

低压变频器过载故障模式识别与现场处理方法研究

孙 超

大唐宝鸡热电厂, 陕西 宝鸡 721000

[摘要] 工业自动化水平不断提高, 低压变频器作为关键驱动设备在各类生产系统广泛应用, 由于工作环境复杂、负载波动频繁, 变频器运行时过载故障常见且影响大, 因此文中梳理低压变频器过载故障主要模式, 从故障成因、表现特征、演变过程构建故障识别方法体系, 依据不同工况实际案例提出快速响应的现场处理技术路线, 兼顾安全性、可操作性、恢复效率, 其研究结果给变频器现场运维提供理论支撑与实践指导, 有助于提升系统整体稳定性和设备运行寿命。

[关键词] 低压变频器; 过载故障; 故障模式识别; 现场处理; 故障诊断

DOI: 10.33142/hst.v8i6.16891

中图分类号: TN915

文献标识码: A

Research on Mode Recognition and On-site Handling Method of Overload Fault in Low Voltage Inverter

SUN Chao

Datang Baoji Thermal Power Plant, Baoji, Shaanxi, 721000, China

Abstract: With the continuous improvement of industrial automation level, low-voltage frequency converters are widely used as key driving equipment in various production systems. Due to the complex working environment and frequent load fluctuations, overload faults are common and have a significant impact during the operation of frequency converters. Therefore, this article summarizes the main modes of overload faults in low-voltage frequency converters, constructs a fault identification method system from the causes, performance characteristics, and evolution process of faults, and proposes a fast response on-site processing technology route based on actual cases of different working conditions, taking into account safety, operability, and recovery efficiency. The research results provide theoretical support and practical guidance for on-site operation and maintenance of frequency converters, which helps to improve the overall stability of the system and the service life of equipment.

Keywords: low voltage frequency converter; overload fault; fault pattern recognition; on-site handling; fault diagnosis

引言

低压变频器调速性能优异且节能效果显著, 成了现代工业电气控制系统的重要组成部分, 但长期运行时过载故障频发, 故障较轻会影响生产节奏, 严重时设备损坏, 更甚者会引发安全事故, 因此工程技术人员重点关注如何准确识别故障模式并采取有效的现场处理措施, 本文总结变频器过载故障类型后构建系统识别方法, 再结合实际操作提出现场处理策略以提升运维效率和系统稳定性。

1 低压变频器的结构与运行机制

1.1 控制原理与基本构成

低压变频器基本原理是怎样的? 它能精确控制电机转速和扭矩靠的是改变电动机输入电源的频率和电压, 其有整流单元、滤波单元、逆变单元、控制单元和人机界面这些核心构成部分, 交流电被整流单元变成直流电且电压波形经滤波单元变得平滑后逆变单元把直流电转成频率能调的交流电给电机用, 控制单元多由 DSP 或者微处理器组成且信号处理、运行策略设定、故障监控这些事归它管, 人机界面用来设置参数、监视运行情况、显示故障报警, 整个系统协同起来便得以实现电机的精确调速、节能控制、过载保护等功能。

1.2 功率模块与散热系统分析

变频器里功率模块是关键部件, 通常由 IGBT (绝缘栅双极晶体管) 或者 MOSFET 等功率电子器件组成, 变频器的输出能力和运行稳定性跟功率模块性能直接挂钩, 功率模块在高频通断工作时会产生大量热量, 若散热不及时且没效果器件就容易过热损坏, 变频器内部为保证功率模块工作可靠设计了强制风冷、自然风冷或者水冷系统, 铝制散热片、风扇装置和温度传感器等是常见的散热结构, 温控系统实时监测功率器件温度并将风扇启停和输出限制机制联动起来以使变频器在安全温度范围内运行, 若散热系统优秀则功率器件寿命能显著延长且因过热产生的故障率也会减少。

1.3 变频器在工业现场的典型应用

工业自动化领域广泛应用低压变频器, 在风机、水泵、压缩机、输送机、搅拌器等负载类型里其优势尤其显著, 在泵类系统中, 转速经变频器调节以控制水流量, 达成按需供水与节能控制, 并且输送带上变频器能让启动与停止变得平稳, 减少机械冲击提升生产效率, 在纺织、造纸、冶金等行业, 变频器还能让多台设备同步运行和实现张力控制, 满足连续、高精度生产需求, 而且控制面板或者远程 PLC 可供现场操作人员灵活设置变频器运行参数并监

控其状态,进一步提高系统自动化程度与响应效率,随着智能制造发展,低压变频器逐步朝网络化、智能化和高可靠性演进,成为现代工业控制系统不可或缺的部分。

2 过载故障的形成机理分析

2.1 电流过载的诱发因素

低压变频器运行过程中,电流过载是最为常见的故障类型之一,主要体现为输出电流超额定值持续一定时长后触发保护机制进而停机,其诱发因素不少,其一,负载侧需求超出设计能力,像电机超载、机械传动系统卡顿之类,这会使电流长期处于高水平,其二,变频器输出频率设置不合理,例如频率过低让电动机陷入低速高负载状况,电流就会急剧增加,并且供电电压波动或缺相也会影响整流和逆变效率,间接致使电流不稳定,还有,控制参数设置不对,像加减速时间过短,会使电机启动和制动时电流冲击太大,并且某些型号变频器要是滤波组件老化、电容衰减或者母线电压不正常,同样会引起过流故障。

2.2 负载不平衡与机械卡滞

变频器过载故障的另一个关键成因是负载不平衡与机械卡滞,三相电流或电压幅值偏差过大是三相不平衡的主要表现,常见于电机绕组老化、连接线接触不良或者外部负载分布不均等情况,电动机发热增多、运行效率降低,变频器输出电流跟着上升,这种不平衡状态持续下去,长时间运行后就会引发过载报警或者器件损坏,现场传动机构常出现机械卡滞,像轴承缺油、链条断裂、齿轮磨损或者有异物卡入等问题,这些都会使电机启动和运行时的机械阻力增大,变频器输出电流就迅速升高,有时候,机械系统卡滞虽然没有马上让设备停机,但是一直给功率模块施加压力,若不及时处理,变频器内部器件老化就会加快。

2.3 环境温升对过载的影响

变频器运行状态受工作环境温度影响显著,在高温、高湿或者通风不好的地方过载故障发生概率大幅上升,功率模块里器件的导通能力会因温度升高而降低、导通内阻增大、单位负载下所需电流变大从而更易触发过载保护,而且散热系统要是积尘了、散热风扇坏了或者通风口堵了热交换效率会被直接削弱、内部热量堆积形成“热交换”影响,控制系统在高温环境下也许会误动作如温度传感器漂移、保护点偏移进而故障判断的准确性就会受影响,极端情况下温升能让电容击穿、电路板翘曲甚至让控制单元死机,得科学评估变频器的安装环境,保证通风良好、没有强烈热源干扰,还要定期清理散热系统,最大程度减少环境温升对设备运行的负面影响,把过热引发过载故障的风险降下来。

3 过载故障模式识别技术

3.1 多参数采集与实时监测方法

要高效识别低压变频器过载故障,就得靠全面的参数采集和实时监测技术,现代变频器集多种传感器模块于一体,能实时得到输出电流、电压、频率、母线电压、温度、功率因数、运行时间等关键运行参数,数据采集模块和现

场总线(像 Modbus、Profibus、CANopen)一连接,变频器就能和上位机、PLC、DCS 等系统进行数据通信,从而在线监控运行状态,实时监测不但能追踪各类参数的波动趋势,而且在参数快到临界点前就能预警,降低突发故障的发生概率,在系统里设个报警限值,电流到 90%额定值就给个提示,这能给运维人员争取处理时间,有些高端变频器还有故障记录功能,能把历史数据和故障码保存下来,方便以后分析。

3.2 基于特征数据的判定逻辑

建立科学的判定逻辑是故障识别的关键,要通过对多组运行特征数据的分析判断是否过载及其原因,正常运行时各参数有规律且相互关联,电流、电压和负载成正比,温度上升速度与功率输出正相关,识别时设定各参数阈值范围和关联阈值就能判断数据是否偏离正常区间,电流上升输出频率稳定时可能负载突然增大,电流、电压都不稳定且温度突升可能是功率模块受损或者散热系统故障,而引入滑动平均、趋势判断、离散率分析等数学模型能让判定逻辑更稳健抗干扰,并且不同类型负载(恒转矩、变转矩等)得匹配不同数据权重策略才更有针对性识别效果。

3.3 智能算法在故障识别中的应用

工业故障诊断领域近年来逐步引入人工智能技术,故障识别的自动化与智能化水平因此得以提升,低压变频器过载识别常用智能算法有神经网络、支持向量机(SVM)、决策树、模糊逻辑算法和深度学习等,通过拿历史故障数据训练,算法就能自动提取特征模式并建立非线性映射模型,从而实现未知状态的预测和分类,就说 BP 神经网络构建的模型,输入电流、电压、温度等参数就能输出故障等级或者类型,而模糊逻辑算法适合处理不确定性强的现场环境,靠模糊规则来做容错判断,深度学习模型对大规模数据集更适用,能自动进行特征提取和学习优化,实际应用时,这些智能算法往往集成在运维平台或者边缘计算设备里,与变频器监测系统联动,达成在线判断、自动预警和智能决策。

4 现场过载故障快速处理方法

4.1 故障隔离与分段排查流程

变频器过载故障现场处理时,第一步要快速隔离故障并分段排查系统才能精准定位问题、高效处理,排查通常遵循“由外至内、由简到繁”原则,先切断电源确认系统安全,再查看外围负载设备有无电机卡滞、传动系统阻塞等明显异常情况,接着逐段检测电缆连接是否完好尤其是三相导线接头处有无松动、氧化或烧蚀,进一步判断变频器输出端电压与电流是否均衡以及内部过流通道有无异常,基于此用仪表监测控制端子信号输入状态排查控制误触发致使负载异常运行的可能,如果上面这些都没找到确切原因就可以进到变频器内部查看 IGBT 模块、整流桥、滤波电容等核心元器件有没有过热、烧毁或者虚焊的情况。

4.2 控制参数调整与限流策略

变频器控制参数设置不当常引发过载故障,现场处理的重要环节是合理调整运行参数,先查看当前加速时间、

减速时间以及限流参数,若设置太过激进则延长加减速时间以减缓电流突增的趋势,接着调整载波频率和V/F特性曲线,使电机在低速运行时有足够启动转矩且不过流,矢量控制模式的变频器重新进行电机参数自学习就能确保控制模型准确,功率裕度不足时启用“限流保护”功能,变频器在过流趋势下会自动降频运行从而避免过载停机,部分设备支持“自动复位”“多次重启”策略,非持续性过载时可减少人工干预,调参时要结合负载类型和运行工况,避免保守设置影响生产效率,做到故障防控和系统性能之间的平衡。

4.3 应急维修操作规范与安全控制

故障处理时人员和设备安全得放在首位,维修前必须执行断电、放电等标准化停机操作,严禁带电作业。操作人员要穿戴绝缘手套、防护眼镜、工作服等劳动防护用品且严格按照《电气安全作业规范》操作。拆卸变频器时要用防静电工具防止静电损坏内部元件,手别接触PCB板核心区域。更换功率模块、电解电容等器件后通电前一定要做绝缘检测与控制逻辑确认。设备重新运行前先空载试运转查看电流、电压、温度等参数是否正常,再逐步加载直至恢复正常运行负荷。处理记录得留在现场,故障现象、处理过程、更换的配件以及测试结果都得记录,这是后续技术归档和分析的依据,整个处理流程有安全控制能保障现场人员人身安全和设备持续稳定运行。

5 运行优化与故障预防措施

5.1 合理选型与参数配置优化

低压变频器运行初期,合理选型与参数配置对降低过载故障发生率很关键,选型得充分考虑负载特性、电机类型、使用环境和工艺要求,像搅拌机、压缩机这种恒转矩负载,要选过载能力强、散热性能好的变频器型号,风机水泵等变转矩负载,选轻载型变频器性价比高,额定电流选择时,留10%~20%裕度以应对瞬时负载波动,参数配置方面,依据设备启动特性合理设置加减速时间、V/F曲线、转矩提升值、频率上下限这些关键参数,启用过流保护、过载保护、过热保护、欠压停机等保护功能以保障运行安全,合理设置转矩控制模式和反馈方式(开环、闭环矢量)能显著提高运行稳定性,实践表明,前期科学配置不但能有效预防过载,还能提高系统整体效率和响应速度,减少后期维护成本。

5.2 温控系统的可靠性提升

变频器稳定运行靠温控系统保障,过载故障频率和设备寿命与温控系统可靠性直接相关,变频器运行时产生很多热量,高负荷、高频率输出或者在密闭空间工作时若散热不顺畅则很容易发生过载或者器件损毁情况,要优化散热结构和温控控制机制,先选择高效率、大面积的铝制散热片并根据热仿真设计优化气流路径,再配备品质可靠的轴流风扇或者智能变速风机依靠温度反馈实现动态调速降温,有

些高端变频器能配液冷模块从而满足重载场合的散热需求,温度传感器要放在功率模块、滤波电感、电容等发热多的区域才能监测得又准又及时,温控系统一旦检测到温度不正常就得马上启用降频保护、风扇强制启动或者故障停机机制以防止热累积损坏元件,定期清洁风道、防尘网并及时更换老化风机是保障温控系统可靠性的重要维护手段。

5.3 建立日常巡检与智能预警机制

在运行维护阶段,得建立完善的日常巡检制度和智能预警系统以早发现、早预防过载故障,日常巡检要覆盖电缆连接端、电机状态、负载运行平稳与否、控制参数有无异常漂移以及变频器面板报警信息等关键之处,巡检频率最好根据工作强度和环境条件来定,一般一周一次,重点设备可一天一查且要做好巡检记录并进行趋势对比分析,引入智能预警系统是提高运行管理效率的重要方式,变频器的各项运行参数通过接入物联网平台或者SCADA系统就能实时上传分析,再结合云端或者本地的AI算法模型进行趋势预测和异常识别,若发现参数波动有超阈值的趋势就自动给维护人员发报警信息,预警信息不光是故障预报,还包括运行效率降低、温升趋势不正常、电流畸变等状态提示,这使设备运维从“被动抢修”变成“主动干预”且系统安全性和设备可用率也大大提高了。

6 结语

在工业自动化系统里,关键的驱动和调速功能由低压变频器承担,它要是发生过载故障,不但会影响生产效率,还会牵连设备安全和使用寿命。本文系统地阐述了结构原理、故障成因、识别技术、现场处理以及运行优化等方面,并且给出了操作性强又实用的应对措施,加强设备选型、优化控制参数、完善温控系统和智能预警机制能明显降低过载故障发生率,提升系统运行稳定性和维护效率,该研究成果对现场管理和技术改进有积极的指导意义。

【参考文献】

- [1]赵聘.低压电气设备运行故障与维护研究[J].中国设备工程,2024,11(23):72-74.
- [2]丛丽丽,刘志党.论变频器在工业中应用与常见故障处理[J].电气开关,2022,60(6):122-124.
- [3]马桐桐.低压交流固态断路器保护技术研究[D].河北:河北工业大学,2022.
- [4]曲杰.低压控制回路跳跃分析及故障处理[J].电世界,2023,64(2):40-41.
- [5]谢炜,马小昕.从一起变频器故障谈低压电动机相关观念的厘清[J].电世界,2023,64(5):41-43.

作者简介:孙超(1988.12—),毕业院校:华北电力大学科技学院,所学专业:电气工程及其自动化,当前就职单位:大唐宝鸡热电厂,职务:维护部继电保护副班长,职称级别:工程师。