

广东工业大学

硕士学位论文

纸箱印刷机控制系统的应用研究

姓名：徐凤阳

申请学位级别：硕士

专业：机械设计及理论

指导教师：袁清珂

20090601

摘 要

为了更好的满足市场和客户对多色纸箱印刷机质量的高精度套印要求,针对纸箱印刷机的控制系统和性能特点,对原有电气控制系统进行了技术改造,本文在原有纸箱多色印刷机的电气控制技术基础上,引入模糊 PID 控制的方法,提高了电气控制的精度。本文在广东省粤港关键技术重点突破招标项目“数字化高速高性能纸箱印刷开槽模切成套设备的研发及产业化(200649821010)”的支持下,将 Siemens 公司的 S7-200PLC 应用于纸箱印刷机的控制系统中,通过基于 USS 协议的 RS485 总线进行组网,进行 PLC 和变频器对电机的控制,经过试验研究和样机试制,取得了满意的结果。目前,所开发的控制系统已成功地应用到实际设备的生产。

本文的主要研究工作和创新点如下:

根据纸箱多色印刷成套设备对控制系统的要求,针对纸箱多色印刷成套设备传动系统中的参数变化、拖动负载变化、非线性等特点,对模糊 PID 控制方法进行了深入研究,开发了纸箱多色印刷成套设备的智能传动伺服控制系统。经仿真实验验证:将模糊 PID 控制应用到包装印刷传动智能控制系统中,提高了电气控制的精度,动、静态性能均优于传统的 PID 控制。

基于 USS 协议,优化了现场总线控制,设计了纸箱多色印刷成套设备中各控制单元之间的通信系统,开发了通信软件,实现了各单元的同步控制,使系统具有逻辑简单、抗干扰能力强等特点。

将 PLC 可编程控制器与全数字高性能的变频交流伺服系统结合,利用 PLC 的高数计数器和脉冲集成输出功能与变频器的脉冲位置控制方式,设计开发了纸箱印刷机传动控制系统,并应用到了实际设备的开发过程,从而取得了满意的结果。通过实践测试,该系统在实际的运行过程中反映出操作方便、运行稳定、安全可靠等特点。

关键词: PLC控制系统; 模糊PID控制; 变频器通信; USS协议

ABSTRACT

To better satisfy the market requirements and high-precision demands for carton printing machine control system by customers, and according to the control system and performance characteristics of carton printing machine, technology reform for original electrical control system is achieved. Based on the electrical control system of original carton printing machine, the method of Fuzzy-PID control is introduced; the precision of electrical control is promoted. This paper is supported by Canton-Hongkong Bidding Projects: research and production on carton printing machine with digital high speed and performance. Using S7-200PLC belonged to Siemens Company to control system of carton printing machine, and networking of RS485 bus based on USS protocol, PLC and inverter is used to control motor, it obtained the desired results by experimental study and prototype trial-production. At present, the developed system is successfully used to production of actual equipment.

The main research work and innovative points are as follows:

According to the requirement of carton printing machine to control system, by the characteristics of parameter changes, driving load changes, and nonlinearity in the transmission system of carton printing machine, an intensive study to Fuzzy PID control was made, the intelligent transmission servo control system was developed. Simulation experiment illustrated that putting Fuzzy PID control to transmission intelligent control system of package printing machine promoted electrical control precision, the dynamic and static performance was superior to the traditional PID control.

Based on the USS protocol, the current bus control was optimized, communication system among each control unit of carton printing machine was designed, communication software was development, synchronous control of each unit was realized, and this made the system having the characteristics of logic simpleness and strong anti-interference.

PLC was combined with frequency ac servo system, transmission control system of canton printing machine system was designed by pulse position control method for PLC high counter and pulse integrated output function and inverter, it also applied for development process of actual equipment and obtained desired results. According to practical test, this system reflected the characteristics of convenient operation, stable running, and reliable safety in the actual running process.

Key Words: PLC control system; Fuzzy PID control; Inverter communication; USS protocol

独创性声明

秉承学校严谨的学风与优良的科学道德，本人声明所呈交的论文是我个人在导师的指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，不包含本人或其他用途使用过的成果。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明，并表示了谢意。

本学位论文成果是本人在广东工业大学读书期间在导师的指导下取得的，论文成果归广东工业大学所有。

申请学位论文与资料若有不实之处，本人承担一切相关责任，特此声明。

论文作者签字：徐凤阳

指导教师签字：袁志军

2009年6月2日

第一章 绪论

1.1 纸箱包装印刷行业发展情况概述

随着人们物质文化生活水平的大幅提高和消费观念的改变,国内包装市场十年来每年以 20% 以上的速度增长,其中包装印刷市场的增长得更快,而且印刷的质量和品位也在不断地提高。现在企业家们对包装印刷的作用已经有了更新的认识^[1]。

现在瓦楞纸箱包装的色彩越来越鲜艳醒目,这是因为瓦楞纸箱包装有了一个新的任务——展示商品、促进销售。在大型超市,印刷精美的彩色纸箱更能吸引顾客的注意力,提起顾客的兴趣,刺激购买欲望。这就要求瓦楞纸箱不仅具有运输包装的功能,而且要有优良的表面印刷质量。

人们为了安全地把用折叠纸盒包装的物品或塑料袋包装的物品(如液态牛奶)运送到销售点,通常要把它们包装在瓦楞纸箱内,之所以选用瓦楞纸箱在于,与同样重量的实心纸板相比,瓦楞纸板更抗冲击,能够更好地保护内容物不受冲击损害。然而,您可能会注意到一个相当大的矛盾,即印刷精美的、可促进销售的折叠纸盒或液态牛奶包装袋被包裹在未经印刷或只印刷了一些简单文字的包装箱中,如果不打开包装箱而将其留在销售点,那么,无论折叠纸盒或液态牛奶包装袋设计得多么吸引人,印刷得多么精美,也毫无吸引力可言。在这种场合,瓦楞纸箱包装的图案设计就显得极其重要。这就是为什么现在越来越多的瓦楞纸箱都被印上了图案。

目前我国瓦楞纸板的印刷分为:胶印再对裱粘合成纸板、柔性版直接印刷、预印刷及几种特殊的印刷制箱方式等。目前国内外纸箱制作的主要方式及特点胶印间接印刷瓦楞纸箱胶印间接印刷纸箱的工艺流程为单面瓦楞纸板(单张)和胶印彩色印刷面纸(单张纸)对裱粘合成纸板模切开槽,粘合钉箱。

这种方法是用胶印印刷瓦楞纸箱面纸,然后使用单机复裱瓦楞。它可以印制图案精美的纸箱,提高了纸箱产品的印刷质量,目前我国用于销售包装的高档瓦楞纸箱大部分是胶印产品。

胶印印刷瓦楞纸箱具有以下优点:印刷产品非常精细,制版容易,可以进行

表面整饰，印刷品质比较稳定。

胶印印刷瓦楞纸箱具有以下不足：不适合采用纸板联动生产线，仅适合采用单面瓦楞机，生产效率较低，生产工序复杂，生产周期长，纸箱强度低、废品率高、生产成本低(生产场地大、劳动强度高，印刷幅面有限；交货期不够灵活等。

柔性版印刷瓦楞纸箱柔印纸箱生产的工艺流程为：瓦楞纸板生产纸板直接印刷(柔性版)模切开槽粘合钉箱常规的柔性版印刷瓦楞纸箱工艺是直接瓦楞纸板上进行印刷，使用的是水性油墨。目前在我国的纸箱厂中应用很广泛。

柔性版直接印刷具有以下优点：幅面大，宽幅的柔性版印刷机最大幅宽可达至 2.5~3.2m；价格低，柔印版耐印力很高，可重复使用；油墨价格也较低；可以联动生产（印刷、开槽、压痕）；纸箱强度降低比较少。由于柔印是轻压印刷，所以对瓦楞纸板的强度影响很小。

柔版直接印刷瓦楞纸板，虽然印刷质量较高，效率也较高，但要印出与胶印相媲美的图案还有以下三方面的困难：

瓦楞纸板在高速印刷过程中很难保持稳定；从而导致四色以上的极佳套印精度难以达到；在多色套印时，当纸箱印刷机无法保证足够的多色套印精度时，纸箱印刷就不能达到较高的要求。

预印刷瓦楞纸箱预印刷，包含两种印刷方式、凹印预印、柔印预印。凹印预印生产彩色瓦楞纸箱的方法是，使用凹版印刷机在卷筒纸上进行印刷，印刷后仍然收料成卷筒纸，再将印刷好的卷筒纸作为纸箱面纸上瓦楞纸生产线做成瓦楞纸箱板，再用模切机切成箱形。

柔印预印生产彩色瓦楞纸箱的方法是，使用柔版印刷机在卷筒纸上进行印刷，印刷后仍然收料成卷筒纸，再将印刷好的卷筒纸作为纸箱面纸上瓦楞纸生产线做成瓦楞纸箱板，再用模切机切成箱形。这两种方法制作的纸箱的印刷质量和成型质量都比较高，适合于高质量、大批量生产。柔印纸箱生产的工艺流程为：卷筒纸预印刷面纸和生产线生产的瓦楞复合粘合电脑纵切电脑横切模切开槽粘合钉箱

柔印预印刷对纸张和油墨的要求预印刷对纸有特殊的要求，涂布白板纸的印刷面有很好的彩色表现力，但在通过瓦楞高温烘道粘合过程中，涂料会有不同程度的变化，直接影响彩色表面图案效果，不是最适用的纸张；挂浆白板纸，虽然能够满足瓦楞高温烘道粘合过程的要求，但因其表面粗糙不平，导致印刷图案丢网点、不实、显现力差，同时油墨消耗量大，也不是最理想的预印用纸。实践证

明：良好的预印刷用纸应是白卡纸，它既能充分表现印刷图案色彩，又能经受瓦楞高温烘道粘合过程的考验。预印离不开油墨，对油墨的耐热性和耐摩擦性有特殊要求，预印生产的面纸在瓦楞纸生产线上进行压平及通过烘道工段时，要求使用的水墨耐高温、耐磨性好，否则彩面会被拉花，掉墨成为废品。

通过分析可知：纸箱印刷的方法很多。每一种方法都有其优缺点，要根据生产的纸箱的特点选择合适的印刷方式。特别是高质量、大批量的制作瓦楞纸箱，预印刷无疑是最好的方式。

在中国，柔印起步较晚，上世纪八十年代中期开始引进简易的层叠式柔印机。近几年，在世界柔印技术日趋完善，特别是在欧美得到迅速发展的形势下，中国业内人士对柔印工艺和技术有了新认识，开始引进高水平的各种型号柔印机。任何一种新技术的引用，都会遇到困难，柔印也不例外^[2]。

经过二十多年的努力发展，我国的包装行业取得了长足的进步。如今国内的包装工业，门类基本齐全，特别是包装专用设备制造行业得到快速的发展，形成了一定的装备供应能力，随着经济的发展和人民生活水平的提高，人们对商品包装印刷水平的要求也越来越高，包装行业对高质量的包装印刷机的需求也日渐增多。现代社会随时随地都需要印刷品，印刷品已成为人类生存和发展的重要组成部分^{[3][4]}。

印刷品是印刷的产品，而印刷术则是中华民族的伟大发明。一般地说，将图文原稿制成印版，在印版上涂布油墨，经加压将油墨转移到纸张或其它承印材料上，形成作为原稿复制品的印张，这就是传统意义上的印刷。大量的印张再经整理修饰加工即是印刷品了。可见，印刷品是通过制版、印刷和印后加工，即运用印刷技术生产的工业产品。

现代化的印刷机，主要是利用机械方式，将墨槽中的油墨传递到印版上，再从印版表面转移到承印物上。虽然转移到承印物表面的图像信息并不以数字形式存储，但是印刷机上却配置许多数字系统来监测和控制诸如颜色、套印、纸张张力、油墨密度等重要的印刷变量，用计算机使印刷机更有效地工作。

常用的模拟印刷方法有：凸版印刷、平板印刷、凹版印刷和丝网印刷等。凹版印刷的图象质量很好，这是人们所公认的。目前，凹版印刷对于印刷上百万张的印刷产品，仍然是首选的方法，如发行量巨大的刊物、有巨大市场消费量的包装用品以及特殊的装潢材料。

20 世纪 70 年代以前,凹版印刷中使用的凹版有手工和机械雕刻凹版、照相凹版(也叫影写版)两种。手工和机械雕刻的凹版,线条细腻、版纹精巧,具有很高的防伪价值,至今仍用来印刷钞票、票据等有价值证券之类的印刷品。80 年代中,出现了用电子雕刻机加工而成的电子雕刻凹版。90 年代以后,从数字化印前系统直接向雕刻机输入数据流,自动完成凹版滚筒的雕刻,即 CTP 系统率先应用于凹版制版中,大大地提高了凹版的制版速度和印版质量。

在 90 年前后,我国大型包装印刷企业根据包装印刷市场发展,先后从意大利、德国、日本等著名印刷设备商引进了多条多色凹版印刷机生产线、满足了当时国内市场需求。然而,近几年来中高档包装印刷市场的迅速增长,凹版印刷机套色自动化程度也不断的提高,单单依靠那些进口设备远远满足不了需要,而引进进口设备又是一般企业经济能力所不能承受的。这样一来,大批的中小印刷企业就在国内生产的凹版印刷机中寻找合适自己和包装印刷市场的多色凹版印刷机,其相应的自动套色系统的发展也有待提高。我们先从国产凹版印刷机的发展和技术方面入手,然后进一步研究适合国内凹版印刷机的自动套色系统的控制策略。

1.2 纸箱印刷机控制系统的现状与发展趋势

随着我国经济的进一步发展纸箱包装企业更新改造速度加快纸箱将向中高档低量化产品发展,瓦楞纸板生产线将向宽幅、高速、高精度、全自动方向发展。水性印刷开槽机将向多色、高速、高精度、柔性网点印刷方向发展然后带动印刷模切工艺发展。伴随着国际包装机械的发展,为满足现代人对商品包装多样化、精美化的消费需要,人们对包装印刷传动系统的高自动化、位置跟踪精度要求也越来越高^[9]。将微电子技术、信息处理技术、新传感技术、激光技术以及新工艺技术与新材料技术等应用于包装机械,各类先进技术以群体综合应用方式谋求实现智能化、高自动化,高效能化,这反映出现代包装机械的高科技水平和发展方向。

由于历史原因,我国的现代化包装和包装机械的发展起步较晚,基础比较薄弱,通过引进、消化、吸收、国产化生产和自主开发,包装已成为国民经济中重要产业,包装机械已成为机械工业的重要组成,并具有一定的生产能力与规模,国产包装机械产品类别品种比较齐全,有半自动化的、初级自动化的到微机控制

的现代自动化的各类包装机械，在我国微机控制方式已经普及，包装印刷机械以及包装生产中质量控制和自动检测控制设备性能都较好。

1.2.1 纸箱印刷机发展趋势

我国包装机械的生产虽然已取得很大发展，但与世界先进水平还有较大的差距。目前，一些商品没有包装或缺少适宜的包装机械，包装机械的品种还有缺口，高级自动化和多功能自动包装机、大型精密高速的先进自动包装机、先进的包装检测设备还要靠进口。目前国产包装机械控制仍以机械电器控制为主，相当于发达国家 70 年代水平，一部分采用了光电微机控制技术，达到了国外 80 年代先进水平，还有一小部分新开发的包装机械接近或达到 90 年代先进水平。下面介绍包装印刷机控制系统发展的几个阶段。

1.手动调节阶段 所有包装印刷过程全靠手动调节，套色准确与否靠工人肉眼观察，操作工人根据积累的经验调节套色。这导致操作复杂，定位误差大，动态调节慢，运行中发生严重的错位现象，工人的劳动强度相当大，而且造成浪费严重，产品质量差，现已基本淘汰。

2.半自动半手动阶段 所有包装印刷前后两色位置靠光电传感器前后两脉冲重合来套准。开机由操作工人手动调节，靠肉眼观察，基本调准位置误差在一定范围内再由光电传感器两脉冲重合套准，这种控制器采用全模拟电路，控制工程复杂，虽比全手动调节简单，但控制性能还是较低。因采用模拟电路，信号干扰大，造成套色位置精度差，产品质量达不到要求。

3.微机控制阶段 随着微电子技术的提高，伺服电机控制系统慢慢由模拟伺服系统向数字伺服系统转化，数字伺服系统可以实现高精度的位置控制，而模拟伺服系统精度较差，数字伺服系统可以随意改变控制方式。利用单片机、PLC、旋转编码器，色标传感器组成控制系统应用于控制包装印刷传动系统中，具有体积小，可靠性高，经济性好等优点。由于微电子技术、传感技术和电子计算机控制技术的应用，形成了新技术与传统技术的复合，改善了包装印刷机械的结构，提高了工作质量、精度、速度和可靠性，促进了包装机械和包装生产系统向智能化、高自动化方向发展。

4.高速印刷生产过程的在线监视阶段 目前国内外高档纸、塑包装大都采用

凹版印刷，对包装印刷的质量日益提高。包装印刷的质量要求主要有两方面：一是画面的套色精度，二是图案的色彩。在高速印刷生产中对画面套色精度和图案色彩的在线监视是保证印刷质量的关键。世界上先进凹版印刷机印刷速度大都是在 300m/min 以上，德国与美国相继研制了适合高速印刷生产过程的在线监视系统，而此技术在我国仍是空白。

在高速印刷生产过程中，印刷画面依次运行经过摄像头的视野，采用频闪灯进行同步频闪照明，由彩色 CCD 摄像头进行印刷画面的图像拍摄，图像存贮装置拍摄的图像送至监视器进行显示，直到下一幅拍摄图像传送至存贮器后，进行动态刷新。这样就把印刷过程中高速运行的画面逐幅静止地显示在监视器上，对印刷画面的套色精度和图案进行在线监视，系统的控制在 PC 机上由软件来实现，应用软件包括整机控制、图像采集、预处理和图像存贮、变换等，具有友好的操作界面。主要的控制功能有：

- (1) 监视部位的纵向、横向变换；
- (2) 监视范围大小调节；
- (3) 图象清晰度调节；
- (4) 监视周期调节；
- (5) 图象存取 15 幅，按号存取，自动覆盖。

应用该系统对高速印刷生产过程进行在线监视可减少初期对版时间。在印刷过程中及时调节套色系统和各色油墨浓度，降低了废品率，大幅度提高印刷质量和生产效率。

5.现代机电设备的网络结构在高速多色印刷机中的应用 随着现场总线和网络技术的发展,制造自动化网络的结构模式经历了集中式(DCS),分层式(MAP)的发展阶段而进入平面式。在今后很长一段时期内,仍以分层式和平面式相结合的混合结构体系为主。面向 21 世纪的制造自动化网络基本体系结构由设备层、自动控制层以及信息层构成,它代表今后制造自动化技术发展的一种方向。以分层式和平面式相结合的平坦体系结构是最流行的现代机电设备网络结构,它完成离

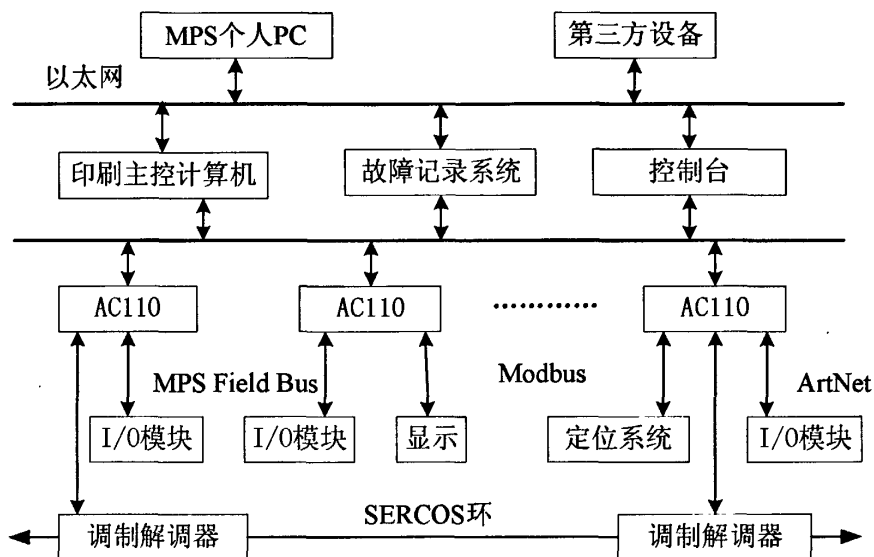


图 1-1 现代印刷设备网络结构图

Fig. 1-1 Modern printing equipment network structure

散化生产过程的逻辑控制和生产信息管理功能。它分为设备层、自动控制层、信息层。现代印刷设备网络结构图如图 1-1 所示。

设备层网络是基于现场总线技术的工业标准开放网络,用于简单的低层工业装置(传感器,拖动装置,阀门等)与高层设备(计算机,PLC)之间提供连接;自动控制层网络是基于 PLC 工业网络和现场总线技术开放或半开放网络。它将 I/O 网络和对等通信网络结合起来,成为可满足实时性和高吞吐量要求的控制网络;信息层网络是以太网标准 TCP/IP 网络,内置或侧挂具有 TCP/IP 通信能力的处理器之间能进行对等通信,传输速率为 10Mbps。

现代机电设备的特征是现场总线、网络、信息技术注入传统的机电设备,并将现代工程的系统论,信息论,控制论和智能论融为一体,从而导致机电设备的

彻底变革，而将这些高新技术应用到包装印刷技术生产线上，对推动包装印刷的发展起着不可估量的作用。

1.2.2 模糊控制在控制领域中的应用现状

随着控制技术的发展，控制理论与方法也得到发展。除了对 PID 型控制器在应用前景方面的广泛研究以外，状态空间方法，随机方法，优化控制，滤波方法以及状态估计法的理论研究及应用也取得了明显的成功^[6]。

经典的控制技术有一个明显的特征，即模型的结构非常精确。它是根据控制系统的物理、化学以及力学等特征，导出一些常常是复杂的模型方程，求解这些方程需要比较复杂的算法。目前研究的控制系统更多涉及到多变量、非线性、时变的大系统，系统的复杂性与控制技术的精确性形成了尖锐的矛盾。正如 L.A.Zadeh 所指出的，当系统日益复杂，人们对它的精密而有意义的描述的能力将相应地降低，以致达到精密与有意义成为两个几乎相互排斥的特征的地步。要想精密确切地描述复杂现象和系统的任何现实的物理状态，事实上是办不到的。这样就迫使人们在控制系统的精确性与有意义之间寻求某种平衡。1965 年美国加利福尼亚大学的自动控制教授 L.A.Zadeh 首次提出了“模糊集合”的概念，借助于“模糊集合”可以描述诸如“太高”、“很快”、“稍低”、“大幅度”等语言变量值，并且对这些语言变量值进行某种复合运算，这样就使得有人的经验参与的控制过程成为实际可能。1973 年，L.A.Zadeh 又进一步研究了模糊语言处理，给出了模糊推理的理论基础。1974 年，E.H.Mamdani 提出了模糊控制，1980 年开始模糊控制的应用研究。1984 年，国际模糊系统学会成立，1985 年，召开了第一届国际模糊系统学会的学术交流会。各个国家相继成立了模糊系统工程研究所，世界上一些大公司开始了模糊产品的开发。1985 年开始模糊推理集成块的开发，1986 年在日本模糊控制器已成为商品之后，各种各样的模糊控制产品及系统应运而生。特别是于 1987 年在日本，基于模糊控制的仙台地铁开通以后，各种家电的模糊产品相继研制成功并进入市场。同时，各种各样的模糊控制系统也被研制成功。比如，各种熔炉、电气炉以及水泥生成炉的控制系统，核能发电供水系统，金属板成形控制系统，汽车的控制系统，电梯升降机的控制系统，机器人的控制系统，以及

活跃于航空、通讯领域里的专家系统。这些模糊控制系统的应用取得了明显的效益，并且在日本、美国、西欧、东南亚和中国引起了普遍重视。

1989 年，L.A.Zadeh 在接受本国授奖仪式上发表讲话指出，模糊理论是对“彻底排除不明确事物只以明确事物为对象”的科学界传统所作的挑战。这种理论对于如何处理与对待不明确事物，所依据的思路与过去的科学实质上完全不同。他认为，模糊理论今后将在两个领域取得较大进展。一是熟练技术者替代系统。二是替代专家的专家系统。为使专家头脑中所进行的思考与决策能实现自动化，模糊理论将起重要的作用。当然，模糊理论并不能解决所有可能问题，但是只要不回避现实中的不确定事物并加以认真对待，就有可能大大提高在模糊环境中进行智慧思考与决策的人及机器的能力。

现在日本国际模糊工程研究所仍在继续研究模糊新的前景。该研究所有三个研究室，第一研究室研究模糊控制，第二研究室研究模糊智能信息处理，第三研究室研究模糊计算机。模糊控制系统已经取得了丰富成果，方兴未艾。模糊信息处理系统包括决策支持系统，特别是仿真人类处理复杂的智能信息，从语义角度研究模式识别与图象处理，追求目标为从天然遗传因子抽取人的图象。模糊计算机的研制包括模糊计算机的体系结构的硬件，操作系统与语言理解等项目。总之，立足于高度智能化的模糊集理论与应用的研究将是今后一段时间的中心课题。

我们也必须指出，模糊控制在应用方面的成功的同时，模糊集理论也面临着严峻的考验。1993 年 7 月在美国华盛顿召开的美国第十一届人工智能年会上，加州大学圣地亚哥分校的 C.Elkan 博士题为“模糊逻辑似是而非的成功”中指出“模糊逻辑方法在许多实际世界应用领域中得到了成功的运用，但是模糊逻辑的基础仍然受到攻击”。1994 年 8 月在《IEEE 专家智能系统及其应用》上发表文章进行反驳。这件事本身就说明了模糊集理论的意义以及它必须深入研究的必要性。模糊集理论打开了研究“不确定性”的大门，使定量的方法不仅只描述客观存在的现象，而且把人的主观认识包含在定量的研究方法之中，这正是模糊集理论受到重视的原因。同时，它对人的主观认识描述的不够有力、不够深入，是使得模糊集理论一直被怀疑的原因。学术界有力的争论将进一步推动以模糊集为代表的“不确定性定量方法”的研究与发展。

1.3 课题的提出与课题来源

随着科学技术的不断进步,随着市场不断向世界性开放,无疑给国内的各行各业都带来了极大的挑战,也是促进我们提高技术实力的大好机遇。印刷行业也不例外,随着关税的降低,国外高技术、高质量、高效率的印刷机不断在国内市场亮相,这给我们国内的同等产品带来了极大的冲击,这就要求我们制造商,尤其是设计人员要不断的学习新技术、开发新产品、开辟新市场。

目前,在世界印刷领域的众多印刷方式中,胶印机仍以其良好的网点还原能力和丰富的层次再现性成为印刷业的佼佼者,胶印设备和控制技术的发展也成为人们关注的焦点。通过大量的市场调研和展会信息,可以明显的看到胶印机的控制技术也在发生着日新月异的变化。网络化管理模式的出现和推广既能实现全厂的网络化印刷资源管理,也能很好的完成印刷工艺的控制和印刷数据的传输。在市场竞争激烈的今天,印刷企业已从市场主体地位转变到被市场需求所引导的被动地位,印刷产品的设计也从简单到复杂,从六色印刷到多色、专色印刷,从低网线印刷向高网线、高清晰度印刷发展。从网络控制技术看,印刷企业已从传统管理模式向全面实施网络化管理控制模式发展;工艺控制从简单的手写传票发展为采用电子传票的网络传输实施生产控制;制版将从传统工艺过渡到 CTP;印刷过程的色彩控制已从传统的样张追色改进为自动墨量控制校色;印刷设备从纯机械操作发展为计算机自动化控制。从印刷形式上看,胶印机从单色低速向多色高速方向发展;纠偏设备更加先进,套印精度越来越高,自动化程度越来越普及;在应用,已从简单的单机胶印向多元化联机组组合印刷发展,控制越来越复杂。从设备结构看,大量传统的直接机械动作被电动、气动方式所取代,很大程度上提高了印机的自动化水平,如传统输纸变为真空吸气输纸系统,传统机械拉规变为气控拉规,墨斗辊定时反转的防漏墨和飞墨功能,减少纸张浪费的自动墨链分离系统,自动上版系统均为企业节省了大量的印前准备时间。还有无轴传动技术更是今后印刷机业发展的一大趋势,各机组各功能块改变齿轮的传动为单独电机驱动,无轴将简化传统四个高精度的伺服马达控制,并通过计算机控制与主机同步,机组无轴传动系统和无轴的应用极大的提高了系统的稳定性和精确性、提高了效率、减少了浪费。总之,现代胶印技的发展以不能在单一的用提高印刷速度来衡量,

为了充分满足市场中各种彩色印刷业务、包装及特种印刷工艺的需求,今后印刷技术的发展要靠先进合理的印刷工艺和配套的印刷设备来实现,缩短印前准备时间,控制和降低生产成本是技术发展的方向,胶印技术还有极强的生命力,要随着产品市场的需求不断的完善和发展。

我们无论在机械方面,还是在电气控制技术方面都存在极大的差距。虽说我们目前也有一定量印刷机出口,但在国外仍然将我们的大部分产品定位在中低端市场,他们看中中国产品的原因还是价格,但在使用中问题多,质量相对仍是不稳定。国外单张纸胶印机的印速已突破 2 万印/小时,纸张幅面最大超过 2050mm×1510mm,色组不断增加,开机准备时间不断缩短,换版、调墨、翻转、上光、给纸、收纸等等一系列操作全盘自动化完成。采用印版滚简单独驱动技术,可以在不停机的情况下分离印版滚筒,更换印版,而且可以同时完成印版滚筒、橡皮布和墨辊的清洗。自动套印系统也越来越先进和精确,网络化控制系统不断出现,印刷企业在工艺上通过印前、印刷、印后网络传输和控制,极大提高印刷效率和质量,先进的网络控制系统可实现企业全方位的网络化管理。

经过市场调研,纸箱印刷机的市场需求量较大,则纸箱六色印刷机的设计就是市场需求的必然,对应的其电气控制系统的研制也更加重要。

以前生产的六色柔印机,由于受制于当时的科技发展水平,其电气控制系统设计方法和控制方式与现代科技发展水平相比已呈现出越来越大的差距;其功能和安全保护等方面,也已经满足不了当前的市场需求以及国际国内安全标准。为了适应广大市场用户的需求,本文的纸箱印刷机产品不论在机械方面还是在电气设计方面都得作相应的改进^{[7][8]}。

纸箱印刷机的机械结构相对复杂,完成的功能比较多,印刷精度要求相对较高,从电气控制角度来讲,开关量、数字量、模拟量、电动装置、气动元件就较多,当初设计时采用过多个 PLC 通过 USS 总线控制,但系统庞大、成本也相对较高。这在实际应用中,经常给用户利益带来极大不利,在维护方面也带来了极大困难。工业以太网和现场总线可谓是目前国内外都非常流行的技术,它高效率、高可靠、高可扩展等性能,必将使它保持今后控制领域核心地位,针对普通的印刷机器,使用这样的系统成本也将偏高。另外国外机器设计的系统因为科技含量很高,很多是封闭性的,限于我们国内操作人员的技术水平,也经常在维护方面给用户带来困扰。所以这就要求我们设计出来的产品,要简单易学,具有开放性。

基于这种现状,结合机械结构特点,随时考虑用户的需要,为了提高印刷机的印刷质量和精度、完善全张纸多色胶印机的印刷功能、提高电气系统的稳定可靠性、降低设计成本、加强安全保护功能,我通过在学校的学习和自己工厂实习的设计经验,针对本文印刷机型的机械结构特点,融合光、机、电一体化的思想,设计出了一套合理可靠的控制系统^[10, 11]。

本文在广东省粤港关键技术重点突破招标项目“数字化高速高性能纸箱印刷开槽模切成套设备的研发及产业化(200649821010)”的支持下,进行纸箱印刷机控制系统的研究,并引入模糊 PID 控制到控制系统中,有效的提高了控制精度。

1.4 论文的主要研究内容

本文针对纸箱印刷机控制系统的动态特性,研究模糊 PID 控制在纸箱印刷机控制系统中的应用。

第一章主要介绍了纸箱印刷机行业的发展概况,综述了纸箱印刷控制系统的发展过程和当前控制技术的研究现状。阐述了课题背景与意义,提出了本文的主要研究内容。

第二章主要介绍了 PLC 控制系统的概述,纸箱印刷机控制系统的系统功能分析。阐述了本文的控制系统设计方案。

第三章介绍了传统 PID 控制理论、模糊控制理论的发展和它的优缺点、模糊 PID 控制理论,其中模糊 PID 控制结合了传统 PID 控制和模糊控制的优点。本文提出的 Fuzzy-PID 控制器,运用 Matlab 的 Simulink 进行仿真,并给出仿真实验结果。仿真结果表明了本系统不仅具有较快的响应速度,也具有良好的控制精度

第四章介绍了全数字高性能伺服系统的原理和应用特点,阐述 PLC 的设计原则和在纸箱印刷机控制系统中的软硬件设计。

第五章纸箱印刷机控制系统的通讯设计和调试过程,主要介绍了 USS 通讯协议概述,论述了 PLC 和 PLC、变频器之间的通讯设计。

第六章在总结以前工作的基础上,对今后工作中需要进一步探索和研究的课题进行了展望。

第二章 纸箱印刷机控制系统的总体方案的设计

2.1 纸箱印刷机控制系统的组成

2.1.1 PLC 的发展及控制系统的比较

在可编程控制器诞生之前，继电器控制系统就在工业生产的各个领域占据着不可替代的重要作用，但由于继电器控制系统的控制功能仅仅局限于逻辑控制、定时、计数等这样一些简单的控制，一旦动作顺序或生产工艺发生变化，就必须进行重新的设计、布线、装配和调试，采用这样的控制系统将给我们设计人员、现场调试和操作员、以及用户等等，都带来极大的不便，已适应不了工业各领域的需要。为此我们不得不寻求新的控制系统设计方式，随着大规模和超大规模集成电路的迅猛发展，PLC 控制器应运而生了^[9]，20 世纪 80 年代后 PLC 迅猛发展，具有了高速计数、中断技术、PID 控制等功能，同时联网能力大大加强。其内部存储器可执行逻辑运算、顺序控制、定时、计数和算术运算等操作命令，并通过数字式、模拟式的输入和输出，控制各种类型的机械或生产过程。

PLC 以微处理器为基础，综合了计算机技术、自动控制技术和通讯技术，体积小、功能强、程序设计简单、灵活通用、维护方便，它的高可靠性和高稳定性，对我们印刷机械企业、环境恶劣的工厂非常适用。基于 PLC 的电气控制系统的控制功能通过存储程序来实现，不仅可以实现开关量控制，还可实现模拟量控制、顺序控制。PLC 控制结构图，如图 2-1 所示。

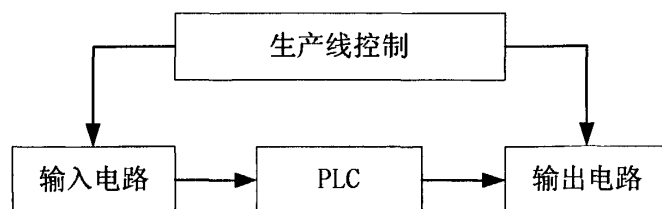


图 2-1 PLC 控制结构框图

Fig.2-1 PLC control structure diagram

PLC 控制系统除了能完成传统继电器控制系统的全部功能外，还可实现模拟

量控制、开环或闭环过程控制，以及多级分布式控制。

随着科学技术的发展以及工业生产领域功能的不断完善和复杂程度的大幅提高，计算机控制系统也不断在工业生产中也得到相当广泛的应用，其控制结构框图如图 2-2 所示。

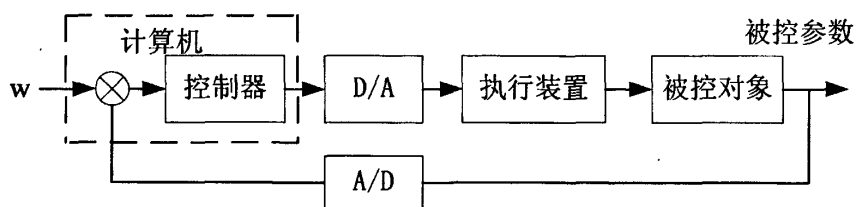


图 2-2 计算机控制系统基本框图

Fig.2-2 Basic structure diagram of computer control system

如图 2-2 中所示，如果把控制器用计算机来代替，这样就可以构成典型计算机控制系统。运用计算机强大的计算、逻辑判断和记忆等信息加工能力，只要运用微处理器的各种指令，就能编出符合某种控制规律的程序。微处理器执行这样的程序，就能实现对被控参数的控制，非常方便。而在一般的控制系统中，系统的控制规律是由硬件电路来产生的，改变控制规律就要改变硬件电路。计算机控制系统由计算机和被控对象两大部分组成。工业生产中的自动控制系统，随控制对象、控制规律和所采用的控制器结构的不同而有很大的差别。自动控制系统的基本功能是信号的传递、加工和比较。这些功能是由检测变送装置、控制器和执行装置来完成的。控制器是控制系统中最重要的部分，它从质和量的方面决定了控制系统的性能和应用范围^[13]。

计算机控制系统和一般自动控制系统一样，也有开环和闭环两种。在计算机控制系统中，计算机的输入和输出都是数字信号，因此，在这样的控制系统中，需要有将模拟信号转为数字信号的 A/D 转换器，以及将数字信号转换为模拟信号的 D/A 转换器。

由于通用计算机与 PLC 本身在工作目的、原理和方式上都存在着较大的差异，因此由它们所构成的控制系统也将存在本质的区别^[17]。如表 2-1 所示。

表 2-1 PLC 控制系统与通用计算机的比较

Table 2-1 The compare of the PLC control system and the common computer system

比较项目	通用计算机系统	PLC 控制系统
工作目的	科学计算、数据管理等	工业自动控制
工作环境	对工作环境要求较高	可应用恶劣的工业现场
工作方式	中断处理方式	循环扫描方式
系统软件	需配备功能较强的系统软件	简单的监控程序
采用的保护措施	掉电保护等一般措施	采用多种抗干扰措施，自整断， 断电保护，可在线维修
编程语言	汇编语言，高级语言	梯形图，助记符语言，SPC
对操作人员的要求	需专门培训，有一定计算机基础	稍加培训就可操作
对内存的要求	容量大	容量小
价格	昂贵	低廉
其他	若用于控制，一般需自行设计	模块类型多，易于集成系统

综上所述，由于 PLC 控制系统与继电器控制系统相比有着相当的优势，在今后的控制系统中，传统的继电器控制系统将被 PLC 控制系统所代替是大势所趋。而 PLC 控制系统与计算机控制系统相比起来，PLC 程序设计简单、易学易懂、易维护、可靠、方便、稳定，更适合工程技术人员。因此在工业级控制领域中，PLC 控制系统将是发展的主流，不过计算机在信息处理方面还是优于 PLC，因此在实际系统设计中，常将两者结合，通过通讯线路连接实现信息的传送和交换，构成功能强大的完整的控制系统^[14]。

2.1.2 PLC 控制系统的组成

PLC 控制系统由硬件和软件两大部分组成。硬件包括 PLC 本身及其外围设备，软件包括管理 PLC 的系统软件、PLC 的应用程序、编程语言和编程支持工具软件^[18]。典型控制系统结构框图如 2-3 所示。

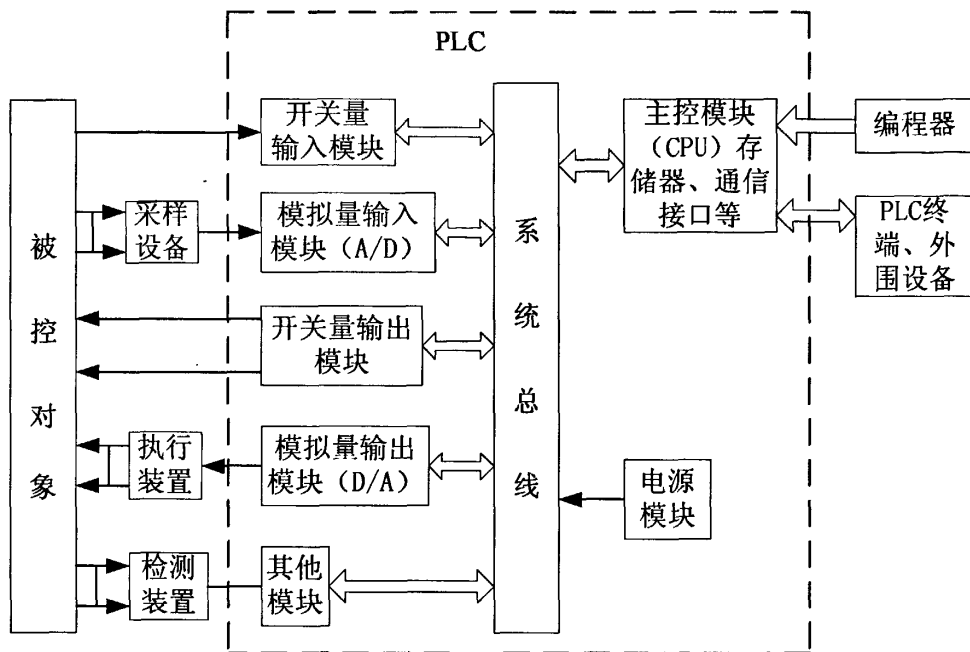


图 2-3 PLC 控制系统硬件组成框图

Fig.2-3 The hardware diagram of the PLC control system

2.2 基于 PLC 纸箱印刷机控制系统的方案设计

2.2.1 控制系统实际功能分析

全张纸胶印机电气控制系统由电源系统、主控装置(PLC 模块)、电气检测装置(如光电检测开关、传感器等)、模拟量采样设备、电气执行装置(如电机或电磁阀)、电气操作及显示装置(按钮、人机界面或上位系统)六大部分组成。通过线路连接及通讯电缆将上述六大部分有机的联系起来,构成整机的电气硬件系统。操作员在电气操作装置上进行的操作信号、由传感器和电气检测元件对机械运动部件或纸张状态的检测信息等,经主控装置的程序进行数据处理或逻辑运算,其结果通过输出单元发送给电气执行元件,从而实现对各种印刷功能的控制;或者将检测到的状态和执行结果发送给电气显示装置进行相应的显示和监控。

2.2.2 控制系统系统方案设计

近些年来，印刷行业的自动化控制系统的应用发展的越来越快，技术也越来越先进，以太网和现场总线技术有着广泛的应用前景。现场总线和 RS485 在物理界面上是一致的，只是各种现场总线有自己的通讯协议而已。由于串行通讯方式实现方便，系统费用低，所以串行通讯技术在实际的应用中仍发挥着强大的功能。

综上所述，为稳定可靠的完成那一系列复杂的印刷控制功能，提高我们印刷

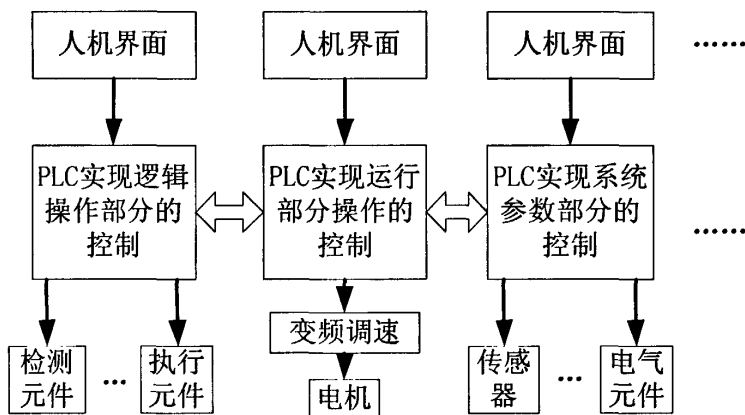


图 2-4 并形式 PLC 控制系统结构图

Fig.2-4 PLC parallel type control system structural picture

机的质量和效率，针对本文纸箱印刷机类型，设计出了适合的控制系统，其原理结构如图 2-4 所示。

本系统的特点是：将控制系统分成传动、参数、顺序控制三部分，各自除完成自己的控制任务外，通过 RS485 通讯进行信号的传送和交换，既独立又连锁的共同完成所有印刷功能，极大的提高了工作效率和控制精度；通过变频调速单反馈控制方式，大大提高机器的平稳性和安全可靠；通过触摸显示屏设置水墨电机跟踪主机速度，达到水墨平衡，提高纸箱印刷品质量；通过 USS 协议实现远程通讯。

2.3 本章小结

本章主要简单介绍了 PLC 控制系统的组成和发展,通过比较分析继电器控制系统、PLC 控制系统和计算机控制系统的优缺点,确定本系统的设计方案。下面再明确本系统实际控制功能的基础上,介绍了并行式 PLC 控制系统的原理及特点。

第三章 纸箱印刷机模糊 PID 控制器的设计与开发

模糊控制的重大优势在于它不需要对象的精确数学模型，特别适合处理模型不确定的过程。由于模糊控制本质上是非线性 and 自适应控制，对于具有参数波动或者检测信号不太精确的复杂非线性多变量系统模糊控制也能很好的工作，对参数波动和负载干扰的影响具有很强的鲁棒性。但是，如何将模糊控制应用于既要有较快的响应速度，同时又要有较高的控制精度的交流电动机位置控制还是一个有待解决的问题^[17]。本文提出了改进的 Fuzzy-PID 控制器来满足交流电动机控制要求。仿真结果证实了该系统不仅具有较快的响应速度，而却也有良好的控制精度，同时对系统参数的变化也有很强的鲁棒性。

3.1 模糊控制器的设计

模糊控制是以模糊集合论、模糊语言变量及模糊逻辑推理为基础的计算智能控制^[19]。本节以单变量二维模糊控制器为例，其基本原理框图如图 3-1 所示，它的核心部分为模糊控制器，如图中点划线框中部分所示，模糊控制器的控制规律由计算机的程序实现。

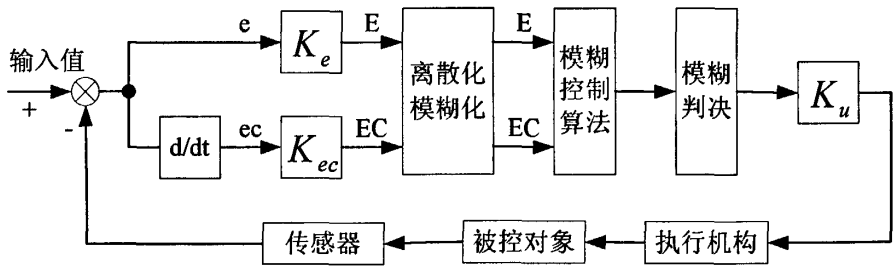


图 3-1 模糊控制原理图

Fig.3-1 Schematic diagram of Fuzzy control

模糊控制器最简单的实现方法是将其一系列模糊控制规律离线转化为一个查询表（又称控制表），存储在计算机中供在线控制时使用。下面介绍二维模糊控制器的设计步骤。

1. 确定模糊控制器的结构 对误差 E、误差变化 EC 及空置量 u 的模糊集及其论域定义如下：

EC 和 u 的模糊集均为：{NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB}

E 的模糊集为：{NB, NM, NS, NO, PO, PM, PB}

E 和 EC 的论域均为

{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6}

U 的论域为

{-7, -6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7}

上述的误差模糊集选取八个元素，区分了 NO 和 PO，主要是着眼于提高稳态精度。

2. 建立模糊控制规则 根据人的直觉思维推理，由系统输出的误差及误差的变化趋势来消除系统误差的模糊控制规则。可用下述 n 条模糊条件来描述。

R_1 if E is A_1 and EC is B_1 then U is C_1

R_2 if E is A_2 and EC is B_2 then U is C_2

.....

.....

R_n if E is A_n and EC is B_n then U is C_n

根据专家经验，总结出模糊控制器的控制规则如表 3-1 所示。

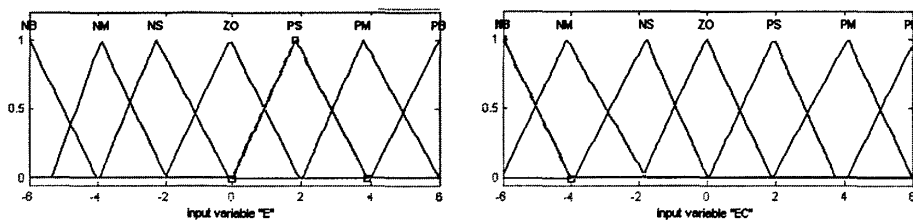
表 3-1 模糊控制规则表（数据为抽样输出值 u）

Table3-1 Fuzzy control rule table (Data for the sample output values u)

EC	E							
	NB	NM	NS	NO	PO	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PB	PB	PB	PB	NM	NB
NM	PM	PS	PM	PM	PM	PM	NM	NB
NS	PB	PM	PS	PS	PS	PS	NM	NS
ZO	PB	PM	PS	ZO	ZO	NS	NM	NB
PS	PB	PM	NS	NS	NS	NS	NM	NL
PM	PB	PM	NM	NM	NS	NS	NS	NM
PB	PB	PM	NB	NB	NB	NB	NB	NB

3. 确定模糊变量的隶属度 模糊变量误差 E 误差变化 EC 及控制量 u 的模糊集和论域确定后, 对模糊语言变量确定隶属函数, 隶属函数采用正态分布函数

$e^{-(\frac{x-a_1}{b_1})^2}$, 隶属函数如图 3-2 所示。



a) E 的隶属函数

b) EC 的隶属函数

a) Membership function of E

b) Membership function of EC

图 3-2 隶属函数

系统通过比例因子 K_e 、 K_{ec} 将偏差 e、ec 转换为模糊控制器的输入 E、EC; 通过量化因子 K_u 将模糊控制器的输出 U 转化为输出期望值 U_1 。

假设 e、ec、u 的论域分别为 $[-x_1, x_1]$ 、 $[-x_2, x_2]$ 、 $[-y, y]$, 则 K_e 、 K_{ec} 、 K_u 的取值为:

$$K_e = \frac{6}{x_1} \quad K_{ec} = \frac{6}{x_2} \quad K_u = \frac{y}{6} \quad (3.1)$$

E、EC 的取值为

$$E = \langle e * K_e \rangle \quad EC = \langle ec * K_{ec} \rangle \quad u_1 = K_u * U \quad (3.2)$$

式中 $\langle \rangle$ 为取整运算。

4. 模糊推理 模糊推理是从一些模糊前提条件推导出某一结论, 这种结论可能存在模糊和确定两种情况。利用 Mamdani 的 max-min 法可以得到每条控制规则的关系^[21];

R_i 的隶属函数为:

$$\mu_{R_i}(U) = \min\{\mu_{A_i}(E), \mu_{B_i}(EC), \mu_{C_i}(U)\} \quad (3.3)$$

全部控制规则所对应的模糊关系用取并的方法得到, 即:

$$R = \bigcup_{i=1}^n R_i \quad (3.4)$$

$$U = (E \times EC) \circ R \quad (3.5)$$

R 的隶属函数为：

$$\mu_R(U) = \max_n \{\mu_{R_k}(U)\} \quad (3.6)$$

5. 逆模糊化 采用如式 (3.8) 的加权平均法，对每个模糊子集 R 进行逆模糊化。

$$U = \frac{\sum_{i=1}^n \mu(U_i) * U_i}{\sum_{i=1}^n \mu(U_i)} \quad (3.7)$$

由上式计算得出判决表如表 3-2 所示，根据 E、EC 即可由表中查出相应得 U，进而求出相应得 u_1 。

表 3-2 模糊控制表（数据为抽样输出值 u）

Table3-2 Fuzzy Control (Data for the sample of the output value of u)

EC	E												
	-6	-5	-4	-2	-3	-1	0	1	2	3	4	5	6
-6	7	6	7	6	7	7	7	4	4	2	0	0	0
-5	6	6	6	6	6	6	6	4	4	2	0	0	0
-4	7	6	7	6	7	7	7	4	4	2	0	0	0
-3	7	6	6	6	6	6	6	4	4	2	0	0	0
-2	4	4	4	5	4	4	4	1	0	0	-1	-1	-1
-1	4	4	4	5	4	4	1	0	0	0	-3	-2	-1
-0	4	4	4	5	1	1	0	-1	-1	-1	-4	-4	-4
+0	4	4	4	5	1	1	0	-1	-1	-1	-4	-4	-4
1	2	2	2	2	0	0	-1	-4	-4	-3	-4	-4	-4
2	1	2	1	2	0	-3	-4	-4	-4	-3	-4	-4	-4
3	0	0	0	0	-3	-3	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6
4	0	0	0	-2	-4	-4	-7	-7	-7	-6	-7	-6	-7
5	0	0	0	-2	-4	-4	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6
6	0	0	0	-2	-4	-4	-7	-7	-7	-6	-7	-6	-7

3.2 模糊 PID 控制的设计

在一般的模糊控制系统中，考虑到模糊控制器实现的简易性和快速性，通常采用二维模糊控制器结构形成。而这类控制器都是以系统误差 E 和误差变化 EC 为输出语句变量，因此它具有类似于常规 PID 控制器的作用，采用该类模糊控制器的系统有可能获得良好的动态特征，而静态性特征能不能令人满意^[12]。由线性控制理论可知，积分控制作用能消除稳态误差，但动态响应慢，比例控制作用动态响应快，而比例积分微分控制作用既能获得较高的稳态精度，又能具有较高的动态响应^[23,26]。因此，把 PID 控制策略引入 Fuzzy-PID 复合控制，是改善模糊控制器稳态性能的一种途径^[27]。

3.2.1 模糊 PID 的系统结构

模糊控制伺服系统结构如图 3-3 所示。图中 θ^* 为给定角位移， θ 为电机转轴的 actual 角位移， e 为 θ^* 和 θ 进行比较的偏差， ec 为偏差的变化率。有：

$$e(t) = \theta^* - \theta(t) \quad (3.8)$$

$$ec(t) = \frac{de(t)}{dt} \approx \frac{e(t) - e(t-1)}{\Delta t} \quad (3.9)$$

式中 Δt 为采样周期。

由于模糊控制相当 PD 控制，有稳态精度低的缺点，所以在系统中加入 PID 控制器，当误差小于某个范围时采用 PID 控制来消除系统稳态静差。图 3-3 中 u_1 、

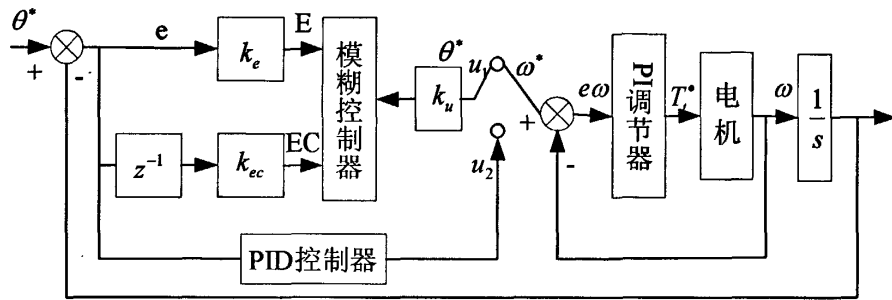


图 3-3 模糊 PID 控制器结构图

Fig.3-3 Fuzzy PID controller structure

u_2 分别为模糊控制和 PID 控制得出的转速期望值。E、EC、U 分别为模糊控制器的输入、输出。 ω^* 为期望电机转速， ω 为实际转速， ω^* 与 ω 的偏差 $e\omega$ 经过转速调节器产生期望的电机电磁转矩 $T_i^{* [24]}$ 。

3.2.2 模糊 PID 控制系统的设计

本文所设计的改进的 Fuzzy-PID 控制器实际上是一种变结构系统。

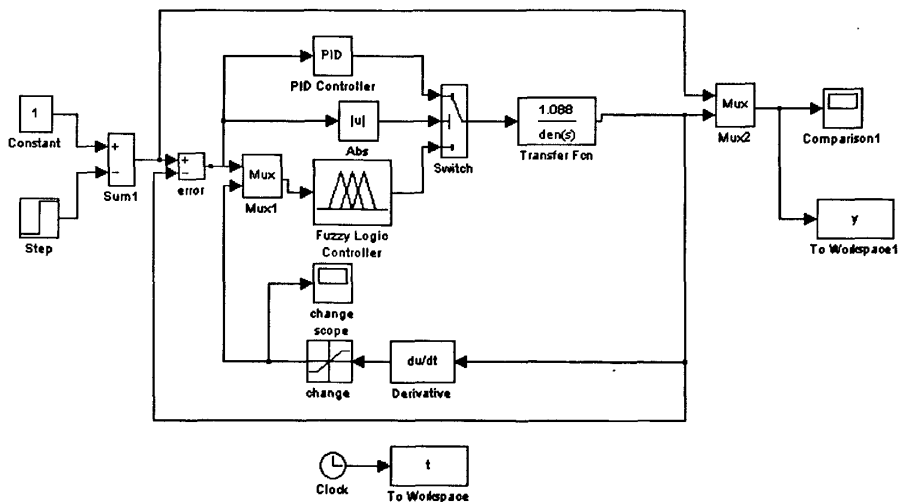


图 3-4 模糊 PID 控制仿真图

Fig.3-4 Fuzzy PID controller structure

当误差较大时，系统采用模糊控制；误差较小时，采用 PID 控制来提高系统的稳态精度^[25]。利用 Matlab 的工具箱 Simulink 可方便地实现上面的思想^[20,22]，如图 3-4 所示。

1. 模糊控制 当 $|e(t)| > 0.5$ 时，采用模糊控制，此模糊控制器与一般的模糊控制器有所区别，一般的模糊控制器的输入为 E、EC，而本文的模糊控制器的一个输入为 E，另一个输入为 dy/dt 后加一个饱和因子，此饱和因子的作用为限制输出的变化率，从而使输出稳定。为方便起见，本文另一个输入为 EC，输出为 U。设定 E 的论域为： $\{-1, 0, 1\}$ ，对应的模糊语言子集为： $\{high, okay, low\}$ ；EC 的论域为： $\{-1, 0, 1\}$ ，对应的模糊语言子集为： $\{negative, none, positive\}$ ；U 的论域为： $\{-1, 0, 1\}$ ，对应的模糊语言子集为： $\{NB(\text{负大})、NS(\text{负小})、ZO(\text{零})、PS(\text{正小})、PM(\text{正大})\}$ 。E、EC、U 的隶属函数分别如图 3-5、图 3-6、图 3-7 所示。

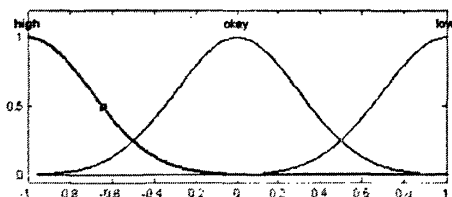


图 3-5 E 的隶属函数

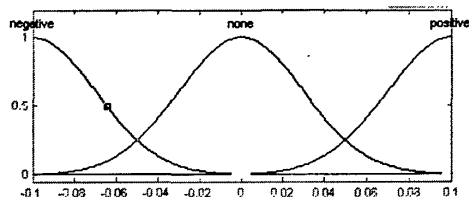


图 3-6 EC 的隶属函数

Fig3-5 Membership function of E

Fig3-6 Membership function of EC

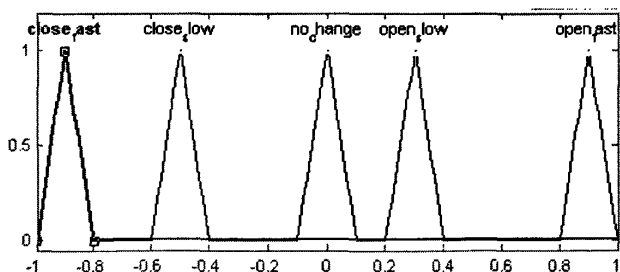


图 3-7 U 的隶属函数

Fig3-7 Membership function of U

模糊控制规则具有以下形式：

If E=high and YC=negative then U=PB

If E=okay and YC=none then U=ZO

.....
.....

将模糊控制规则综合起来可得到模糊控制规则如表 3-3 所示。

表 3-3 模糊控制规则

Table3-3 Fuzzy control rules

E	EC		
	negative	none	positive
high	PB	PB	ZO
okey	PS	ZO	NS
low	ZO	NB	NB

在 Matlab 中，利用工具箱 Fuzzy, 设定好输入、输出的隶属函数，规定好控制规则，做好一个的模糊控制器，并可被引用到 Simulink 的模型中，可得到如图 3-8、图 3-9、图 3-10 所示的输入输出关系曲面图。

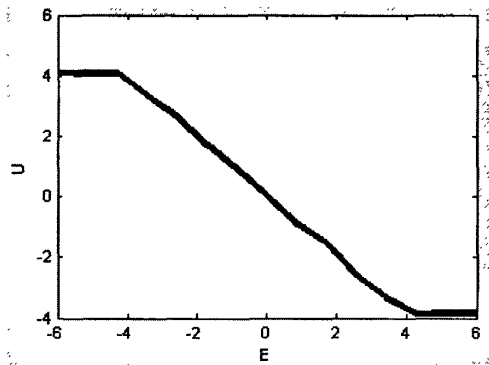


图 3-8 E 和输出对应关系

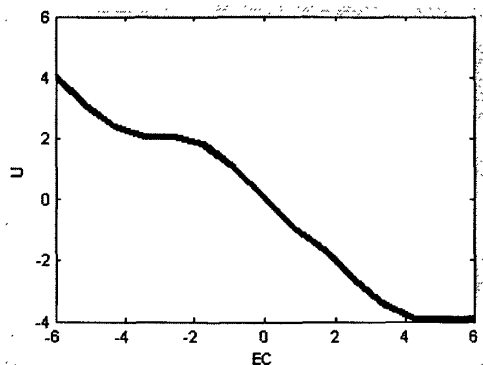


图 3-9 EC 和输出对应关系

Fig.3-8 Corresponding relation of E and output Fig.3-9 Corresponding relation of EC and output

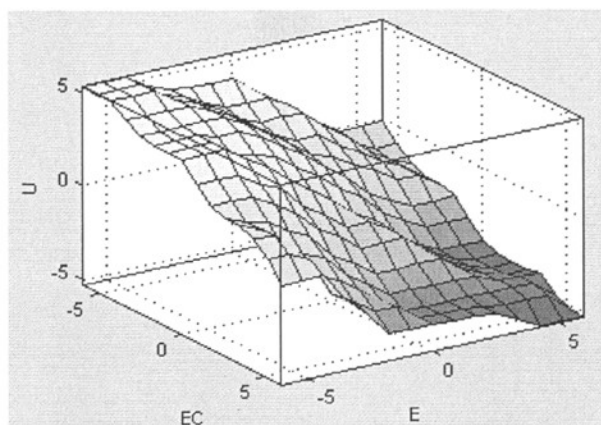


图 3-10 输入输出对应关系曲面

Fig.3-10 Surface corresponding relation between input and output

2. PID 控制 当 $|e(t)| < 0.5$ 时, 采用 PID 控制, 控制输出为:

$$u_2(k) = K_p e(k) + K_j \sum_{j=0}^k e(j) + K_D [e(k) - e(k-1)] \quad (3.10)$$

3.3 基于 Simulink 的模糊 PID 控制系统的仿真

Simulink 是 Mathworks 公司为 Matlab 提供的控制系统模型输入与仿真工具, 利用该软件, 可以利用鼠标器在模型窗口上画出所需的控制系统模型, 然后 Simulink 提供的各种仿真功能来对系统进行仿真或线性化分析, 使得一个复杂系统的输入变的简单、直接。

为了显示出改进的模糊 PID 控制比常规 PID 及一般的模糊控制器更具有优越性, 下面画出模糊 PID 控制器的系统模型如图 3-11 所示^[28,29]。

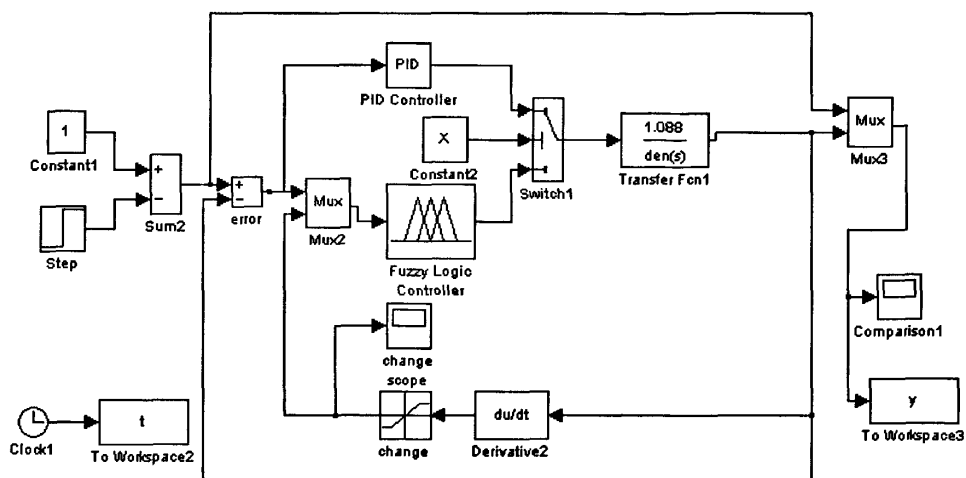


图 3-11 模糊 PID 控制器系统框图

Fig.3-11 Fuzzy PID controller system diagram

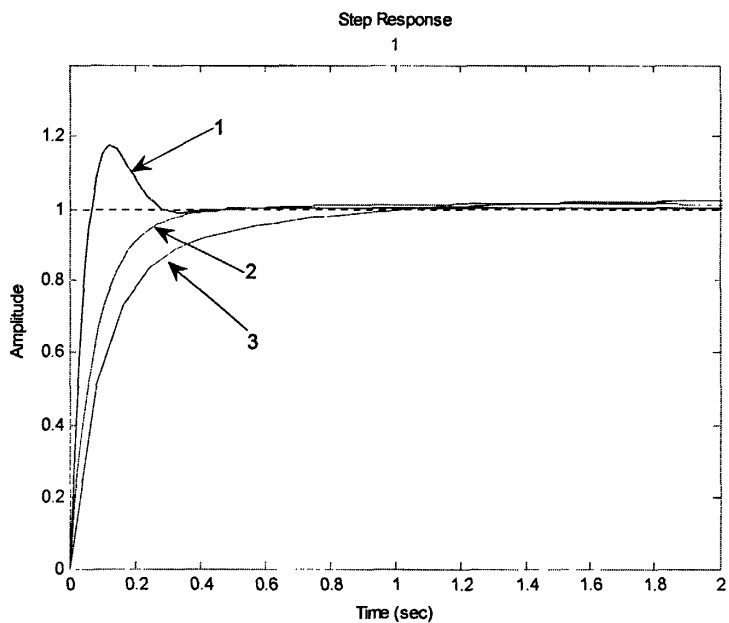


图 3-12 控制系统的仿真曲线

Fig.3-12 Control system simulation figure

当 $x=1$ 时，系统为 PID 控制；当 $x=0$ 时，系统为模糊控制。输入参考信号 $r(k)$ 取幅值为 1 的阶跃信号。图 3-12 为三种控制系统的仿真曲线。

曲线 1 为 PID 控制下的响应曲线，曲线 2 为模糊 PID 控制下的响应曲线，曲线 3 为模糊控制下的响应曲线。图 3-12 说明了模糊控制为置伺服系统的动、静态性能均优于传统的 PID 控制和一般的模糊控制^[30,31]。

将系统的电机参数进行更改以测试上面三种控制器对于电机参数变化的鲁棒性。图 3-13 给出了电机系数更改后的控制系统的响应曲线、曲线 1 为更改后 PID 控制下的响应曲线、曲线 2 为参数更改后模糊 PID 控制下的响应曲线、曲线 3 为参数更改后模糊控制下的响应曲线。

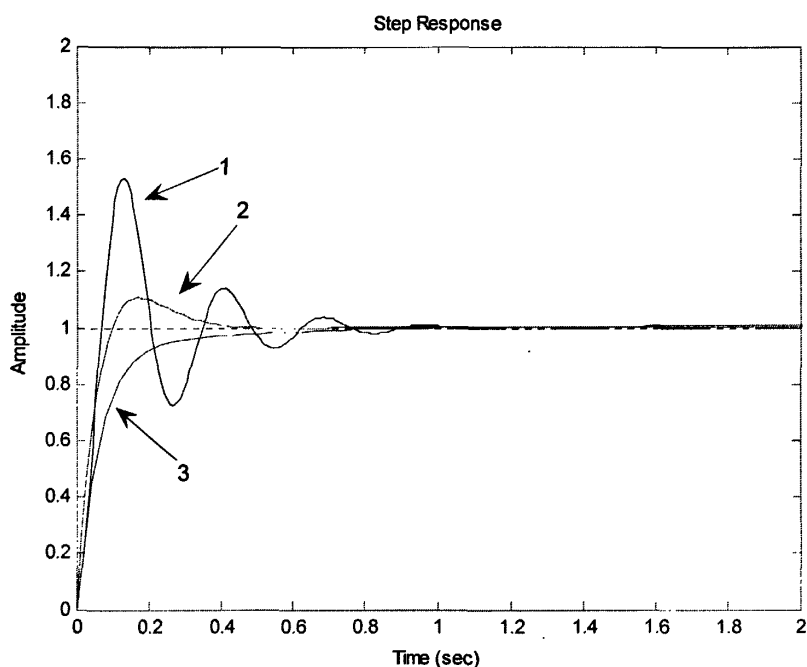


图 3-13 电机系数更改后的控制系统仿真图

Fig.3-13 Coefficient changing of motor control system simulation figure

从图 3-13 中可以看出，电机参数变化后模糊 PID 控制系统仍具有很好的动静态性能^[32]，而常规 PID 控制系统动静态性能变化很大，并且变的很差。这说明模糊 PID 应用于控制系统后，能够很好的克服电机参数变化带来的影响，具有较强的鲁棒性^[33]。

3.4 本章小结

本章将模糊控制引入到纸箱印刷机的控制系统中，模糊控制不依赖于对象的精确模型，能够很好地克服电机中的非线性，时变等的影响，但也存在着稳态精度不高的缺点，需要与传统的 PID 控制相结合来提高其稳态精度。仿真实验结果表明，采用模糊 PID 控制器的系统的动、静态性能均优于传统的 PID 和一般的模糊控制器，且对于系统的参数变化具有较强的鲁棒性。

第四章 纸箱印刷机传动控制的设计与开发

以快速、高精度跟踪为主要目标的位置伺服系统是广泛应用于高精度位置控制的主要控制方式之一，其驱动信号为代表位置命令的脉冲信号。本章介绍了以高性能变频器作为执行机构^[15]，用 PLC 作驱动装置，用 STEP-7 作开发软件，利用 S7-200CPU 的高速计数器与 PTO 集成脉冲信号输出等特殊功能实现对包装印刷位置伺服系统驱动方案，并阐述了系统的硬件与软件的开发。为了方便、快捷地将各种智能控制方法应用于纸箱印刷机传动控制中，使系统具有更好的开放性^[34,35]。

4.1 全数字交流伺服系统的原理

4.1.1 全数字高性能交流伺服系统的原理

全数字调速系统变频器，采用了专用的数字信号处理器，硬件标准化、通用化、多微处理器全数字化的闭环控制系统。系统软件中有操作系统、数据传输、监视、诊断及标准功能模块子程序等^[36]。在应用中采用图形编程语言，根据不同的传动系统结构，把系统所需要的模块调出并组接起来，就构成一个专用的传动系统。实际上它是一种实时控制系统的可编程控制器，由于微处理作为控制系统的核心部件，不仅可以按照各种控制思想及数学模型进行在线地快速计算与控制，

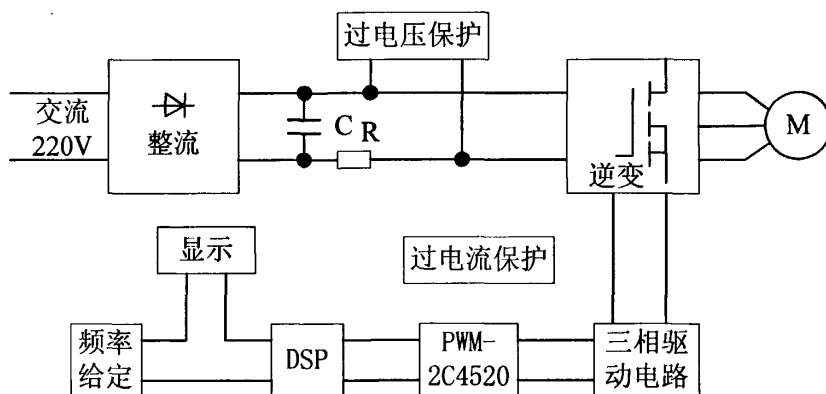


图 4-1 PWM 变频器总体结构图

Fig.4-1 The overall structure of PWM inverter

而且还有监视、显示保护、故障自诊及自复原的功能。PWM 变频器的总体结构框图如图 4-1 所示

变频器采用 SLE4520 同 DSP 结合起来控制逆变频, 它的主电路采用具有极高开关速度功率 1Gbt, 从而可以使变频器的逆变调制频率提高 20Kz, 可以实现噪声传动, 并使其输出正弦频率扩大到 0~2.6KHz。

由频率给定环节给出所要求的频率, 该信号为模拟量, 经 A/D 转换成数字量送给高速信号处理器^[37]。并设置了一套控制程序, 经过软件控制, DSP 将一组与频率给定值相对应的数据输送给专用芯片, 由该芯片产生相应的 PWM 调制波控制三相功率电路。经过放大后的 PWM 调制波加到交流电动机的三相绕组上, 从而控制其转速^[38,39]。改变频率给定值, 就可以实现转速的变化。

4.1.2 全数字高性能交流伺服系统的特点

MSD 全数字式变频器功能强大, 适用于高性能位置控制器, 它有 38 个参数设置, 6 种控制方式, 其中脉冲串位置控制最为独特。因为它使用一定频率的脉冲信号作为代表位置命令的输入信号, 在复杂的工作现场中, 它比模拟速度输入信号精度高, 抗干扰性强^[40]。

4.1.3 全数字高性能交流伺服系统的功能

1.MSD 系列具有各种参数可以用来调节系统的特性和功能, 正确设定这些参数, 可以使系统获的最好的运动状态^[41]。

2.监视功能, 如偏差脉冲数监视、电动机转速监视、电动机转矩监视。

3.显示 CNI/F 的输入、输出控制信号状态。

4.显示故障原因及历史。

5.MSD 系统内部的动态制动可用于紧停。

6.自动增益调整功能。

7.保护功能, 如: 过压保护、过流保护、超速保护等。

8.由计算机对 MSD 进行监视和操作。通过 RS232 串行接口, 可将计算机与 MDS 相连, 并且由计算机对 MSD 进行控制和操作, 用户可以通过计算机对所连

的 MSD 进行设置和修改，也可以通过计算机的 CRT 来监视 MSD 的工作情况。

4.1.4 脉冲串位置控制误差的操作

MSD 系列的 CNI/F，对 CNI/F 信号采取双绞屏蔽线，并且将屏蔽线与驱动器的信号地（GND）接在一起。

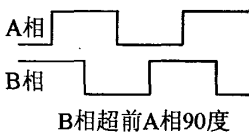
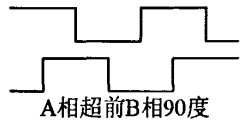
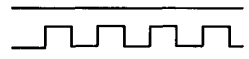
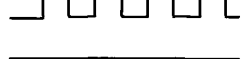
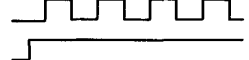
- 1.试运行时电机轴上不加负载，由于电机加减速有冲突，必须固定电机。
- 2.如果用带制动器的电机先释放制动器。
- 3.在没有加主电源前，先加 DC12-24 电压。
- 4.加主电源到驱动器。
- 5.当 SERVO-ON 时，电机就处于运行状态。
- 6.在位置控制方式时，使偏差计数器零信号 CL 释放，使脉冲指令信号 INH 释放，电机就处于 SERVO-LOCK 状态。
- 7.置参数 NO.02 为零，此方式是位置（脉冲串）控制方式。
- 8.设置参数 NO.29 为零，电机转速与输入脉冲频率成正比，见公式（4.1）。指令脉冲输入方式选择如表 4-1 所示。

$$\frac{f * P25 * P27}{P26} = \frac{2500 * 4 * n}{60} \quad (4.1)$$

- 9.通过参数 21 将速度前馈系数设置最小（0%）。
- 10.设置参数 03 的值至较大值而不至于发生振荡为止。
- 11.设置位置环增益 20 参数较大而不发生振荡为止，如果位置环增益过大，机械刚性较高，有可能导致振荡。
- 12.设置速度环积分时间常数 04 参数较小值，其值超小，位置偏差相减越快。
- 13.如果想获的特别快的响应，调节 21 参数逐渐增大前馈系数，但如果太大会引起过冲。

表 4-1 指令脉冲输入方式选择图

Table4-1 Command pulse input options figure

设置值	输入脉冲方式	CNI/F 信号	CCW 指令	CW 指令
0 或 2	A+B 两相相差 90 度脉冲输入	PULS SIGN	 A相 B相 B相超前A相90度	 A相超前B相90度
1	CW 脉冲串 + CCW 脉冲串	PULS SIGN		
3	脉冲串 + 字符	PULS SIGN		

“0”或“2”时选择 A、B 相差 90 输入；

“1”时选择 CW 方向指令脉冲或 CCW 方向指令脉冲；

“3”时选择脉冲串指令输入及符号输入

4.2 PLC 系统设计原则

设计 PLC 程序通常有 3 种方法：经验设计法、继电器电路转换法和顺序控制设计法^[42]。

经验设计法是在一些典型电路的基础上，根据被控对象对控制系统的具体要求，不断修改、完善和调试，最后才能得到一个满意的结果^[44]。这种设计方法没有规律可循，最后的结果不是惟一的，设计所需的对间和质量与设计者的经验有很大的关系^[43]。

继电器电路图转换法用于将继电器控制系统改造为 PLC 控制。由于原有的继电器控制系统经过长期的使用和考验，已被证明能完成系统要求的控制功能，因

此可以将继电器电路图转成梯形图，即用 PLC 的外部硬件接线图和梯形图程序实现继电器系统的功能。

顺序控制设计法是建立在顺序功能图基础上的标准化的编程方法。用它设计出的程序很容易调试、修改和阅读。对于控制要求很复杂的系统，使用该方法可以节约大量的时间，获得满意的设计效果。

本系统使用经验设计方法编制 PLC 程序。

4.2.1 PLC 系统设计原则

任何一种电器控制系统都是为了实现被控对象(生产设备或生产过程)的工艺要求，以提高生产效率和产品质量。因此，在设计 PLC 控制系统时，应遵循以下基本原则：

- 1.最大限度地满足被控对象的控制要求。设计前，应深入现场进行调查研究，搜集资料，并与机械部分的设计人员和实际操作人员密切配合，共同拟定电器控制方案，协同解决设计中出现的各种问题。

- 2.在满足控制要求的前提下，力求使控制系统简单、经济、使用及维修方便

- 3.保证控制系统的安全、可靠。

- 4.考虑到生产的发展和工艺的改进，在选择 PLC 容量时，应适当留有余量。

4.2.2 PLC 控制系统设计的内容

PLC 控制系统是由 PLC 与用户输入、输出设备连接而成的。因此，PLC 控制系统设计的基本内容应包括：

- 1.选择用户输入设备(按钮、操作开关、限位开关、传感器等)、输出设备(继电器、接触器、信号灯等执行元件)以及由输出设备驱动的控制对象(电动机等)。这些设备属于一般的电器元件，其选择的方法在其他有关书籍中已有介绍。

- 2.PLC 的选择，PLC 是 PLC 控制系统的核心部件，正确选择 PLC 对于保证整个控制系统的技术经济性能指标起着重要的作用。选择 PLC 应包括机型的选择、容量的选择、模块的选择、电源模块的选择等。

- 3.分配 I/O 点，绘制 I/O 连接图。

4.设计控制程序。包括设计梯形图、语句表(即程序清单)或控制系统流程图。控制程序是控制整个系统工作的条件,是保证系统工作正常、安全、可靠的关键。控制系统的设计必须经过反复调试、修改,直到满足要求为止。

5.必要时还需设计控制柜。

6.编制控制系统技术文件。包括说明书、电器图及电器元件明细表等。传统的电器图,一般包括电器原理图、电器布置图及电器安装图。在 PLC 控制系统中,这一部分图可以统称为“硬件图”。它在传统电器图的基础上增加了 PLC 部分,因此在电器原理图中应增加 PLC 的 I/O 连接图。

此外,在 PLC 控制系统的电器图中还应包括程序梯形图,可以称它为“软件图”。向用户提供“软件图”,可便于用户生产发展或工艺改进时修改程序,并有利于用户在维修时分析和排除故障。

4.3 纸箱印刷机控制系统硬件

PLC 控制系统的硬件设计是至关重要的一个环节,这关系着 PLC 控制系统运行的可靠性、安全性、稳定性^[47]。

4.3.1 PLC 的选型

在工程中主要根据工艺要求、控制对象、用户需要等方面选择合适的 PLC,以获得最佳的性价比^[45,49]。就一个控制系统而言,PLC 的选型原则和考虑因素如下:

1.PLC 一般用于开关量控制为主兼有模拟量控制的系统,尤其适合于动作频繁、逻辑关系复杂、程序多变的系统。应用于这样的系统,将会最大限度发挥技术经济效益。

2.是否与计算机连接,是否要求构成网络信息系统,以及对远程站的设置要求。是否需要中断输入、位置控制、高速计数器等特殊模块和智能模块。

3.开关量 I/O 点数、模拟量 I/O 路数、电压等级及输出功率、内存容量。I/O 点数直接关系到 PLC 输入/输出模块的选择,I/O 点数一般要考虑 10%-20%的余量,特别是开关量输入更应考虑多些余量;合适的电压等级可提高 PLC 的抗干扰

能力；主机用户内存容量的大小对设备费的影响不大，故建议内存容量可选大一些。

4.其他考虑因素选择 PLC 还要对其外型、结构、系统组成、设置条件、价格、技术服务、应用业绩等多项指标综合分析比较，然后才能确定理想的 PLC 产品。

无远程功能的 PLC 用在单机或控制范围不大的系统，有远程功能的 PLC 则用于大范围的控制系統。远程系统中，本地站一般设在集中控制室，远程站一般设在低压配电室或仪表室，这样可使 PLC 的外部接线最短。PLC 忌安装在高温、结凝、特别是有振动冲击的场所。

本项目中选用的是：PLC，西门子 S7-200 系列中的 CPU226 小型机，该机自带两个 RS-485D 型通讯口，使用通讯协议可以通过 RS-485 电气接口来进行数据传输。变频调速器，日本三菱公司生产的 FR-A540 系列变频调速器，型号为 FR-A540-1.5K-CH。该型号的变频器的串行通讯为异步半双工的方式，使用字节奇偶校验。符合 RS-485 通讯规范，应用通讯协议可以通过 RS-485 电气接口来进行传输，用于实现 PLC 与多台变频调速器的联网。

我们采用不同品牌的 PLC 和变频器（西门子 S7-200PLC 和三菱 FR-A540 系列变频器）来构成通讯系统，大大的提高了旧设备使用过程中的灵活性，不需拘泥于同品牌的 PLC 和变频器的使用，有利于提高了原有设备的昂贵元件的利用率。

4.3.2 输入/输出模块电源的选择：

在选择交流 I/O 模块时，宜采用隔离变压器为其供电这样可防止外部电路故障冲击模块，电源线采用双绞线^[46]。隔离变压器的容量按 PLC 电源组件容量的 1.5~2 倍选择。直流模块的外接电源，其波纹值应满足模块要求；若是模拟量直流模块，尚需用稳压电源。

1.电压等级 在选择 I/O 模块时，电压等级是一个比较重要的参数，它要根据现场设备与模块之间的距离来选。当外部线路较长时，可选用 AC220V 模块；当外线短且控制相对集中时可选择 DC24V 模块。

2.输出电路 PLC 的模块输出方式一般有 3 种：晶体管输出、继电器输出、双向可控硅输出。确定负载类型根据 PLC 输出端所带的负载是直流型还是交流型，是大电流还是小电流，以及 PLC 输出点动作的频率等，从而确定输出端采用

继电器输出，还是晶体管输出，或晶闸管输出。不同的负载选用不同的输出方式，对系统的稳定运行很重要。每个输出点、每组输出点、每个输出模块的负载电源不得超过额定电流。其中继电器输出模块的负载电流以不能太接近额定电流，当接近额定电流时，最好先带动一个小型中继，再通过中继扩展输出模块的输出容量。

采用双向可控硅输出模块，其负载电流必须大于双向可控硅的维持电流，否则应在负载上并联电阻。对于动作频繁、电感性或功率因素低的负载，不宜选用继电器输出模块，而应该采用晶体管输出模块。如果 PLC 输出带感性负载，负载断电时会对 PLC 的输出造成浪涌电流的冲击，为此，对直流感性负载应在其旁边并接续流二极管，对交流感性负载应并接浪涌吸收电路，可有效保护 PLC。当频率为 10 次/min 以下时，既可采用继电器输出方式；也可采用 PLC 输出驱动中间继电器或者固态继电器(SSR)，再驱动负载；对于两个重要输出量不仅在 PLC 内部互锁，建议在 PLC 外部也进行硬件上的互锁，以加强 PLC 系统运行的安全性、可靠性。

3.输入电路 PLC 输入电路电源一般应采用 DC24V，这对系统供电安全和 PLC 安全至关重要，同时其带负载(接近开关等)时要注意容量，同时作好防短路措施(因为该电源的过载或短路都将影响 PLC 的运行)，建议该电源的容量为输入电路功率的两倍，PLC 输入电路电源支路加装适宜熔丝，防止短路。以直流输入模板为例。

4.3.3 开关量和模拟量

相同控制作用且每个接点在编程中仅使用一次的若干个输入接点，可在外部电路进行串、并联后作为一个输入点处理，编程时用常开编程接点。如某个设备的多个故障信号接点可在外部电路串联后接在一个输入点上，而不必占用多个输入点。相同控制逻辑的输出，如集中联锁控制系统发往各现场的启动预告信号，可只用一个输出点，再用接线端子扩展至各现场设备^[48]。

4.3.4 PLC 抗干扰措施

由于产生干扰的因素是复杂而多样的，因此采取的抗干扰措施要根据情况而定^[50]。PLC 供电电源一般为 AC85-240V，适应电源范围较宽，但为了抗干扰，应加装电源净化元件(如电源滤波器、1:1 隔离变压器等)；隔离变压器也可以采用双隔离技术，即变压器的初、次级线圈屏蔽层与初级电气中性点接大地，次级线圈屏蔽层接 PLC 输入电路的地，以减小高低频脉冲干扰。设置一个 PLC 信号专用接地装置。该装置不能和防雷接地装置、电器设备接地装置有金属连接。接地电阻可参见使用说明书，一般小于 100Ω 即可。接地线进入 PLC 控制柜中的信号接地端子排。当出现干扰时将 PLC 的接线端子与信号接地端子排连。

4.4 纸箱印刷机控制系统的硬件设计

4.4.1 纸箱印刷机控制系统分析

本项目的要求有以下几点：

1. 经济实用，能够适应现场的恶劣环境，提高设备的可靠性。
2. 方便现场数据的修改，具有一定的柔性。
3. 保证加热温度控制准确，提高生产率。
4. 提高设备自动化率。

根据原设备存在的缺点，以及改进提出的要求，我们优先考虑安全稳定性好、有质量保证的 PLC 品牌，综合以上的考虑，决定采用如下硬件设备^[51,52]。

核心 PLC 选择 S7-200，这是西门子公司的低端型，它内含三个通信接口 (RS-232 两个、RS-485 一个)；24 点 DC24V 输入，16 点输出，四路 AB 相或八路单相高速计数(频率达 20KHz)；一路脉冲输出，频率达 20KHz。能够很好的满足设计要求。

由于整套控制系统共有 26 路输入，20 路输出，需再加扩展模块，考虑到整套系统以后的可扩展性，采用 S7-200/226CPU 用于扩展其输入输出点。S7-200/226CPU 是西门子公司的配套扩展输入模块，含 8 点 DC24V 输入，具有 8

点输出，两扩展模块通过扩展数据线和核心 PLC 连接。

由于对于印刷辊和送纸辊的速度需要调节，如果采用滚筒机构加装变速箱的方式，增加了上下料结构的复杂性，并且无柔性可言，不利于用户以后对生产线的升级，故考虑采用变频器，经综合考虑，选择 VFD-M 台达变频调速器，它性能优良，价格便宜，具有 MODBUS 通讯功能。并且永宏 PLC 支持 MODBUS-RTU 通信协议，可通过 FB-DTBR 的 port1 与变频器之间进行通讯，实现对上料辊道电机，下料辊道电机的控制。

由于需要和上位机以及变频器之间进行通讯，故采用 FB-DTBR 作为 PLC 的通信适配器，实现和上位机之间的通信联系以及与交流变频器的通信以实现对电机的控制^[53,54]。

4.4.2 纸箱印刷机总体设计流程

纸箱印刷机控制系统的 PLC 程序设计流程图如图 4-2 所示。

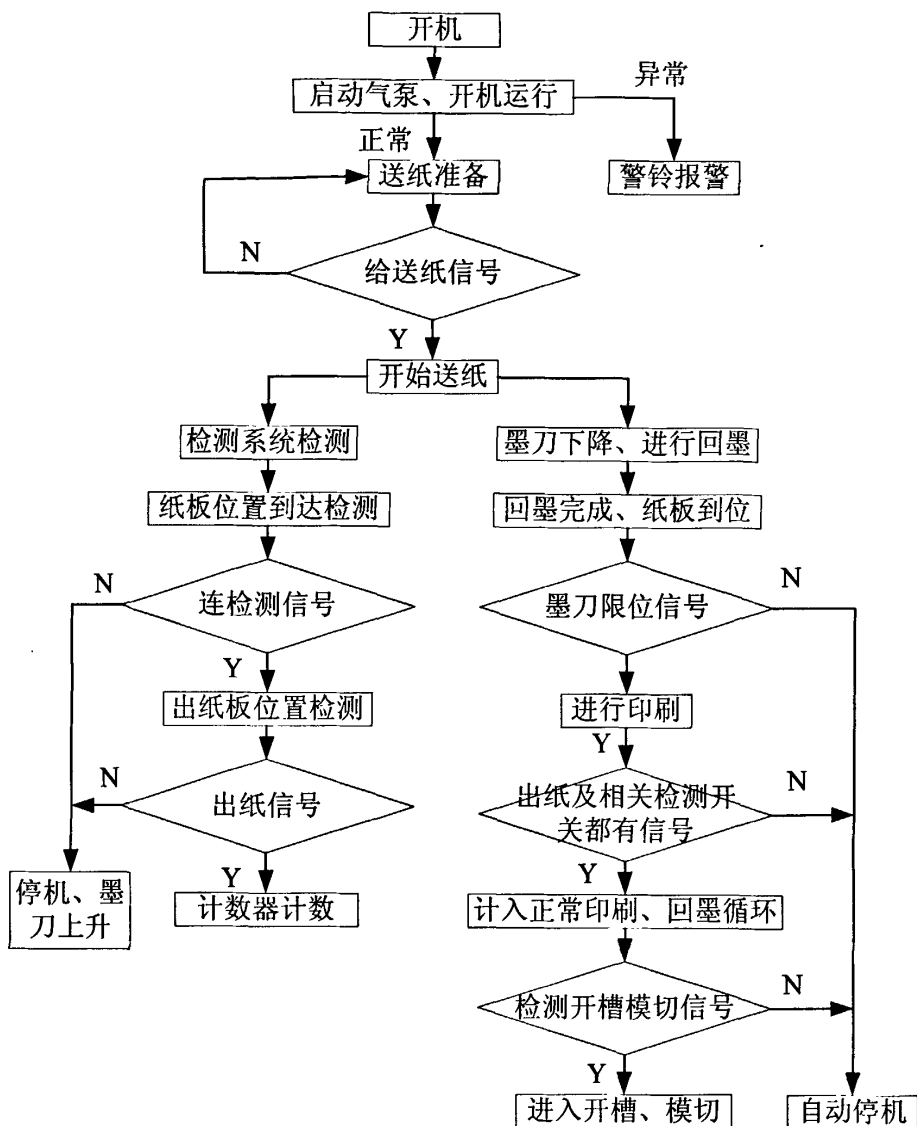


图 4-2 PLC 程序设计流程图

Fig.4-2 PLC program design flow chart

本系统由西门子 S7-200CPU214/EDC 可编程控制器，变频伺服系统组成控制核心，其结构如图 4-3 所示。

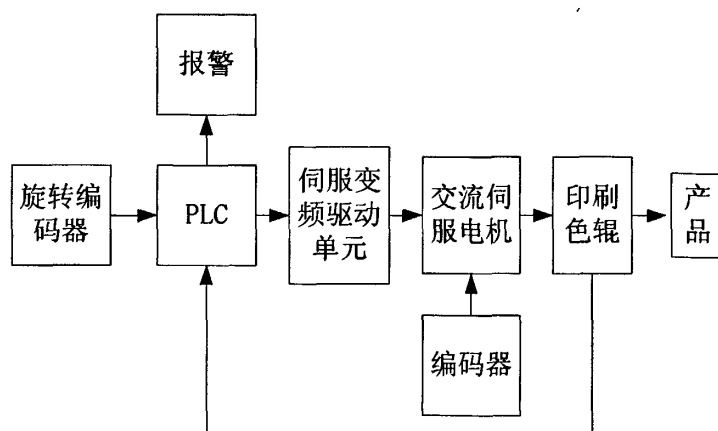


图 4-3 控制系统硬件结构

Fig.4-3 Control system hardware block diagram

各个外围器件读取生产过程产生的开关量、模拟量数据，并进行处理，向 PLC 发送指令数据，进行修正控制。

按控制原理：整个传动系统由最初轴头安装一台旋转编码器，随着传动系统的运转，编码器产生连续的脉冲信号，即每转一周发出 n 个脉冲，根据辊子周长可换算出 20mm 相当于多少个脉冲，此脉冲信号作为输入给定信号，通过连接到 PLC 的 10.6 口送到高速计数器 HSC1 的 CLOCK 中。设 HSC1 的工作模式为 1，即 HDEF、1、1。印刷电脉冲信号通过连接到 PLC 的输入端 11.0 反馈到高速计数器 HSC1 的 RESET 中，PLC 通过 RS-485 接口进行异步串行通信，PC 机从 PLC 中读取这些数据和状态信号，通过软件进行比较分析、运算、逻辑判断后，向 PLC 发出控制指令和数据，对执行机构输出控制量，调节印刷辊的相对位置，消除印刷错位。

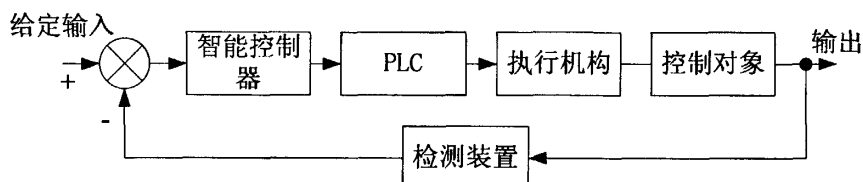


图 4-4 控制原理框图

Fig.4-4 Control principle diagram

在整套印刷中，一般采用改变印刷滚筒的转动角度以达到调整印刷位置的目的。

的，其闭环控制如图 4-4 所示

图 4-4 中检测装置为色标传感器，它把检测到的色标信号转化为电脉冲送到 PLC 中，执行机构是交流伺服系统，它由 PLC 直接驱动，不需要任何外围电路，PLC 把检测到的信号与存储器预先测定好的标准值相比较得到偏差值，然后按运算规律根据脉冲偏差值算出该发出多少个脉冲。

根据旋转编码器原理可知，每轴角发出的脉冲数越多，位置精度越高，假设给定值 20mm 相当于 20 个脉冲，而印刷一部与印刷二部两脉冲触发时间段中计数为 18 个脉冲。以印刷一部为基准，这说明印刷二部在传动中速度太快，图形发生失真，为了使印刷二部速度减慢，纠正位置偏差，应立即使微电机反转相当于 2 个脉冲的角度，假设印刷二部与印刷三部两脉冲触发时间段脉冲数为 23 个脉冲，以印刷二部为基准，这说明印刷二部在传动中太慢，为了使印刷三部速度加快，纠正位置偏差，应立即使微电机正转相当于 3 个脉冲的角度以消除偏差。在控制系统中，这些补偿脉冲应由 PLC 的 PTO 集成脉冲输出功能通过输出端 Q0.0 输出到交流驱动器 MSD 的指令脉冲输入端中，并使驱动器处于脉冲串位置控制方式，参数 NO_29 应选 3，此方式为脉冲串加符号，指令符 2 输入端应根据控制需要分别由 PLC 输出端发给高电平或低电平以控制电机正、反转，这时驱动器可以根据偏差的正负值驱动电机正转、反转一定角度来修正位置偏差^[55]。

4.5 纸箱印刷机控制系统的软件设计

4.5.1 系统 PLC 程序的设计语言

在可编程控制器中有多种程序设计语言，它们是梯形图语言、布尔助记符语言、功能表图语言、功能模块图语言及结构化语句描述语言等。梯形图语言和布尔助记符语言是基本程序设计语言，它通常由一系列指令组成，用这些指令可以完成大多数简单的控制功能，例如，代替继电器、计数器、计时器完成顺序控制和逻辑控制等，通过扩展或增强指令集，它们也能执行其它的基本操作。功能表图语言和语句描述语言是高级的程序设计语言，它可根据需要去执行更有效的操作，例如，模拟量的控制，数据的操纵，报表的报印和其他基本程序设计语言无

法完成的功能。功能模块图语言采用功能模块图的形式，通过软连接的方式完成所要求的控制功能，它不仅在可编程序控制器中得到了广泛的应用，在集散控制系统的编程和组态时也常常被采用，由于它具有连接方便、操作简单、易于掌握等特点，为广大工程设计和应用人员所喜爱^[56]。

纸箱印刷机控制系统所要求的控制功能，可以用梯形图语言来编写 PLC 程序，下面简单的介绍一下梯形图语言：

梯形图程序设计语言是照梯形图的图形符号来描述程序的一静程序设计语言。采用梯形图程序设计语言，程序采用梯形图的形式描述。这种程序设计语言采用因果关系来描述事件发生的条件和结果。每个梯级是一个因果关系。在梯级中，描述事件发生的条件表示在左面，事件发生的结果表示在后面。

梯形图程序设计语言是最常用的一种程序设计语言。它来源于继电器逻辑控制系统的描述。在工业过程控制领域，电气技术人员对继电器逻辑控制技术较为熟悉，因此，由这种逻辑控制技术发展而来的梯形图受到使用者的欢迎，并得到了广泛的应用。

梯形图程序设计语言的特点是：

- (1) 与电气操作原理图相对应，具有直观性和对应性；
- (2) 与原有继电器逻辑控制技术摆一致，对电气技术人员来说，易于掌握和学习；
- (3) 与原有的继电器逻辑控制技术的不同点是，梯形图中的能流(Power Flow)不是实际意义上的电流，内部的继电器也不是实际存在的继电器，因此，应用时，需与原有继电器逻辑控制技术的有关概念区别对待；
- (4) 与布尔助记符程序设计语言有一一对应关系，便于相互的转换和程序的检查。

4.5.2 控制系统主程序

开机后，系统开始工作时，主程序的任务就是根据 PLC 把随机读到的计数值与标准值相比较，而得到的偏差值，调节电机正转或反转，来保证控制的精度。主程序流程图如图 4-5 所示。

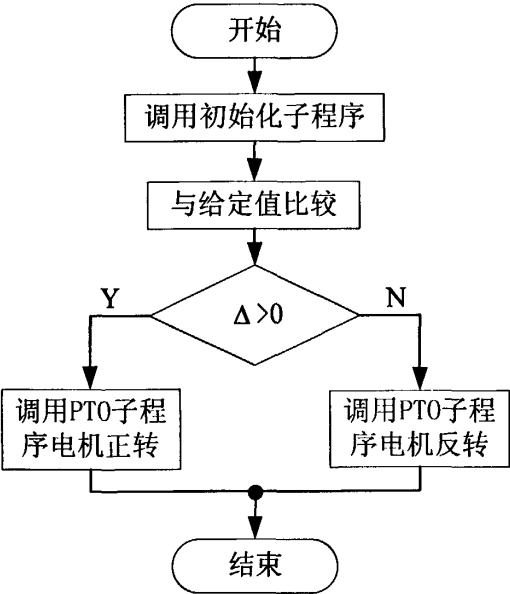


图 4-5 主程序流程图

Fig.4-5 Main programmer flow chart

4. 5. 3 控制系统子程序

本系统软件包括主程序初始化对零程序、计数子程序、集成脉冲输出子程序。

1.初始化对零处理 初始化对零程序的任务是使系统一合电源包装印刷机自动地对某个给定值进行跟踪而减少错位。当编码器的回 0 脉冲一到就起动高速计数器，PLC 一旦检测到印刷信号就立即读取计数值，送入存贮器中。初始化子程序流程图如图 4-6 所示。

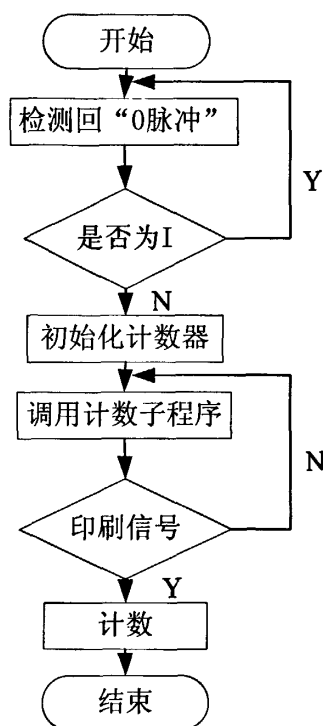


图 4-6 初始化子程序流程图

Fig.4-6 Initialization subroutine flow chart

2.计数子程序 首先把高速计数器 HSC1 的控制字节 SMB47 置为 16#FC。其含义为：正方向计数，可更新预置值（PV），可更新当前值（CV），激活 HSC1。

然后，用指令 HDEF 把高速计数器 HSC1 置成工作模式 1，即只有复位没有起始输入，也没有方向选择。当前值 SMD48 复位为 0，预置 SMD52 置成 FFFF(16 进制)。当色标传感器的印刷脉冲信号输入到 PLC 的 11.0 就引起中断，读取计数器当前值。用指令 HSC1 来启动计数器。

3.集成脉冲输出子程序 CPU214/DC 有两个脉冲输出，可以用来控制交流器的脉冲，集成脉冲输出子程序流程图如图 4-8 所示。

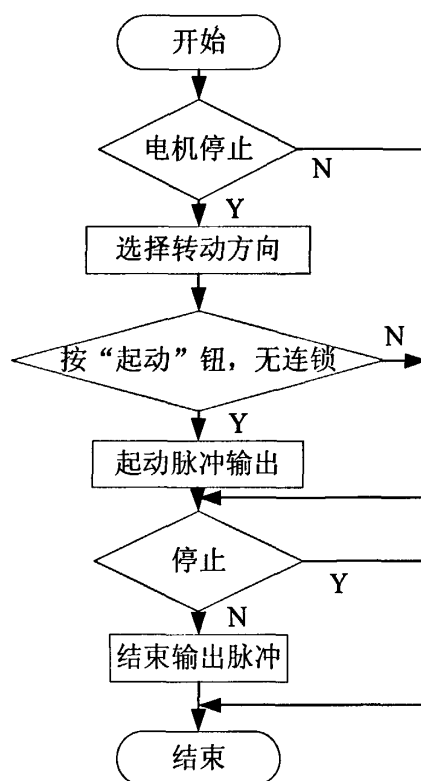


图 4-8 集成脉冲输出子程序流程图

Fig.4-8 Integrated pulse output subroutine flow chart

4.5.4 电动机的程序控制

1. 起动电机的三个条件 起动后，在输入端 11.0 产生脉冲上升沿（从 0 到 1）；无连锁，即连锁标志 M0.2=0；电机处于停止状态，即操作标志 M1.0=0。

如果同时具备上述 3 个条件，则将 M0.1 位置，控制时执行 PLS0 指令，在输出端 Q0.0 输出脉冲，其他必须预先具备的条件，已经在首先扫描（SM0.1=1）设置，主要是脉冲输出功能的基本数据，例如时基、周期和脉冲数。

2. 停止电机的两个条件 停止后，在输入端 11.1 产生脉冲上升沿（从 0 到 1）；电机处于运转状态，即操作标志 M0.1=1。

如果同时具备上述 2 个条件，则将标志 M0.1 复位，并中断输出端 Q0.0 的脉冲输出。

3. 连锁 为保护人员和设备的安全，在按停止按钮（11.1）之后，必须规定驱

动器联锁，将联锁标志 M0.2 置位，立即关断驱动器，只有在 M2.0 复位后，才能重新起动电机。当停止按钮松开后，为防止电机的意外起动，只有在启动按钮和停止按钮都松开后，才能将 M2.0 复位，如要再次起动电机，则必须再发动一个起动信号。

4.6 本章小结

本章的主要内容是在了解纸箱印刷机控制系统原理基础上，对纸箱印刷机生产线进行控制功能的设计，分配系统的输入输出控制变量。利用 STEP7 软件，进行 PLC 的变量定义、硬件结构和梯形图的程序设计。完成了纸箱印刷机的 PLC 程序控制设计。同时应用模糊 PID 控制的方法，设计出较优化的控制系统，实现了较高的控制精度，系统可靠性大大提高。

第五章 纸箱印刷机控制系统的通信设计与调试

5.1 控制系统的通信方式

西门子 S7 系列 PLC 中的 S7-200CPU 支持多种通信协议。根据所使用的 S7-200CPU, 网络可以支持一个或多个协议, 包括通用协议和公司专用协议。专用协议包括: 点对点(Point-to-Point)接口协议 (PPI)、多点(Multi-Point)接口协议 (MPI)、自由通信接口协议、Profibus 协议和 USS 协议^[58]。S7-200PLC 具有很强的通信功能, 有多种通信方式可供选择, 如单主站方式、多主站方式和远程通信方式等^[57]。

1. 单主站方式 在单主站方式的通信网络中, PC 作为单一主站, S7-200 作为从站, 两者之间通过 PC/PPI 电缆连接, 系统连接示意图。这样可以实现点对点通信、监控、参数设定、编程等。单主站通信方式示意图如图 5-1 所示。

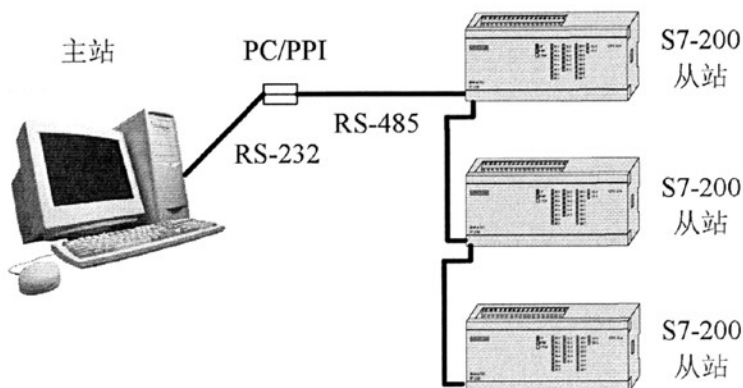


图 5-1 单主站通信方式示意图

Fig.5-1 Single-master communication schematic diagram

2. 多主站方式 在多主站方式下, 通信网络中有多个主站, 一个或多个从站, 系统连接示意图如图所示。图中, 带 CP 卡的计算机、文本显示器 TD200 及操作面板 OP15 是主站, S7-200 的各 CPU 是从站。

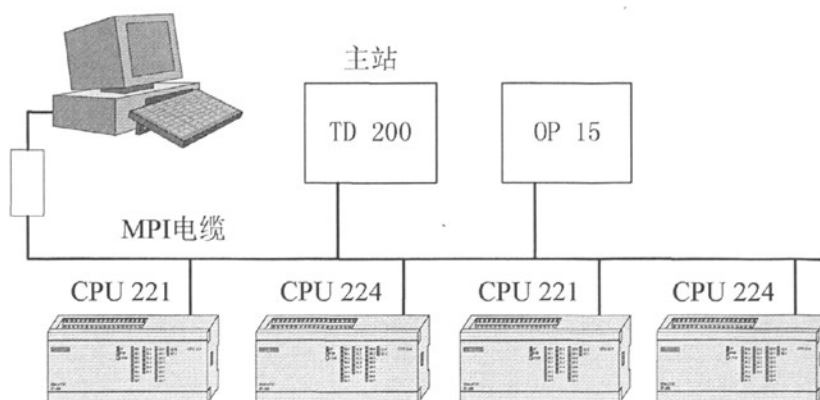


图 5-2 多主站通信示意图

Fig.5-1 Multi-master communication schematic diagram

3. 远程通信方式 单主站方式通过调制解调器(Modem)与一个或多个作为从站的 S7-200CPU 相连。

4. 自由端口通信方式 由用户程序来控制 CPU 的串口通信。用户可以利用发送/接收中断、发送/接收指令来控制通信的操作，实现与打印机、CRT、条形码阅读器设备的通信。通信方式按照实际的要求进行选择，通信电缆和接口（如 RS-232、RS-485、25-pin to 9-pin Adapter）则需要硬件的支持。

表 5-1 STEP7-Micro/WIN32 支持的硬件配置

Table5-1 The hardware configuration of STEP7-Micro/WIN32 supported

支持的硬件	类型	支持的波特率 (Kbit/s)	支持的协议
PC/PPI 电缆	电线连接器，与 PC 通信口连接	9.6, 19.2	PPI 协议
CP 5511	类型，PCMCIA-卡	9.6, 19.2, 187.5	用于笔记本电脑的 PPI, MPI, 及 PROFIBUS 协议
CP 5611	PCI 卡（版本 3 或更高）		用于 PC 的 PPI, MPI, 及 PROFIBUS 协议
MPI	集成在 PG/PC 的 ISA-卡内		

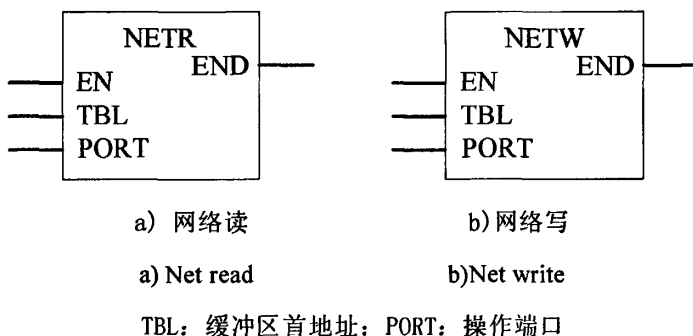
表 5-1 是 S7-200 所支持的通信硬件及波特率，可供用户选择。此外，S7-200 还可以通过 EM277PROFIBUS-DO 模块连接到 PROFIBUS-DP 现场总线网络，各通信卡提供一个与 PROFIBUS 网络相连的 RS-485 通信口。

在该纸箱印刷机上的工艺装置要求的基础上，我们定义了项目的网络通信方式，它有一个触摸屏 TP270 作为上位机，可用带有 STEP7-Micro/WIN32 的 PC 机监控，两个 S7-200PLC 并两者之间有通信，以及 7 个西门子的调速变频装置。

5.2 控制中 PLC 之间的通讯

5.2.1 通信网络读写的实现

两台 PLC 的 CPU 之间的数据通信是用 NETR(网络读)和 NETW(网络写)指令来实现的。西门子 S7-200PLC 的 NETR 和 NETW 的指令格式分别如图 5-3 中 a)、b)所示。



TBL: Buffer first address; PORT: Operation of port

图 5-3 网络读/网络写指令格式

Fig.5-3 Net read / Net write Instruction format

网络读(NETR)通信指令，通过指令指定的通信端口(PORT)从远程设备上接收数据，并将接收到的数据存储在指定的缓冲区表(TBL)中。网络写(NETW)通信指令，通过指令的通信端口(PORT)向远程设备写入指令指定的缓冲区表(TBL)中的数据。缓冲区表(TBL)的参数定义见表 5-2 所示，其中“字节 0”的各标志位及错误码(4 位)的含义见表 5-3。

表 5-2 缓冲区的参数定义

Table5-2 The parameter definition of buffer

地址	定义				
字节 0	D	A	E	0	错误码
字节 1	远程的地址（被访问的 PLC 地址）				
字节 2	远程站的数据指针（指向远程 PLC 存储区中数据的间接指针）				
字节 3					
字节 4	远程站的数据指针（指向远程 PLC 存储区中数据的间接指针）				
字节 5					
字节 6	数据长度 1~16（远程站点被访问数据的字节数）				
字节 7	数据字节 0	接收或发送数据区，1-16 个字节，其长度在字节 6 中定义 执行 NETR 后，从远程读到的数据放在这个数据区； 执行 NETW 后，要发送到远程站的数据要放在这个数据区			
字节 8	数据字节 1				
⋮	⋮				
字节 22	数据字节 15				

表 5-3 缓冲区首字节标志位的定义

Table5-3 The definition of first buffer byte flag bit

标志位	定义	说明
D	操作已完成	0=未完成，1=功能完成
A	激活(操作已排队)	0=未激活，1=激活
E	错误	0=无错误，1=有错误
错误码	0	无错误
	1	超时错误
	2	接收错误
	3	离线错误
	4	队列溢出错误
	5	违反通信协议
	6	非法的参数
	7	没有资源
	8	第 7 层错误
	9	信息错误

5.2.2 通信程序的设计

在本文中，按照通信方式的设计模式选择 PLC1 的端口 0 与 PLC2 的端口 0 作为两个 PLC 之间的通道进行 3 个字节的数据传输。第一个 PLC 作为 PLC 之间通信的主站，其余的 PLC 作为从站。如 PLC1 为主站，站地址为 2，PLC2 为从站，站地址为 3，因此，在 PLC1 中编写通信程序，用 NETR/NETW 指令来分别读取 PLC2 的数据和向 PLC2 写入数据，而 PLC2 不需要通信程序。表 5-4 是 PLC1 的网络读写缓冲区的地址定义。

表 5-4 PLC1 的缓冲区定义

Table5-4 The buffer definition of PLC1

字节意义	状态字节	远程站地址	远程站数据区 指针	数据长度	数据字节
NETW 缓冲 区	VB4100	VB4101	VD4102	VB4106	VB4107-VB4109
NEYR 缓冲 区	VB4110	VB4111	VD4112	VB4116	VB4117-VB4119

通信程序编程中需要利用寄存器 SMB30 和 SMBI30 进行 S7-200 PLC CPU 的通讯端口、通信协议以及波特率的设置，寄存器 SMB30 控制端口 0 的自由通讯：SMBI30 控制端口 1 的自由口通信。可以从 SMB30 和 SMBI30 读取或向 SMB30 和 SMBI30 写入。这些字节配置各自的通讯端口，进行自由口操作，并提供自由口或系统协议支持选择，如表 5-5 所示。

表 5-5 寄存器 SMB30 和 SMB130 的定义

Table5-5 The definition of register SM30 and SM130

符号名称	SM 地址		位格式	MSB				LSB				
	端口 0	端口 1		7							0	
P0_Config P1_Config	SMB30	SMB130		P	P	b	b	b	b	m	m	
			pp:	0	0	无校验						
				0	1	偶校验						
				1	0	无校验						
				1	1	奇校验						
	SM30.5- SM30.6	SM130.5- SM130.6	d:	0	每个字符 8 个数据位							
				1	每个字符 7 个数据位							
	SM30.2- SM30.4	SM130.2- SM130.4	bbb:		0	0	0	38, 400bps				
					0	0	1	19, 200bps				
					0	1	0	9, 600bps				
					0	1	1	4, 800bps				
					1	0	0	2, 400bps				
					1	0	1	1, 200bps				
					1	1	0	115, 200bps				
					1	1	1	57, 600bps				
SM30.0- SM30.1	SM130.0- SM130.1	mm:		0	0	点对点接口协议						
				0	1	自由口协议						
				1	0	PPI/主站模式						
				1	1	保留						
			注释:当选择代码 mm=10 时, CPU 在网络上成为主站设备, 允许执行 NETR 和 NETW 指令。									

5.3 纸箱印刷机中的 PLC 与变频器的通信

5.3.1 通用串行接口协议

通用串行接口协议(Universal Serial Interface Protocol,USS)是 Siemens 公司所有传动产品的通用通讯协议^[59],它是一种基于串行总线进行数据通讯的协议,可支持变频器同 PC 或 PLC 之间建立通信连接。USS 协议是主、从结构的协议,规定了在 USS 总线上可以有一个主站和最多 30 个从站;总线上的每个从站都有一个站地址(在从站参数中设定),主站依靠它识别每个从站;每个从站也只对主站发来的报文做出响应并回送报文,从站之间不能直接进行数据通讯。另外,还有一种广播通讯方式,主站可以同时给所有从站发送报文,从站在接收到报文做出相应的响应后可不回送报文。

西门子的 S7-200 提供 USS 协议的指令,用户使用指令可以方便地实现对变频器的控制,常常适用于规模较小的自动化系统。该自动化系统中利用 USS 协议以主从方式构成工业监控网站,在网络内有一个主站,1~31 个从站,各站点有唯一的标识码识别,然后用一个主站(PC, 西门子 PLC)进行控制,包括变频器的启/停、频率设定,参数修改等操作,总线上的每个传动装置都有一个从站号(在参数中设定),主站依靠它识别每个传动装置^[60]。

5.3.2 USS 协议优点

本项目印刷机中采用的 USS 协议的优点如下:

1.硬件设备要求低,减少了设备之间的布线。

2.速率高,可达 187.5kbit/s。对于有十个调速器,每个调速器有 6 个过程数据需要刷新的系统,PLC 的典型扫描时间周期为几百毫秒。

3.有极高的快速性和可靠性。数字化的信息传递,提高了系统的自动化水平及运行的可靠性,解决了模拟信号传输所引起的干扰及漂移问题。

4.通过串行接口设置或改变传动装置的参数,无需重新连线就可以改变控制功能。它采用与 PROFIBUS 相似的操作模式,总线结构为单主站、主从存取方式。

报文结构具有参数数据与过程数据，前者用于改变调速器的参数，后者用于快速刷新调速器的过程数据，如启动/停止、速度给定、力矩给定等。

5. 可实时的监控传动系统。

在使用 USS 协议通讯时，其通讯系统的硬件连接主要要求如下：

1. 条件许可的情况下，USS 主站尽量选用直流型的 CPU（针对 S7-200 系列）

2. 一般情况下，USS 通讯电缆采用双绞线即可（如常用的以太网电缆），如果干扰比较大，可采用屏蔽双绞线。

3. 在采用屏蔽双绞线作为通讯电缆时，把具有不同电位参考点的设备互连会在互连电缆中产生不应有的电流，从而造成通讯口的损坏。要确保通讯电缆连接的所有设备，或是共用一个公共电路参考点，或是相互隔离的，以防止不应有的电流产生。屏蔽线必须连接到机箱接地点或 9 针连接的插针 1。建议将传动装置上的 0V 端子连接到机箱接地点。

4. 尽量采用较高的波特率，通讯速率只与通讯距离有关，与干扰没有直接关系。

5. 终端电阻的作用是用来防止信号反射的，并不用来抗干扰。如果在通讯距离很近，波特率较低或点对点的通讯的情况下，可不用终端电阻。多点通讯的情况下，一般也只需在 USS 主站上加终端电阻就可以取得较好的通讯效果。

6. 当使用交流型的 CPU22X 和单相变频器进行 USS 通讯时，CPU22X 和变频器的电源必须接成同相位的。

7. 建议使用 CPU226（或 CPU224 和 EM277）来调试 USS 通讯程序。

8. 不要带电插拔 USS 通讯电缆，尤其是正在通讯过程中，这样极易损坏传动装置和 PLC 的通讯端口。如果使用大功传动装置，即使传动装置掉电后，也要等几分钟，让电容放电后，再去插拔通讯电缆。

针对 USS 协议通信方式的常用 USS 主站和从站的性能对比见表 5-6、表 5-7。

表 5-6 常用 USS 主站的功能

Table5-6 The function of common USS master station

产品	通讯接口	最大通讯波特率
CPU22X	9 芯 D 型插头	115.2K bps
CPU31XC-PTP	15 芯 D 型插头	19.2K bps
CP340-C	15 芯 D 型插头	9.6K bps
CP341-C	15 芯 D 型插头	19.2K bps

表 5-7 常用 USS 从站的性能

Table5-7 The function of slave USS master station

产品	PKW 区	PZD 区	Bico	终端电阻	通讯接口	最大通讯波特率
MM3/ECO	3 固定	2 固定	NO	NO	9 芯 D 型插头或端子	19.2K bps
MM410/420	0, 3, 4, 127	0-4	YES	NO	端子	57.6 K bps
MM430/440	0, 3, 4, 127	0-8	YES	NO	端子	115.2 K bps
Simoreg 6RA70	0, 3, 4, 127	0-16	YES	YES	9 芯 D 型插头或端子	115.2 K bps
Simovort 6SE70	0, 3, 4, 127	0-16	YES	YES	9 芯 D 型插头或端子	115.2 K bps

5.3.3 USS 通信数据格式和编程要求

USS 协议是以字符信息为基本单元的协议，而 CPU22X 的自由口通讯功能和 CPU31XC-PTP 的 RS422/485 串行口正好也是以 ASCII 码的形式来发送接收信息的。利用这些 CPU 的 RS485 串行口的通讯功能，由用户程序完成 USS 协议功能，可实现与 Siemens 传动装置简单而可靠的通讯连接。USS 协议的通信字符格式为一位起始位、一位停止位、一位偶校验位和八位数据位。数据报文最大长度位 256 个字节，它包括 3 字节的头部、一字节的校验码和主数据块，数据块按照字的方式组织，高字节在前。通信数据报文格式如表 5-8 所示。

表 5-8 通信数据报文格式

Table5-8 Communication data message format

STX	LGE	ADR	1	2	...	n	BCC
-----	-----	-----	---	---	-----	---	-----

其中：

STX——起始字符，位 02Hex；

LGE——报文长度，为 $n+2$ ($3 \leq n \leq 254$)；

ADR——从站地址码，bit0~bit4 表示从站地址，bit5 为 1 表示广播发送，bit6 为 1 表示镜像发送，用于网络测试，bit7 为 1 表示特殊报文；

BCC——校验字符，为从 STX 开始所有字节的异或和。

在一帧内完成过程控制数据传输的同时，可以通过指定参数号完成设备控制参数的读写。数据块由参数值域(PKW)和过程数据域(PZD)组成，二者都为变长数据，其格式如表 5-9 所示。

表 5-9 数据块格式

Table5-9 Data block format

PKW			PZD
PKE	IND	PWE ₁ ...PWE _n	PZD ₁ ...PZD _n

其中：

PKW 域——参数值域，由参数识别码、子参数号和参数值构成，参数个数根据设备的定义最大可有 124 个字；

PZD 域——过程控制数据域，包括控制字/状态字，设定值/实际值，不同的驱动产品定义不同，最多可有 16 个字符；

PKE——参数标识码，PNU(bit0~bit10)表示参数号，SP(bit11)为参数改变标志，由从站设置；AK(bit12~bit15)为报文类型，主站到从站。主站有 16 种不同的报文类型；

IND——用来指定某些数组型设备参数号的子参数号。

编程要求：

1.USS 主站(PLC)与 USS 从站(传动装置)之间的通讯是异步方式的，负责与传动装置通讯的工作程序应采用后台工作方式，如何发送接收数据应与控制逻辑无关。用户程序通过改变 USS 报文中的 STW 及 HSW 的值，来控制变频器的启停及改变设定频率值。

2.利用发送指令(如 XMT, P_SEND, P_SND_RK)发送 USS 报文至传动装置,利用接收指令(如 RCV, P_RCV, P_RCV_RK)接收变频器返回的 USS 报文。同一时刻,只能有一个发送指令或接收指令被激活。

3.通讯程序包括通讯端口初始化子程序、BCC 校验码计算子程序、数据发送子程序、数据接收子程序、通讯超时响应子程序、通讯流程控制子程序等。可采用中断响应的方式,也可用查询相应标志位的方式来实现。

4.设立发送接收数据缓存区与映像区,用户应通过改变映像区的 USS 发送报文值来控制传动装置,或通过读取映像区 USS 接收报文中的状态值来判断传动装置的当前状态。以防止因干扰而接收到错误数据而使 PLC 做出错误的判断和控制

5.对各从站的控制应采取轮询方式,轮询程序同样也是后台工作方式工作的。根据对各台传动装置控制任务的轻重,在 PLC 数据区内建立一个从站地址表,按该地址表轮询各传动装置。采用间接寻址的编程方式,可大大节省 CPU 的程序空间。轮询地址表示例如图 5-4 所示。虽然, USS 协议的实际物理地址只有 30 个,但轮询地址表的大小无限制,其有效站地址可以在表中根据实际应用需要反复出现。实际轮询站点数越多,其轮询的间隔时间也越大,而表中站地址重复次数越多,其轮询的间隔时间越小,因此必须为每个传动装置设定适当的通讯超时时间以适应这种轮询间隔。

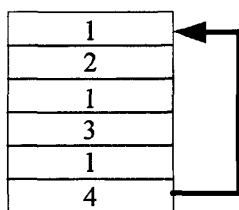


图 5-4 轮询地址

Fig.5-4 Polling address

6.不同 USS 从站可以有不同的 USS 报文结构,如 3PKW+2PZD;4PKW+4PZD;0PKW+6 PZD 等组合。但整个系统要支持广播方式,则 USS 网络中的所有从站都必须有相同的 PKW 区才行。传动装置对以广播方式发送的指令做出响应后,不再回送报文,因此 PLC 可以不再进入数据接收状态。

5.3.4 PLC 通信的接收/发送指令

本项目中印刷机采用的是 S7-200PLC。该 PLC 的发送和接收指令如图 5-5 所示

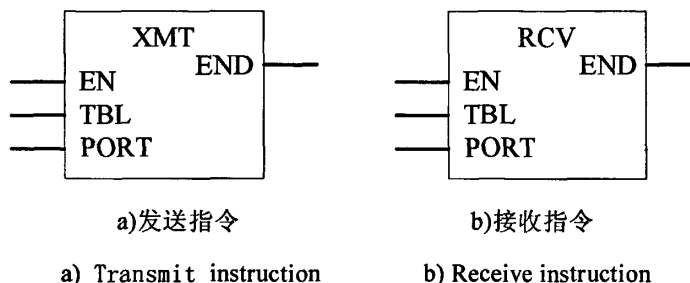


图 5-5 发送与接收指令

Fig.5-5 The instruction of transmit and receive

1.发送指令 发送指令 XMT(Transmit)启动自由端口模式下数据缓冲区(TBL)的数据发送，通过指定的通信端口(PORT)，发送存储在数据缓冲区(TBL)中的信息。XMT 指令可以发送 1~255 个字符如果有中断程序连接到发送结束事件上，在发送完缓冲区中的最后一个字符时，端口 0 会产生中断事件 9，端口 1 会产生中断事件 26。数据缓冲区(TBL)按照通信协议要求的格式。

2.接收指令 接收指令 RCV(Receive)初始化或中止接收信息的服务，通过指定的通信端口(PORT)，接收信息并存储在数据缓冲区(TBL)中。数据缓冲区中的第一个字节用来累计接受到的字节数，它本身不是接收到的，起始字符和结束字符是可选项。

5.3.5 纸箱印刷机通信程序的设计

在系统中有 7 台西门子的变频调速装置，其中与 PLC1 连接着 3 台，与 PLC2 连接着 4 台，因此在 PLC1 和 PLC2 的程序中都有与变频调速装置的通信程序。在这里，为了通信程序的通用性与标准化的目的，将 PLC 通过 USS 协议与变频调速装置的通信设计成 4PKW+4PZD，它是子程序，通过主程序的调用来实现。通信程序的设计思路是利用发送指令 XMT 启动自由端口模式下数据缓冲区(TBL)

的数据发送，通过指定的通信端口，发送存储在数据缓冲区(TBL)中的信息；接收指令 RCV 初始化或中止接收信息的服务，通过指定的通信端口，接收信息并存储在数据缓冲区(TBL)中。

为了实现其通用性，在通信程序中将通信端口及波特率都设置成多种选择。根据 USS 协议的字符格式和实际工程中一般要求将报文长度设置成 20 字节，数据块长度为 16，起始地址为 VB4201，数据缓冲区的定义如图 5-6 所示。接收的数据缓冲区起始地址为 VB4251，数据块长度也为 16 字节。

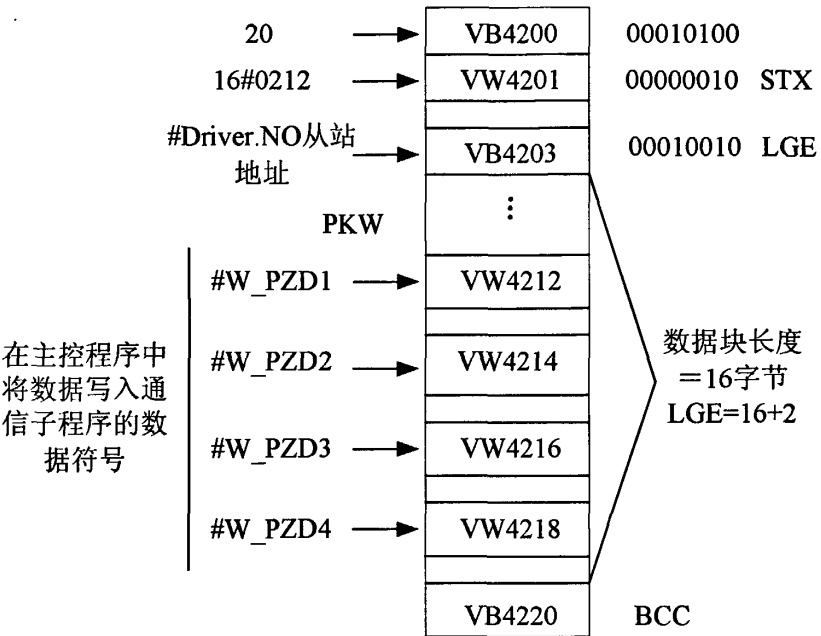


图 5-6 数据缓冲区的定义

Fig.5-6 The definition of data buffer

按照 S7-200 支持的通信协议，将 PLC1 的通信端口 1 设置成自由口模式通过 USS 协议的报文格式与变频器的 USS 端口进行数据交换。根据表 5-4 寄存器 SMB30 和 SMBI30 的定义设置特殊存储器字节 SMBI30，在这里设为 16#49，转化为二进制为：0101001，即：偶校验，波特率=9600bit/s，自由端口协议。该程序的 POU 符号表见表 5-8。

表 5-8 程序 POU 符号表

Table 5-8 The POU symbol table of programme

编号	符号	地址	注释
1	主程序	OB1	主程序
2	IO_Ctrl	SBR0	I/O 点逻辑控制程序
3	COM_Net	SBR1	NETR/NETW 通信
4	COM_Ini	SBR2	USS 通信的参数设置
5	TAL_Xmt	SBR5	通信字符格式 TAL 表
6	TIME_Int	INT0	通信中断时间
7	SED_Over	INT1	发送中断事件
8	RVC_Over	INT2	接收中断事件

按照 USS 通信字符格式和 S7-200 的指令规定设计的通信程序，它由主程序 OB1 调用，调用程序在主程序中编写。在主程序中将指定中断的中断时间写入 SMB34，并运用全局中断指令，执行 SBR2 子程序可以设置轮询与多个变频器通信。

5.4 纸箱印刷机控制系统的通信调试

本项目的纸箱印刷机的调试工作在工厂内完成。按照电气控制系统的设计，生产主机、牵引、左收线和右收线等控制柜，并安装好各类电器元器件，如接触器、中间继电器、空气开关以及 PLC 和变频器，然后根据通信设计用通信电缆接好各通信端口(其中部分接口用带编程口的 DP 头)，将 PLC 的控制程序和用 Protool 编写的画面程序分别下载到 PLC 和 TP270 中，并根据前面章节提供的通信参数的设置方法设置好通信参数后就，就可以进行通信调试了。

5.4.1 PLC 之间的通信调试

在编完 PLC 的控制程序后，要将程序下载到 PLC 中，按照前面叙述的方法先设置好下载程序的参数，主 PLC 的程序地址设为 2，从 PLC 的程序地址设为 3，下载程序用的波特率可以使用 PPI 通信波特率的任意波特率，但是在系统块中设

置的波特率两者必须保持一致(如 19.2kb/s)。下载程序时需要建立 PG/PC 与 PLC 之间的通信连接^[41], 这时 PG/PC 是主站, 在 STEP7-Micro/WIN32 中先搜索到从站即 PLC。搜索到从站后, 在 STEP7-Micro/WIN32 上点击下载按钮, 这时便将程序下载到 PLC 了。主、从站的 PLC 程序分别下载好了以后, 就可以进行 PLC 的调试工作了, 在 STEP7-Micro/WIN32 中监控, 动作时可以看到控制柜中 PLC 的 I/O 点的灯亮和灭以及继电器和接触器等元件的接通和断开。要测试两个 PLC 之间的通信情况还需要将两台 PG/PC 分别接到 PLC1 和 PLC2 上, 在 PLC1 的状态表的 VB4107, VB4108 和 VB4109 中写入数据, 在 PLC2 的状态表的 VB1001, VB1002 和 VB1003 中会读到相同的数据; 在 PLC2 的状态表的 VB1004, VB1005 和 VB1006 中写入数据, 在 PLC1 的状态表的 VB4117, VB4118 和 VB4119 中读到相同的数据。这就说明 PLC 之间的通信可以实现了。

5.4.2 PLC 和变频器的通信调试

PLC 到变频器之间用通讯电缆连接, 利用两台 PG/PC 可以监控 PLC 能够顺利地读取和写入变频器的通信数据, 在 PLC 上的 PG/PC 中写入数据, 在变频器的 P701 的 16 个字节中可以读取, 相反 PLC 和 TP270 上能读取变频器的控制字和状态字, 及报警信息。从可编程控制的模拟量输出端输出电压, 用一根屏蔽电缆接到变频器的模拟量输入端, 实现频率的改变。由于可编程控制器和变频器在一个柜子里, 控制柜还有其它的高压器件, 所以干扰问题尤其严重。首先考虑到由于用电缆传输, 在电缆上有电压降问题, 这在实际中必需解决的问题。考虑控制柜里有很多的高压器件, 干扰问题, 基于这些因素, 我们专门做了测试。从 PLC 中发出数据, 在变频器中观测数据的变化, 看看和实际的差距多大。测试以后, 数据变化不是太大, 我们在程序中做了一下微小的调整, 整个数据从 PLC 中传输到变频器中误差可以满足实际需要。利用 PG/PC 可以监控 PLC 能够顺利地读取和写入变频器的通信数据^[61]。

5.4.3 变频器、编码器和电动机的通信调试

速度控制的关键所在, 从变频器到电机之间的传输必须保证速度的一致性。

电机运转的转速要和变频器中给定的数值一致，才能保证剪切的精度^{[43][44]}。实际运转了以后，我们实测到速度的变化，在变频器中修改参数，使速度的误差减小到最小，满足实际生产的需要。从电机尾端编码器反馈回来的数据，和实际数据相比较，调整以后，转速的实际数值满足生产需要^[62]。

整个系统经过测试，调整了各部分之间的差距，达到了厂家要求的各项要求，完全满足生产需要。

5.5 本章小结

本章介绍了工业控制系统的综合应用，将各种通用的控制技术与实践优化结合，从纸箱印刷机的 PLC 自动控制系统入手，详细介绍了 PLC 在控制系统领域的应用，介绍了控制系统的通信方式和通信设计，将西门子 S7-200 PLC 和变频器利用 USS 协议通信作为一个典型的控制方案，实现了通信程序的标准化设计。

总结与展望

本文的主要内容是在研究纸箱印刷机控制系统原理基础上,对纸箱印刷机控制系统进行设计,分配系统的输入输出控制变量。完成了纸箱印刷机的 PLC 程序控制设计。同时应用模糊 PID 控制的方法,设计出较优化的控制系统,实现了较高的控制精度,系统可靠性大大提高。

针对纸箱印刷机械控制系统中的精度问题,在比较传统 PID 和模糊 PID 控制不同的控制算法的基础上,提出了用模糊 PID 控制实现的纸箱印刷机控制系统的解决方案。文章主要探讨了模糊 PID 控制算法的实现,并对以 USS 协议现场总线在本文控制系统中的应用作了浅析。

本文在纸箱印刷控制系统研究与应用中虽然取得了一定的成果,但还只是刚刚起步,仍然存在许多问题有待于进一步研究,将今后进一步研究工作总结为:

各个印刷部的协调控制问题,要协调控制各局部套色单元需要依据高效准确的控制算法,本文的控制系统采用模糊 PID 控制,各偏差数据进行反馈返回各印刷部控制单元,所以整个控制系统的精度控制算法还有待继续深入研究。继续深入研究高精度的控制算法以提高 PLC 与电动机变频器,印刷辊编码器的通信,以及辅助外围器件的设计和搭建。将变频驱动器的其他功能开发出来,形成一种监控系统,从而达到更加完善的控制效果。

综上所述,本文研究是在多色纸箱印刷机上将 USS 协议现场总线与 PLC 结合,综合控制现场设备、编码器、变频器及上位机,组成了高速、实时、可靠的网络化纸箱印刷机控制系统。提高工作可靠性和稳定性,满足了各种控制精度要求 and 生产精度要求,对于纸箱印刷生产产业的发展具有一定的积极意义。

参考文献

- [1] 宋华振. 印刷控制技术的发展趋势[J]. 自动化博览, 2007, 24(3): 38~40.
- [2] 陈文革, 蒋文燕, 黄学林. 我国凹版印刷机的现状及发展方向[J]. 包装工程, 2008, 29(4): 169~171.
- [3] 张印辉, 张云生, 何自芬. 包装印刷机械气动离合压控制系统设计[J]. 包装工程, 2007, 28(12): 144~146.
- [4] 张晓玲, 黄岩, 沈韶华. 单张纸印刷机纸张定位装置设计[J]. 机械设计与研究, 005, 21(4): 97~100.
- [5] 周永仁. 无轴传动在印刷机中的应用[J]. 包装工程, 2006, 27(5): 295~296.
- [6] 陈希荣. 卷筒宽幅柔印机是瓦楞纸箱预印的最佳机型[J]. 中国包装, 2008, 28(3): 55~58.
- [7] 冯瑞乾. 现代印刷的发展及应用[J]. 印刷技术, 2000 (1): 11~13.
- [8] 李锋. 无轴传动技术在印刷机中的应用研究:[硕士学位论文]. 山东大学, 2006.
- [9] 朱益飞. PLC 的发展及其应用[J]. 电气时代, 2008, 9: 70~72.
- [10] 胡瑛, 管力明, 鲁聪达. 无轴印刷机结构原理[J]. 包装工程, 2006, 27(3): 100~102, 112.
- [11] 袁佑新, 杨婕, 甘伟等. 基于模糊控制算法的复卷机张力控制系统[J]. 中国造纸, 2006, 25 (1): 29~32.
- [12] 李国勇. 智能控制及其 MATLAB 实现[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005: 232~260.
- [13] D.Knittel, D.Gigan, E.Laroche. Robust decentralized overlapping control of large scale winding systems[C] . Proceedings of the American Control Conference, 2002, 3(3): 1805~1810.
- [14] Sakamoto, Tetsuzo. Decentralized Controller design of web tension control system in terms of interactions[J] . IEEE International Symposium on Industrial Electronice, 1999, (3): 1466~1471.
- [15] 肖明运, 郭前岗. ACS800 系列变频器实现纸机的间接张力控制[J]. 中国造纸, 2005, 24 (7): 68~69.
- [16] Mikuz, Masenka, Sostar-Turk, et al. Printing and design in the processes of textile

- inkjet printing[J]. Tekstilec, 2008, 51 (3): 7~29.
- [17]朱岩, 郭军平. 变论域自适应模糊 PID 方法的研究与仿真[J]. 空军工程大学学报, 2005, 6 (5) 11~13.
- [18]蒋胜, 刘惠康. 模糊自适应 PID 控制器在张力控制中的应用[J]. 微计算机信息, 2006, 22 (8): 32~34.
- [19]鲁伟, 麻红昭. 基于 PLC 和模糊控制的涂布同步控制系统[J]. 化工自动化及仪表, 2004, 31 (3): 73~74.
- [20]陈虹, 施向东, 杨正庆. 印刷机仿真平台的研究与设计[J]. 包装工程, 2006, 27(6): 169~171, 178.
- [21]吴铁斌, 刘祖润, 徐学军等. 一种智能 PID 复合控制器的设计[J]. 自动化与仪表, 2006, (4): 45~48.
- [22]陈静, 高殿斌, 鲍振博等. 基于 MATLAB 的热定型 PID 张力控制设计[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2005, (2): 58~59.
- [23]张恩勤. 模糊控制与 PID 控制方法的比较[J]. 上海交通大学学报, 1999, 33 (4): 501~503.
- [24]唐中一, 于今, 顾庆祥. 复合传动与控制[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2004.
- [25]龙娟娟, 慎永日, 祝宪民. 基于 PLC 的联合机恒张力模糊控制法[J]. 纺织电气, 2005, 3: 26~28.
- [26]Rubio B, Bontio, Fuertes J, Kahoraho E. Performance evaluation of four field buses[J]. Emerging Technologies and Factory Automation, 1999, 18(2): 881~890.
- [27]罗旭. 散粮码头 PLC 控制系统的设计与实现: [硕士学位论文]. 武汉理工大学, 2008.
- [28]Baral, Anjan Kumar. Print quality of sheet fed offset & digital printing technologies[J]. Quarterly Journal of Indian Pulp and Paper Technical Association, 2008, 20 (4): 89~92.
- [29]Ghoshal, S. P. Optimizations of PID gains by particle swarm optimizations in Fuzzy based automatic generation control[J]. Electric Power Systems Research, 2004, 72 (3): 203~212.
- [30]Okada, Kenji, Sakamoto, Tetsuzo. Adaptive Fuzzy control for web tension control system[C]. IECON Proceedings (Industrial Electronics Conference), 1998, (3):

1762~1767.

- [31]Mansour,S.E., Kember,G.C., Dubay,R, et al. Online optimization of Fuzzy-PID control of a thermal process[J].ISA Transactions,2005,44 (2): 305~314.
- [32]王杰. 现场总线技术的现状与发展[J]. 电气传动自动化, 2005, 27 (3): 15~19.
- [33]张燕宾主编. 变频调速应用实践[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [34]孙玉秋. 国产凹印机自动套色控制系统[J]. 包装工程, 2005, 26 (5): 72~74.
- [35]黄一, 张文革. 自抗扰控制器的发展[J]. 控制理论与应用, 2002, 19 (4): 85~92.
- [36]陈德传, 卢玲. 组合式凹版印刷机彩色套准控制系统[J]. 1999, 6 (3): 42~45.
- [37]吴庆奇, 张森林. 凹版印刷机自动套色系统中预对版的实现[J]. 包装工程, 2003.24 (3): 38~40.
- [38]骆再飞, 蒋静坪, 许振伟. 交流伺服系统及其控制策略综述[J]. 机床与液压, 2002 (6): 7~11.
- [39]叶定春. PID 调节器及其智能化技术的探讨[J]. 煤气与动力, 2004, 24 (5): 56~59.
- [40]Pyong-Ho Kim, Sa-Hyun Sin, Hyung-Lae Baek, et al. Speed control of AC servo motor using neural networks[J]. ICEMS 2001, Vo.2, Aug.2001: 691~694.
- [41]陈立定. 电气控制及 PLC 可编程控制器[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2001.
- [42]吴宏鑫, 沈少萍. PID 控制的应用与理论依据[J]. 控制工程, 2003, 10 (1): 37~42.
- [43]韩京清. 非线性 PID 控制器[J]. 自动化学报, 1994, 20 (4): 87~90.
- [44]王振滨, 牛立, 余鹿延. 柔性印刷机虚机实电仿真系统[J]. 系统仿真学报, 2007, 19(2): 293~295, 316.
- [45]冯光, 黄立培等. 异步电机的新型非线性自抗扰控制器的研究[J]. 清华大学报 (自然科学版), 1999, 39 (3) :30~33.
- [46]Inhelder J.,Smith P.R.. Improving wire processes through closed loop tension

- control[J]. Proceedings of the Annual Convention of Wire Association International, 2001 (5): 404~410.
- [47]王晓初. 现代机电设备的网络结构及其在高速无轴多色印刷机的应用[J]. 包装工程, 1999 (4): 33~35.
- [48]张荣, 韩京清. 用模型补偿自抗扰控制器进行参数辨识[J]. 控制理论与应用, 2000, 17 (1): 79~81.
- [49]齐容, 肖维荣. 可编程计算机控制器原理与应用[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2002.
- [50]王伟, 张晶涛, 柴天佑. PID 参数先进整定方法综述[J]. 自动化学报, 2000, 5 (26): 70.
- [51]贾建民, 程跃辉. 用于凹版套色印刷机的张力控制系统[J]. 控制系统, 1999, 14 (1): 30~32.
- [52]刘刚. 凹印机无套准调节辊控制的优化[J]. 今日印刷, 2003, 5: 58~61.
- [53]Laing, John R. Terials for digital printing[J]. International Conference on Digital Printing Technologies, 2005, (1): 21~25.
- [54]Williams, Chris H.. Electrographic printing[J]. Print and Paper Europe, 2004, 16 (7): 18.
- [55]张化光, 何希勤. 模糊自适应控制理论及应用, 北京航空航天大学出版社, 2002 (第1版).
- [56]王雁中. 如何解决凹版印刷中的套印问题[J]. 今日印刷, 2005, 1: 94.
- [57]Lichtner, Edward. Digital color printing[J]. Caractere, 2006, 5: 48~52.
- [58]邱功伟. 可编程控制器网络通信及应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.
- [59]GetriebebauNORD GmbH&Co . KG . NORDAC SK 700E Manual USS protocol[J]. December 2001: 18~33.
- [60]Joseph J. DiStefano, Allen R. Stubberud, Ivan J. Williams. Schaum's outline of theory and problems of feedback and control systems[M]. McGraw-Hill, 1990.
- [61]John J., D'Azzo, H. Houpis. Linear control system analysis and design: conventional and modern[M]. Beijing: Tsinghua University press, 2000.
- [62]袁照平. 自动检测技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.

攻读学位期间发表的论文

- [1] 徐凤阳, 袁清珂. 印刷中的多电机同步控制. 《现代制造工程》, 2009 增刊. (已录用).
- [2] 袁清珂, 徐凤阳. 健合机引线框架夹持传送机构的设计与开发. 《机床与液压》, 2009, 37 (4).
- [3] 袁清珂, 徐凤阳. 印刷机多电机同步控制系统的研究及应用. 《机电产品开发与创新》, 2009, 4. (已录用).

致 谢

在整个研究生学习工作的三年时间里，始终得到了我的导师袁清珂教授的细心指导和耐心帮助。导师袁清珂教授渊博的知识，严谨的治学精神，一丝不苟的工作作风，真诚待人的态度，给了我深刻的启迪和影响。三年来，袁清珂老师以严谨的治学态度和循循善诱的授业方法，在科研、专业学习和日常生活上对我关心、教育和培养，使我受益匪浅，启迪良多。值此毕业来临之际，向尊敬的导师表示衷心的感谢和最深的敬意。

非常感谢吕文阁老师、唐文艳老师、成思源老师以及机械设计教研室的各位老师对我在学习期间的教导和关心，它们严谨治学的态度，诲人不倦的作风都使我终生难忘，在此表示诚挚的感谢。

非常感谢师兄赵斌博士、夏博、谢养、张维，曾德东、颜旭辉、郑开经，和同学张林海、丁兵、周鹏、李朝光、丁建兴、黄永宁、梁亮、张国英、仇灿华、周传捷，以及师弟郭春荣、刘大慧、张明天、石亚平、方军等，通过与他们进行探讨，相互学习，相互促进，使我受益匪浅。你们的关心给了我很大的鼓励和力量。

感谢我的父母、姐姐和韩琳，感谢他们多年来对我的默默的支持与关心，是他们的关怀和帮助，使我的学业能够顺利完成。

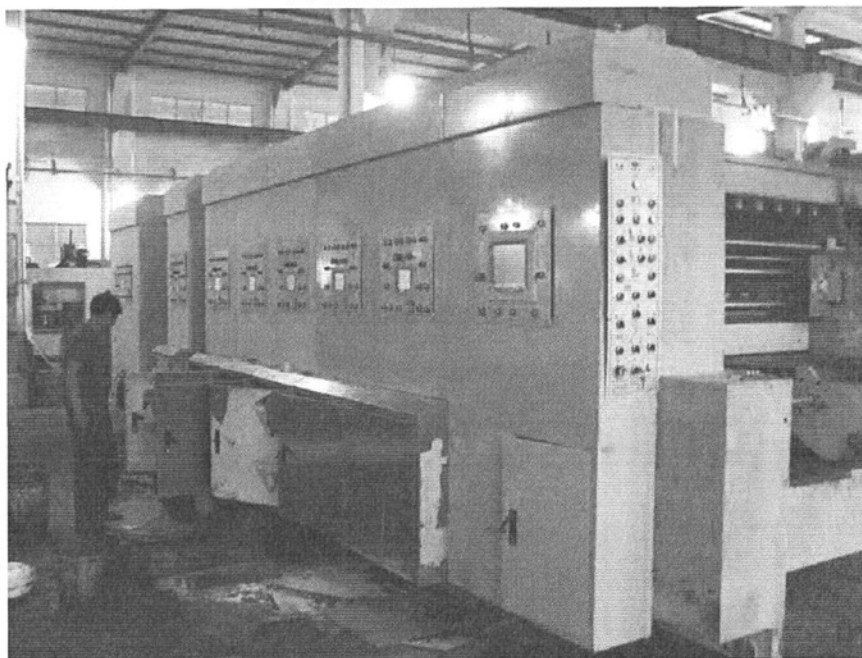
最后，衷心地感谢在百忙之中评审论文和参加答辩的各位专家、教授。

徐凤阳

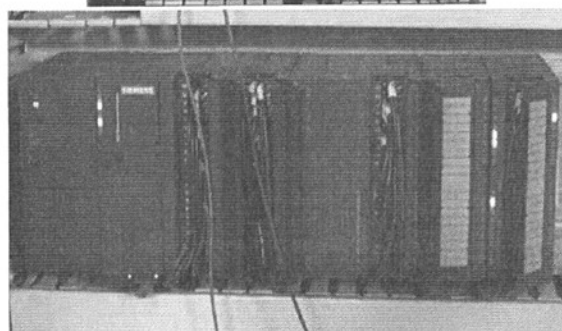
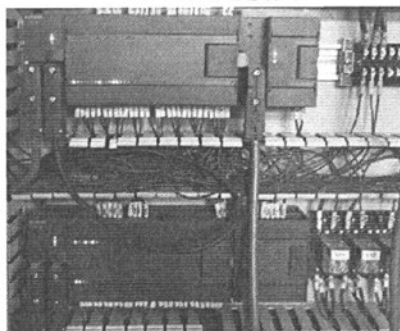
2009 年 4 月于广州大学城

附 录

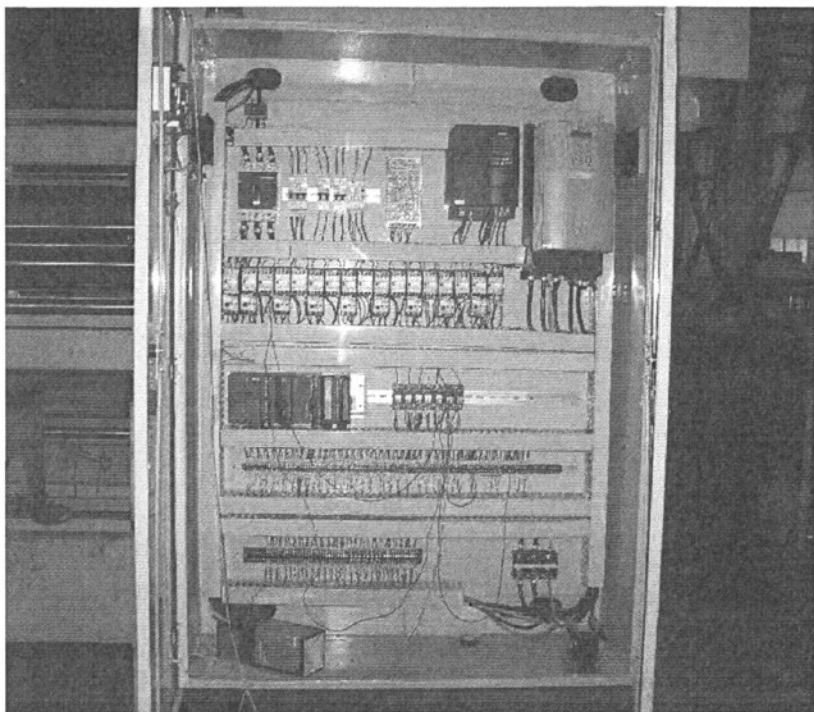
一、六色纸箱印刷机程序调试



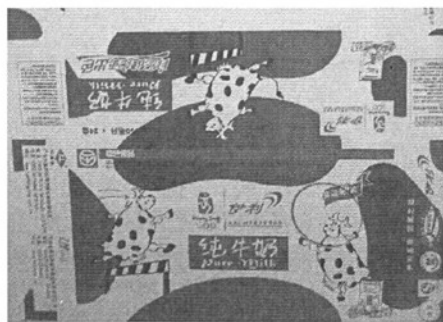
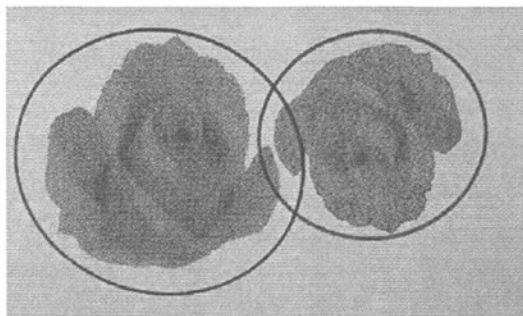
二、PLC连接图



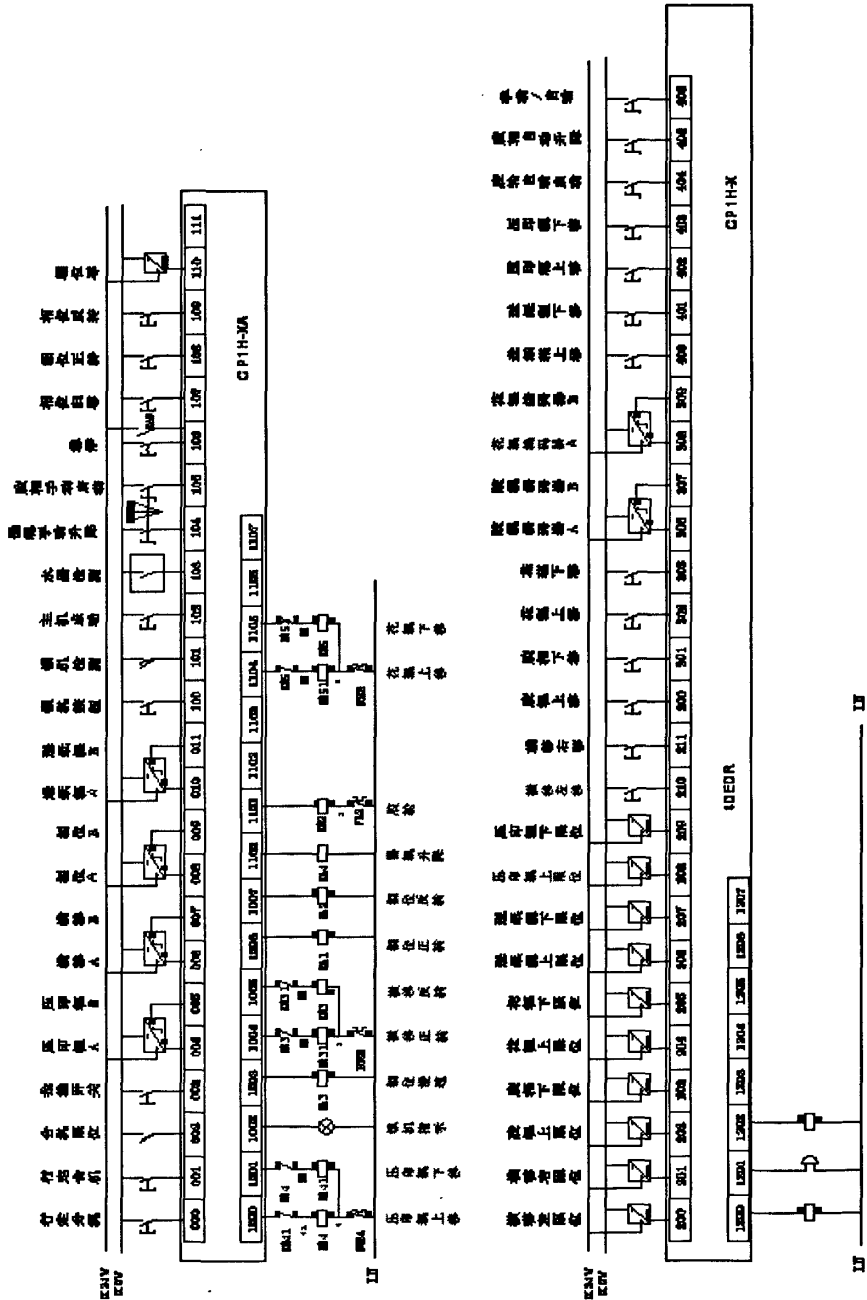
三、纸箱印刷机控制柜



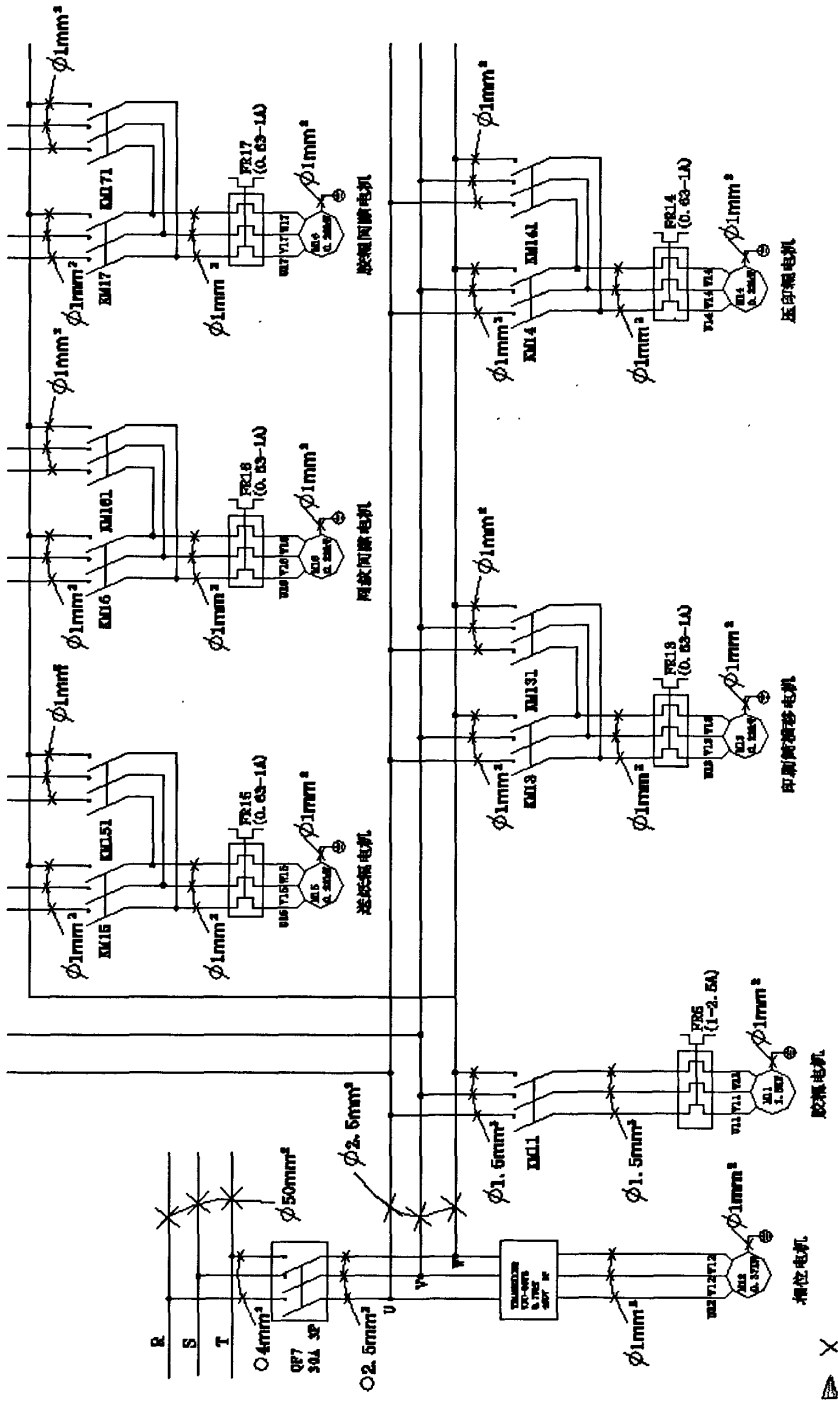
四、产品效果图



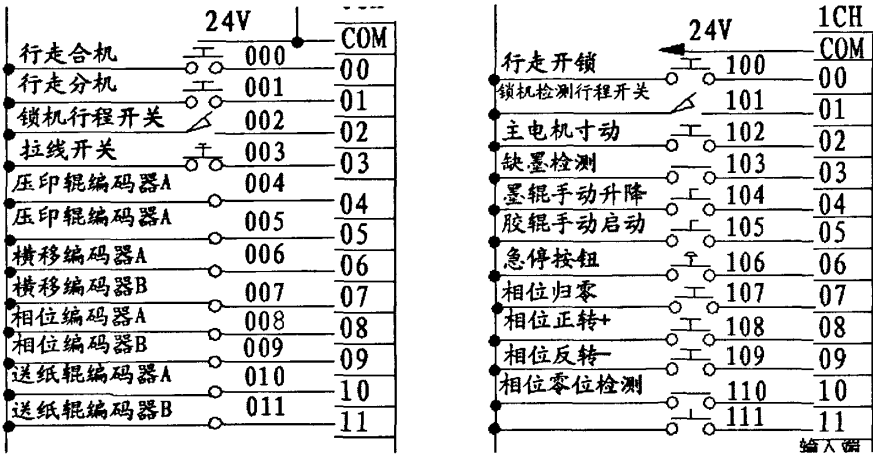
五、纸箱印刷机控制原理图



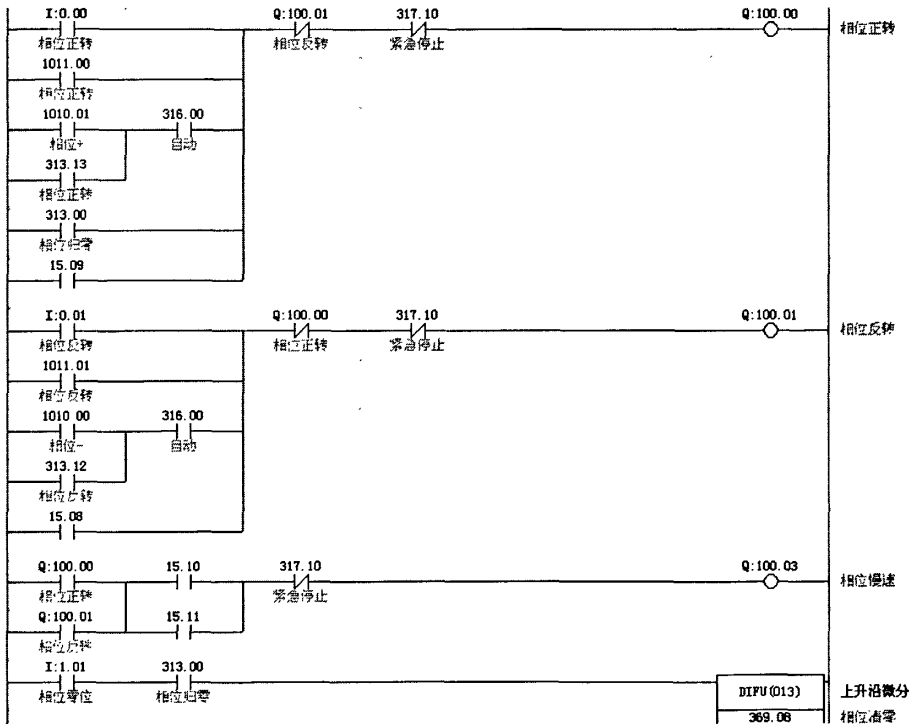
六、印刷部电机连接图

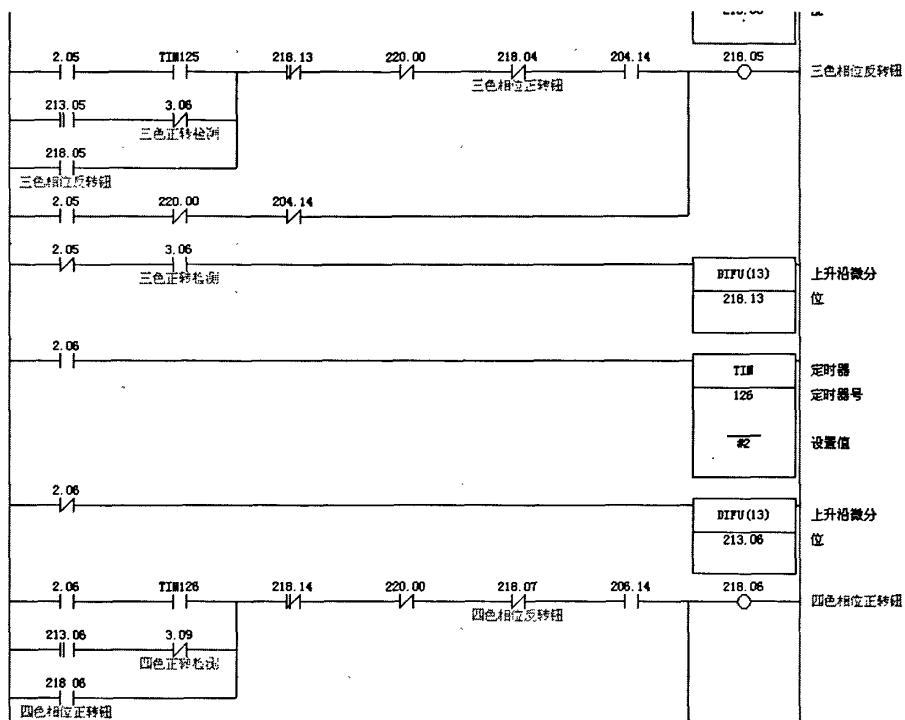


七、控制系统中输入端子和过程端子连接



八、控制程序节选（印刷辊调整程序）





纸箱印刷机控制系统研究及应用

作者：[徐凤阳](#)
学位授予单位：[广东工业大学](#)

本文链接：http://d.g.wanfangdata.com.cn/Thesis_Y1534376.aspx