

汽轮机热控保护系统可靠性提升方法研究

王超

华电库车发电有限公司

DOI:10.32629/pe.v4i3.21075

[摘要] 随着我国能源结构的不断发展,火力发电在电力系统中的地位也由原来的主力电源向基础保障性电源转变。但是,在电网调峰、调频和应急供电等方面仍起着不可替代的作用,汽轮机是火力发电系统的主要动力设备,它的运行工况越来越复杂。热控保护系统是汽轮机的“安全中枢”,一般对设备运行参数进行监测,判断异常状态,并发出紧急停机信号。因此本文对汽轮机热控保护系统可靠性进行分析,从硬件、软件、环境等多个方面进行分析,以期给同类型的机组热控保护可靠性改造提供技术上的参考借鉴。

[关键词] 汽轮机; 热控保护; 可靠性提升

中图分类号: U664.113 **文献标识码:** A

Research on Reliability Improvement Methods for Steam Turbine Thermal Control Protection Systems

Chao Wang

Huadian Kuche Power Generation Co., Ltd.

[Abstract] With the continuous development of my country's energy structure, the role of thermal power generation in the power system has shifted from the main power source to a basic and guaranteed power source. However, it still plays an irreplaceable role in grid peak shaving, frequency regulation, and emergency power supply. Steam turbines are the main power equipment in thermal power generation systems, and their operating conditions are becoming increasingly complex. The thermal control and protection system is the "safety center" of the steam turbine, generally monitoring equipment operating parameters, judging abnormal states, and issuing emergency shutdown signals. Therefore, this paper analyzes the reliability of the steam turbine thermal control and protection system from multiple aspects, including hardware, software, and environment, aiming to provide technical reference for the reliability transformation of thermal control and protection systems in similar units.

[Key words] steam turbine; thermal control protection; reliability improvement

引言

热控保护系统的主要功能就是对汽轮机的转速、振动、轴向位移等运行参数进行实时监测,在实际运行中,汽轮机热控保护系统的可靠性仍然存在着各种各样的问题。伴随着计算机技术、控制理论不断发展,将人工智能、大数据、物联网技术应用到汽轮机热控保护中,构建出一套全面、系统、可操作的方法体系,可以为提高我国汽轮机热控保护系统整体水平提供技术上的支持。

1 汽轮机热控保护系统可靠性影响因素分析

1.1 硬件因素

汽轮机热控保护系统硬件层面的故障有热电偶、压力变送器测量装置在高温、振动、腐蚀性工况下容易出现零点漂移现象,造成测量数据失真,严重的会出现断线或者接触不良等情

况。单个测点出现异常情况会引发保护系统误动作,多个测点同时失效就会造成保护功能拒动,给系统安全运行带来严重危险^[1]。控制器及其配套模块的故障主要是由于中央处理单元运算能力下降、输入输出模块性能衰退、电源模块输出稳定性下降、通信模块数据传输可靠性下降等技术问题所引起的。该类故障会对保护逻辑的运算造成影响,引起信号采集过程出现中断现象,还会致使跳闸指令不能被正常下发出去,从而削弱整个系统的保护能力。

1.2 软件因素

汽轮机热控保护系统运行时,软件层面的故障具有很强的隐蔽性、突发性、诊断复杂性等特点。从故障机理上讲,逻辑设计层面的缺陷是软件问题的主要表现形式,它主要表现在保护动作阈值设置没有科学依据、逻辑门电路配置有误、重要信号

处理环节缺少必要的延时滤波和校验措施、异常工况下逻辑互锁关系考虑不周等技术问题上, 这些技术问题很容易造成单个信号扰动引起系统误动作, 在关键故障工况下还会使保护功能失效。程序代码层面的错误主要是由于嵌入式系统开发过程中技术规范执行不到位所造成的, 即变量命名和定义出现冲突、内存资源管理不当造成泄漏、边界条件处理逻辑不合理等编程问题。此类问题在系统长时间运行之后会慢慢积累起来, 最后造成程序出现运行异常, 控制器运算能力变差, 系统陷入死锁等严重情况, 对汽轮机的安全运行构成严重危险。

1.3 环境因素

电磁干扰属于电厂运行环境中的典型干扰源, 它产生的原因主要是高压开关操作过程中出现的暂态过程、变频调速装置产生的高频谐波、电焊作业时产生的强电磁场、雷电冲击等外部电磁事件。因此, 在汽轮机热控保护系统运行中, 由于环境因素的影响, 造成模拟量信号波形畸变、数字通信误码率上升, 严重的会造成控制器逻辑误判或者系统宕机, 对保护动作的准确性造成直接威胁。温度和湿度环境参数的偏离会对电子元器件的可靠性造成很大影响, 高温工况会使电解电容的介质老化加快, 漏电流增大, 容量下降, 半导体器件的载流子迁移率发生变化, 从而影响芯片的运算精度^[2]。低温环境下电阻、电容等无源元件的参数会漂移, 破坏电路原来的工况点, 高湿环境下会降低印刷电路板表面的绝缘电阻, 在温差的作用下产生凝露现象, 造成端子排接触电阻增大或者绝缘性能变差, 从而引起信号传输异常或者局部短路故障。

1.4 管理因素

汽轮机热控保护系统可靠性管理体系中, 管理层面的因素成为系统性能劣化深层次的原因, 大量的硬件故障、软件缺陷和人为失误都可以归因于管理机制的系统性缺失, 其影响范围涉及整个系统生命周期, 具备很强的全局性和持久性特点。由于缺少保护定值的标准化管理机制, 造成参数设置没有统一的技术依据, 定期试验和检修验收流程不规范造成质量控制存在盲区。组织架构里职责边界不清, 缺少监督考核体系的量化指标和闭环管理机制, 造成各项技术规程执行过程中出现偏差, 隐患排查治理工作不能形成有效的闭环, 系统性风险不断累积。其次, 目前的培训体系存在着理论教学同实践操作相脱离的情况, 对异常工况的应急处置能力培养缺乏, 实战化演练的次数和程度都不能满足技术的要求。新入职人员岗前培训缺少系统规划, 资深技术人员知识结构更新速度跟不上自动化控制技术迭代的速度, 造成运维团队整体技术水平存在非均衡分布的现象, 不能满足复杂故障快速诊断和处置的要求。因此会严重干扰到故障抢修的及时性和系统恢复之后的运行可靠性, 给机组的安全经济运行带来潜在的危险。

2 汽轮机热控保护系统可靠性提升方法

2.1 硬件可靠性提升

汽轮机热控保护系统硬件架构可靠性提升要形成以设备选型、冗余架构设计和安装工艺优化为内容的多层次技术体系。在

关键设备选型和质量控制方面要创建起以全生命周期成本为依据的综合评价体系, 不能只看价格而忽视了质量。优先选择同类工况下运行三年以上成熟的设备, 对温度、压力、振动等关键传感器及控制器的核心处理模块进行入厂全性能检测, 采用加速老化试验的方式, 重点检验其在高温、强振动、复杂电磁环境下的长期稳定性可靠性指标^[3]。对于超速保护、轴向位移保护等一级安全保护功能, 应该使用三取二表决逻辑结构, 保证单一通道故障不会影响到保护功能的正常工作, 对次要保护功能可以采用二取一逻辑结构来平衡可靠性与经济性。

冗余测点、I/O卡件和供电电源应具有物理空间隔离和电气隔离, 防止共模故障造成系统性失效。基于冗余测点的双重隔离要求, 在物理空间隔离层面, 同一保护功能的冗余测点必须实现安装位置与传输路径的完全分离。而在电气隔离层面, 每个冗余测点应配备独立的电源回路与信号隔离单元, 禁止共用接地端子、电源模块或信号调理电路。针对冗余I/O卡件的双重隔离要求中, 在物理空间隔离层面, 同一保护逻辑的冗余I/O卡件(包括模拟量输入、数字量输入、数字量输出卡件)必须安装在不同的物理位置。在电气隔离层面, 每个冗余I/O卡件应具备独立的背板总线与电源输入, 禁止共用同一背板或电源模块。卡件内部所有输入输出通道必须实现通道间隔离与通道对地隔离, 隔离电压不低于500VAC。数字量输出通道应采用光电隔离或继电器隔离, 模拟量输入通道应采用变压器隔离或电容隔离, 确保单个通道的短路、过压故障不会扩散至同一卡件的其他通道, 更不会传导至相邻的冗余卡件。关于冗余供电电源的双重隔离要求中, 物理空间隔离保护系统的冗余电源必须实现电源来源与设备部署的双重物理隔离。对应的电气隔离中, 两路冗余电源之间必须实现完全的电气隔离, 禁止有直接的电气连接。电源切换装置应采用基于固态继电器的无扰动切换技术, 切换时间小于5ms, 且具备足够的电气隔离强度(不低于2000VAC)。

而在接线工艺及端子可靠性的选择上, 应该使用镀金处理的高可靠性抗氧化端子, 并且用符合IEC标准的专用压接工具进行规范化的施工。端子排要依照信号种类、电压高低和功能属性来分区标示并实施物理隔离, 重要保护回路的接线端子要加装防松动垫片和锁紧装置。建立定期巡检维护制度, 使用力矩扳手对重要的接线端子进行紧固力矩检测和调整, 从工艺细节上消除接触电阻异常增大的隐患, 保证信号传输的完整性和可靠性。

2.2 软件可靠性提升

汽轮机热控保护系统软件架构可靠性提升要创建逻辑设计、容错机制和通信协议三者并重的技术保障体系。从保护逻辑的设计角度来说, 要冲破传统单一信号触发模式的束缚, 创建起诸多方面信号验证体系。采用时间延迟滤波法、信号变化率动态判定、多源信号交叉检验等方式, 大幅度提高保护判断准则的准确度、抗干扰能力。针对机组启动、停机、负荷突变等特殊运行工况要设计出专用的保护逻辑模块和互锁条件, 合理确定保护动作阈值和响应延时参数, 保证有效的防止误动的同时把拒动率控制在可以接受的范围内。

软件容错和自诊断功能要集成硬件看门狗定时器、内存数据奇偶校验、CPU运算状态实时监测等多种保护手段,可以对软件模块级故障进行自动检测和定位报警。对非关键功能模块局部故障可以采取分级降级运行的方式,保证核心保护功能一直可用,防止局部软件故障造成整个保护系统功能丧失。在数据通信可靠性保证上要创建双冗余网络通信体系,改善通信协议栈的数据传输优先级调度办法。用合理报文超时重传机制、链路心跳检测周期、数据完整性校验算法来提高通信链路的稳定性、实时性。还要加强紧急跳闸系统和分散控制系统、数字电压调节系统之间协议兼容性设计以及数据一致性校验,保证关键保护参数在传输过程中时效性、准确性,给保护系统可靠动作奠定坚实的硬件基础。

2.3 抗干扰能力提升

汽轮机热控保护系统电磁兼容性是保证信号传递正确,保护动作可靠的根基。电磁屏蔽设计时,控制柜体应使用厚度不小于1.5mm的镀锌钢板加工而成,对变频器、高压开关柜等强电磁干扰源要设置独立的金属屏蔽装置。模拟量信号传输电缆应采用铜编织网总屏蔽和铝箔分屏蔽相结合的复合屏蔽结构,电缆穿越屏蔽体的接口处应加装金属导管,保证屏蔽层的电气连续性,屏蔽层应在控制室端单点可靠接地。接地系统优化设计要严格区分保护接地、工作接地和屏蔽接地的功能,用星形单点接地拓扑结构来消除接地环路的形成条件^[4]。接地主干线应采用截面积不小于16mm²的铜质导体,系统接地电阻应不大于1Ω,各独立接地装置之间应有规定的安全距离,防止不同接地系统间电位差干扰。

模拟量输入通道应加装RC低通滤波电路或者有源滤波装置,以抑制高频噪声对测量信号的影响,数字量信号回路要用光电耦合器件来达到电气隔离的目的,切断地电位差造成的干扰通路。电源输入端要装设浪涌抑制装置和电磁干扰滤波器,关键测点要用隔离式信号变送器,依靠多种技术手段联合起来,大幅度加强系统对共模干扰和差模干扰的抑制效能,保证保护信号的完整性和可靠性。

2.4 全生命周期管理

汽轮机热控保护系统全生命周期可靠性管理,是保证系统本质安全、长期稳定运行的主要途径。

首先,在设计阶段就要创建起跨专业协同的可靠性评审机制,组建起包含热工控制、汽轮机、电气等各个领域的专家组成的评审小组,用故障模式和影响分析的方法对系统架构实施系

统的评价。重点审查的内容有冗余配置是否合理可靠、电磁兼容设计是否有效、保护逻辑在各种运行工况下是否完整有效,从设计源头找出并消除潜在的风险因素,保证系统结构有足够的裕度和容错能力。

其次,安装调试阶段要实行全过程质量控制,严格按设备入厂验收标准执行,对重要设备做性能复验和参数校核。规范电缆敷设、接线压接、接地施工工艺,保证工艺质量满足技术规范要求。对传感器的测量精度进行逐点校验,检验它的线性度、重复性和稳定性指标。保护逻辑功能验证要分层完成,先做静态模拟试验来检验逻辑是否正确,然后做动态传动试验来检测跳闸回路动作是否准确可靠,保证系统的功能符合设计要求。

最后,应该建立分级分类的巡检和试验制度,形成日常监控、定期检测、周期性试验相结合的运维方式。日常巡检主要对系统运行参数、报警信息、历史趋势进行检查,及时发现异常情况,月度检测要检查卡件的工作温度、电源电压等重要参数,季度工作要核对保护定值、参数。每年要进行全部跳闸回路传动试验,保证整个系统的功能。创建隐患识别、登记、整改、验证的闭环管理流程,保证问题能够得到及时有效的解决。

3 结语

本文通过梳理汽轮机热控保护系统组成结构和工作流程,明确各个部分的功能及相互关系,从而达到提高汽轮机热控保护系统可靠性的目的。相比于传统的手段,可靠性提高的方法具有很强的系统性以及可操作性,可以适应各种容量、各种类型的汽轮机热控保护系统,并且随着相关技术的发展完善,汽轮机热控系统可靠性会得到进一步的提高,为我国能源电力行业高质量发展提供更加坚实的保障。

[参考文献]

- [1] 阙俊超.火电机组热控电源故障案例分析[J].东北电力技术,2025,46(3):13-16.
- [2] 高殿阳.汽轮机轴振、给水泵汽轮机轴位移、轴振技术改进及应用[J].企业管理,2024,(S2):248-249.
- [3] 李康康,段小文,陈笔.燃气机组基建过程中的热工控制系统优化[J].中国新通信,2020,22(24):129-130.
- [4] 马新立.试论冗余改造技术在汽轮机热工保护中的运用[J].中国金属通报,2020,(8):223-224.

作者简介:

王超(1987—),男,汉族,四川人,大学本科,工程师,研究方向:电力热控。