱动。行走电机、制动器、减速机为三合一形式，减速机输出轴直接驱动主动轮轴，具有传动机构紧凑、路线简

洁，可靠性高的特点；在大车的两端装有接近开关用作对小车行走的极限保护；为对设备行走位置进行判断，建立平面二维坐标系，在主传动轴上安装了光电编码器，编码器信号接入 PLC 的高速计数器进行计数。编码器采用光洋的 RTJ1000，可加减计数，光电编码器每转一周，行走距离为 40CM，理论精度可达到 4MM，完全能满足设备控制要求；

3、布料系统：布料系统主要由皮带驱动系统、输送皮带、落料溜槽、刮料电机、雷达料位计和滚筒、托辊等附属设备构成。其中带式输送机滚筒、拖辊等采用 DT II 型，通用性强，维护方便；皮带电机由一台 1.5KW 的交流电机驱动；刮料电机由一台 0.75KW 的交流电机驱动；在设备长时间运行过程中，由于皮带老化等原因，可能会出现输送皮带跑偏的情况，会严重影响布料精度，因此，在输送皮带两侧也安装有接近开关，可检测皮带是否跑偏。在布料溜槽落料点安装了雷达料位计，实时检测料面高度，并将信号反馈给 PLC。

4、控制系统：本项目中采用 PLC+触摸屏+远程上位机的集成控制方式。根据生产流程的时序要求，对回转布料机从接料—行走—配料的生产过程实现自动控制，并具有一定的管理功能。在设备生产现场可由触摸屏来设定相关参数、控制设备运行，操作简单方便。并具有常见故障检测和报警功能，并给出可能的报警原因分析；远程上位机通过厂内局域网、现场摄像头等附属设备可实时观看当前运行状态，可实现设备现场的无人值守。数据库中保存有各报警信息记录和工作信息等，可方便查询、打印。

大车、小车和刮料电机均采用变频器进行控制。具有调速方便，控制效果优良，行走启停平稳，不啃轨等优点。刮料电机变频器由下文介绍到的模糊控制算法控制。

其现场图片如图 2-1 所示。

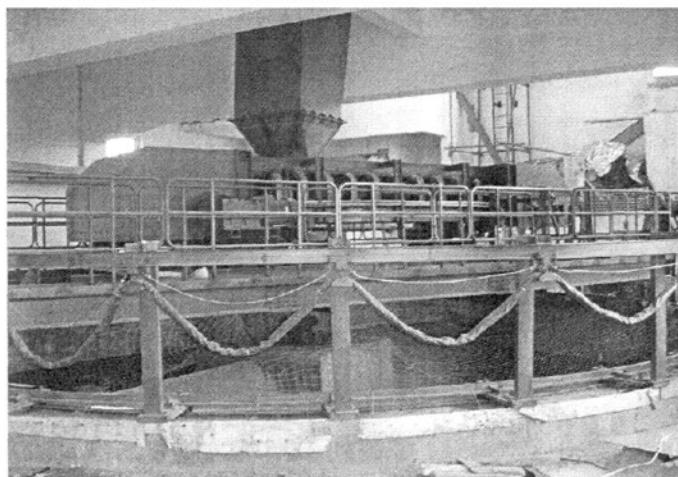


图 2-1 回转布料机现场图

2.2.2 回转布料机基本控制原理

本文中的回转布料机控制系统，采用上位机和下位机的控制模式，即控制器做下位机，在现场用触摸屏做上位机，为便于远程控制，实现集中管理，在远程控制室用计算机做上位机。计算机和触摸屏控制数据和命令的输入、运行数据和状态输出等，控制器则采集数据，判断工作状态和执行命令，基本原理框图如图 2-2 所示。

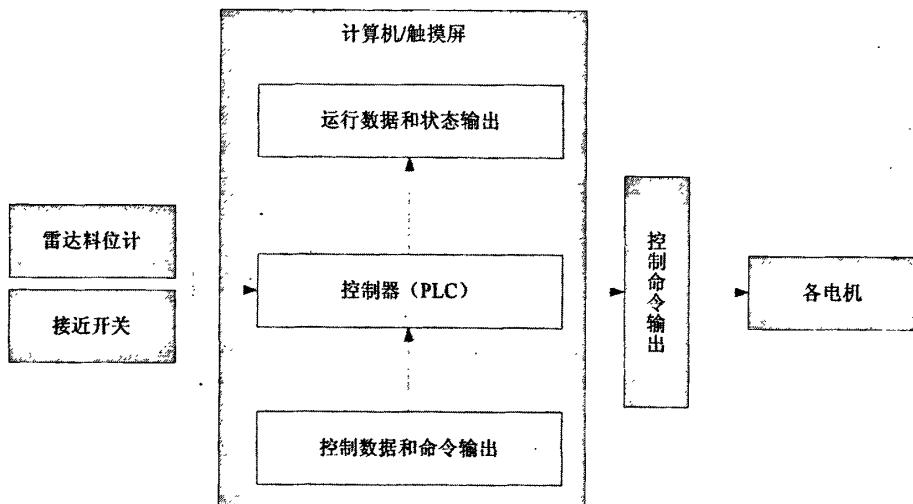


图 2-2 回转布料机基本控制原理示意图

2.2.3 回转布料机基本工作流程

程序分手动和自动两种操作方式，手动方式用于系统调试或紧急情况下，正常运行时采用自动方式。自动方式下，操作员在上位机上设定好指定料位高度等信息后，启动回转布料机。布料机小车从顶部装载由备煤车间送过来的制备好的煤粉，装载完后大小车先归原位，准备按环形轨迹开始布料，雷达料位计先检测起始时落料点料位，然后设定好料位参考值，小车打开落煤仓，将煤粉落到输送皮带上，输送皮带将煤粉送至落料溜槽中，大小车开始按程序环形旋转行走，再按照本课题中的模糊控制算法通过实时检测当前位置料位高度与设定的料位参考值之间的偏差大小来控制落料溜槽中的刮料电机刮料速度，进行均匀布料。工作流程图如图 2-3 所示。

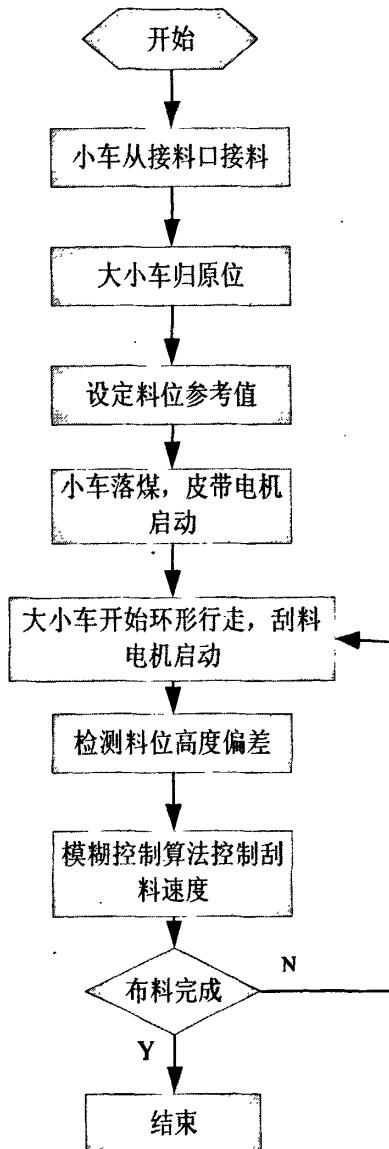


图 2-3 回转布料机基本工作流程图

2.3 系统的总体分析

马钢 1#焦炉年产 110 万吨，炉高 7.63 米，由于钢厂的特殊性质，焦炉要求全天 24 小时生产，对布料机的系统稳定性要求非常高。为彻底改善目前状况，项目按照高稳定性、低成本、安全可靠的原则，应用先进控制方法，研制出新的回转布料机自动控制系统，使其更加接近该行业世界先进水平。

2.3.1 系统控制要求

回转布料机安装在焦炉煤塔的顶部，采用上位机+PLC 的二级控制方案。由 PLC 控制大车、小车、输送皮带电机和刮料电机运行，为定位精确、启停平稳，电机均采用变频器控制。具体控制要求如下：

- 1、系统具有手动/自动两种操作方式。手动主要用于系统设备调试过程及特殊情况下，操作工可手动控制大、小车移动到指定位置，控制输送带的正反转及刮料电机运行对指定位置进行布料；正常运行时采用自动方式，回转布料机自动根据系统控制要求运行到指定位置旋转按给定速度布料，达到均匀布料的效果；
- 2、系统具有现场/远程两种操作地点选择。由于现场环境十分恶劣，煤尘飞扬，对现场的操作工的身体健康具有比较大的影响，系统要求除了能在现场操作外，还能在远程对布料机进行控制，并通过在现场的工业摄像头实时观看现场状况；
- 3、工控机+PLC 控制，管理自动化程度高，一般不需要人工干预，必要时也可方便的进行人工干预。运行过程中出现任何紧急情况，可随时按“停止”键，停止自动进程，进行人工干预。
- 4、触摸屏^[15]和远程的工业计算机均能方便的对参数进行修改和设定，监控系统上要实时显示布料机当前工位及当前煤塔料位；
- 5、系统有强大的数据管理功能和打印功能，能储存、统计各种生产数据，自动记录设备运转历史资料情况，并形成交接班记录薄，具体记录煤塔的上料时间、上料量(料位的高度变化)和生产运行情况。
- 6、有完善的报警功能，开机前对控制系统进行自检，发现问题，自动报警。在执行过程中，如果发现问题，系统也会报警提示，技术员可根据报警提示，发现问题，系统将报警情况纪录于数据库中，供用户随时查询。
- 7、完善的账号管理体系，对于操作者、维修者、管理员等划分登陆权限和登陆级别，不同级别有不同的权限，有不同的安全级别，保护系统的安全性。并且登陆情况纪录于数据库中，以供查询。

2.3.2 系统控制方案

可编程控制器技术^{[16][17]}因为具有显著的特点和优点，近些年来也发展很快，应用越来越广泛。触摸屏也因为使用方便、结构小巧、便于维护等特点深受工业控制场合的喜爱。根据现场需求，结合现代系统设计理念，本文中的回转布料机控制系统采用 PLC+现场触摸屏+远程计算机的控制方案，其中 PLC 控制现场设备的运行、接受现场设备的各种信号，并同时可与现场触摸屏和远程计算机通信；现场触摸屏便于在现场的维护和操作，远程计算机可通过厂内局域网在厂级总控

制室对现场设备进行监控，不仅可以很好地完成布料机自动控制系统的各种控制功能，而且系统的维护、扩展也很简单方便。

1、基本控制策略

控制系统基本控制需求是：控制器作为下位机，采集原始的信息（模拟量通过雷达料位计采集），经过处理把信息传递到上位机（触摸屏/工控机），上位机根据相关信息，集中管理，发出控制命令，并对整个系统进行监控作用，其控制系统基本原理图见图 2-4。

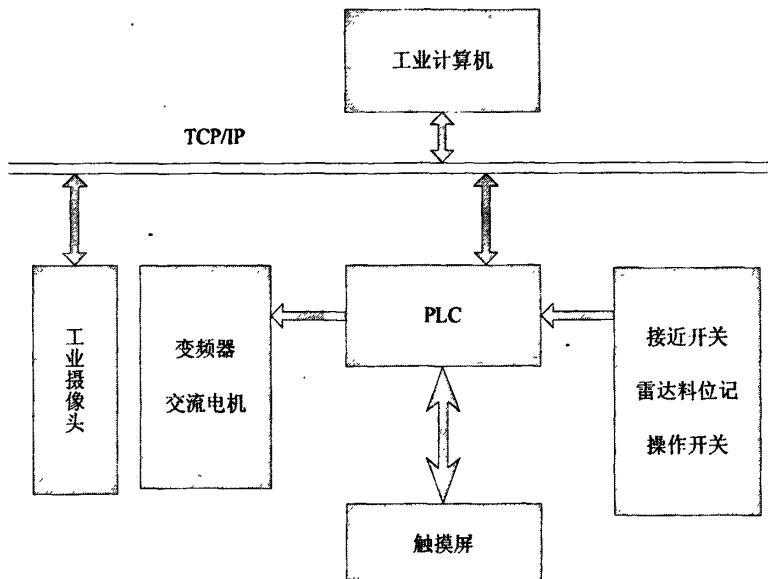


图 2-4 系统控制原理框图

2、网络通信方面

在之前的设备中，上位机（工控机）与总控室之间并没有网络，没有数据交换。不能从工程总控室监管现场布料机，查看现场工作状况。按照控制要求，从工厂自动化的角度出发，对整个布料机系统全部重新配以网络，便于数据的流通，将现有布料机下位机、上位机（工控机）、总控室等网络统一全部改造，做到有效控制、及时监管、有效调配。

3、系统监控和管理软件方面

系统软件应该具备以下这些功能：

- (1) 控制和操作功能：通过 PC 机或触摸屏能对布料机设备进行控制和人工干预，能对布料机的参数进行设定和修改。
- (2) 显示功能：能形象、实时、动态显示回转布料机的运行状态和主要技术参数，能用趋势图显示某些参数的变化情况，能用动画显示现场的动态工况模拟图。
- (3) 报警功能：启动运行后，能自动对生产流程中的故障进行诊断、报警等，当布料机设备发生故障时，能给出声光报警，显示相应的提示信息和界面，判断

可能导致的故障原因，并记录在报警数据库中，以供及时查看和打印。

(4) 数据库管理功能：建立生产数据库，存储生产原始数据，供统计分析用；建立事故数据库，记录各类错误、事故等。

(5) 数据处理功能：利用在线数据和数据库中的数据完成相关的参数计算。

(6) 报表输出/打印功能：打印布料机所需要的各类报表。

(7) 通讯功能：总控制台获取的所有信息均可通过局域网送入工程总调度室或上级管理部门，供有关部门管理调度用，有利于公司管理部门及时了解现场工作情况。

2.3.3 远程计算机与现场 PLC 通信的设置

远程控制室与现场设备的距离大约为 2.6 公里，采用 RS232 和 RS485 通信都是不太现实的。本文采用以太网通过 OPC 方式建立远程计算机与现场 PLC 之间的通信，很好的解决了通信的难点问题。

OPC (OLE For Process Control) 是基于微软 COM 技术的，COM 对象可以在网络上透明的分布，所以 OPC Client 可以通过 DCOM 的方式访问 OPC 服务器。当现场设备发生变化或系统中加入新设备时，由于服务器所提供的接口的一致性，工控软件不作更改即可继续使用，只是某些情况下可能需要重新组态，但是大大减小了软件维护的工作量。

SIMENS S7-200 PLC 系列提供了专门的通信驱动程序用于与计算机之间的通信，本系统用 SIMENS 公司提供的通讯软件 PC ACCESS 用做 OPC 服务器，在 PC ACCESS 端配置好服务器参数，建立好变量标签后，通过访问现场 PLC 的 IP 地址即可建立远程控制室与现场 PLC 的连接，用 Visual Basic 6.0 编写 OPC Client 访问代码即可访问 OPC 服务器中的数据。使用 Visual Basic 6.0 开发的客户端访问服务器的过程如图 2-5 所示：

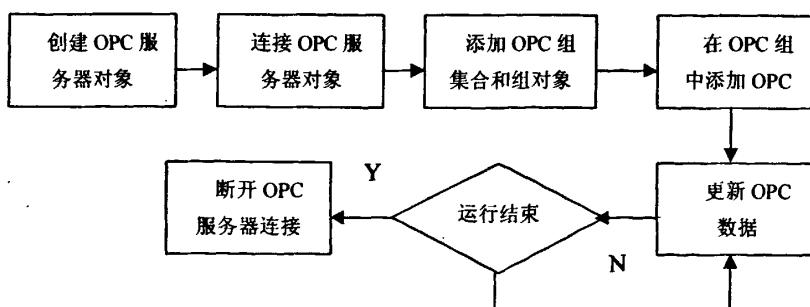


图 2-5. OPC 客户程序访问服务器过程

开发客户端程序时，实现异步通信和订阅式通信比同步通信的难度要大，但异步通信所占用的信道少，程序的执行时间较短。特别是订阅式通信的方式是当

服务器数据有变化时，才主动和客户程序通信，效率是最高的。对于数据量很大时，异步或者订阅式数据采集方式是最适宜的。为保证数据传输的实时性，本系统同时采用了这两种数据访问方式实现和OPC服务器的通信，即订阅式读数据，异步写数据。

2.4 本章小结

回转布料机是用来在焦炉煤塔布料的联合机械装置，采用 PLC+计算机+触摸屏的二级控制系统，它具有机械化和自动化程度高、布料均匀、性能稳定、故障率低的特点，可在我国各大钢厂焦炉冶炼中广泛使用。

本章主要介绍了回转布料机的工作流程和控制原理，介绍了回转布料机的主要系统构成和基本原理，如接料系统、行走系统、布料系统和集成控制系统等，对整个回转布料机系统构造做了简要介绍。从回转布料机控制系统要求出发，对各控制需求作了简要分析。从基本控制策略、网络通信方面和系统监控和管理软件三个方面对系统作了分析，并给出了 PLC+现场触摸屏+远程计算机技术的控制方案。

第三章 布料系统模糊控制器

回转布料机是焦炉煤塔布料中常用的设备，对其布料料位高度的均匀控制是控制中的一个重点，常规的控制算法有PID控制、神经网络控制、模糊控制等。

常规的PID控制有许多不完善之处，其中最主要的问题就是PID控制器参数的整定问题，且一旦整定计算好后，在整个控制过程中都是固定不变的，而实际中，由于实际系统参数等发生变化，而使系统很难达到最佳的控制效果。回转布料机的料位控制过程中，被控对象机理复杂，它不仅表现在控制系统具有多输入的强耦合性、参数时变性和严重的非线性特性，而且从系统对象所能获得的知识信息量也相对地减少，然而对控制性能的要求比较高。因此，采用常规PID控制器难以获得满意的控制效果^{[18][19]}。

神经网络^[20]是一大规模并行分布处理非线性动力系统，也正是它的非线性动力学复杂性，才在更高层次上体现了人脑的智能行为，并为智能控制提供了新途径。神经网络在控制中的作用一般可分为充当对象模型和控制器两种作用，神经网络控制的特点之一是其非线性，它的自学习、自适应性使其同线性系统的自适应控制有相似之处。但是回转布料机自动控制系统对于实时性的要求限制了神经网络的应用。

由于回转布料机系统参数具有大时滞、非线性、难以建立精确的数学模型等特点，料位高度参数是一个时变且非线性的对象，受刮料速度、落料高度、大小车旋转速度等参数的影响。而模糊控制系统^{[21][22]}不依赖于精确的数学模型，特别适用于复杂系统或过程与模糊对象等采用。模糊控制中的知识表述、模糊规则和合成推理是基于专家知识或者熟练操作者的成熟经验。模糊控制系统的核芯是模糊控制器。而模糊控制器均以计算机等为主体，因此它兼有计算机控制系统的优点。对控制对象的干扰具有较强的抑制能力。所以，模糊控制既能很好的改善系统的动态性能，又比较容易实现，本文拟采用模糊控制策略对其进行控制。

本文的模糊控制器选用计算机离线计算，用PLC在线查表的方法实现模糊控制。把复杂的模糊推理过程交给计算机离线完成，得到模糊控制器的总控制表。经过系统在线反复调试、修改，最后以数据模块的形式存入PLC系统的内存中，由一个查询该表的子程序进行管理。

3.1 模糊控制系统理论概述

模糊逻辑控制器 (Fuzzy Logic controller) 简称为模糊控制器 (Fuzzy controller) [23]，因为模糊控制器的控制规则是基于模糊条件语句描述的语言控制规则，所以模糊控制器又称为模糊语言控制器。在生产中由于种种原因，造成了对某些设备或生产环节至今仍必须由人的手动控制来完成。人的手动控制策略是通过控制者的长期实践经验积累而形成的，它可以通过人的自然语言来描述，因此这种控制属于一种语言控制。而人的自然语言由于具有模糊性，故这种语言控制也称为模糊语言控制或简称为模糊控制。从另一个角度看，模糊控制是建立在模糊逻辑基础上的，有人又称之为模糊逻辑控制。模糊控制系统的设计无需知道被控过程的数学模型，而只是根据专家提供的语言模糊规则，因而模糊控制是一种模仿人操作经验的非线性控制。模糊控制的价值体现在以下两个方面：第一、模糊控制提出了一种新的用于实现知识(规则)甚至语言描述的控制规则；第二、模糊控制为非线性系统提出了一个比较容易的设计方法，特别是当被控对象含有不确定性且很难用常规线性理论处理时，模糊控制规则更加有效。模糊控制的原理框图如图 3-1 所示^[24]。

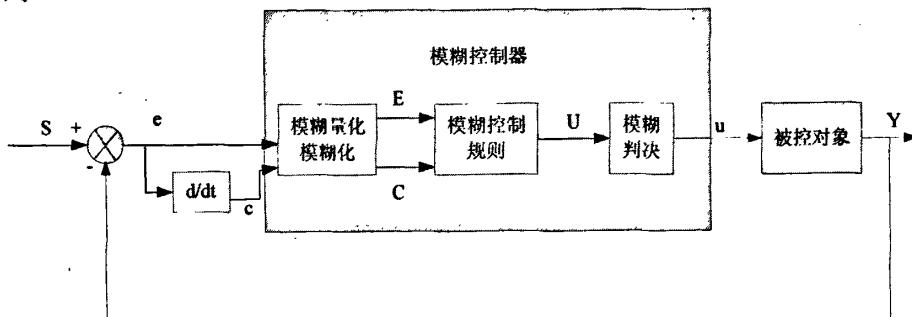


图 3-1 模糊控制原理框图

在图 3-1 中，虚线部分是模糊控制器。模糊控制器实际上是一台微机，可选用系统机、单板机或单片机。图中符号的含义如下：

S —系统的设定值，是精确量。

e 、 c —系统偏差与偏差变化率，均是精确量。

E 、 C —经模糊量化处理后，偏差与偏差变化率变成的模糊值。

U —模糊量的偏差与偏差变化率经过模糊控制规则近似推理处理后得到控制作用的模糊量。

u —对模糊量的控制作用经过模糊判决，得到模糊控制器输出的控制作用的精确量，去控制被控对象。

模糊控制通过模糊逻辑和近似推理方法，把人的经验形式化、模糊化，变成计算机可以接受的控制模型，让计算机代替人来进行有效的实时控制。为实现模

糊控制，语言变量的概念可作为描述手动控制策略的基础，并在此基础上发展为一种新型的控制器—模糊控制器。设计模糊控制器^{[25][26]}必须解决以下三个问题：

- (1)输入量、输出量的模糊量化；
- (2)建立模糊控制规则或模糊控制表；
- (3)输出信息的模糊判决。

因此，模糊控制器(FC)的设计包括以下几项内容：

- (1)用户需求分析；
- (2)确定控制目标及控制手段；
- (3)确定模糊控制器的输入变量和输出变量(即控制量)；
- (4)设计模糊控制器的控制规则；
- (5)确定模糊化和非模糊化(又称模糊判决)方法；
- (6)选择模糊控制器的输入变量及输出变量的论域并确定模糊控制器的参数(如比例因子、量化因子)；
- (7)编制模糊控制算法的应用程序；
- (8)合理选择模糊控制算法的采样时间。

3.2 模糊控制器的特点

模糊控制就是使计算机具有活性和智能的一种智能控制方法，目前已经广泛应用在各种工业过程控制当中。它之所以受到工程技术人员的如此欢迎，主要归结为模糊控制器的以下几个特点^[27]：

- (1)无需知道被控对象精确的数学模型，对多输入多输出、时变及滞后等复杂系统都能进行控制，它的实现主要依赖模糊规则库，且从工业过程的定性认识出发，较容易建立语言变量控制规则；
- (2)是一种反映人类智慧思维的智能控制。模糊控制采用人类思维中的模糊量，如“高”、“中”、“大”、“小”等，使得控制机理和控制策略容易理解和接受，设计简单，便于维护和推广；
- (3)构造容易。用单片机、PLC等来构造模糊控制系统，其结构与一般的数字控制系统无异，而且随着模糊控制系统软硬件的发展，模糊控制系统的设计变得越来越简单，成本也越来越低；
- (4)系统的鲁棒型强，尤其适用于非线性、时变、滞后系统的控制；
- (5)由不同的观点出发，可以设计几个不同的指标函数，但对一个给定系统而言，其语言规则是分别独立的，且通过整个控制系统的协调可以取得总体的协调控制。

然而，模糊控制的精度受到量化等级的制约；另外，对于普通的模糊控制而

言，它类似于比例微分的控制方式，还有一个非零的稳态误差，属于有差调节。如果将PID控制技术和它结合起来，取长补短，发挥两者的优势就能取得更好的控制效果。

3.3 模糊控制器的结构

模糊控制器的结构设计是指确定模糊控制器的输入量和输出变量。究竟选择哪些变量作为模糊控制器的信息量，还必须深入研究在手动控制过程中，运行人员如何获取、输出信息，因为模糊控制器的控制规则归根到底还是要模拟人脑的思维决策方式^[28]。

在手动过程中，人所能获得的信息量基本上为三个：误差、误差的变化、误差变化的变化，即误差变化的速率。一般来说，人对误差最敏感，其次是误差的变化，再次是误差变化的速率。从理论上讲，模糊控制器的维数越高，控制越精细。但维数过高，模糊控制规则变得过于复杂，控制算法的实现相当困难。这或许是目前人们广泛设计和应用二维模糊控制器的原因所在，因此，本课题也采用二维模糊控制器，即以误差、误差的变化率作为输入。

在本课题涉及到的布料系统的模糊控制器中，采用料位高度偏差 e 及料位高度偏差变化率 ec 作为输入语言变量，模糊化后分别用 E 、 E_c 表示。料位高度由雷达料位计采集，变频器信号作为输出。经模糊推理、清晰化的运算后，PLC 将计算好后变频器所需的频率量作为输出模拟量信号，送给刮料电机变频器的的模拟量输入端，用以改变刮料电机速。将刮料控制电机的转速变化作为输出语言变量，经模糊化后用符号 U 表示。其系统模糊控制原理图如图 3-2 所示。

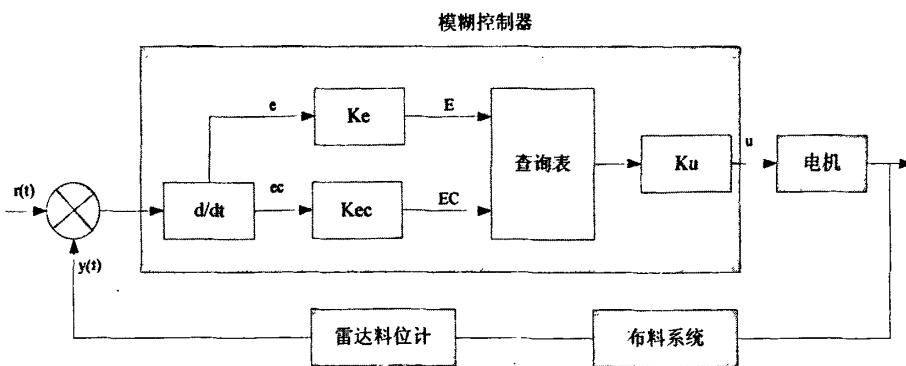


图 3-2 布料系统模糊控制原理图

图 3-2 中， e -料位高度偏差， ec -料位高度偏差变化率， u -模糊控制器的输出控制量(变频器调整频率)， K_e 、 K_{ec} -误差 e 、误差变化率 ec 的量化因子， K_u -控制量 u 的比例因子。

模糊控制器的输入定义为：

$$e(k) = r - y \quad (式 3-1)$$

$$ec(k) = (e(k) - e(k-1)) / T \quad (式 3-2)$$

式中， r -料位参考高度给定值， y -料位高度实际反馈值， $e(k)$ -KT 时刻误差， $e(k-1)$ - $(k-1)T$ 时刻误差， T -采样时间，模糊控制器的输出为控制量 u -系统变频器调整频率。

此模糊控制器的功能即是由 PLC 通过编程实现，具体包括输入量的模糊化，模糊推理和解模糊三个部分。其中 E 和 E_c 分别为过程精确偏差值和偏差变化率 e ， ec 模糊化后的模糊输入， U 为模糊输出量，而 u 为解模糊后的精确输出量。

3.4 模糊语言变量语言值分档的选取

模糊控制器的控制规则是由输入输出模糊语言变量的不同语言值排列组合而构成的若干条模糊条件语句，它们反映了人工控制的某种思维方式，模糊条件语句中描述输入输出语言变量状态的词汇(也称为语言值，如“正大”、“负小”等)的集合，称为这些模糊语言变量的词集(也可以称为模糊语言变量的模糊状态)，它是根据模糊语言的定义，由语法规则生成的语言值的集合。而每一个语言值本身又是一个模糊子集，因此要确定一个模糊语言变量，必须首先确定其语言值才能构造模糊控制规则，那么如何选取模糊语言变量的语言值(词集)，也就是如何对语言变量值分档呢^[29]？

很显然，一个语言变量选用的语言值分档越多，对事物的描述就越细腻、准确、生动，制定控制规则就比较灵活，控制规则本身也比较详尽，因而控制效果就越好。但是语言值分档太多，反而有可能使控制规则变的很复杂，编制程序比较困难，占用的内存贮器容量也较多；选择较少的分档，控制规则相应变少，规则的实现方便了，但过少的控制规则又会使控制作用变得粗糙而达不到预期的效果。因此，在选择模糊语言变量的语言值时要兼顾简单易行和控制效果两个方面。

一般来说，一个语言变量选用 $m=2\sim10$ 个语言值较适宜。

在回转布料机控制系统的模糊控制器中将料位高度的偏差 e 的输入语言变量 E 的语言值分成 7 个级别，为： $E=A=\{NB, NM, NS, Z, PS, PM, PB\}$ ，每个级别对应一个语言变量，分别为 PB(正大)、PM(正中)、PS(正小)、Z(零)、NS(负小)、NM(负中)、NB(负大)。

同理，我们将偏差变化率 ec 和输出 u 分为七个级别。即：回转布料机控制系统的模糊控制器中将料位高度的偏差 e 的变化的语言值取为： $E_c=B=\{NB,$

NM, NS, Z, PS, PM, PB}, 回转布料机控制系统的模糊控制器中将刮料电机的调整频率 U 的语言值取为: $u = e = \{NB, NM, NS, Z, PS, PM, PB\}$ 。

需要说明的是, 在采用不同的模糊推理方法时, 语言变量值的分档覆盖范围是有区别的。在采用合成推理(CRI)法推理时, 需要把变量的基本论域(也称为实际论域或物理论域)转换成模糊变量的模糊论域(整数论域), 然后在模糊论域中去对语言变量值分档。

3.5 论域、量化因子及比例因子的选择

3.5.1 论域的选择

在采用合成推理算法时, 为了在实时控制中避免模糊关系矩阵合成运算所浪费的计算机时间, 总是采取在脱机状态下将全部输入输出之间关系计算出来, 形成一张控制表(响应表)存入 PLC 的数据寄存器中, 在某一采样时刻根据输入变量直接去查控制表就可以得到输出响应。控制表是以整数表示输入量和控制量的。为了能生成控制表, 在 CRI 推理中, 要求将就是具有清晰性的基本论域转换成有限个数的模糊论域, 也就是把连续变化论域离散化成为离散论域^{[30][31]}。

由于语言变量值的档数不能过多也不能过少(一般 $m=2 \sim 10$ 档), 基于同样的道理, 模糊论域中元素也不能太多或太少。一般而言, 模糊论域的元素个数为 $2n+1$ 个。在回转布料机控制系统的模糊控制器系统中, 设定 20S 采一次样, 根据经验, 回转布料机控制系统的料位高度偏差 e 的物理论域为:

$e = [-12, +12] \text{ cm}$, 将其转换为整数论域, 即

$$\begin{aligned} E_a &= \{-n, -n+1, \dots, -1, 0, 1, \dots, n\} \\ &= \{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3, +4, +5, +6\} \\ n_a &= 6 \end{aligned}$$

回转布料机控制系统的料位高度偏差 e 的变化 ec 的物理论域为: $[-6, +6]$, 将其换为整数论域, 即:

$$\begin{aligned} E_c &= b = \{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3, +4, +5, +6\} \\ n_b &= 6 \end{aligned}$$

电机的转速调整输出量 u 的论域为, $u = [-12, +12]$, 将其转换为整数论域, 为:

$$\begin{aligned} U &= e = \{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3, +4, +5, +6\} \\ n_e &= 6 \end{aligned}$$

3.5.2 量化因子及其确定方法

在回转布料机模糊控制系统中，料位高度偏差 e 的物理论域为， $e=[-12,+12]$ ，将其转换为整数论域，即：

$$E = a = \{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3, +4, +5, +6\}$$

$$n_a=6$$

按照定义

$$k_a = n_a / e_{\max} \quad (\text{式 3-3})$$

$$k_a = 6 / 12 = 0.5$$

式中 K_a 称为偏差语言变量的量化因子^[32]。如果在采样时刻得到的物理量基本论域中的一个精确值 e ，则可以找到模糊论域 E 中的一个元素 a 与之对应。

同理可得回转布料机模糊控制系统的料位高度偏差 e 的变化 ec 的量化因子为：

$$k_b = n_b / e_{\max} \quad (\text{式 3-4})$$

$$k_b = 6 / 6 = 1$$

量化过程可表示为：

$$a_i = K_a * e \quad (\text{式 3-5})$$

$$b_i = K_b * e \quad (\text{式 3-6})$$

如果所得到的结果 a_i 是整数，则必然是某一个 Z ， $Z \leq n_a$ ；如果 a_i 含有小数，可以采用四舍五入的方法对 a_i 取整后归入到 Z 中去。量化因子的确定是很关键的，它不仅影响系统的动态品质，也影响到系统的稳定性。

量化因子 K_a 及 K_b 的大小对控制系统的动态性能影响很大。 K_a 选得较大时，系统的超调也较大，过渡过程较长。因为从理论上讲 K_a 增大，相当于缩小了误差的基本论域，增大了误差变量的控制作用，因此导致上升时间变短，但由于出现超调，使得系统的过渡过程变长。 K_b 选择较大时，超调量减小， K_b 选择越大系统超调越小，但系统的响应速度变慢， K_b 对超调的抑制作用十分明显。量化因子 K_a 和 K_b 的大小意味着对输入变量误差和误差变化的不同加权程度，二者之间相互影响。

3.5.3 比例因子的选择

模糊推理决策后控制器的输出是一个模糊向量 $u^{(k)}$ ，写成模糊子集的形式为 $c^{(k)}$ ，虽然经过模糊判决得到了一个清晰量 $C(k)$ ，但这仍只是输出模糊论域 U 中一个等级数，还不能直接由控制器输出作用于执行机构去对被控对象施行控制，还必须乘上一个输出量比例因子 $K(u)$ 。

比例因子 $K(u)$ 的定义^[33]：设控制量的变化范围为 $[-\max_{\Delta u}, +\max_{\Delta u}]$ ，控制量所取的模糊论域 $U = C = \{-n_c, -n_c + 1, \dots, n_c - 1, n_c\}$ 则：

$$K_u = \max_{\Delta u} / n_c \quad (\text{式 3-7})$$

在此处 $K_u = 12 / 6 = 2$

比例因子只起比例作用，这和量化因子 K_a ， K_b 的量化效果不同。若已知某采样时刻模糊判决的清晰量 $C(k)$ 对应着论域 u 的一个等级数控制量的变化 u 为

$$u = C(k) * K_u \quad (\text{式 3-8})$$

故 k 采样时刻模糊控制器输出变化量的精确值为 $u(k)$ 。

比例因子的选择和量化因子一样对模糊控制器的动态特性有很大的影响^[34]。若 $K(u)$ 取的过大，则会造成被控过程阻尼特性下降，导致系统振荡；反之，若 $K(u)$ 取得过小，会使系统动态响应过程变长，稳态精度变差。输出比例因子 $K(u)$ 作为模糊控制器的总的增益，它的大小影响着控制器的输出，通过调整 $K(u)$ 可以改变对被控对象（过程）输入的大小。

3.6 隶属函数的确定及模糊变量表的建立

3.6.1 隶属函数的确定

模糊语言变量的每一个语言值实际上是一个在模糊论域上的模糊子集。由模糊集合的定义可知，模糊子集最终总是通过隶属函数来描述的。语言值隶属函数又称为语言值的语义规则，它有时以连续函数的形式出现，也可以以离散的量化等级的形式表达，它们各有自己的特色。连续的隶属函数描述比较准确，而离散化的量化等级简洁直观。模糊论域上的一个连续或离散的隶属函数就代表着一个模糊语言变量的一个语言值。隶属函数可以通过总结操作者的控制经验采用多种方法来确定。

隶属函数的形状在达到控制要求方面并无大的差别，倒是隶属函数的幅宽大小对性能影响较大。所以一般选用三角形、梯形隶属函数作为模糊子集的隶属函

数^[35]，这是因为它们的数学表达和运算较简单，所占内存空间小，在输入值变化时，比正态分布或钟形分布隶属函数具有更大的灵活性，当存在一个偏差时，就能很快反应产生一个相应的调整量输出。

在本课题中选用三角形隶属度函数作为模糊子集的隶属函数。

3.6.2 模糊变量表的建立

根据各变量论域的选择及隶属函数的选取， E 、 E_c 、 U 的隶属函数曲线如图 3-3 所示：

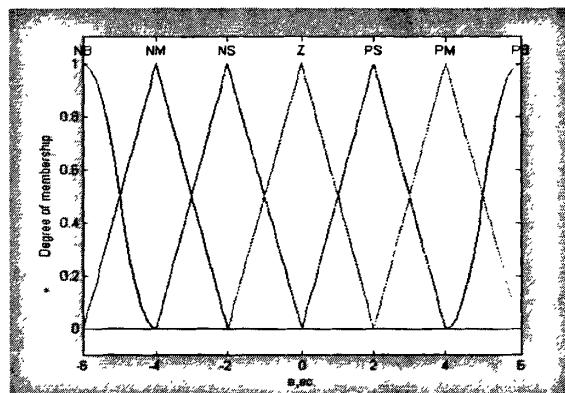


图 3-3 E 、 E_c 、 U 隶属度函数曲线

把各语言变量的模糊论域中的元素和其语言值分别作为行和列，则可以得到语言变量值隶属函数的表格表示，即建立模糊变量表^[36]。 E 、 E_c 、 U 的模糊变量表见表 3.1 所示：

表 3.1 E 、 E_c 、 U 模糊变量表

E/E _c /U	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
PB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	1
PM	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	1	0.5	0	0
PS	0	0	0	0	0	0	0	0.5	1	0.5	0	0	0
Z	0	0	0	0	0	0.5	1	0.5	0	0	0	0	0
NS	0	0	0	0.5	1	0.5	0	0	0	0	0	0	0
NM	0	0.5	1	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NB	1	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

3.7 模糊控制规则

模糊控制^[37]是建立在一系列模糊控制规则的基础之上的，这些控制规则是一些逻辑推理法则，其表现形式为若干个模糊条件语句的集合。模糊控制规则是操作者实践经验手动控制策略的总结。因此模糊控制规则，即控制策略的选择是非常关键的一步。只有选择恰当的控制规则，才能很好的体现有经验的操作者的控制策略，以获得较好的控制效果，既能保证响应的快速性，又能保证系统的稳定性。

在回转布料机控制系统中，控制条件语句为：

If $E = NS$ and $E_c = NB$, then $U = PM$;

If $E = NS$ and $E_c = NM$, then $U = PM$;

If $E = PB$ and $E_c = NB$, then $U = ZE$;

If $E = ZE$ and $E_c = ZE$, then $U = ZE$;

.....

写成模糊控制状态表如表 3.2 所示：

表 3.2 模糊规则控制表

		NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
		NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
E_c	NB	*	*	PM	PM	PS	ZE	ZE
	NM	PB	PB	PM	PM	PS	ZE	ZE
NS	PB	PB	PM	PS	ZE	NM	NM	NM
Z	PB	PB	PM	ZE	NM	NB	NB	NB
PS	PM	PM	ZE	NS	NM	NB	NB	NB
PM	ZE	ZE	NS	NM	NM	NB	NB	NB
PB	ZE	ZE	NS	NM	NM	*	*	*

表中“*”代表控制过程中不可能出现此类情况，称之为“死区”。根据表中的各条规则，运用模糊推理，先求出每条模糊规则的 R_i ，最后求得 $\bigcup_{i=1}^{45} R_i$ 。

在求模糊关系矩阵 R 时，本文采用基于若 a 且 b 则 c 型的 Mamdani 直接推理合成法计算^[38]。

设 A, B, C 分别是论域 U, V, W 上的集合。这是一个双输入单输出的模

糊系统，在这种条件下，模糊条件语句“若 a 且 b 则 c ”决定一个三元模糊关系， $R = (A \cap B) \rightarrow C$ ，根据 Mamdani 直接推理法则有：

$$R = (A \times B)^{T_1} \times C \quad (\text{式 3-9})$$

式中， $(A \times B)^{T_1}$ 为模糊关系矩阵 $(A \times B)_{m \times n}$ 构成的 $m \times n$ 列向量， T_1 为列向量转换， n 和 m 分别为 A 和 B 论域元素的个数。

基于模糊推理规则，根据模糊关系 R ，可求得给定输入 A_i 和 B_i 对应的输出 C_i ，即

$$C_i = (A_i \times B_i)^{T_2} R \quad (\text{式 3-10})$$

式中， $(A_i, B_i)^{T_2}$ 为模糊关系矩阵 $(A \times B)_{m \times n}$ 构成的 $m \times n$ 行向量， T_2 为行向量转换。

3.8 模糊决策及判决

模糊决策的作用就是从已知的连续输入精确量中，通过各种不同的模糊推理算法过程，从而求出模糊控制器相应的输出量，这个输出量是一个模糊集合。有了模糊关系 $\bigcup_{i=1}^{45} R_i$ ，就可以根据每个采样时刻计算出的偏差模糊量 $E(k)$ 和偏差的变化的模糊量 $E_c(k)$ ，利用推理合成运算进行模糊决策，以确定对应时刻的输出 [39]。

而由于模糊决策的输出量是一个模糊集合。通常被控对象只能接受一个精确的控制量，因此必须从决策值模糊集中判决出一个确切的清晰量，这就需要通过模糊判决来实现，模糊判决也叫做反模糊化。判决即是从模糊集合到普通集合的一个映射，是从一个模糊量变成清晰量的过程，判决的结果是输出模糊论域中的一个元素，即等级数，这是一个清晰值。模糊判决是在模糊决策之后进行的。

本文采用的是最大隶属度法的判决方法。选取推理结果的模糊集合中隶属度最大的元素作为输出值，即 $C_o = \max u_c(c_i)$ ，如果在输出论域中，其最大隶属度对应的输出值多于一个，则取所有具有最大隶属度输出的平均值，即

$$c_o = \frac{1}{N} \sum_i^N c_i, c_i = \max(u_c(c_i)) \quad (\text{式 3-11})$$

最大隶属度法不考虑输出隶属函数的形状，只考虑最大隶属度处的输出值。因此，难免会丢失许多信息。其突出优点是计算简单，适合一些控制要求不是特别高的场合。

3.9 模糊控制查询表的离线生成

模糊控制器设计的关键在于模糊控制表的离线生成。由于控制规则数量多，需要进行的模糊运算复杂，单纯依靠人工的笔算工作量将是巨大的。所以要依专门的计算机工具来完成运算任务。目前，MATLAB 已成为国际上最流行的科学与工程计算的软件工具之一，其中，MATLAB 的 M 函数为模糊控制表的运算生成提供了强有力的工具。本系统的所有运算过程均由 MATLAB 的 M 函数来完成。整个模糊控制表的获得是依照以下几个步骤得到的：

(1)根据每条规则可算出 R_i ：

$$R_i = E_i \times E_c \times U_{ij} \quad (\text{式 3-12})$$

(2)计算出模糊推理关系矩阵 R：

$$R = \bigcup_{i=1}^{45} R_i \quad (\text{式 3-13})$$

(3)进行模糊推理合成运算：

$$U = (E \times E_c) \circ R \quad (\text{式 3-14})$$

模糊运算程序流程图如图 3-4 所示。

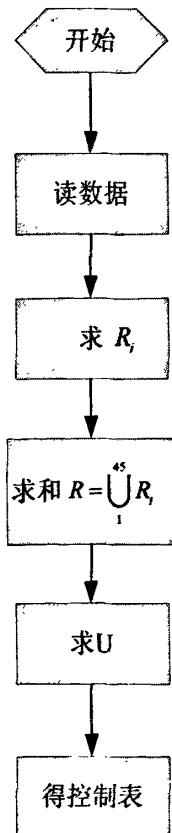


图 3-4 模糊运算程序流程图

在进行运算之前，先对数据进行初始化。把输入量 E 和 E_c 的赋值表作为原始数据输入并储存。因输入量 E 和 E_c 各为 7×13 和 7×13 的表格，所以，把 E 和 E_c 当作两个二维数组储存在文件 Edata.m 中，供数据运算中调用。

调用函数进行上述运算后得到 U ，所得数据存储在数组 S 中，计算后得到的模糊控制查询表如表 3.3 所示：

表 3.3 模糊控制查询表

E	E_c	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	+5	+6
-6	6	6	6	5	4	3	3	3	2	1	0	0	0	0
-5	6	6	5	5	5	3	3	3	2	1	0	0	0	0
-4	6	6	5	5	4	3	3	2	1	0	0	0	0	0
-3	6	5	5	5	4	3	2	2	1	0	0	0	0	0
-2	5	4	4	4	3	2	2	1	0	0	-1	-1	-1	-1
-1	4	4	3	3	2	1	1	0	-1	-1	-2	-2	-2	-2
0	3	3	2	2	1	1	0	-1	-1	-2	-2	-3	-3	-3
+1	3	2	1	1	1	0	-1	-1	-2	-3	-3	-3	-4	-4
+2	2	2	1	1	0	-1	-2	-2	-3	-3	-3	-4	-4	-4
+3	1	1	0	0	-1	-2	-2	-3	-3	-4	-4	-5	-5	-5
+4	1	0	0	-1	-2	-3	-3	-4	-5	-5	-5	-6	-6	-6
+5	0	0	0	-1	-2	-4	-4	-4	-4	-5	-6	-6	-6	-6
+6	0	0	0	-2	-4	-4	-4	-5	-6	-6	-6	-6	-6	-6

在本系统中，整个计算过程可在计算机离线状态下进行。这是一个庞大矩阵，将给计算机的存贮和实时决策推理运算带来极大的困难所以在使用推理决策时，一般是将这种算法结构制成查询表。把此表存储于系统的 PLC 内存中，运行时只需按输入信号查表，因而极大地提高了系统的执行速度^[40]。

3.10 本章小结

本章介绍了模糊控制算法的基本结构及特性，并针对回转布料机控制系统建模困难、大时滞等特点，通过分析布料过程中的二个变量：料位高度偏差 e 和料位高度的偏差变化率 ec ，选定了二维的模糊控制器结构，给出了控制规则，选

用三角隶属函数给出了模糊变量表，根据模糊算法得出了系统的控制查询表。系统通过控制变频器改变电机的工作频率来实现控制，从而实现布料过程的模糊控制。

第四章 布料模糊控制算法的 PLC 实现

回转布料机是比较大型的机械设备，不能经常停机维修，其自动控制系统以及相关设备在工作中应尽量安全、稳定、可靠。本文利用先进的 PLC 技术设计的回转布料机自动控制系统性能稳定、操作方便，控制精确。

在回转布料机布料过程中，模糊控制算法的实现是由 PLC 来完成的，即 PLC 作为模糊控制器，先将离线计算好的模糊控制查询表存入 PLC 存储区，获取现场雷达料位计的料位高度信号后，通过查询模糊控制查询表来控制刮料电机的变频器频率，从而控制刮料电机的刮料速度。

4.1 PLC 的功能及特点

可编程序控制器（PLC，Programming Logic Controller）是一种专为在工业环境应用而设计的数字运算电子系统，它是以微处理机为基础，综合了计算机技术、自动控制技术和通信技术等现代科技而发展起来的一种新型工业自动控制装置，它采用一种可编程序的存储器，在其内部存储执行逻辑运算、顺序控制、定位、计数和算术运算等操作的指令，通过数字式或模拟式的输入输出来控制各种大中型的机械设备或生产过程。是当今工业发达国家自动控制的标准设备之一^[41]。

PLC 作为一种工业控制装置，其组成主要由中央处理单元 CPU、存储器、输入输出（I/O）单元、电源、外部接口和各种功能模块组成。典型的 PLC 结构如图 4-1 所示^[42]。

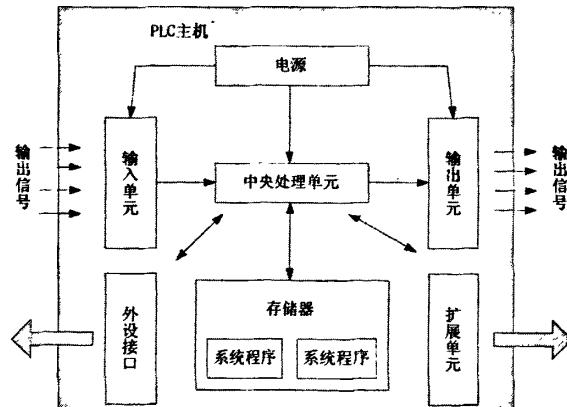


图 4-1 典型的 PLC 结构

由于 PLC 采用了“三机一体化”的综合技术(即集计算机、仪器仪表、电控制于一身)，它体积小、速度快、可靠性高、抗干扰能力强、编程简单、成本低，还具有较大的灵活性和可扩展性等诸多特点，因而，与其它控制器相比它更适合工业控制环境和市场的要求；再加上 PLC 发展过程中产品的系列化、产业化和标准化，使之从早期的逻辑控制、顺序控制迅速扩展到了连续控制，开始进入批量控制和过程控制领域，并迅速成为工业自动化系统的支柱。

目前世界上生产 PLC 的重点厂家已有 60 多家，如德国西门子公司、美国 AB 公司、日本三菱电机公司、欧姆龙公司等，而且各厂家的产品自成系列，但主要功能特点可简单概括如下：

- 1、数据采集与输出。可实现在线的数据采集和输出。
- 2、控制处理功能。主要有顺序控制、逻辑控制、定时、计数等控制功能，能进行基本数学运算、逻辑运算、PID 运算、比较、滤波等数据处理功能。
- 3、设计上考虑了工业环境，抗干扰能力强，可靠性高。
- 4、具有功能很强的 I/O 模块及智能接口模块。对于不同的工业控制信号(电、电流、脉冲等)都有相应的 I/O 模块，而且还有各种独立处理器和存储器的功能模块，如闭环调节、温度控制、位置控制等，它们能完成许多特殊功能。
- 5、通信、联网功能。现代 PLC 大多数都采用了通信、网络技术，有 RS232、RS485 接口，可进行远程 I/O 控制，多台 PLC 可彼此间联网、通信，外部器件一台或多台可编程控制器的信号处理单元之间，实现程序和数据交换，如程序移植、数据文档转移、监视和诊断。在系统构成时，可由一台计算机与多台 PLC 成“集中管理、分散控制”的分布式控制网络，以便完成较大规模的复杂控制。
- 6、采用模块化结构，安装与维护方便。由于 PLC 采用模块化结构，用户可根据工业控制的实际要求选择各种功能模块自行组合系统，而且它也具有完备自诊断功能，可迅速判断故障，维护十分方便，当系统某部分发生故障，只需更换该模块系统即可正常工作。
- 7、编程和操作简单易学。大部分 PLC 支持梯形图编程，它比高级语言(如 C、汇编)直观易学，而且还支持在线编程和调试，便于发现错误，优化程序。

4.2 PLC 模糊控制器

1965 年，L.A.Zadeh 教授最早提出模糊集合的概念，从而突破了经典集合论中属于或不属于的绝对关系，标志着模糊数学的诞生。1974 年，Mamdani 及其同事首次将模糊推理成功地应用于蒸汽机控制。此后，有关模糊控制及应用的报道日渐增多。1980 年，Hotmblad 和 Ostergaard 将模糊控制器成功地安装在水泥窑炉上，并开发出第一个商品化的模糊控制器。1985 年，AT&T 贝尔实验室的

Togai 和 Watanabe 设计出第一块模糊逻辑芯片。1987 年，基于 Yamakawa 的模糊计算机雏形，Omron 公司研制出第一代模糊微处理机。在模糊控制器开发中，Yamakawa 设计了首台采用模糊推理的高速模糊控制器硬件系统，并成功地应用于两个具有不同参数的倒立摆的控制。

目前，随着 PLC 的广泛应用以及其功能的不断提高，基于 PLC 模糊控制器的研究成为一个焦点，并取得了一定的成果。模糊控制集成到可编程控制器(PLC)中，实现方法主要有三种，即查表法、PLC 硬件专用模糊控制器和软件模糊推理。其主要区别在于模糊推理的实现方法不同。

1. PLC 硬件模糊控制器^[43]

模糊控制器用硬件实现就是用模糊专用芯片构成模糊控制器，它推理速度快，控制精度高，处理速度至少比软件提高一个数量级，适用于对时间要求较高，实时工作的应用场合。到目前为止许多 PLC 制造商已经开发出了模糊专用模块。如：Omron 公司 PLC 产品中的特殊单元 FZ001 就是一个模糊控制单元，它能够安装在 PLC 的 CPU 机架，也能够安装在扩展 I/O 机架或从站机架上。PLC 的 CPU 单元本身不具备模糊控制功能，CPU 单元从 A/D 单元中输入偏差值，并求取偏差的变化，然后将偏差及偏差变化值传送到模糊控制单元，模糊控制单元根据输入值进行输入的模糊化、模糊推理，最后将解模糊后的精确值输出传回 CPU 单元。应用 FZ001 时，必须利用它的支持软件 FSS 在微机上建立各个模糊量的隶属函数和控制规则，推理方法等控制所需的知识库内容。FSS 还提供了仿真功能，能检验所建立的模糊控制器能否实行。模糊单元 FZ001 建立的模糊控制器最多可以包括 8 个输入，4 个输出，128 条控制规则。对应输入量的隶属函数可以有四种形式：S 型、Z 型、X 型和二型，输出量的隶属函数为单线形式。

2. 基于 PLC 查表法实现模糊控制^[44]

查询表是输入论域上的点到输出论域的对应关系，它已经是经过了模糊化、模糊推理和去模糊化的过程，它可以离线计算得到，模糊控制器在线运行时，进行查表就可以了，因而可以大大加快在线运行的速度。一种基于 PLC 的模糊控制器，采用 OMRON 的 C200a 系列的 PLC，A/D 模块为 AD003，8 路模拟量输入，D/A 模块为 DA003，8 路模拟量输出，CPU 模块为 CPU-42，负责精确量的模糊化、模糊量的精确化和模糊控制算法的运算。其中参数模糊化采用分段比较的方法，控制规则的实现采用条件判断方法，数据输出采用增量方式，控制量采用最大隶属度函数。模糊控制程序作为整个 PLC 控制程序的一个子程序，包括数据的读取、控制量表的查询和控制信号输出。

查表法结构简单，实施方便，资源开销少，在线运行速度快，大多数基于 PLC 的模糊控制器多采用这一方法实现。但查表法一般只适用于离散有限论域的

情况，精度不高。

3. 软件模糊推理法^[45]

软件模糊推理法指用软件实现输入模糊化、模糊推理算法以及输出去模糊化等模糊控制的主要过程，尤其是模糊推理过程。它不同于查表法把模糊推理过程离线完成，而是在线运行时，每一个采样周期都要进行模糊推理，即将传感器敏感信号经 A/D 转换后送入计算机，用软件构成的模糊控制器进行模糊化、模糊推理和去模糊化，由程序“在线”计算出控制量的大小，再经 PLC 去控制被控过程。目前一些专门的应用软件的发展备受瞩目。这些软件提供一种类似 C 的高级计算机语言，用来编程实现模糊控制算法，通过 PLC 与计算机的通讯把结果传递给 PLC 实现其控制功能。

由于采用软件实现模糊推理，因此这一方法灵活性高、适应性强、应用范围广，它可用于输入输出论域为离散有限论域的情形，也可以用于连续无限论域的情形，它比查表法有更高的精度，因为推理要花费一定的时间，因而要求计算机有较高的运行速度。

4.3 硬件设备选型

4.3.1 PLC 的选择

PLC 作为控制单元，是整个系统的控制核心。本文选用 SIEMENS 公司的 S7-200 系列 CPU226(24 点 24vDC 输入 16 点继电器输出)、1 个 EM223(8 点 24vDC 输入/8 点继电器输出)数字量模块、一个模拟量输入模块 EM231(4 点模拟量输入)、一个模拟量输出模块 EM232(2 点模拟量输出)以及用以与远程计算机通信用的以太网模块 CP-243-1。

通过 PLC 接收开关量和 A/D 转换后的数字量，经处理后输出开关量控制继电器的动作，输出模拟量给变频器模拟量输入，用以控制变频器频率大小来改变电机速度。同时与工控机进行实时通讯，为工控机的显示提供数据，工控机对输入的信息进行处理，发出控制命令。选用西门子公司的可编程控制器作为底层现场控制设备主要从下面两个方面来考虑：

1、S7-200 系列可编程控制器的编程环境即编程软件 STEP7 简单易用，器件符合简单明了、各类功能设置简单方便且在线调试也很方便等许多优点^[46]；

2、西门子公司 S7-200 系列产品也有其自身的功能特点，CPU226 在其功能强、I/O 点数可自由扩展、结构紧凑、体积小、可靠性高、性能价格比高等方面具有优势，非常适合小规模的现场控制。小型 PLC 一般是指 I/O 点数不超过 128 的 PLC，其 CPU 模块和 I/O 模块一般集成在一起，采用整体式结构。小型 PLC

发展很快，各 PLC 制造商几乎都有自己的小型化 PLC 系列产品，例如三菱电机公司的 FXZ 和 FXZC 系列；OMRON 公司的 CQMI 系列；Siemens 公司的 S7 系列。多功能的小型 PLC 不再局限于开关量的处理，而且有模拟量处理（PID 回路调节）、人机对话、高速数据处理、运动控制、通信联网等众多功能。有的还采用无底板、无机架的结构，主单元输入和输出都采用接插件，I/O 扩展模块或扩展单元与主单元分开安装。大量采用高集成度的专用集成电路使 PLC 整机所用的元器件大大减少，PLC 的小型化日趋明显，而且小型 PLC 机由整体结构向小型模块化结构发展，增加了配置的灵活性。

4.3.2 雷达料位计的选择

1、雷达料位计概述^[47]

料位是工业生产中的一个重要参数。料位测量的方法很多，针对不同的工况和介质可以使用不同测量原理的料位计，吹气法、静压式、浮球式、重锤式、超声波等几种常用的料位测量仪表，都有各自的特点和应用范围。雷达料位计运用先进的雷达测量技术，以其优良的性能，尤其是在槽罐中有搅拌、温度高、蒸汽大、介质腐蚀性强、易结疤等恶劣的测量条件下，显示出其卓越的性能，在工业生产中发挥着越来越重要的作用。

2、雷达料位计原理及技术性能

雷达波是一种特殊形式的电磁波，雷达料位计利用了电磁波的特殊性能来进行料位检测。电磁波的物理特性与可见光相似，传播速度相当于光速。其频率为 300MHz-3000GHz。电磁波可以穿透空间蒸汽、粉尘等干扰源，遇到障碍物易于被反射，被测介电导电性越好或介电常数越大，回波信号的反射效果越好。雷达料位计的基本工作原理如图 4-2 所示。

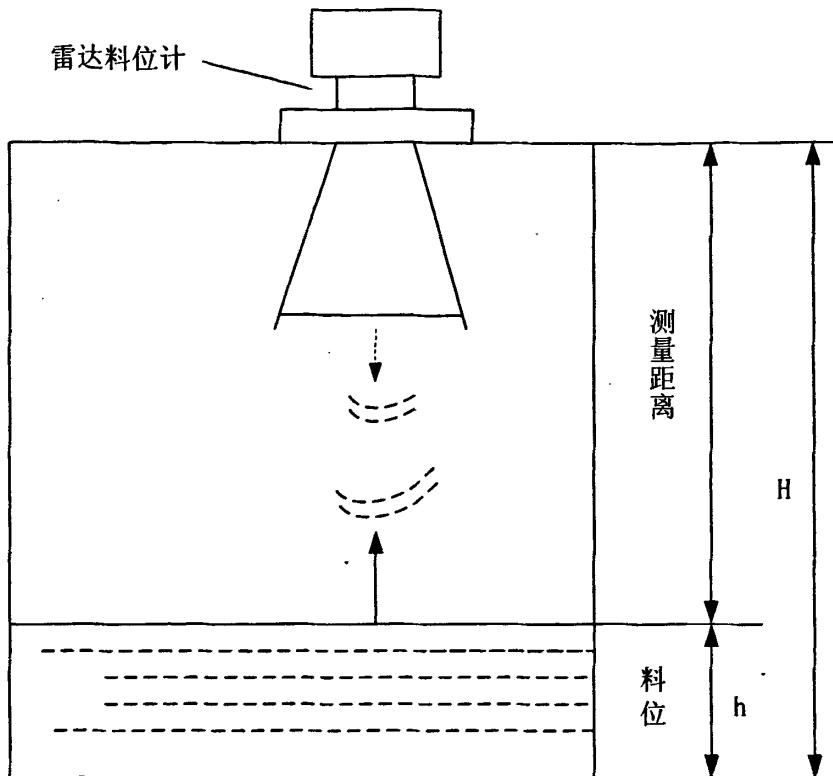


图 4-2 雷达料位计的基本工作原理

传感器的天线以波束的形式发射最小 5.8G HZ 的雷达信号。反射回来的信号仍由天线接收，雷达脉冲信号从发射到接收的运行时间与传感器到介质表面的距离以及物位成比例。

$$\text{即 } h = H - vt / 2$$

式中 h ——料位， H ——槽高， v ——雷达波速度， t ——雷达波发射到接收的间隔时间。

3. 本课题中选用的雷达料位计型号及特点

针对本课题中恶劣的使用环境，对于固体的煤粉高度测量，选用了西门子妙声力雷达液位计 LR400（固体型），具体型号为 7ML5420。它具有以下的特点，适合本课题中的使用。

(1) 带球型天线瞄准器，可以非常方便地将天线对准物料表面，用于固体物料料位测量。安装简单。

(2) 性能卓越，它的测量不受容器内蒸汽和温度的影响。带内部参考的自校验。

(3) 可在现场通过本安型红外手持编程器对仪表进行编程，无需打开外壳，安全、简单。也可使用 SIMATIC PDM 软件进行远程编程。

(4) 24GHz 的发射频率和高信/噪比使其即使在测量低介电常数介质时，仍有很好的信号反射。它先进的回波处理算法使其应用于固体物料时仍能提供可靠的测量。

4.3.3 其他元件的选择

1、工控机：研华 IPC-610，CPU Intel P4，主频 1800MHZ，配置内存容量：256M，硬盘容量：80G，显示器类型：17 英寸纯屏。研华 IPC-610 性能稳定，可实现人机对话，与 PLC 系统进行数据传送和交换，将外部输入的参数写入 PLC 系统，也可将 PLC 系统内部数据读入工控机中，实现了模拟量的实时显示，目标值的设定以及产生报警信息等。

2、触摸屏：选用西门子 5.7 英寸的 OP270，具有逼真清晰的 256 色显示，可组态 300 个画面，2048 个变量，配置有各种接口，如 MPI、PROFIBUS-DP、USB，可选有以太网接口，具有坚固耐用，结构紧凑的特点，满足系统需要；

3、打印机：采用 HP Laser 1008 黑白打印机，并配有网络打印服务器，可实现网络远程打印。

4、接近开关：为保护设备安全运行，在边界处设有接近开关用作限位处理。接近开关选用日本欧姆龙的 TL-N10ME1，检测距离为 10mm。它属于一种有开关量输出的位置传感器，由 LC 高频振荡器和放大处理电路组成，利用金属物体在接近这个能产生电磁场的振荡感应头时，使物体内部产生涡流，从而检测到金属物体的存在；

5、摄像头：按照远程控制要求，选用美电贝尔 BL-6XXP 带云台球罩的网络摄像头，可网络控制摄像头旋转、变焦。适合观察现场工作情况；

6、变频器：采用施耐德 ATV31 系列，容量由各电机容量确定；

7、光电编码器：用于记录大小车行走位置坐标。型号为日本光洋 TRD-J1000RZW，理论精度可以达到 0.4mm，完全满足设计要求。

4.4 硬件设计

4.4.1 硬件结构

回转布料机主要硬件结构如图 4-3 所示：

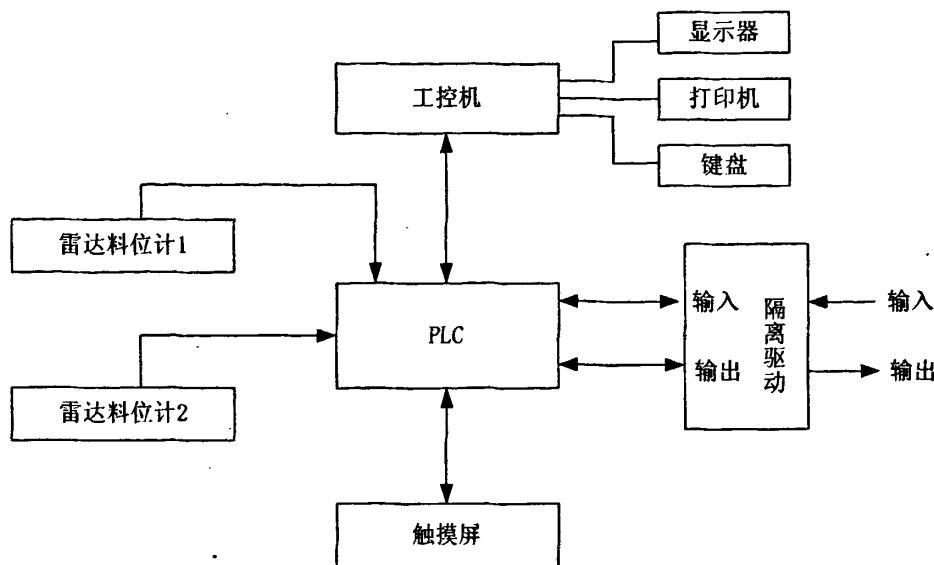


图 4-3 回转布料机硬件结构图

4.4.2 I/O 分配

根据系统要求和所选用的 PLC 特点，考虑系统扩展需要，要求裕留 20% 的 I/O 点。回转布料机的 I/O 分配如表 4.1 所示：

表 4.1 回转布料机 I/O 分配表

CPU 226 输入		CPU 226 输出	
I0.0	大车接近 1	Q0.0	大车制动
I0.1	大车接近 2	Q0.1	小车制动
I0.2	大车接近 3	Q0.2	皮带电机正转
I0.3	大车接近 4	Q0.3	皮带电机反转
I0.4	大车接近 5	Q0.4	准备信号
I0.5	大车接近 6	Q0.5	运行信号
I0.6	大车接近 7	Q0.6	故障信号
I0.7	大车接近 8	Q0.7	故障复位
I1.0	小车接近 1	Q1.0	刮料电机运行
I1.1	小车接近 2	Q1.1	
I1.2	皮带跑偏检测接近	Q1.2	

I1.3	大车电机报警	Q1.3	
I1.4	小车电机报警	Q1.4	
I1.5	皮带电机报警	Q1.5	
I1.6		Q1.6	
I1.7	急停	Q1.7	
I2.0	自/手动	EM 223 模块输出	
I2.1	大车左行	Q2.0	大车电机正转
I2.2	大车右行	Q2.1	大车电机反转
I2.3	小车前进	Q2.2	大车电机高速信号
I2.4	小车后退	Q2.3	大车电机低速信号
I2.5	皮带正转	Q2.4	小车电机正转
I2.6	皮带反转	Q2.5	小车电机反转
I2.7	刮料电机启动	Q2.6	小车电机高速信号
		Q2.7	小车电机低速信号
EM 223 模块输入		EM 231 模块输入	
I3.0	启动运行	ALW0	雷达料位信号 1
I3.1	正常停止运行	ALW2	雷达料位信号 2
I3.2	紧急停止	EM 232 模块输出	
I3.3	输送机信号	AQW0	给变频器信号
I3.4	复位		
I3.5			
I3.6			
I3.7			

4.5 PLC 程序设计

首先要熟悉回转布料机工作流程，再根据系统设计的要求编写软件规格说明书，然后再用相应的编程语言进行程序设计；PLC 程序采用西门子 STEP 7 编程软件编写，采用的是通俗易懂的梯形图来编写^[46]。程序设计采用模块化、功能化

结构，便于维护和扩展。程序框图如图 4-4 所示。

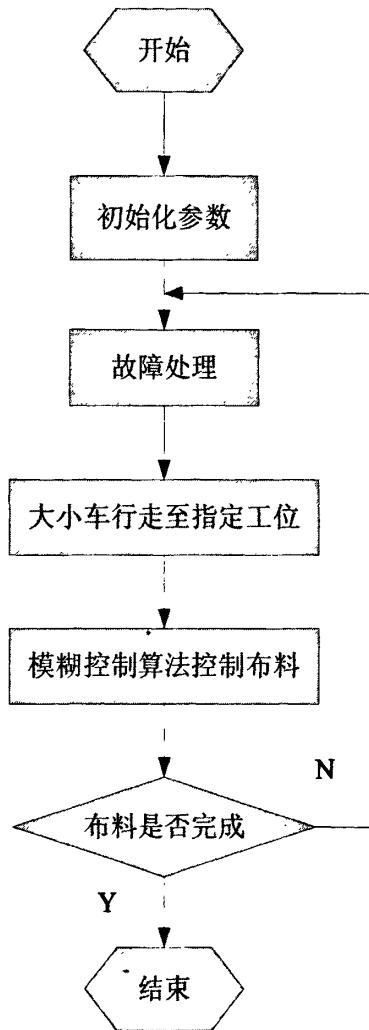


图 4-4 PLC 程序流程图

程序分手动和自动两种操作方式，手动方式用于系统调试或紧急情况下，正常运行时采用自动方式。自动方式下，操作员在触摸屏上设定好指定料位等信息后，启动回转布料机。布料机小车从顶部装载由备煤车间送过来的制备好的煤粉，将煤粉落到输送皮带上，输送皮带将煤料送至下方的落料溜槽中，大小车沿环形运转，并通过读取雷达料位计的料位高度值，按照本课题提出的模糊控制算法控制调整溜槽中的刮板电机的运转速度，即可完成一个完整的煤塔截面均匀布料。

主程序如图 4-5 所示：

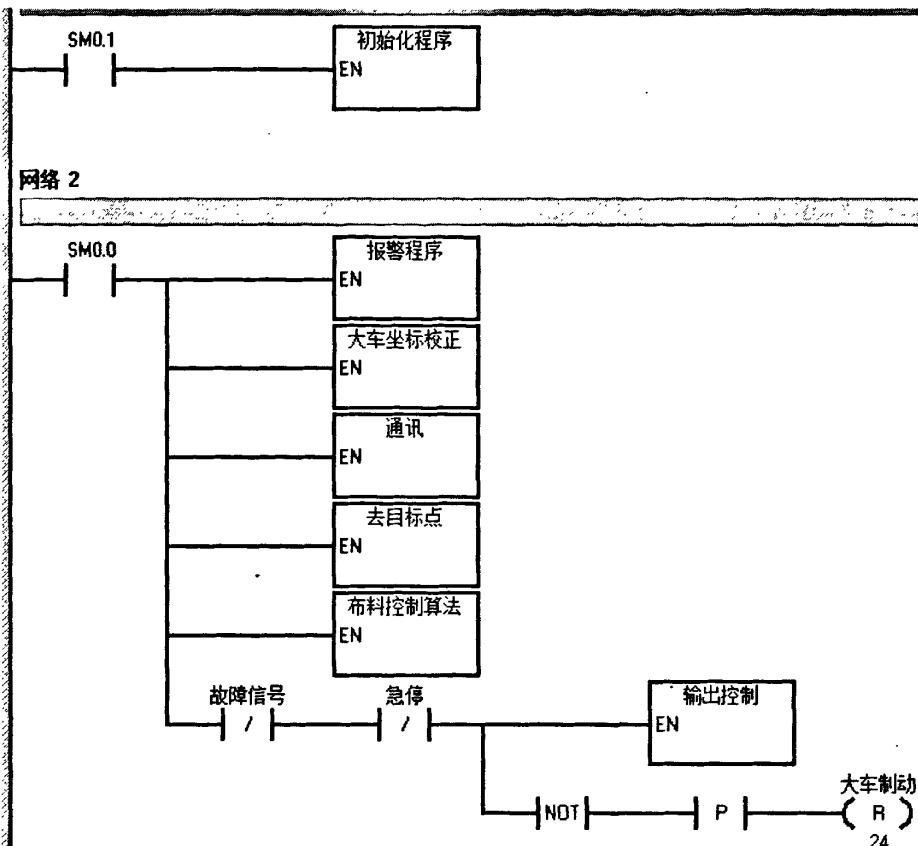


图 4-5 PLC 主程序

在现场电气柜上装有声光报警器，当 PLC 接收到报警信号后，暂停设备运行，声光报警器会发出“嘟、嘟”的报警信号，并伴有红灯闪烁，同时触摸屏上会给出可能的故障情况，提示操作员快速处理故障。

(1) 电机过热报警：大车、小车、输送皮带电机在遇到闷车等偶然情况时，电机堵转，导致电机电流增大。此时与电机相应的热继电器会失电，给出相应的报警信号；

(2) 输送皮带跑偏报警：输送皮带在运行时间长后，由于摩擦等原因，会有可能跑偏，影响布料过程。本课题采取的方法是在皮带正常运行轨道两端装上接近开关。正常运行时，接近开关常亮，一旦皮带跑偏，接近开关信号由 ON 变为 OFF，从而转入报警处理程序；

(3) 受阻、编码器失效报警：在运行过程中，如大小车行走轨道上有异物，将会阻挡设备正常行走，严重时会导致闷车或啃轨现象。如光电编码器故障或受严重干扰时，会导致当前设备坐标位置紊乱，也会影响设备正常运行。PLC 程序中对这两种意外情况进行了处理。相应程序段如图 4-6 所示：

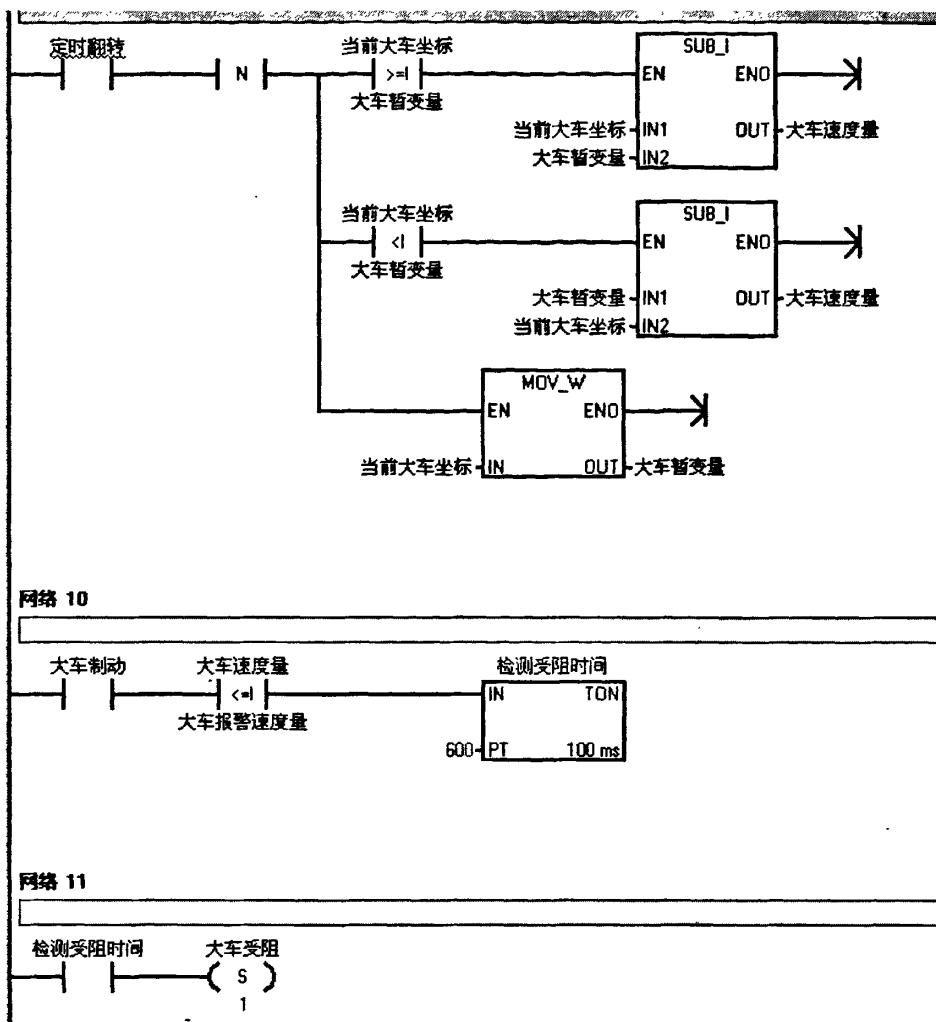


图 4-6 受阻检测程序

4.6 布料控制算法的 PLC 实现

布料系统中的模糊控制算法 PLC 程序设计^[48]流程图如图 4-7 所示，图 4-7 中 PLC 即为模糊控制器，其控制策略及信号处理由该 PLC 软、硬件一体完成。PLC 程序设计中主要的部分为语言变量量化及查询的设计。

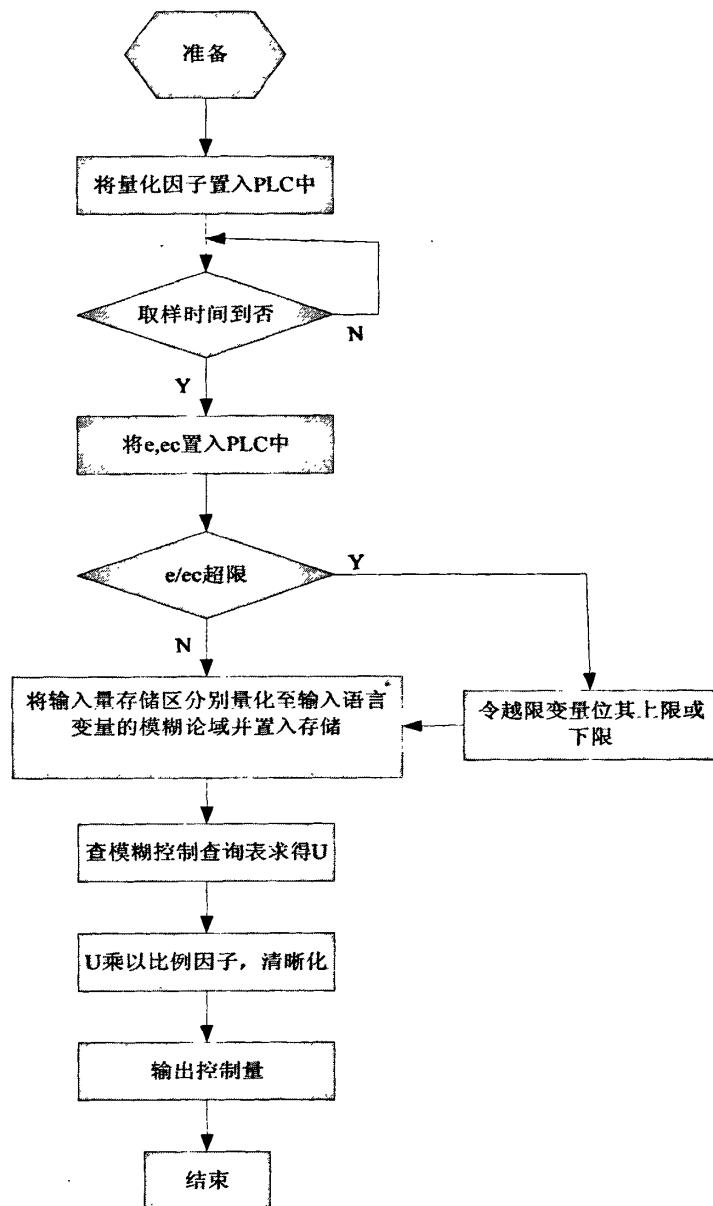


图 4-7 PLC 模糊控制程序设计流程图

4.6.1 量化程序设计

输入语言变量 e 的模糊量量化程序设计^{[49][50]}如图 4-8 所示：

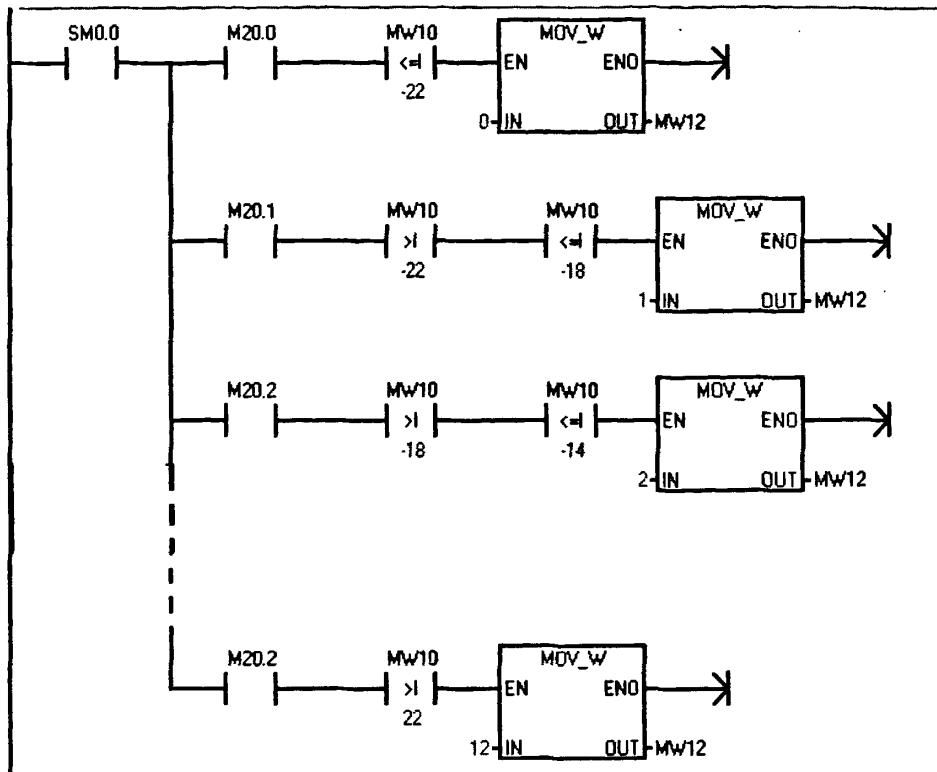


图 4-8 输入量模糊量化程序图

程序中，MW10 存放的是模拟输入量与设定料位的偏差值，MW12 存放的是模拟量输出的值，即给变频器的控制电流信号值。为了便于计算，将论域值加 6 转化为正数存放于内存中。

E_c 的模糊量化梯形图与 e 类似，限于篇幅，在此不再详细给出。

4.6.2 查询程序设计

模糊控制查询表的查询程序是整个程序设计流程中的核心程序段，PLC 根据此段程序算法，对表 3.3 进行查询，实现模糊决策功能。在偏差量为 -6 时的具体程序如图 4-9 所示^{[51][52]}。

根据输入量模糊量化程序所得的 e 和 ec 的值，查询模糊控制查询表 3.3，得到相应的控制量值 u ，表 3.3 为一个二维矩阵，其中控制量 e 的论域为 [-6, +6] 的离散区间，同样，为了便于用无符号数处理，对表 3.3 中的控制量加一个偏移量 6，转化到 [0, 12] 离散区间处理，并将其按照先行后列的顺序依次存储在 PLC 的变量存储区 vw30~vw366 中，便于程序对应值的查询。

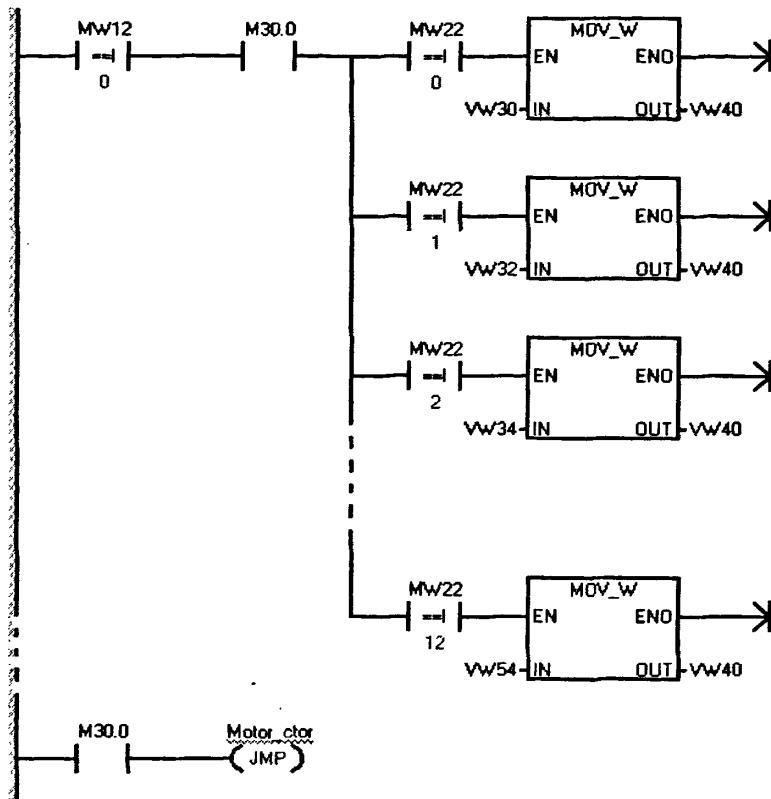


图 4-9 查询程序图

图中 mw12 存储 e 的量化值, mw22 存储 ec 的量化值, 在查询程序中首先确定 e 的量化值范围, 即找到相应行, 然后通过 ec 的量化值查找所在列, 即可找到在模糊查询表中的对应的 u 值。在每行查找完后, 执行跳转程序, 即跳转到控制量输出控制程序, 可减少程序查询工作时间, 提高系统响应的速度。

4.6.3 运行结果分析

根据本文提到的模糊控制布料算法, 设定某一时刻料位高度参考值为 12cm, 采样时间为 20s, 利用模糊控制规则查询表, PLC 对电机速度进行调节后, 得出的料位偏差曲线图如图 4-10 所示。由图可知, 在使用模糊控制算法后, 料位偏差控制在 3cm 左右, 系统动态响应特性较好, 达到了预计的效果。

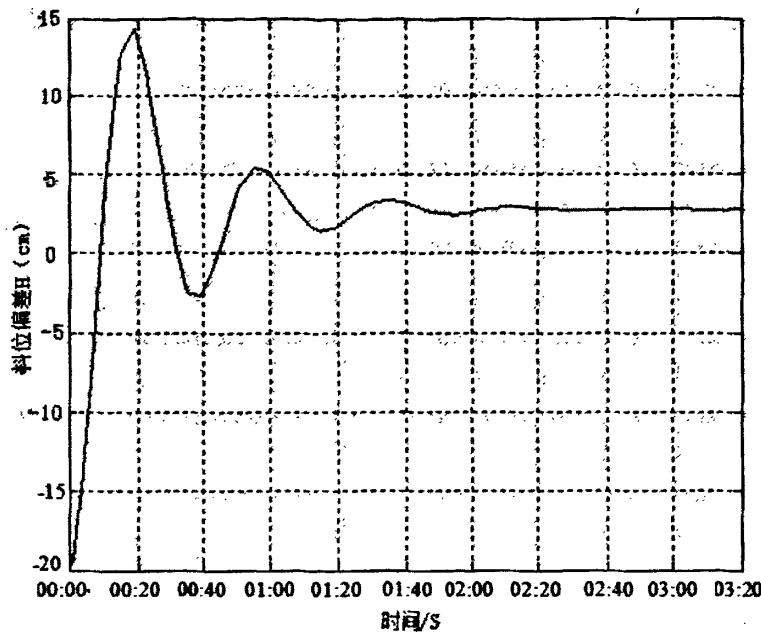


图 4-10 回转布料机料位偏差曲线

在本文设计的回转布料机自动控制系统使用之今，系统一直运行稳定。来自配煤检修班的统计和上位机数据库中的数据记录，表 4-2 给出了系统运行一年后各运行情况与使用本系统之前的对比。

表 4-2 使用本文系统前后设备情况对照表

	可操作性	布料范围	远程监控	小故障(次)	停机故障(次)	平均故障时间(H)	平均料位高度偏差(cm)
原有布料设备	弱	边缘有死角	无	80	10	72	20.5
本文布料设备	强	全截面	有	12	1	800	3.3

从表中数据可以看出，在使用本文的回转布料机控制系统后，系统稳定性大大增强，故障率大大降低，平均故障时间有了大幅提高，在采用基于 PLC 模糊控制的料位控制算法后，平均料位高度偏差减少到了可以接受的范围内，达到了布料均匀、稳定、高效的要求，取得了满意的效果。

4.7 本章小结

本章介绍了 PLC 的特点及 PLC 模糊控制器的发展，在对系统硬件结构的分析下，给出了硬件系统配置方案，介绍了 PLC 程序设计思路，并给出了算法运行结果分析，重点介绍了布料模糊控制算法在 PLC 中通过查询表方法的实现过程。

第五章 上层监控系统

在回转布料机自动控制系统中，上层监控系统包括现场触摸屏和远程计算机两部分。其中触摸屏用作现场操作管理使用，便于直接在现场操作设备；而出于工厂自动化的角度，便于从企业级对现场生产设备的管理维护，也由于现场煤尘飞扬，工作环境极度恶劣，为了更好的保护操作员的人生安全，本系统另有远程计算机作为上位机对回转布料机进行监控和管理，可实现现场无人值守。

5.1 触摸屏的工作原理及概述

人机界面产品是为了解决 PLC 的人机交互问题而产生的，但随着计算机技术和数字电路技术的发展，很多工业控制设备都具备了串口通信能力，所以只要有串口通信能力的工业控制设备，如变频器、直流调速器、温控仪表、数据采集模块等都可以连接人机界面产品，来实现人机交互功能。

人机界面产品(触摸屏)，包含 HMI 硬件和相应的专用画面组态软件，一般情况下，不同家的 HMI 硬件使用不同的画面组态软件，连接的主要设备种类是 PLC。而通用的组态软件(WinCC、King VIEW)是运行于 PC 硬件平台、Windows 操作系统下的一个通用工具软件产品，和 PC 机或工控机一起也可以组成 HMI 产品；通用的组态软件支持的设备种类非常多，如各种 PLC、PC 板卡、仪表、变频器、模块等设备，而且由于 PC 的硬件平台性能强大(主要反应在速度和存储容量上)，通用组态软件的功能也强很多，适用于大型的监控系统中^[53]。

“触摸屏”是一种替代鼠标及键盘部分功能，安装在显示屏前端的输入设备。各种触摸屏技术都是依靠传感器来工作的，甚至有的触摸屏本身就是一套传感器。各自的定位原理和各自所用的传感器决定了触摸屏的反应速度、可靠性、稳定性和寿命。

触摸屏由触摸检测部件和触摸屏控制器组成。触摸检测部件安装在显示器屏幕前面，用于检测用户触摸位置，接受后送触摸屏控制器；而触摸屏控制器的主要作用是从触摸点检测装置上接收触摸信息，并将它转换成触点坐标，再送给 CPU，它能接收 CPU 发送的命令并执行。

按照触摸屏的工作原理和传输信息的介质，把触摸屏分为四种，分别为电阻式、电容感应式、红外线式以及表面声波式。每一类触摸屏都有其各自的优缺点，

要了解哪种触摸屏适用于哪种场合，关键就在于要懂得每一类触摸屏技术的工作原理和特点。下面对各类型主要特点作一个简要介绍：

1、红外线式触摸屏

红外线触摸屏原理很简单，只是在显示器上加上光点距架框，无需在屏幕表面加上涂层或接驳控制器。光点距架框的四边排列了红外线发射管及接收管，在屏幕表面形成一个红外线网。用户以手指触摸屏幕某一点，便会挡住经过该位置的横竖两条红外线，计算机便可即时算出触摸点位置。红外触摸屏不受电流、电压和静电干扰，适宜某些恶劣的环境条件。其主要优点是价格低廉、安装方便、不需要卡或其他任何控制器，可以用于各档次的计算机上。不过，由于只是在普通屏幕增加了框架，在使用过程中架框四周的红外线发射管及接收管很容易损坏，且分辨率较低。

2、电容式触摸屏

电容式触摸屏的构造主要是玻璃屏幕上镀一层透明的薄膜体层，再在导体层外加上一块保护玻璃，双玻璃设计能彻底保护导体层及感应器。

电容式触摸屏在触摸屏四边均镀上狭长的电极，在导体内形成一个低电压交流电场。用户触摸屏幕时，由于人体电场，手指与导体层间会形成一个耦合电容，四边电极发出的电流会流向触点，而电流强弱与手指到电极的距离成正比，位于触摸屏幕后的控制器便会计算电流的比例及强弱，准确算出触摸点的位置。电容触摸屏的双玻璃不但能保护导体及感应器，更有效地防上外在环境因素对触摸屏造成的影响，就算屏幕沾有污秽、尘埃或油渍，电容式触摸屏依然能准确算出触摸位置。

3、电阻式触摸屏

电阻式触摸屏将矩形区域中触摸点(X,Y)的物理位置转换为代表 X 坐标和 Y 坐标的电压。很多 LCD 模块都采用了电阻式触摸屏，这种屏幕可以用四线、五线、七线或八线来产生屏幕偏置电压，同时读回触摸点的电压。

电阻式触摸屏基本上是薄膜加上玻璃的结构，薄膜和玻璃相邻的一面上均涂有 ITO (Indium Tin Oxides, 纳米铟锡金属氧化物)涂层，ITO 具有很好的导电性和透明性。当触摸操作时，薄膜下层的 ITO 会接触到玻璃上层的 ITO，经由感应器传出相应的电信号，经过转换电路送到处理器，通过运算转化为屏幕上的 X、Y 值，而完成点选的动作，并呈现在屏幕上。

电阻式触摸屏工作在与外界完全隔离的环境中，它不怕灰尘、水汽和油污，可以用任何物体来触摸，比较适合工业控制领域使用。

4、表面声波触摸屏

表面声波是一种沿介质表面传播的机械波。该种触摸屏由触摸屏、声

波发生器、反射器和声波接受器组成，其中声波发生器能发送一种高频声波跨越屏幕表面，当手指触及屏幕时，触点上的声波即被阻止，由此确定坐标位置。表面声波触摸屏不受温度、湿度等环境因素影响，分辨率极高，有极好的防刮性，寿命长（5000万次无故障）；透光率高（92%），能保持清晰透亮的图像质量；没有漂移，只需安装时一次校正；有第三轴（即压力轴）响应，最适合公共场所使用。

表面声波触摸屏的触摸屏部分可以是一块平面、球面或是柱面的玻璃平板，安装在 CRT、LED、LCD 或是等离子显示器屏幕的前面。这块玻璃平板只是一块纯粹的强化玻璃，区别于其它触摸屏技术是没有任何贴膜和覆盖层。玻璃屏的左上角和右下角各固定了竖直和水平方向的超声波发射换能器，右上角则固定了两个相应的超声波接收换能器。玻璃屏的四个周边则刻有 45° 角由疏到密间隔非常精密的反射条纹。

5.2 触摸屏型号选择及组态画面

本课题中选用的是西门子的 OP 270（256 色，5.7 英寸）。具有逼真清晰的 256 色显示，可组态 300 个画面，2048 个变量，配置有各种接口，如 MPI、PROFIBUS-DP、USB，可选有以太网接口，具有坚固耐用，结构紧凑的特点，满足系统需要。与 PLC 通过 PORT 0 口通讯。为便与操作和维护，直观显示当前工况，课题中对触摸屏的画面进行了如下设计^[54]。其基本结构如图 5-1 所示：

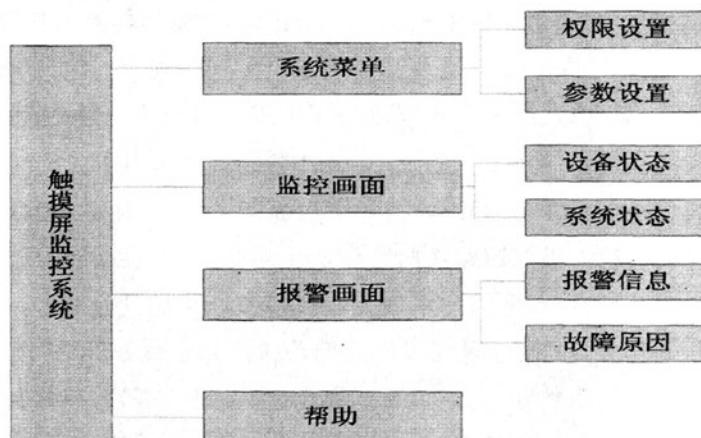


图 5-1 回转布料机触摸屏系统功能图

5.2.1 主画面

当开启电源后，触摸屏首先进行初始化。初始化后自动进入到主界面。初始化过程对系统状态进行一次检查，并将系统状态和设备运行状态显示在主界面上。其主界面如图 5-2 所示。

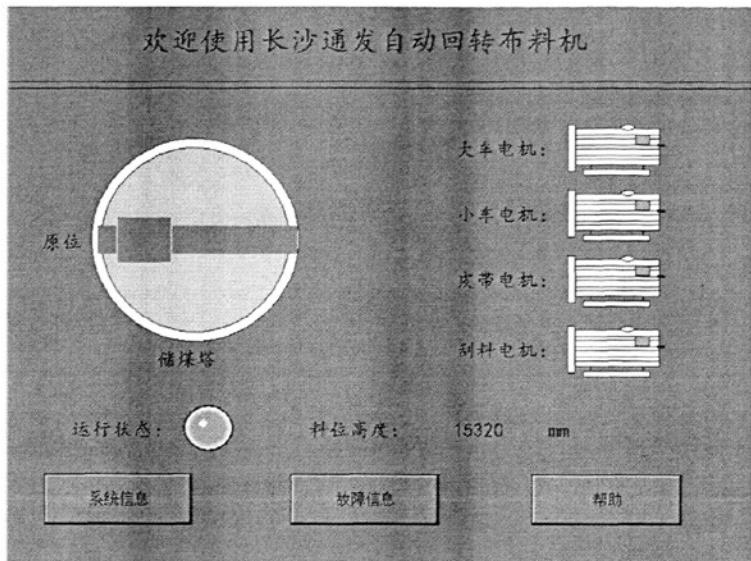


图 5-2 回转布料机触摸屏主界面

5.2.2 系统运行及报警画面

系统运行画面中用户可直观看到设备当前运行状态、雷达料位计所测料位实时高度等信息。报警画面可看到系统检测到的报警信息，并可查询可能发生报警的原因。系统将报警信息记录归档，便于查询^[55]。报警画面如图 5-3 所示^[56]。

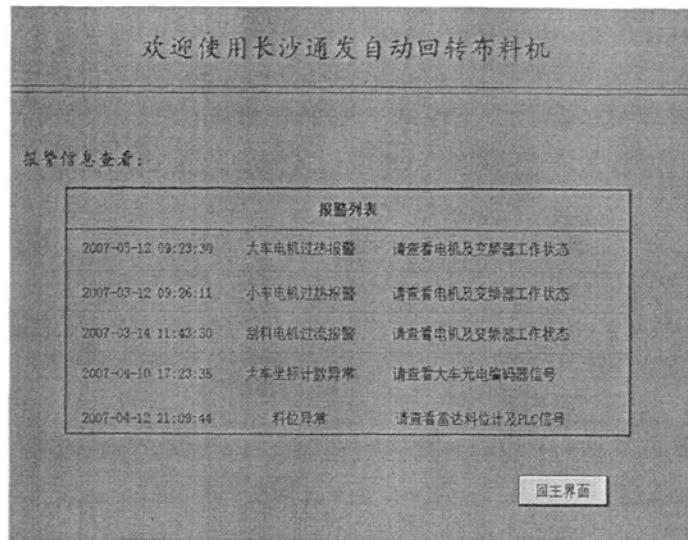


图 5-3 回转布料机触摸屏报警信息界面

5.3 远程计算机监控界面

远程计算机监控系统采用 VB 6.0 设计^[57]。Visual Basic (VB) 是一种由微软公司开发的包含协助开发环境的事件驱动编程语言。它源自于 BASIC 编程语言，拥有图形用户界面 (GUI) 和快速应用程序开发 (RAD 系统)，可以轻易的使用 DAO、RDO、ADO 连接数据库，或者轻松的创建 ActiveX 控件。程序员可以轻松的使用 VB 提供的组件快速建立一个应用程序。它具有功能强大、编程简单易学等特点，深受工业控制场合的喜爱。本文结合 VB6.0 和 SQL 数据库技术对回转布料机远程控制系统上位机进行了设计。系统功能图如图 5-4 所示，下面主要对主界面和数据查询界面做简要介绍。

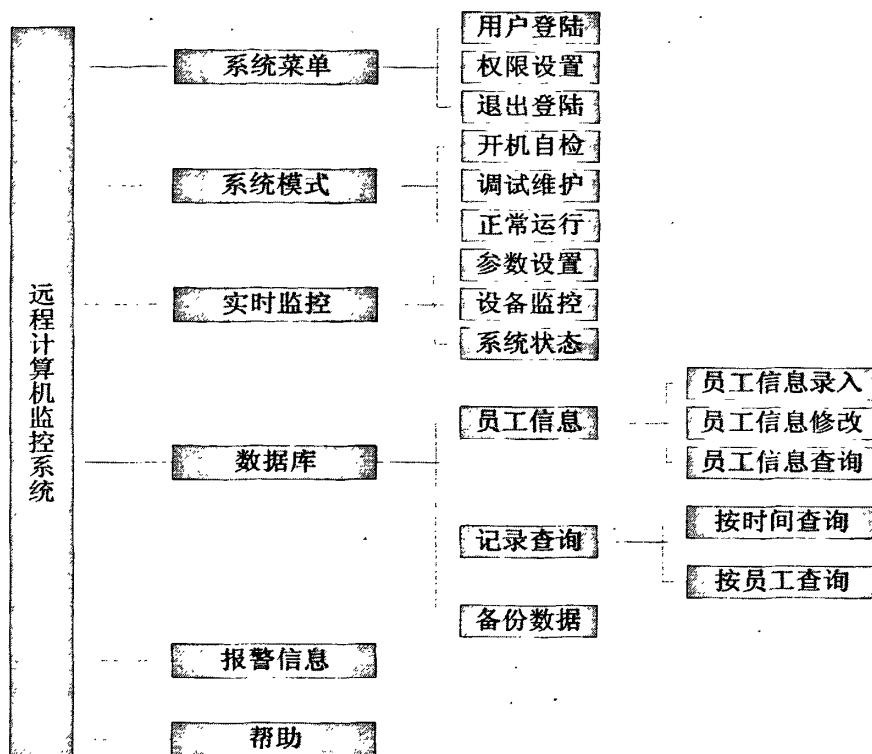


图 5-4 回转布料机远程计算机功能框图

5.3.1 主画面

系统运行主画面如图 5-5 所示。其中，用户登陆后可由左上角现场摄像头画面实时观看现场设备工作画面，并可清晰察看设备各电机运行状态、设备运行方式、通信状态、大小车当前坐标、料位高度、料位高度偏差、电机频率等信息。当设备处于异常状态时，可及时按下“紧急停止”按钮，切断 PLC 输出信号，停止设备运行，确保设备安全。

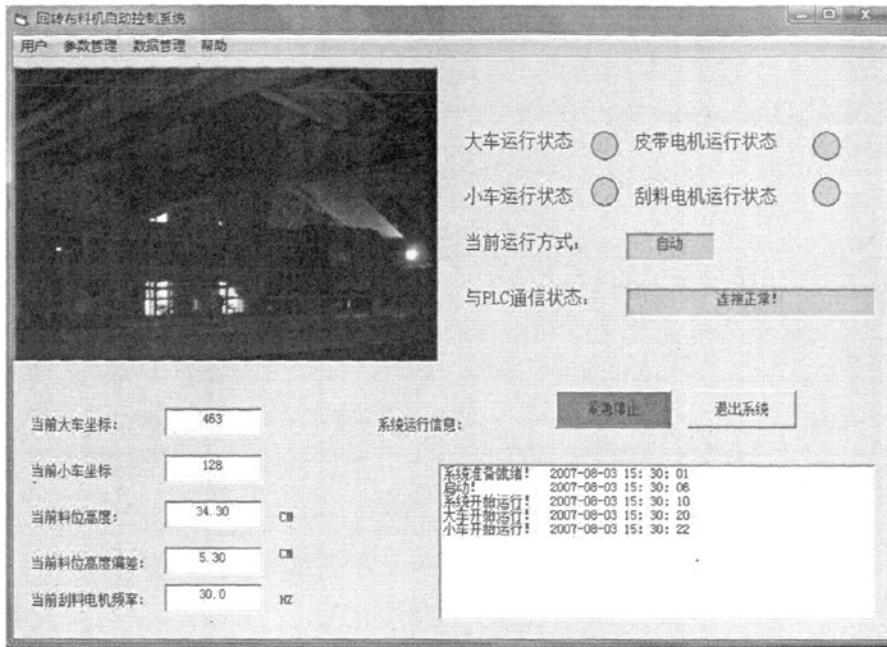


图 5-5 回转布料机远程计算机主界面

5.3.2 用户登陆画面

在很多情况下，用户工程应用中的组态数据和运行数据都涉及到安全性问题。例如：禁止普通人员进入组态环境查看或修改组态参数；在系统运行时，某些重要的运行参数不允许普通人员进行修改；系统运行时禁止普通人员退出系统等。

为了加强管理，系统中对设计了用户管理功能，安全级别为：操作工级、班长级、工程师级、系统管理员级。其中操作工的级别最低而系统管理员的级别最高，各级别对系统内参数的修改权限不同，且高级别的用户可以修改低级别的属性。不同级别的用户进入系统时需要进行登录。

5.3.3 数据查询画面

本文中采用 SQL SERVER 作为数据库，记录相关数据。SQL Server 是基于服务器端的中型的数据库，可以适合大容量数据的应用，在功能上管理上也要比 Access 要强得多^[58]。在处理海量数据的效率，后台开发的灵活性，可扩展性等方面强大。因为现在数据库都使用标准的 SQL 语言对数据库进行管理，所以如果是标准 SQL 语言，两者基本上都可以通用的。SQL Server 还有更多的扩展，可以用存储过程，数据库大小无极限限制。本文的数据查询界面如图 5-6 所示。

可选择按日期或按操作用户两种查询方式，方便查询操作信息、设备运行信息、料位高度偏差信息、报警信息等信息。并可导出信息备份保存。

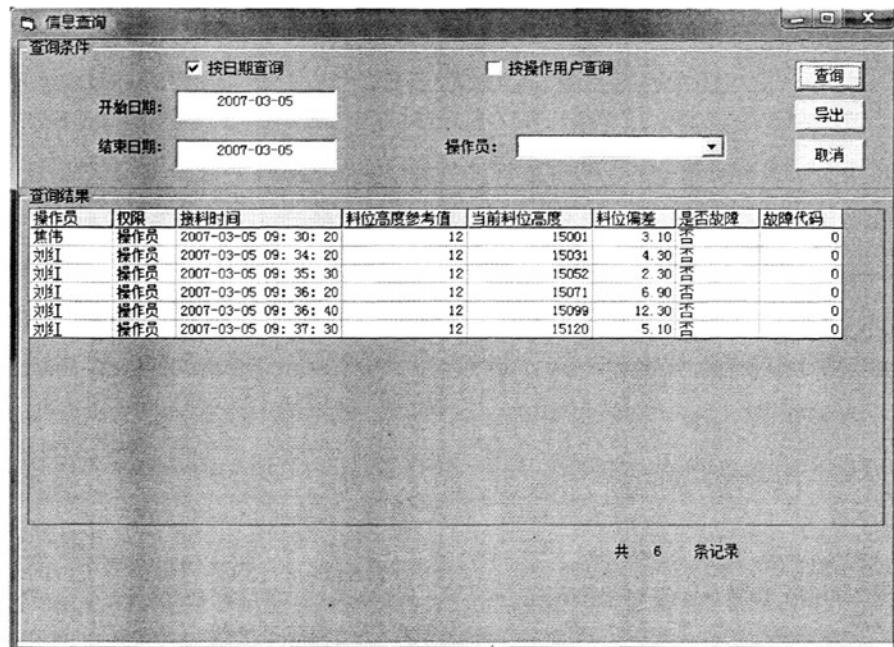


图 5-6 回转布料机远程计算机数据查询界面

5.4 本章小结

本章介绍了回转布料机现场上位机触摸屏的工作原理及特性，给出了触摸屏界面和功能设计；给出了远程监控系统的界面和功能设计。回转布料机控制系统可根据现场或远程两种方式对设备进行监控，提高了系统的智能化和灵活性。

第六章 总结和展望

在钢铁冶炼过程中，焦炭是不可或缺的原料之一。焦炭质量的高低直接影响冶炼的效率。而在焦炉燃煤燃烧生成焦炭的过程中，由于煤层高低不平，分配不均等问题导致燃煤燃烧不充分，极大的影响了燃烧效率，也增加了能源的损耗。在焦化配料过程中，配煤仓出现混煤、空仓等现象对产品质量也有着直接的影响。由此，均匀、高效、先进的布料设备和布料方式在焦炉燃煤的配煤过程中起到了越来越重要的作用。

6.1 本文的工作总结

本文以马鞍山钢铁股份有限公司新区 1 号焦炉备煤塔布料系统设计为背景，针对原有布料设备故障率高，操作不够智能化，凭人工肉眼观察进行布料导致布料不均等缺陷设计制造了以现场总线技术和 PLC、触摸屏等技术为核心的自动回转布料机控制系统。

文中介绍了回转布料机的工作原理及基本结构，阐述了控制系统的软硬件设计过程。通过对布料系统的检测环节、控制模式和控制策略进行分析，针对布料过程具有大时滞、非线性、难以建立精确数学模型等特点，提出了一种基于 PLC 的模糊逻辑控制实现方法，论述了模糊控制器的原理和结构，设计了一个两输入单输出的模糊控制器来实现过程控制中加料速度参数的实时控制。用 PLC 编程实现了模糊控制器的设计，用 MATLAB 实现了模糊控制查询表的离线生成。

本系统将模糊控制与 PLC 相结合，利用 PLC 实现模糊控制，既保留了 PLC 的可靠、灵活、适应能力强等特点，又提高了控制系统的智能化程度^[59]。

基于模糊控制的 PLC 系统适用于很多场合，控制程序易于模块化、标准化，与 PLC 自带的 PID 控制模块相比，具有编程方式灵活，限制条件少，模糊变量和模糊规则个数不受系统硬件限制等特点，降低了系统开发成本，扩大了应用范围^[60]。

通过实际运行证明，本系统具有故障率低、性能稳定、布料均匀、高效、便于维护与操作的特点，该系统能对电机转速实现精确控制，实用性强，具有一定的推广价值，达到了设计的效果。克服了人工手动控制布料的弊端。该设计思想不仅适合于煤塔布料，在混凝土布料，石灰窑布料等系统中也有参考价值。

6.2 今后的工作及展望

本系统还有一些不足之处，需要进一步完善。主要表现在以下几个方面：

1. 模糊控制系统的建立依靠大量的自动控制的专家经验，因条件的限制无法收集到足够多的经验资料。模糊控制器的结构还待优化，缺乏对模糊控制的静态特性和动态品质的分析。
2. 在隶属函数的选取上，只是为了计算简便而选取了三角隶属函数，未对函数选择做进一步研究，以后可对隶属函数做进一步研究，选取最合适的隶属函数；
3. 本文基于 PLC 的模糊控制器采用查询表的方法来设计，只针对查询表不是很大的情况，在查询表复杂的情况下对 PLC 的系统循环扫描时间还是有很大的影响，可考虑采用 PLC 的模糊控制专用芯片来实现。

由于本文作者在理论研究和工程实践方面经验有限，文章中还存在很多缺点与不足，希望各位老师、同学和同仁给予批评指正。

参考文献

- [1] 汪涛, 刘彦. 马钢新区配煤料仓自动布料技术的应用[J]. 燃料与化工, 2008, 39 (2): 8-9
- [2] 刘亮, 宁芳青. 焦化厂配煤布料自动定位控制系统[J]. 燃料与化工, 2008, (3): 38-39
- [3] 卢燕. 高炉无料钟布料控制系统的研究[D]. 天津理工大学, 2008
- [4] 刘涛, 王勇. 高炉无料钟炉顶自动布料系统的研究[J]. 可编程控制器与工厂自动化, 2008, (06): 54-55
- [5] 杜亚云, 李鹏立. 焦炉煤塔秤计量无人值守系统的开发与应用[J]. 计量技术, 2004, (8): 48-50
- [6] 胡庆银, 马昌胜, 靳涛. YDQ 石灰石自动布料系统技术改造[J]. 水泥, 2009, (02): 59-60
- [7] 马兵, 陈志军. PLC 控制系统在无料钟高炉中的应用[J]. 冶金动力, 2002, (06): 76-77
- [8] 亓玉杰, 吴峰, 陆林, 刘锡芸. 炼铁厂 1# 1880 m³ 高炉布料溜槽电气自动控制系统优化[J]. 莱钢科技, 2008, (39): 70-71
- [9] A.F.Avtsinov. 旋转布料器有效操作在西伯利亚钢铁厂的应用实践[J]. 现代冶金, 2007, (3): 41-45
- [10] 孙东. 国外烧结机布料技术的新进展[J]. 烧结球团, 1996, (5): 35-38
- [11] 白洪光, 曲思民, 贾法强, 吕海晶, 崔鹏. 环形套筒窑旋转布料器液压系统和控制程序的改进[J]. 山东冶金, 2007, 28 (3): 31-32
- [12] 焦国宣. 变频调速装置在攀钢四号高炉布料溜槽倾动控制中的应用实践[J]. 仪器仪表用户, 2004, 11(5): 42-43.
- [13] 汤奋强. 影响混凝土布料机功能的外部因素分析[J]. 山西建筑, 2008, 34 (26): 330-331
- [14] 卢燕, 罗青华, 魏克新. PLC 实现的模糊 PID 控制器及在高炉布料系统中的应用[J]. 天津理工大学学报, 2008, 24(2): 73-75
- [15] 张竹林, 张小印. 触摸屏和 PLC 在丝光碱液控制系统中的应用[J]. 机电一体化, 2004, (03): 57-59
- [16] 皮壮行, 宫振鸣, 李雪华. 可编程序控制器的系统设计与应用实例[M]. 北京: 机械工业出版社, 2000.
- [17] 钟肇新, 王灏. 可编程序控制器入门教程(SIMATIC-S7-200)[M]. 广州: 华

- 南理工大学出版社, 2000.
- [18] 朱瑞康.PID 自整定调节器研究[J].南京理工大学学报, 1995, (6): 533-536
- [19] 李亚.PID 技术及其应用[J], 上海环境科学, 1995, (11): 20-22
- [20] 吕峥.智能监控中的神经网络模型及提高应用效能的方法[J], 北京工业大学学报, 1994, (1): 93-96
- [21] 章卫国, 杨向忠. 模糊控制理论与应用[M]. 西安:西北工业大学出版社, 1999.
- [22] 张文修等. 模糊控制与模糊系统[M]. 西安:西安交通大学出版社, 1998.
- [23] Kevin M.Passino Stephen Yrkovieh. 模糊控制[M]. 北京:清华大学出版社, 2001.
- [24] 韩峻峰. 模糊控制技术[M]. 重庆:重庆大学出版社, 2003.
- [25] 刘曙光, 王志宏, 费佩燕. 模糊控制的发展与展望[J]. 机电工程 2000, 17 (1): 9-11.
- [26] 高旭辉. PI-FUZZY 模糊控制器的设计及应用[J]. 微计算机信息, 2003, 19 (1): 11-13.
- [27] 模糊控制·神经控制和智能控制论[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社, 1999.
- [28] 刘向杰, 周孝信, 柴天佑. 模糊控制研究的现状与新发展[J]. 信息与控制, 1999, (4): 283-292.
- [29] L.A.Zadeh. Fuzzy Set[J]. Informat Control, 1965, (8): 338-353.
- [30] 程仁洪, 涂奉生. 基于模糊逻辑的混合型电机速度控制器[J]. 电机与控制学报, 1998, (9): 145-148.
- [31] L.A.Zadeh. Fuzzy Algoeithin[J]. Informat Control, 1968, (12): 94-102.
- [32] Miehels K. A Model-Based Fuzzy Controller. Fuzzy Sets and System[J]. 1997, (852): 223-232
- [33] Yager RR. On a Hierarchical Structure for Fuzzy Modeling and Control[J]. IEEE Trans. On Systems, Manand Cybernetics, 1993, 23 (4): 1189-1197
- [34] 齐宪华. 模糊控制理论在电站锅炉控制中的应用[J]. 山东电力技术, 2008, (04): 31-33
- [35] 王季方, 卢正鼎. 模糊控制中隶属度函数的确定方法[J]. 河南科学, 2000, 18 (4): 348-250
- [36] Raju, GVS. etal. Adaptive Hierarchical Fuzzy Controller[J]. IEEE Trans. On Systems, Manand Cybernetics, 1993, 23 (4): 973-980
- [37] 郭代仪. 模糊控制技术及其在冶金工业中的应用[M]. 重庆:重庆大学出

版社, 1999.

[38] Cailant SI.Connectionist Expert systems[J].Communication of the ACM, 1988 (31): 152-169

[39] 刘伟.关于模糊 PID 控制器的应用设计[J].沈阳工业大学学报, 2003, (02): 27-29

[40] 李敬兆, 张崇巍. 基于 PLC 直接查表方式实现的模糊控制器研究[J]. 电子技术杂志, 2001, (9): 18-21.

[41] 宋德玉, 王桂梅, 张平格. 可编程序控制器原理及应用系统设计技术[M]. 北京:冶金工业出版社, 1999.

[42] 郑晨, 巩建平, 张学. 现代可编程序控制器原理与应用[M]. 北京:科学出版社, 2000.

[43] 康斌栋, 王志新. 基于 PLC 模糊控制软件的设计研究[J]. 机电一体化, 2000, (1): 57-58.

[44] 崔京玉. 可编程序控制器在模糊控制中的应用[J]. 一重技术, 2003, (1): 25-26.

[45] 汪小澄, 方强. 基于 PLC 的模糊控制研究[J]. 武汉大学学报, 2002, 35 (4): 79-81.

[46] 温照方.SIMATICS7-200 可编程控制器教程[M].北京理工大学出版社, 2002, 9

[47] 史登跃, 薛梅花. 雷达料位计的原理及应用[J]. 现代计量仪器与技术, 2004, (8): 59-60

[48] 欧阳三泰, 周琴等. PLC 模糊控制研究与应用[J]. 机床电器, 2005, (3): 28-31.

[49] 黄轶, 徐少川. 基于 PLC 的模糊 PID 控制器设计[J]. 华北科技学院学报, 2008, (02): 63-65

[50] 成晓明, 柳爱美, 田淑杭. PLC 的炉温多级模糊控制的优化与实现[J]. 自动化仪器与仪表, 2000, (1): 20-22.

[51] 付华, 孙树生. 基于 PLC 和模糊控制的矿井供风系统的改进方法研究[J]. 煤矿机械, 2006, (01): 145-147

[52] 李建平, 王晓冲, 谢敬华. 基于 PLC 的模糊参数自整定温度控制系统研究[J]. 微计算机信息, 2007, (16): 28-30

[53] John Feland, 赵立晴. 触摸未来: 投射电容式触摸屏引领新市场[J]. 现代显示, 2009, (04): 15-18

[54] 尧武平, 张宇, 吴庆曦, 梅忠琴, 孟庆江. 计算机网络与可编程控制器及触

- 摸屏在自动化配煤系统的应用[J].江西冶金, 2001, (06): 27-29
- [55]李志军.触摸屏控制技术在铁合金矿热炉烟气净化中的应用[J].青海环境, 2001, (03): 30-32
- [56]薛迎成.PLC 与触摸屏控制技术[M].北京: 中国电力出版社, 2008.
- [57]姚巍.VISUAL BASIC 数据库开发及工程实例[M].北京: 人民邮电出版社, 2003, 4
- [58]李伟红, 张景峰, 张保通.SQL SERVER 2000 实用教程[M].北京: 中国水利水电出版社, 2003.
- [59]韦瑞录, 罗启平.基于组态王和 PLC 的模糊 PID 水压控制研究[J].微计算机信息, 2008, (13): 62-64
- [60]林勇坚, 莫胜撼.基于 PLC 的模糊控制在污水处理中的应用[J].广西轻工业, 2008, (5): 57-58

致 谢

本论文是在我的导师黄挚雄教授的悉心指导下完成的，从最初的论文开题、文献查阅到具体的课题研究以及后来的论文写作，无不凝聚着黄老师的心血和汗水。黄挚雄老师渊博的知识、活跃的学术思想、严谨的科学作风、兢兢业业的工作态度、清廉简朴的生活式以及谦虚朴实的为人，都给我留下了深刻的印象并深深的感染和教育了我。黄老师不仅在学习和工作上对我进行指导，还在生活上给了我很多帮助。所有这些都将使我终身受益，并对我的一生产生重要影响，值此论文完成之际向恩师致以最诚挚的敬意和最衷心的感谢！

同时我还要感谢危韧勇教授、李志勇副教授，感谢他们在这几年的学习中给予我的悉心指导和栽培，特别要感谢李老师在实验室项目完成过程中对我的指导和帮助。

感谢我在长沙通发高新科技开发有限公司工作时领导同事的帮助和指导，让我在参与一系列项目的研发与调试中学到了许多知识，积累了丰富的经验。

在即将毕业离校之际，我要感谢实验室王永平、陈思范、甘率等同学给予我学业上的切磋、指点、勉励和在日常生活上的关心和帮助，同窗之谊、手足之情将使我终身难忘！感谢郝子新、余威同学在项目完成过程中对我的协助。

感谢我的家人和我的女朋友对我的学业的支持和鼓励，正是他们默默无闻的奉献和一贯的支持和鼓励，才使我有信心和毅力完成全部的学业！

“路漫漫其修远兮，吾将上下而求索”，我要在未来的学习和工作过程中以更加丰厚的成绩来答谢曾经关心、帮助和支持过我的老师、亲人、同学和朋友！

罗志辉

2009年5月于长沙

攻读硕士学位期间科研及论文完成情况

论文发表情况

罗志辉, 黄挚雄. 基于 OPC 和 PLC 的原料采样机远程监控系统. 仪器仪表用
户, 2009-05, 117~118

项目参与情况:

1. 马鞍山钢铁股份有限公司 1 号焦炉备煤塔回转布料机电气设计与调试;
2. 山东莱芜钢铁股份有限公司进厂煤汽车采样机远程监控系统开发;
属全国钢厂进厂煤采样首个无人值守系统;
3. 湖南华润鲤鱼江电厂进厂煤火车采样机电气设计与调试。