

# 火电厂热工控制系统稳定性提升策略

刘熔晋

华阳建投阳泉热电有限责任公司, 山西省阳泉市, 045000;

**摘要:** 火电厂热工控制系统稳定运行与机组安全及经济性有关。本文对控制系统在实际运行中所存在的参数漂移、抗干扰能力差以及设备老化等现象进行分析, 在控制策略优化、硬件可靠性提高、运维管理三个方面开展研究。采用先进的控制算法、加强系统的冗余设计并建立动态监测系统来形成一套系统性的稳定性提高方案, 给火电机组的安全稳定运行给予技术支持。

**关键词:** 热工控制; 系统稳定性; 控制策略; 冗余设计

**DOI:** 10.64216/3080-1508.26.03.068

热工控制系统属于火电厂的神经中枢系统, 主要用来控制汽温、汽压、水位等重要参数。目前电力系统对于机组的调峰能力要求越来越高, 控制系统要经常响应负荷的变化, 这就给它的稳定性提出更高的要求。传统的 PID 控制对于大范围的工况波动常常会出现超调或者振荡的现象, 部分老式的机组控制设备由于元器件性能变差而引起误动作的风险增大。怎样在保证安全的基础上提高控制精度和响应速度, 成了亟待解决的工程问题。本文根据现场运行经验, 提出相应的改进措施, 目的是建立更稳定可靠热工控制系统。

## 1 控制算法的改进与优化

### 1.1 预测控制技术的应用

模型预测控制是按照被控对象的动态特性来对它进行多步预测, 在满足约束条件的情况下得到最优的结果。对于主蒸汽温度这类具有大惯性、大延迟的特点的被控量, 用建立减温水调节系统的状态空间模型, 并采用滚动优化算法来求解控制量序列。此法在负荷快速变化的时候可以提前介入调节, 防止温度偏差积累。实际应用中要正确地识别出系统的参数, 可以使用递推最小二乘法在线修正模型的参数, 保证控制器总是跟随对象特性变化而变化。选择预测时域和控制时域既要考虑控制效果又要考虑计算负担, 在一般情况下把预测步长设为系统延迟时间的三到五倍比较好。

### 1.2 模糊控制与常规控制的协同

单纯的用模糊控制容易造成稳态误差, 将模糊控制和 PID 控制相结合才能发挥各自的优点。在给水处理中, 用模糊推理来调节 PID 参数的方式来适应水位的波动。水位偏差过大时, 用增加比例增益来加快响应速度, 水位偏差很小的时候, 减小比例系数的同时加大积分作用来消除余差。该自适应调节机制可以对不同的工作状况

作出相应的调整, 从而克服参数固定所造成的局限性。模糊规则的确定要参考运行人员的操作经验, 经过多次仿真试验来保证规则库的完备性和合理性。隶属度函数的形状决定控制平滑度, 三角形或者梯形函数在工程上使用较多。

### 1.3 前馈补偿机制的强化

前馈控制是通过对扰动信号进行测量并提前采取措施来抑制可以测量的干扰, 从而起到抑制可测干扰的作用。在燃烧控制系统里, 当检测到负荷指令发生变化的时候, 前馈回路就会调节燃料量和风量, 减小主蒸汽压力的波动。前馈通道的动态补偿部分要按照锅炉特性去设计, 即超前滞后校正以及增益调节。由于燃料热值有波动, 单纯的静态前馈不能达到理想的效果, 可以采用自适应算法根据压力偏差来修正前馈系数。前馈和反馈控制的比例要根据现场调试来定, 反馈回路保证控制精度, 前馈回路提高响应速度。

### 1.4 解耦控制的实施

火电机组各个控制回路之间存在着很强的耦合, 汽温控制会影响到汽压, 给水调节会干扰到燃烧过程。利用建立多变量系统传递函数矩阵, 设计解耦补偿器减小回路之间的相互影响。对于主汽温度和再热汽温度的交叉耦合, 在各自控制通道里加入交叉补偿环节, 当主汽温度调节动作的时候, 同步对再热汽温度控制施加补偿信号。解耦网络的参数需要由系统辨识获得, 可以采用阶跃响应试验来测定各个通道的动态特性曲线。完全解耦在实际中很难实现, 工程上追求近似的解耦就可以达到目的, 关键是要减弱主导耦合通道的影响。

## 2 硬件系统的可靠性提升

### 2.1 冗余配置的优化设计

控制系统硬件冗余保证的是稳定的运行。使用双重化或者三重化的控制器、电源模块和通信网络,当主用设备出现故障的时候可以自动切换到备用设备。对重要的模拟量输入信号,设置冗余传感器,并采用中值选择或者加权平均法来提高测量的可靠性。冗余系统切换的逻辑要经过严格的测试,防止因为操作错误而引起扰动出现。电源系统采用UPS和蓄电池的组合供电方式,保证在外部电源断电的情况下仍然可以保持系统的正常工作<sup>[1]</sup>。通信网络采用环网或者双星型拓扑结构,单个节点发生故障不会使整个网络瘫痪,网络冗余协议可以达到毫秒级的切换。

## 2.2 关键部件的定期检测与更换

执行机构是控制系统末端的环节,它的性能直接影响到控制的效果。调节阀门的阀芯、阀座长时间受到高温高压介质的冲刷而产生磨损,造成泄漏量增大或者动作迟缓。创建起以振动分析、行程测试为方法的状态监测系统,可以及时发现阀门性能退化的趋向。电动执行器的减速箱润滑状况和电机绝缘电阻要列入到定期巡检之中,防止机械卡滞、电气击穿。传感器的漂移校验周期不能太长,差压变送器每半年做一次零点和量程校准,热电偶套管的积灰会影响测温精度要及时清理。控制器机柜内风扇、滤网等辅助设备虽然不直接参与控制,但是它们的故障也会造成设备过热,因此也需要列入维护范围。

## 2.3 抗干扰能力的增强

电磁干扰会削弱控制系统稳定性。信号电缆和动力电缆要分开铺设,交叉处保持垂直来减小电磁耦合。模拟量信号用屏蔽双绞线传输,屏蔽层一端接地以防止形成接地环路。现场设备的接地系统要符合等电位的要求,接地电阻值应该定期测量,并且保持在规定的范围之内。对长距离传输的信号,用隔离变送器或者光电隔离技术切断干扰传播途径。控制柜内元器件的布置要符合强弱电分离的原则,继电器等感性负载加装浪涌吸收装置。雷电防护就是在设备端口加装多级防雷器,形成分级泄流的保护系统。

## 2.4 环境适应性改善

控制设备对于运行环境的温湿度有具体的要求,机柜间空调系统要常年开启,防止温度变化造成电子元件性能漂移。高湿度环境中会造成绝缘降低和电路板发霉,除湿机和加热器联合使用可以将湿度控制在合理的范围内。粉尘是造成电气接点可靠性下降的主要因素,机

柜要保证正压并且装有高效过滤器,定期清理柜内积尘。振动会使得接线松动或者元器件焊点开裂,控制柜基础应做减振处理,接线端子用弹簧压接的方式提高抗振性。海拔较高的电厂要考虑到气压降低对散热和绝缘的不利影响,必要时对设备进行降容使用或者加强散热设计。

## 3 运维管理机制的完善

### 3.1 动态监测与预警系统

建立包含全系统性能监测平台,实时采集控制回路偏差、输出以及被控量变化趋势。设置动态阈值,当参数波动超出正常范围的时候自动发出报警。统计过程控制法可以用来发现缓慢漂移类的故障,连续多个采样点偏离均值到一定的程度就认为是异常。控制器输出的频繁抖动一般表示执行机构或者测量环节有问题,用计算输出信号方差变化率的方法来达到早期预警的目的。历史数据的深度挖掘可以找到潜在的规律,机器学习算法可以建立正常运行模式的基准模型,偏离基准的行为模式就被认为是异常征兆。

### 3.2 操作规程的标准化

运行人员的操作行为会影响到控制系统稳定性的实现。制定详细的操作票制度,对启停机过程中控制模式的切换步骤和参数设置值做出规定。禁止在自动状态下随意调整控制器的参数,需要修改时必须经过仿真验证,并经批准。异常工况下应急预案要定期演练,保证操作人员熟悉手动干预的时间和方法。交接班记录要包含控制系统运行状态和参数变化情况,有利于对问题进行追溯分析。培训考核要包含控制原理、故障判断等内容,提高运行人员认识系统行为的能力,减少因误操作导致的问题。

### 3.3 技术档案的动态维护

完整的技术档案是系统维护、改进的依据。每次对控制策略进行修改的时候,都要记录下修改的内容、原因以及效果评价,并且形成一个完善的版本管理流程<sup>[2]</sup>。设备台账要包含采购信息、安装位置、历次维修记录和备品备件清单,方便快速找到故障的设备。控制回路投运调试报告要保留整定参数、响应曲线和性能指标,为以后的优化提供对比依据。软件程序的源代码和编译版本要分别存档,防止因为人员流动造成技术断层。定期检查档案的完整性、准确性,及时补充缺少的信息,保证档案的使用价值。

### 3.4 备品备件的科学管理

关键备件的储存直接影响故障恢复时间。根据设备故障率和停运损失来建立备件库存模型,考虑资金占用和供应保障。易损件如阀门密封件、传感器膜片要保证足够的库存,电子模块等高价值部件可以采取寄存或者快速供货协议的方式降低库存成本。备件的储存条件要符合厂家的要求,防潮、防尘措施要到位,定期对电子备件进行通电测试。建立备件使用的追溯制度,对每一次的使用时间、用途和更换后运行情况做详细的记录,给故障分析提供依据。与供应商保持良好的联系,及时了解产品的升级信息以及停产的预警,提前做好技术更新的准备工作。

## 4 系统集成与协同优化

### 4.1 控制层级的协调配合

分散控制系统内部有现场控制站、操作员站和工程师站等很多层次,各个层次之间的信息交流要一致。现场控制站做底层调节工作,操作员站负责监视和操作,工程师站用于组态和维护。数据库的同步更新机制要保证各个站点显示信息的实时性、准确性,防止因为数据延迟造成误判<sup>[3]</sup>。操作权限分级可以防止越权操作,重要的参数更改要高级权限和双人签字。控制策略的下装要在机组稳定工况下进行,并经过仿真测试来证明,不能因为下装而造成运行事故。

### 4.2 与其他系统的接口优化

热工控制系统要同电气控制、辅助系统实行联锁和信息交流。机炉电协调控制要使各个系统之间配合得当,电气侧的AGC指令传送给锅炉侧时要有实时性,通信协议的选择会影响到数据传输的效率。顺序控制和模拟量控制之间有明显的优先权之分,不能出现两个指令同时触发设备而造成事故。信息孤岛现象阻碍整体优化效果,创建统一的数据平台来完成各个系统之间的数据融合,给全厂性能分析提供基础。接口信号的硬接线和软连锁要互相配合,硬接线用来快速完成保护的動作,软连锁来实现复杂的逻辑判断,两者结合提高可靠性。

### 4.3 在线仿真与虚拟调试

用实时仿真方法建立机组的数学模型,在虚拟环境中对各种控制策略进行实验。仿真模型要包含主要设备的动态特性以及约束条件,用实际运行数据来检验模型的准确性。虚拟调试可以发现控制逻辑的隐忧,从而降低现场调试的风险和时间成本。运行人员可以借助于仿真平台来进行训练,在不干扰真实设备的情况下对异常

工况的处理过程进行模拟<sup>[4]</sup>。仿真结果同实际运行效果的对比分析,有利于不断改善模型的准确度,形成仿真和实践互相促进的良性循环。

## 4.4 性能评估与持续改进

创建出一个量化的性能评价指标体系,即控制精度、响应时间、超调量等等。定期对控制回路的性能进行审计,找出性能下降的回路,分析造成性能下降的原因。对比行业的先进水平找到差距,制定出相应的改进计划。技术改造项目要对全生命周期成本进行分析,既要考虑初期投资又要考虑长期效益。鼓励技术创新与经验总结,把成功的案例做成标准化方案在其他的类似机组上推广应用。创建激励机制调动运维人员的积极性,形成持续改进的文化氛围,使控制系统稳定性不断提高。

## 5 结束语

火电厂热工控制系统稳定性提高是项系统工程,包含控制理论的应用、设备可靠性保证和管理机制的完善等多方面内容。采用先进的控制算法可以改善动态性能,硬件冗余设计提高系统的故障容错性,科学的运维管理减小人为因素的影响。通过使用技术手段和管理措施相配合的方式,可以大大提高控制系统稳定性、可靠性。伴随着智能化技术的发展迅速,在故障诊断及预测性维护上将会成为新的研究方向,为控制系统的安全稳定运行赋予更多的技术支持。不断的科技革新、经验的累积会让火电机组的控制水平到达新的高度。

## 参考文献

- [1]梁劲.基于分散控制的火电厂热工自动化技术改造方法[J].自动化应用,2025,66(19):221-223+227.
- [2]颜韶涛.火力发电厂热工自动控制系统冗余设计技术与应用研究[J].全面腐蚀控制,2025,39(09):266-268.
- [3]李科莹.基于改进粒子群算法的火电厂热控系统自动控制研究[J].自动化应用,2025,66(13):47-49+53.
- [4]苏伟,毕盛源,田若锦.火电厂热工自动化DCS控制系统的设计与应用[J].自动化应用,2025,66(11):46-48.

作者简介:刘熔晋(1992.12-),男,汉族,籍贯:山西省石楼县,学历:大学本科,已取得职称:助理工程师,研究方向:大型火力发电厂热控自动化协调控制研究。