

Analysis of Thermal Testing and Automation Control Technology in Thermal Power Plants

Jian Wu Hao Huang

State Power Investment Corporation GCL Binhai Power Generation Co., Ltd., Yancheng, Jiangsu, 226000, China

Abstract

With the rapid development of the power industry, thermal power units are moving towards high parameters and large capacities, and thermal detection and automatic control technology has become the core support for ensuring the safe, economical, and environmentally friendly operation of units. This paper systematically analyzes the fundamentals of thermal detection technology in thermal power plants and the principles of instrument selection, explains the functional architecture of data acquisition and processing systems, deeply explores core strategies such as analog control, sequential control, and unit-boiler coordinated control, studies the selection and control characteristics of actuators, and proposes countermeasures for system optimization and typical faults. The study shows that a complete detection system is the premise of automatic control, advanced control strategies are key to optimized operation, and scientific fault prevention and handling is the guarantee of system reliability. With the development of intelligent technology, thermal control systems in thermal power plants are evolving towards digitalization, networking, and intelligence.

Keywords

thermal power plant; thermal testing; automation control; DCS; coordinated control

火电厂热工检测与自动化控制技术分析

武剑 黄浩

国家电投集团协鑫滨海发电有限公司, 中国·江苏 盐城 226000

摘要

随着电力工业的快速发展, 火电机组正向高参数、大容量方向迈进, 热工检测与自动化控制技术已成为保障机组安全、经济、环保运行的核心支撑。本文系统分析了火电厂热工检测技术基础与仪表选型原则, 阐述了数据采集与处理系统的功能架构, 深入探讨了模拟量控制、顺序控制及机炉协调控制等核心策略, 研究了执行机构的选型与控制特性, 并针对系统优化与典型故障提出了处理对策。研究表明, 完善的检测体系是自动控制的前提, 先进的控制策略是优化运行的关键, 而科学的故障预防与处理则是系统可靠性的保障。随着智能化技术的发展, 火电厂热控系统正向数字化、网络化和智能化方向演进。

关键词

火电厂; 热工检测; 自动化控制; DCS; 协调控制

1 引言

作为电力能源的主要来源, 火电厂有着举足轻重的角色。火电厂的自动化控制水平, 也直接影响火电厂电力的输出, 尤其是当下人们在节能排放越来越重视, 如何提高火电厂的效率, 是很多企业致力于研究的一个课题。当下, 以分散控制系统为核心的火电厂自动化技术发展较为成熟, 但仍存在诸多值得深入探究之处, 譬如检测仪表的适配情况、控制策略的优化状况以及故障判断能力等。本文将从检测基础、数据采集、控制策略、执行机构及优化处理五个维度, 对火电厂热工自动化技术进行系统分析。

2 热工检测技术基础与仪表选型

2.1 火电厂主要热工参数及其检测原理

火电厂热工过程包含具体的关键参数: 温度、压力、流量、液位以及成分分析等。其中, 温度测量大多依靠热电偶和热电阻。热电偶按照塞贝克效应工作, 适合像高温烟气、主蒸汽的测点; 热电阻则是凭借电阻随温度改变的特性, 更多用在诸如给水、润滑油之类对精度要求比较高的地方。压力测量主要依靠电容式或者扩散硅式的压力变送器, 通过弹性元件发生形变来转变成电信号^[1]。流量测量的时候, 差压式流量计按照伯努利方程设计, 合适用来测量给水、蒸汽这些干净的流体; 涡街流量计则利用卡门涡街原理制造, 多用于计量压缩空气。液位测量往往采用差压法, 通过平衡容器来实现汽包水位测量。氧量分析采用氧化锆探头, 用于监测烟气含氧量以指导燃烧调整。

【作者简介】武剑(1995-), 男, 中国江苏盐城人, 硕士, 工程师, 从事电厂热控维护研究。

2.2 关键检测仪表的技术特性与选型原则

检测仪表的选型要综合考量测量范围、精度等级、响应时间、工作环境以及可靠性要求。就主蒸汽温度保护而言，应当选择响应快速的热电偶，其套管材质得要耐高温高压。给水流量测量对精度要求很高，一般会采用标准孔板或者喷嘴配合差压变送器，而且还要执行温度压力补偿。煤粉管道风速浓度测量的环境很恶劣，所以应该选用耐磨防堵的插入式测量装置，而且该装置还得要有防爆功能。汽包水位测量对于机组安全十分关键，常常采取三取二这种冗余设置，还要用高精度的差压变送器或者电接点水位计，也要考虑到平衡容器的温度补偿问题。

3 数据采集与处理系统

3.1 分布式控制系统中的数据采集站功能

数据采集站属于DCS的现场级单元，其包含I/O卡件、控制器以及通讯模块，其主要职责在于针对现场仪表送来的模拟量信号展开定期巡查，执行模数转换操作，然后把数字量传递给控制网络。AI卡件负责接收4-20mA信号，经过调理电路之后转化为工程值；而DI卡件则承担采集开关量状态的任务。数据采集站具有通道自动判断的功能，可以识别断线、短路之类的异常情况。为了提升可靠性，像汽包水位、炉膛压力这样的关键参数往往会被设置成有备用的卡件。数据采集站充当控制系统和现场设备之间的桥梁，其巡查间隔时间以及转换准确度会直接影响控制效果。

3.2 信号预处理、误差修正与数据滤波技术

原始信号送入DCS之后必要执行预处理步骤。热电偶信号须要实施冷端温度补偿，一般通过补偿导线把冷端拓展到恒温区域或者依靠卡件内部的热敏元件来执行测量补偿。压力测量时要考量安装高度所产生的静压误差，利用DCS中的计算功能来做零点校正。流量测量务必执行温度压力补偿，把实际工况下的流量转换成设计工况下的数值^[2]。数据滤波方面采用软件算法去除随机干扰，限幅滤波去掉那些明显超出限度的值，中位值滤波适合于压力之类的波动信号，而一阶滞后滤波比较适合缓慢变化的参数，通过调节时间常数来协调响应速度和平滑度。

3.3 热工参数的计算、显示与历史数据存储

经过采集并完成预处理的数据会进入到计算阶段当中。机组效率要依靠热量和发电量来做在线计算，吹灰器的累计运行时长可用来引导执行方面的事务，给水泵的汽蚀余量则需按照入口参数来随时执行计算。这些二次计算得到的参数充实了运行观察的信息量。操作员站会把参数以流程图、趋势曲线或者数字仪表这样的直观形式表现出来，并且支持用颜色报警并分层级显示。历史数据被存放在服务器里，按照秒或者分钟这样的级别实施压缩归档，从而被用在运行分析、事故回顾以及性能优化上面。历史趋势曲线是故障分析

的利器，可以重现事故前后的参数变化情况，给查找原因提供依据。

4 自动化控制策略与实现

4.1 模拟量控制系统在单元机组中的应用

模拟量控制系统负责维持机组关键参数稳定。给水全程控制采取单冲量与三冲量切换策略，低负荷情况下依靠汽包水位单冲量控制，高负荷时把蒸汽流量当作前馈，给水流量当作反馈，形成三冲量串级系统，以此解决虚假水位带来的影响。蒸汽温度控制通过喷水减温实现，其中过热器出口温度作为主调，减温器出口温度为副调，二者形成串级调节系统，并且加入负荷变化前馈信号来加快响应速度。燃烧控制按照负荷指令协调给煤量和送风量，保障风煤比较合适，而且利用氧量校正信号调整风量，确保燃烧具备经济性。

4.2 顺序控制与锅炉炉膛安全监控系统

顺序控制用来实现辅机及阀门组的程序启停。送风机启动时，按照润滑油泵启动、入口挡板关闭、风机启动、出口挡板联开、动叶调节投入这些步骤自动执行，从而规避误操作。FSSS属于锅炉的核心保护系统，其逻辑包含炉膛吹扫，点火之前务必通风吹扫5分钟以上，以保证炉膛内没有可燃物。点火时形成点火能量，火焰探测器随时监测火检信号，一旦发生送风机全停、燃料中断、炉膛压力超限等危险工况，MFT就会立即切断全部燃料，并且激发相关连锁，以防炉膛爆炸。

表 1 MFT 保护条件传动试验项目

序号	MFT 条件	动作延时
1	手动跳闸	立即
4	两台引风机均停	立即
9	炉膛负压高高	3s
10	炉膛负压低低	3s
16	锅炉总风量小于 25%	30s
18	火检冷却风机全停且一次风机全停	10s

注：本表为部分典型保护条目，完整列表参见现场试验规程。

4.3 汽轮机数字电液控制与协调控制系统

DEH为汽轮机的控制核心部件，其接收转速或者负荷指令，再由伺服卡控制高压调门的开度。未并网之前执行转速闭环控制来实现平稳升速，完成并网之后就转成负荷控制模式，而且可以参与一次调频。DEH具有阀门管理功能，可以做到单阀和顺序阀之间的切换从而改善调节级的效率。CCS协调系统由机和炉两部分组成，它们共同响应AGC指令，锅炉方面通过改变燃料量来调节蓄热量，而汽轮机则依靠调整高压调门的开度迅速应对负荷变化，两者需协调配合^[3]。在锅炉跟随方式下，汽轮机调负荷，锅炉维持主汽压；在协调方式下，机炉共同响应指令，兼顾负荷响应速度与主汽压稳定。

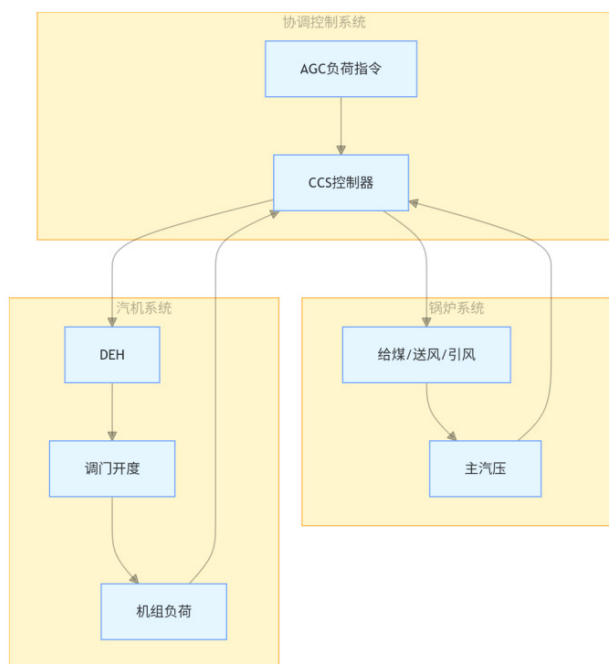


图1 机炉协调控制系统框图

5 执行机构与现场设备控制

5.1 电动、气动执行机构的选择与控制

电动执行机构依靠伺服电机带动，经过减速器输出力矩，适用于闸阀、挡板之类的推力需求很高而且没有气源的场景，其控制精度较高，可以设置力矩保护。气动执行机构把压缩空气当作动力来源，动作速度很快，结构也比较简单，具备本质上的防爆能力，所以被全面应用到调节阀上，并且配合电气阀门定位器做到精准的阀位调控。在选择的时候要按照阀门的推力、全行程所花费的时间以及故障安全方面的要求来确定。故障安全型执行机构通过弹簧复位或储气罐实现失气时保位或复位。控制上采用伺服卡接收4-20mA指令，与阀位反馈构成闭环，调整输出信号至偏差为零。

5.2 阀门、挡板的控制特性与故障诊断

阀门流量特性会影响调节品质，线性特性适合负荷变化较均匀的情况，等百分比特性适合压降较大或者负荷变化较大的工况。在控制系统里，常常通过阀门特性曲线来修正，从而让实际流量和指令之间形成线性关系。执行机构出现故障主要表现在卡涩、内漏、拒动等方面。卡涩一般是因为有异物被卡住或者填料绑得太紧所造成；内漏则是由于阀芯存在磨损情况或者密封不够严密引发的；拒动可能涉及到电气回路或者控制逻辑方面存在的故障。在线检测会观察阀位反馈与指令之间的偏差、动作时间的改变以及执行机构力矩值的状况，这样就能预先发出故障警报，进而引导开展预防性的保养工作。

6 系统优化与故障处理

6.1 控制参数整定与系统动态性能优化

PID参数整定是控制回路投运的关键。临界比例度法适用于自平衡对象，先投入纯比例使系统等幅振荡，记录临界比例度和振荡周期，按经验公式计算P、I、D参数^[5]。衰减曲线法通过调整参数使响应曲线达到4:1衰减适合工程整定。就深度调峰而言，传统固定参数无法应对宽负荷变动，可以采用变参数PID，并按负荷分段设置不同参数。部分回路运用前馈控制来解决大时延问题，比如在喷水减温时利用蒸汽流量前馈，预先采取措施防止主汽温出现波动。

6.2 热工保护逻辑的优化与防误动措施

保护逻辑的优化要兼顾可靠性和可用性。关键的保护信号像汽包水位、炉膛压力，它们采取三取二的冗余逻辑，任何一个变送器出现故障不会影响到保护功能，也不会导致误动。对于波动比较频繁的信号，可以设置一定的延时，免除瞬时的干扰造成跳闸，但是这种延时得经过分析来确定，不能因为延时而致使保护功能拒绝动作。保护投退的管理非常严谨，在检修期间，凡是涉及到强制信号的，都必须办理相关手续，等到检修完毕之后，也要立即撤销这些强制措施。逻辑优化应避免单一故障点，如MFT条件中增加硬接线回路作为软件逻辑的补充。定期进行保护传动试验，验证逻辑正确性与执行机构动作可靠性。

7 结语

火电厂热工检测与自动化控制技术形成了机组安全运行的基础。本文针对检测仪表选型、数据采集处理、核心控制策略、执行机构控制、系统优化与故障处理这些环节，系统剖析其中的技术重点和应用情况。精准可靠的检测是认识的基础，高效的数据采集是决策的依据，先进的控制策略是优化的关键，可靠的执行机构是指令的保证，科学的故障处理是稳定的依靠。伴随智能化技术的发展，热控系统正在朝着全面感知、自主优化并具备预先知晓维护能力的智能化方向前进，从而给火电机组的灵活高效运行及新型电力系统建设提供坚实技术支撑。

参考文献

- [1] 周磊. 自动化控制技术在火电厂热工仪表中的应用[J]. 通信电源技术, 2020, 37(02): 97-98.
- [2] 田旭朝. 火电厂热控自动化系统运行稳定性探析[J]. 电力设备管理, 2024, (24): 84-86.
- [3] 辛丽梅. 火电厂热工自动化DCS控制系统的运用分析[J]. 科技视界, 2024, 14(33): 65-68.
- [4] 郭超. 火电厂热工自动化系统安全保护与故障诊断的智能化技术研究[J]. 电气技术与经济, 2024, (09): 258-260+264.
- [5] 晏崇林. 火电厂热控自动化保护装置维护分析[J]. 科技创新与应用, 2020, (29): 116-117.