

# 热电厂热控保护系统的设计与可靠性分析

曹永景

大唐鲁北发电有限责任公司，山东滨州，251900；

**摘要：**热电厂的热控保护系统对于保证机组的安全、稳定运行起着非常重要的作用，热控保护系统的设计是否合理、运行是否可靠直接影响着电厂的生产效率以及安全防线。本文主要研究热电厂热控保护系统的设计及可靠性，确定系统设计的基本原则和目标，建立包含信号采集、逻辑控制、执行输出等模块的设计框架，研究基于故障预防和容错设计的可靠性提高途径，提出静态测试和动态仿真的可靠性验证方法。经过对设计环节同可靠性保障的内在联系展开梳理，塑造起一套兼顾设计科学性与运行稳定性的技术体系，给热电厂热控保护系统改善赋予理论参照和技术支撑。

**关键词：**热电厂；热控保护；设计；可靠性

**DOI：**10.69979/3060-8767.26.03.003

## 引言

热电厂生产运行时，热控保护系统起着参数监测、异常报警、故障处理的作用，是防止设备损坏、杜绝安全事故的防线。随着热电厂机组向高参数、大容量方向发展，热控保护系统响应速度、控制精度、运行稳定性要求越来越高。因此深入研究热控保护系统的设计及可靠性分析，改进系统结构设计，提高可靠性保障能力，就成为提高热电厂整体运行水平的重要课题。本文从热控保护系统的核心功能出发，从设计框架的建立、关键技术的应用、可靠性验证等几个方面进行系统的论述，为实现系统安全高效运行提供技术上的支持。

## 1 热电厂热控保护系统的设计基础与核心原则

### 1.1 设计基础要素梳理

热电厂热控保护系统设计要以机组运行特性、热力循环规律和安全运行规范为基础，充分衔接锅炉、汽轮机、发电机等核心设备的运行参数和控制需求，保证设计方案与电厂生产实际高度匹配。其中机组运行特性要重点考虑不同负荷工况下参数波动的规律，循环流化床锅炉的床温调节特性、汽轮机的转速响应特性等，为保护逻辑差异化设计提供依据；热力循环规律要贯穿锅炉燃烧、蒸汽换热到发电输出的全过程，保证各个环节保护参数的关联性和协同性。在设计时需对系统环境适应性进行全方位的考虑，考虑高温、高湿、强电磁干扰等复杂工况对系统各部分的影响，对电磁干扰需要重点防控高压电机、变频器等设备产生的电磁辐射，在设计之初就规划出屏蔽布线和接地方案；同时还要考虑系统的

可扩展性以及兼容性，根据智慧电厂的发展趋势，预留与数字化监测平台、AI诊断模块的数据接口，为以后技术升级、功能拓展留出空间<sup>[1]</sup>。

### 1.2 核心设计原则确立

热电厂热控保护系统设计要以安全为第一原则，把故障预防和风险控制贯穿于设计全过程，采用多重冗余设计降低单点故障对系统造成的影响，对锅炉爆管、汽轮机超速等致命性故障要建立多级防护逻辑，保证故障发生时能迅速切断危险源。在保证系统运行稳定性的同时，对各个组件的选择、结构的设计进行优化，比如核心控制部分用高可靠性的工业级产品，非关键监测点使用性价比高的通用型产品，使设计成本和运行效益达到合理匹配，避免过度设计造成的资源浪费。另外还要遵循实时性、精准性原则，采用优化信号传输链路、使用高速运算芯片等方法，保证系统对各种运行参数的监测响应迅速，控制指令执行准确，减少参数滞后对保护效果的影响；遵循标准化、规范化原则，严格按照GB/T17626系列电磁兼容性标准、DL/T5437热工自动化系统检修运行规程等行业技术规范来保证系统的通用性、可维护性，降低后期运维成本和技术门槛。

## 2 热电厂热控保护系统的核心模块设计

### 2.1 信号采集与预处理模块设计

信号采集与预处理模块属于热控保护系统的信息输入端，该模块的设计好坏直接影响到系统控制决策的科学性。该模块的设计要优先保证信号采集的全面性、准确性，选择适合热电厂复杂工况的传感器和检测元件，

温度测量使用抗高温氧化的铠装热电偶,压力监测使用高精度应变片式传感器,实现对温度、压力、流量、液位等关键运行参数的实时采集,根据设备结构特点优化传感器安装方式,罐壁温度传感器采用感温块焊接固定,保证测量稳定性。同时设计多级信号预处理环节,采用数字滤波中的滑动平均滤波、中位值滤波等方法去除高频干扰信号,采用光电隔离或者磁隔离的方法实现信号的隔离,再经过信号放大器进行标准化转换,将各种参数统一转换成4-20mA电流信号或者0-10V电压信号,保证输入信号可以准确反映设备的运行状态<sup>[2]</sup>。根据关键区域加密、非关键区域简化的原则来规划监测点的布置,例如锅炉炉膛采用90度间隔的方式布置温度传感器,优化信号传输路径,使用屏蔽电缆并且控制布线长度不超过50米,提高模块抗干扰能力以及信号传输稳定性,给后续逻辑运算提供可靠的数据支持。

## 2.2 逻辑控制与执行输出模块设计

逻辑控制模块是热控保护系统的核心,设计时需要根据热电厂机组运行安全逻辑来构建完善的控制逻辑体系,明确各个参数报警阈值、联锁条件、动作优先级,对各种异常工况做出准确判断并迅速反应。使用可编程逻辑控制器(PLC),中大型机组采用DCS系统双机冗余控制器,优化逻辑运算流程,采用功能块图或梯形图完成逻辑编程,使系统能够根据预处理后的信号快速执行逻辑判断,生成针对性的控制指令,支持逻辑程序的在线调试与修改,提高设计的灵活性。执行输出模块的设计要注重与逻辑控制模块的高效协同,选择可靠性高、动作准确的执行机构,电磁阀选择响应时间 $\leq 50\text{ms}$ 的工业级产品,控制阀采用智能定位器提高调节精度,保证控制指令能够及时有效地执行。同时设计指令反馈环节,对执行机构的开度、动作时间等状态参数进行实时监测,将反馈信号与指令信号进行比对校验,当出现动作偏差超过允许范围时发出修正指令,形成“采集、判断、执行、反馈”的闭环控制,提高系统控制的可靠性、有效性。

## 3 热电厂热控保护系统可靠性提升的关键技术路径

### 3.1 冗余设计技术应用

冗余设计属于提高热控保护系统可靠性的主要技术手段,在关键处设置备份的部件和备用的路径,缩减单点故障对整个系统运转产生的影响。硬件上对核心传感器、控制器、电源等重要部件采取双重或者多重冗余

方式,核心温度监测使用光纤+红外双传感器交叉验证,间距控制在30mm以内,控制器采用双机热冗余方式,用光纤环网实现主备机高速通讯,电源使用双路交流冗余切换装置,保证切换时间小于30ms,保证当主用组件出现故障时,备用组件可以无扰切换,保证系统运行连续性。软件上设计冗余逻辑运算程序,用多通道数据比对、逻辑校验来提高控制指令的准确性、可靠性,建立程序备份和恢复机制,防止由于逻辑程序丢失或者损坏而造成系统失效。同时建立冗余数据传输网络,采用环形冗余以太网结构,优化信号传输路径设计,每条传输链路设置备用通道,用CRC校验保证数据传输的完整性,防止由于传输链路故障造成的信号丢失或者延迟,全方位提高系统的抗故障能力和运行稳定性<sup>[3]</sup>。

### 3.2 抗干扰与容错设计优化

根据热电厂强电磁干扰、高温振动等复杂运行环境的要求来强化系统的抗干扰设计,符合IEC61000系列电磁兼容性标准,利用屏蔽电缆、单点接地处理、电磁隔离等方式全面加强抗干扰防护。其中接地系统采用专用控制系统接地网络,不与其他工厂系统共用接地,各个机柜用统一接地参考点实现单点接地,控制接地线长度尽量短,交流和直流接地回路分开,有效消除接地环路产生的电磁干扰;电缆布线采用强弱电分离布置原则,高压电缆和信号电缆间距不小于50cm,进一步减少干扰耦合。电路设计时添加浪涌保护、过压过流保护等功能模块,浪涌保护器选择最大放电电流符合电厂电网特性的产品,过压过流保护模块设置合理的动作阈值,提高系统对电网波动和瞬时冲击的适应能力<sup>[4]</sup>。同时推进容错设计优化,采用模型为基础的故障诊断与自修复机制,对传感器漂移、线路接触不良等轻微故障进行实时监测,用冗余数据进行补偿修正实现自动处理,对于不能自动修复的故障及时发出分级预警信号,引导系统进入预设的安全运行模式,如降负荷运行、隔离故障区域等,防止故障扩大。依靠抗干扰与容错设计的相互配合,构建起“预防-监测-处置”的全链条防护体系,从而加强系统可靠性根基<sup>[5]</sup>。

## 4 热电厂热控保护系统可靠性的验证方法与实施流程

### 4.1 静态可靠性验证方法

静态可靠性验证主要是对系统设计方案、硬件组件的可靠性进行检验,通过开展组件选型验证、电路设计审查、逻辑方案校验等工作来查找设计环节中存在的可

可靠性隐患。利用故障树分析法,对系统可能出现的故障模式进行梳理,确定各个故障类型的影响范围以及发生概率,评价系统设计的合理性以及抗风险能力。对关键组件做性能测试,检验组件在额定工况下运行的稳定性以及参数匹配性,保证所选组件可以满足系统长期稳定运行的要求。用静态验证提前发现设计缺陷,给系统可靠性提供前置保障<sup>[6]</sup>。

#### 4.2 动态可靠性验证实施流程

动态可靠性验证主要是对系统在实际运行条件下的可靠性进行检验,构建模拟运行环境,开展系统联调测试和动态仿真实验,检验系统在各种工况下响应速度、控制精度、故障处理能力。按照空载测试、负载测试、异常工况测试的顺序进行,在空载测试中检验系统各模块的协同工作能力,在负载测试中检验系统在额定负荷下工作的稳定性,在异常工况测试中模拟参数越限、组件故障等场景,评价系统的预警准确度和故障处置的有效性。动态验证全面掌握系统运行特性,针对验证过程中发现的问题优化设计方案,进一步提高系统的可靠性水平<sup>[7]</sup>。

### 5 热电厂热控保护系统设计与可靠性的协同优化

#### 5.1 设计环节与可靠性需求的协同匹配

实现设计与可靠性的协同优化,必须在系统设计之初就明确可靠性指标要求,把可靠性需求贯穿到设计全过程,使设计方案与可靠性目标相匹配。在组件选型阶段优先选择可靠性高、技术成熟的元件,根据系统运行要求进行有针对性的选型,在结构设计阶段通过改善系统架构、简化冗余链路来提高系统的运行效率和可靠性,在逻辑设计阶段加入故障预判和容错逻辑,提高系统对于复杂工况的适应能力。建立设计环节和可靠性需求之间的联动机制,保证系统设计既满足功能需求,又可以达到可靠性目标<sup>[8]</sup>。

#### 5.2 全生命周期的可靠性保障优化

热控保护系统可靠性保证不只在设计阶段,还要延续到系统全生命周期,依靠创建全流程可靠性管理体系来达成持续改善。在系统安装调试阶段严格按照设计规范进行施工和调试,保证系统组件安装准确、链路连接牢固,在运行维护阶段建立常态化的监测和定期检修制

度,及时发现并处理系统运行中可能存在的故障,定期对组件性能进行检测和校准,在技术升级阶段根据行业技术发展趋势和系统运行实际,对系统进行针对性的升级改造,提高系统的可靠性、先进性。通过全生命周期的可靠性保障来提高系统的运行稳定性<sup>[9]</sup>。

### 6 结语

热电厂热控保护系统的设计与可靠性分析,是保证电厂安全高效运行的重要课题,热控保护系统的设计好坏直接影响到系统功能的实现,可靠性水平关系到机组运行的安全防线。本文通过梳理系统设计基础和核心原则,优化核心模块的设计方案,提出可靠性提高的技术路径和验证方法,构建设计与可靠性协同优化的体系,形成了一套比较完善的热控保护系统的设计方案和可靠性保障方案。经过实践证明,科学合理的设计方案加上全方位的可靠性保障措施,可以有效地提高系统的运行稳定性以及抗故障能力。按照智能技术发展的趋势来实现热控保护系统的智能化升级,进而不断提高系统可靠性、运行效率,为热电厂高质量的发展提供更为有效的保障。

#### 参考文献

- [1] 施小驹. 电厂热控保护误动及拒动原因分析[J]. 天津化工, 2021, 35(04): 104-106.
- [2] 孙震. 提高电厂热控系统可靠性技术研究[J]. 电子技术与软件工程, 2021, (12): 233-234.
- [3] 官同宇, 张晓东. 提高电厂热控系统可靠性技术研究[J]. 内蒙古煤炭经济, 2021, (11): 7-8.
- [4] 聂龙富. 电厂热控保护误动及拒动原因和措施[J]. 电子世界, 2021, (09): 184-185.
- [5] 韩欢欢. 电厂热控 DCS 控制保护回路误动作原因与处理措施研究[J]. 应用能源技术, 2021, (04): 1-4.
- [6] 赵志楠. 电厂热控自动化系统稳定性研究[J]. 技术与市场, 2021, 28(01): 144-145.
- [7] 李慧. 电厂热控自动化系统运行稳定性提升对策[J]. 技术与市场, 2021, 28(01): 143+145.
- [8] 庞国斌. 陆用燃油(气)电站热控系统技术方案[J]. 电工技术, 2020, (18): 8-10.
- [9] 贾志远. 热电厂汽轮机的检修及安全运行[J]. 电子技术与软件工程, 2019, (13): 234.