

# 火电机组热工保护联锁逻辑优化及实践探讨

李栋

福建华电可门发电有限公司，福建省福州市，350512；

**摘要：**热工保护联锁系统是火电机组安全稳定运行的关键防线，它对逻辑的设计是否科学可靠直接影响机组运行效率、设备寿命和作业安全。目前的火电机组向高参数、大容量的方向发展，传统的热工保护联锁逻辑已经暴露出了适配性不够、运行安全隐患比较突出等弊端，大大影响了机组的安全经济运行。本文从火电机组运行的实际出发，分析热工保护联锁逻辑对于系统安全所起的作用，找出目前存在复杂的逻辑、容易出现误报和漏报等问题，在此基础上给出优化方案，包括简化逻辑结构、提高可靠性等内容，并以具体的案例和流程来加以实践探究，给火电机组热工保护联锁系统的改进升级赋予操作依据，辅助机组达到安全、高效、稳定运行的目的。

**关键词：**火电机组热工；保护联锁逻辑；实践

**DOI：**10.64216/3104-9672.25.03.048

## 引言

火电机组属于电力系统的主要电源，它的运行状况会影响到电网的供电和能源供应的安全。热工保护联锁系统是机组的神经中枢，在锅炉、汽轮机、发电机等设备运转的全过程中对温度、压力、流量等参数进行实时检测来触发联锁保护，防止设备超温、超压、断水等情况发生，防止事故扩大。随着电力行业节能减排要求的提高以及机组自控水平的提高，传统的热工保护联锁逻辑不能满足复杂的运行条件下的发电机控制需求，出现逻辑设计复杂、触发条件不符合实际情况等问题，造成发电或者非计划停机。所以要改善热工保护联锁逻辑、开展实践研究、解决存在的问题，创建出适合高参数机组的保护逻辑体系，成为火电机组运维升级的重要课题，对提升电力生产的安全性及经济性有着重要的现实意义。

## 1 热工保护联锁逻辑在系统安全中起着核心的作用

热工保护联锁逻辑是火电机组安全防护体系的重要组成，依靠参数检测、逻辑判断和动作触发来为机组运行筑起一道安全防线，在设备防护、工况调控以及风险控制等方面起着重要的作用。设备防护方面，火电机组核心设备锅炉、汽轮机工况恶劣，参数超出正常范围就会造成设备损坏，热工保护联锁逻辑可以及时发现异常参数，并发出保护信号，比如锅炉水位低时启动给水联锁、汽轮机超速时执行紧急跳闸程序，防止设备受损。工况调控方面，热工保护联锁逻辑同机组自动化控制系统结合，在参数发生变化的时候自动调整设备的运行状

态，使机组处于最佳的工作状况下，保证参数稳定在合格范围之内，控制引送风机的转速，改善炉膛负压和燃烧效果，均衡出力与能耗。在风险控制方面，火电机组故障具有传导性、突发性的特点，一个单独的故障不会立即造成连锁反应，但是多个设备同时发生故障的时候就会产生连锁反应，热工保护联锁逻辑可以按照级别的不同来触发保护动作，对故障进行隔离并迅速处置，防止非计划停机导致系统性事故的发生，保证电网供电及人员安全。另外它的可靠性会影响到机组的安全冗余程度，合理的设置、稳定的运行可以使得火电机组达到安全规范，长期稳定发电力。

## 2 现有的热工保护联锁逻辑存在哪些问题

### 2.1 逻辑复杂度高

目前火电机组热工保护联锁逻辑普遍存在复杂度较高的问题，其原因在于机组在迭代升级的过程中逻辑是叠加式的，并且缺少系统的整理工作。早期低参数机组保护逻辑比较简略，随着机组容量增大以及功能增加，新设的保护回路和联锁条件不断地被添加上去，并且很少去对整个逻辑结构进行整合优化，在原有基础上只是增加了新的功能，并没有对整个逻辑回路做合并重组的工作，从而造成多个回路之间互相交叉、触发条件重复的现象。一部分联锁逻辑是为了保证“全方位防护”，设过于繁杂的冗余判断条件，如锅炉燃烧保护逻辑中叠加很多个冗余监测点，在一些监测信号的功能上重复使用，造成逻辑判断时间增长，并有可能由于信号冲突而导致保护动作滞后。另外不同的生产厂家、不同时期保护的逻辑设计标准不一样，机组改造时各系统之间逻辑

融合不好造成“碎片化”的逻辑结构，增加逻辑调试和运维难度。逻辑复杂度偏高不但会降低系统响应速度，而且会使故障排查变得异常困难，使运维人员很难找到逻辑漏洞，从而延长故障处理的时间，增加非计划停机的风险，影响机组的稳定运行。

## 2.2 逻辑错误频发

逻辑错误频发是影响热工保护联锁系统可靠运行的主要痛点，主要是逻辑设计缺陷、信号异常干扰和工况适配不足这三种情况造成的保护系统误动、拒动的现象。逻辑设计缺陷大多来自于设计阶段对机组复杂工况的考虑不够周全，有些联锁逻辑没有考虑到参数变化的滞后性，在单个瞬时信号的基础上就进行保护的动作判断，很容易由于参数瞬间波动而造成误动；部分逻辑存在着因果关系的颠倒，触发条件和保护动作不对应，例如引风机跳闸之后不能及时联动调节送风机转速，使炉膛燃烧失衡。信号异常干扰引起的是逻辑误差，热工保护的逻辑依靠各种传感器信号的传输而工作，在现有的系统里，一部分信号回路对干扰的抵抗能力较弱，容易受到电磁干扰、线路老化等因素的影响而导致信号漂移、误传，使逻辑判断失真，如温度传感器信号被干扰后出现虚假超温的情况，从而触发不必要的停机保护。工况适配不充分也会造成逻辑错误，随着机组运行年数增加，设备性能下降、工况发生变化，原来的保护逻辑参数阈值和触发条件没有及时的修改，与实际情况相脱离，汽轮机老化之后临界转速会发生偏离，原先的超速保护逻辑阈值不能很好地适应这样的变化，会造成超速拒动或者误动的情况。此外，逻辑调试不够也是造成频繁出现此类事故的主要原因之一，在电厂缩短停机时间、加快设备更新的速度之后，虽然对新的设备进行了比较简单的静态调试，但是在复杂的工况下对可能存在的逻辑问题进行仿真测试的时候，并没有注意到潜在的缺陷。在正式投入运行之后就出现了故障。

## 3 热工保护联锁逻辑优化策略

### 3.1 简化逻辑结构

简化逻辑结构是热工保护联锁逻辑优化的主要方向，主要思想就是去掉冗余的回路、整理出正确的逻辑关系、建立起模块化的结构，在保证保护功能不受影响的基础上，提高逻辑的简明性和易维护性。首先就是对所有的逻辑回路进行系统整理，删除或者压缩多余的回路，并且剔除掉不必要的监视报警点。按照机组运行情况以及安全需要逐一对照原有逻辑回路、触发信号是否齐全、准确，去掉功能相同或作用较弱的回路，合并类

似监视、控制判断模块（如锅炉燃烧保护中集成很多冗余的监测节点之后只剩下关键的监控信号），简化判断流程。按照交叉缠绕的逻辑关系来重新整理和构建起来，对整体逻辑进行分解，把整个系统分为锅炉、汽轮机、发电机等几个模块，各个模块内部规定好其本身的逻辑结构以及触发方式，并消除跨模块逻辑干扰，从而提高逻辑清晰度。另外就是改善逻辑触发条件的设定方式，剔除掉多条件叠加的保守做法，依据机组工况特征和设备参数阈值来确定核心触发条件，加入参数趋势判别方法，在保证动作可靠性的情况下，减少由于瞬时波动造成的误动几率，把单纯的单一瞬时超温信号转化为“超温持续一段时间并有趋势恶化的双重判断”，提高逻辑触发准确率。另外创建标准化逻辑模块，根据常见的保护功能设计通用的逻辑模板，达到逻辑设计规范化、标准化的目的，既能减小新建逻辑的设计难度，又能方便运维人员调测和故障排查，提高整个系统的运维效率。

### 3.2 提高逻辑可靠性

加强逻辑可靠性的途径有三种，一是设计优化，二是信号防护，三是适应工况（环境）。从全过程、多层次出发来创建可靠性保证系统，防止出现逻辑错误和异常触发等问题。在设计优化方面，加强逻辑设计的工况覆盖范围，充分考虑到机组启停、负荷变化、设备故障等各种可能的情况，展开逻辑仿真试验，仿真实际工况下逻辑的动作效果，查找设计中的缺陷，在低负荷稳燃工况下对触发条件和动作时机进行优化。对于信号干扰问题，增强信号回路防护设计，使用抗干扰性能好的传输线路和传感器，增加信号滤波、校验模块，给重要的信号配备双重冗余配置，防止单个信号故障造成逻辑误判，改善信号采集的时序，减小信号延迟对逻辑判断的影响。在工况适应性方面，设立逻辑参数动态调节机制，在机组运行年限、设备性能衰减和工况变化的时候，定时重新校核逻辑参数阈值，依照汽轮机性能测验结论来变动超速保安全逻辑里的临界转速限定，保证逻辑和现实工况相符。另外就是对原有的逻辑做调整和改善，并且增加或者修改完好的逻辑要进行静态调试、动态仿真、现场试运三个步骤的试验来检验它是否可行，把所有的潜在的问题都找出来，在这里还要建立起一个逻辑变更追忆制度来记载一下逻辑改动的原因和测试的结果给后面运行与再优化供给依据，从各个方面加强逻辑运行的可靠性。

### 4 优化逻辑的实践应用

#### 4.1 优化逻辑的案例分析

以某台 300MW 火电机组锅炉燃烧保护联锁逻辑优化为例加以介绍,说明优化策略实施之后取得的效果。原有的机组锅炉的燃烧保护逻辑具有复杂的特性,容易产生误动作,主要表现在炉膛压力波动时就会引发引送风机联锁跳闸,造成非计划停机,每年非计划停机次数平均为 3~4 次,影响了机组发电率。优化前排查出的两个问题如下,第一问题是炉膛压力监测信号过量,有 6 路监测信号同时被用来做判断,容易因为信号之间产生冲突而造成误判,第二是触发条件单一,只根据炉膛压力瞬时超标来启动保护,没有考虑到压力变化趋势和燃烧工况的相关性。针对以上问题,采取“简化结构加提高可靠性的”改造办法:去掉原有的 2 路冗余监测信号,只保留 4 路核心信号,并用“三取二”的逻辑来判别信号,减小信号冲突的影响;改变触发方式,设置压力变化速率参数,在满足压力超标和速率异常的情况下触发系统报警,在给粉机运转的状态下也参与进来,防止单个参数出现异变的时候就造成误动作的发生;重组逻辑模块,把燃烧保护的逻辑分成了压力保护、灭火保护、送风保护三个分开的小模块,清楚各模块之间的联系,使逻辑更加地明晰。经过三个月的现场运行,锅炉燃烧保护逻辑误动次数降到 0,机组非计划停机时间减少 80%,炉膛燃烧稳定性得到明显提高,而且逻辑调试、故障排查的时间缩短了 50%以上,使运维效率大大提高。案例说明经过对逻辑结构和触发条件的针对性优化之后,可以很大程度上解决问题,提高保护系统的可靠性及机组运行稳定性。

#### 4.2 优化逻辑的实施步骤

热工保护联锁逻辑优化要按照科学规范的实施过程,兼顾安全性和可行性及实效性,总体分前期准备、方案设计、调试验证、投运复盘这四步。前期准备工作重点是对现状进行摸底、对需求进行明确,首先对现有的逻辑进行全面的核对,弄清楚逻辑回路、触发条件、信号来源等重要信息,并将机组的运维记录和设备参数、运行工况、安全规范等相关资料结合起来,确定出优化的目标以及约束条件,如设逻辑响应时间、误动率等量化指标。方案设计时按照问题分析结果及改善措施确定具体的优化方案,并给出具体的内容,即逻辑结构重组、

参数改动、模块划分等具体内容,在绘制完优化后的逻辑框图之后,还要对该优化方案的技术可行性以及存在的风险做出评价,预测并对可能出现的问题提出相应的预防措施。调试验证阶段为保证优化效果而设置的环节,首先对静态调试进行检验,经过模拟信号检测改进之后逻辑判断准确度及动作可靠性的确认工作,逐一对逻辑漏洞展开排查;接着做动态仿真实验,将机组启停、负荷改变、故障等情况加入进来来检测优化后的逻辑对于各种情况反应是否恰当;最后再投入运用到实际当中去,在机组处于低负荷的情况下运行经过优化过的逻辑,并且实时地监控机器的工作状况,记载下在不同工作状态下逻辑所作出的操作以及有关的机件运作数据,然后依照这些资料对优化结果做微调和改良。投运复盘阶段需要对优化的效果进行全面的评价,将优化前后的逻辑运行指标、机组非计划停机次数、运维效率等数据加以比较来总结出改善的经验和短处;创建起一个逻辑长效的运维体系,在一定的周期内完成一次逻辑巡视工作、对有关参数重新测定一遍以及检验系统的功能几次的任务,并且结合机组的实际情况不断地修正和完善逻辑。

#### 5 结语

总之,热工保护联锁逻辑优化对火电机组的安全稳定运行有着十分重要的意义,具有很强的现实意义和长远价值。经过对目前所存在的逻辑复杂度大、错误率高的问题进行详细的分析,从简化逻辑结构和提高逻辑可靠性的两个方面提出优化方案,并且通过具体的实例来展示出优化的效果以及明确地给出了科学规范的实施方法,可以看出这一系列的工作对于提高火电机组安全性、稳定性及经济性起到了十分关键的作用。

#### 参考文献

- [1] 古栖铭.火电机组热工保护可靠性研究[J].自动化应用,2023,64(18):101-102.
- [2] 郑磊.火电厂热工保护误动及拒动解决措施与案例分析[J].现代工业经济和信息化,2022,12(02):250-252.
- [3] 张仲琪.火电机组电气和热工保护不正常动作隐患排查及治理措施[J].通信电源技术,2018,35(04):251-253+256.