

基于 CC-Link 的无轴传动机组式印刷机控制系统研究

谢志萍^{1,2}, 郑向华², 雷丽萍², 王显涛²

(1. 西南交通大学, 成都 610031; 2. 成都工业学院, 成都 611730)

摘要: 针对无轴传动机组式印刷机机组点多、分散, 要求的同步运动精度高等问题, 构建了一种新型的基于 CC-Link 现场总线的无轴传动印刷机集散控制系统。详细介绍了系统的硬件组成和基于前馈补偿的 PID 速度同步控制等系统实现的关键技术。结合工控机、PLC、变频器和印刷单元等组网建成了实验平台。通过实验, 实现了各色组间的速度同步、印刷部与前后牵引部的速度同步; 整机同启动、同停止、同加减速度; 跟随性能满足印刷要求。

关键词: 无轴传动; CC-Link; 同步运动; PLC; 变频器

中图分类号: TS803.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2012)17-0084-04

Research on Control System of the Unit Shaftless Press Based on CC-Link

XIE Zhi-ping^{1,2}, ZHENG Xiang-hua², LEI Li-ping², WANG Xian-tao²

(1. Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China; 2. Chengdu Institute of Technology, Chengdu 611730, China)

Abstract: Trains in the problem of disperse multi-unit, high synchronous motion precision etc, for the shaftless unit press, compose a new distributed control system based on CC-Link fieldbus. In details, The paper introduces the key technologies of the system realization, such as the hardware compositions of the system, PID speed synchronous control system based on feedforward compensation. By combining with IPC, PLC, inverter, printing unit, etc, built the experimental platform. Through the experiment, one printing color group synchronously with the others, the printing unit synchronously with the haulage unit, opening synchronously with closing. The tracking performance completely satisfy the printing request.

Key words: shaftless; CC-Link; synchronous motion; PLC; inverter

传统的机组式印刷机大都由异步电动机通过皮带轮带动一根机械长轴, 由长轴通过各机组的齿轮、凸轮和连杆等零件带动印版滚筒等执行机构运动, 从而实现印刷。系统中有很多机械零件, 系统维护和使用不方便, 各机组轴与机械长轴很难保持一定的同步运动关系, 套印精度很难控制。近年来, 随着电力电子技术的发展, 以相互独立的电机驱动系统代替原有机械长轴, 通过网络及程序软件形成内部虚拟电子轴的无轴传动技术得到了飞速的发展。目前, 全球的印刷企业和制造商都将目光聚焦在无轴传动技术的发展和应用上, 日本和欧洲许多国家制造的高档印刷机大多已采用无轴传动技术。国内的无轴传动系统基

本从国外引进, 因此自主研发无轴传动机组式印刷机控制系统, 有利于提高我国印刷设备的自主创新能力和技术水平, 打破国外高档印刷装备的市场垄断, 提高国际竞争力。文中针对机组式印刷机同步控制需求, 提出了一种基于 CC-Link 现场总线的无轴传动机组式印刷机控制系统解决方案, 并得以验证。

1 系统的构成

机组式印刷机主要由放卷单元、前牵引单元、印刷色组、后牵引单元和收卷单元构成^[3]。以 4 色机组式印刷机为例, 其设备构成见图 1。

收稿日期: 2012-06-08

基金项目: 四川省科技厅基础研究项目(2011JYZ028)

作者简介: 谢志萍(1970—), 女, 四川人, 西南交通大学在读博士, 成都工业学院副教授, 主要研究方向为机电系统设计。

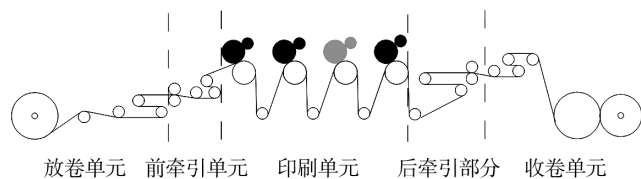


图1 无轴传动机组式印刷机系统的构成

Fig. 1 The Composition of Unit Shaftless Press System

放卷单元主要由放卷架、导纸辊、张力摆辊等构成；前后牵引单元均由驱动辊、牵引压辊和张摆辊等构成；收卷部分由张力摆辊、摩擦辊和气胀轴等组成。放卷、牵引和收卷单元的张力摆辊需系统提供动力，设计中通过 PLC 控制步进电机及其驱动器来完成张力摆辊的调节，实现收、放卷的恒张力。前、后驱动辊及收卷摩擦辊由 PLC 通过变频器控制牵引电机实现其运动。前牵引单元的作用是以恒张力把印料送到印刷部；后牵引单元的作用是以恒张力把承印材料引出印刷部分。

机组式印刷机每一色组都有水路和墨路装置。每个色组单元由印版滚筒、压印滚筒和进墨辊等组成。为了便于水、墨调节，每根水、墨辊都通过 PLC 和变频器控制。印版运动也用 PLC 和变频器控制，并在印版滚筒上安装电位器。通过电位器将模拟量传送给 4A/D，经 PLC 处理后，驱动电机，将印版滚筒转动至需要的位置，实现自动套版。为了实现同一机组中的多路速度调节，采用三菱 4D/A 数模转换器，它将 PLC 输出的数字量，根据相应的算法，转换成 0~10 V 的直流电压输出控制相应的变频器，实现多路速度调节。

2 关键技术与解决方案

机组式印刷机的控制设计属于系统设计，包括硬件和软件设计。设计的关键技术包括系统的组建和硬件的选择、控制系统的通信初始化设计、恒张力控制、同步控制和套色控制等许多问题。文中主要就系统的硬件组成、通信初始化设计和各色组的同步控制问题提出了可行的解决方案。

2.1 控制系统的硬件组成

CC-Link 现场总线是日本三菱电机公司主推的一种基于 PLC 系统的现场总线，网络中的主站由 PLC 担当，从站可以是远程 I/O 模块、特殊功能模

块、带有 CPU 的 PLC 本地站、人机界面、变频器及各种测量仪表、阀门等现场仪表设备。

从该系统的构成可知，无轴传动机组式印刷机控制系统需要多台 PLC、多个变频器、多个张力调节机构，以及多个速度或位置检测器，整个系统构成较复杂。每个色组还要考虑到安全、操作方便等，应有急停按钮、正、反转按钮，速度调节按钮等，因此输入点多。机组与机组之间相隔也较远，走线很不方便。为了使系统可靠、安全地运行，便于安装和控制，将印刷机各个控制单元通过 CC-Link 现场总线连接起来，形成了一个集散控制系统。4 色机组式印刷机控制系统由 1 个主站、15 个主要从站构成，见图 2。

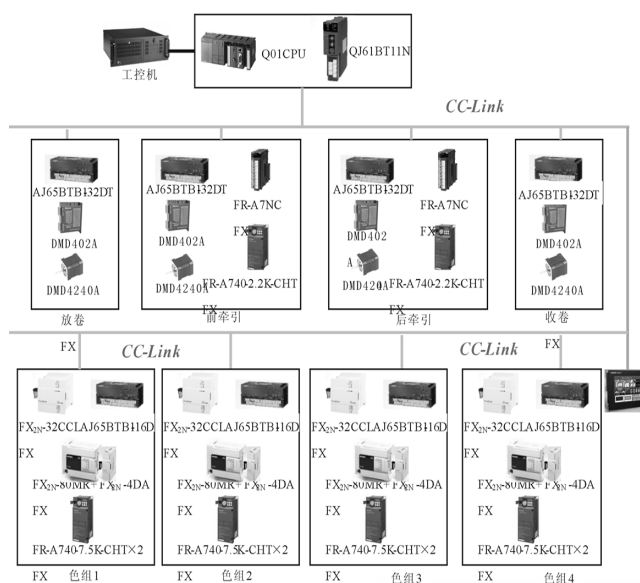


图2 无轴传动机组式印刷机控制系统的硬件组成

Fig. 2 The Hardware Components of Unit Shaftless Press System

系统中，用一台工控机作上位机，选用三菱 Q01CPU PLC 作为主站，QJ61BT11N 作为主站接口模块。主站通过 CC-Link 远程 I/O 模块 AJ65BTB1-32DT×4 执行输入输出逻辑的处理，直接控制放卷、前后牵引和收卷单元张力辊的运动控制。通过 FR-A7NC 把前、后牵引变频器 FR-A740-2.2K-CHT 接入 CC-Link 网络，通过主站 PLC 直接控制前后牵引电机的运动，便于实现送纸和收纸的恒张力控制。各色组由独立的 FX2N-80MR 处理各自的逻辑控制，并通过 FX2N-32CCL 接入 CC-Link 网络。各色组现场的相关信息通过 AJ65BTB1-32D×4 接入 CC-Link 网络返回主站，由主站协调各色组同步运动。主站发

出的同步运动控制信号,通过 CC-Link 网络控制现场 PLC,由现场 PLC 通过 FX2N-4DA 控制变频器 FR-A740-7.5K-CHT 实现各色组印版滚筒的同步运动。水、墨系统可通过人机界面 GT1055-QSBD-C 设定参数,该参数通过 CC-Link 网络发送到各色组的现场 PLC,由现场 PLC 通过 FX2N-4DA 控制该色组负责水、油墨的变频器,从而实现水、油墨的在线控制。各色组、给纸和送纸、前后牵引等系统的故障信息及报警资料通过 CC-Link 网络也可由人机界面显示相关内容及处理方法。

2.2 通信初始化设计

应用 CC-Link,最为重要的一部分就是对系统进行通信初始化设置。目前 CC-Link 有通过专门编程、使用 CC-Link 通信配置的组态软件(A 和 QnA 系列的 PLC)和通过 CC-Link 网络参数设定(Q 系列的 PLC)等 3 种方法实现通信参数的设定。该系统中选用 Q01CPU PLC 作为主站。设计时通过编程软件 GX Developer 的“网络参数(CC-Link)”的设定画面设置相应的网络参数,通过 GX Developer 的“CC-Link 诊断”进行网络监控。各站点类型通过图 3 进



图3 无轴传动机组式印刷机控制系统通信初始化设置

Fig. 3 Device Configuration Window

行设置。该初始化方法设计和调试时间短,故障检修和维护方便。

2.3 各色组基于前馈补偿的 PID 同步控制设计

在印刷机印刷过程中,要求各色组间的速度同步、印刷与前后牵引的速度同步、整机启动、停止、加减速的同步运动等。能否很好地实现各个机组的同步关系,将直接影响到印刷精度,因此,保持各轴的速度同步是开发无轴传动机组式印刷机的一个最为关键的问题。考虑到该系统机组点多、分散,要求的套印精度高,采用了基于 CC-Link 现场总线的控制方式。送纸、收纸和牵引运动直接由主站控制、各色组印版滚筒的运动由主站发出控制命令,由现场 PLC

控制相应色组的变频器驱动印版滚筒的运动。

在实际印刷过程中,印刷速度一般为 300 m/min,套印精度 <0.05 mm^[6],同步运动的适时性要求高,同步控制不能太复杂。由于矢量变频调速有动态响应速度快、调速比宽、控制精度高等特点。为了实现各色组之间严格的同步运动,考虑到技术可靠,经济可行,设计时一方面选用 PLC 控制具有矢量控制功能的变频器 FR-A740-7.5K-CHT 和矢量电机 SF-V5RU,带动印版滚筒运动。PLC 内部程序采用定时中断的工作方式,变频器内部的加减时间设定为最小,以保证其响应的快速性。另一方面,由于 PID 控制是最早发展起来的控制策略之一,其算法简单、鲁棒性好和可靠性高,被广泛应用于过程控制和运动控制中,而且 PLC 本身自带有 PID 控制功能,所以该系统设计时采用 PID 控制方法。

与伺服电机相比,矢量变频+矢量电机的低频特性相对比较软,为了提高系统在启动过程中的同步性,采用基于带前馈的 PID 主从式速度闭环控制,以 2 色组为例,其控制原理见图 4。试验时,先在 MAT-

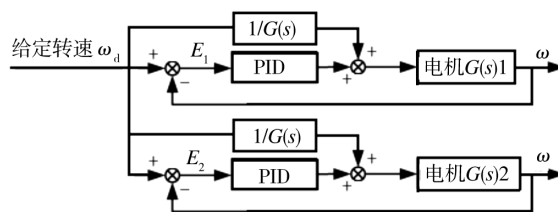


图4 基于前馈补偿的 PID 同步控制

Fig. 4 PID Synchronization Control Based on Feedforward Compensation

LAM/Simulink 环境中搭建该实验系统的基于前馈补偿的 PID 同步控制仿真平台,其响应曲线见图 5。通过仿真,验证了该方法算法简单,适时性好,采用了前馈补偿,提高了系统的跟踪性能。然后在工控机上编程实现基于前馈补偿的 PID 同步控制算法,并把该算法集成在该控制系统中。利用编码器采集各色组电机的转速脉冲信号,该信号与主站 PLC 通过 CC-Link 总线给定的转速相比较,得到误差值 E ,经带前馈补偿的 PID 控制后,由现场 PLC 控制相应的变频器和电机。在选择编码器,考虑到机组式印刷机属于大惯量负载系统,机组转动惯量很大,调整的角加速度不能太大,分辨率选为 40 000 线统的同步速度误差。实验验证了该控制系统同步速度误差 <0.05 。

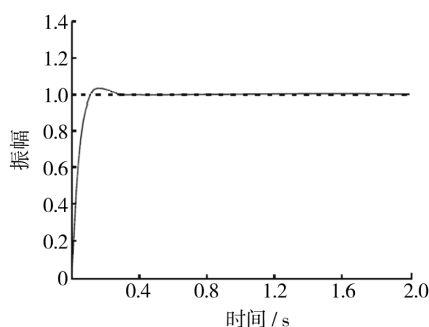


图5 基于前馈补偿的PID同步控制算法阶跃响应曲线

Fig. 5 Phase step response curve after PID Synchronization Control Based on Feedforward Compensation

3 系统特点

设计的基于 CC-Link 总线的无轴传动机组式印刷机控制系统,包括 Q01CPU PLC, QJ61BT11N, AJ65BTB1-32DT $\times$ 4, FR-A7N $\times$ 2, FX2N-32CCL $\times$ 4, AJ65BTB1-32D $\times$ 4 和 GT1055-QSBD-C 等组成的 1 个主站,15 个主要从站。结合工控机、PLC、变频器和印刷单元等组网建成实验平台。采用基于前馈补偿的 PID 速度同步控制,实现了各色组间的速度同步,印刷部与前后牵引部的速度同步,其同步速度误差 <0.05 ;整机同启动、同停止、同加减速,跟随性能满足印刷要求。

由于系统采用了 CC-Link 现场总线的方式,实现了可靠快捷的数据信息交互和简化控制配线,实现了简练的远程 I/O 控制,从而大大降低故障点且利于维护机器。由于 CC-Link 总线具有预约站功能,所以该系统在不改变组网的情况下可以直接再挂入或减少色组单元,组成不同色组数的控制系统。另外,通过 CC-Link 现场总线把各个控制单元联网,形成一个网络化的控制系统,由主站与工控机相连,工控机可利用组态软件方便地实现生产监控、报表输出等的管理功能。

参考文献:

- [1] 王梅,赵荣丽,李克天.印刷自动套准标记识别方法的研究[J].包装工程,2007,28(8):60—62.
WANG Mei, ZHAO Rong-li, LI Ke-tian. Research on Identification Method of Printing Automatic Registering

- Mark[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(8): 60—62.
[2] 陈广秋,刘树林,周建秋,等.基于 DSP TMS320F2812 的自动套色控制系统的研究与实现[J].包装工程,2010,31(8):89—92.
CHEN Guang-qiu, LIU Shu-lin, ZHOU Jian-qiu, et al. Study and Realization of Automatic Register Control System Based on DSP TMS320F2812[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(8): 89—92.
[3] 陈长飞,杨煜普.基于变频调速的粗纱机四电机系统设计[J].自动化仪表,2006(5):54—56.
CHEN Chang-fei, YANG Yu-pu. Design of Four-motor System Based on Variable Frequency Drive for Fly Frame[J]. Process Automation Instrumentation, 2006(5): 54—56.
[4] 刘然,孙建忠.多电机滑模环形耦合同步控制策略研究[J].中国机械工程,2010(11):2662—2664.
LIU Ran, SUN Jian-zhong. Research on Multi-motor Sliding-mode Synchronization Control Based on Ring Coupling Strategy[J]. China Mechanical Engineering, 2010(11): 2662—2664.
[5] 蒋斌,颜钢锋.凹版印刷机自动套色系统的控制方法与实现[J].包装工程,2000,21(6):9—11.
JIANG Bin, YAN Gang-feng. The Method and Realization of Automatic Register Controller for Gravure Printing[J]. Packaging Engineering, 2000, 21(6): 9—11.
[6] 康存锋,周明辉,马春敏,等.机器视觉技术在彩色印刷品质量在线检测中的应用[J].包装工程,2010,31(11):88—91.
KANG Cun-feng, ZHOU Ming-hui, MA Chun-min, et al. Application of Machine Vision Technology in Online Detection of Color Print Quality[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(11): 88—91.
[7] 张海燕,赵博.无轴传动系统架构、驱动形式与控制策略的分析与研究[J].包装工程,2008,29(6):50—51.
ZHANG Hai-yan, ZHAO Ya-peng. Analysis and Study of Shaft-less Transmission System[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(6): 50—51.
[8] 赵庆海,杨志伟.凹印机轴向和周向自动套准控制系统[J].包装工程,2010,31(5):86—88.
ZHAO Qing-hai, YANG Zhi-wei. Axial and Circumferential Automatic Chromatographic Control System of Gravure Printing Machine[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(5): 86—88.
[9] 林桂娟,宋德朝,陈明,等.基于 CC-Link 现场总线的远程智能监控系统[J].机床与液压,2010(8):84—86.

(下转第 93 页)

制袋机定长控制以及各模块之间的协调控制,这个是软件设计的关键所在,是制袋机控制系统最重要的部分。该部分的程序流程见图 13。

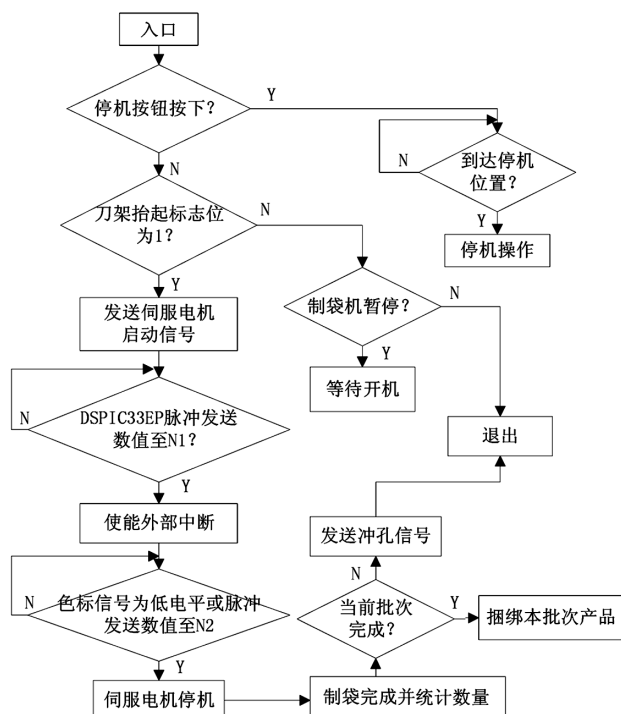


图 13 制袋过程流程

Fig. 13 Flow chart of the bag-making process

4 结论

开发的以 ARM 嵌入式为控制器的制袋机控制系统已投入使用,运行结果表明,本系统外围接口丰富,有利于系统拓展,系统的性能达到了设计要求,制袋机的生产速度达到一分钟 100 个左右。在使用 DSPIC33EP 实现制袋机定长定位的控制过程中,伺服电机的升降速曲线平滑,控制精确。制袋机的运行速度、热封和切袋的控制精度、系统实时性均优于原先的 PLC 控制系统,制造价格低于基于工控机的制

袋机控制系统。与使用工控机、PLC 的控制系统相比,现阶段本系统的综合性占据优势。

参考文献:

- [1] 韩凌,陆荣鑑. 制袋机的检测与控制技术发展概述[J]. 包装工程,2010,31(11):135-139.
HAN Ling, LU Rong-jian. Profile of Bag-making Machine Detection and Development of Control Technique [J]. Packaging Engineering, 2010, 31(11): 135-139.
- [2] 唐建光. 复合薄膜质量分析和制袋工艺条件[J]. 现代塑料加工应用,2003,15(4):20-23.
TANG Jian-guang. Quality Analysis of Laminate Film and Technical Conditions in Making Bags [J]. Modern Plastics Processing and Applications, 2003, 15(4): 20-23.
- [3] 江祖勇,刘澎,候和平,等. 制袋机控制系统研究[J]. 中国高新技术企业,2007(10):82.
- [4] 陈德传,卢玲. 制袋机定长定位协调伺服控制[J]. 基础自动化,1999,6(4):42-45.
CHEN De-chuan, LU Ling. Coordinate Servo Control of Dead Length and Fixed Position for Bag-making Machine [J]. Basic Automation, 1999, 6(4): 42-45.
- [5] 段龙. 热封切制袋机控制系统设计[D]. 厦门:厦门大学,2007.
DUAN Long. The Design of Control System for Machine Making Bags by Hot-sealing and Cutting [D]. Xiamen: Xiamen University, 2007.
- [6] 张一清. 新型高速制袋机的计算机控制系统[J]. 基础自动化,1999,6(3):46-48.
ZHANG Yi-qing. A New Computer Control System of High Speed Bag-making Machine [J]. Basic Automation, 1999, 6(3): 46-48.
- [7] 周立功. ARM 微控制器基础与实战[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2005.

(上接第 87 页)

- LIN Gui-juan, SONG De-chao, CHEN Ming, et al. Remote Intelligent Monitoring System Based on CC-Link Fieldbus [J]. Machine Tool & Hydraulics, 2010(8):84-86.
- [10] 王晓红,李树章,周辰人. 基于机器视觉的文字印刷质量检测与评价[J]. 包装工程,2010,31(7):97-99.
WANG Xiao-hong, LI Shu-zhang, ZHOU Chen-ren. Detection and Evaluation of Chinese Character Printing

- Quality Based on Machine Vision [J]. Packaging Engineering, 2010, 31(7): 97-99.
- [11] 邓昌奇. 基于 PLC 的全自动计量混合袋装机控制系统的研制[J]. 包装工程,2012,33(5):22-24.
DENG Chang-qi. Development of Control System of Automatic Measuring Mixing Bagging Machine Based on PLC [J]. Packaging Engineering, 2012, 33(5): 22-24.