

矿井主通风机高压电动机绝缘状态监测系统研发

毕小玉¹ 宋建成¹ 田慕琴¹ 苗惠东² 吝伶俐¹ 郑丽君¹ 李传扬¹

(1. 太原理工大学 煤矿装备与安全控制山西省重点实验室 山西 太原 030024;

2. 山西晋城无烟煤矿业集团有限责任公司 寺河矿二号井 山西 晋城 048006)

摘 要: 针对目前矿井主通风机电动机绝缘状态在线监测可靠性和稳定性差的问题,在分析监测技术现状的基础上,设计了矿井主通风机高压电动机绝缘状态监测系统硬件电路,开发了以C8051F020单片机为核心的绝缘状态监测系统应用软件。该监测系统可实现对高压电动机绝缘电阻、温度、局部放电、工频电压等信号的有效采集、存储和处理,并将采集到的信号传至上位机进行分析处理。对设计的矿井主通风机高压电动机绝缘状态监测系统进行实验室调试,并在寺河矿二号井进行工业现场试验,结果表明:系统功能完善,运行稳定,数据检测实时、准确,能够满足矿井主通风机高压电动机绝缘状态在线监测的要求。

关键词: 矿井主通风机; 高压电动机; 绝缘状态; 在线监测

中图分类号: TD67

文献标志码: A

文章编号: 0253-2336(2014)04-0070-05

Design on Insulation Status On-line Monitoring System of Mine Main Ventilator High-voltage Motor

BI Xiao-yu¹ SONG Jian-cheng¹ TIAN Mu-qin¹ MIAO Hui-dong² LIN Ling-yan¹ ZHENG Li-jun¹ LI Chuan-yang¹

(1. Taiyuan University of Technology, Shanxi Key Laboratory of Coal Mining Equipment and Safety Control, Taiyuan 030024, China;

2. Sihe No. 2 Coal Mine, Jincheng Anthracite Mining Group Co., Ltd., Jincheng 048006, China)

Abstract: According to the problems of the lack of safety and reliable insulation on-line monitoring system of mine main ventilator, on the basis of analyzing the development status of monitoring technology, the hardware system for monitoring insulation condition of mine main ventilator high-voltage motor had been designed and the applicable software of insulation condition on-line monitoring system had been also developed based on C8051F020 microcontroller. The insulation on-line monitoring system was stronger functions to collect, storage and process the signals effectively, such as the insulation resistance, temperature, partial discharge, power frequency voltage, and then the CPU of monitoring system could transfer the data processed to the host computer so as to evaluate the insulation condition. The monitoring system had been debugged in laboratory and applied to the mine main ventilator in Sihe No. 2 Coal Mine. The results showed that the system function was perfect and run stable, with the monitoring data being highly accuracy and real-time. The system could satisfy the requirement for the on-line monitoring of the high-voltage motor insulation status in mine main ventilator.

Key words: mine main ventilator; high-voltage motor; insulation status; on-line monitoring

0 引 言

矿井主通风机是矿井生产中的重要设备,担负着向煤矿井下更换新鲜空气、排出有害气体、冲淡并排出井下的毒性、窒息性、爆炸性气体和粉尘,保障

矿井安全生产的重任。矿井主通风机高压电动机在长期运行过程中,要遭受电应力、机械应力和热应力的联合作用,加之运行环境恶劣,使其介电性能、机械性能逐渐下降,电气强度降低,绝缘老化,最终导致绝缘故障^[1]。传统电动机绝缘监测手段通常为

收稿日期: 2013-09-03; 责任编辑: 赵 瑞 DOI: 10.13199/j.cnki.cst.2014.04.019

基金项目: 山西省科技重大专项资助项目(20111101024)

作者简介: 毕小玉(1986—),女,河北秦皇岛人,硕士研究生。E-mail: bixiaoyu0313@163.com

引用格式: 毕小玉,宋建成,田慕琴,等. 矿井主通风机高压电动机绝缘状态监测系统研发[J]. 煤炭科学技术, 2014, 42(3): 70-74.

BI Xiao-yu, SONG Jian-cheng, TIAN Mu-qin et al. Design on Insulation Status On-line Monitoring System of Mine Main Ventilator High-voltage Motor[J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(3): 70-74.

离线检测,不能完全反映电动机在运行过程中的工作状态,加之目前电动机监测系统多数只对电动机的工作电流、电压和温度等常规参量进行监测和处理,无法多角度全方位监测电动机的运行状态,这对于可能存在的故障隐患无法及时发现,有可能导致重大事故的发生^[2-3]。而采用单一参数门限检测法对电动机状态进行判定,在可靠性、准确性和实用性方面都存在着不同程度的缺陷,因此,笔者通过非侵入式监测手段在不改变电动机本体运行状态和物理结构的情况下,结合成熟的监测技术与矿井主通风机电动机的实际现状^[4-5],研发了矿井主通风机高压电动机绝缘状态监测系统,对矿井主通风机电动机的主绝缘状态参量如绝缘电阻、温度、局部放电 3 种状态等进行在线监测,综合判断定子绝缘的老化程度,克服了单一参数易造成误判的缺点,可对潜在的绝缘故障进行预警。

1 系统硬件采集电路设计

矿井主通风机高压电动机绝缘状态监测系统信号采集硬件结构框图如图 1 所示,主要由绝缘电阻信号监测模块、温度信号监测模块、局部放电信号协处理模块、数据采集卡和上位机(工控机)等组成。

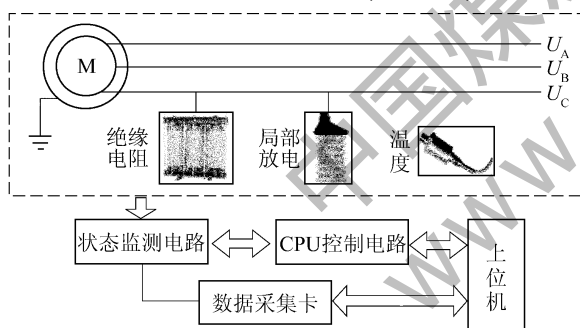


图1 系统信号采集硬件结构框图

1.1 绝缘电阻信号采集

绝缘电阻信号监测采用附加直流电源检测法,绝缘电阻信号采集硬件如图 2 所示。三相电抗器进线端接在矿井主通风机高压电动机进线处,出线端三相短接联接浇注的附加 +48 V 直流电源电路板,附加电源电路板后接取样电阻和信号调理电路,即将 +48 V 附加直流电源叠加至电动机主绝缘和取样电阻串联的电路。根据欧姆定律,由取样电阻上的分压值可计算出绝缘电阻值。取样电阻由 3 个继电器划分为 4 档,根据绝缘电阻的大小,继电器由 CPU 控制稳定在相应档位,使取样电阻上的分压值检测精度达到最高,之后将分压值进行反相、程控放

大、DC-DC 线性隔离变换、A/D 转换等处理,最终由 CPU 将信号传至上位机系统进行绝缘电阻值的换算与显示^[6-7]。

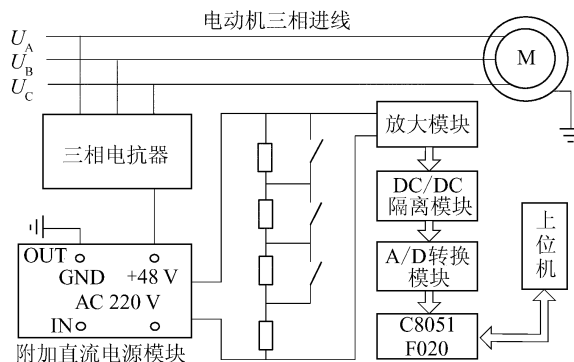


图2 绝缘电阻信号采集硬件框图

1.2 温度信号采集

温度信号监测是将预埋在主通风机电动机内的 5 路温度信号传感器 PT100 输出的电阻信号,经 XTR105 温度变送器、抗干扰防浪涌电路调整为 4 ~ 20 mA 电流信号,再由 100 Ω 电阻将电流信号转换为 0.4 ~ 2.0 V 的电压信号后输入至控制模块,使用 CPU 中内部的 12 位模/数转换器 ADC0 对信号进行 A/D 转换,采样和初步处理后送至上位机系统进行进一步数据处理与显示。温度信号采集硬件框图如图 3 所示。

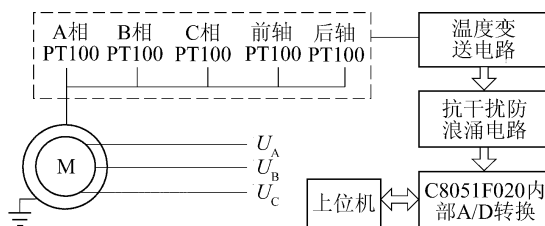


图3 温度信号采集硬件框图

1.3 局部放电信号采集

局部放电信号监测是根据局部放电产生的高频脉冲信号会沿着高压线路传输的原理,使用三相耦合电容器和 50 Ω 检测阻抗,拾取局部放电信号,并沿着选通开关设置好的监测通道将信号输入上位机采集卡^[8-10]。

为确定局部放电信号起始相位,采用工频同步电压信号触发方式对局部放电信号进行采集^[11]。工频同步电压信号的获取是将现场主通风机供电电压经 V-V 型接法电压互感器变为 100 V 交流线电压。此处采用 V-V 型接法是为了防止系统内出现中性点接地的情况而影响绝缘电阻信号的采集。然后经三相移相电路将线电压变为相电压后沿着选

通开关设置好的监测通道输送到上位机采集卡。局部放电信号采集硬件框图如图4所示。

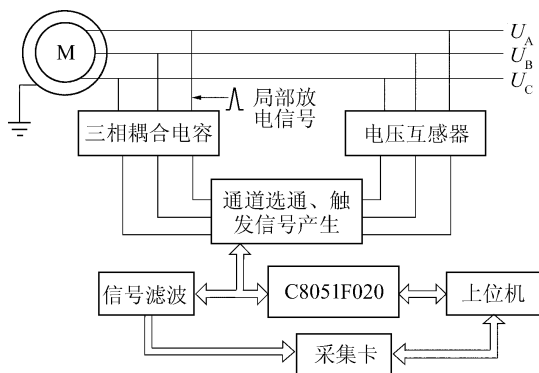


图4 局部放电信号采集硬件框图

2 系统软件设计

结合系统中硬件采集电路结构,以C8051F020为核心,采用模块化程序设计方法编写下位机控制软件,使用系统管理总线、UART 串行总线、I²C 总线、SPI 串行外设接口总线、I/O 端口、ADC0 模/数转换器等实现绝缘电阻、温度、局部放电信号采集与处理、数据传输等功能^[12]。

2.1 主程序

主程序设计方案是CPU循环查询接收中断标志位,等待系统上位机发送采集信号指令,根据接收到的命令调用相关子程序,执行相应操作,主程序流程如图5所示。

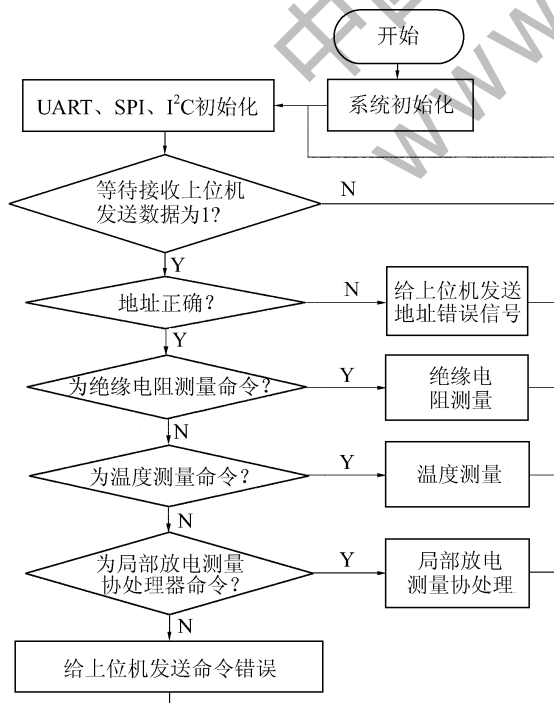


图5 主程序流程

2.2 RS485 通信程序

矿井主通风机电动机绝缘状态监测系统采用主从式结构模式,即以工控机为上位机,单片机为下位机组成的系统结构^[13]。上位机和下位机之间采用RS485 通信方式。

1) 通过查询接收中断标志位来接收数据,再根据接收到的命令执行相应的操作。

2) 系统控制软件中一个完整数据帧包括以下4个字节:第1个字节为地址字节,系统软件中设定为01H;第2个字节为命令字节,用于说明通信的内容;最后2个字节均为CRC 校验字节。通信指令代码执行功能如下:0125 C1FB 监测定子主绝缘电阻并将监测值返回上位机;0126 81FA、0127 403A、0128 003E 分别监测A、B、C相定子绕组温度并将监测值返回上位机;0129 C1FE 监测前轴温度并将监测值返回上位机;012A 81FF 监测后轴温度并将监测值返回上位机;012B 403F 监测A相局部放电信号,对信号通道进行选通并将监测值返回上位机;012C 01FD 监测B相局部放电信号,对信号通道进行选通并将监测值返回上位机;012D C03D 监测C相局部放电信号,对信号通道进行选通并将监测值返回上位机。

3) 多字节校验采用16位CRC 校验方式。RS485 通信程序流程如图6所示。

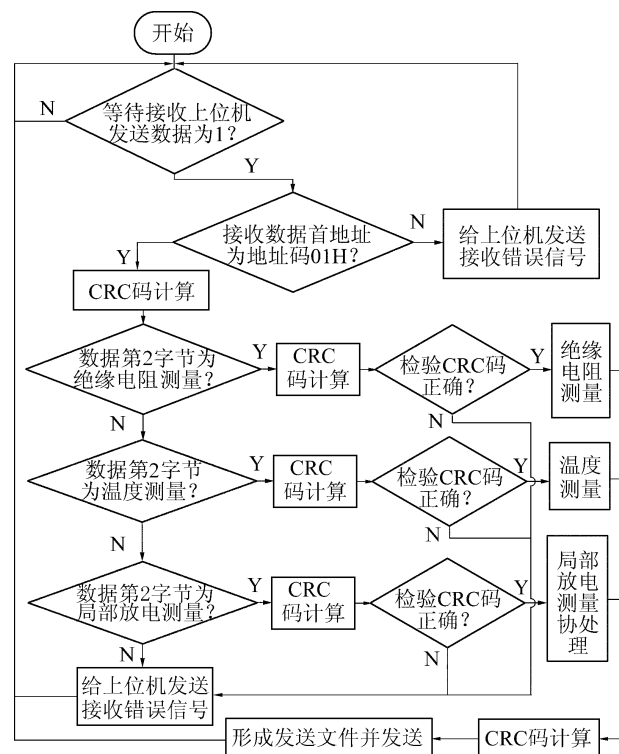


图6 RS485 通信程序流程

2.3 信号采集程序

绝缘电阻信号采集程序是在现有矿井主通风机电动机绝缘状态监测系统硬件基础上,实现单片机对取样电阻分压信号的采样^[14]。监测系统硬件中选用数字电位器 X9110 以及 16 位精度的模数转换器 ADS1110。因此绝缘电阻信号采集程序涉及 SPI 通信和 I²C 通信。CPU 通过 SPI 通信控制 X9110,调节能控运放比例系数,现场调试过程中为保证继电器动作准确性,在系统软件中将其比例系数定为 1;通过 I²C 通信对 ADS1110 进行设置和模数转换,从而采集分压信号。

温度信号采集程序是在现有矿井主通风机电动机绝缘状态监测系统硬件基础上,利用 C8051F020 中的 ADC0 实现对 A 相、B 相和 C 相定子绕组,前轴、后轴温度信号进行模数转换,转换后经简单数据处理输送至工控机进行进一步处理。

局部放电信号采集程序是在现有矿井主通风机电动机绝缘状态监测系统硬件基础上,根据上位机发送给 C8051F020 的命令,选择相应的同步信号监测通道与局部放电信号监测通道,将信号输入至工控机采集卡。

2.4 看门狗程序

为提高系统稳定性,在系统软件程序中使能并重新装载看门狗 WDT,定时写入 0Xa5,一旦单片机由于干扰造成程序跑飞后而陷入某一程序段进入死循环时,写看门狗引脚的程序便不能被执行,看门狗电路就会由于得不到单片机发来的信号,便在它和单片机复位引脚相连的引脚上送出一个复位信号,使单片机发生复位,即程序从程序存储器的起始位置开始执行,这样便实现了单片机的自动复位。

3 试验数据分析

实验室试验是模拟矿井主通风机高压电动机实际运行情况,利用试验测试条件,分别对绝缘电阻、温度、局部放电监测子模块的软硬件功能进行调试,优化系统结构,测试了各绝缘参量的技术指标,提高系统的稳定性。

工业现场试验地点为山西晋城无烟煤矿业集团有限责任公司寺河矿二号井,为保障煤矿通风安全,先在运行工况与通风机基本相符的矿井带式输送机 10 kV 电动机上进行现场试验,试验成功后,再转到主通风机房。1 号带式输送机高压电动机额定电压

为 10 kV,额定电流为 21 A,额定功率为 28 kW,额定转速为 1 488 rad/min。

3.1 绝缘电阻信号数据分析

绝缘电阻数据接收包括说明数据、10 组十六进制数据以及 CRC 校验数据。其中,说明数据为 01、02、00、01,其中:01 代表地址,02 代表采样值与设定值关系,00 代表继电器档位,01 代表 X9110 放大倍数。上位机将 10 组 16 进制数据转换为 10 进制数据,并将电压信号换算为电阻信号后在显示界面进行显示,绝缘电阻测试结果见表 1。

表 1 绝缘电阻调试结果

序号	标准电阻/MΩ	电阻试验值/Ω	相对误差/%
1	3.0	3 066 789	2.226 3
2	3.9	3 756 364	3.683 0
3	4.7	4 531 283	3.589 7
4	5.1	5 265 563	3.246 3
5	10.0	10 342 765	3.427 6
6	30.0	31 122 128	3.740 4
7	50.0	52 180 692	4.361 4
8	100.0	10 483 546	4.835 5
9	500.0	52 769 867	5.539 7
10	1 000.0	107 105 671	7.105 7
11	3 000.0	324 906 375	8.302 1

绝缘电阻信号在线监测技术参数为:测量范围 3~30 000 MΩ。当测量范围为 3~300 MΩ 时,测量精度相对误差不大于 ±5%;300~30 000 MΩ 时,测量精度相对误差不大于 ±10%。

由表 1 可知,设计的绝缘电阻监测硬件及软件的稳定性、可靠性和精度均可以满足在线监测系统技术指标的要求。

3.2 温度信号测试数据分析

温度信号测试数据包括说明数据、10 组十六进制数据以及 CRC 校验数据。说明数据共 2 位,分别为 01 和 00,其中:01 代表地址,00 代表监测内容(A 相 00,B 相 01,C 相 02,前轴 03,后轴 04)。上位机将 10 组 16 进制数据转换为 10 进制数据,并将电压信号换算为温度信号后在显示界面进行显示。温度信号测试数据调试结果见表 2。

温度信号在线监测技术参数为:测量范围 0~200 ℃,测量精度相对误差不大于 2%。由表 2 可知,设计的温度监测电路相对误差在 1% 以内,满足系统技术指标的要求。

表2 温度调试结果

序号	温度/℃	理论电压/V	试验电压/V	相对误差/%
1	20	0.269	0.270	0.372 0
2	22	0.296	0.294	0.675 7
3	25	0.336	0.335	0.297 6
4	27	0.363	0.361	0.551 1
5	29	0.390	0.388	0.512 8
6	33	0.443	0.440	0.677 2
7	35	0.470	0.468	0.425 5
8	36	0.484	0.481	0.619 8
9	39	0.524	0.520	0.763 4
10	40	0.537	0.535	0.372 4

3.3 局部放电信号数据分析

由于局部放电信号需要工频电压信号进行触发,考虑到现场只有10 kV三相线电压,所以采集硬件设计中将三相线电压转化为相电压电路。试验中使用三相电流校验仪产生三相100 V工频电压信号,接入工频触发信号电路,用示波器观察输出信号结果。工频电压触发信号相位技术参数为:相位变化 30° ;测量精度绝对误差不大于 0.2° 。工频电压触发信号试验波形如图7所示。由图7可知,正弦波为经信号缩小后的三相电压中某一相线电压信号,方波为输出的相应工频相电压触发信号,可以看出方波滞后于正弦波一定的角度,相位差为 29.88° ,存在 0.12° 误差。结果表明,触发信号发生电路可以满足局部放电对触发信号相位的要求。

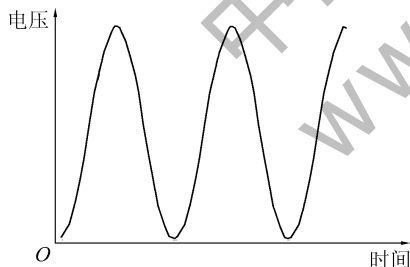


图7 工频电压触发信号试验波形

局部放电信号三维谱图如图8所示。局部放电

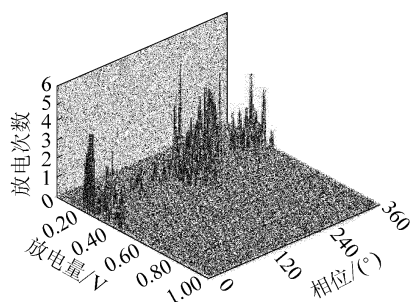


图8 局部放电信号三维谱图

监测模块可监测100 pC以上的局部放电信号,能得到准确的放电相位、放电幅值和放电次数,并根据相应特征判断局部放电类型,满足系统局部放电信号监测的要求。

4 结 语

开发了一套基于C8051F020的矿井主通风机用高压电动机绝缘状态监测系统,可以在不改变电动机本体运行状况和物理结构的前提下进行安装并运行,实现特征量提取,及时掌握主通风机的运行状态,准确了解主通风机健康状况,最大限度地保证矿井通风系统的安全性和可靠性,提高了矿井的生产效益,能够满足现代煤矿在线监测的需求。

参考文献:

- [1] 姚尚文. 矿井主要通风机安全经济运行技术探讨[J]. 煤炭科学技术, 2007, 35(5): 101-103.
- [2] 付胜, 朱全. 煤矿主通风机运行状态远程监测与故障预警的研究[J]. 中国煤炭, 2008, 34(4): 44-46.
- [3] 凌六一, 黄友锐. 基于多传感器信息融合的矿井通风机故障诊断[J]. 煤炭科学技术, 2008, 36(6): 72-74.
- [4] 付华, 孙树生, 许振良, 等. 基于模糊神经网络的信息融合方法在矿井通风系统中的应用[J]. 煤炭学报, 2006, 31(2): 130-133.
- [5] 张博, 朱琳. 电牵引采煤机实时监测与故障诊断系统设计[J]. 煤炭科学技术, 2010, 38(4): 90-93.
- [6] 王虹桥. 附加直流电源的电缆绝缘在线监测新方法[J]. 煤炭科学技术, 2000, 28(4): 19-21.
- [7] 姜凤国. 电机绝缘电阻的计算机辅助测试系统[J]. 电工技术, 2007(3): 45-46.
- [8] Stone G C. Relevance of Phase Resolved PD Analysis to Insulation Diagnosis in Industrial Equipment. 2010 [C]. Potsdam, Germany, International Conference on Solid Dielectrics 2010(7): 4-9.
- [9] Stone G C, Maughan C V, Nelson D, et al. Impact of Slot Discharges and Vibration Sparking on Stator Winding Life in Large Generators[J]. IEEE Electrical Insulation Magazine, 2008, 24(5): 14-21.
- [10] Hudon C, Bélec M. Partial Discharge Signal Fingerprint for Generator Diagnostics [J]. IEEE Trans Dielectr Electr Insul, 2005(12): 297-319.
- [11] 蒋远东, 陈庆国, 王发兴, 等. 大型发电机定子局部放电在线监测系统的研究[J]. 中国测试技术, 2008, 34(2): 127-130.
- [12] 王静爽, 曹尔晔. 基于C8051F单片机的煤矿10 kV电网保护测量装置[J]. 煤炭科学技术, 2008, 36(2): 66-67.
- [13] 毕博, 王春平, 孙书鹰. 应用RS2485的PC与单片机通信研究[J]. 科学技术与工程, 2008, 8(1): 236-238.
- [14] 毕小玉, 田慕琴, 宋建成, 等. 主通风机电动机绝缘状态监测及故障诊断方法研究[J]. 工矿自动化, 2013(9): 31-35.