

煤矿提升机变频控制系统的设计与应用

苏 森

(山西省节能中心有限公司,太原 030045)

摘 要: 针对目前煤矿提升机控制过程中平稳性差且耗电量大的问题,设计了一套针对煤矿提升机的变频控制系统。该系统由 PLC、上位机、变频器、通讯网络以及软件系统共同组成,用于实现对煤矿提升机的变频调速控制,以及提升机工作状态的实时监测预警功能。实践结果表明,该系统可完成对提升机的实时状态监测,以及自动化平稳调速控制的同时具有控制稳定性好、运行效率高、安全可靠等优势,能够有效保障煤矿提升机安全高效运行。

关键词: 煤矿;提升机;变频;自动化;节能

中图分类号: TD534

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Design and Application of Frequency Conversion Control System of Hoist in Coal Mines

SU Sen

(Shanxi Energy Conservation Center Co., Ltd., Taiyuan 030045, China)

Abstract: Aiming at the poor stability and high power consumption in the current hoist control process in coal mines, a frequency conversion control system for the hoist is designed. The system is composed of PLC, host computer, frequency converter, communication network and software system, to realize the frequency conversion speed regulation control, real-time monitoring, and early warning of the hoists. The results show that the system can realize the real-time monitoring of the hoist and automatic and stable speed control. The system has the advantages, including control stability, efficiency, safety, and reliability, which can effectively guarantee the safe and efficient operation of coal mine hoists.

Key words: coal mine; hoist; frequency conversion; automation; energy saving

煤矿提升机是煤矿生产中连接地面与井下的关键设备,在煤矿的生产设备、煤料、人员运输以及安全保障方面发挥着重要作用。煤矿提升机的运行状态与煤矿生产的稳定安全息息相关,但在实际生产过程中,矿井的工作环境复杂且提升机设备庞大,设备故障率较高。目前,许多煤矿中依然采用人工启停的传统恒频控制方式,自动化水平低、平稳性差、可靠性也不足,存在较大的安全隐患^[1-2]。为此,本文针对目前实际生产中存在的不足,参考相关资料以及生产规定,基于矿井提升机的工作原理及生产

流程,结合变频调速控制技术、总线技术以及编程知识,设计了一套主要针对矿井提升机的变频调速控制系统并进行了实践应用,系统可实现对提升机的平稳变频控制以及状态监测,大大简化人工操作,提高煤矿生产的自动化程度,节约提升机能耗的同时保障煤矿企业生产安全,为企业增加经济效益^[3-5]。

1 总体方案介绍

煤矿提升设备布置在矿井中,工作环境相对复杂,矿井常用的缠绕式提升机其工作过程一般是由

* 收稿日期: 2020-06-09

作者简介: 苏森(1989-)男,山西朔州人,本科,工程师,从事矿山机电工作, E-mail: jwxljx@sina.com

电控柜控制电动机启停,通过电动机旋转带动减速箱并使之相连滚筒旋转缠绕钢丝绳,由钢丝绳提升箕斗,同时利用液压站完成提升机运行过程中的抱闸^[6-8]。提升机电机一般采用交流异步电动机,电机转速 n 与电源频率 f 存在一定关系,具体数学表达式为:

$$n = \frac{60f(1 - s)}{p}$$

其中 p 为由电机确定的极数, s 为转差率。

因此,可以利用变频器改变电动机的供电频率,达到调整控制电动机转速的目的。传统提升机采用的调速方式为转子串联电阻调速,该方式为有级调速,速度调整范围比较有限,调速精度也不高,而且串联电阻运行浪费了大量的电能,操作过程中司机的工作量较大,设备发热严重,导致工作环境更加恶劣^[9-10]。此外,提升机长期服役后,故障率较高,可靠性、稳定性都难以保障,运行维护费用高,且存在安全隐患。本文经过综合考虑,选择目前工业生产中广泛应用的 PLC 与变频器搭配的方式完成对矿井提升机的变频调速控制。系统总体采用三层结构设计,即上位机监测层、控制层以及现场应用层。可实现工频/变频运行,搭配电源的输入、启动开关以及电磁阀,保障提升机的稳定可靠运行。系统的总体结构如图 1 所示。

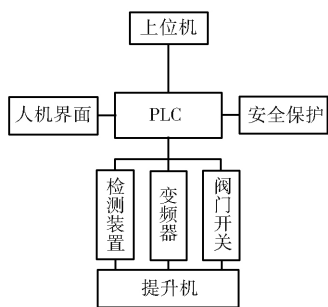


图 1 系统总体结构图
Fig. 1 Overall system structure

2 系统设计

2.1 硬件选型分析

综合考虑矿井提升机运行实际情况以及开发成本要求,经过分析比较,选择西门子公司生产的 S7-300 系列中型 PLC 作为主控制器,该 PLC 采用模块化设计,结构紧凑,主要由 CPU、存储器、I/O 模块以及电源模块共同构成。其中,CPU 选择 315 型号,该型号 CPU 性能稳定、功能强大,能够满足提升机变频控制使用的要求。变频器是变频调速控制的核心

设备,本文选择国内合康新能公司设计生产的 HY-VERT-YVF 型矢量高压变频器,该变频器组成包括控制器、接口板和人机界面。采用转子带速度反馈的矢量控制技术,工作过程中通过矢量控制系统的解耦,将给定速度与反馈速度相减得到速度误差,误差经 PI 调节后输出转矩电流,从而保证其优异的性能。

2.2 变频调速控制模块

利用 PLC 结合变频器对原有的工频调速系统进行替换,采用“一主一备”供电方式,必要时可以进行手动切换。工作过程中,PLC 作为主控制器按主程序扫描轴编码器输入的信号,计算提升的速度,结合采集的电压、电流、温度、力矩等信号,依据软件程序模块进行运算处理,输出相应控制信号给变频器,变频器根据提升距离以及速度对供电频率进行调整,从而调整电机转速以控制提升机运转的速度。PLC 的外部接线如图 2 所示。

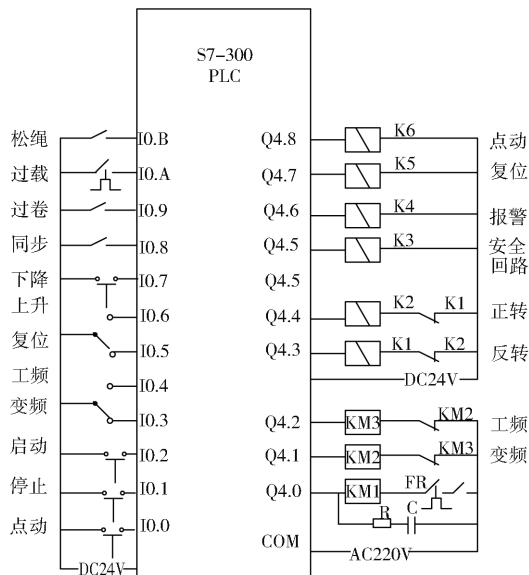


图 2 PLC 的接线图
Fig. 2 Wiring diagram of PLC

提升机控制为速度控制,给定速度-时间函数 $v = f(t)$ 经过优化,速度曲线表现为 S 形。工作时,提升机首先进行加速运动,到某一设定速度时开始转为匀速。同理,停车过程进行减速操作,即将到达位置时进行制动,完成提升机的平稳停止。该工作过程实现了无极变速、启动以及停机过程,降低了对电网的冲击,减少了机械冲击以及机械磨损,更加节能。为了保障控制精度,还在速度给定电路中增加限制加速度变化率的环节,使得速度曲线调整过程中的表现更为平滑,控制性能更加安全稳定。

此外,变频调速模块还设置有预置力矩、过卷保护、超速保护、超温保护等紧急制动安全保护回路功能。高压变频器采用微型电脑控制,可以通过通信网络将电机以及变频器的运行数据如转速、温度、高度、方向等传送给 PLC 的通信模块。在电机、变频器发生故障时,也可以将故障情况直接传送给 PLC, PLC 对运行情况进行判断并做出反应,必要时执行安全回路紧急制动,并发出声光报警。同时,将运行情况传输到上位机,方便工作人员检查分析,提高提升机系统运行的安全性与可靠性,延长设备使用寿命。

2.3 安全监测模块

煤矿提升机作为“咽喉设备”在矿井中运行,运行环境恶劣且持续工作时间长,所以其故障率高,容易引起安全事故,且后期维修难度较大。鉴于此,本文设计了上位机安全监测模块对设备主要部分的运行状态进行监测,以保障设备安全稳定运行。该模块除了接收来自 PLC 控制信号、变频器的电压、电流等状态信息外,还分别利用振动、温度、压力传感器等采集提升机的电动机、减速器,以及滚筒的振动量、主轴温度、液压油压力等参数。PLC 通过扩展模块接收来自传感器的模拟量以及数字量,对采集的信息分别进行滤波、调理、A/D 转换后再进行逆向转换流程,将信号重新转化为反应提升机设备运行情况的状态参数,结合实际情况根据不同监测位置设置预警值,据此完成对提升机工作状态的评估。

2.4 通讯模块设计

煤矿提升机的变频控制系统的控制核心包括上位机与 PLC 两部分。上位机接收来自 PLC 的状态信息以及控制信号,并通过采集电路接收来自传感器的监测信息。PLC 作为主控制器,需要接收输入数据、输出控制指令以及与上位机、人机界面交互通讯,这些都是通过现场总线技术实现的。其中,PLC 通过通讯模块完成模拟量以及数字量的接收以及输出,采用 Profibus-DP 通讯协议实现与变频器以及人机界面之间的通讯;采用以太网接口及 Profinet 通讯协议实现与上位机之间信息传输,并将提升机工作信息整合到整个上层以太网工业网络中。系统的通讯结构如图 3 所示。

3 软件程序设计

矿井提升机变频控制系统的软件程序设计主要包括 PLC 的程序设计、变频器程序设计以及上位机程序设计三部分。PLC 程序开发基于模块化结构进

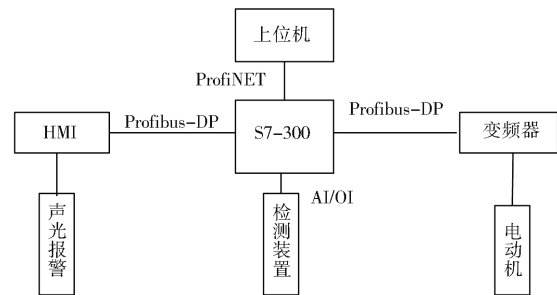


图3 系统通讯结构图

Fig.3 Communication structure diagram of the system

行,针对系统选用的 SIMTIC S7-300 PLC 选择西门子 PLC 普遍应用的 Step7 平台进行程序的开发设计及通讯组态。PLC 编程利用梯形图(LAD)语言实现,该语言具有形象直观的特点,较易被工程人员掌握。程序的开发内容包括主程序、数字量和模拟量输入输出的功能块,以及具体逻辑控制功能块子程序。PLC 工作过程中按照扫描周期首先扫描主程序,由主程序进行排序、调用、执行逻辑控制模块的子程序,子程序完成具体的启动自检、信号输入输出、速度调整控制、距离测算、制动、过卷、超速以及错向等安全回路运算,从而实现报警、安全保护等功能。

变频器工作程序通过变频器的用户调试面板进行设定,设定过程需要依据提升电机的出厂参数,输入额定电压、额定电流、额定功率、额定转速等参数,同时设置 S 型速度曲线的加速与减速时长,并调试到预期效果。此外,上位机的人机界面的组态在 Wincc 中完成监测界面布置、数据接收、处理、运算方式、动画动态显示以及报警方式的设计。

系统首先启动初始化操作并执行系统自检,故障情况下执行安全保护子程序,正常情况下继续运行。开车警告 3 s 后提升机开始按照程序运算得到的速度曲线进行工作,工作过程中需对错向、过卷、超速等现象进行评估与预防。当提升机箕斗到达指定位置时,提升机停车,完成提升任务。PLC 主程序的软件流程图如图 4 所示。

4 应用测试

在矿底煤矿副井中对该系统进行了应用测试,结果表明,系统可实现提升机的平稳变频控制,并且实时监测提升机的温度、压力、振动等状态参数。其中,提升机在正常工作时(功率 260 kW),系统监测到的状态参数如表 1 所示。经过改造后,同等工况下,提升机电耗较之前减少 8% 左右,实现了明显的节能降耗效果。

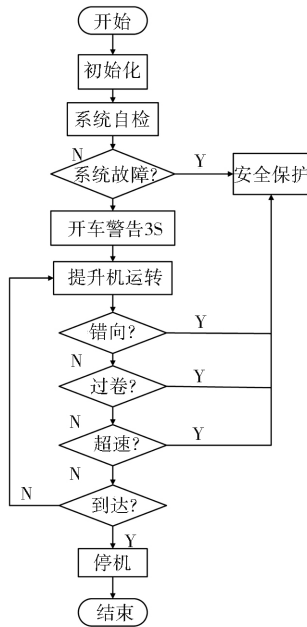


图 4 PLC 主程序流程图

Fig. 4 Flow chart of PLC main program

表 1 系统状态参数监测值

Table 1 Monitoring parameters of system status

主轴温度/($^{\circ}\text{C}$)	34
液压油压/(MPa)	2.8
电动机振动值(垂直)/($\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$)	1.31
减速度器振动值(垂直)/($\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$)	2.13
滚筒振动值(垂直)/($\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$)	0.22

5 结语

本文针对煤矿生产中提升机现有控制系统存在的问题,工作效率低、自动化水平低以及安全性差的问题,对煤矿提升机的变频调速控制进行了研究。结合实际生产情况,对矿井提升机工作原理及运行流程进行了介绍,并在此基础上结合 PLC、总线技术以及软件程序,设计了一套煤矿提升机的变频控制系统。该系统具有控制平稳、节能降耗、运行安全稳定等优势,实现了在煤矿实际生产中对提升机的调速控制、状态监测。这一技术不仅提高了煤矿生产自动化水平,保障生产安全,同时还减少了工人的工作量,提高了煤矿生产效益。

参考文献:

- [1] 王俊青. 煤矿提升机变频控制系统设计[J]. 矿业装备 2020(2): 104-105.
WANG Junqing. Design of frequency conversion control system of coal mine hoist[J]. Mining Equipment 2020(2): 104-105.
- [2] 李灏. 煤矿提升机中变频调速技术的运用探讨[J]. 中国石油和化工标准与质量 2020, 40(1): 207-208.
LI Hao. Discussion on application of frequency conversion speed regulation technology in coal mine hoist[J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality 2020 40(1): 207-208.
- [3] 朱焕立, 刘许亮. 变频调速电控系统在煤矿提升机自动化控制中的应用[J]. 煤矿机械 2014 35(3): 173-174.
ZHU Huanli, LIU Xuliang. VVVF electric control system in coal mine hoist automation control application[J]. Coal Mine Machinery, 2014 35(3): 173-174.
- [4] 张文. PLC 技术在煤矿提升机变频控制系统中的实践应用[J]. 煤炭技术 2012 31(10): 47-48.
ZHANG Wen. Design and application on coal mine hoist frequency conversion control system based on PLC[J]. Coal Technology, 2012 31(10): 47-48.
- [5] 张海峰, 王运行. 变频调速在煤矿提升机控制系统中的应用[J]. 机电产品开发与创新 2011 24(6): 146-147.
ZHANG Haifeng, WANG Yunhang. Variable frequency speed control in mine hoist control system application[J]. Development & Innovation of Machinery & Electrical Products 2011 24(6): 146-147.
- [6] 徐俊元, 贺永南, 付江平, 等. 基于 PLC 的煤矿提升机变频控制系统的设计与应用[J]. 陕西煤炭 2009(6): 75-77.
XU Junyuan, HE Yongnan, FU Jiangping, et al. Design and application of variable frequency control system of mine hoist based on PLC[J]. Shaanxi Coal 2009(6): 75-77.
- [7] 李静. 变频技术在煤矿中的应用[J]. 机械管理开发 2020 35(2): 222-223.
LI Jing. Application of frequency conversion technology in coal mines[J]. Mechanical Management and Development 2020 35(2): 222-223.
- [8] 温瑞阳. 煤矿副井提升机变频调速控制装置的研究[J]. 机械管理开发 2020 35(1): 196-197.
WEN Ruiyang. Study on variable frequency speed regulation control device of coal mine auxiliary shaft hoist[J]. Mechanical Management and Development 2020 35(1): 196-197.
- [9] 张金玉. 煤矿提升机变频控制与安全监控系统设计与研究[D]. 西安: 西安科技大学 2018.
ZHANG Jinyu. Design and research of coal mine hoist frequency conversion control and safety monitoring system[D]. Xi'an: Xi'an University of Science and Technology 2018.
- [10] 王兴乐. 煤矿提升机变频调速控制系统设计[J]. 现代矿业 2017 33(10): 148-150, 15.
WANG Xingle. Design of frequency control system of coal mine hoist[J]. Express Information of Mining Industry 2017 33(10): 148-150, 15.

(编辑: 单 婕)