DOI:10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2020.06.047

基于 PLC 的多层玻纤缠绕机控制系统的设计

王琪[1],吴少斌[1],高进可[1],孙宇峰[1],张进[2]
(1. 江苏科技大学 机械工程学院,江苏 镇江 212003; 2. 江苏贝尔机械有限公司,江苏 张家港 215600)

摘　要:对贝尔公司的缠绕机结构做了功能需求分析,进行系统的硬件组成设计,多个 PLC 间采用主-从站无线通信;根据工艺流程编制顺序功能图,加热采用 PID 算法,完成 HMI 系统设计组态。该设计既满足玻纤缠绕机对不同口径塑料管的工况需求,也实现生产过程中的不停机换带。玻纤缠绕机在实际运行过程中,动作顺畅、便捷高效、可靠性高。

关键词:玻纤缠绕机;控制系统;PLC;触摸屏;无线通信
中图分类号:TP273　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1671-5276(2020)06-0182-04

Design of Control System of Glass Fiber Winding Machine with PLC and Touch Screen

WANG Qi[1], WU Shaobing[1], GAO Jinke[1], SUN Yufeng[1], ZHANG Jin[2]
(1. School of Mechanical Engineering, Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang 212003, China; 2. Jiangsu bell machinery Co., Ltd., Zhangjiagang 215600, China)

Abstract: The structure of bell winding machine is analyzed, and the hardware for the system is designed. Then according to the process flow, the sequence function diagram is compiled, heating PID algorithm is used to complete the configuration of the HMI system design. It not only meets the working requirements of the glass fiber winding machine for plastic pipes with different diameters, but also realizes the non-stop tape change in the production process. In the actual operation process of the glass fiber winding machine, its operation is smooth, convenient, efficient and reliable.

Keywords: glass fiber winding machine; control system; PLC; touch screen; wireless communication

0　引言

玻纤缠绕机是一种将玻纤增强带按一定规律缠绕在热塑性塑料挤出成型的内层管上的机器。国际上第一台机械式纤维缠绕机于 1947 年在美国研制成功,在此之后,相继出现了各种不同形式的纤维缠绕机,基本采用机械传动方法。由于机械传动效率和运动控制精度都较低,不便于调整和更换挂轮,产品的种类也十分有限[1]。第二代缠绕机出现于 20 世纪 60 年代初,在控制形式上做出了巨大改进,有凸轮、光电模板、数字等控制方式,但是调整、准备依旧很费时。20 世纪 60 年代末,随着计算机技术的发展,纤维缠绕机也迈出了自动化的第一步,但由于计算机技术刚刚起步,计算机控制的纤维缠绕过于复杂,编程麻烦,第三代缠绕机未能普及。

近几十年来,微电子技术飞速发展,电子计算机更是经历了多代更迭,出现了以 16 位和 32 位微处理器构成的微机化 PC。其中,PLC 已由最初的 1 位机发展到现在的多处理器多通道处理 16 位和 32 位机。如今,PLC 技术已进入成熟阶段,功耗和体积不仅小,而且控制功能增强,可靠性得到了显著提高。编程使用梯形图语言,灵活方便,而且随着无线通讯和互联网 、图像处理以及图像显示的发展,使 PLC 向用于连续生产的方向转型,成为实现工业生产自动化的一大基石[2-4]。

本文依托于江苏贝尔公司设计的玻纤缠绕机,其控制系统与缠绕机的性能密切相关,需要满足柔性化制造的要求。因此,探究缠绕机的 PLC 控制系统具有重要价值。

1　工艺需求分析

如图 1 所示,玻纤缠绕机的工作原理是将玻纤带盘类似“裹胶带”的方式以一定角度裹在从机器正中心穿过的塑料内管上。缠绕效果取决于缠绕的角度、温度以及速度,在于对角度电机等是否随时可调(影响缠绕角度 α),加热温度变化响应是否及时,旋转电机的速度是否与当前的生产线管材运行速度匹配($V_r/V_t=\tan\alpha$)。电机传动采用齿轮、丝杆、皮带等方式,加热使用可控硅驱动线圈的方式。

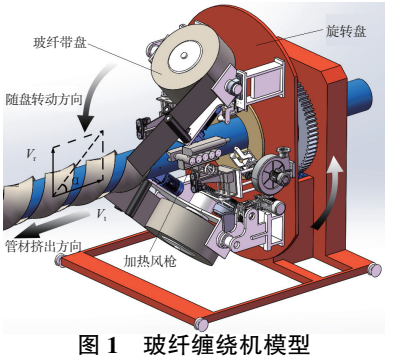

图 1　玻纤缠绕机模型

基金项目:江苏省科技成果转化专项资金项目(BA2017090);张家港市产学研预研资金项目

第一作者简介:王琪(1962—),男,江苏盐城人,教授,硕士生导师,博士,研究方向为数字化设计与智能制造工程。

玻纤缠绕机有旋转电机(伺服)、托管电机(伺服)、定中心电机、引带电机、对位电机、对角度电机、加热器、风机等需要控制组件。首先当缠绕机接通电源后可手动启动旋转电机至需要位置进行玻纤带安装并把玻纤带头引导到牵引棍里,安装完成后启动自动模式,缠绕盘转到基准位后进入待机状态,进入待机前还要手动对准缠绕角度及风枪位置(角度和风枪位也可在运行中遥控调整)。当合格的塑料管通过牵引机牵引过缠绕机时,第一次需手动启动按扭,此时风机、加热器工作,延时(时间可调)后引带电机工作将玻纤带送到压棍里,旋转电机开始工作,旋转速度视牵引管的速度作初步设置,待运行中视情况再遥控调整,同时对加热温度作精确调整。

加热总功率(单位:kW)估算:

$$w=\frac{aQ}{t}=\frac{ac\rho v(T_2-T_1)}{t}=\frac{1.4\times1.003\times1.29\times0.64\times380}{40}=10.49$$

其中:a 为热损失系数(现场测定);c 为空气比热容,kJ/(kg·K);ρ 为空气密度,kg/m^3;v 为加热区等效空气体积,m^3;T_2-T_1 为加热前后温度差,K;t 为加热时间,s。本项目预计使用 10 个 1.2 kW 加热线圈(图 2),故满足加热需要。

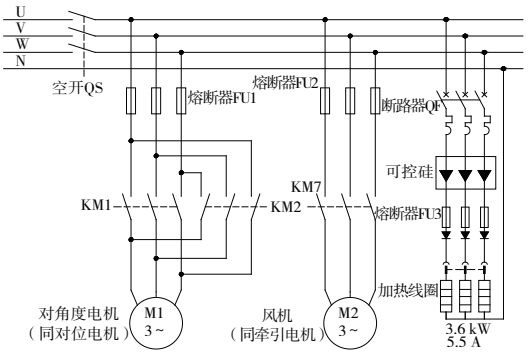

图 2　预调整和加热电气原理图(从站)

换带功能是由两台同型号的缠绕机交替工作实现的(图 3)。当玻纤带的尾端过牵引棍时,光电开关检测到后发出信号,高清摄像机迅速记录下末尾的图像,系统将图像传给另一台进入待机状态的缠绕机,并通过推进器将两台缠绕机同时推动。当待机状态的缠绕机系统找到上台机玻纤带末尾信号时,系统自动启动风机、加热器等一系列跟上台的同样环节。当这台缠绕机正常工作后,加热器自动升温、旋转速度加快,同时推进器将两台缠绕机同时反向拉到工作机的原始位,加热器和旋转电机恢复正常状态,其中旋转电机和推进电机的电气原理图见图 4。当这台缠绕机的玻纤带到尾端时系统象上次一样工作,但推进方向相反。

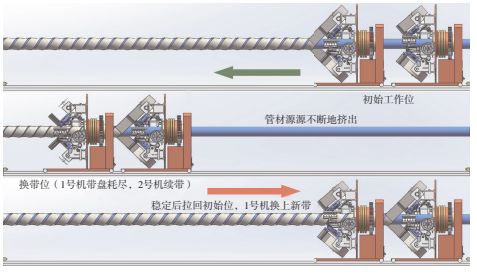

图 3　1 号机换带示意图

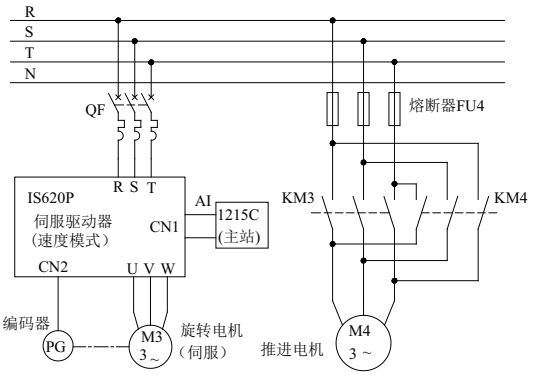

图 4　缠绕和换带电气原理图(主站)

通过若干组缠绕机在生产线中的合理布置(图 5),实现多层缠绕的效果。每组有两台缠绕机,用于该组不停机换带,组内旋向相同;Ⅰ组与Ⅱ组的缠绕机旋转方向相反,坯管先经Ⅰ组缠绕,再经Ⅱ组反向缠绕,以此类推。这种交错方式使得玻纤缠绕得更均匀,增强效果更好。

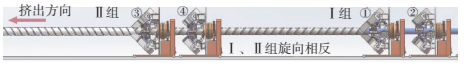

图 5　多层缠绕生产线布置

为方便本文说明,以Ⅰ组缠绕机为设计对象。根据实际使用需求,Ⅰ组缠绕机要设计以下功能:手动模式,即缠绕机可以手动操作任意一个控制单元,便于安装调试;自动模式,即缠绕机连续完成缠绕—换带—缠绕的循环过程(图 6);监控模式,在监控模式下,可以看到缠绕机当前的运行状态、温度、故障等信息记录。

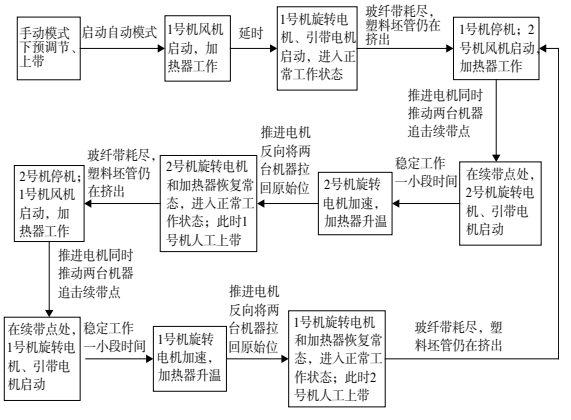

图 6　自动模式流程图

2　控制系统设计

2.1　方案设计

玻纤缠绕机的关键执行器件主要是几组三相异步电机正反转控制(调整工位)、伺服电机、可控硅、限位开关检测,结合图像识别设备在正确的位置进行续带操作。整个系统由两台同型号的缠绕机组成,缠绕机旋转盘上执行机构工作中会随盘转动,因此需要单独 PLC 从站控制,还

需要设置主站与两个从站进行无线数据交换。主站也负责控制旋转电机、换带推进电机,主站与从站均需要扩展无线通讯模块,协议采用 MODBUS TCP(图 7)。

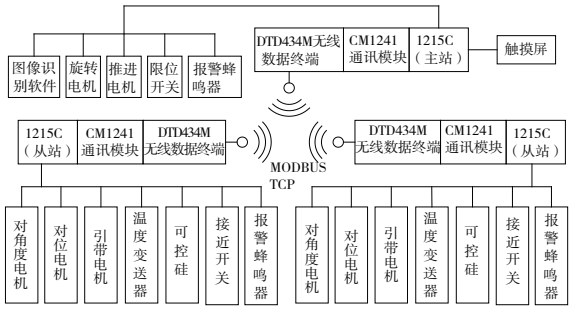

图 7　控制系统组成图

主站与从站双向通信,从站接收主站的指令,控制缠绕机旋转盘的工作点位调整(对角度、对位等)和加热,并将是否越位、当前温度等数据反馈给主站;主站主要负责系统控制逻辑关系的实现,如旋转盘的启停、换带时推进器的启停、换带信号检测。触摸屏主要用于数据监控和人机交互。整个控制系统由温度变送器、接近开关、三相异步电机、伺服电机、可控硅、风机、PLC、触摸屏等组成。

本文的加热环境不是封闭空间,而是不断地与空气进行热交换,热交换参数尚不能完全掌握,更得不到精确的数学模型。温度与风速、加热器的功率、环境温度息息相关,唯一可控的只有加热器的功率,这又需要依靠经验和现场调试来确定,这时可以采用 PID 模糊控制技术(图 8),PID 加热是在从站 PLC 上实现的,PID 控制器以温度变送器送出的当前温度值信号 $P_V(n)$ 与设定值 $S_P(n)$ 的差值 $e(n)$ 为输入量,经 PID 计算以及 D-A 模块转换后输出直流电流模拟量 $M(t)$,从而驱动可控硅控制加热线圈的功率输出占比。从站也控制旋转盘上的对角度电机等,开关的开关量反映电机是否越位。

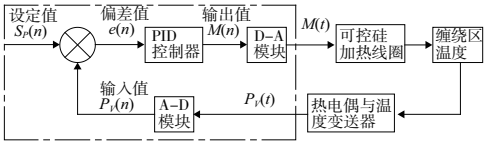

图 8　从站 PID 加热控制系统框图

管材挤出速度受制于生产线末端的牵引机,本项目牵引机的牵引速度使用变频器调节。变频器使用 RS-485通信端口与主站进行通信,使用 USS 协议。主站接收当前变频器的输出频率等信息,经换算后显示出当前管材速度 V_t,根据当前的速度值 PLC 以缠绕角 $\alpha=55°$ 计算出旋转电机(伺服)的转速 V_r 推荐值并显示在触摸屏上,操作员可依照推荐值输入转速设定值,实际转速值通过将伺服驱动器 Z 相信号接入 PLC 的高速计数输入端计算得知(Z 脉冲电机转 1 圈输出 1 个)(图 9)。主站控制换带时的推进电机,限位开关的开关量反映推进电机是否返回原始位,外部换带点开关量反映推进电机是否到达续带点;运转指示灯表明系统是否正常运行,当系统温度过高或过低,报警蜂鸣器将会鸣叫报警,确保系统的运行正常。本项目使用的是触摸屏控制,因此按钮的开关量使用辅助继电器,辅助继电器线圈的通断只能由内部指令驱动。

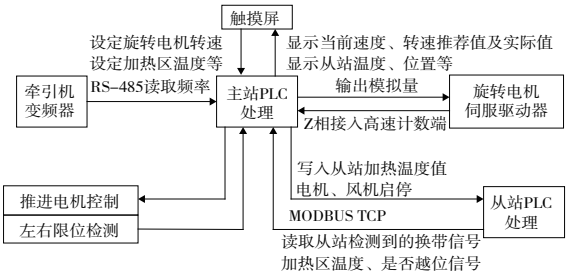

图 9　主站 PLC 控制框图

2.2　软件设计

a)主-从站无线通信

系统的控制要求是加热、缠绕、换带三者之间的逻辑关系。在本项目中,每次换带时两台设备的交接点位置不固定,是由高速摄像机不断拍下图像的软件并分析,当缠绕机到达换带点时“通知”PLC 主站进行换带动作。换带时主站有必要与从站通信启动或关闭从站加热程序。

b)程序设计

1) 程序设计采用程序块设计方法,使用 OB1、OB100 和 OB30 程序块。PID 参数是由现场调试得出。主站与牵引机的变频器通信采用 USS 协议,主站通过调用 USS_Drive_Control 指令建立通信,调用 USS_Port_Scan 指令确保帧通信的响应时间恒定。

2) 程序设计要精简,根据图 6 的自动模式流程图,分析控制系统的工艺过程,编制自动模式下的顺序功能图(SFC),见图 10。顺序功能图可以转化为梯形图程序,部分型号 PLC 可以直接使用顺序功能图编程。

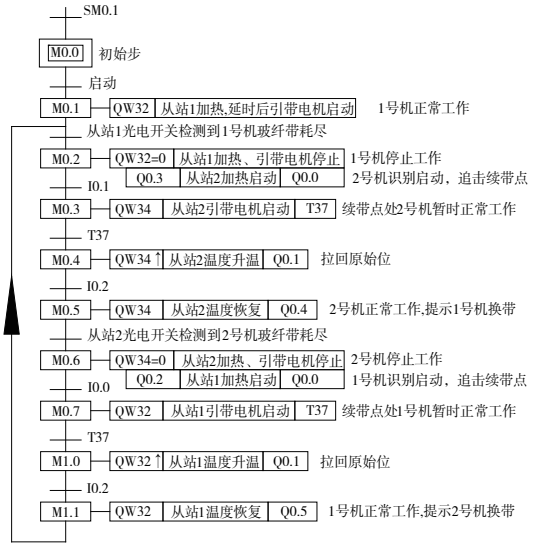

图 10　自动模式顺序功能图

2.3　HMI 系统设计

手动模式 HMI 界面如图 11 所示。

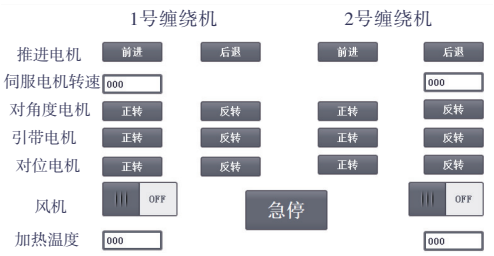

图 11　手动模式 HMI 界面

自动模式主要负责控制缠绕机依次连续循环执行各道工序,在自动模式运行中,可以对部分控制单元远程遥控,如旋转盘上的对角度电机、加热温度等,并实时显示缠绕机当前状态。

监控模式用于系统的后台数据监控,缠绕机出现温度过高或过低、电机越位等异常时,根据异常程度发出不同等级报警提示。

3　结语

玻纤缠绕增强管生产线是在贝尔公司传统玻纤管生产线的基础上改进而来的。传统生产线是将玻纤材料以挤出成型的方式裹在塑料内管上,使用了 PLC-变频器等控制技术。PLC 支持多种通信协议,玻纤缠绕机应当采用 PLC 控制技术,便于以后整条生产线的自动化集成及计算机通信。本文采用无线通信协议完成数据传输,设计了基于 PLC 和触摸屏的玻纤缠绕机控制系统,在分析了工艺流程的基础上编写了顺序功能图,并完成 HMI 系统组态。玻纤缠绕机采用 PLC 控制,生产效率高,故障率低,可以满足柔性化制造需求,是工业自动化的成功应用。

参考文献:

[1] SZUCS A, KOLONDZOVSKI Z, WESTERLUND J,et al. Diamond enriched lamination and winding insulation for electrical machines[J]. COMPEL,2019,38(4): 1245-1252.
[2] 凌志辉,邹昊,黄涛,等. 二轴缠绕机 PLC 控制系统的设计[J]. 自动化仪表,2014,35(5): 30-33.
[3] 赵安,马彬彬. 基于 PLC 及 HMI 的洗瓶机自动控制设计[J]. 机械制造与自动化,2019,48(4): 209-211.
[4] 齐继阳,吴倩,何文灿. 基于 PLC 和触摸屏的气动机械手控制系统的设计[J]. 液压与气动,2013(4): 19-22.
[5] 马林联. 基于 PLC 的缠绕机及牵引机变频调速系统改造[J]. 煤矿机械,2010,31(9): 162-164.
[6] 张俊华. 纤维缠绕机伺服控制系统的 PID 参数整定方法[J]. 纤维复合材料,2012,29(2): 26-29.
[7] 苏华. 多向纤维缠绕机计算机控制系统设计与研究[D]. 天津: 天津工业大学,2013.
[8] POLISHCHUK V I, TIMOSHKIN V V, GLAZYRIN A S,et al. A discreet mathematical model based on the bilinear transformation of a synchronous electric machine with a turn-to-turn fault in the rotor winding[J]. Russian Electrical Engineering,2019,90(2): 113-120.
[9] MA Quanjin, REJAB M R M, IDRIS M S,et al. Wireless technology applied in 3-axis filament winding machine control system using MIT app inventor[J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering,2019,469(1): 113-119.
[10] HU Yong,SHEN Xin,HU Ye,et al. A winding machine for polarized wire grid of microwave radiometer calibration[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, 2019, 233(5): 1916-1925.

收稿日期:2019-10-10

(上接第 176 页)

析。该系统操作便捷,系统界面友好,具有较强的通用性与多功能性;改进的天牛须优化支持向量机具有较出色的分类效果,能更好地解决小样本情况下学习的问题,为检测机械故障类型提供了新方法。通过实例验证,该系统能对齿轮故障进行快速有效地识别,监测系统工作稳定,达到了设计要求。

参考文献:

[1] 赵保伟,巩晓赟,丁丽丽,等. 基于 LabVIEW 的齿轮调制故障检测系统设计[J]. 机床与液压,2018,46(5): 143-148.
[2] 魏勇. 基于 LabVIEW 的机电设备噪声信号采集分析系统开发[J]. 机械制造与自动化,2018,47(2): 187-189.
[3] 刘春林,潘宏侠,史斐娜,. 基于 DSP 和 ZigBee 的齿轮箱故障诊断系统[J]. 仪表技术与传感器,2015,52(6): 114-117.
[4] 李蕊,陈建平,周继年. 噪声检测技术在齿轮箱故障诊断中的应用[J]. 煤矿机械,2008,29(5): 209-211.
[5] RIVERA E C, JUNIOR F D F, ATALA D I P, et al. A LabVIEW-based intelligent system for monitoring of bioprocesses [J]. Computer Aided Chemical Engineering,2009,26(9): 309-314.
[6] LI M,DENG C,TU Y. The design of the lottery real-time monitoring system basedon LabVIEW [J]. International Journal of Computer Applications,2015,117(7): 1-4.
[7] 王保建,张小丽,傅杨奥骁. 优化支持向量机及其在智能故障诊断中的应用[J]. 振动、测试与诊断,2017,37(3): 547-552.
[8] LI Y,SHU N. Transformer fault diagnosis based on fuzzy clustering and complete binary tree support vector machine[J]. Transactions of China Electrotechnical Society,2016,31(4): 64-70.
[9] 骆正山,姚梦月,骆济豪. 基于 KPCA-BAS-GRNN 的埋地管道外腐蚀速率预测[J]. 表面技术,2018,47(11): 183-190.

收稿日期:2019-10-21