

矿用隔爆型智能三相异步电动机的设计与应用研究

张忠德

宁夏西北骏马电机制造股份有限公司 宁夏 石嘴山 753000

摘要: 针对煤矿井下传统隔爆型三相异步电动机监控不完善、无数据记录、无法远程运维及全周期管理的痛点,契合煤矿“机械化换人、自动化减人”发展需求,设计矿用隔爆型智能三相异步电动机。在传统隔爆电机结构基础上,集成多参数监测、智能控制及远程传输模块,优化隔爆结构并依托单片机完成信号采集分析,强化设备抗干扰、抗粉尘、抗潮湿性能。实验与现场应用表明,该电机温度测量误差 $\leq \pm 1^\circ\text{C}$,电流、电压测量误差 $\leq \pm 2\%$,故障诊断准确率 $\geq 98\%$,非计划停机时间较传统电机减少约60%,有效提升煤矿采掘传输系统智能化水平与运行可靠性,为煤矿无人化智能开采提供核心动力支撑。本文详细阐述电机总体结构设计、智能监测与控制系统工作原理,通过性能测试与现场应用验证设计方案的可行性,为矿用电机智能化升级提供理论参考与工程实践依据。

关键词: 矿用隔爆型;三相异步电动机;智能化设计;实时监测;远程运维;无人化开采;隔爆结构;故障诊断

1 引言

煤炭作为我国能源结构核心支柱,对国民经济发展具有不可替代的作用,随着经济持续发展,煤炭需求保持稳定增长。煤矿井下采掘传输系统是生产核心,矿用隔爆型三相异步电动机作为核心动力源,其性能、可靠性及智能化水平直接决定煤炭生产的连续性、安全性与经济性。当前,煤炭行业加速向智能化、无人化转型,“机械化换人、自动化减人”成为行业必然趋势,也是保障安全生产、提升效率的关键。

然而,井下广泛使用的传统隔爆型三相异步电动机存在诸多局限,难以适配数字化矿山发展需求:监控保护体系简陋,仅能实现基础过载、短路保护,无法实时监测绕组温度、轴承温度等关键参数,难以提前发现潜在故障;缺乏数据记录分析能力,不利于故障溯源与维护优化;智能化水平低,无远程管控能力,人工现场点检在井下高粉尘、高湿度、高瓦斯、强振动环境下效率低、风险高,与无人化开采趋势相悖。物联网、大数据等技术的工业应用,为矿用电机智能化升级提供了坚实支撑,成为解决传统电机痛点的关键突破口。

1.1 研究意义

本研究兼具工程应用、技术创新与行业推广价值:技术层面,突破传统电机“只驱动、少监测、无智能”的局限,将多参数监测、智能控制与隔爆结构有机融合,推动电机向“智能感知终端”转型,解决智能模块与隔爆要求的适配问题,为矿用电机智能化设计提供新思路;安全层面,实时监测关键参数并提前预警故障,减少人工点检频次,降低井下作业风险,契合煤矿安全生产理念;产业层面,实现与数字化矿山平台无缝对接,助力

构建智能化闭环管理模式,提升我国矿用电机核心竞争力,降低企业运维成本,推动煤炭产业高质量发展,符合国家矿山智能化建设导向。

1.2 研究内容与技术路线

核心研究内容包括:一是电机总体模块化设计,完成基础隔爆、智能监测、控制传输三大模块的结构设计与集成优化;二是智能监测系统研发,选型适配井下工况的监测元件,设计信号调理电路,实现关键参数精准采集;三是控制传输模块设计,以单片机为核心,实现信号处理、故障诊断、数据存储与远程传输功能;四是性能测试与现场应用,验证电机各项性能与工程实用性。

技术路线:梳理传统电机痛点与行业需求,明确研究目标;结合GB3836.2—2021标准与井下工况,完成总体结构与部件选型;研发智能监测与控制传输系统,实现各项智能化功能;搭建测试平台开展性能测试,优化设计方案;将电机应用于井下采掘系统,通过长期现场应用验证实用性,得出结论并展望未来研究方向。

2 矿用隔爆型智能三相异步电动机总体结构设计

电机设计遵循GB3836.2—2021标准,结合井下恶劣工况,采用模块化设计,分为基础隔爆、智能监测、控制传输三大模块,实现“隔爆+智能”双重目标,各模块独立且关联,便于安装维护与升级,确保满足井下隔爆要求与智能化需求。

2.1 基础隔爆结构设计

基础隔爆模块是安全运行核心,用于隔离井下爆炸性气体与电机内部火花、高温,主要包含机座、轴承装配、定子、转子及接线盒等部件,均采用高强度钢制造,具备强度高、耐高温、抗腐蚀等优点,可承受井下爆炸

压力与工况冲击。

机座采用水套焊接,内置水冷冷却,兼顾结构强度与散热性能,隔爆间隙严格控制在0.2~0.5mm,精密加工确保间隙均匀,阻止爆炸火焰与高温气体外泄。轴承装配采用深沟球轴承,适配强振动工况,轴承端盖密封设计并配备耐高温密封件,防止粉尘、潮气侵入。定子绕组采用高强度漆包线绕制,经浸漆烘干处理提升绝缘防潮性能;转子采用铸铝结构,启动性能好,满足动力需求。

接线盒优化为密封式隔爆设计,内部主绝缘子、多芯绝缘子符合隔爆标准,多芯绝缘子采用控制线与铜套胶封固定,提升密封性能;盒体与盖子螺栓紧固,结合面设置密封垫圈,进一步强化隔爆密封效果。

2.2 智能监测结构设计

智能监测模块核心功能是实时采集电机关键参数,为故障诊断与远程运维提供支撑,集成温度监测元件、电流互感器、电压互感器及信号调理电路,确保监测数据准确实时。

温度监测采用PT100铂电阻,具备测量精度高、抗干扰强、测温范围广等优点,适配井下工况。在定子线圈两端部各埋置2个、左右轴承端盖内侧各安装1个PT100,全面精准监测绕组与轴承温度。电流互感器选用隔爆型,变比100/5A、精度0.5级,安装于电机引出线处监测负载变化;电压互感器为隔爆型,变比1000/100V、精度0.5级,安装于接线腔监测电网波动,两者均具备良好隔爆抗干扰能力。

信号调理电路包含滤波、放大、稳压单元:RC低通滤波电路过滤高频干扰,差分放大电路将微弱信号放大至单片机可识别范围,三端稳压器提供稳定工作电压,进一步提升监测精度。

2.3 控制传输结构设计

控制传输模块负责信号处理、故障诊断、数据存储与远程传输,实现电机智能控制,包含电源变压器、控制电路板、显示屏、通讯接口等部件,协同实现各项智能化功能。

电源变压器采用隔爆型降压变压器,将井下660V/1140V高压转换为24V安全电压,为智能模块稳定供电,适配井下高电压、强干扰环境。控制电路板以单片机为核心,集成信号转换、数据存储、故障诊断、通讯等单元:A/D转换器将模拟信号转换为数字信号;16KB存储器存储运行与故障数据,存储周期1~5年;故障诊断模块基于参数阈值与算法,识别常见故障并发出报警信号。

3.5英寸隔爆型液晶显示屏安装于接线腔内侧,透明窗口便于现场查看参数,可实时显示运行状态、故障信

息,支持参数阈值设置。通讯模块采用以太网方式,配备USB端口与网口,USB用于现场导出数据,网口实现远程传输,每台电机分配唯一编号与IP地址,可与变频器通讯实现远程调速,提升能源利用效率。

3 智能监测与控制系统工作原理

系统以“参数采集→信号处理→数据存储→显示传输→故障预警→智能控制”闭环流程实现智能化管控,核心依托单片机,完成多源数据处理、智能决策与指令执行,保障电机安全高效运行,实现远程运维与全周期管理。

电机启动后,电源变压器为各智能部件供电,PT100、电流互感器、电压互感器同步采集绕组温度、轴承温度、三相电流、三相电压等参数。采集的模拟信号含高频干扰,经信号调理电路过滤、放大、稳压后,由A/D转换器转换为数字信号传输至单片机。

单片机结合预设参数阈值(绕组温度0~155℃、轴承温度0~95℃、电压660V±10%/1140V±10%),对数字信号运算分析,判断运行状态并诊断故障。正常工况下持续采集处理数据;参数异常时,快速识别故障类型并生成故障信号,同时将运行与故障数据存储至存储器,传输至显示屏本地展示,故障时同步显示故障类型与代码。

单片机通过通讯模块经井下工业以太网,将数据远程传输至地面PC端与管理人员移动端。PC端监控软件可查看实时、历史数据及故障记录,支持参数设置;移动端APP接收报警信息,实现远程运维,大幅提升管理效率。故障时,单片机触发保护机制(过载断电、过热降温),同时可通过变频器实现远程调速,适配负载需求,实现节能精准控制。

4 性能测试与现场应用

为验证电机隔爆性能、监测精度、运行稳定性及实用性,搭建模拟测试平台开展性能测试,随后将电机应用于井下采掘传输系统,通过长期现场应用验证设计方案可行性。

4.1 性能测试

测试在实验室模拟井下恶劣工况开展,涵盖隔爆、监测精度、数据传输、故障预警、运行稳定性5项内容,测试设备齐全,严格遵循GB3836.2—2021标准与煤矿设备测试规范,确保结果准确可靠。

隔爆性能测试:模拟10%甲烷混合气体环境,电机内部引燃后,外壳无变形、无泄漏,火焰未外泄,符合隔爆标准。监测精度测试:对比高精度参考设备,温度测量误差 $\leq \pm 1^\circ\text{C}$,电流、电压测量误差 $\leq \pm 2\%$,满足智能化监测需求。数据传输测试:不同传输距离(50~1000m)

下,数据更新延迟 ≤ 10 秒,无丢失错乱,传输稳定。故障预警测试:模拟常见故障,报警响应时间 ≤ 1 秒,诊断准确率 $\geq 98\%$,保护机制有效。运行稳定性测试:模拟井下工况连续运行72小时,电机运行平稳,各部件正常,无异常现象。

4.2 现场应用

将10台智能电机应用于某大型智能化煤矿井下3个采掘工作面的输送机、转载机,开展6个月现场应用试验。井下恶劣环境中,电机凭借优化设计,运行稳定、隔爆可靠,无部件损坏与隔爆失效问题。

远程监测功能减少人工下井点检,每月减少工作量约80小时,降低劳动强度与作业风险。6个月内共预警过载3次、过热2次、欠压1次,及时处理避免故障扩大,非计划停机时间较传统电机减少约60%,煤炭开采效率提升约12%。运行数据全周期存储为维护优化提供支撑,电机数据与数字化矿山平台无缝对接,助力构建智能化闭环管理,为无人化开采奠定动力基础,具备良好工程应用价值。

5 结论与展望

5.1 结论

本文围绕矿用隔爆型智能三相异步电动机设计与应用展开研究,结合井下工况与智能化需求,突破传统电机局限,完成设计与验证,得出以下结论:

1. 电机采用模块化设计,三大模块协同工作,既满足GB3836.2—2021隔爆标准,又具备完善智能化功能,适配井下恶劣工况,实现“隔爆+智能”双重目标。

2. 智能监测模块集成多种监测元件与信号调理电路,关键参数采集精度高、稳定性好,为故障诊断与远程运维提供可靠支撑。

3. 以单片机为核心的控制传输模块,实现信号处理、

故障诊断、远程传输等功能,故障诊断准确率高、响应快,推动设备管理向智能化、远程化转型。

4. 性能测试与现场应用表明,电机隔爆可靠、运行稳定,有效减少非计划停机,提升采掘系统智能化水平与可靠性,为煤矿无人化开采提供核心动力支撑,具备重要工程应用与推广价值。

5.2 展望

结合煤炭行业智能化发展趋势,未来将从四方面优化完善:一是引入人工智能与大数据技术,构建故障预测模型,推动维护向“预测性维护”转型;二是扩展监测参数,集成振动、绝缘电阻等传感器,全面掌握电机运行状态;三是优化远程控制功能,完善通讯协议,实现电机全功能远程控制与协同运行,助力采掘系统全无人化;四是开展产品标准化、系列化研发,适配不同工况与功率需求,扩大推广范围,助力煤炭产业高质量发展。

参考文献

- [1]中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.GB/T3836.2—2021爆炸性环境第2部分:由隔爆外壳“d”保护的设备
- [2]王建国.矿用隔爆型三相异步电动机的智能化改造研究[J].煤炭科学技术,2022,50(8):189-194.
- [3]李建明,张宏.煤矿智能化开采关键技术及应用进展[J].矿山机械,2023,51(3):1-7.
- [4]刘军,赵伟.矿用电机智能监测与故障诊断系统设计[J].电气应用,2022,41(11):89-93.
- [5]张庆,李娜.PT100温度传感器在矿用电机监测中的应用研究[J].传感器技术与应用,2021,9(4):287-293.
- [6]国务院.关于深入推进矿山智能化建设促进矿山安全发展的指导意见[Z].2024.