

矿用 400kW 及以下交流电机变频加载测试系统研究

郭永权¹ 李凯¹ 通信作者 常彦鹏¹ 龚长安²

1. 神华神东煤炭集团有限责任公司; 2. 卧龙电气南阳防爆集团股份有限公司

DOI: 10.12238/ems.v6i10.9354

[摘要] 随着电机的使用年限和维修次数的增加, 经维修后下井使用时故障增多, 影响到矿井正常生产。针对 400kW 及以下三相交流异步变频电机, 采用直接负载的输入-输出损耗分析法, 以 ABB 变频器、负载电机、PLC、Microsoft Visual Studio 为主要组成部分, 设计了一套集数字化快速采集、能量循环利用、远程自动控制、快速安装对中于一体的能量回馈型的加载测试系统, 对维修后的电机进行测试, 以提高维修后的可靠性。

[关键词] 矿用电机; 能量回馈; 变频加载; 测试系统

Research on the Variable Frequency Loading Test System for Mining AC Motors of 400kW and Below

WU Yongquan¹, LI Kai¹, CHANG Yanpeng¹, GONG Chang'an²

1. Shenhua Shendong Coal Group Co., Ltd.

2. Wolong Electric Nanyang Explosion Protection Group Co., Ltd

[Abstract] Due to the increase in the usage time and number of repairs of motors, they experience more malfunctions when used underground in coal mines after maintenance, which affects normal production underground. A direct load input-output loss analysis method was adopted for three-phase AC asynchronous variable frequency motors of 400kW and below. ABB frequency converters, load motors, PLC, and Microsoft Visual Studio were used as the main components to design a system that integrates digital fast acquisition, energy recycling, remote automatic control, and fast installation for energy feedback type loading testing. The repaired motors were tested to improve reliability.

[Keywords] mining motor; energy feedback; variable frequency loading; test system

前言

神东煤炭集团公司是国内采矿骨干企业, 年产量近 2 亿吨, 是我国重要的煤炭生产企业之一, 电动机作为采煤设备的关键动力部件, 其经过维修后能否正常稳定的长时间运行, 是保证井下能否安全有序生产的重要保障^{[1][2]}。设备维修中心是公司采煤设备专业维修单位, 所承修的电机具有种类繁多、电压等级多、中心高分布广、冷却方式多样等特点。由于没有对电机进行模拟井下负载工况的测试条件, 维修质量和可靠性得不到有效验证, 造成电机投用短时间内出现绝缘降低、高温、异响等故障, 造成设备停机, 影响矿井正常生产, 既造成了严重的经济损失, 也带来了井下换电机的安全风险。

而且国家和行业对电机的负载试验有明确规定和要求, 其试验包括科研型试验和工业型试验^{[3][4]}。

本文根据所需测试电机的功率和尺寸, 针对 400kW 及以下电机维修后的加载测试, 设计和搭建了一套加载测试台, 验证维修质量及可靠性。

1. 测试系统原理

测试系统所用交流异步电力测功机主要由卧龙电气南阳防爆集团生产的鼠笼式交流异步电机和 ABB 变频器组成。整体架构由电源系统、扭矩加载系统、数据采集控制系统及辅助设备等组成, 如图 1 所示。

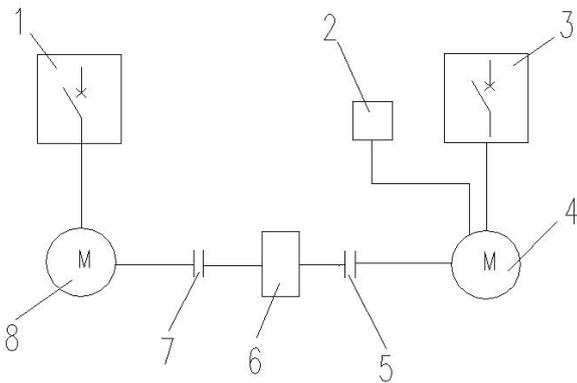


图 1 电机加载系统整体架构图

1. 负载电机控制柜 2. 冷却水站 3. 被试电机控制柜 4. 被试电机 5、7. 联轴器 6. 扭矩转速传感器 8. 负载电机

负载电机模拟系统的机械负载，与被试电机同轴相联，分别受各自变频器的驱动与控制，与 PC 机、扭矩传感器等设备一起构成电力测功机系统。

系统被试原理为：当被试电机转子的转速高于电机的同步转速时，电磁转矩方向与转子转向相反，电磁转矩为制动转矩，负载电机向被试电机转子输送机械功率，被试电机定子绕组输出电功率，处于发电机状态，发出的电能经能量回馈单元回馈电网。此时通过逆变器降低被试电机的供电频率，扩大它和负载电机的转差率，使加在被试电机上的转矩不断增大，从而使被试电机的转速下降，当转矩达到平衡状态时，转速保持恒定，维持一定时间完成正常加载测试；如果再将供电频率调低，并维持较短时间，则可以对被试电机的短时过载能力进行测试^[5]。

2. 测试系统各部分的设计与选型

2.1 电源系统设计

电路原理图如下图 2 所示，

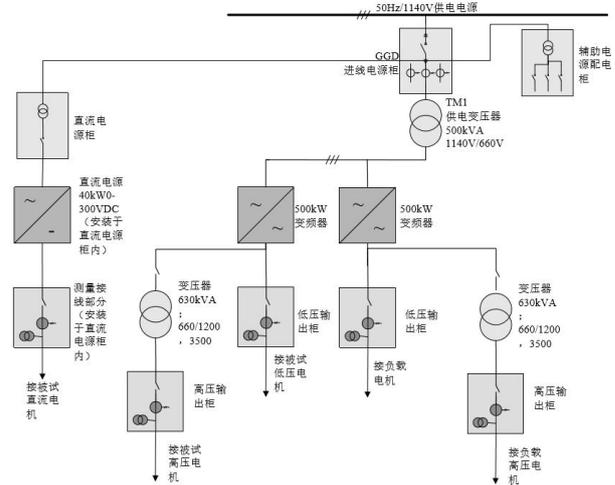


图 2 负载被试系统电路原理图

系统进线电源为生产现场的 AC 1 140V/50Hz，经进线柜后为辅助电源、直流电源和供电变压器供电；供电变压器为 AC 1 140V 输入、AC 660V 输出，为负载和被试电机用变频器供电，AC 660V 及以下电机可直接使用变频器驱动，AC 1 140V 及以上电机，经变频器输出后，接多触头特种变压器后驱动，可实现 AC 3 300V、AC 1 140V、AC 660V 和 AC 575V 四种电压等级、400kW 以下交流电机的试验^[6]。

2.2 变频器的选择

四象限变频器和两象限变频器均选用 ABB/ACS880 系列，有的功率吸收和发电功能；有电力回馈系统，采用 IGBT 功率回馈技术，网侧配置原装 LCL 滤波器，回馈电能质量满足相关国家标准对电网谐波要求，同时能节省电力消耗^{[7][8]}。

表 1 四象限变频器主要参数表

序号	项目	参数	
1	额定容量/kW	500	
2	电源输入	电压、频率	三相 660V 50/60Hz
3		变频器效率	≥98%
4	输出	输出电压	额定条件下输出：3 相，0~输入电压，误差小于 5%
5		输出电流/A	505 (轻载)，455 (重载)
6		输出频率范围/Hz	0~400
8		过载能力	150%额定电流时 1min，180%额定电流时 10s，200%额定电流时 0.5s
9	主要性能	电机控制模式	V/F 控制、开环矢量控制、闭环矢量控制
10		频率分辨率	数字设定 0.01Hz；模拟设定最大频率 X 0.05%

2.3 测量系统设计

对检测测量系统各零件选定后，搭建了一套测量系统：

(1) 将变频器和直流调速装置主控板通讯模块与 PLC 通讯模块连接，接入上位机系统，以实现变频器和直流屏的监测与控制；

(2) 将电机轴承定子测温和轴承测温，按照两台电机同时运行，共 10 路 PT100；对三进三出水冷却系统进水侧的温度、流量、压力，出水侧测量温度和压力，共 15 路 DC4~20mA 电信号，共 25 路信号，通过无纸记录仪的标准 485 通讯接入 PLC 通讯模块，上位机软件通过 PLC 通讯读取；

(3) 进线电源及电机输入侧电压和电流等数据, 通过电压互感器和电流互感器传递至功率分析仪, 通过功率分析仪的标准 485 通讯接入 PLC 通讯模块, 上位机软件通过 PLC 通讯读取;

(4) 无线振动采集系统, 包含 8 个无线振动传感器以及配套用采集卡。通过采集卡的 485 标准通讯接入 PLC 通讯模块, 上位机软件通过 PLC 通讯读取;

(5) 加载测试时的转矩、转速及机械功率, 通过智能仪表的标准 485 通讯接入 PLC 通讯模块, 上位机软件通过 PLC 通讯读取;

(6) 现场噪声使用噪声仪直接测量和输入报告界面;

(7) 现场温湿度表实时监测环境温度和湿度;

(8) 通过 PLC 及软件编程, 实现高低压开关柜各种断路器分、合控制、逻辑互锁及安全联锁, PLC 与上位机软件通讯连接, 实现设备的远程操作、远程控制、参数设置和安全联保;

(9) 上位机软件具有实时显示、数据采集、数据记录、设备操作、安全报警、数据计算分析、报表打印等功能。

2.4 控制系统设计

控制系统主要由计算机、PLC 和变频器组成。控制系统原理图如下图 4 所示。

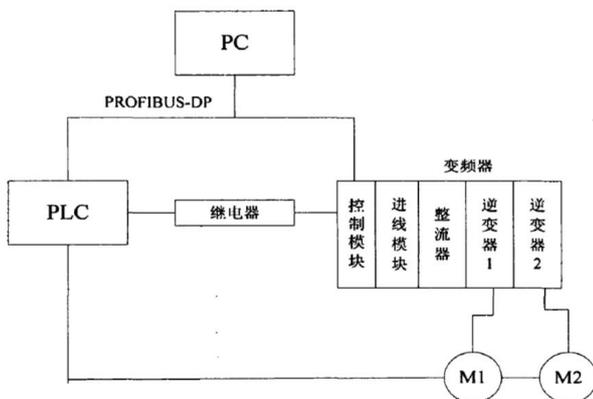


图 4 加载测试控制系统原理图

PC 作为上位机, 用来对系统进行硬件组态、对外接设备进行通讯编程、提供可视化的人机操作界面、对操作界面进行控制参数的设置、实时显示存储测试数据、描绘特性曲线、处理数据、打印实验报告等工作。

PLC 作为控制器对变频器进行控制, 并将数据传送到计算机中进行分析 and 处理。试验时把 PLC、变频器和计算机通过 PROFIBUS-DP 总线连接起来, 通过在计算机中对硬件设备进行组态和软件编程, 把组态和程序下载到 PLC 中, 变频器接受 PLC 的控制指令来对异步电机进行驱动控制, 由负载电机通过联轴器和扭矩传感器来拖动被试电机运行, 从而实现

加载测试。试验软件运行系统版本要求 Windows7 及以上。

新一代试验系统开发技术 Microsoft Visual Studio, 是美国微软公司的开发工具包系列产品, 是一个基本完整的开发工具集, 它包括了整个软件生命周期所需要的大部分工具, 如 UML 工具、代码管控工具、集成开发环境等。

2.5 测试结果

系统搭建和施工完成后, 可对不同负载条件下电机运行时的多项参数进行量化检测, 通过加载不同的扭矩, 检测电机的电压、电流、振动、温度、声音、效率等参数, 来判断电机是否可靠和合格。经试用和统计, 2022 年经加载测试检出存在潜在质量问题的电机有 8 台, 同时, 发放给矿井的电机在投用后的 4 个月内出现故障的台数仅为 3 台, 相比 2021 年 (未加载测试期) 出现故障数 18 台减少了 15 台, 降幅 83.3%, 可见故障电机的检出率较高, 试验台的研制达到了预期目标。

3. 结论

针对 400kW 及以下功率的电机, 从设计理论、整体架构、硬件选型、软件先进性、试验操作界面等方面进行了设计和分析, 成功搭建了测试台, 对修后电机进行测试发现, 确实检出了存在质量问题的电机, 避免了电机下井后短期内出现故障, 减少了经济损失。同时, 该试验台对行业内的电机维修或制造位具有借鉴作用。

[参考文献]

- [1] 刘平顺, 李鲲鹏. 浅析新型电机试验电源及加载设备[J]. 低碳世界, 2016 (1): 174-175.
- [2] 彭磊, 谢卫才. 电机型式试验室的改革与建设[J]. 中国电力教育, 2008, 6 (114): 108-109.
- [3] 王德成, 林辉. 电机四象限运行的直接转矩控制动态负载[J]. 吉林大学学报 (工学版), 2014, 44 (1): 276-280.
- [4] 吴健, 余真. 三相异步电机型式试验台电源与加载系统[J]. 电气传动, 2014, 44 (5): 75-80.
- [5] 李生军. 能量回馈型异步电机加载测试系统的研究[D]. 大连: 大连交通大学, 2013.
- [6] 耿洪奎. 电机型式试验站技术方案比较[J]. 防爆电机, 2008, 43 (140): 42-45.
- [7] 竺春祥. 电机被试中动态加载及综合测试系统研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2021, 35 (5): 202-210.
- [8] 赵黎华. 电机型式试验测试系统的设计[J]. 检验检疫学刊, 2014 (3): 28-31.

作者简介: 鄂永权 (1972-), 内蒙古鄂尔多斯人, 高级工程师, 本科, 研究方向: 采矿设备维修管理。

通信作者: 李凯, 高级工程师, 硕士。