

技术交流

文章编号:1671-251X(2009)03-0061-05

## 基于H桥单元串联式多电平高压变频器 在矿井提升机中的应用

伍小杰<sup>1</sup>，宋炜<sup>1</sup>，左东升<sup>2</sup>，耿庆娥<sup>1</sup>，杨艳<sup>1</sup>

(1. 中国矿业大学信电学院, 2. 徐州宝迪电气有限公司, 江苏 徐州 221008)

**摘要:**针对某煤矿的主井提升机系统采用电动机转子串电阻调速方式存在运行损耗大的缺点, 文章提出了一种对提升机电控系统进行H桥功率单元串联式多电平高压变频改造的方案, 详细介绍了提升机PLC工艺控制系统的结构、主要技术特点以及变频传动系统实现的基本原理。实际应用表明, 经改造后的矿井提升机高压变频系统运行稳定, 完全达到了设计要求。

**关键词:**矿井提升机; 电控系统; 高压变频器; 调速; H桥; 功率单元; 多电平

**中图分类号:**TD534.7; TN733      **文献标识码:**B

Application of Cascaded High-voltage Frequency Converter with Multi-level  
Based on H-bridge Unit in Mine Hoist

WU Xiao-jie<sup>1</sup>, SONG Wei<sup>1</sup>, ZUO Dong-sheng<sup>2</sup>, GENG Qing-e<sup>1</sup>, YANG Yan<sup>1</sup>

(1. School of Information and Electrical Engineering of CUMT., Xuzhou 221008, China.

2. Xuzhou Baodi Electric Co., Ltd., Xuzhou 221008, China)

**Abstract:** Aiming at the existed shortage of great running consumption that main mine hoist system of one coal mine used speed-regulation mode of serial rotor resistance of motor, the paper proposed a reform scheme of cascade high-voltage frequency-conversion with multi-level based on H-bridge power unit for electric control system of hoist, introduced structure and main technology characteristics of PLC technology control system of hoist and basic principle of implementation of frequency-conversion driving system. The practical application showed that the reformed high-voltage frequency-conversion system of mine hoist ran stably and achieved design demand completely.

**Key words:** mine hoist, electric control system, high-voltage frequency converter, speed-regulation, H-bridge, power unit, multi-level

收稿日期:2008-11-12

作者简介:伍小杰(1966-),男,博士,教授,主要研究方向为  
电力电子与电力传动。E-mail:zgcumt@126.com

参考文献:

- [1] 张晓梅. 燃煤锅炉机组[M]. 北京:中国电力出版社, 2006.
- [2] 邹德普. 引起制粉系统煤粉爆炸的原因探讨[J]. 东北电力技术, 2005(6):38~42.
- [3] 杨国旗, 焦沛. 制粉系统爆炸及预防措施[J]. 西北

电力技术, 2000(6):18~20.

- [4] VOIGTA S, TETZLAFF A. Integrating Satellite Remote Sensing Techniques for Detection and Analysis of Uncontrolled Coal Seam Fires in North China [J]. International Journal of Coal Geology, 2004, 59: 121~136.
- [5] 金迪. 中贮式制粉系统爆炸原因分析及防范措施[J]. 热力发电, 2006(12).

## 0 引言

矿井提升机系统是矿井生产中极其重要的环节,其工作的安全可靠性直接影响到企业的经济效益<sup>[1]</sup>。山西潞安环保能源开发股份有限公司某煤矿主井提升机系统采用的是6 kV高压交流电动机,系统未改造之前采用转子串电阻调速方式,运行损耗较大,而且该种方式的调速性能以及电控系统对提升机控制能力的限制阻碍了提升效率的提高。因此,提升机控制系统亟待改造,这对企业经济效益的提高有着极为重要的意义。

交流变频调速传动以其卓越的调速性能、显著的节电效果以及在国民经济各领域的广泛适用性,而被公认为是一种最有前途的交流调速方式,并逐渐成为电气传动发展的主流。高压大功率变频调速技术是近年来电力电子行业的一个研究热点,高压变频器的成功运用预示着以低压功率器件实现高压变频的构想成为了现实,为国家能源节约开辟了一块新领域。

本文对变频改造后的矿井提升机系统进行了说明,重点介绍了PLC提升机工艺控制系统的结构和功能,分析了几种高压大功率变频调速实现方式的优、缺点,以及功率单元串联型高压变频传动系统的构造和原理,并总结了改造后的提升机系统性能。

## 1 提升机工艺控制系统

### 1.1 提升机工艺控制系统结构

改造后的提升机工艺控制系统采用双CPU模式,核心部件是主控和监控2套PLC子系统,2套子系统独立工作,其间的通信通过DP/DP Coupler实现。通过2个子系统的相互监视实现冗余控制,系统的可靠性大为提高。操作台内设有ET200远程分站,用于采集提升机司机发出的控制信号以及负责操作台声光指示。工艺控制系统与传动系统的数据交换通过主控S7-400 PLC与传动系统的S7-200通信模块EM277之间的Profibus-DP总线完成,该方式保证了工艺控制系统与传动系统通信的可靠性。由S7-400 PLC硬件组态的提升机工艺控制系统结构如图1所示。

### 1.2 提升机工艺控制系统主要技术特点

该提升机工艺控制系统最大的优点在于其精确的行程控制、全方位的提升机运行保护机制、以及双系统的相互监视控制。

(1) 该控制系统采用3个增量式轴编码器测量

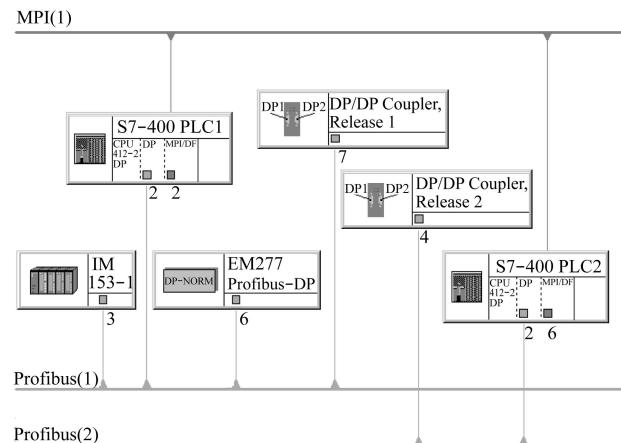


图1 由S7-400 PLC硬件组态的提升机工艺控制系统结构图

罐笼行程,编码器分别安装在电动机主轴、滚筒以及导向轮上,脉冲信号分别送给主控和监控PLC的高速计数模块,2个子系统的CPU独立进行行程、速度计算。CPU通过相互通信共享计算所得数据,并不断对数据进行比较监视,确保了行程、速度计算的精确性。

(2) 该控制系统除了对电动机、变频器等进行过流保护、过压保护、超温监控保护外,还对制动闸闸瓦、弹簧等进行监视,因而对罐笼行程和速度的监视更加全面,一旦有异常情况发生则发出紧急停车信号。该控制系统对罐笼速度和行程的监视包括以下几个方面:

**过卷保护:**除了设定硬件过卷开关,该控制系统还通过监视行程值,判断罐笼是否过卷。

**行程相互监视:**对计算出的几个行程值进行比较,正常情况下计算出的行程值之间差值很小,如超过设定值则说明有故障发生。

**逐点速度保护:**在罐笼减速区域选择几个特定的行程点,并监视罐笼经过这些特定点时的速度值,确认罐笼是否确实有减速趋势。

**等速过速保护:**用于限制提升机运行的最大速度,该速度限定值的设定因提升机运行模式的不同而不同。

**错向保护:**监视罐笼实际运行方向是否与信号指示一致。

**无指令动车保护:**当没有动车指令发出时,提升机由于某种原因,比如罐笼在自重作用下出现转动情况,若此时井筒有人员作业,则可能会出现人员伤亡事故。无指令动车保护就是对上述情况的一种监视。

(3) 主控、监控PLC都设有上述监视功能,并

且能够不受对方影响独立工作。主控、监控PLC任意一方报警,系统就会发出相关指令,控制并保护提升机运行。

## 2 高压电动机变频传动系统设计

### 2.1 高压变频器的选择

根据高压组成方式,高压变频器可分为直接高压型变频器和高-低-高型变频器;根据有无中间直流环节可分为交-交变频器和交-直-交变频器;在交-直-交变频器中根据中间直流滤波环节的不同分为电流源型逆变器和电压源型逆变器<sup>[2]</sup>。由于功率器件耐压能力有限,高压变频的实现可通过高-低-高的形式完成,即用降压变压器将输入高压降为低压,应用成熟的低压变频技术实现变频功能,再经过升压变压器转换为高压输出。高-低-高型变频器由于前后存在两级变压器,系统效率很低,而且存在中间直流电流大、可靠性差以及占地面积大等缺点。

在交-直-交变频系统中,为了实现高压直接变频,可采用多个功率器件直接串联作为1个高压器件的方式,该方式的好处:能够直接应用成熟的低压变频拓扑结构以及控制策略,实现起来相对容易,而且效率较高。但由于功率器件特性的差异,导致开关时间不一致,因此,该方式存在静态和动态均压问题<sup>[3]</sup>。

高压电动机变频传动系统由高压开关、移相变压器、功率单元、人机接口以及单元控制部分组成,如图2所示。

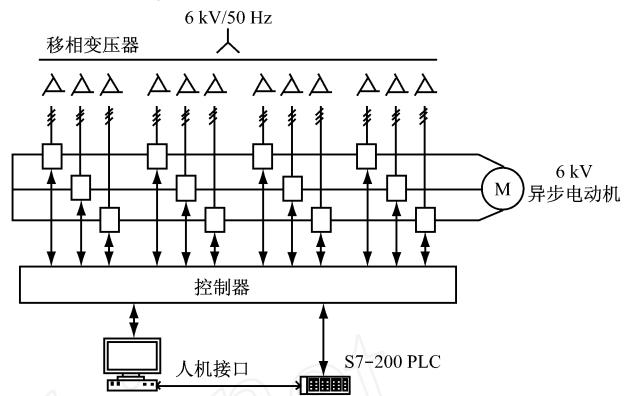


图2 高压电动机变频传动系统组成图

本系统的高压电动机采用基于H桥功率单元串联型变频器驱动结构,该结构的优点在于其极低的输出谐波含量,堪称“完美无谐波”变频器,可使转矩纹波、电动机噪声降得很低。该结构不存在功率器件的动、静态均压问题,但使用的功率器件比直接串联型变频器要多。

图2中,4组功率单元共12个,每个功率单元首先通过三相二极管整流桥将交流整流为直流,然后通过IGBT构成的单相全桥逆变器逆变输出单相交流电,通过串联方式接成星形结构给高压电动机供电。功率单元结构如图3所示。

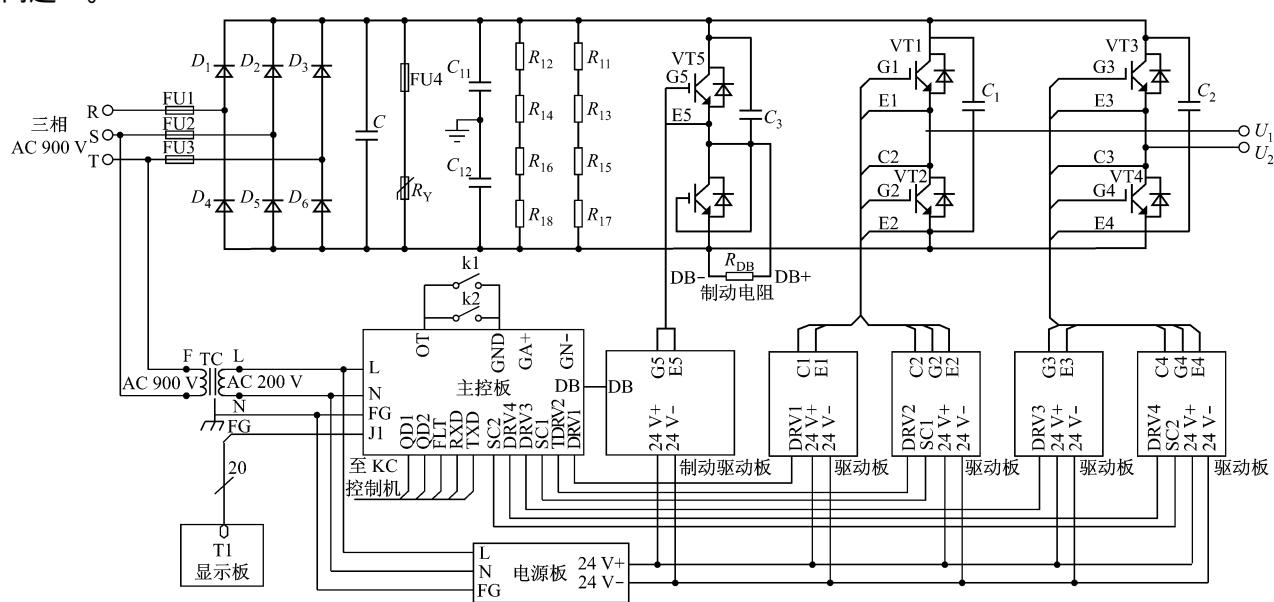


图3 功率单元结构图

### 2.2 变频传动系统控制方式及技术特点

功率单元的输入侧采用不可控的二极管整流方式,通过滤波得到稳定的直流电压;输出侧采用基于

恒定  $U/f$  的SPWM方式控制逆变桥IGBT的开通和关断。为了不对电缆和电动机绝缘造成危害,需要降低变频器输出的  $dU/dt$  值,被广泛使用的控制

技术有多载波 PWM 控制、载波移相 PWM 控制以及基于三电平逆变器的载波 PWM 控制<sup>[4~5]</sup>。变频传动系统采用载波移相 PWM 技术对调制波进行等比例分配。

变频传动系统采用双极性调制方式,三角载波周期为  $T_C$ 。对于变频器同一输出相上的 4 个功率单元,SPWM 信号都由各自的三角载波信号与 1 个共同的调制波信号比较产生,由于逆变单元串联级数为 4 级,相邻功率单元的载波在时间上相差  $T_C/4$ 。每个功率单元的桥臂又采用双桥控制方式控制开关的开通、关断<sup>[6]</sup>以产生单极性输出电压。随着输出频率的变化,载波的周期以及延迟时间也随着变化。图 4 为 4 个功率单元串联多电平载波移相 PWM 控制方式示意图(图 4 中未标示功率单元双桥控制时的反相载波)。

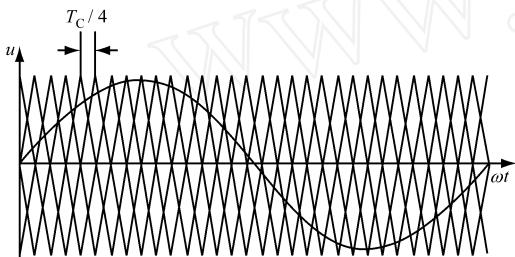


图 4 4 个功率单元串联多电平载波移相 PWM 控制方式示意图

由于载波之间的相移,4 个功率单元叠加出的总电压呈阶梯状,提高了等效开关频率。假设某一相输出电压参考值为  $U^*$ ,则每个功率单元输出电压参考为  $U^*/4$ ,阶梯的电压大小也为  $U^*/4$ 。与载波同相位的控制方式相比,载波移相 PWM 控制方式使系统的谐波向更高频域发展,大大减小了系统输出总谐波含量。

变频传动系统控制指令通过西门子公司的 S7-200 PLC 发送给以单片机为核心的驱动控制系统,完成了高压变频装置的运行控制和故障保护功能。该系统的主要技术特点:

(1) 输入多重化整流技术<sup>[6]</sup>。变频传动系统采用延边三角形移相变压器对输入高压移相,如图 2 所示,变压器的副边 3 个为 1 组,4 组之间输出相位分别相差  $15^\circ$ ,同组的副边输出同相位。该方式能够降低电源侧输入谐波,减小对电网的污染。

(2) 功率单元模块化:变频器每个功率单元在结构和电器性能上完全一致,可以通用互换。功率单元的一致性提高了设备备件的通用性,减少了设备故障时功率单元更换的时间,提高了工作效率。

(3) 功率单元旁路技术:功率单元旁路技术通过每个功率单元的输出端增加 1 个旁路装置实现。旁路装置实现方式很多,该系统采用接触器旁路装置。当某 1 个功率单元发生故障后,若不能及时恢复,可将该单元旁路。为保持电路对称性,需将该功率单元所在组的另外 2 个功率单元同时旁路,电动机降额继续运行。

(4) 制动方式:由于整流侧使用二极管整流,系统无法实现能量回馈,所以该系统通过电阻控制直流环节的泵升电压。图 3 给出了电阻的连接方式,其接入与否由单片机系统控制。

(5) 完善的故障诊断和保护功能:变频传动系统的故障以故障代码的形式显示在功率单元、控制柜以及工控机的人机界面上。故障保护主要包括输出过电流保护、输出过电压保护、功率单元过压保护、功率单元超温保护、AC 安全回路动作保护。

### 3 提升机系统运行状况

高压变频调速系统自 2007 年 6 月在该煤矿投入使用以来,运行效果良好,工作可靠,系统安全性得到较大提高:

(1) 改造后的提升机系统 1 次提升循环时间由原来的 120 s 缩短为 95 s,每年可多提煤 25 万 t,节省电耗 30% 以上,具有可观的经济效益。

(2) 图 5 为变频器输入、输出线电压、电流波形。从图 5 可看出,系统对电网的谐波污染减小,输出线电压、电流的谐波含量很少,基本上实现了正弦电流的输出。

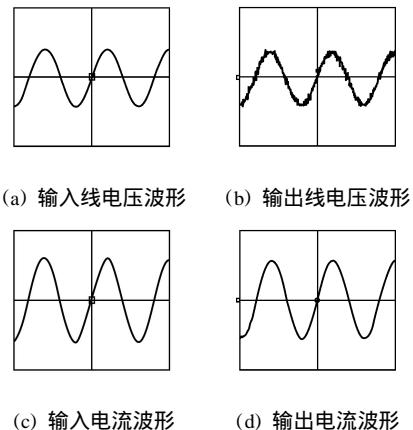


图 5 变频器输入、输出线电压、电流波形

(3) 提升机工艺控制系统的行程控制程序生成 S 形速度曲线,速度控制精度提高,提升机启动和停车时减速齿轮的冲击声明显变小。图 6 为实测的提升机线速度波形。

文章编号:1671-251X(2009)03-0065-04

# 基于LabView的矿井通风机性能 在线监测系统的设计

滕凯<sup>1</sup>, 程羽<sup>2</sup>

(1. 中国矿业大学信电学院, 2. 中国矿业大学机电学院, 江苏 徐州 221008)

**摘要:**针对矿井通风机的工作状况, 文章提出了一种基于LabView的矿井通风机性能在线监测系统的设计方案, 给出了系统总体结构及功能, 详细介绍了系统硬件及软件设计。该监测系统采用美国NI公司的PCI数据采集卡, 在LabView编程环境下, 实现了对被监测矿井通风机信号的数据采集、处理及显示等功能; 具有友好的人机交互界面, 可动态显示所监测到的实时数据、参数变化状态及趋势, 方便现场人员操作。实际应用表明, 该监测系统稳定可靠、精度高、准确性好, 可用于全数字化检测仪的设计中, 为矿井通风机故障监测提供了一种新的智能化手段。

**关键词:**矿井通风机; 监测系统; 在线监测; 虚拟仪器; 信号采集; LabView

**中图分类号:**TD723; TP391.41      **文献标识码:**B

## 0 引言

矿井通风机是煤矿企业的重要设备, 它的运转是否正常直接影响着煤矿企业的生产安全。因此, 对矿井通风机的故障监测具有重要的意义<sup>[1]</sup>。本文

收稿日期: 2008-11-11

作者简介: 滕凯(1976-), 男, 中国矿业大学信电学院在读硕士研究生, 主要研究方向为机械设计与自动化。E-mail: tk0818@126.com

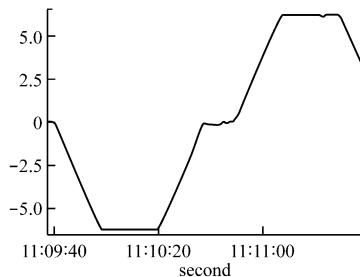


图6 实测的提升机线速度波形

(4) 舒适的操作环境和简单方便的操作步骤减轻了提升机操作人员的工作压力。

## 4 结论

本文在分析几种高压大功率变频调速实现方式的优缺点基础上, 选择基于H桥功率单元串联型变频器驱动结构对某煤矿的主井提升机系统进行改造。为了减小系统输出总谐波含量, 功率单元采用串联多电平载波移相PWM控制方式。实际应用表明, 改造后的提升机系统具有可靠性高、控制性能

好、提升效率高、节约能源等特点。随着该技术的日益成熟, 功率单元串联型高压变频装置将成为煤矿传统6kV提升机传动改造的一个发展方向。

## 参考文献:

- [1] 孙建锋. 矿井提升控制系统及故障诊断的现状与趋势[J]. 工业技术, 2007(6): 37~38.
- [2] 徐甫荣, 陈辉明. 高压变频调速技术应用现状与发展趋势[J]. 高压变频器, 2007(4): 61~67.
- [3] 江友华. 高压大功率多电平变频装置拓扑结构的分类和研究[J]. 变频器世界, 2004(2): 26~30.
- [4] 薄保中, 刘卫国, 罗兵, 等. 多电平逆变器PWM控制方法的研究[J]. 电气传动, 2005, 35(2): 41~45.
- [5] KEIVANI H, ASKARI M R, KAVEHNI A F, et al. A Novel Multi-carrier PWM Method for a Three-phase Cascaded H-bridge Multi-level Inverter [C]// Universities Power Engineering Conference, 2006, Newcastle.
- [6] 张皓, 续明进, 杨梅. 高压大功率交流变频调速技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006: 171~181.