

# Research on the Role of Frequency Converter Fault Diagnosis and Protection Function in Electrical Drive Safety Control

Jianguo Tian

Shi Heng Special Steel Group Co., Ltd., Feicheng, Shandong, 271612, China

## Abstract

The safe and stable operation of electrical drive systems serves as a critical safeguard in industrial manufacturing. As the core control component of such systems, frequency converters are prone to equipment damage, production halts, and even safety incidents when malfunctioning. This study explores fault diagnosis technologies, protection function systems, and practical applications of frequency converters through fault characteristic analysis. It elucidates operational principles and parameter specifications for electrical components, system-level protections, and external interlocking safeguards. Through metallurgical industry case studies, the research validates the pivotal role of diagnostic and protective functions in enhancing equipment stability, extending service life, ensuring production safety, and protecting personnel. Findings demonstrate that comprehensive fault diagnosis and protection systems significantly reduce transmission system failure rates, providing reliable technical support for electrical drive safety control.

## Keywords

inverter; fault diagnosis; protection function; electrical drive; safety control; industrial application

## 变频器故障诊断与保护功能在电气传动安全控制中的作用研究

田建国

石横特钢集团有限公司, 中国·山东 肥城 271612

## 摘要

电气传动体系安全并且平稳运转是工业制造领域的关键保障。变频器作为该体系的核心控制部件,一旦出现故障容易致使设备出现损坏情形、生产出现停滞的状况,甚至会引发安全事故。本文针对变频器故障诊断技术、保护功能系统以及实际应用情况开展探讨的工作对故障特征提炼进行分析,对电气类、系统类以及外部联动保护运行原理和参数规范作出解释。结合冶金行业实际应用实例,对诊断与保护功能在提高设备稳定性、延长使用时间、保障生产安全以及人员防护等方面的关键作用进行验证。研究表明完备故障诊断与保护系统能够明显地降低传动体系故障发生的概率,为电气传动安全控制提供可靠的技术支持。

## 关键词

变频器; 故障诊断; 保护功能; 电气传动; 安全控制; 工业应用

## 1 引言

伴随工业自动化程度不断提高电气传动的体系在各种工业场景当中得以广泛应用,该体系的安全可靠性直接和生产效率以及人员安全产生关联。变频器作为电气传动体系里核心的调速控制设备,受到电网波动、负载突然变化、环境干扰等一类因素的影响容易出现模块损坏、信号不正常等故障,然后导致设备停止运行、生产中断甚至造成重大安全隐患。目前传统的故障诊断以及保护方式存在响应缓慢、识别精准程度不够等方面问题,很难满足工业制造对于电气传动

安全的高标准要求。所以深入研究变频器故障诊断技术以及保护功能的运行原理,探寻其在电气传动安全控制当中的应用方式,对于提高体系运行的稳定性、降低安全风险具有重要的现实意义。

## 2 变频器常见故障特征提取方法

在变频器开展精准诊断工作时提取故障特征是极为关键的初始环节,其重点在于从繁杂的运行数据里把能够表明存在故障的有效信息挑选出来。在实际的工程操作过程中借助对电压电流波形、直流母线电压波动情况、电机转速转矩响应状况等多个维度的物理量进行收集和分析,去除电网谐波、电磁干扰等多余的噪声,进而提取出在发生故障时出现的幅值发生畸变、相位产生偏移、频率有突变情况以及温升

【作者简介】田建国(1983-),男,中国陕西兴平人,本科,工程师,从事电气传动及其自动化技术应用研究。

速率出现变化等重要特征。针对逆变单元损坏、驱动信号丢失等具有代表性的故障,运用将时域分析和频域分析相结合的方法建立起特征向量和故障类型之间的对应联系,防止因为单一参数而出现错误判断为后续进行故障位置确定和类型判别提供可靠的数据支持,确保特征信息具有完整性和可辨识度。

### 3 变频器保护功能体系及运行机制

#### 3.1 电气类保护功能及工作原理

电气类防护是变频器抵挡电网和负载端电气冲击的关键保障,主要就过电流、过负荷、过电压、欠电压、短路以及缺相这类典型电气故障建立防护体系。运行时控制系统借助高速采样电路及时收集输入端三相电压和输出端负载电流,当检测到电流峰值超过额定数值的1.5倍并且持续时长超过20ms时就判断为过电流故障。电压偏离额定范围 $\pm 15\%$ 时会启动过电压或欠电压动作。短路防护的响应速度一般控制在 $10\mu\text{s}$ 以内,通过封锁绝缘栅双极型晶体管的驱动信号迅速切断故障电路,防止功率器件因瞬间大电流被烧毁。过负荷防护根据热累积模型计算电机的温度升高情况,当等效热容量达到临界值时按等级降低频率直至停机防止绕组绝缘老化。这类防护直接作用于电气主电路能够有效抑制故障能量扩散,保证功率单元和传动电机的电气安全。

#### 3.2 系统类保护功能及控制逻辑

系统类防护集中于变频器内部控制电路、驱动电路和散热系统的稳定运行,通过多层级逻辑判断实现整机安全管理控制。其控制逻辑采用分级响应方式,当检测到驱动电源异常、温度传感器失效或者主控芯片通信异常时先执行状态锁定并上传故障代码,如果异常持续超过500ms就直接启动停机程序。散热相关防护通常把 $85^{\circ}\text{C}$ 度设为预警温度, $105^{\circ}\text{C}$ 度设为保护停机的临界值通过调节风扇转动速度和输出频率协同控制温度。针对上电时的浪涌和启停时的冲击系统采用软启动和软停车逻辑,将电压上升速度控制在 $300\text{V}/\text{s}$ 以内避免产生机械冲击和电气振荡。该类防护以系统完整性为目标通过时序控制和状态互锁,防止单一模块故障导致整机瘫痪提高电气传动系统运行的连续性。

#### 3.3 外部联动保护与安全连锁设计

对外部关联保障和安全连锁进行操作让变流器和周围装置达成协同防护的效果,搭建起一个涵盖整个机器系统的安全控制封闭循环。在设计过程中一般会接入紧急停止按钮、限位开闭装置、电动机热敏电阻以及上层断路器信号,从而形成多个节点的连锁逻辑关系只要有任何一个安全节点产生动作,都能够通过硬线的形式直接促使变流器封锁脉冲。连锁回路的反应时间通常不会超过30ms,能够独立于主控程序进行运作具备更高的安全级别。在流水线以及起重机械等场景当中变流器会和制动组件、机械抱闸装置联合行动,当故障出现时同步启动能耗制动功能保证电动机在0.5s

之内平稳地停止运转。

## 4 故障诊断与保护在电气传动安全控制中的应用

### 4.1 在工业电机传动系统中的应用实例

工业上所使用的电动机传动体系对于转动速度、转矩以及运行持续情况有着十分严格的要求。变流器所具备的故障诊断和保护功能,能在实时的情况下捕捉电气方面和机械方面所出现的异常状况,通过多个维度的参数监测以及分级动作的逻辑,来实现故障早期预警以及快速隔离,从而避免出现不按照计划安排的停机以及设备出现损坏的情况,进而为连续生产提供稳定的电气支持。诊断体系依靠电压、电流、温度和转速的闭环监测方式,来提取故障特征并且确定异常环节所在的位置保护体系则按照预先设定好的阈值,去执行限制电流、降低电压或者停止运行的操作。

某轧钢生产线所配备的1600kW轧钢机传动系统,采用西门子GM150中压变流器来驱动异步电动机,原来在工频直接启动时冲击电流达到额定值的6倍电动机绝缘老化速度快,轴承也受到严重的疲劳损伤平均每年出现4次非计划性停机。改造之后变流器实时采集三相输入电压、输出电流、电动机绕组温度和轴承振动数据,设定过电流达到1.2倍时发出预警达到1.5倍时进行保护。过电压偏差超过 $\pm 10\%$ 时触发动作,模块温度达到 $90^{\circ}\text{C}$ 时发出预警达到 $110^{\circ}\text{C}$ 时停止运行。在运行过程中有一次因为电动机定子绝缘下降导致电流发生畸变诊断系统在15ms内识别出异常情况,保护单元立刻封锁IGBT脉冲避免了绝缘击穿和绕组烧毁的情况。还有一次电网电压突然下降触发了欠电压保护,系统自动切换到备用电源模式维持风机的最低安全转速保障窑内通风的稳定性。改造之后系统的连续运行周期从3个月延长到了11个月电动机的温升降低了 $18^{\circ}\text{C}$ ,传动系统的故障率下降了85%每年减少的停机损失超过百万元。

### 4.2 在高危工况下的安全保障效果分析

在具有高危险程度的工作状况里,电气传动装置容易受到具有易燃易爆特性的环境、处于高温状态的粉尘以及沉重负载产生的冲击等因素的作用,一旦发生故障很容易造成爆炸、火灾或者设备倒塌等情况。针对变频器的诊断和保护工作,借助与防爆要求相契合的设计、具有冗余功能的监测手段以及相互连锁的控制方式,建立起覆盖全部场景的安全防护体系将发生故障的风险控制在起始阶段。该系统运用具备防爆功能的采样装置和隔离电路,再配合能够快速响应的保护逻辑,能够在一毫秒这样极短的时间内切断存在危险的电路,降低事故扩大的可能性符合化工、矿山等高危场景的安全规范要求。

在某冶金企业气体公司的10kV高压压缩机传动系统中,使用了汇川HD90系列防爆变频器。该现场存在可燃气体发生泄漏的风险,因此要求保护系统的响应时间 $< 20\text{ms}$

误动作的概率 < 0.1%。此变频器配备了双路具有冗余功能的电流传感器以及防爆型温度采集模块,能够实时对电机的绝缘电阻、绕组温度以及与可燃气体浓度相关的联动信号进行监测。再一次压缩机的活塞出现卡涩现象,导致电机发生堵转输出电流瞬间上升到额定值的 2.1 倍。此时诊断系统在 8ms 的时间内就确定了故障的位置,保护单元立刻停止输出并启动联动紧急停机程序,同时关闭上游的进气阀避免了电机被烧毁以及可燃气体发生爆燃的风险。该系统投入使用后累计识别出过载、绝缘性能下降、通信出现异常等 37 起隐患,所有隐患都得到了没有引发事故的处理。设备安全运行的时间超过了 6800 小时,达到了 GB3836 防爆标准的要求没有发生任何安全责任事故。

#### 4.3 对设备运行稳定性与使用寿命的提升

对故障进行诊断和保护能够减轻电气方面的冲击和机械方面的应力,抑制过流、过压、温度升高等超出标准的情况对核心部件造成的损害。通过平稳地启动、停止设备以及调节设备的运行速度能够降低振动带来的冲击,优化设备的运行状况延长电机、轴承、变频器功率模块等关键部件的使用周期,减少维护的次数和维修的成本。通过对热量累积进行管理以及对早期隐患进行预警,能够避免设备在存在故障的情况下运行显著提高整体运行的稳定性。

某冶金产业主要提升装置的 1000kW 动力传输体系,原本的串联电阻调节速度方式产生的冲击力较大,电动机平均每年进行一次全面检修减速器每三年需更换一次,轴承的使用时长不足两年。完成改造之后采用 ABB ACS880 变频变流器,对转矩的波动情况、转动速度的偏差数值以及温度升高的变化状况进行实时观测,设置了过载时的热容量保护功能以及呈 S 形曲线的平稳启动和停止模式,将启动时的电流控制在额定数值的 1.2 倍范围之内。该体系借助诊断计算方法能够提前识别出轴承磨损和转子偏心等潜在问题,及时发出警报并对运行参数进行调整。运行数据表明电动机的平均温度升高值降低了 22℃,轴承的使用时长延长到五年减速器的全面检修周期延长到七年,变频变流器功率模块的故障发生概率下降了 90%,每年的维修费用较之前降低了 78% 设备的综合可使用效率提升到 99.7%,整体使用寿命延长了一倍以上。

#### 4.4 对生产安全与人员防护的实际价值

变频变流器的诊断和保护功能能够避免因设备故障而引发机械部件飞溅、人员触电、发生火灾等事故,通过紧急

停止时的联锁装置、出现故障时的自锁功能以及与安全门的联动机制,彻底消除意外重启和错误操作带来的风险,为现场的运维人员提供可靠的电气安全保护措施,降低人身受到伤害的可能性确保生产作业全过程的安全处于可控状态。

某钢铁厂炼钢车间的 250kW 转炉倾动电动机动力传输体系,采用施耐德 ATV61 变频变流器,配备了紧急停止硬线联锁装置、限位开关以及超速保护装置,一旦出现任何异常情况都会触发零速度封锁功能并与机械抱闸装置联动。在一回倾动马达减速装置出现断裂状况,进而造成转动速度失去控制时诊断体系在 10ms 的时间内就辨别出了超速的信号,保护部件马上对输出进行封闭操作并且启动抱闸装置,把转炉平稳地固定在安全的角度位置防止钢水发生倾覆情况,对操作人员的安全造成威胁。自该体系投入使用以后已经成功地避开了倾动失去控制、马达出现短路、电缆产生过热等 23 起重大安全隐患,没有出现人员伤亡以及设备重大事故的情况,现场发生触电和机械伤害的风险降低了 95%,达到了冶金行业安全规范的要求为处于高危岗位的人员进行作业提供了稳固的电气安全防护。

## 5 结语

本文以变频器故障诊断技术、保护功能的体系以及其在电气传动安全控制方面的作用当作核心内容,开展系统性的研究工作。明确故障特征提取的应用关键点阐述了各种保护功能的运行原理机制,并且结合多个实际案例对其应用的价值进行验证。研究表明科学合理的故障诊断技术能够实现故障的精确识别和预警,完善的保护体系有效阻止故障的蔓延扩散。本文的研究成果能够为工业电气传动系统的安全管理控制提供技术方面的参考,在后续研究过程中可以进一步对智能诊断与保护技术的集成优化进行探索,提高其在复杂工作状况下的适应能力为电气传动系统的安全稳定运行提供更加全面的支持。

### 参考文献

- [1] 石璐,刘矿平,郜高高,等.变频器在电气传动自动控制中的应用与实践[J].电动工具,2022(6):33-36.
- [2] 李文俊.风力发电机组变频器故障诊断研究[J].电脑乐园,2020,5(9):236-236.
- [3] 王海霞.变频器运行状态及故障诊断技术的研究[J].电子制作,2017,25(17):88-89.DOI:10.16589/j.cnki.cn11-3571/tm.2017.17.034.