锅炉受热面壁温在线监测系统优化与异常预警研究

李 博

（安徽华电芜湖发电有限公司，安徽 芜湖 241000）

摘 要 超超临界机组锅炉受热面管壁超温是诱发管材蠕变损伤与爆管泄漏的主要因素。本文以芜湖某公司一期的厂级监控信息系统（Supervisory Information System at Plant Level，SIS）改造工程为研究背景，针对原有壁温监测测点不全、告警滞后等问题，从数据接入、传输存储、应用展示三个层面提出优化方案，构建实时告警与超限统计相结合的异常预警机制。实践表明，优化后的系统可实现全受热面壁温集中监视与分级预警。

关键词 锅炉受热面；壁温监测；SIS系统；异常预警；超超临界机组

中图分类号：TK223.3；TK32 **文献标志码**：A **DOI**：10.3969/j.issn.2097-3365.2026.30.012

0 引言

锅炉受热面管壁温度是反映机组运行安全状态的核心参数之一。超超临界机组蒸汽参数高、受热面布置密集，局部管壁温度偏差易导致材料寿命损耗加速，严重时引发受热面爆管事故。传统SIS平台壁温监测模块多依附于早期数据库架构，存在测点接入有限、刷新周期长、告警简单、统计不便等缺陷，难以满足当前机组精细化运维要求。依托SIS系统整体改造对壁温在线监测功能进行优化升级，建立完善的异常预警机制，具有重要的工程应用价值。

1 锅炉受热面壁温监测的现状与问题

1.1 壁温监测的工程必要性

锅炉受热面包括水冷壁、过热器、再热器、省煤器等部件，其管壁金属长期承受烟气侧高温腐蚀与工质侧高压冲刷的双重作用[1]。当管壁温度超过材料许用温度时，金属组织发生蠕变变形，持久强度随时间持续下降，最终导致管壁鼓包、开裂乃至爆管。据电站锅炉事故统计，受热面爆管占锅炉非计划停运事故的比例较高，而超温运行是诱发爆管的首要因素[2]。超超临界机组主蒸汽压力达25 MPa以上、温度达600 ℃级别，受热面管材长期工作在接近材料许用温度的区间，对壁温监测的精度与实时性要求更为严格。因此，对锅炉受热面壁温实施连续、准确的在线监测，是及时发现异常工况、防范设备损坏的基础手段。

1.2 原有监测系统存在的不足

芜湖某公司一期两台660 MW超超临界机组于2008年投产，配套SIS系统同期建成投运。受当时技术条件限制，原有壁温监测功能存在以下问题：其一，测点接入不完整，部分受热面管段壁温信号未纳入SIS平台，低低温省煤器、吹灰器等辅助系统数据缺失，运行人员无法掌握全受热面温度分布；其二，数据采集依赖老旧接口机，设备故障率高，数据传输中断现象频发，壁温数据的连续性与完整性难以保障；其三，告警机制简单，仅能对单点越限进行提示，缺乏分级告警与趋势预判能力，超温事件发现滞后[3]；其四，统计分析手段不足，超限记录分散，无法按管段、班组、时间段进行多维查询与汇总，不利于超温原因的追溯分析与运行调整；其五，系统架构分散，一期与二期SIS系统各自独立，壁温数据无法跨机组对比分析，难以支撑全厂受热面状态的统一评估。

2 锅炉受热面壁温在线监测系统优化方案

2.1 数据采集层优化

数据采集是壁温监测系统的基础环节。本次改造对一期7台接口机全部进行更换，新接口机采用四核处理器、8 GB内存、128 GB固态硬盘的工业级通讯管理机，配备4个网口与4个IO接口，运算性能与通信稳定性较原设备大幅提升。针对壁温信号接入，新增一台专用接口设备，采用Modbus-TCP协议接入壁温采

作者简介：李博（1988-），男，本科，工程师，研究方向：发电厂热控专业技术监督管理。

集装置，实现锅炉各受热面壁温信号的标准化采集。同时，完成 3 台机组低低温省煤器数据与吹灰器在线监测数据的接入，填补原有监测盲区。接口程序全部升级改造，覆盖一期 1#DCS、2#DCS、脱硫、ECMS、NCS、电量、电除尘及二期 3#DCS、辅网、电除尘共计 10 个数据接口，确保壁温相关数据来源完整、传输可靠。接口程序升级后，任意一台机组接口关闭或故障不影响其他机组的数据传输，系统采集可靠性显著增强。

2.2 数据传输与存储层优化

数据传输链路方面，敷设光缆将一期生产数据接至二期 SIS 系统，实现一期、二期数据的集中汇聚。更换一期接口机后连接的隔离装置，利旧二期 SIS 机房内南瑞单向隔离装置，保障生产控制区与管理信息区之间的数据安全。更换安全一区至二区、二区至三区间的交换机设备，满足一期、二期合并后数据上传态势感知平台与预警平台的带宽需求。数据存储方面，将原有 PI 数据库更换为国产 Thunderdb 实时数据库，采购容量为 10 万点，满足一期 2 万点与二期 5 万点合并后的存储需求，并预留扩展余量。数据库测点命名规则统一调整，一期、二期所有数据采集及应用功能重新配置数据库接口，保证数据存储时间不少于 3 年。服务器资源同步整合，一期实时服务器、DB2 服务器、镜像服务器功能并入二期现有服务器，新增数据转发服务器与镜像服务器，原二期镜像服务器做冷备，各服务器安装最新版防病毒软件。通过上述优化，壁温数据传输时延降低，历史数据完整性与可追溯性得到保障。

2.3 应用功能层优化

在二期 SIS 平台上重新建设 1#、2# 机组的壁温监测应用功能，并对 3# 机组现有功能进行升级。壁温监测模块包含三项核心功能：壁温实时监视以单页面柱状图形式集中展示所有种类管壁的壁温最大值，超温时柱状图变为红色并闪烁提示，点击各壁温对应链接可追溯查看该类管壁各段的实时温度状态，实现总体监视与细节追溯的结合；壁温实时告警功能实时刷新具体管段超温情况并自动记录，作为实时监视的补充手段，避免人工监视遗漏；壁温超限报表功能记录超限管段、超限时长、超限次数等信息，支持按时间段、管段、限值、班组等条件组合查询。此外，系统提供画面回放与测点趋势查询功能，可回溯历史工况下的壁温分布，选择任一或多个测点查询任意时间段内的趋势曲线，为超温原因分析提供数据支撑。生产实时全画面同步升级，运行人员通过工艺流程监视画面可监测 DCS、脱硫、NCS 及辅助控制系统的生产情况，壁温数据与其他运行参数在同一平台展示，便于综合判断机组状态。

3 异常预警机制构建

3.1 实时分级告警策略

异常预警的核心在于对超温事件的及时识别与主动提示。优化后的壁温监测系统建立分级告警机制，根据管壁温度超出限值的幅度与持续时间划分告警等级。一般超温事件通过柱状图颜色变化与闪烁进行视觉提示，提醒运行人员关注；严重超温事件在视觉提示基础上触发实时告警记录，自动写入超温管段编号、超温起始时间、当前温度值等信息。告警数据实时刷新，确保运行人员在超温发生后第一时间获取信息[4]。同时，告警功能与实时监视页面联动，点击告警记录可直接跳转至对应管段的温度详情页面，缩短异常定位时间。分级告警机制避免了单一阈值告警导致的信息过载或漏报，使运行人员能够根据告警等级合理分配注意力，优先处理严重超温事件。

3.2 超限统计与趋势分析

仅依靠实时告警不足以支撑运行优化与设备管理，需建立完善的超限统计分析机制。壁温超限报表模块对所有超温事件进行结构化记录，每条记录包含管段标识、限值类型、超温起止时间、持续时长、最高温度、超限次数等字段。系统支持按时间段、管段、限值等级、运行班组等多维度组合查询，可生成指定时段内的超温统计汇总。结合趋势分析功能，运行与检修人员可对频繁超温管段的历史温度曲线进行回溯，分析超温发生的工况特征，判断超温原因属于燃烧偏差、积灰结渣、流量分配不均还是管材老化，为运行调整与检修决策提供数据依据。趋势曲线支持多测点叠加对比，可同时展示同一受热面不同管段的温度变化，便于识别温度分布不均的问题，也可对比不同工况下壁温水平的差异，为运行方式优化提供参考。

3.3 预警闭环管理

异常预警机制的有效性取决于从发现到处置的闭环管理。系统将壁温超温告警数据纳入生产管理流程，超温事件记录自动归档，运行班组在交接班时需对当班期间的超温情况进行确认与说明。超限报表定期生成，作为机组运行分析会与设备状态评估的输入资料[5]。对于频繁超温或持续超温的管段，系统数据可直接支撑受热面寿命评估与检修计划制定，推动从被动抢修向主动预防的转变。同时，壁温监测数据与性能计算、耗差分析模块联动，超温工况下的减温水流量、烟气含氧量、排烟温度等参数同步记录，便于综合分析超

温对机组经济性的影响，实现安全性与经济性的协同优化。闭环管理机制确保每一次超温事件都有记录、有分析、有处置、有反馈，避免超温问题长期积累而引发设备损坏。

4 工程实施与验证

4.1 实施路径与质量控制

本项目按照硬件到货验收、系统安装部署、数据接入调试、功能测试上线的顺序推进。硬件设备到货后核验外观、产品合格证与技术资料；接口机与服务器完成操作系统安装、激活与安全配置；数据库安装调试并完成授权；敷设一期至二期光纤，完成一期机柜与接口机更换，验证一期数据在新数据库中全部可查；配置集团侧数据上传接口，确保传输有效率满足要求；完成JAVA平台发布与组态画面绘制，核对测点数据与DCS系统同步，历史曲线可查；最后部署性能计算、耗差分析、越限统计、壁温监测等应用功能并进行整体性能验证。各环节均设置H级质检点，验收标准明确，包括硬件外观与资料完整性、系统运行稳定性、数据采集准确性、功能部署完整性等，确保改造质量可控。施工过程中严格执行电力监控系统安全防护规定，隔离装置配置与网络分区符合规范要求，杜绝因改造引入安全风险。

4.2 应用效果

改造完成后，壁温监测系统实现了一期、二期3台机组锅炉受热面壁温数据的集中接入与统一展示，测点覆盖范围较改造前显著扩大，低低温省煤器与吹灰器监测数据成功接入。壁温数据刷新周期缩短，超温告警响应及时，运行人员可通过单一页面掌握全受热面温度状态，超温事件的发现时间与定位时间均明显减少。超限统计报表功能投用后，超温数据的查询与汇总效率提升，运行分析会可直接调取指定时段的超温统计结果，为运行调整与设备管理提供了可靠的数据支撑。系统整体运行稳定，未出现数据传输中断现象，任意单台机组接口故障不影响其他机组数据上传，达到了预期的改造目标。壁温监测功能与性能计算、耗差分析等模块在同一平台运行，数据共享便利，为机组安全经济运行提供了一体化的信息化技术支撑。

5 锅炉受热面壁温监测数据的工程应用与效益

5.1 对设备寿命管理的支撑

受热面管壁温度是影响管材寿命的关键参数，壁温监测数据的完善为设备寿命管理提供了量化依据。通过长期积累的壁温历史数据，可统计各管段的超温频次、累计超温时长与最高温度，结合材料蠕变特性曲线评估管材剩余寿命，为检修周期调整与换管决策提供数据支撑。对于频繁超温的管段，可在检修期间重点检查壁厚减薄与组织老化情况，必要时进行更换，避免运行中发生爆管。壁温数据与检修记录关联分析，可验证检修措施的有效性，如吹灰优化后壁温水平是否下降、燃烧调整后温度分布是否均匀，形成监测、分析、处置、验证的设备管理闭环，切实提升设备管理的精细化水平。

5.2 对运行优化的促进作用

壁温监测数据为运行优化提供了直接的反馈信息。运行人员可根据壁温分布情况调整燃烧器摆角、二次风配比与吹灰策略，改善炉膛出口烟温偏差，降低受热面局部超温风险。超温工况下减温水流量的变化与壁温响应的关联分析，可帮助运行人员掌握减温水调节的滞后特性与有效范围，提高温度调节的精准度。耗差分析模块结合壁温数据，可定量评估超温对机组热耗率与供电煤耗的影响，使运行人员在安全性与经济性之间做出合理权衡。长期运行数据的统计分析还可识别不同负荷、不同煤质下的壁温分布规律，为制定标准化运行操作卡提供依据，促进机组运行水平的持续提升。

6 结束语

结合芜湖某公司一期SIS系统改造工程，针对原有壁温监测系统在数据采集、传输存储、应用功能等方面存在的不足，本文提出系统化优化方案，构建包含实时分级告警、超限统计分析、预警闭环管理的异常预警机制。工程实践表明，改造后系统数据完整、告警及时、分析手段丰富，均可有效提升机组受热面安全监控水平与运行经济性。未来可进一步引入数据挖掘与智能算法，基于历史壁温数据建立超温预测模型，实现从被动告警向主动预判的升级。

参考文献：

[1] 郭云峰.350MW机组深度调峰对壁温的影响分析[J].电子技术,2026,55(03):286-287.

[2] 薛晓波,苏醒,焦世荣,等.基于风粉监控系统调控锅炉受热面壁温分布的方法及其应用[J].工业加热,2025,54(11):17-21,25.

[3] 魏铭毅.电站锅炉高温受热面壁温在线监测系统研究[J].电力设备管理,2025(01):114-116.

[4] 张向宇,郑树,周强,等.锅炉受热面壁温分布直接监测实验研究[J].华中科技大学学报(自然科学版),2024,52(01):8-13.

[5] 刘建军.基于神经网络的电站锅炉炉内高温受热面壁温在线监测研究[D].上海:上海交通大学,2023.