

## 摘要

随着纺织行业的不断发展,人们对织物色彩多样性和染色质量的要求不断提高,小批量、多品种、高品质和快交货成为纺织品市场对染色行业生产的新要求,这就要求染整设备的技术性能必须不断完善。作为重要染色设备之一的智能化卷染机开发势在必行。

智能化卷染机对其控制系统有特殊的运动要求,必须满足等线速、恒张力的织物牵引运动,同时还要求有智能温控单元,这对提高卷染机的自动化、智能化和信息化水平具有重要意义。

本文首先简单介绍了项目研究背景、染色设备的研究现状和发展前景以及影响染色质量的因素,对卷染机的机械结构组成、工作原理和控制系统的组成进行了详细的分析,明确了智能化卷染机控制系统的控制目标。

然后提出了智能化卷染机的总体控制方案,包括速度张力传动控制和智能温度控制两大部分。构建了基于可编程序控制器(PLC)的智能化卷染机硬件控制平台,包括电源管理、传动控制、人机交互界面和智能温控等模块的设计。

进而对智能化卷染机控制系统的控制策略进行了研究。在现有卷染机机械结构的前提下,提出了基于双变频技术的速度张力传动控制机构,实现了智能卷染机的控制需求,并设计PLC软件程序;针对卷染机温度系统具有的纯滞后、大惯性、时变、非线性等特性,提出了一种分段控制策略,综合运用纯比例控制、模糊控制和PID控制,实现了快速、高精度的温度控制目标。

本文还详细介绍了基于触摸屏的人机交互界面的设计。设计了主控、系统参数、手动控制、工艺选择等画面以及管理功能权限,并给出了界面模拟运行结果。

最后介绍了系统的调试方法,包括PLC软件调试和触摸屏调试。

总之,智能化卷染机控制系统集PLC、变频器、触摸屏、传感器技术为一体,设计方案合理可行。现场调试运行表明,系统运行稳定,响应迅速,抗干扰性强。

关键词:卷染机、可编程序控制器、变频器、触摸屏、温度控制

## ABSTRACT

With the development of textile industry, increasing improvement on color diversity and dyeing quality of textile has been a significant concern and the textile market requires small-batch, multi-term and high-quality products as well as fast delivery in dyeing industry, which calls for continuous perfection of technical performance of dyeing equipments. So it is imperative to develop intelligent jigger which is one of important dyeing equipments.

The intelligent jigger requires its control system to realize the movement specialities of constant speed and constant tension in the movement progress of the fabric, with an intelligent temperature control unit, which is significant to enhance the automatization, intellectualization and informationization of the jigger.

To begin with, we briefly introduced the research background of the project, current research situation and development prospect of the dyeing equipments as well as factors effecting dyeing quality, in addition to the detailed analysis on mechanical structure, working principles of jigger and composition of control system, which rendered definite control objectives of the jigger control system.

Secondly, general control solution of intelligent jigger was proposed, including velocity-tension transmission control subsystem and intelligent temperature control subsystem, combined with intelligent jigger hardware platform based on PLC, consisting of power management, transmission control, human-machine interface and intelligent temperature control module.

Then, we made the research on control strategy of intelligent jigger system. Constrained in the existed jigger mechanical structure, velocity-tension transmission control framework based on dual-frequency

converting technology was proposed followed by PLC software, in accordance with control objectives of the intelligent jigger. According to the characteristics of pure time delay, large inertia, time-variance and nonlinearity of the temperature system, we proposed a kind of subsection control strategy that synthesized pure proportional, fuzzy and PID control, to guarantee quick and high-precision temperature control.

Furthermore, the development of human-machine interface based on touch screen is introduced detailedly in this thesis. Certain figures of main control, system parameter, manual control and process selection were designed, combined with privilege management and simulation results of the interface were showed.

Finally, system debugging method, including PLC and touch-screen debugging, was introduced.

In a word, the control system in this thesis has been logically integrated with technologies of PLC, touch screen, inverter and sensor, which was confirmed by field debugging with good stability, fast response and interrupt-robustness.

**Key words:** jigger, programmable controller, inverter, touch screen, temperature control

## 致 谢

在母校浙江大学求学的这六年，是我人生中最难忘的一段时光。六年前带着几分羞涩初入求是园，如今即将走上工作岗位，报效家国。回首过去，难忘紫金港丹青广场、启真湖畔、东西教学楼忙碌新鲜的大学新生生活，难忘老和山下、西子湖畔、电机工程楼中的风风雨雨；展望未来，必将谨记母校求是创新之校训，开拓进取，不断前进。此时此刻，怀着感恩之心，谨向所有给我指导、关心、帮助、支持和鼓励的老师、同学和亲朋好友表示我衷心的感谢！

首先要衷心感谢我的导师颜钢锋教授！在近两年的研究生学习阶段，无论是学习、生活和科研，颜老师都给了我极大的帮助、关心和指导，使我在课题的研究过程中不断得到提高。颜老师渊博的知识、勇于创新的科学精神和严谨治学的态度，使我受益良多，难以忘怀。

感谢张森林老师、刘妹琴老师、樊臻老师和屈稳太老师在学习、生活和科研中对我的帮助、关心和指导。

真心感谢实验室的各位同学，特别是江益、王红凯、王玥、许育燕、孙壮丽、张荣臻等同学对我的关心和帮助，难忘 119 实验室的欢声笑语、酸甜苦辣；感谢黄安成师兄、王琛奎师兄和黄向军师兄对我的关怀、帮助、鼓励和支持。

感谢詹翠娟小姐这几年来对我的默默支持和无微不至的关爱！

最后衷心感谢我的父母和弟妹们！有了父母的辛苦养育和用心培养、一直以来的无私奉献和关爱支持，才有我的今天；弟妹们的可爱用功和支持理解时刻激励着我！

再次向所有关心、爱护和帮助我的老师和同学表示衷心的感谢！

杨壮豪

2008 年 5 月于求是园

# 第1章 绪论

## 1.1 研究背景

### 1.1.1 引言

以计算机为核心的现代信息控制技术已经渗透到纺织工业的各个领域。二十世纪八十年代以来,高科技纺织品在整个纺织品市场中的比例不断增长。资料显示,最近五年,发达国家高科技纺织品的市场份额增长了一倍多。在欧洲纺织品市场上,高科技纺织品的市场占有率已达40%以上。全球纺织工业现在普遍采用电子计算机技术,从市场信息到产品的花型设计、颜色、织物结构设计,再到纺纱、织布、染整等生产领域和管理领域都能找到电子计算机的影子。利用CAD/CAM等生产辅助手段,可以实现小批量、多品种的市场需求,增强产品竞争能力,达到经济效益的最大化。<sup>[1]</sup>

据统计,中国纺织品三大行业(纺织业、服装业、化学纤维制造业)产值占比分别约为61%、28%、11%。除化学纤维生产技术和服装骨干企业的缝纫设备接近国际先进水平以外,纺纱、织造、印染等传统工艺与世界先进水平有较大差距。其次,我国纺织产品水平标准低。目前中国的纺织企业还处于产品链的低端。大部分企业生产中低档产品,仅有少部分企业生产高品质产品。此外,我国企业信息化程度不高,行业性软件开发力量薄弱,软件产品少,企业管理软件应用比例低,信息化普及率低,电子商务起步慢,多数企业管理方式落后,难以真正建立起小批量、多品种、高品质、快交货的市场快速反应机制。特别是我国纺织印染装备技术落后,产品加工深度不够,以原材料、劳动力为主要构成成本,一般纺织产品国内已到了生产能力过剩的局面,过度依赖出口,竞相压价恶性竞争导致销售价格接近生产成本,利润很低。不仅如此,低廉的劳动力换来的低廉价格的竞争优势是十分脆弱的,常常面临反倾销指控,引发纺织品贸易纷争。

因此,新型染整工艺设备的开发是实现印染工业技术进步的有力保障,是适应印染厂技术改造更新装备的需要,是服装面料减少进口、扩大出口的需要,是缩小与国外染整设备的差距、减少进口设备的需要。<sup>[2]</sup>

### 1.1.2 染整工业概况

印染工业是纺织业的重要组成部分。纺织厂生产的织物，一般都要经过印染厂加工整理，才能成为五彩缤纷、深受人们喜爱的纺织品。因此，印染工业对改善织物外观，提高织物性能，丰富人民物质生活和文化生活，起着重要的作用。

在印染工业生产中，要提高产品质量、增加产品产量、降低产品成本，首先要有先进的工艺，而先进工艺的开发则要求有先进的印染机械设备。因此，印染机械技术是否先进、功能是否完善，是印染工业能否向前发展的重要因素之一。

印染染整设备一般是指棉、麻、毛、丝以及化学纤维等原料纯纺或混纺织物的最终整理设备，主要包括练漂、染色、印花、整理等几个主要工序，涉及到提高加工深度、增加纺织品附加值的键工序。在实现漂、染、印、整四大工序中，有很多单元机械和装置是相同的，一般都有轧车、平洗槽、蒸箱、烘干机等，俗称“轧、洗、烘、蒸”四大通用单元机械，另外还有经常使用的容布箱、拉幅机械等单元机械，其它有如进出布装置、吸边器、扩幅装置、整纬装置、线速度调节装置等为大部分机台必需的通用装置，由通用装置及通用单元机械等构成染整机械设备。<sup>[3][4]</sup>

染整机械设备按照漂、染、印、整四大工序来分，主要可分为前处理设备、染色设备、印花设备和后整理设备。前处理设备主要有烧毛机、精练漂白机和丝光机或单元机械组成的多功能联合机等，以便去除原料坯布上的杂质，退浆煮练，使原坯布制成符合染色和印花要求的坯布。染色即指染液中的染料向浸在其中的纤维转移并透入纤维内部，最终使纤维染上颜色的过程。染色过程一般有吸附、扩散、固着三个阶段。染色设备按方法不同可分为绳状和平幅染机，后者主要有卷染机和轧染机，卷染机适用于多品种、小批量织物的染色加工，而轧染机则应用于大批量的生产加工。印花是指在织物上局部施以染料或颜料，从而获得花纹图案的加工过程，目前印花设备主要有滚筒印花机、圆网印花机、平网印花机及转移印花机等，还有固化染（颜）料用的蒸化机。后整理设备主要有干燥拉幅定形机、预缩机、起毛磨毛机和涂层机，通过各种整理加工后，使织物具有防缩、防皱、免烫、耐久压烫等优良性能。

由于染整机械加工对象——织物以及每道工序都不同，染整设备和装置也不尽相同，但都具有一些相同的特点。由于染整加工基本上属于化学加工过程，它

经常需要与不同浓度的酸、碱、盐类、氧化剂和还原剂等腐蚀性的化学药剂及水与蒸汽相接触,因此耐腐蚀的设备较多;印染生产中的化学药剂大多数对人体有不同程度的危害,因此对劳动保护的要求较高;由于染整工艺所需的压力参数较大,使得负责产生压力的设备较长且重;因织物加工往往是大批量连续进行,为了保证设备正常运转和织物传动过程中具有一定的张力,则要求各主动牵引棍上的织物线速度必须同步,机车速度能进行调节——这是保证正常生产,提高产品质量,减轻劳动强度的关键因素。在提高设备的机械性能外,许多研究机构和厂家集中精力研究自动控制系统,希望研制出高度信息化、自动化、智能化的印染设备。<sup>[5]</sup>

## 1.2 染色设备的研究现状及发展前景

### 1.2.1 染色设备的研究现状

国外染整工业自动化研究开展早,德国、瑞士、意大利等欧洲国家及日本的新型卷染装备自动化水平相当高,除电气传动自动化、生产过程自动化、工业系统管理自动化外,机械手、机器人也进入了染整生产操作自动化的实用阶段。<sup>[6]</sup>这里主要介绍染色设备方面的现状。

(1) 热熔染色自染色轧车起,直至焙烘落布结束,全线所需的各参数均可测且可控制。共有测试点:轧点后织物带液量(幅向左中右三点微波测湿仪)、色度计量(幅向比色扫描)、红外预烘后带液量,热风烘房上下喷风口温度(包括焙烘)、烘房中部温度检测、从热风预烘房传出的织物含潮率测定、织物本身温度检测,热风速度及循环热风温度,以及其他带有控制执行调节元件的测试点如液面控制、轧车压力、织物张力、循环风量、节流阀、堆布量等。

(2) 在大卷装卷染机方面,意大利美赛拉(MEZZERA)公司、荷兰汉力逊公司、德国第斯公司、印度哈瑞士公司、无锡宏源纺机集团公司、常州宏大自动化装备厂等厂家都研制出自己的代表产品。卷染机采用计算机控制技术和交流变频技术实现等速度恒张力的控制。美赛拉公司的HTP CELSIUS 143型高温卷染机采用交流马达驱动,矢量变频器变速控制,荷载探测器动态张力平衡,这套系统是一套动态平衡系统,闭环式参数反馈控制,可以保证在染色水洗等加工过程中精确地

控制织物张力。荷兰汉力逊公司推出交流变频传动常温卷染机,采用高效水洗系统技术、高压填充泡沫导辊和低摩擦外置轴承结构,并使用交流变频传动、数码控制,保证织物速度和张力正确控制,实现连续控制、调节浴比、自动加料、温度自控、液位自控。无锡宏源集团生产的 HY618 型高温高压卷染机采用交流变频传动 PLC 控制,由速度传感器和张力的传感器检测反馈,保证织物等速恒张力的精确控制,并通过触摸屏设定显示各项工艺参数,满足各种工艺要求。该机具有加料进给定量控制系统,压力与温度自动控制系统及液位设定自控,实现生产过程自动化。

(3) 在气流染色机领域,德国特恩公司 AIRFLOW AFS 型高温高压气流染色机利用空气动力学原理,利用空气来优化染色效果,染化料、助剂被溶于加工溶液中并直接喷射进空气蒸汽混合气体中,当其通过喷嘴时能对织物表面进行均匀喷雾,液体被雾化并均匀扩散到织物表面。该机装有动态质量管理体系,能自动选定最佳工作时间和温度变化率。德国第斯公司 Luft-ROTO plus 气流染色机采用特殊气流喷射设计,前级液流喷嘴,后级气喷嘴,应用空气压力渗透原理,使该机用极少的水,可以达到极好染色效果。此外,香港立信公司是利用空气动力学原理来优化染色效果,开发出 AFH AERO FLOW 高温气流染色机;邵阳二纺机厂 M7201 型气流染色机是国内首次开发制造的新一代气流染色机,采用染色专用电脑,可对染色主要工艺参数进行修改和储存,并通过 PLC 控制,实现染色工艺全自动。

(4) 意大利 MCS 公司研制出 Multiflow 单布环快速染色机,是不按确定循环时间运行而按布环通过喷嘴次数作为计量单位的新型染色设备。全机采用 PLC 控制,系统中对每个储布槽里织物量的控制是通过 PLC 对提布辊速度控制来实现,每个提布辊电机的速度都分别控制,以保证每个储布槽织物量相等。PLC 可以控制每管染色机工作程序,根据布环运动的时间来实现工作程序的控制。

(5) 香港立信公司开发出 E00FECIT 生态环保系列染色机,其主要创新之处为,储布槽底板不采用整块特氟隆板,而是用特氟隆条制成储布槽的底板,以便使流入储布槽的染液通过特氟隆条之间的缝隙快速回流到与机器外壳的夹层中,随即进入管路循环系统快速循环。此项技术降低了浴比,使织物在染色过程中处于松弛的状态,减少水和染料的消耗,又可缩短染色周期,减少能耗,做到生态

环保加工。

(6) 在平幅连续轧染联合机领域,德国门富士公司采用活性染料染纤维素纤维的轧烘工艺“Econtrol”,该染色机组包括进布区、染色轧车、给湿装置、热风干燥装置、辅助装置及出布区。南通经纬印染机械有限公司的短流程湿蒸轧染机,该机将远红外预热、饱和蒸汽给湿、高温热源加热、温湿度自动控制于一体。黄石纺织机械厂LM206型连续热熔轧染联合机,全机采用交流变频调速,PLC控制,触摸屏人机界面。

总的来说,染整设备均采用了计算机控制技术、变频技术,在整个染整加工过程中各项工艺参数在线检测、控制或显示,都在向智能化发展;利用计算机网络技术对间歇式染整设备实行中央控制;利用自动配液系统,实现染整车间管理与生产过程的现代化。特别注重染整设备的效能,染整工艺进一步优化,注重染整加工过程中节能和环保,充分体现了高效、经济与生态。<sup>[6][7][8][9]</sup>

### 1.2.2 染整设备的技术发展趋势

染整设备技术发展总的趋势是,在迅速、准确地监视工艺参数变量(如温度、湿度、速度、张力、浓度、液位、色泽、时间、门幅、含氧量、PH值、预缩率、面料质量及化学品剂的施加量等)差值的基础上,应用能快捷进行工况分析、判断、做出工艺优化操作决策的自动化装备;染整企业努力提升自动化水平,竭尽全力进行优质、高产、节能、降耗、低成本、安全、可靠、少污染、清洁化生产。对于卷染工艺过程的速度、张力控制,应提高张力信号的准确性、稳定性;加强系统结构抗干扰能力,应发展智能的模糊控制技术,运用于染整装备等非线性时变系统;在工业现场采用智能温度传感器,提高温控系统的可靠性,减少信息传递介质的应用成本。<sup>[6]</sup>

## 1.3 卷染机的结构概述

本文所涉及的卷染机的主要结构及组成如图1-1所示。

(1) 筒体部分:卧式圆柱形筒身与两端部封头采用低合金容器钢板制成,筒身两侧面开有进出布之用的长孔法兰,并配有长孔门盖。筒体按GB150-89《钢制压力容器》进行设计、制造、验收。并配有必要视镜、安全阀等仪表。

(2) 两支主辊筒平行地安装在筒体之内，轴端采用机械密封，以阻止筒体内的蒸汽外泄。辊筒表面用优质不锈钢管制成。

(3) 染槽安置于筒之内，用以盛放染液，槽底装有导布辊筒，被染织物经过导布辊使之完成染色目的。槽底部还装有两根加热管，用作染液加热。槽顶部制成防护罩，整个染槽均采用优质不锈钢制作。

(4) 传动箱内装有两台 4Kw 的变频电机，通过同步带轮及齿轮箱将动力输入主辊筒。

(5) 管路系统：本机的管路系统由蒸汽管路和水管路构成。蒸汽源先进入减压阀管路，减压至 0.2—0.3Mpa，然后分别供给布置在染槽内的直接蒸汽加热管、染槽外的间接蒸汽加热管及筒体底侧的蒸汽入管。上述三条蒸汽管路在筒体外部分别设有控制阀。筒体上部装有 Dg50 的安全阀以保证机组安全。

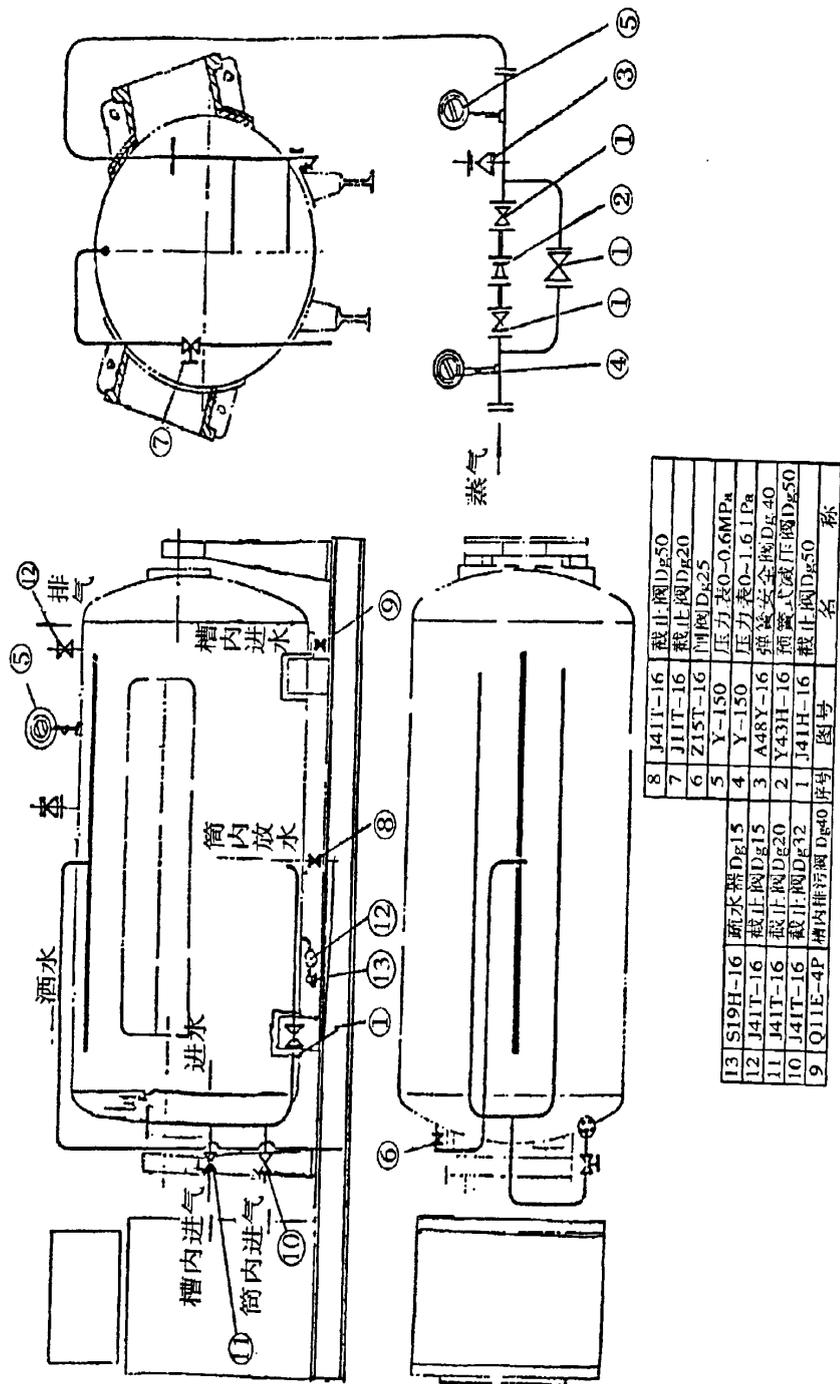


图 1-1 卷染机结构及其组成示意图

## 1.4 研究内容

浙江省科技厅重大科技专项重点项目——智能化卷染机关键技术开发由浙江纺织工业研究院承担,浙江大学作为合作单位负责项目所要求的智能化卷染机关键技术的具体开发研究。本文以此项目为基础,详细叙述了智能化卷染机关键技术相关的解决方案,文章所涉及的卷染机机械部分由浙江省诸暨市某公司提供。

本文按项目研究工作为序展开,主要内容有:

(1) 分析卷染机的结构组成、工作原理和控制系统的组成,要明确智能化卷染机控制系统的控制目标。

(2) 智能化卷染机的总体控制方案。研究速度张力传动控制系统和温度控制系统的硬件电路设计,使系统硬件结构设计合理,性能稳定,便于维护和升级。

(3) 智能化卷染机控制系统的控制策略。在现有的卷染机机械结果的前提下,根据工艺需要和控制要求,研究速度张力传动控制策略和智能温度控制策略,并设计相应的控制算法,开发 PLC 程序,实现等线速恒张力、智能温控的目标。

(4) 基于触摸屏的人机交互界面设计。

(5) 系统的调试方法,包括 PLC 软件调试和触摸屏调试。

综上所述,本文研究内容主要有三个重要模块,一是卷染机的等线速恒张力控制系统,二是卷染机的智能温度控制系统,三是卷染机的人机交互界面。

## 第2章 控制系统总体方案设计

卷染机是染整行业使用较为广泛的机械设备之一。卷染机控制系统的研究,特别研究卷染机生产运行中的几个重要参数——速度和张力控制以及染液温度控制,是一个典型的自动控制问题。该课题的研究,对于印染、织机、轧钢、造纸、电缆生产等行业中同样涉及到速度和张力的控制问题的研究具有十分重要的参考意义。正常运行时,卷染机的速度和张力两者不是相互独立的,而是相互联系相互干扰的,而温度控制则相对独立,可以自己形成控制子系统进行动态控制。速度和张力的控制是一个时变非线性问题,使得卷染机的精确控制比较困难。本章先对影响染色的因素和卷染机的工作原理等进行介绍,再对系统的控制点进行分析,最后形成控制系统总体方案。

### 2.1 影响染色质量的因素

染色是把纤维制品染上颜色的加工过程,是借染料与纤维发物理化学或化学的结合,或者用化学方法在纤维上生成颜料,使整个纺织物成为有色物体。染色是在一定温度、时间、PH值和所需染色助剂等条件下进行的。各类纤维制品的染色,如纤维素纤维、蛋白质纤维、人造纤维和合成纤维制品的染色,都有各自适用的染料和适应的工艺条件。染色方法主要有浸染和轧染两种。浸染是将染品反复浸渍在染液中,使织物和染液不断相互接触,经过一段时间把织物染上颜色的染色方法。它适应于散纤维、纱线和小批量织物的染色。卷染机就属于浸染范畴。<sup>[10]</sup>

影响布料染色质量的因素有很多,包括染料在溶液和纤维上的状态、染液温度、浓度、pH值、染色时间、浴比、助剂、水质等。

### 2.2 卷染机工作原理

卷染机是将织物反复经过染液而进行染色的一种炼染机械,用途较为广泛。其工作原理图如图2-1所示。当卷染机正向运行时,织物从卷布辊B逐渐退出,卷绕至卷布辊A上,则卷布辊A为上卷辊(又称速度辊或主动辊),卷布辊B为退

卷辊(又称张力辊或被动辊),当织物全部绕在卷布辊 A 上后,传动控制系统使卷布辊 A、B 反向转动,此时 B 辊为上卷辊,而 A 辊为退卷辊。如此反复使织物不断通过染液达到染色的目的。

为了达到较好的染色效果,卷染机这种染色方式要求织物应匀速通过染液,且应保持张力恒定。根据染色工艺要求,不同织物在染色时需要不同的线速度和张力。卷染机运行时,通过实时控制速度辊的转速,来保证织物匀速地通过染液:同时,当织物在速度辊的带动下,控制张力辊的转矩来实现张力辊在退卷送布时具有驱动或制动作用,获得所要求的张力。

此外,不同的布料和染色工艺要求对于染液温度也有不同的要求。在卷染机布辊卷染过程中必须同时控制染液温度。如何精确智能地控制染液温度对于布料的染色质量具有很大的影响。

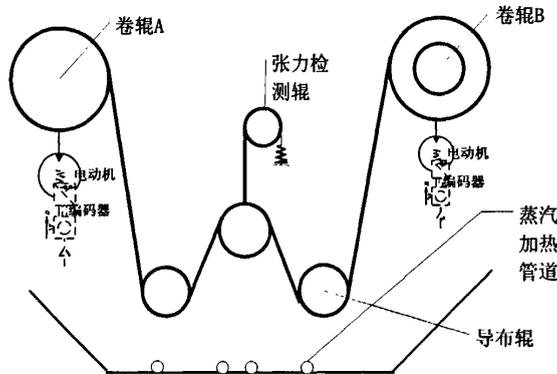


图 2-1 卷染机结构示意图

## 2.3 卷染机控制系统的分析

### 2.3.1 构成分析

卷染机是在可编程程序控制器(PLC)的控制下运行的,图 2-2 是卷染机系统控制方框示意图。在卷染机运行前,所需的初值和动作先在 PLC 中设定。卷染机启动后,随着卷染的进行,上卷辊的直径将越来越大,如果转速保持不变,布料线速度将成正比增加,因此在卷染过程中,随着上卷辊直径的变大,逐步降低驱动上卷辊的电动机的转速,而随着退卷辊直径的变小,逐步提高退卷辊电动机的转速,使布料运动的线速度在一个范围内( $V \pm \Delta V$ )变化,且布料在运动过程中

张力尽可能保持恒定，则近似认为实现了恒线速、恒张力卷染。因此，对速度和张力进行协调控制，使两支卷布辊分别按一定规律运转。各传感器对卷染机的温度参量进行检测，并送 PLC 进行处理，对染液温度进行控制，与此同时，在人机交互界面中动态显示卷染机的运行参数。

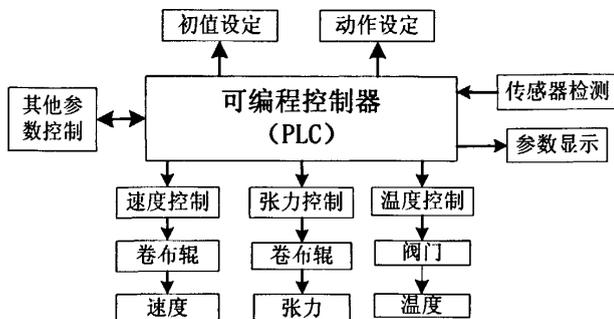


图 2-2 卷染机控制系统方框示意图

因此本文的主要研究内容就是要构建一个卷染机控制系统的硬件平台，同时开发设计一系列软件实现恒张力、恒线速和智能温控的工艺要求。关键技术在于速度和张力的协同控制技术以及温度的智能控制技术。

表格 2-1 卷染机产品技术参数

规格	参数	规格	参数
工作宽度	1800mm	恒转矩	5-50
最大卷径	680mm	温度调节	无级 (0-140 °C)
最大工作压力	0.28MPa	供汽调节	0.5MPa
最大工作温度	140 °C (自动控制)	速度调节	无级 (0-130m/min)
主辊筒直径	219mm	张力调节	无级 (10-50kg/cm <sup>2</sup> )
变频电机功率	4 KW × 2	停车时间	<0.5S
电机自带通风机	G-112A	倒布松布量	<2mm

### 2.3.2 技术参数

根据国内外现有产品技术参数及实际情况，提出了卷染机的产品技术参数。如表格 2-1 所示。

### 2.3.3 主要控制目标

通过设计先进的卷染机控制系统,提高卷染机智能化水平,以达到如下目标:

(1) 采用先进的 PLC 和数据通讯技术,具有友好的人际交互界面,实现生产过程计算机控制及染色管理。

(2) 基于可编程序控制器的等线速恒张力控制系统,张力大小从 5~70 kg 可选,同时卷染速度可根据不同布料染色要求可以进行调节;温度自动控制,可有效克服普通大卷装染色的匹差。

(3) 实现停车时布卷自动摆布功能,避免染液在布卷下部淤积,以确保加工质量。减速时传动平稳,维护工作量小于液压和直传动方式的卷染机。现场环境洁净,无漏油。

(4) 高智能化程度,可自动计圈、自动计道、自动倒卷、自动控温,各种故障自动识别,自动报警,动作连锁,安全性好;工人劳动强度小,一人可看多台机器。

总之,最终形成先进、智能的卷染控制技术,使其适合小批量、多品种的生产要求,提高生产过程的智能化、自动化、信息化。

## 2.4 控制系统的方案设计

### 2.4.1 PLC 控制系统的设计步骤

PLC 控制系统的设计的一般流程如图 2-3 所示。

PLC 的硬件控制系统一般由 PLC、输入/输出设备、控制柜等构成。在硬件设计时,主要要考虑以下原则:(1) 可靠性:除了尽可能选择高可靠性的元件和产品之外,还要考虑系统的主要性能指标和使用场所;(2) 功能完善:在保障完成控制功能的基础上,应尽可能将自检、报警以及安全保护等功能纳入设计方案;(3) 经济性:在保证可靠性和控制功能的基础上,还应尽可能地降低成本。

PLC 硬件设计的一般步骤为:(1) 选择适合的 PLC 机型:考虑到机型的结构合理、功能合理、类型统一和是否在线编程等问题;(2) 输入、输出的选择:分析可编程控制器控制系统的 I/O 点数,确保有足够的 I/O 点数,并有 10%~15%的 I/O 点数作为余量以备后用;(3) 输入输出模块的选择;(4) 估算用户存储容量;

(5) 专用功能模块的配置; (6) I/O 分配。<sup>[12]</sup>

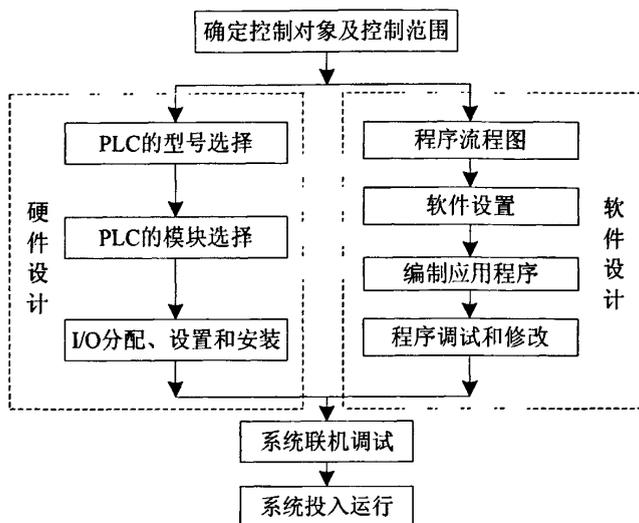


图 2-3 PLC 控制系统的设计流程图

#### 2.4.2 可编程序控制器的选用

可编程序控制器是一种专门为在工业环境下应用而设计的数字运算操作的电子装置。它采用可以编制程序的存储器，用来在其内部存储执行逻辑计算、顺序控制、定时、计算和算术运算等操作的指令，并能通过数字式或模拟式的输入和输出，控制各种类型的机械或生产过程。可编程序控制器及其有关的外围设备都应按照易于与工业控制系统形成一个整体，易于扩展其功能的原则而设计。<sup>[11]</sup>

可编程序控制器具有继电器接触器控制装置和通用计算机以及其他控制系统所不具备的特点。运行稳定，可靠性高，抗干扰能力强，设计、使用和维护方便，编程语言直观易学，可以和网络技术相结合，体积小，质量轻，能耗低。卷染机工作的地方温度较高，环境比较潮湿，染料中的化学物质具有一定的腐蚀性，工业环境比较恶劣。和单片机相比之下，选用可编程序控制器作为卷染机控制系统的控制中心处理器。

本系统选用德国 Siemens 公司的 SIMATIC S7-200 系列的 PLC。1996 年 Siemens 公司推出 SIMATIC S7 系列的 PLC，包括小型 PLC S7-200，中型 PLC S7-300，大型 PLC S7-400。S7-200 是 Siemens 自动化与驱动集团开发、生产的小型模块化 PLC 系统，一个实际的 S7-200 控制系统可由多个模块化的组件和设备组成。

S7-200 系列产品具有高性能的中央处理器，因其模块化的灵活设计而具有广泛的使用范围，同时具有极高的性价比。

S7-200 的主要特性有：具有快速的中央处理运算能力、极丰富的编程指令集、响应快速的数字量和模拟量输入/输出通道，操作便捷，易于掌握，具有强大的通讯功能和丰富的扩展模块。同时 S7-200 CPU 还集成了丰富的内置功能，具有高速计数器输入、短暂脉冲捕捉功能、高速脉冲输入、I/O 硬件中断事件、特殊功能相关的中断功能、PID 控制、PID 自整定功能，支持多种生产工艺配方和数据记录（归档）。此外，S7-200 还支持用户自定义的库指令，便于模块化编程，完善的密码和知识产权保护功能，支持在 RUN（运行）状态下的在线编程能力、直接读/写实际 I/O，具有可调整的数字量和模拟量的输入滤波，可定义数字量和模拟量在 STOP（停止）时的状态，同时支持多种数据保持设置和一个可由用户定义的 LED 状态指示灯。<sup>[13]</sup>

本系统选用 Siemens 公司的 SIMATIC S7-200 系列的 PLC，处理器单元采用 CPU226。

### 2.4.3 触摸屏的选用

触摸屏是一直最直观的操作设备，只要用手指触摸屏幕上的图形对象，计算机便会执行相应的操作。用户可以用触摸屏上的文字、按钮、图形和数字信息等，来处理或者监控不断变化的信息。

触摸屏系统一般包括两个部分：触摸检测装置和触摸屏控制器。触摸检测装置安装在显示器的显示表面，用于检测用户的触摸位置，再用该处的信息传送给触摸屏控制器。触摸屏控制器的主要作用是接收来自触摸点检测装置的触摸信息，并将它转换成触点坐标，判断出触摸的意义后送给 PLC。它同时能接收 PLC 发来的命令并加以执行，例如动态地现实开关量和模拟量。<sup>[14]</sup>

按照控制系统的要求，考虑到生产成本，根据实际需要选用了具有较高性价比的人机交互界面产品——MT506L 触摸屏。

MT506 系列触摸屏专门面向 PLC 应用，它不同于一些简单的仪表式或其它的一些简单的控制 PLC 的设备，其功能非常强大，使用非常方便，非常适合现代工业越来越庞大的工作量及功能的需求，日益成为现代工业必不可少的设备之一。

#### 2.4.4 变频器的选用

变频器是以电力电子技术、微电子技术和现代控制理论在交流调速系统中的应用为基础发展起来的智能型调速设备,通过对电力半导体器件的通断控制将电压和频率固定不变的交流电(工频)电源变换为电压或者频率可变的交流电。变频器原用于交流电动机的调速,其性能不仅超过以往的多种交、直流调速方式,而且结构简单、调速范围宽、调速精度高、控制灵活、安装调试使用方便、保护功能完善、运行稳定可靠,并且极大地简化了调速系统的应用。当把变频器用在变转矩的负载时,其节能效果尤其显著,已经成为变转矩回转设备节电的最佳方式及选择,解决了传统的调速系统所无法解决的问题。<sup>[15]</sup> 这一点正好适合运用于卷染机控制系统。

该卷染机控制系统采用交流双变频控制方式,需要两台变频器同时驱动两台异步电动机。该系统采用丹麦丹佛斯公司(Danfoss)生产的 FC300 系列高性能变频器。该产品输出功率为 0.25~3KW(单相 220V)或者 0.37~7.5KW(三相 380V),内置谐波滤波器及 LC 滤波器。转矩特性:开环速度控制,闭环速度控制,转矩控制。电动机控制原理:VVC<sup>plm</sup>,无传感器磁通矢量控制,带编码器反馈的磁通矢量控制。<sup>[16]</sup>

#### 2.4.5 温度模拟量输入模块的选择

Siemens 公司生产的几种型号的 S7-200CPU 都拥有不同的 I/O 点数和特殊功能,可以满足不同的控制需求,如果控制系统需要更多的 I/O 点数,可以通过附加 I/O 扩展模块的方式实现。为此 Siemens 生产了一系列输入/输出扩展模块。所有的扩展模块都是用自身配有的总线扩展电缆方便地连接到前面的 CPU 或者其他扩展模块。

生产过程中有许多电压、电流信号,用连续变化的形式表示流量、温度、压力等工艺参数的大小。这些信号在一定范围内连续变化。S7-200 提供了专用的模拟量模块来处理模拟量信号。模拟量信号通过模拟量模块转换后,用户程序可以通过访问模拟量数据通道,获取相应的数值数据,数值的大小与模拟量的变化对应。

温度测量模块是模拟量模块的特殊形式,可以直接连接 TC(热电偶)和 RTD

(热电阻)以测量温度。它们各自都可以支持多种热电偶和热电阻,使用时只需简单设置就可以直接得到摄氏(或华氏)温度数值。主要包括 EM 231 TC 模块(热电偶输入模块,4 输入通道)和 EM 231 RTD 模块(热电阻输入模块,2 输入通道)。温度模块通用规范如表 2-4 所示。卷染机控制系统中的温度控制子系统是一个闭环控制系统,需要一个温度反馈信号构成闭环系统。此温度信号由热电阻检测并送 EM231 RTD 模块处理,再传送至 PLC 控制器的 CPU。

表格 2-2 温度模块通用规范

模块名称和描述	尺寸 (W*H*D) /mm*mm*mm	质量 /g	损耗 /W	电源要求/mA	
				+5V DC	+24V DC
EM231 模拟输入 热电偶, 4 输入	71.2*80*62	210	1.8	87	60
EM231 模拟输入 热电阻, 2 输入	71.2*80*62	210	1.8	87	60

#### 2.4.6 总体方案的确定

根据上面的分析,确定卷染机控制系统主要包括可编程序控制器 PLC 的 CPU 模块(控制中心)、触摸屏模块(也即人机交互界面 HMI)、变频器模块(电机驱动)和 EM231 模拟输入扩展模块(智能温控)。系统结构示意图如图 2-4 所示。

(1). 可编程序控制器 PLC 选用德国 Siemens 公司的 SIMATIC S7-200 系列 CPU226。该 CPU 可带扩展模块数目为 7 个,同时自身带有 24 个数字输入通道、16 个数字输出通道和两个 RS-485 通信串口;具有高速计数器输入、短暂脉冲捕捉功能、I/O 硬件中断事件、特殊功能相关的中断功能、PID 控制自整定功能,支持多种生产工艺配方和数据记录归档等。

(2). 触摸屏选用 MT506L 触摸屏。该产品输入电压为 DC 24 V,属于四线电阻式触摸屏,具有 5.7"的蓝色 STN 显示屏,分辨率为 320×240 像素,属于灰度显示屏。采用 32 位高速 RISC 处理器,CPU 频率达到 200MHz,信号处理速度较快,图形调用能力比较强,具有 4M DRAM 和 1M 的 flash Memory。该型号触摸屏拥有一个可以和 PLC 进行通信的 RS-485 通信接口,可以方便快捷显示动态图形数据。

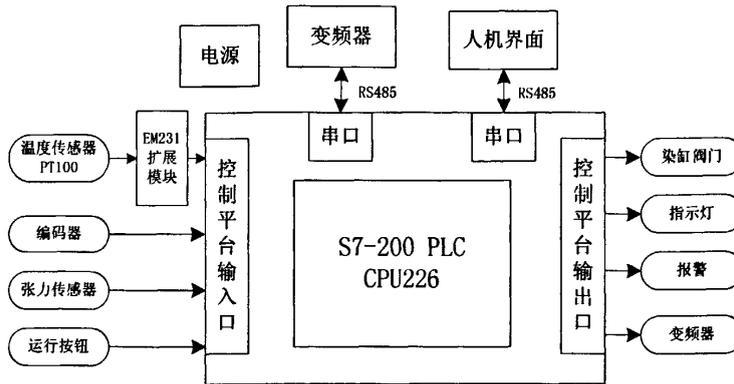


图 2-4 系统结构示意图

(3). 变频器选用丹麦丹佛斯公司生产的 Danfoss FC302，智能逻辑控制器提供了必需的 PLC 功能，具有可编程智能面板、三种安全停车功能和智能化散热系统，内置了 RFI 滤波器，DC 电抗器；具有良好的通讯功能：标准 RS485 端口；具有电机自适应功能：在静态中测试电机，测量定子阻抗，检查电机缺相，达到最佳的匹配。

(4). 选用 EM 231 RTD 模拟输入扩展模块用于温度控制子系统。该模块具有 2 个模拟输入通道，分别与染缸中的温度传感器 Pt-100 相连，检测到温度后进行处理，信号送 PLC 的 CPU226 中。

(5). 此外，根据工艺需要和实际情况，配备了运行按钮和运行指示灯等部件，并根据系统需要配备了电源管理模块。

## 第3章 控制系统硬件设计

卷染机控制系统的设计包括硬件和软件两部分。前面章节对染色设备和染色原理进行了介绍,在分析卷染机结构和工作基本原理的基础上,提出了卷染机控制系统的总体方案设计。本章将对控制系统硬件设计进行讨论。

卷染机硬件部分的设计主要包括电源管理设计、速度张力传动控制系统设计、人机交互界面硬件设计、温度控制系统设计和 PLC 硬件系统设计。

### 3.1 电源管理设计

电源管理部分主要包括主配电回路的设计和控制回路电源设计两部分。

#### 3.1.1 主配电回路的设计

主配电回路线路图如图 3-1 所示。

(1). 考虑到异步电动机和变频器的用电情况,采用三相四线制 380V AC 供电。将该三相 380V AC 电源引入电气控制柜中,并经过一个总进线空气开关 ZK1 后共给电动机、变频器和系统的控制回路使用。

(2). 考虑到用电的安全和方便性,以及出现故障时能够进行有效快速的故障排解,电动机、变频器和 PLC 控制回路都有独立的断路器进行保护,分别为 ZK2、ZK3、ZK4。

(3). 采用开关电源,将 AC 220V 电转换为 DC 24V,为 PLC 的输入(如传感器等)、输出(如指示灯、电磁阀等)和触摸屏等提供电源。

#### 3.1.2 控制回路的电源设计

PLC 的电源包括系统电源和后备电源。PLC 一般使用 220V 交流电源,电源模块的作用就是将外部输入的交流电经过整流、滤波、稳压电路转换成 PLC 的 CPU、存储器、I/O 接口等内部电路所需要的直流电源。PLC 使用开关型稳压电源,其稳压性能好,抗干扰能力强,并可为用户提供 24V 电源,作为输入传感器或输出负载的电源。

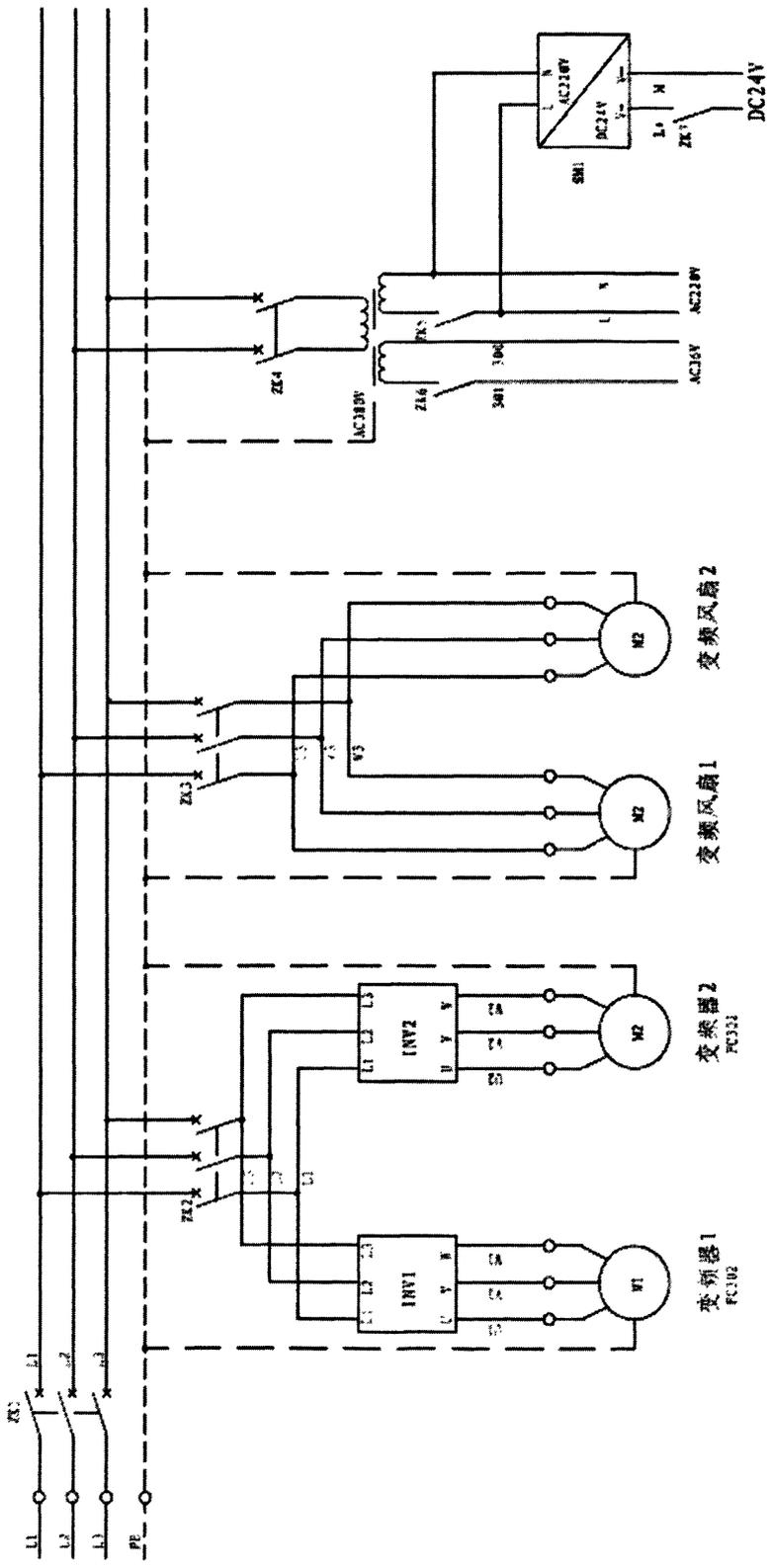


图 3-1 主配电回路线路图

控制单元电源电路如图 3-2 所示。从三相线路中任取两相作为控制电源回路的进线，经变压器后分为两路：一路为 AC36V，供染缸的照明灯用；另外一路为 AC220V，一方面作为 PLC 的交流电源，另外一方面经过开关电源转换后，输出 DC 24V，供触摸屏使用。

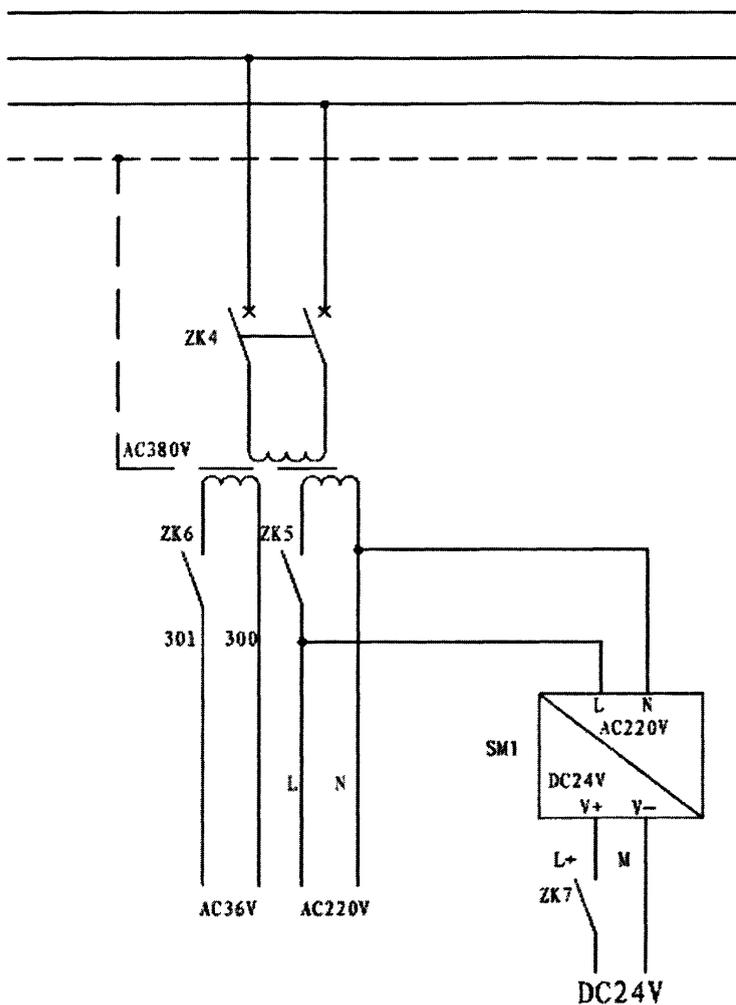


图 3-2 控制回路电源线路图

## 3.2 传动控制系统硬件设计

卷染机传动系统的控制主要是对驱动上卷辊和退卷辊的电机转速和力矩的控制。该控制系统以 SiemensS7-200 系列 PLC 作为控制器,采用触摸屏作为人机界面,主要完成的是张力、线速度的设定、布厚设定以及相关逻辑动作的控制;采用变频器驱动异步电动机;采用光电编码器检测电机的旋转速度,反馈给 PLC 和变频器,构成速度张力传动闭环控制系统。变频器和 PLC 之间采用 RS-485 通信,可以随时知道变频器主要变量的信息,减少接线,使得整个系统看起来很精简。

### 3.2.1 变频调速的原理

$$\text{异步电动机的同步转速为: } n_0 = 60f/p \quad (3-1)$$

$$\text{异步电动机的转差率定义为: } S = 1 - (n/n_0) \quad (3-2)$$

$$\text{异步电动机的转速为: } n = n_0(1-S) = 60f(1-S)/p \quad (3-3)$$

式中,  $n_0$  为异步电机的同步转速;  $n$  为异步电机转子转速;

$f$  是异步电机的定子电源频率;  $p$  为异步电机的极对数。

由转速公式 (3-3) 可见,只要设法改变三相交流异步电动机的供电频率  $f$ , 就可以十分方便地改变电动机的转速  $n$ , 比改变极对数  $p$  和转差率  $s$  两个参数简单得多。<sup>[17]</sup>

而实际上,电动机有以下的运转特性。

$$U = E_1 = 4.44f \cdot N \cdot K \cdot \Phi \quad (3-4)$$

$E_1$  为定子电动势,  $N$  为定子每相绕组匝数,  $K$  为定子的绕组系数,  $\Phi$  为气隙磁通。由式 (3-4) 可以看出,如果电源频率改变,而电源电压值不变的话,为使等式平衡,磁通将发生相应的变化,同时由于磁通的变化,电动机的机械转矩特性也发生改变。由此可以知道,单纯的改变电源频率来实现调速,并不能很好的获得良好的变频特性。只有按照特定的规律调节相应的参数,才能使电动机调速运行更有实际意义。真正变频调速时,一般需要同时改变电压和频率,以保持磁通基本恒定。

### 3.2.2 变频器的控制方式

通常意义上的低压变频器，其输出电压一般为 220~650V、输出功率为 0.2~400kW、工作频率为 0~800Hz，变频器的主电路采用交-直-交电路。根据不同的变频控制理论，其模式主要有以下几种。

(1)  $U/f$  控制方式。变频器的基本控制思想就是  $U/f=C$ ，因此在定义在频率为  $f_r$  时， $U_r$  的表达式为  $U_r/f_r=C$ ，其中  $C$  为常数，就是“压频比系数”。图 3-3 就是变频器的基本运行  $U/f$  曲线。当电动机的运行频率高于一定值时，变频器的输出电压不再随频率的上升而上升，该特定值称之为基本运行频率，用  $f_b$  表示。也就是说基本运行频率是指变频器输出最高电压时对应的最小频率。与基本运行频率对应的变频器输出电压称之为最大输出电压，用  $U_{max}$  表示。当电动机的运行频率超过基本运行频率  $f_b$  后， $U/f$  不再是一个常数，而是随着输出频率的上升而减少，电动机磁通也因此减少，变成“弱磁调速”状态。

在实际的使用中，由于电动机负载的多样性和不确定性，很多变频器厂商推出了预定义的  $U/f$  曲线和用户自定义的任意  $U/f$  曲线、 $U/f$  曲线转矩补偿、闭环  $U/f$  控制等功能。

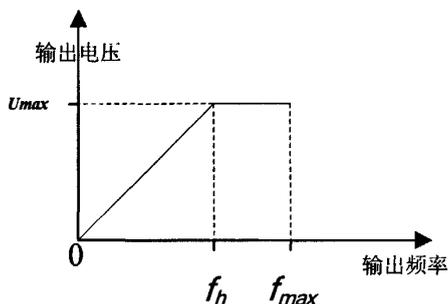


图 3-3 基本运行  $U/f$  曲线

(2) 无速度传感器矢量控制方式。通常，采用旋转编码器等速度传感器来进行转速检测，并反馈转速信号，构成高性能的转速闭环控制系统。但是，速度传感器的安装给系统带来一些缺陷，主要有：增加系统成本；编码器在电动机轴上的安装存在同心度的问题，安装不当将影响测速的精度等。

无速度传感器矢量控制方式的基本控制思想是根据输入的电动机的铭牌参数，按照一定的关系式分别对作为基本控制量的励磁电流（或者磁通）和转矩电

流进行检测,并通过控制电动机定子绕组上的电压的频率使励磁电流(或者磁通)和转矩电流的指令值和检测值达到一致,并输出转矩,从而实现矢量控制。为了达到一定的控制精度,需要对电动机参数进行调谐整定。

(3) 有速度传感器矢量控制方式(有时也称为闭环矢量控制)。有速度传感器矢量控制方式,主要用于高精度的速度控制、转矩控制、简单伺服控制等对控制性能要求严格的使用场合。在该方式下采用的速度传感器一般是旋转编码器,并安装在被控电动机的轴端。该控制方式可以从零转速起进行速度控制,即使低速也能运行,因此调速范围也很宽广,可达 1000:1;可以对转矩实行精确控制,系统的动态相应速度甚快,电动机的加速度特性很好。

在该控制方式中,变频器的参数组对于编码器 PG 有严格的定义,包括编码器 PG 每转脉冲数、编码器 PG 方向选择、编码器断线动作、编码器 PG 断线检测时间、零速检测值、编码器 PG 与电动机之间的齿轮齿数、检出电动机的过速度、检出电动机和速度指令的速度差。

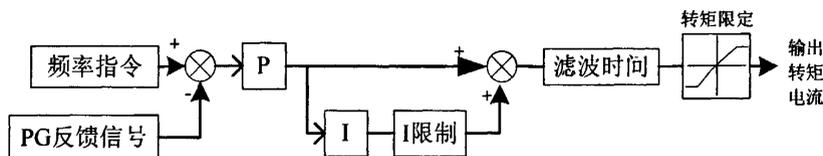


图 3-4 带速度传感器矢量控制原理框图

矢量控制时把频率指令和 PG 反馈信号进行差值比较,然后进行 PI 控制后,经过一定的滤波时间,再经过转矩限定,输出转矩电流,进入转矩环控制。如图 3-4 所示。

(4) 转矩控制方式。转矩控制根据不同的数学算法其功能结构也不同,图 3-5 所示是一种典型的采用矢量方式实现的转矩控制功能框图。现实根据转矩设定值计算出转差频率,并与变频器获得的反馈速度(一般采用编码器 PG)或者直接推算的电动机速度相加,在速度限制下输出同步频率。转矩控制时,变频器的输出频率自动跟踪负载速度的变化,但输出频率的变化受设定的加速度和减速时间影响,如需要加快跟踪的速度,需要将加速和减速时间设定得短一些。转矩分正向转矩和反向转矩,其设定可以通过模拟量端子的电平来决定。

转矩控制不能控制转速的大小。在某些传动控制系统中,转矩控制模式和速度控制模式需要不停反复切换,以便满足控制系统的需要。如图 3-6 所示是转矩

控制和转速控制切换的时序图。

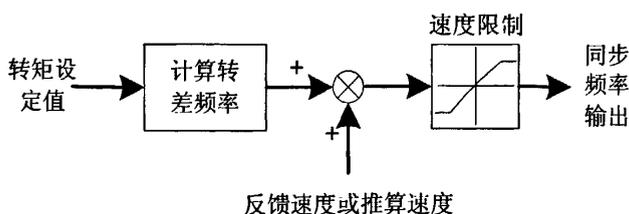


图 3-5 转矩控制功能框图

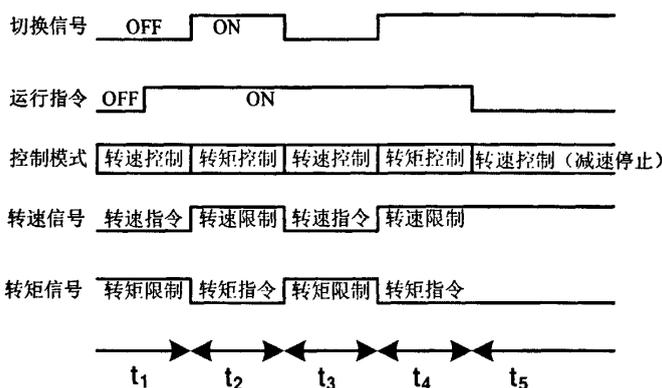


图 3-6 转矩控制和转速控制切换的时序

(1)  $t_1$ 时段：变频器发出运行指令时，如果未得到切换信号，则为转速控制模式。变频器按转速指令决定其输出频率的大小。同时，可以预置转矩上限。

(2)  $t_2$ 时段：变频器得到切换至转矩控制的信号（通常从外接电路输入），转为转矩控制模式。变频器按转矩指令决定其电磁转矩的大小。同时，必须预置转速上限。

(3)  $t_3$ 时段：变频器得到切换至转速控制的信号，回到转速控制模式。

(4)  $t_4$ 时段：变频器再次得到切换至转矩控制的信号，回到转矩控制模式。

(5)  $t_5$ 时段：变频器的运行指令结束，将在转速控制模式下按预置的减速时间减速并停止。

如果变频器的运行指令在转矩控制下结束，变频器将自动转为转速控制模式，并按预置的减速时间减速并停止。<sup>[18]</sup>

### 3.2.3 旋转编码器的选用

旋转编码器分为增量式旋转编码器和绝对式选择编码器。增量型编码器每转

一圈可产生一系列的脉冲，脉冲的数量表示角位移的测量。编码器内有一圆盘——编码盘，通常为一光学玻璃。编码盘最外圈的码道上均布有相当数量的透光与不透光的扇形区，这是用来产生计数脉冲的增量码道。扇形区的多少决定了编码器的分辨率，扇形区越多，分辨率越高。例如，一个每转 5000 脉冲的增量型编码器，其码盘的增量码道上共有 5000 个透光和不透光的扇形区。这个编码盘被安装在编码器的旋转轴上。一个 LED（光源）发射出平行且定向的光束照射在编码盘上，光敏元件接收被调制的光线并将其转化为两个相位相差 90° 的正弦波，还有一些数字电子元件放大这些信号并将其整形成正交波的脉冲序列，由电缆传动输出。<sup>[19]</sup>

编码器产生的脉冲一方面可以送到数字式速度计进行计量，另一方面也可以送入计算机，根据式（3-5）求出转速。

$$n_m = (N_c/n) * (60/t_i) \quad (r/min) \quad (3-5)$$

$n_m$  ——每分钟转数； $N_c$  ——在  $t_i$  时间内测得的脉冲数；

$n$  ——码盘上的缝隙数； $t_i$  ——测速时间。

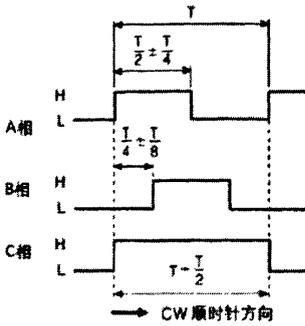
在式（3-5）中，当系统确定后， $n$  即为已知，只要测量出  $t_i$  时间内的脉冲数  $N_c$  便可计算出电动机的速度。计算的方法可以采用硬件的方法也可以用计算机软件完成。

本系统根据传动控制系统控制的需要，选用 Autonics 公司直径 50mm 轴型增量旋转编码器（E50S8 型）。<sup>[20]</sup>其型号说明如表格 3-1 所示。输出波形如图 3-7 所示。连接方式如图 3-8 所示。

表格 3-1 E50S8 型分类信息

E50S	8	5000	3	2	24	
类型	轴直径	脉冲/转	输出相	输出	电源电压	电缆
外径 φ 50mm 轴型旋转编码器	φ 8mm	见规格	2: A, B 3: A, B, Z (标准型) 4: A, $\bar{A}$ , B, $\bar{B}$ 6: A, $\bar{A}$ , B, $\bar{B}$ , Z, $\bar{Z}$	1: 推拉输出 2: NPN 集电极开路输出 3: 电压输出 L: 线性驱动输出 (*)	5: 5VDC ± 5% 24: 12-24VDC ± 5%	无标记: 一般型 (*) 2C: 电缆外接连接器
*标准: E50S8- <u>PULSE</u> -3-2-24(12-24VDC)		*标准: A, B, Z		*Line driver 输出的电源为 5V		*电缆长度 200mm

● Totem pole 输出 / NPN 集电极开路输出 / 电压输出



● Line driver output

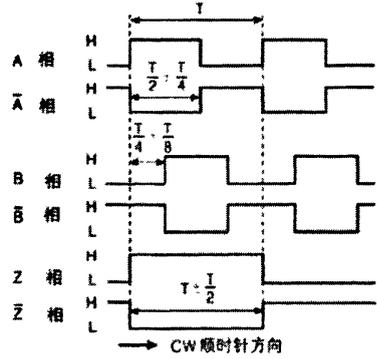
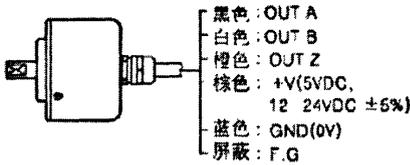


图 3-7 E50S8 型输出波形

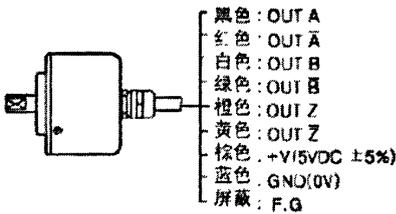
■ 标准型

● Totem pole 输出 / NPN 集电极开路输出 / Voltage 输出

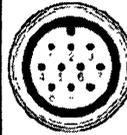


※ 主体需要防护  
※ 请注意信号线的屏蔽隔离

● 线性驱动输出



■ 电缆输出连接型



P.N No	颜色	Totem pole 输出 NPN open collector 输出 电压输出	Line driver 输出
①	黑色	OUT A	OUT A
②	红色	N.C	OUT A-bar
③	棕色	+V	+V
④	蓝色	GND	GND
⑤	白色	OUT B	OUT B
⑥	绿色	N.C	OUT B-bar
⑦	黄色	OUT Z	OUT Z
⑧	紫色	N.C	OUT Z-bar
⑨	屏蔽	F.G	F.G
⑩	棕色	N.C	N.C

※ N.C: 不连接  
※ F.G(接入地)

图 3-8 E50S8 连接方式

3.2.4 变频器与 PLC 通信

3.2.4.1 串口通信技术

串口是计算机上一种非常通用设备通信的协议。串口按位 (bit) 发送和接收字节, 用于 ASCII 码字符的传输。通信使用 3 根线完成: 地线、发送和接收。串口通信最重要的参数是波特率、数据位、停止位和奇偶校验。对于两个进行通信的端口, 这些参数必须匹配。

RS-232 (ANSI/EIA-232 标准) 是美国 EIA (电子工业联合会) 与 BELL 等公司一起开发并于 1969 年公布的通信协议, 它适合于数据传输速率在  $0\sim 20000\text{bit/s}$  范围内的通信。RS-232 串口通信最远距离是 50 英尺。

RS-422 (EIA RS-422-A Standard) 由 RS-232 发展而来, 定义了一种平衡通信接口, 将传输速率提高到  $10\text{Mbit/s}$ , 传输距离延长到 4000 英尺, 并允许在一条平衡总线上连接最多 10 个接收器。RS-422 是一种单机发送、多机接收的单向、平衡传输规范, 被命名为 TIA/EIA-422-A 标准。为扩展应用范围, EIA 又于 1983 年在 RS-422 基础上制定了 RS-485 标准, 增加了多点、双向通信能力, 即允许多个发送器连接到同一条总线上, 同时增加了发送器的驱动能力和冲突保护特性, 扩展了总线共模范围, 后命名为 TIA/EIA-485-A 标准。<sup>[21]</sup>

RS-422、RS-485 与 RS-232 不同, 数据信号采用差分传输方式, 也称作平衡传输。差分传输使用两根线发送和接收信号, 对比 RS-232, 它能更好的抗噪声和有更远的传输距离。在工业环境中, 更好的抗噪性能和更远的传输距离是一个很大的优点。

RS-485 和 RS-422 有 DB-25、DB-15、DB-9 三种类型的连接器。DB-9 引脚较为常用, RS-485 和 RS-422 的 DB-9 各个引脚的功能如下:

数据: TXD+ (pin 8), TXD- (pin 9), RXD+ (pin 4), RXD- (pin 5)

握手: RTS+ (pin 3), RTS- (pin 7), CTS+ (pin 2), CTS- (pin 6)

地线: GND (pin 1)

#### 3.2.4.2 S7-200 的自由端口通信模式

强大而灵活的通讯能力, 是 S7-200 系统的一个重要优点。通过各种通讯方式, S7-200 PLC 和各种 HMI (人机操作界面) 产品以及智能控制模块、变频器等驱动装置紧密地联系起来。S7-200 系统支持的主要通讯方式有 PPI 协议、MPI 协议、PROFIBUS-DP 网络通讯、以太网通讯、AS-Interface、自由端口通讯协议等。S7-200 CPU 的通信口在电气上是标准的 RS485 半双工串行通信口。此串行字符通信的格式可以包括:

- (1) 一个起始位;
- (2) 7 位或者 8 为自负 (数据字节);

(3) 一个奇/偶校验位, 或者没有校验位;

(4) 一个停止位。

自由端口通信速率可以设置为 1200、2400、4800、9600、19200、38400、57600 或者 112500bit/s。凡是符合这些格式的串行通信设备, 理论上都可以和 S7-200CPU 进行通信。

自由端口通讯是建立在半双工 RS485 硬件基础上的一种通讯协议, 灵活运用自由端口功能, 可以编程适应比较复杂的帧结构以实现各种通讯协议。处于自由端口通讯模式时, 通讯功能完全由用户程序控制, 所有的通讯任务必须由用户编程完成。自由端口通讯的核心是 XMT (发送) 和 RCV (接收) 两条指令对通信口操作, 以及相应的特殊寄存器控制。S7-200 CPU 使用 SMB30 (对 Port0) 和 SMB130 (对 Port1) 定义通讯口的工作模式。需要注意的是, 只有在 CPU 处于 RUN 模式下才能允许自由端口模式, 此时编程器无法与 S7-200 进行通信; 当 CPU 处于 STOP 模式时, 自由端口模式通信停止, 通信模式自动转换成正常的 PPI 协议模式, 编程器与 S7-200PLC 恢复正常的通信。

### 3.2.5 传动控制系统的硬件设计

变频器、编码器、PLC 三者组成了速度张力传动控制系统的硬件控制平台。其中, 光电编码器用于检测上卷辊和退卷辊的速度, 产生反馈信号, 同时传送给 PLC 和变频器; 变频器同时接收来自光电编码器的速度反馈信号和 PLC 的控制指令, 驱动电动机; PLC 接收光电编码器的反馈信号, 结合工艺控制需要, 进行信号处理运算, 并和变频器进行串行通信, 向变频器发出控制指令, 使系统保持等线速恒张力状态。

图 3-9 是由变频器、编码器和 PLC 构成的的传动控制系统硬件连接图。其中,  $R_1$  和  $R_2$  是两个变频器的制动电阻。PORT0 是 PLC 的 9 针串口, 分别和变频器 1 和变频器 2 的串口连接。两个编码器 (前、后) 分别和变频器相应输入脚相连。变频器输入脚 19 为速度模式和转矩模式的运行模式选择端口, 由 PLC 控制。

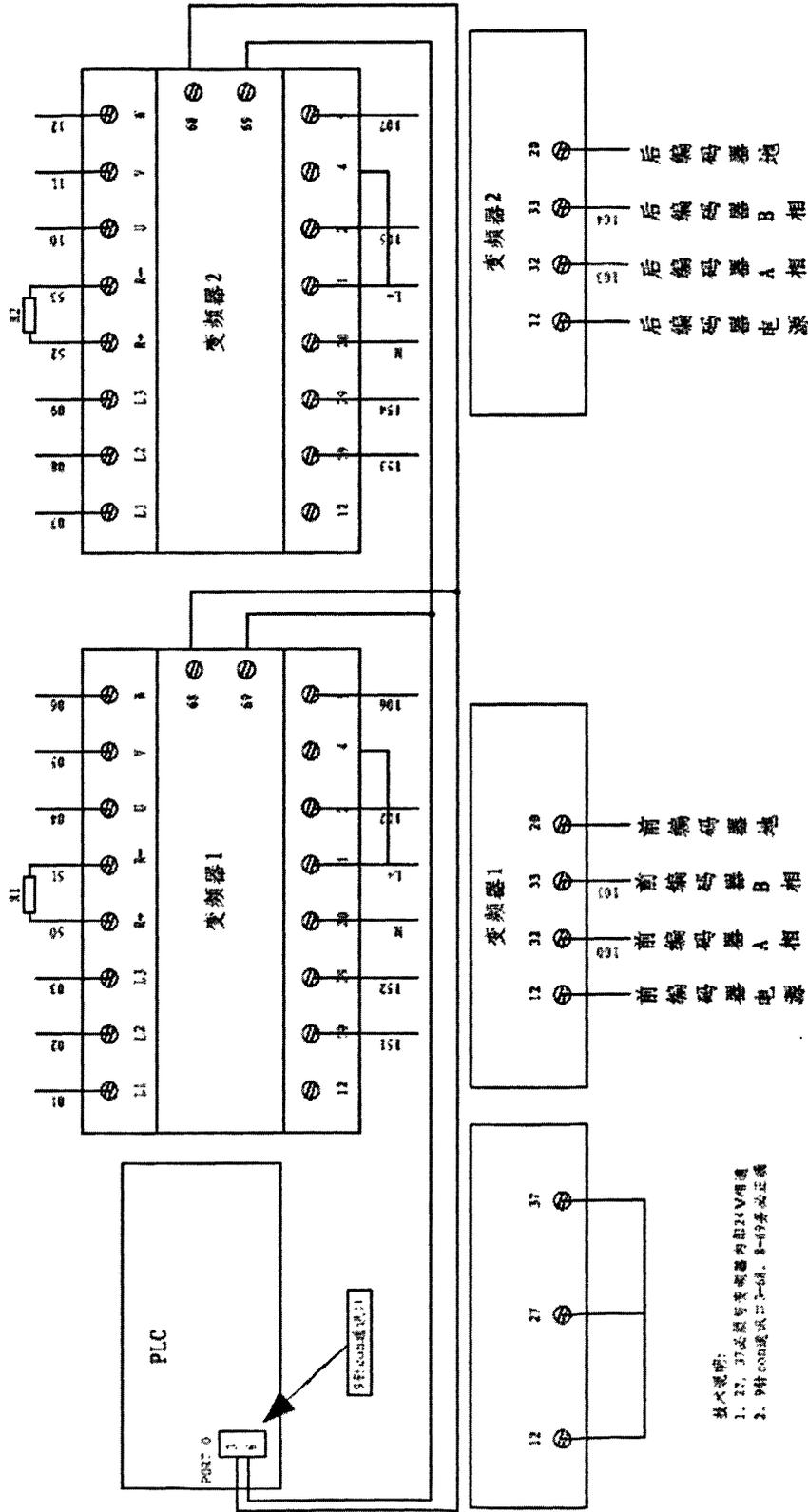


图 3-9 传动控制系统硬件连接图

### 3.3 人机交互界面硬件设计

#### 3.3.1 MT506L 的基本性能

MT506L 触摸屏属于四线电阻式触摸屏, 具有 5.7" 的显示屏, 分辨率为 320 × 240 像素。采用 32 位高速 RISC 处理器, CPU 频率达到 133MHz, 信号处理速度较快, 图形调用能力比较强, 具有 4M DRAM 和 2M 的 flash Memory。该型号触摸屏拥有一个可以和 PLC 进行通信的 RS-485 通信接口, 可以方便地显示当前动态数据。其主要技术参数如表格 3-2 所示。

MT506L 触摸屏可以拥有和 WINDOWS 系列操作系统一样的任务栏和快选窗口——工作按钮, 简单易用而又功能强大的 EasyBuilder500 组态软件使用户能以最快的速度掌握其设计方法, 并设计出一流的作品。

表格 3-2 MT506L 触摸屏主要技术参数

规格尺寸	5.7" Blue 4-灰度	触控面板	4 线电阻式
分辨率	320*240	触控精度	2 mm
亮度	60cd/m <sup>2</sup>	存储器	4MB DRAM, 1MB FlashRom
功耗	200mA*24VDC	通信口	一个 RS-232 口 (连接 PC 或 slave) 一个 RS-232/485 口 (连接 PLC)
绝缘	500VDC 50MΩ 以上	处理器	32bit RISC CPU 133MHz

#### 3.3.2 MT506L 与 PLC 的通信连接

S7-200 系列 CPU 都可以通过 CPU 单元上的编程通讯 (PPI 端口) 与触摸屏相连。其中, CPU226 有两个通讯端口, 都可以用来连接触摸屏, 但需要分别设定通讯参数。通过 CPU 直接连接时需要注意软件中通讯参数的设定。<sup>[22]</sup> MT506L 有两个通信端口, 一个是连接 PC 的 RS-232 端口, 一个连接 PLC 的 RS-485 端口。MT506L 通过 RS-485 端口和 PLC 相连通信, 如图 3-10 所示。

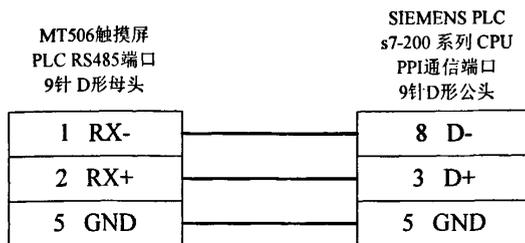


图 3-10 触摸屏和 PLC 的连接示意图

### 3.4 温度控制系统设计

染液温度是影响染色质量的主要因素，很多布料染色都要采取在一定温度下的染色工艺。采用较高温度染色可以提高染料的溶解度和上染速率。卷染机温度控制系统主要对染缸中的染液进行智能的温度控制，满足实际的染色工艺要求。

卷染机染槽分内缸、外缸，为了节能设计，内缸有两个蒸汽阀门，一主一小，负责染槽内的直接蒸汽加热管道的开关；外缸也有两个蒸汽阀门，也是一主一小，负责染槽外的间接蒸汽加热管道的开关。PLC 根据控制的需要输出相应信号控制相应蒸汽阀门。

#### 3.4.1 管路系统

本机的管路系统由蒸汽管路和水管路构成。蒸汽源先进入减压阀管路，减压至 0.2—0.3Mpa，然后分别供给布置在染槽内的直接蒸汽加热管、染槽外的间接蒸汽加热管及筒体底侧的蒸汽入管。上述三条蒸汽管路在筒体外部分别设有控制阀。

筒体上部装有 Dg50 的安全阀以保证机组安全，新机投运前或使用一段时间应对安全阀进行整定和校验，整定时安全阀的开启压力为：工作压力加上 0.02Mpa，安全阀顶部的整定螺钉旋紧时开启压力增大，放松时开启压力减少，为防止安全阀的阀芯和阀座粘住，每周对安全阀作手动或自动放汽一次。

#### 3.4.2 电阻式温度测量元件

与热电偶的压差测量原理不同的是，电阻式温度测量元件通过测量特定合金的电阻值来反映测量对象的温度并确定温度值。测量元件中的合金的电阻值随着

温度的变化而变化,不同温度值对应不同的电阻值。因此,只要测量出感温热电阻的阻值变化,就可以测量出温度。目前主要有金属热电阻和半导体热敏电阻两类。

热电阻大都由纯金属材料制成,应用最多的有铂、铜等。铂易于提纯,在氧化性介质中,甚至高温下,其物理化学性质都很稳定。铂电阻的阻值与温度之间的关系接近于线性,在 $0\sim 630^{\circ}\text{C}$ 范围内可用下式(3-6)表示:

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2) \quad (3-6)$$

式中,  $R_t$  ——温度为  $t$  时铂电阻的电阻值;

$R_0$  ——温度为  $0^{\circ}\text{C}$  时铂电阻的电阻值;

$A$ 、 $B$ 、 $C$  ——常数,由实验法获得,其中,  $A=3.96847 \times 10^{-3}/^{\circ}\text{C}^{-1}$ ,  $B=-5.847 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}^2$ ,  $C=-4.22 \times 10^{-12}/^{\circ}\text{C}^3$ 。

由此可见,当  $R_0$  值不同时,在同样的温度下其  $R_t$  值不同。目前国内统一设计的一般工业标准铂电阻,  $R_0$  值有 100 欧姆和 10 欧姆两种,并将电阻值  $R_t$  与温度  $t$  的相应关系统一列成表格,称之为铂电阻的分度表,分度号分别采用  $P_{t100}$  和  $P_{t10}$  表示。<sup>[6]</sup>

目前热电阻的引线主要有三种方式

(1). 二线制:在热电阻的两端各连接一根导线来引出电阻信号的方式叫二线制:这种引线方法很简单,但由于连接导线必然存在引线电阻  $r$ ,  $r$  大小与导线的材质和长度的因素有关,因此这种引线方式只适用于测量精度较低场合

(2). 三线制:在热电阻的根部的一端连接一根引线,另一端连接两根引线的方式称为三线制,这种方式通常与电桥配套使用,可以较好的消除引线电阻的影响,是工业过程控制中的最常用的引线电阻。

(3). 四线制:在热电阻的根部两端各连接两根导线的方式称为四线制,其中两根引线为热电阻提供恒定电流  $I$ ,把  $R$  转换成电压信号  $U$ ,再通过另两根引线把  $U$  引至二次仪表。可见这种引线方式可完全消除引线的电阻影响,主要用于高精度的温度检测。

Pt100 是最重要的有代表性的一类温度传感器。本系统采用四线制接法。

### 3.4.3 溫度模擬量輸入擴展模塊

由於選用的 CPU226 沒有模擬量輸入通道。所以本溫度硬件系統選用 Siemens EM231 AI 2X RTD 作為測溫擴展溫度，其主要技術參數如表格 3-3 所示。

表格 3-3 EM231 AI 2X RTD 主要技術參數

通用技術規範	
物理 I/O 點數	2 模擬量輸入點
LED 指示器	24V DC 電源供電良好 ON=無錯， OFF=無 24V DC 電源，SF: ON=模塊故障， 閃爍=輸入信號錯誤，OFF=無錯
模擬量輸入特性	
輸入類型	模塊參考接地 RTD
輸入範圍	RTD 類型（選一種）： Pt-100Ω, 200Ω, 500Ω, 1000Ω (α=3850PPm, 3920PPM, 3850.55 PPM, 3916PPM, 3902PM) Pt-10000Ω (α=3850PPM) Cu-9.035Ω (α=4720PPM) Ni-10Ω, 120Ω, 1000Ω (α=6720PPM, 6178PPM) R-150Ω, 300Ω, 600ΩFS
輸入分辨率	
模塊更新時間: 所有通道	405ms (Pt 10000 為 700ms)
連線長度 (最大)	100 米至傳感器
數據字格式	電阻: -27648 至 +27648
最大輸入電壓	30V DC (檢測), 5V DC (源)
分辨率	15 位+符號位
基本偏差	0.1% FS (電阻)

EM 231 熱電阻模塊提供了 S7-200 與多種熱電阻的連接接口。用戶可以通過 DIP 開關來選擇熱電阻的類型、接線方式、測量單位和開路故障的方向。所有連接到模塊上的熱電阻必須是相同類型。用戶可以直接將 EM 231 熱電阻模塊接到 S7-200 模塊上，或者用戶可用擴展接線方式。使用屏蔽線可達到最好的抗噪性。如果用戶使用屏蔽線，應將屏蔽接到信號連接器的 1 至 4 針接地點上。該接地點

与电源连接器的3至7针共地。如果有的热电阻输入通道没有使用，用户应将一个电阻器与没用的通道输入相连，以防止由于浮地输入信号产生的偏差，影响有效通道的错误显示。

### 3.4.4 温度控制子系统硬件线路图

温度控制流程方框图如图 3-11 所示。其中，蒸汽阀门一共四个，内缸有一大一小两个阀门，称为内缸主阀（通过中间继电器 KA1 连接到 PLC 的 Q0.0 端口）和内缸小阀（通过中间继电器 KA2 连接到 PLC 的 Q0.1 端口），控制染槽内的直接蒸汽加热管；外缸也是一大一小两个阀门，称为外缸主阀（通过中间继电器 KA3 连接到 PLC 的 Q0.2 端口）和外缸小阀（通过中间继电器 KA4 连接到 PLC 的 Q0.3 端口），控制染槽外的间接蒸汽加热管。热电阻 Pt100 一共两个，分别检测内缸和外缸的染液温度，将信号送至 EM231 模块，由 PLC 读取模拟通道中的温度信号。Pt100 和 EM231 的硬件接线图如图 3-12 和如图 3-13 所示。

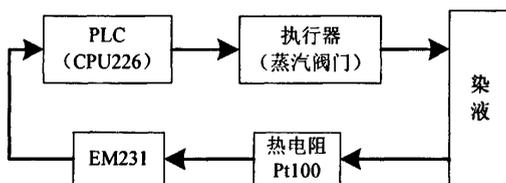


图 3-11 温度控制流程方框图

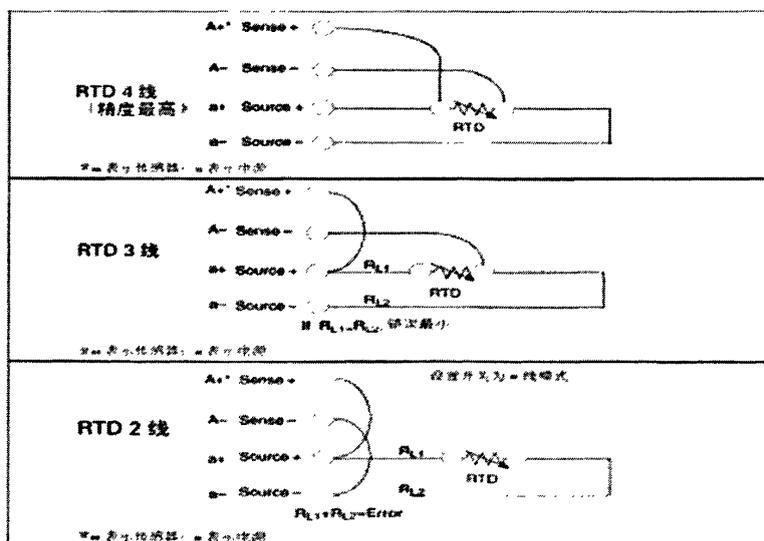


图 3-12 RTD 与热电阻传感器接线图

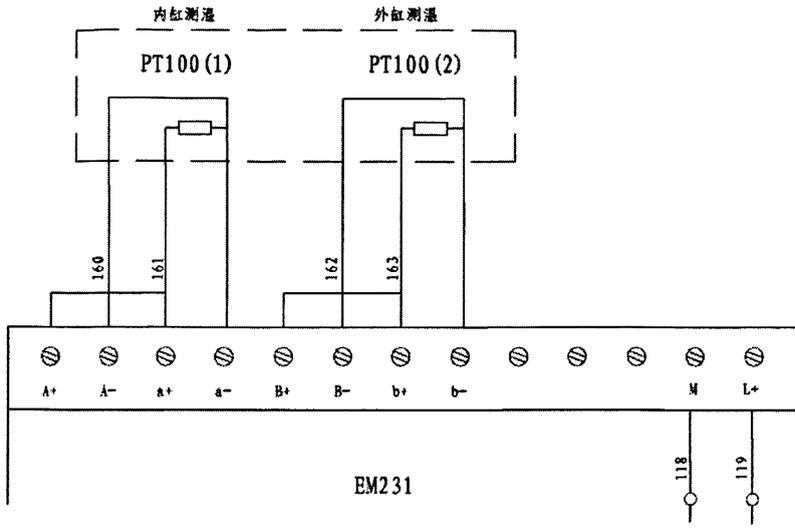


图 3-13 PT100 与 EM231 硬件连接线路图

### 3.5 PLC 硬件系统设计

综合上面的各个部分的分析,结合实际生产工艺,根据控制的需要,进行 PLC 硬件系统的设计。考虑到实际工艺的需要,加进了运行指示灯、报警指示灯、上卷按钮指示灯、退卷按钮指示灯、自动按钮指示灯、停止按钮指示灯等配件。

表格 3-4 PLC 输入输出表 (I/O)

输入 (I)				输出 (O)			
序号	功能	序号	功能	序号	功能	序号	功能
I0.0	前编码器 A 相	I1.0	停止	Q0.0	上卷按钮指示灯	Q1.0	自动按钮指示灯
I0.1	前编码器 A 相	I1.1	上卷	Q0.1	退卷按钮指示灯	Q1.1	变频器
I0.2	前变频器低速	I1.2	退卷	Q0.2	外缸主阀	Q1.2	
I0.3	后编码器 A 相	I1.3	自动	Q0.3	外缸小阀	Q1.3	
I0.4	后编码器 A 相			Q0.4	内缸主阀	Q1.4	
I0.5	后变频器低速			Q0.5	内缸小阀	Q1.5	停止指示灯
I0.6	前变频器报警			Q0.6	运行指示灯	Q1.6	停车报警
I0.7	后变频器报警			Q0.7	报警指示灯		

PLC控制系统的硬件接线图如图3-14所示,I/O口分配情况如表格3-4所示,中间继电器情况如表3-5所示。

表格 3-5 PLC 中间继电器表

继电器代号	名称	继电器代号	名称
KA1	内缸主阀	KA7	上卷按钮指示灯
KA2	内缸小阀	KA8	退卷按钮指示灯
KA3	外缸主阀	KA9	自动按钮指示灯
KA4	外缸小阀	KA10	停止按钮指示灯
KA5	运行指示灯	KA11	停车报警
KA6	报警指示灯		

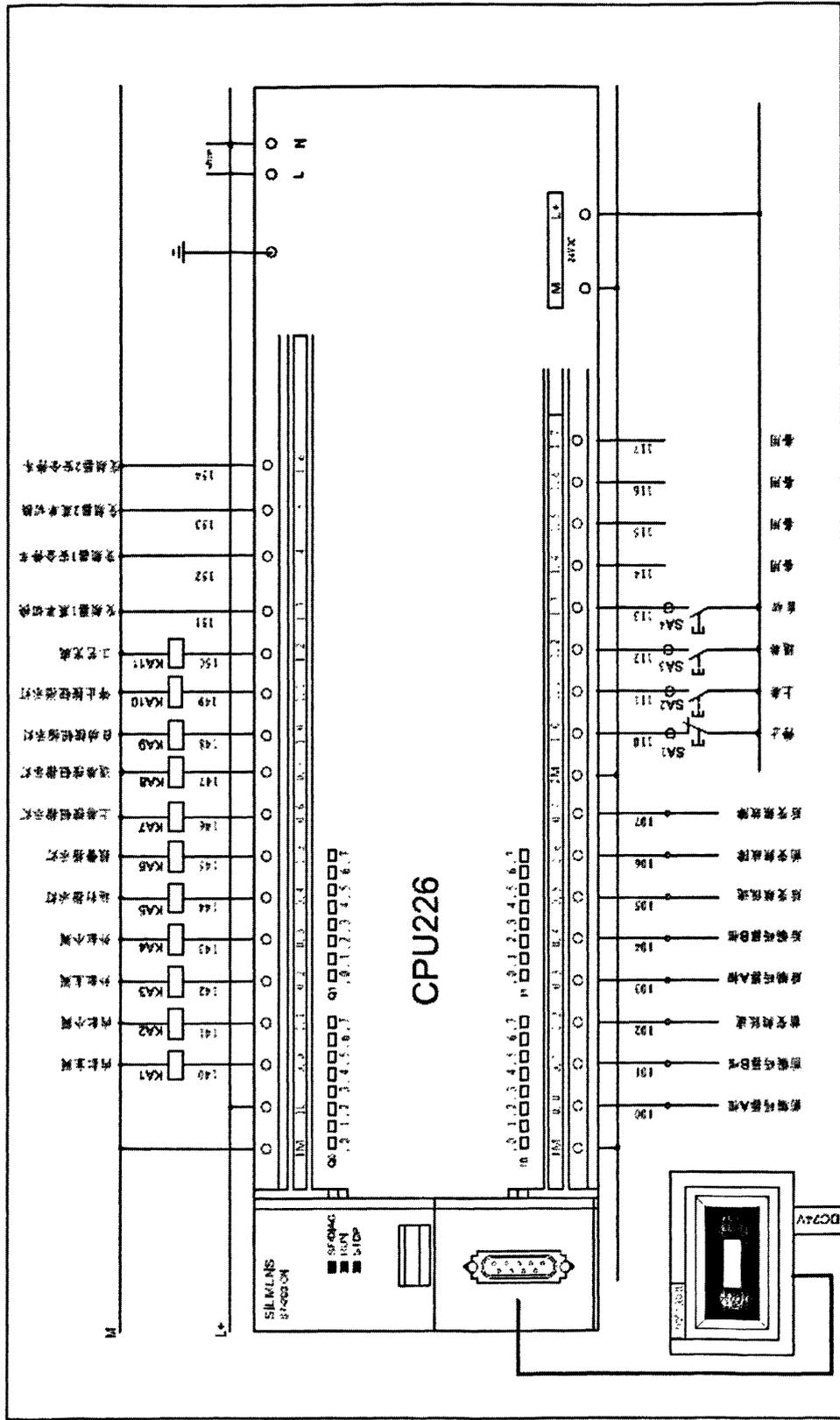


图 3-14 PLC 硬件接线图

## 第4章 控制策略及软件设计

### 4.1 速度张力传动系统的控制策略

上布时刻, PLC 记录下该布卷在辊筒上面的总圈数, 根据辊筒满布时的总直径和总圈数, 可以计算出单层布的厚度。采用这种方法获得布厚, 偏差很小。针对每种织物, 染色所需要的张力以及染色速度, 也可在触摸屏上面预先设置, 并通过串口通信传送给 PLC。传动系统采用双变频技术, 运行中驱动上卷辊的变频器工作在速度模式, 保证卷染线速度稳定; 驱动退卷辊的变频器工作在转矩模式, 保证卷染线速度和张力都稳定。变频器各参数预先设定, 工作模式的选择由 PLC 控制。

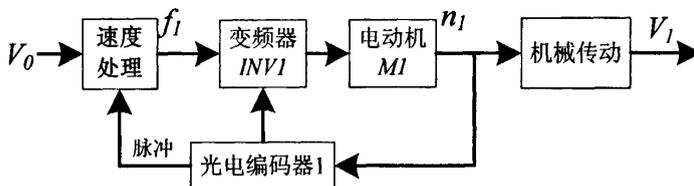


图 4-1 上卷速度控制系统

图 4-1 是上卷速度控制系统框图。上卷速度控制系统不考虑张力反馈信号, 直接由安装于电动机轴上的光电编码器检测电动机的转速, 产生高速脉冲送变频器和 PLC, PLC 的高速计数器捕获脉冲并计数。PLC 通过定时器 T 设定速度采样周期, 进入定时中断, 速度处理程序进行速度处理将检测速度  $V_t$  与设定速度  $V_0$  进行比较、处理, 向变频器发出频率指令  $f_t$ 。速度处理流程图如图 4-2 所示。<sup>[23]</sup> 根据设定的线速度  $V_0$  以及布匹的初始直径、布匹的厚度, 可以得到一个匹配电动机旋转速度的频率; 辊筒每旋转一周, PLC 会加上或减少两倍布厚, 从而得到一个新的直径, 通过这个新的直径, PLC 又能够计算出匹配线速度所需要的新的频率; 如此周而复始, 可以确保布匹线速度的恒定。

图 4-3 是退卷速度和张力控制系统框图。退卷过程对于转速的控制部分和上卷速度系统类似。恒张力的控制是利用矢量控制变频器的转矩控制功能, 实时地根据张力的设定值、补偿量以及卷轴直径计算出所需要的转矩, 从而达到控制张力的目的。此处变频器运行在转矩模式, 需考虑张力前馈信号所对应的频率变化

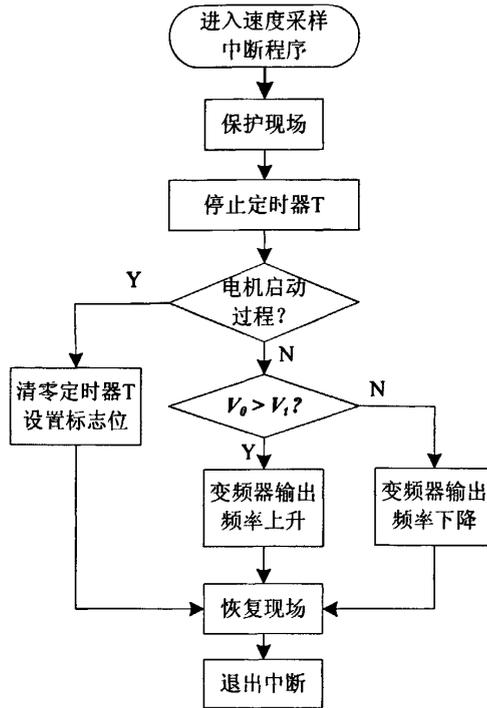


图 4-2 速度处理流程示意图

值  $\Delta f$ 。张力检测由张力测量辊、位移传感器、弹簧张力机构等完成，输出值是与布幅张力成正比的电信号。AFR<sub>r</sub>是张力调节器，输入输出关系为  $\Delta f = K_r (F_r - F_0)$ 。当  $F_r = F_0$ ,  $\Delta f = 0$ , 退卷速度  $V_r =$  上卷速度  $V_1$ , 张力等于设定值并保持恒定；当  $F_r \neq F_0$ ,  $\Delta f \neq 0$ , 退卷变频器所需实际输出频率  $f_2' = f_2 \pm \Delta f$ 。退卷变频器通过功能指令在内部以任意方式综合叠加速度频率指令  $f_2$  和  $\Delta f$ ，从而实现利用偏差信号可以实现对布幅张力的控制。<sup>[24]</sup>

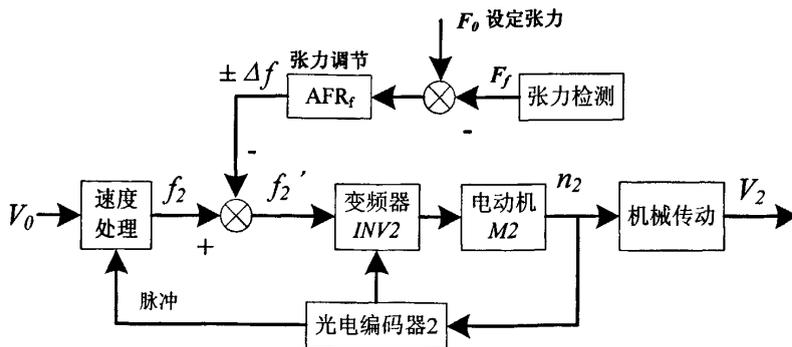


图 4-3 退卷速度和张力控制系统

## 4.2 温度控制系统控制策略

温度是工业控制领域的一个普通却又重要的控制量,卷染机的染液温度高低对染色质量具有很大的影响,必须对卷染机染液温度进行控制。温度控制的研究历史悠久,产生了许多温度控制器,比如最常见的PID控制器、智能PID控制器、自适应PID控制器等。

### 4.2.1 常规PID控制器

根据偏差的比例(P)、积分(I)、微分(D)进行控制,是控制系统中应用最为广泛的一种控制规律——常规PID控制。在工业系统中,常规的PID控制器结构如图4-4所示,PID控制器是通过将偏差信号 $e(t)$ 进行比例、积分和微分运算和其结果的加权,得到控制器的输出 $u(t)$ ,该值就是控制对象的控制值。PID控制器的数学描述为

$$u(t) = K_p \left[ e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (4-1)$$

式中, $u(t)$ 为控制器输出, $e(t) = r(t) - c(t)$ 为系统偏差信号, $r(t)$ 为系统输入量, $c(t)$ 为系统输出量。<sup>[25]</sup>  $K_p$ 为比例增益, $T_i$ 为积分时间常数, $T_d$ 为微分时间常数。式(4-1)为模拟PID控制器的数学描述。

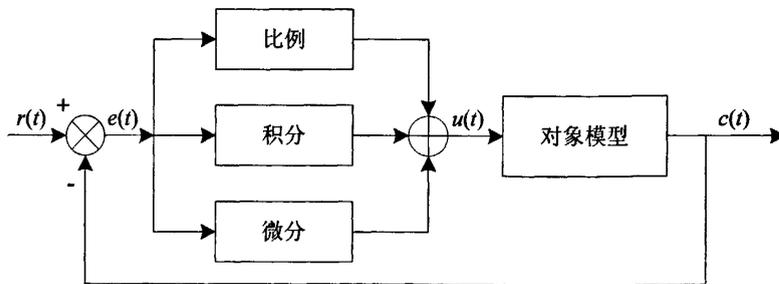


图 4-4 常规PID控制器结构

比例控制能够迅速反应偏差,从而减小偏差,但比例控制不能消除稳态偏差, $K_p$ 的加大,会引起系统的不稳定;积分控制的作用是,只要系统存在偏差,积分控制作用就不断地积累,输出控制量以消除偏差,因而,只要有足够的时间,

积分控制将能完全消除偏差, 积分作用太强会使系统超调加大, 甚至使系统出现振荡; 微分控制可以减小超调量, 克服振荡, 使系统的稳定性提高, 同时加快系统的动态响应速度, 减小调整时间, 从而改善系统的动态性能。

运用计算机 (如 PLC) 实现 PID 控制, 必须将模拟 PID 控制规律数字化。在计算机控制系统中, PID 控制规律的实现必须用数值逼近的方法。当采样周期相当短时, 用求和代替积分、用后向差分代替微分, 使模拟 PID 离散化为差分方程。数字 PID 控制规律 (或算法) 分为两种: 位置型和增量型。

### (1) 数字 PID 位置型控制算法

控制算式为:

$$u(k) = K_p [e(k) + \frac{T}{T_i} \sum_{i=0}^{k-1} e(i) + T_d \frac{e(k) - e(k-1)}{T}] \quad (4-2)$$

式中,  $T$  为采样周期,  $k$  为采样序号。式 (4-2) 表示的控制算法提供了执行机构的位置  $u(k)$ , 如阀门的开度, 所以称为数字 PID 位置型控制算式。

### (2) 数字 PID 增量型控制算法

根据式 (4-2) 可以写出  $u(k-1)$  的表达式, 即:

$$u(k-1) = K_p [e(k-1) + \frac{T}{T_i} \sum_{i=0}^{k-1} e(i) + T_d \frac{e(k-1) - e(k-2)}{T}] \quad (4-3)$$

将式 (4-2) 和式 (4-3) 相减, 既得数字 PID 增量型控制算式为:

$$\begin{aligned} \Delta u &= u(k) - u(k-1) \\ &= K_p [e(k) - e(k-1)] + K_i e(k) + K_d [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] \end{aligned} \quad (4-4)$$

其中,  $K_p$  为比例增益;

$$K_i = K_p \frac{T}{T_i} \text{ 为积分系数;}$$

$$K_d = K_p \frac{T_d}{T} \text{ 为微分系数。}$$

在控制系统中, 如果执行机构采用调节阀, 则控制量对应阀门的开度, 表征了执行结构的位置, 此时控制器应该采用数字 PID 位置型控制算法; 如果执行结构采用步进电机, 每个采样周期, 控制器输出的控制量, 是相对于上次控制量的增加, 此时控制器应采用数字 PID 增量型控制算法。<sup>[26]</sup>

### 4.2.2 智能控制技术

工业控制现场很多系统具有高度非线性、模型不确定性和复杂的任务要求等特点。传统的控制方法难以实现理想的控制，满足要求。智能控制技术在这一方面具有先天的优势。智能控制主要包括专家系统和专家控制、模糊控制、神经网络控制、学习控制几个分支。这里简单介绍模糊控制技术。

模糊控制系统的主要部件是模糊化过程、知识库（含数据库和规则库）、推理决策和精确化计算。模糊控制器应该具备三个重要功能：1）把系统的偏差从数字量转化为模糊量（模糊化过程、数据库两块完成）；2）对模糊量由给定的规则进行模糊推理（规则库、推理决策完成）；3）把推理结果的模糊输出量转化为实际系统能够接受的精确数字量或模拟量（精确化接口）。因此模糊控制器的设计问题就是模糊化过程、知识库（含数据库和规则库）、推理决策和精确化计算四部分的设计问题。<sup>[27]</sup> 图 4-5 为模糊逻辑控制系统的基本结构图。

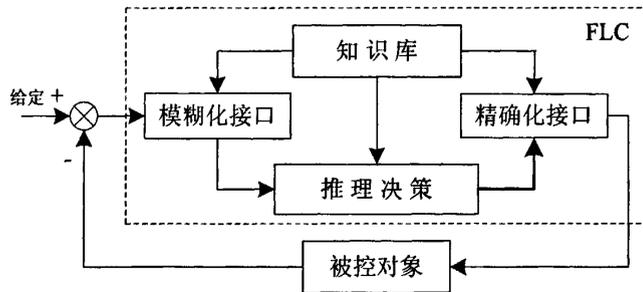


图 4-5 模糊逻辑控制系统基本结构图

### 4.2.3 温度控制系统控制策略

卷染机染缸的热容量较大，系统存在一定的热惯性。因此，卷染机温度系统是一个纯滞后、具有较大惯性的、非线性的时变系统，难以获得其精确数学模型，因此，温度系统控制策略的研究和选择对于实现温度的精确控制、确保染色质量具有重要的意义。

#### 4.2.3.1 控制策略的选择

常规 PID 控制器在大多数场合，只要参数选择恰当，都能取得较好的控制效果。但是当被控系统具有复杂、时变、非线性、大惯性和纯滞后等特性时候，单

纯用 PID 控制器难以取得令人满意的效果, 有时候甚至无法进行控制。而卷染机温度控制系统就具有这样的特点, 常规 PID 控制技术难以实现对其进行理想精确控制。

模糊控制不需要精确的数学模型, 是解决不确定性系统控制的一种有效途径。但它对信息进行简单的模糊处理会导致被控系统控制精度的降低和动态品质变差。为了提高系统的精度则必然要增加量化等级, 从而导致规则的迅速增多, 影响规则库的最佳生成, 增加系统的复杂性和推理时间, 有时还会造成不能满足实时控制要求。

综合各种要素, 要实现卷染机温度的精确控制, 可以用不同的控制方式分段控制——即染液温度偏差大于某一个阈值时, 采用纯比例控制方式, 以提高系统的响应速度; 当温度偏差减小到阈值以下时, 切换转入模糊控制, 以提高系统的阻尼性能, 减小响应过程中的超调。这就综合了比例控制和模糊控制的优点。在这种方法中模糊控制的论域仅仅是整个论域的一部分, 这就相当于模糊控制的论域已经被压缩, 等效于语言变量的语言值即分档数增加, 提高了系统的灵敏度和精确度。然而由于模糊控制的控制效果实际上没有积分的作用, 而且对输入量的处理是离散且有限的, 因而最终容易导致稳态偏差的出现, 即可能在平衡点附近出现小幅震荡现象。而 PID 控制在小范围内的调节是比较好的, 其积分作用可消除稳态偏差。

因此, 由此可采用一种分段控制算法, 综合纯比例控制、模糊控制和 PID 控制的长处。其中, 模糊控制器和 PID 控制器各自分别设计完成, 系统只是根据性能指标和设置的阈值进行判断, 在某个阶段选择哪一种控制方式。这种控制算法, 不但可以使系统处于较快的响应速度, 而且可以对系统实现高精度控制。纯比例-模糊-PID 控制器的结构如图所示。

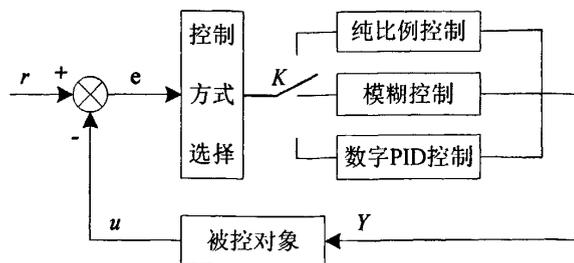


图 4-6 纯比例-模糊-PID 控制器结构示意图

设  $E_1$ 、 $E_2$  为阈值，且  $E_1 > E_2 > 0$ ， $e = r - u$ ，则控制方式的选择规则如下：

- 1) 当  $|e| \geq E_1$ ，纯比例控制；
- 2) 当  $E_2 \leq |e| < E_1$ ，模糊控制；
- 3) 当  $|e| < E_2$ ，数字 PID 控制。

这三种控制方式在系统工作过程中是根据阈值的设定分段切换采用，不会同时出现运行，相对独立运行。因此三种控制方式的设计和调试可以独立分别进行。切换与否在于阈值的设定和算法的判断，所以阈值的设置对于温度系统的控制性能尤其重要。如果从纯比例切换到模糊控制的阈值  $E_1$  设置过大，则温度控制会过早进入模糊控制状态，系统总体响应会过慢；如果  $E_1$  设置过小，则温度控制会过迟进入模糊控制状态——由于温度系统是一个大惯性系统，在接近目标温度时才由纯比例控制切换为模糊控制，这样会导致系统出现大的超调。因此要寻找一个合适的切换阈值，通过现场的调试、验证、调整，使控制达到最优。从模糊控制切换到 PID 控制，一般在输入变量偏差  $e$  的模糊值为零（ZE）时进行。<sup>[28]</sup>

#### 4.2.3.2 控制器的设计

##### (1) PID 控制器的参数整定<sup>[26]</sup>

PID 参数的整定方法采用简易工程法的扩充临界比例度法进行。其步骤如下：

1) 选择一个足够短的采用周期。采样周期必须为温度系统纯滞后时间的十分之一以下。

2) 用选定的采样周期使系统工作。这时，数字控制器去掉积分作用和微分作用，只保留比例作用。然后逐渐减小比例度  $\delta (\delta = \frac{1}{K_p})$ ，直到系统发生持续等幅振荡。记下使系统发生振荡的临界比例度  $\delta_k$  及系统的临界振荡周期  $T_k$ 。

3) 选择控制度。实际运用中，控制度仅表示控制效果的物理概念。控制度越低，则表示数字控制器的控制效果与模拟控制效果越接近；反之亦反。

4) 根据选定的控制度，查表 4-1，求得  $T$ 、 $K_p$ 、 $T_i$ 、 $T_d$  的值。

表格 4-1 按扩充临界比例度法整定参数

控制度	控制规律	$T$	$K_p$	$T_i$	$T_d$
1.05	PI	$0.03 T_k$	$0.53 \delta_k$	$0.88 T_k$	
	PID	$0.014 T_k$	$0.63 \delta_k$	$0.49 T_k$	$0.14 T_k$
1.2	PI	$0.05 T_k$	$0.49 \delta_k$	$0.91 T_k$	
	PID	$0.043 T_k$	$0.47 \delta_k$	$0.47 T_k$	$0.16 T_k$
1.5	PI	$0.14 T_k$	$0.42 \delta_k$	$0.99 T_k$	
	PID	$0.09 T_k$	$0.34 \delta_k$	$0.43 T_k$	$0.20 T_k$
2.0	PI	$0.22 T_k$	$0.36 \delta_k$	$1.05 T_k$	
	PID	$0.16 T_k$	$0.27 \delta_k$	$0.40 T_k$	$0.22 T_k$

## (2) 双输入单输出模糊控制器设计

双输入单输出模糊控制器是指模糊控制器的输入变量有两个，输出变量仍然为一个，而被控对象仍旧是单输入-单输出系统。在控制过程中，不仅对实际偏差进行调节，还要求对实际偏差变化率进行调节，这样才能保持系统稳定，不致产生振荡。

模糊控制器把温度偏差  $e$  ( $e = T - T_0$ ,  $T$  为实测温度,  $T_0$  为工艺要求温度) 和温度偏差变化率  $\dot{e}$  ( $\dot{e} = e(t) - e(t-1)$ ) 作为输入,  $u$  作为输出的控制量。双输入单输出模糊控制器的闭环系统框图如图 4-7 所示, 其中  $e$  为实际偏差,  $\alpha_e$  为偏差比例因子;  $ec$  为实际偏差变化率,  $\alpha_c$  为偏差变化率比例因子;  $u$  为控制量,  $\alpha_u$  为控制量的比例因子,  $E = \alpha_e \cdot e, EC = \alpha_c \cdot ec$ 。

模糊控制器的设计首先将精确量模糊化, 把两个输入  $e$ 、 $\dot{e}$  和一个输出  $u$  的变量都采用 13 级模糊语言变量表示:  $\{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ 。偏差  $e \in [-|e_{\max}|, |e_{\max}|]$ , 偏差变化率  $ec \in [-|ec_{\max}|, |ec_{\max}|]$ , 输出

$u \in [-|u_{\max}|, |u_{\max}|]$ , 则有  $\alpha_e = 6/|e_{\max}|, \alpha_c = 6/|ec_{\max}|, \alpha_u = 6/|u_{\max}|$ 。经过模糊化, 确定模糊规则, 经过模糊推理后, 确定模糊规则表。采用隶属度大的规则进行模糊决策, 将  $U$  经过清晰化转换成相应的确定量, 把运算结果以表格形式存储在系统。系统运行时通过查表得到确定的输出控制量, 然后输出控制量  $u$  乘以适当的比例因子  $\alpha_u$ , 得到实际的控制输出。整个模糊控制器的程序流程图如图 4-8 所示。

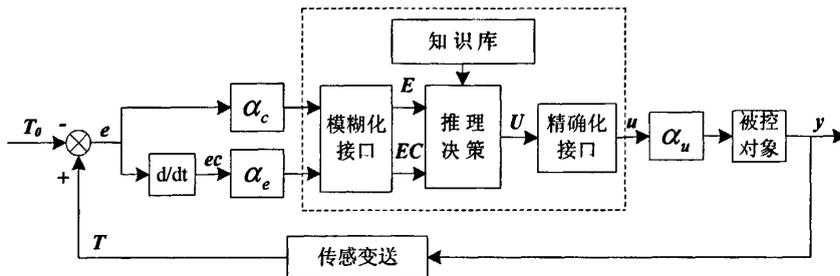


图 4-7 双输入单输出模糊控制结构图

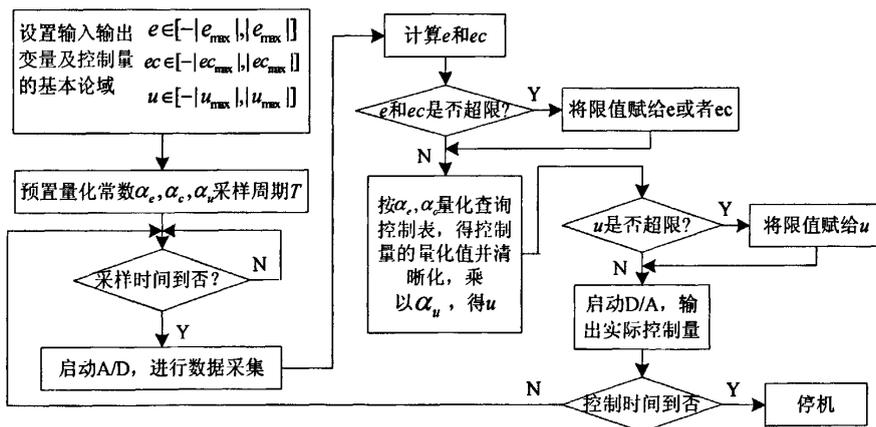


图 4-8 模糊控制器程序流程图

#### 4.2.4 温度控制策略的实现

卷染机染液由蒸汽加热。温度控制原理如图 4-9 所示。温度传感器 Pt100 检测染槽内外缸的温度并送 EM231 模块, PLC 将采样温度  $T$  与设定温度  $T_0$  进行比较, 选择适当的控制策略进行温度控制, 根据工艺需要向执行器蒸汽阀门发出控制指令, 从而实现对温度的控制。

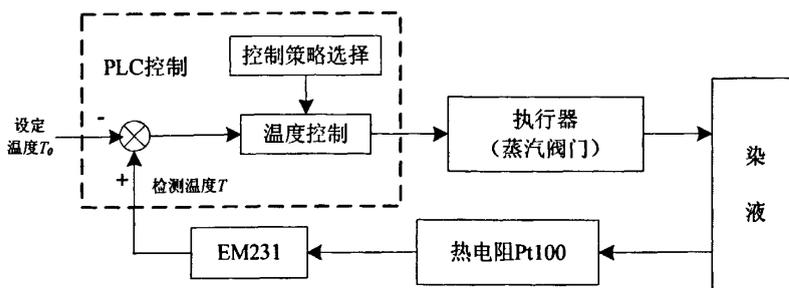


图 4-9 温度控制原理框图

其中的控制策略选择主要是根据事先所设定的阈值  $E1$  和  $E2$  ( $E1 > E2 > 0$ ) 进行判断是要采取纯比例控制、模糊控制、数字 PID 控制哪一种。高温高压卷染机的设定温度  $T_0$  一般都大于 100 度。本系统设定

$$E1 = T_0 - 100, \quad E2 = 2$$

所以，根据  $e$  ( $e = T - T_0$ ) 的情况可以做出控制策略的选择：

- 当  $|e| \geq E1$ ，纯比例控制，全速加热，尽快向目标值靠近，蒸汽阀门全开；
- 当  $E2 \leq |e| < E1$ ，模糊控制，中慢速加热，防止超调，阀门部分开闭；
- 当  $|e| < E2$ ，数字 PID 控制，保温阶段，保持温度恒定，阀门部分开闭。

染液温度的简略趋势图如图 4-10 所示。

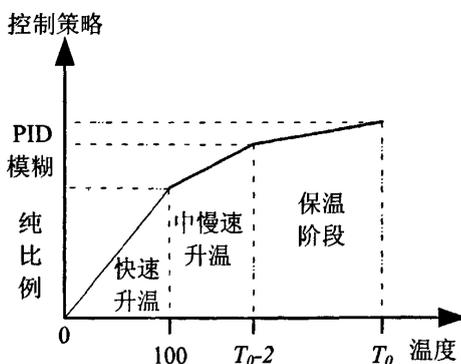


图 4-10 染液温度趋势示意图

### 4.3 PLC 程序设计

PLC 程序设计主要包括主程序的设计以及各个子程序、中断程序的设计。其

中，主程序负责控制整个系统的主流程，通过调用实现各个功能模块的子程序来实现系统的各项功能。本系统的子程序包括初始化子程序、计圈子程序、布厚计算子程序、速度卷径处理子程序、异或校验子程序、自由端口串行通信子程序等。其中，异或校验子程序供自由端口串行通信子程序调用，用来校验通信数据。

### 4.3.1 计圈子程序设计

卷绕在布辊上的织物圈数（也叫层数）是卷染机软件设计中的一个很重要的参数，主程序和其他子程序的设计都需要知道圈数的当前具体状态。在卷染生产过程中，根据工艺需要，会进行圈数清零、圈数修改等操作。计圈子程序的设计就是在织物染色过程中对左右卷辊的当前织物圈数进行统计计算，并将结果保存到指定内存中，供主程序和其他子程序调用。图 4-11 是计圈子程序算法流程图示意图。

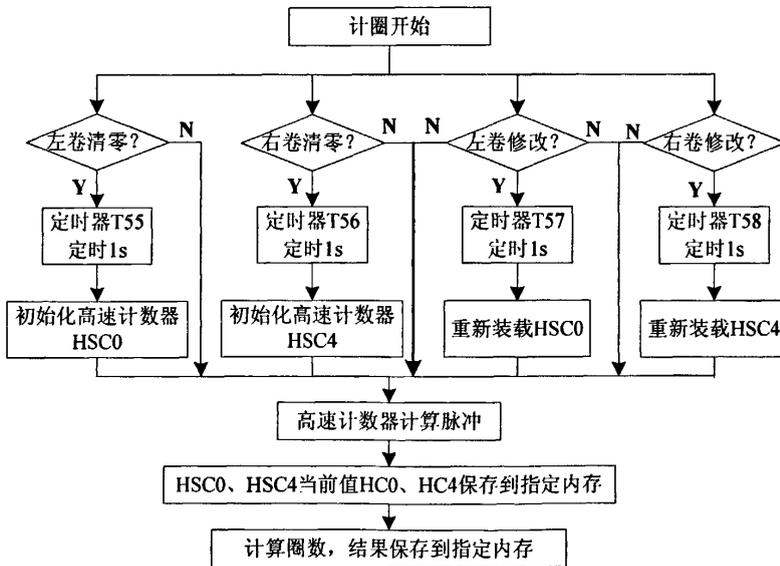


图 4-11 计圈子程序算法流程图

### 4.3.2 布厚计算子程序设计

假设左卷辊刚开始上布时，辊筒半径为  $r$ ，初始半径为  $r_{10}$ ，对应转速为  $n_{10}$ ，此时布料的圈数为  $S_{10}$ ；而右卷辊半径为  $r_{20}$ ，对应转速为  $n_{20}$ ，此时布料的圈数为

$$S_{20} \cdot \text{对应某一瞬间: } kn_{10} \cdot r_{10} = kn_{20} \cdot r_{20} \Rightarrow \frac{n_{10}}{n_{20}} = \frac{r_{20}}{r_{10}} \quad (4-5)$$

其中: 
$$\begin{cases} r_{10} = r + \delta \cdot S_{10} \\ r_{20} = r + \delta \cdot S_{20} \end{cases} \quad (4-6)$$

则有: 
$$\frac{n_{10}}{n_{20}} = \frac{r + \delta \cdot S_{20}}{r + \delta \cdot S_{10}} \Rightarrow \delta = \frac{r(\frac{n_{20}}{n_{10}} - 1)}{S_{10} - \frac{n_{20}}{n_{10}} S_{20}} \quad (4-7)$$

式 (4-7) 即为布厚  $\delta$  的计算公式。设 A 为左卷辊, B 为右卷辊, 则左右卷辊转

速的数字形式如下: 
$$\begin{cases} n_{10} = (A_1 - A)/t \\ n_{20} = (B_1 - B)/t \end{cases} \quad (4-8)$$

所以式 (4-7) 的数字形式如下: 
$$\delta = \frac{r[(B_1 - B) - (A_1 - A)]}{S_{10}(A_1 - A) - S_{20}(B_1 - B)} \quad (4-9)$$

其中: A 为某个初始时刻的累计左卷辊脉冲数;

A<sub>1</sub> 为经过时间 t 后累计左卷辊脉冲数;

B 为某个初始时刻的累计右卷辊脉冲数;

B<sub>1</sub> 为经过时间 t 后累计右卷辊脉冲数。

布厚计算子程序算法流程图如图 4-12 所示。

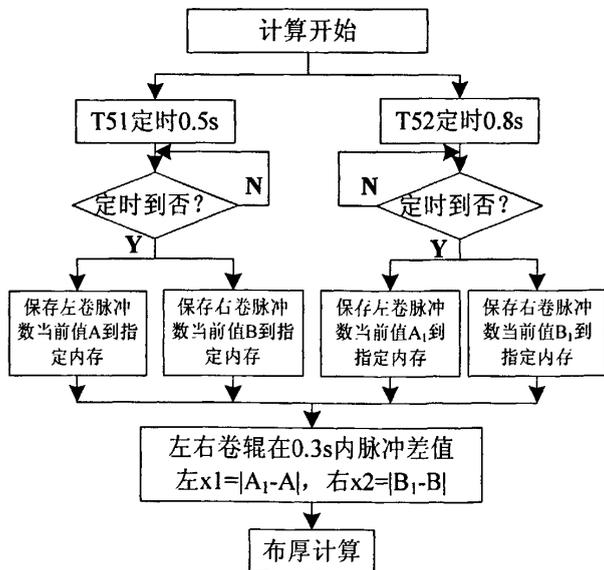


图 4-12 布厚计算子程序算法流程图

### 4.3.3 传动控制子程序设计

本章第一节介绍了速度张力传动控制策略，本小节根据控制策略进行传动控制子程序设计，主要包括前卷径（左卷径）、后卷径（右卷径）、前速度输出、后速度输出、前力矩输出、后力矩输出等参数在不同运行状态下的实时处理，使左右卷辊的运行在上下卷、摆动运行和自动运行的状态下都符合等线速恒张力的工艺要求。这里主要是一些顺序处理，程序流程图如图所示。程序代码如下。

Network 1 // 前卷径的计算

```
LD    SM0.0
LPS
MOVR  VD308, AC0
*R    LD0, AC0          //布厚乘以左卷圈数，得到此时左卷布的总厚度
/R    100.0, AC0
AR<=  AC0, 0.0
*R    -1.0, AC0
LPP
MOVR  VD312, LD12
+R    AC0, LD12        //得到前卷径（#DIA1），暂存 LD12
```

Network 2 // 后卷径计算

```
LD    SM0.0
LPS
MOVR  VD308, AC0
*R    LD4, AC0          //布厚乘以右卷圈数，得到此时右卷布的总厚度
/R    100.0, AC0
AR<=  AC0, 0.0
*R    -1.0, AC0        //取 AC0 的绝对值
LPP
MOVR  VD312, LD20
+R    AC0, LD20        //得到后卷径（#DIA2），暂存 LD20
```

Network 3 //前速度输出的处理

```
LD    SM0.0
MOVR  VD436, AC0
*R    3479.0, AC0
*R    VD488, AC0
/R    LD12, AC0      //速度系数*输出速度*减速比/前卷径
ROUND AC0, AC0
DTI   AC0, LW8      //得到前速度输出值(#SPE1), 暂存 LW8
Network 4 //后速度输出的处理
LD    SM0.0
MOVR  VD436, AC0
*R    3479.0, AC0
*R    VD488, AC0
/R    LD20, AC0     //速度系数*输出速度*减速比/后卷径
ROUND AC0, AC0
DTI   AC0, LW16    //得到后速度输出值(#SPE2), 暂存 LW16
Network 5 //前力矩输出的处理
LD    SM0.0
MOVR  LD12, AC0
/R    VD312, AC0
*R    VD320, AC0
*R    102.4, AC0    //力矩系数*实际输出张力*前卷径/D0
ROUND AC0, AC0
DTI   AC0, LW10    //得到前力矩输出(#TOR1), 暂存 LW10
Network 6 //后力矩输出的处理
LD    SM0.0
MOVR  LD20, AC0
/R    VD312, AC0
*R    VD320, AC0
*R    102.4, AC0    //力矩系数*实际输出张力*后卷径/D0
```

```

ROUND AC0, AC0
DTI AC0, LW18 //得到后力矩输出 (#TOR2), 暂存 LW18
Network 7
LD SM0.0
CRET //返回主程序

```

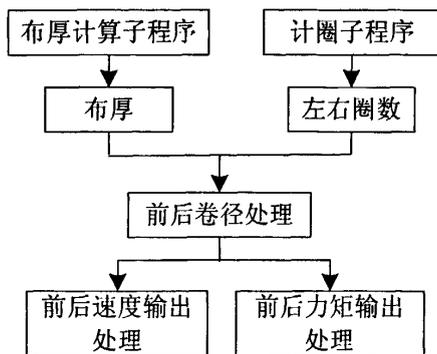


图 4-13 传动控制程序流程示意图

#### 4.3.4 自由端口模式串行通信子程序的设计

SiemensS7-200 系列 PLC 本机带有两个 485 通信接口，具有 3 种通信协议：PPI、自由通信协议和 PROFIBUS 协议。所谓自由通信协议是指由用户自己定义通信协议，用户可以通过设置特殊寄存器的参数改变 485 口的数据传输率、数据格式（数据位数、停止位、校验），以适应不同的通信协议。<sup>[29]</sup> 自由通信协议可以将 CPU226 与变频器连接，实现串行通信，这种操作模式称为自由端口模式。程序使用接收字符中断、发送完成中断、定时中断 1、发送指令和接收指令来控制通信进程，传送控制参数。

速度张力传动系统中对两根卷辊的转速和力矩的控制就是通过 PLC 和变频器通信，传送控制参数和指令来实现的。FC302 变频器连接到 CPU226 的 P0 端口，在 PLC 初始化子程序中进行自由端口初始化，图 4-14 是用于自由端口模式的 SM 控制字节说明。梯形图初始化程序命令如图 4-15 所示，将 CPU226 的 P0 口配置为偶校验、每个字符 8 位、波特率为 9600、自由端口模式。

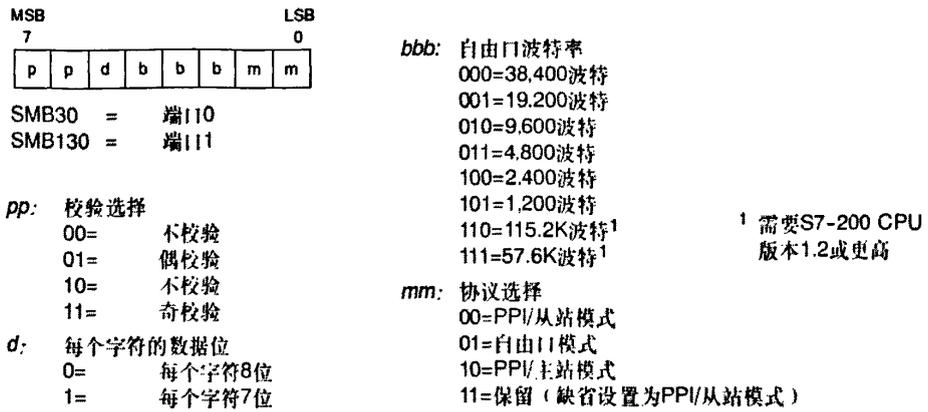


图 4-14 用于自由端口模式的 SM 控制字节 ( SM30 和 SM130 )

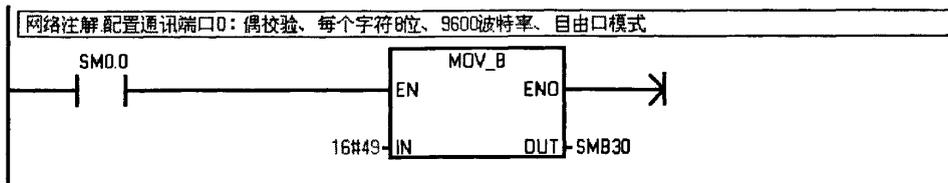


图 4-15 自由端口通信模式初始化梯形图

自由端口通信模式初始化后，主程序调用变频器和 PLC 的通信程序实现 CPU226 和 FC302 的自由通信，传送控制参数和指令。变频器和 PLC 通信子程序代码如下：

//变频器和 PLC 通信子程序

Network 1 //将变频器各参数传送到 VB1002~VW1014 的数据存储区

```

LD    Always_On: SM0.0
MOVB  #LGE: LB0, VB1002
MOVB  #ADR: LB1, VB1003
MOVW  #PKE: LW2, VW1004
MOVW  #IND: LW4, VW1006
MOVW  #PWE_HIGH: LW6, VW1008
MOVW  #PWE_LOW: LW8, VW1010
MOVW  #PCD1: LW10, VW1012
MOVW  #PCD2: LW12, VW1014

```

Network 2

```

LD    Always_On: SM0.0

```

```

CALL   BCC_CHK: SBR10, &VB1001, 15, VB1016
        //调用异或校验子程序 BCC_CHK, //计算校验和, 结果送 VB1016
ATCH   INT0, 9                //通信口 0 发送完成事件连接到中断程序 0
MOVB   150, Time-1-Intrvl: SMB35 //定时中断 1 时间间隔设置为 150ms
ATCH   INT2, 11              //启动定时中断 1
MOVB   100, VB1066
XMT    VB1000, 0             //在端口 0 向变频器报文数据
//异或校验子程序 BCC_CHK
Network 1
LD     Always_On: SM0.0
MOVB   0, LB6
MOVD   #BCC_START_ADDR: LD0, LD11 //校验开始地址送至 LD11
BTI    #DATA_LEN: LB4, LW9      //校验数据长度送至 LW9 局部变量
Network 2
LD     Always_On: SM0.0
FOR    LW7, +1, LW9           //循环次数为 LW9, 每次加 1
XORB   *LD11, LB6            //连续做异或运算, LB6 中值为 0
INCD   LD11
Network 3
LD     Always_On: SM0.0
MOVB   LB6, #BCC_RESULT: LB5 //异或校验结果送至 LB5
//中断程序 INT0
Network 1
LD     Always_On: SM0.0
DTCH   9                    //断开通信口发送完成中断事件 9
ATCH   INT1, 8              //端口 0 接收字符事件 8 连接到中断程序 1
MOVD   &VB1100, VD1060
MOVB   0, VB1064
//中断程序 INT1

```

## Network 1

LD Always\_On: SM0.0

MOVB Receive\_Char: SMB2, \*VD1060 //接收的数据送至 VD1060 地址上

INCD VD1060 //地址作加 1 运算, 准备存放新接收数据

INCB VB1064

## Network 2

LDB< VB1064, 16

CRETI

## Network 3

LD Always\_On: SM0.0

DTCH 8 //断开端口 0 接收字符中断事件

## Network 3

LDB= VB1064, 16

AB= VB1100, 16#02 //判断条件

CALL BCC\_CHK: SBR10, &VB1100, 15, VB1065

//调用异或校验子程序 BCC\_CHK, //计算校验和, 结果送 VB1065

AB= VB1065, VB1115

LPS

DTCH 11 //断开定时中断 1 事件

S M20.0, 1 //置位 M20.0

R M20.1, 1 //复位 M20.1

AB= VB1102, 1

MOVW VW1109, VW8600

LPP

AB= VB1102, 2

MOVW VW1109, VW8602

//中断程序 INT2

## Network 1

LD Always\_On: SM0.0

```

DTCH  8           //断开端口 0 接收字符中断事件
DTCH  9           //断开通信口发送完成中断事件 9
DTCH  11          //断开定时中断 1 事件
DECB  VB1066      //减 1 运算
AB>   VB1066, 0   //判定条件
ATCH  INT0, 9     //通信口 0 发送完成事件连接到中断程序 0
MOVB  150, Time-1-Intrvl:SMB35 //重新设定定时中断 1 时间间隔为 150ms
ATCH  INT2, 11    //启动定时中断 1
XMT   VB1000, 0   //发送报文数据
INCD  VD1010
CRETI           //返回
    
```

#### 4.3.5 主程序流程设计

PLC 按照循环扫描的方式，周而复始地执行一系列任务。这些任务每次至始至终地执行一遍，CPU 就经历一个扫描周期。CPU 通过监视现场的输入信号，根据程序中所编制的控制逻辑进行运算，把运算结果作为输出信号去控制现场设备的运行。PLC 主程序就通过调用各个子程序，实现系统的控制功能。图 4-16 是主程序流程图，描述了系统的结构和工作逻辑。当系统开始运行后，首先在触摸屏上进行参数设置，然后加水加压加热，开始进行布料染色过程。染色工艺结束后，进行报警并排压排液，结束染色进程。

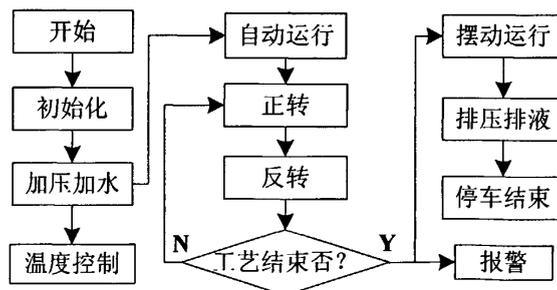


图 4-16 主程序流程示意图

## 4.4 人机交互界面的开发

### 4.4.1 WeinView MT500 系列人机界面软件

人机交互界面的开发主要在 WeinView MT500 系列人机界面的组态工具 EasyBuilder500 软件中进行。

Easy Manager 是整套 WeinView500 软件的系统综合软件，整个 WeinView500 系统共包含 3 个模块：EasyLoad[Upload(上传)和 Download(下载)]、EasyWindow(在线模拟和离线模拟)及 Easybuilder。Easybuilder 是组态软件，用来配置各种元件，一般简称 EB500。在 Easybuilder 中也可以下载及在线(或离线)模拟，但是它是通过 EasyManager 来调用其它 2 个模块的方式来实现的。在 Easybuilder 中下载、在(离)线模拟时并不需要打开 EasyManager 窗口，但是必须先设定好 EasyManager 上的相关参数(比如通信口、通信速率等)，否则这些操作可能会不能进行。EasyManager 的结构关系图如图 4-17 所示。

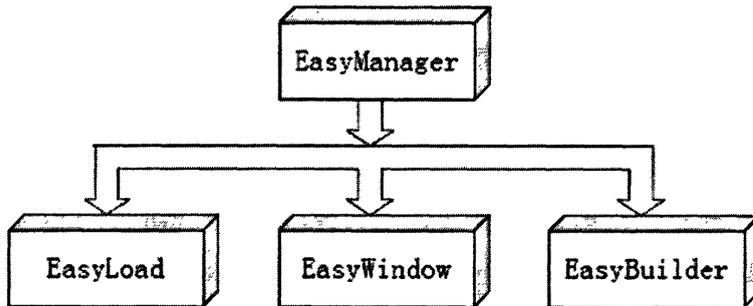


图 4-17 EasyManager 的软件结构关系图

一般人机交互界面软件主要提供了以下功能：

- (1) 指示灯(PLC I/O 显示、内部节点显示、多段指示灯等)；
- (2) 开关 (位状态型开关、多段开关、切换窗口开关等)；
- (3) 各种动态图表 (棒图、仪表、移动元件、趋势图等)；
- (4) 数据显示 (数值显示、ASCII 显示、文字显示等)；
- (5) 异常报警 (报警显示、跑马灯显示、事件显示等)；
- (6) 静态显示 (直线、圆、矩形、文字等)。

Easybuilder500 系列人机除了以上所有的功能外，还提供了特有的功能。可以同时开启 6 个弹出窗口；可以拥有和 WINDOWS 系列操作系统一样的任务栏和快

選窗口——工作按鈕；可在彈出窗口中放置窗口控制功能鍵，使彈出窗口可以最小(大)化，及任意移動窗口；方便易用而又強大的在線模擬和離線模擬功能，使繁雜的程序設計變的輕鬆有效，并可節約大量的工程調試時間。

#### 4.4.2 触摸屏和 PLC 通信參數的設置

MT506L 触摸屏與 PLC 連接後，需進行通信參數的設置。Siemens S7-200 系列 PLC 與 MT506L 触摸屏的連接參數設置說明如表格 4-1 所示，並且需要在 PLC 軟件中設置 PLC 地址為 2。表格 4-2 是可操作的地址範圍。

表格 4-2 Easybuilder500 軟件的通信參數設置

參數項	推薦設置	可選設置	注意事項
PLC 類型	SIEMENS S7/200		
通信口類型	RS485	RS232/RS485	
數據位	8	7 or 8	此協議數據位固定為 8 位
停止位	1	1 or 2	必須與 PLC 通信口設定相同
波特率	9600	9600/19200/38400/ 57600/115200	必須與 PLC 通信口設定相同
校驗	偶校驗	偶校驗/奇校驗/無	必須與 PLC 通信口設定相同
人機站號	0	0-255	對此協議不需要設定
PLC 站號	2	0-255	必須採用推薦的設定
多個人機互連	關閉	關閉/主機/副機	僅用於多個人機互連
人機互連通信速度	115200	38400/115200	僅用於多個人機互連
PLC 超時常數	3.0	1.5-5.0	請採用默認設定
PLC 數據包	0	0-10	建議在 0-10 範圍內設置

表格 4-3 可操作的地址範圍

PLC 地址類型	可操作範圍	格式	說明
I	0-4095.7	DDDO	外部輸入節點
Q	0-4095.7	DDDO	外部輸出節點
M	0-4095.7	DDDO	內部輔助節點
VW	0-10238	DDDD	數據寄存器

**說明：**D 表示十進制，O 表示八進制，範圍為 0-7。注意 VW 地址起始必須為偶數。

如果需要操作數字變量，只需在相應的元件地址屬性對話框內選擇字數為 2 即可。

上表可操作範圍為 MT500 触摸屏可操作範圍，實際 PLC 的範圍可能小於或大於此範圍。

進入 Easybuilder500 軟件後，新建好工程後，進入編輯菜單底下的系統參數設置界面，如圖 4-18 所示，進行 PLC 類型、人機類型、通訊口類型、波特率、數據位、校驗位、停止位等參數的設置。MT506L 触摸屏與 S7-200 通信時的參數設置如下：傳輸波特率為 9600bit/s，數據位為 8 位，1 個停止位，校驗位為偶校驗。PLC 應設置相同的參數，如圖 4-19 所示。



图 4-18 MT506L 触摸屏的通信参数设置



图 4-19 PLC 与触摸屏通信时的参数设置

在触摸屏中只支持 Bit 和 Word 地址类型。而实际的 PLC 或其它控制器有 Bit, Byte, Word, Double Word 等表示数据地址类型。因此, 在进行触摸屏和 PLC 的

通信时，一定要注意把 PLC 和触摸屏的数据进行变换。其变换方式可以根据在 Address Type 中表示的 PLC 的地址类型及范围不同，一般分为 4 种类型，即位 (Bit) 地址类型，字节 (Byte) 型地址，字 (Word) 地址类型，双字 (Double Word) 类型。

#### 4.4.3 触摸屏画面的总体规划

对于一个相对复杂的人机交互界面系统，必须事前做好总体的规划，才能使画面简洁有序，既能完整提供所需的功能，又实现交互界面的友好性，方便操作。在规划系统的触摸屏画面时，应仔细划分系统的功能，将同一功能的输入、输出信息放在一个画面中，便于对该功能的操作和监视。应该考虑设置初始画面和主控画面。系统上电时自动打开初始画面，一般在初始画面显示系统的一些基本信息。

主画面是最重要的画面，系统运行时一般显示主画面，主画面应显示系统主要的信息，并能进行最繁琐的操作。系统运行时，如果出现故障，应该及时了解和处理发生的故障或事故。系统要能立即给出报警信息以提示。

在确定了需要设置哪些画面后，还应确定它们之间的相对关系，可以画出画面之间的转换图，用各个画面中的画面切换按钮来实现画面之间的切换。<sup>[30]</sup>本系统的画面转换关系如图 4-20 所示。以主控画面为中心，可以切换到系统参数设置、工艺选择、手动控制、和报警信息等画面进行相应的操作。

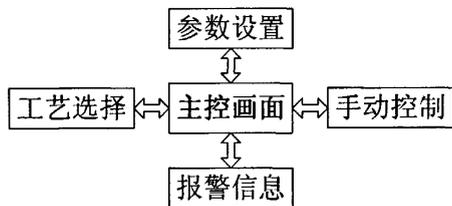


图 4-20 画面转换关系图

#### 4.4.4 触摸屏画面的设计

在对系统参数和 PLC 环境进行设定后，开始编辑，包括设计元件、添加向量图、添加位图、工作按钮等各个环境，注意将各个部件的地址和 PLC 控制系统相应地址对应起来。本系统提供了主控画面、系统参数的设置、手动控制、工艺选

择4组菜单。此外,还提供了密码保护功能,从主控画面切换到工艺选择、系统参数、手动控制等画面进行参数改动时,需要输入密码。这样就保护了系统生产参数的安全性。

(1) 主控画面。主控画面是整个触摸屏画面系统的核心,可以显示左右卷圈数、当前道数、当前内外缸温度,并可对张力、速度、手动速度、温度、道数、布厚等参数进行设置,也可以根据需要对左右圈数进行清零操作。同时可以从这里进入到其他画面。如图4-21所示,

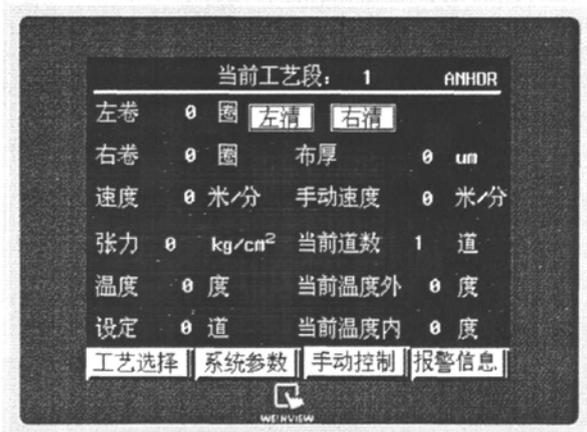


图 4-21 主控画面示意图

示意图的说明如下:

- ◆ 右/左卷圈数是显示当前右/左卷的圈数,如需清零,可常按右/左停五秒以上,右/左卷圈数显示为零时,表示已清零成功。
- ◆ 速度是指在卷染机自动运行状态下布的速度。
- ◆ 手动速度是指按上/退卷时布的速度。
- ◆ 张力是用户可根据染布工艺的需要而设定张力的的大小。
- ◆ 布厚的输入(布厚大小的设定会影响实际的张力大小)。
- ◆ 道数和温度是用户可根据染布工艺的需要而设的。
- ◆ 当前道数和温度是显示当前的道数和温度。
- ◆ 主界面有“工艺选择”可进入设定工艺参数;“手动控制”有关手动阀门的控制,以及保温参数的设定;“系统参数”可设定温度和道数。
- ◆ 报警信息是当出现故障时,进入报警画面。

(2) 工艺选择画面。可以进行对某个工艺段的温度和道数设定,也可以根

据工艺要求增加或减少工艺段。示意图如图 4-22 所示。

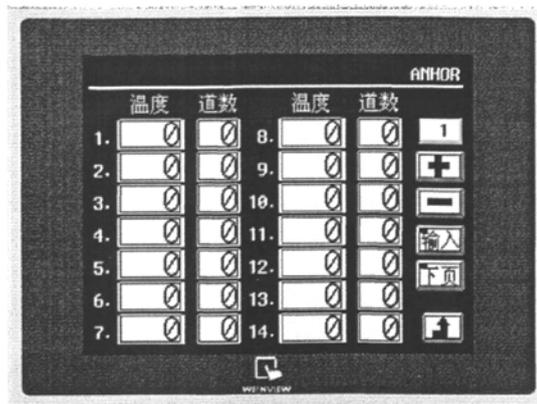


图 4-22 工艺选择画面示意图

根据用户所需的染布工艺要求，可设定温度和道数，输入完毕，将下一工艺段的温度设置比上一个温度小（否则温度还要上升），道数设为零，按“输入”触摸屏左上脚红色指示灯显示闪烁，表示正在传输数据至 PLC，红色指示灯正常指示后，表示数据传输完毕，按“返回”系统进入主界面。

(3) 系统参数画面。可以对摆动张力、摆动速度、摆动圈数、内外温度偏移等工艺参数进行设置。如图 4-23 所示。

在实际染布过程中，设定的工艺需要更改并重新开始卷染，可按“初始”，系统将重新开始按照工艺参数进行卷染。系统在升温过程处于摆动状态，用户需设定摆动的张力、速度和圈数。同时需要设定内外缸温度偏移量。

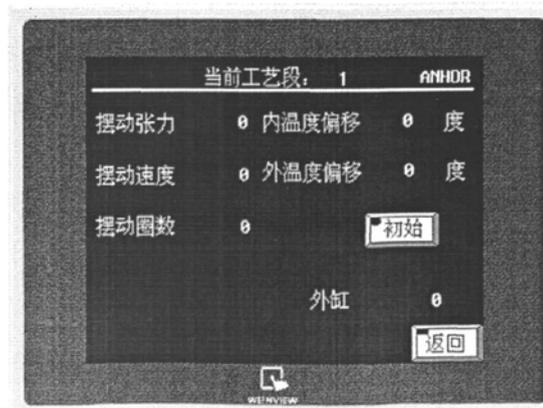


图 4-23 系统参数画面示意图

(4) 手动控制画面。可以在触摸屏上对内外缸的主阀和小阀进行控制，同时设定温度和时间，实时显示手动控制剩余时间和当前的内缸和外缸温度。示意

图如图 4-24 所示, 说明如下:

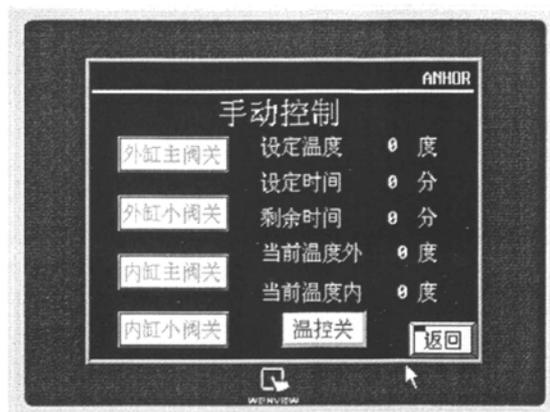


图 4-24 手动控制画面示意图

如需手动控制阀门, 先打开“温控关”按钮, (温控开/关 是受温控 PLC 控制选择的), 选择“内缸主阀开/关”手动开启内缸主阀, 会显示“内缸主阀开”表内缸主阀已打开, 再查看相应电磁是否已工作。如染缸需洗水, 要保温, 先设定温度, 时间, 系统到达设定温度后, 会根据设定的时间开始倒计时, 直到时间到达后停止。

(5) 权限管理。从主控画面切换到工艺选择画面、系统参数设置画面和手动控制画面的时候, 需要首先进入图 4-25 所示的界面。要进入相应的目的画面, 需要在图中空白区域输入原先设置好的密码。这样对工艺参数、系统参数进行有效的保护, 也方便专业的工程人员进行手动控制或者调试等。点击“返回主画面”可以回到主控画面。

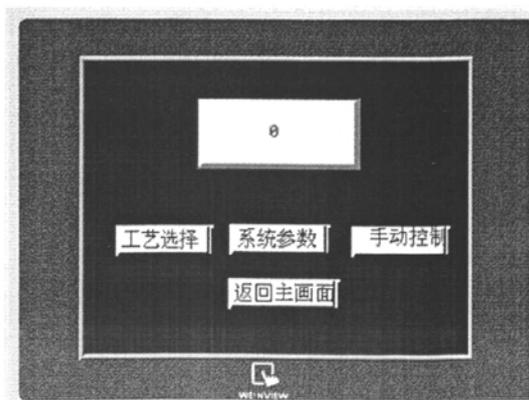


图 4-25 画面切换界面示意图

## 第 5 章 系統調試

### 5.1 PLC 軟件調試

PLC 軟件程序調試在 STEP7-Micro/WIN V4.0 中進行。STEP7-Micro/WIN V4.0 提供了一系列工具，可直接在軟件環境下調試並監視應用程序的執行情況，比如書籤、交叉參考表，運行模式下編程等。<sup>[31]</sup>

S7-200 PLC 有兩種操作模式：停止模式和運行模式。CPU 模式前面板上的 LED 狀態指示燈顯示當前的操作狀態。在停止模式下，S7-200 PLC 不執行程序，這時可以下載程序，進行組態或編程；在運行模式下，S7-200 PLC 將運行用戶程序。<sup>[32]</sup>

在 STEP7-Micro/WIN V4.0 中，可以使用狀態表監視實時數據、使用程序狀態監控觀測程序運行過程和強制監控數據等。

PLC 軟件程序的調試，主要包括幾個方面：（1）可編程序控制器是否能與触摸屏順利通信；（2）可編程序控制器是否能與變頻器順利通信；（3）自動狀態下卷染機傳動系統的各個動作順序是否正確，是否符合要求；（4）自動狀態下溫度控制子系統的閥門動作順序是否正確，加熱和保溫是否符合工藝要求；（5）手動狀態下卷染系統的動作是否正確。此外，根據調試結果，不斷調整並優化算法，使控制精度提高。

### 5.2 人機交互界面調試

#### 5.2.1 調試方法介紹

在 Easybuilder500 軟件中設計好人機交互界面後，需要進行調試。可以用 MT5-PC 電纜線（如圖 5-1 所示）將触摸屏和 PLC 或者 PC 連接起來。把 MT5-PC 電纜線的 PLC 端連接到 PLC，把 MT5-PC 電纜線的 HMI 端連接到触摸屏的 PLC [RS485] 通信口，PC 端連接到計算機的 COM 口，並在 EasyManager 上設置好計算機和触摸屏之間的通信參數，具體如下：（1）通信口選擇：選擇計算機和触摸屏相連接的計算機的串口為 COM1 或 COM2（可選擇 COM1~COM10）；（2）通信口速率選擇：在下載/上傳時決定計算機和触摸屏之間的数据傳輸速率，建議選擇 115200bps

(一般对于一些老型机器或特殊要求时才选用 38400bps)。

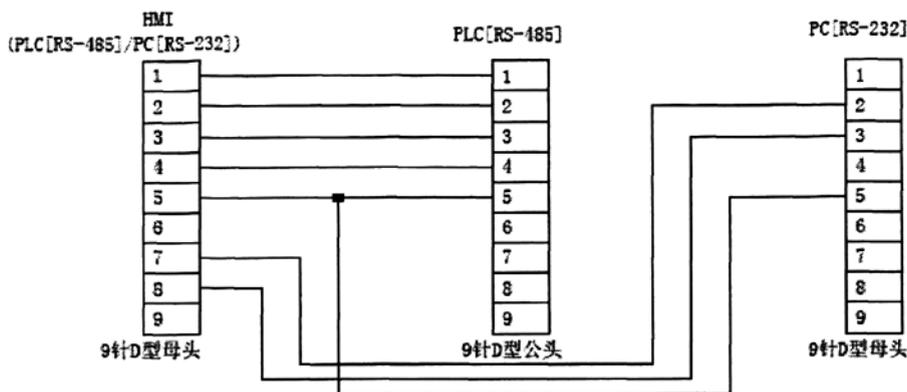


图 5-1 编程电缆 MT5-PC 电缆线接线图

编写开发好人机界面软件后，保存好工程。然后进行工程的编译，如图 5-2 所示。当编译好工程以后，就可以下载到触摸屏上进行实际的操作。在这里，下载有 2 种方式，一是通过 EasyManager 的 [Download] 来进行，另一种就是直接在 EB500 中选择菜单 [工具] 下的 [下载] 或按下图标来进行下载操作。

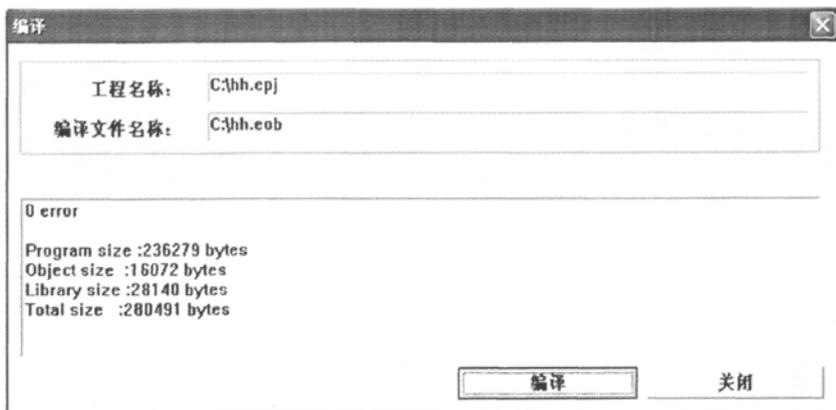


图 5-2 编译示意图

在 Easy Manager 中，主要提供了在线模拟 (OnLine-Simulator) 和离线模拟 (OffLine-Simulator) 两种模拟模式。

(1) OnLine-Simulator(在线模拟): 这里也有 2 种在线模拟执行方式，一种是通过 EasyManager 的 [Simulator]，另一种是直接在 EB500 的编辑状态下模拟。在线模拟器通过 MT500 从 PLC 获得数据并模拟 MT500 的操作。在调试时使用在线模拟器，可以节省大量的由于重复下载所花费的工程时间。在启动模拟前，要保证正确连接 MT500 和 PLC，并在 Easy Manager 中设置好 COM 口及其各种通

信参数。

方法一：通过 EasyManager。首先进入 EasyManager，设置好各项参数，然后按下 [Online-Simulator]，弹出对话框，选择需在线模拟的工程，按下 [打开] 按钮即可弹出 EasyWindow 的在线模拟屏幕。

方法二：进入 EB500，打开需在线模拟的工程，选择菜单 [编辑] 下的 [保存]，[编译]，接着选择菜单 [工具] 下的 [在线模拟] 或者按下图标  就可以直接在线模拟了。

(2) OffLine-Simulator (离线模拟)：可以离线模拟程序运行，其读取的数据都是触摸屏内部的静态数据。离线模拟不会从 PLC 获得数据，只从本地地址读取数据，因此所有的数据都是静态的。离线模拟可以在 EB500 中执行，也可以在 EasyManager 中执行。

在 EB500 中执行时首先 [保存] 文件，接着 [编译]，然后选择菜单 [工具] 中的 [离线模拟] 或者按下图标 ，就可以看到当前程序的离线模拟图了。或者在 EasyManager 中选择 [OffLine-Simulator] 也可以进行离线模拟。

### 5.2.2 触摸屏调试

触摸屏的调试主要是测试触摸屏是否能与可编程序控制器顺利通信；触摸屏中所设置的参数能否传输给 PLC，动作是否符合要求；PLC 运行中的参数能否正确传输到触摸屏显示，为实现某些功能而编写的程序是否正常工作。

## 第6章 总结及展望

### 6.1 总结

通过近两年的智能化卷染机控制系统研究,对纺织自动化的一些领域特别是卷染机控制系统的发展历程、研究现状和发展趋势有了一定的了解。当前,国内印染行业竞争激烈,企业信息化程度不高,装备自动化、智能化水平相对落后,难以适应小批量、多品种、高品质、快交货的市场要求。要解决这个问题,必须引进更加先进的印染装备。但是当前进口的智能化印染装备价格昂贵,如果只靠采用进口设备,必将增加企业成本,也不利于企业自身的技术提升。所以必须自行研究开发新型的智能化印染设备。

通过到厂房车间现场进行调研,了解产品现状和性能需求,并查阅大量文献资料,完成了智能卷染机控制系统的设计和初步调试。主要成果有以下几个方面:

(1) 提出了智能化卷染机的总体控制方案,主要包括速度张力传动控制和智能温度控制两大组成部分。构建了基于可编程序控制器的智能化卷染机硬件控制平台,包括电源管理、传动控制、人机交互界面和智能温控等模块的设计。硬件系统结构设计合理,总体性能稳定,便于维护和升级。

(2) 对智能化卷染机控制系统的控制策略进行了研究。在现有的卷染机机械结构的前提下,根据工艺需要和控制要求,提出了基于双变频技术的速度张力传动控制策略,并设计了PLC软件程序,包括计圈、布厚计算、传动控制、变频器与PLC串行通信等子程序模块的设计;针对卷染机温度系统具有的纯滞后、大惯性、时变、非线性等特性,提出了一种分段控制策略,综合运用纯比例控制、模糊控制和PID控制,实现了快速、高精度的温度控制目标。

(3) 开发了基于触摸屏的人机交互界面。对触摸屏画面进行了总体规划,设计了主控、系统参数、手动控制、工艺选择等画面,并实现了权限管理功能,给出了界面模拟运行结果。界面设计合理,人机交互性能较好。

系统现场调试运行表明,本文所设计的智能化卷染机控制系统设计合理,运行稳定,系统响应迅速,具有良好的人机交互性能。速度和张力保持动态稳定,具有较好的协调性;温度控制系统响应快速,控制精度较高。整机自动化和智能

化水平较高。

## 6.2 展望

本文的研究虽然取得了一些成果，但仍然存在需要改进的地方：

(1) 进一步开发触摸屏的功能，使人机交互界面更加友好，生产过程中以更加美观的动画方式实时显示卷染生产过程，便于操作。

(2) 采用精度更高、更稳定、抗干扰性更强、数量合理的传感器，运行信息融合技术，使采样信号更接近实际情况，为控制策略的选择奠定基础。

(3) 研究更为先进且满足实际需要的控制算法。包括传动控制算法，使卷染过程中速度和张力更为稳定可控；温度控制算法使温度控制更为精确并节能。

(4) 可以考虑开发网络化控制系统。PLC 具有通讯端口，可以考虑构建卷染机网络系统，将同一企业的染色机联网，通过一台总的上位机对每台机器分别进行工艺参数设置，实时监控并显示生产过程的状态变化。这对缩小不同染缸染色效果的差异，减少同批布料的色差有积极的作用。

总之，开发设计卷染机控制系统是一项系统的机电控制工程，应着眼于不断提高卷染生产的信息化、自动化和智能化水平。

## 参考文献

- [1] 李锋. 电脑横机控制器的硬件设计 [D]. 杭州: 浙江大学电气学院, 2006.
- [2] 陈立秋. 新型染整工艺设备 [M]. 北京: 中国纺织出版社, 2002: 1~19.
- [3] 江圣义, 方元详. 印染机械 (上、下) 北京: [M]. 纺织工业出版社, 1985.
- [4] 马时中. 我国染整设备的现状以及今后的发展方向. 染整机电学术论文资料选辑 [C]. 1988.
- [5] 盛慧英. 染整机械设计原理 [M]. 纺织工业出版社, 1984.
- [6] 陈立秋. 染整工业自动化 [M]. 北京: 中国纺织出版社, 2005.
- [7] 许益. 染整机械设备的技术进步 [J]. 纺织导报, 2007, 12: 16~28.
- [8] 纺织机械——(二) 染色设备 [J]. 纺织机械, 2003, 2: 11~14.
- [9] 王济永. 染整设备的发展趋势及国产染整设备的差距 [J]. 纺织导报, 2005, 9: 83~86.
- [10] 张洵栓. 染整概论 [M]. 北京: 中国纺织出版社, 2001: 74.
- [11] 温照方. SIMATIC S7-200 可编程序控制器教程 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2002: 2.
- [12] 鲁远栋. PLC 机电控制系统应用设计技术 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2006: 212~216.
- [13] 蔡行健. 深入浅出 Siemens S7-200 PLC: 第二版 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2003: 1~3.
- [14] 廖常初, 陈晓东. Siemens 人机界面 (触摸屏) 组态与应用技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2007: 5~8.
- [15] 陈浩. 案例解说 PLC、触摸屏及变频器综合应用 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2007: 89.
- [16] 杨公源. 变频器应用实例 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2006: 49~50.
- [17] 林瑞光. 电机与拖动基础 [M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2002: 180.
- [18] 李方圆. 变频器行业应用实践 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2006. 5: 84~103.
- [19] 马净, 王峰, 李晓光, 李南. 编码器原理及应用 [J]. 中国仪器仪表, 2002:

- 43~45.
- [20] Autonics 公司. Technical Information E50(ENB)系列[Z]: L9~L11.
- [21] 李现勇. Visual C++串口通信技术与工程技术实践(第二版)[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2004: 5~17.
- [22] 威纶公司. MT500 使用手册[Z]: 14~40.
- [23] 谈世哲, 杨汝清. 卷染机新型电传动系统的研究与设计[J]. 中国纺织大学学报, 2000, 26(3): 62~66.
- [24] 惠晶, 陈剑, 吴雪, 沈锦飞. 基于卷径参数的卷染机自适应速度控制系统[J]. 电气传动, 2003, 6: 8~11.
- [25] 颜文俊, 陈素琴, 林峰. 控制理论 CAI 教程[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 212.
- [26] 于海生. 微型计算机控制技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999: 84~86.
- [27] 韦巍. 智能控制技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004: 44.
- [28] 赵英红. 基于时间顺序控制的染色机温度模糊控制系统[D]. 中国石油大学. 2006.
- [29] 高钦和. 可编程控制器应用技术与设计实例[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2004: 300~307.
- [30] 杨卫东. 高温高压染色机控制系统研究与开发[D]. 南京: 南京理工大学, 2006.
- [31] S7-200 可编程控制器系统手册[Z]. 德国 Siemens 公司. 2007, 9.
- [32] 王永华. 现代电气控制及 PLC 应用技术: 第二版[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2008: 379~381.

## 作者简介及在学期间所取得的科研成果

### 1. 作者简介

杨壮豪（1983-），男，硕士生，主要研究方向为自动控制。

2002.10 - 2006.07      浙江大学    工学学士

2006.09 - 2008.07      浙江大学    硕士

### 2. 发表和录用的论文

- （1） 杨壮豪. 新型嵌入式电脑绣花机控制系统设计. 《现代机械》. 2008. 01: 69-71.
- （2） 杨壮豪. 新型溢流染色机控制系统. 《机电工程》2008. 01, 25 (1): 63-65.
- （3） 杨壮豪, 颜钢锋. 基于 PLC 的卷染机控制系统的开发. 《机电工程》2008 年 4 月 30 日录用。