

火电机组SIS系统误动原因及改进措施

贺卓超 郭丰楷

黄陵矿业沮源发电有限公司 陕西 延安 727307

摘要：火电机组安全仪表系统（SIS）是保障机组安全运行的最后一道防线，但SIS误动导致的非计划停运严重影响机组可靠性和经济效益。本文系统分析了SIS系统的架构特点与保护回路，从传感器、逻辑控制器、执行元件、人为因素、环境与管理六个维度深入剖析了误动根本原因，并针对各环节提出了传感器选型优化、逻辑定值整定、执行机构定期测试、人员培训等改进措施。本文可为SIS系统误动治理提供系统化解决方案。

关键词：火电机组；SIS系统；误动原因；改进措施

引言：安全仪表系统（SIS）是火电机组独立于集散控制系统的专用保护系统，当运行参数超出安全限值时自动触发保护动作。近年来SIS误动问题日益突出，非真实危险工况下的保护动作导致机组非计划停运频发，每次误动造成巨大经济损失并加剧电网波动风险。SIS误动原因涉及设备老化、环境干扰、逻辑缺陷、人为失误等多方面。开展误动机理与改进措施研究，对降低非计划停运率、提升机组运行经济性具有重要意义。

1 火电机组 SIS 系统概述

1.1 SIS系统的基本概念

安全仪表系统（SIS）是指用于实现一个或多个安全仪表功能的控制系统，独立于常规生产过程控制系统，当生产过程出现危险状况时自动采取措施使过程回到安全状态。SIS由传感器、逻辑控制器和最终执行元件三大部分组成，遵循“故障安全”设计原则。与集散控制系统（DCS）不同，DCS负责正常生产过程控制，追求可用性和调节品质；而SIS负责危险工况下的安全保护，追求可靠性和确定性。SIS的设计、选型、安装、维护需严格遵循IEC 61508和IEC 61511功能安全标准，安全完整性等级（SIL）是衡量SIS性能的核心指标。火电机组SIS系统主要包括锅炉炉膛安全监控系统（FSSS）和汽轮机紧急跳闸系统（ETS），是保障机组安全运行的最后一道防线。

1.2 火电机组SIS系统架构

火电机组SIS系统采用冗余、独立、模块化架构设计。传感器层采用三重冗余（TMR）或双重冗余配置，关键参数如炉膛压力、汽轮机转速、轴承温度等均设置多个独立测量元件，通过“三取二”或“二取二”逻辑判断，有效避免单点故障导致的误动或拒动。逻辑控制器层采用专用安全型可编程控制器（安全PLC），具备自诊断功能，与DCS完全独立，采用硬接线或专用通信协

议连接。最终执行元件层包括电磁阀、跳闸机构、油泵停运继电器等，同样采用冗余配置。人机界面通过工程师站进行逻辑组态、在线监视和事件记录，事件顺序记录（SOE）分辨率要求达到1ms级。此外，SIS系统配备独立电源和接地系统，防止因电源波动或干扰导致误动^[1]。

1.3 火电机组主要SIS保护回路

火电机组SIS系统涵盖锅炉和汽轮机两大主机的核心保护回路。锅炉侧，炉膛安全监控系统（FSSS）负责炉膛压力保护、火焰检测保护、燃料跳闸保护等。当炉膛压力过高或过低、全部火焰丧失、送风机或引风机跳闸时，触发主燃料跳闸（MFT），切断所有燃料输入。汽轮机侧，紧急跳闸系统（ETS）负责超速保护、轴振保护、轴承温度保护、润滑油压低保护、真空低保护等。当任一保护条件满足时，ETS触发汽轮机跳闸，关闭主汽门和调节汽门。此外，重要辅机如给水泵、送风机、引风机、磨煤机等也配置独立保护回路，当运行参数异常时连锁跳闸，防止辅机损坏波及主机。

1.4 SIS系统的安全性与可用性

SIS系统设计需要平衡安全性与可用性两个相互制约的指标。安全性是指SIS在危险工况下可靠动作的能力，即避免拒动；可用性是指SIS在非危险工况下保持正常状态的能力，即避免误动。两者不可兼得：过度追求安全性会增加误动风险，过度追求可用性会增加拒动风险。火电机组SIS系统设计通常优先保障安全性，因为拒动可能导致设备损坏甚至人员伤亡事故。然而，随着电网对机组可靠性要求提高，减少误动同样受到重视。通过合理配置传感器冗余逻辑（如“三取二”优于“二取一”）、优化保护定值、增加延时确认、采用故障安全型执行机构等措施，可在保证安全性的前提下最大限度降低误动概率。

2 SIS 系统误动机理与原因分析

2.1 SIS误动的定义与分类

SIS误动是指在无真实危险工况的情况下，SIS系统错误触发保护动作，导致机组非计划停运或设备跳闸。根据误动发生的环节，可分为传感器误动、逻辑控制器误动、执行元件误动、人为因素误动四大类。传感器误动是最常见的类型，表现为测量值突变、信号丢失、超出量程等。逻辑控制器误动表现为逻辑判断错误、定值漂移、卡件故障等。执行元件误动表现为电磁阀误动作、继电器误吸合等。人为因素误动表现为检修误碰、定值修改错误、隔离措施不当等。各类误动发生的频率和危害程度不同，需要针对性地分析原因并制定改进措施^[2]。

2.2 传感器环节误动原因

传感器是SIS系统的“眼睛”，其可靠性直接影响整个保护系统的性能。传感器环节误动的主要原因包括：一是传感器本身故障，如压力变送器零点漂移、热电偶断丝、转速探头灵敏度下降等。二是信号传输干扰，在强电磁环境下屏蔽接地不良导致感应电压叠加，造成测量值突变。三是取压/取温管路问题，取压管堵塞、泄漏或冬季冻堵导致压力信号失真。四是传感器选型不当，量程选择过窄、防护等级不足、精度不够。五是安装位置不当，安装在振动剧烈或温度过高的区域，加速传感器老化。

2.3 逻辑控制器环节误动原因

逻辑控制器是SIS系统的“大脑”，其运算正确性直接决定保护逻辑的可靠性。逻辑控制器环节误动的主要原因包括：一是逻辑组态错误，如保护条件组合不当、定值设置过于接近正常运行范围、延时设置过短不能躲过参数正常波动。二是卡件故障，如电源模块老化、输入通道损坏、通信模块故障。三是软件缺陷，包括程序Bug、计时器溢出、扫描周期与事件发生时序不匹配。四是时钟同步问题，不同控制器时钟偏差导致事件顺序记录混乱。五是接地与电源问题，接地电阻过大、电源纹波超标导致控制器工作异常。逻辑控制器环节误动相对少见但后果严重，故障排查难度大，需要重点关注。

2.4 执行元件环节误动原因

执行元件是SIS系统的“手脚”，其动作可靠性决定保护指令能否正确执行。执行元件环节误动的主要原因包括：一是电磁阀故障，线圈老化导致吸力不足或误吸合，阀芯卡涩导致动作不到位。二是继电器问题，触点粘连导致跳闸后无法复位，线圈老化导致吸合电压异常。三是气动/液压元件问题，气源含水含油导致阀芯锈蚀，气源压力波动导致执行机构误动作。四是电动执行机构问题，电机电容老化、限位开关失灵、控制板损

坏。五是接线问题，端子松动、线芯氧化、绝缘破损导致信号误传^[3]。

2.5 人为因素导致的误动

人为因素导致的SIS误动在所有误动原因中占有相当比例，且具有突发性和不可预见性。一是检修作业中的误碰，人员无意中触碰传感器、行程开关或跳闸回路。二是定值修改错误，输入错误数值或选错定值组别。三是隔离措施不当，检修前未按规定隔离相关保护回路。四是操作顺序错误，启停机过程中未按操作票执行。五是人员技能不足，对新设备、新逻辑不熟悉，错误复位导致重复跳闸。

2.6 环境与管理因素

环境与管理因素是SIS误动的深层原因，通过影响设备性能和人员行为间接引发问题。环境因素方面，高温加速电子元器件老化，潮湿导致端子氧化绝缘下降，振动导致接线松动，粉尘导致散热不良和触点污染。管理因素方面，预防性维护计划不合理，未能及时更换老化设备；备品备件质量管理松懈；检修记录不完整，故障分析流于形式；技术监督缺失，未能及时发现系统性隐患；培训机制不健全，人员技能参差不齐。环境与管理因素属于系统性问题，需要从制度建设、技术监督、人员培训等多方面综合施策。

3 SIS系统误动改进措施

3.1 传感器环节改进措施

传感器作为SIS系统的感知前端，其可靠性直接决定保护动作的准确性。选型阶段应优先采用高可靠性智能变送器，量程按实际工况1.5-2倍选取，防护等级不低于IP65。信号传输环节，模拟量信号须配备屏蔽电缆并单端接地，开关量信号加装中间继电器实现电气隔离。取压取温管路需配置排污阀并建立定期排污制度，北方电厂冬季应投入伴热带防止冻堵。关键保护参数采用“三取二”冗余测量配置，单点测量保护增加1-3秒延时确认。建立传感器定期校验制度，每半年至一年全面校验一次。有条件时可引入智能变送器在线诊断功能，实时监测膜盒状态，提前预警潜在故障。

3.2 逻辑控制器环节改进措施

逻辑控制器是SIS系统的决策核心。优化逻辑设计应作为首要任务，去除非必要跳闸条件，对易波动参数增加1-3秒延时确认，关键保护采用“三取二”冗余判断。保护定值需兼顾安全与经济性，避免过于接近正常运行参数边界。逻辑修改必须履行审批、离线测试、备份程序，严禁在线直接修改。安全PLC应配置电源、通信、I/O通道自诊断功能，异常时自动报警。SIS系统与DCS采

用统一时钟源,确保SOE事件记录准确。每年组织专业人员对保护逻辑进行全面审查,电解电容类卡件运行8-10年后主动更换。

3.3 执行元件环节改进措施

执行元件是保护指令的最终执行者。电磁阀优先选用高品质直动式产品,线圈低功耗设计,防护等级不低于IP65。建立定期测试制度,电磁阀和气动执行机构每半年执行一次部分行程测试,验证动作时间与回讯状态。气源系统须配备高效干燥器和精密过滤器,确保露点达到-20℃以下。继电器选用带强制导向触点的安全继电器,定期检查触点状态。关键跳闸回路采用双电磁阀冗余配置。端子箱做好密封防潮,定期紧固接线端子。电磁阀线圈运行5-7年、继电器运行8-10年后列入更换计划。

3.4 人为因素改进措施

人为因素是SIS误动中较难控制但可通过管理有效降低的环节。严格执行操作票和工作票制度,检修作业前必须进行安全交底。重要保护回路加装透明防护罩或钥匙联锁,定值修改设置密码权限并经双人确认。定期组织SIS系统原理、逻辑解读、操作规程等专项培训,考核合格方可上岗。每次误动后组织联合分析,查明根本原因并形成案例库。检修隔离采用“硬隔离+软隔离”双重保护模式。在传感器、接线盒、继电器柜等关键位置张贴清晰可视化标识。

3.5 维护管理改进措施

维护管理体系的健全程度直接影响SIS系统的长期可靠性。建立全生命周期管理体系,将设计、选型、安装、调试、运行、检修各阶段纳入统一管理,制定各阶段的技术标准和管理规范。预防性维护计划应根据设备运行时间和故障统计数据进行了差异化编制,关键设备缩短维护周期,普通设备按标准周期执行。备品备件管理须严格把关,优先选用原厂配件或经权威认证的替代品,建立入库检验制度,备件存放环境应符合温度、湿度要求。推行状态检修模式,利用智能仪表在线诊断技术评估设备健康状态,根据评估结果安排检修,避免过度检修或检修不足^[4]。建立技术监督机制,定期开展SIS系统专项技术监督,检查设备状态、逻辑正确性、定值

合规性。完善检修记录与档案管理,详细记录每次检修的内容、更换元件清单、测试数据,为故障分析和寿命预测提供依据。定期邀请第三方机构开展SIS系统安全评估和功能安全审计,识别系统性隐患。

3.6 技术升级建议

对于服役年限较长、误动频发的SIS系统,技术升级是根本性解决方案。老旧控制器可升级为冗余处理器架构,非安全型PLC更换为安全型PLC。引入智能仪表并开通HART通信功能,实现在线状态监测。建设SIS在线诊断平台,集中采集设备自诊断信息,实现健康状态可视化。数字孪生技术可建立虚拟模型,支持在线仿真和故障模拟。将SIS通信网络从共享网络中独立出来,提高通信可靠性。配置便携式多功能校验设备,提高检修效率。技术升级需结合机组实际和投资效益综合评估,分步实施。

结束语

本文系统分析了火电机组SIS系统误动原因,从传感器、逻辑控制器、执行元件、人为因素、环境与管理六个维度剖析了误动机理。在此基础上提出了针对性改进措施:传感器环节重选型优化与信号隔离,逻辑控制器环节重逻辑优化与定值整定,执行元件环节重定期测试与寿命管理,同时加强人员培训、完善维护管理体系、推进技术升级。综合实施上述措施可显著降低SIS误动概率,提升机组可靠性。误动治理需技术、管理、人员多管齐下,形成长效机制。

参考文献

- [1]孙燕平,常永亮,李振林.基于SIS的火电机组热工对象数学模型辨识[J].仪器仪表用户,2022,29(1):97-99,35.
- [2]陈程.火电机组热控系统自动化控制优化研究[J].自动化博览,2025,42(9):102-105.
- [3]马驰.火电机组热控现场故障自动检测系统的设计[J].自动化应用,2024,65(19):119-122.
- [4]文立斌,赵洁,奚锦基.适应深度调峰的供热火电机组功率调节系统动态仿真模型[J].广西电力,2025,48(6):16-27.