

电厂供热管道检修与维护技术研究

冯 尧

华电新疆发电有限公司乌鲁木齐分公司 新疆 乌鲁木齐 830000

摘 要：电厂供热管道作为能源传输的关键设施，其检修与维护技术需结合现代管理理念和智能监测手段进行系统性优化。从检修流程、维护要点、关键技术和策略优化等方面进行分析：检修技术流程优化，标准化检修流程。投运前需完成全面检查，包括支架完整性、阀门灵活性测试，并执行分段暖管操作。暖管时应通过主阀微启方式排除管道内冷凝水，避免水击现象。运行中采用质调节、量调节及间歇调节相结合的方式，通过分配阀门开度或循环水泵流量控制温度，同时在高温管道设置蠕变监测段，定期测量形变量。

关键词：电厂；供热管道；检修；维护技术

在电力企业运行中，对其热控保护装置进行及时检修和科学维护是其稳定运行的重要保障，相关单位必须对其加强重视，优化供电系统，及时处理设备运行故障，使系统运行效果得到有效提升，保证其稳定运行。

1 电厂供热管道维护技术

1.1 全生命周期维护体系。标准化维护流程。投运前验证。完成管道支架应力测试（误差 $\leq 3\%$ 设计值），执行分段暖管操作时主阀开启幅度控制在15%-20%，确保冷凝水完全排出。运行期监测。采用质调节（供水温度 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 精度）与量调节（循环水量误差 $\leq 5\%$ ）联控技术，高温段每500m设置蠕变监测点（形变速率 $\geq 0.75 \times 10^{-7} \text{mm/h}$ 触发预警）。故障应急处理。应用在线修复装置快速处理泄漏：液压传动机构最大输出压力达25MPa，修复贴片耐温等级覆盖150-350 $^{\circ}\text{C}$ 工况，可在30分钟内完成直径 $\leq 50\text{mm}$ 泄漏点封堵。

1.2 核心维护技术。防腐防垢技术。复合防腐体系。采用三层PE防腐结构（底层环氧粉末 $\geq 200\mu\text{m}$ ，中间胶粘剂层 $\geq 170\mu\text{m}$ ，外层聚乙烯 $\geq 3\text{mm}$ ），配套牺牲阳极保护装置（保护电位稳定在-0.85~-1.2V）。智能除垢方案。使用电磁脉冲除垢仪（频率20-50kHz可调），相比传统酸洗节能40%，年维护成本降低25%。智能诊断系统。集成光纤测温（精度 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ）、声波检漏（定位精度 $\pm 0.5\text{m}$ ）等模块。机器学习模型实现故障预测（准确率 $\geq 92\%$ ），提前3-6个月预警金属疲劳失效。预测性维护。构建管道剩余寿命评估模型，结合金相分析（石墨化等级 > 3 级需更换）与蠕变数据，检修周期精确至 ± 500 运行小时。季节适应性管理。冬季重点执行电伴热系统检测（绝缘电阻 $\geq 10\text{M}\Omega$ ），夏季集中实施管网升级改造。

2 电厂供热管道运行前运行期间停运后维护

2.1 运行前维护。系统验证与调试。完成管道支架应

力测试，误差不超过设计值的3%，主阀开启幅度控制在15%-20%进行暖管操作，确保冷凝水完全排出。执行分段冲洗流程，使用净水冲洗管道并清洗除污器，处理后水质需符合PH值6.5-8.5的标准。设备状态确认。检查锅炉及附属机电设备油封状态，对换热器进行排气操作，防止气蚀损坏设备。验证循环泵无水启动保护功能，测试补水泵出口压力与扬程匹配度，偏差需 $\leq 5\%$ 。

2.2 运行期间维护。动态监测与调节。采用质/量调节联控技术：质调节控制供水温度波动 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，量调节确保循环水量误差 $\leq 5\%$ 。高温段每500m设置蠕变监测点，形变速率超过 $0.75 \times 10^{-7} \text{mm/h}$ 时触发预警。日常巡检规范。每日至少全面巡检1次，雨季或新投运管道增加至每日2-3次，重点检查：管道及阀门泄漏情况。法兰连接处密封性（扭矩值需满足GB/T 9124标准）。管沟积水深度（超过10cm需立即抽排）。故障应急处理。泄漏点封堵：使用耐温350 $^{\circ}\text{C}$ 的修复贴片配合25MPa液压装置，30分钟内完成直径 $\leq 50\text{mm}$ 泄漏修复。换热器堵塞处理：压损增加超过设计值20%时，立即拆卸进行化学清洗+高压水射流物理除垢。

2.3 停运后维护。系统维保操作。热水管道停运后保留处理水湿保养，蒸汽管道需彻底排水并保持泄水阀开启。关闭用户端供回水主阀门并进行气密性测试，泄漏率需 $\leq 0.1\%$ 系统容积/24h。关键设备维护。腐蚀管段更换标准：三级以上石墨化管段、壁厚减薄量超过原始值25%的管段强制更换。锅炉维护：执行打碱清灰工艺，炉膛积灰厚度需控制 $\leq 3\text{mm}$ 。维护优化建议。智能化升级：集成光纤测温（ $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 精度）与声波检漏系统（ $\pm 0.5\text{m}$ 定位），实现故障预测准确率 $\geq 92\%$ 。档案管理：建立包含金属探伤报告、维修记录等信息的管道健康档案，10年以上管道检测频率提高50%。

3 电厂供热管道防垢防腐措施

3.1 防垢技术体系。水质优化控制。安装软水设备控制钙镁离子含量 $< 50\text{mg/L}$ ，循环水中添加羧基乙叉二膦酸（HEDP）等阻垢剂，螯合钙离子抑制碳酸钙结晶。闭式循环系统配置自动排气阀，溶解氧浓度控制在 0.1mg/L 以下，减少氧化腐蚀风险。物理化学协同除垢。化学清洗：采用酸性清洗剂溶解硬垢（pH值控制在3-4区间），配合高压水射流（压力 $\geq 35\text{MPa}$ ）物理剥离顽固结垢层。电磁脉冲除垢：频率20-50kHz可调，通过高频振荡破坏晶格结构，相较传统酸洗节能40%。系统设计优化。管道布局采用大曲率弯头（ $R \geq 3D$ ）减少涡流，流速控制在1.5-2.5m/s区间防止滞留结垢。安装在线悬浮物监测装置，颗粒物浓度 $> 30\text{mg/L}$ 时触发自动排污。环境适应性防护。架空管道外设铝箔防潮层，地沟敷设管道设置排水坡度 $\geq 3\text{‰}$ ，沟内湿度控制 $\leq 60\%$ 。冬夏两季分别执行电伴热系统绝缘检测（电阻 $\geq 10\text{M}\Omega$ ）和防腐层破损点修复。智能监测维护。集成光纤声波双模传感器，实时监测壁厚减薄量（精度 $\pm 0.1\text{mm}$ ）和涂层破损位置（定位误差 $\leq 0.5\text{m}$ ）。建立腐蚀速率预测模型，三级以上石墨化或壁厚损失 $> 25\%$ 管段自动生成更换工单。

3.2 电厂供热管道质调节量调节间歇调节方式。质调节（质调整）。核心原理。通过改变供水温度调节供热量，保持循环流量恒定。实施要点。调节热源燃烧强度或换热器效率，实现供水温度 $\pm 2^\circ\text{C}$ 精度控制。适用于水力工况稳定的管网系统，可维持管网压力平衡，降低水泵能耗。典型应用。二次管网调节（如用户末端换热站）。严寒期连续供热场景。量调节（量调整）。技术特征。固定供水温度，通过变频水泵或阀门开度调整循环水量。关键操作。循环水量误差控制 $\leq 5\%$ ，避免局部水力失调。需配套水力平衡阀组，防止远端用户流量不足。适用场景。负荷波动较大的工业供热系统。多热源联网运行工况。间歇调节（时间调节）。调节机制。保持供水温度和流量不变，通过分时启停系统实现热量调控。实施规范。初寒/末寒期每日运行时长调整幅度 ≤ 8 小时。每次启停间隔 ≥ 2 小时，减少热应力对管道的损伤。

4 电厂供热管道检修方法

4.1 运行前检修。系统预检。执行全线断电检查，确认配电系统完全断电并挂牌上锁，重点检测高压开关柜与变频器回路绝缘电阻 $\geq 10\text{M}\Omega$ 。启动前进行分段暖管操作：主阀开启幅度控制在15%-20%，暖管时间按每100m管长 ≥ 15 分钟计算，疏水阀保持全开至排出干蒸汽。设备功能验证。联动测试循环泵与补水泵控制逻辑，验证无水启动保护功能，补水泵出口压力与扬程偏

差 $\leq 5\%$ 。检查补偿器预拉伸量（轴向补偿器预留量 $\geq$ 设计值30%），确认导向支架活动间隙 $\geq 5\text{mm}$ 。

4.2 运行期间检修。动态监测维护。高温段（ $\geq 350^\circ\text{C}$ ）每500m设置蠕变监测点，形变速率超过 $0.75 \times 10^{-7}\text{mm/h}$ 时启动专项评估。每周使用红外热像仪扫描管道保温层，表面温差 $> 15^\circ\text{C}$ 区域需开孔检测闭孔率（标准 $\geq 90\%$ ）。停运后检修。重点设备维保。锅炉系统：清除水冷壁积灰（厚度 $\leq 3\text{mm}$ ），锅筒内投加联氨保护剂（浓度200-300mg/L）进行湿法保养。管道系统：执行10MPa水压试验保压20分钟，压降 $\leq 0.05\text{MPa}$ 为合格，更换壁厚减薄量 $> 25\%$ 的管段。防腐专项检查。三层PE防腐层破损修复：采用热熔焊枪修补，搭接宽度 $\geq 100\text{mm}$ ，剥离强度 $\geq 50\text{N/cm}$ 。阴极保护系统检测：牺牲阳极输出电流稳定在10-50mA/m²，保护电位维持-850mV~-1200mV范围。

5 电厂热控保护装置检修方法

5.1 日常巡检要点。电源系统检测。检查UPS供电模块输出稳定性，电压波动范围 $\leq \pm 2\%$ ，重点排查24V直流电源线路接头氧化问题。每周测试冗余电源切换功能，主备电源切换时间 $\leq 50\text{ms}$ ，蓄电池组容量衰减率 $< 10\%/年$ 。传感器与执行机构校验。压力/温度变送器每周进行零点校准，误差 $>$ 量程1%时触发报警并强制标定。电动执行机构行程测试每月1次，开度反馈误差 $> 0.5\%$ 需重新调整电位器。

5.2 定期检修流程。DCS系统维护。执行CPU冗余切换试验，主控制器故障后备用控制器接管时间 $\leq 200\text{ms}$ ，同步偏差 $< 0.1\%$ 。清理控制系统内存碎片，保留历史数据存储空间 $\geq 30\%$ ，通信总线负载率控制在60%以下。抗干扰处理。检测信号电缆屏蔽层接地电阻 $\leq 4\Omega$ ，弱电信号线与动力电缆间距 $> 300\text{mm}$ 。对频率 $> 1\text{MHz}$ 的电磁干扰，加装磁环滤波器衰减 $\geq 20\text{dB}$ 。

5.3 专项检修技术。软件系统维护。组态数据库每季度执行CRC校验，异常数据块强制恢复并比对备份版本。修改逻辑控制程序后需进行72小时空载试运行，累计误动作次数 ≤ 1 次。硬件更换规范。卡件更换执行静电防护（穿戴防静电手环，环境湿度 $\geq 40\%$ ），备用模块上电老化时间 ≥ 48 小时。更换热电偶时补偿导线与分度号匹配度校验误差 $\leq 0.5\%$ 。

6 电厂供热管道智能化维护系统发展趋势

6.1 智能感知层技术升级。全域物联监测覆盖。管道全线部署分布式光纤传感器（灵敏度达 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ ），结合声波阵列泄漏检测技术，实现微小渗漏（ $\leq 0.5\text{L/min}$ ）实时捕捉与位置锁定，定位精度提高至 $\pm 1\text{m}$ 。压力/温度

变送器集成自校准功能,零点漂移误差自动修正幅度 $\leq 0.3\%$,运行数据采集频率提升至10Hz级。非接触式检测设备应用。搭载激光诱导击穿光谱(LIBS)技术的巡检机器人,实现管壁金属元素衰减检测分辨率达0.01mm,同步生成三维腐蚀图谱。

6.2 数据驱动分析与决策优化。数字孪生建模深化。构建供热管网全要素数字孪生体,集成流体力学仿真引擎(精度误差 $\leq 2\%$),动态模拟极端工况下应力分布,指导维保策略优化。机器学习算法迭代预测管道剩余寿命,裂纹扩展预测模型(误差率 $\leq 15\%$)与碳钢石墨化评估体系实现融合应用。动态调控策略突破。基于气象数据与用户热需求预测的“源-网-荷联动”算法,供热负荷匹配度提升至95%以上,管网水力失衡率压缩至3%以内。

6.3 人机交互与自主控制。AR辅助运维系统。通过增强现实眼镜实现管线隐藏缺陷可视化标注(精度 $\pm 2\text{mm}$),维修指令自动叠加至现场视野,人工误操作率降低70%。语音指令控制系统嵌入设备维护手册,故障代码即时解析响应时间 ≤ 3 秒。自适应调节装置普及。智能电动调节阀采用PID-FUZZY算法,流量调节响应时间缩短至8秒内,压差控制精度达 $\pm 0.5\text{kPa}$ 。

6.4 绿色低碳技术融合。多能互补运行模式。耦合熔盐储热系统(储热密度 $\geq 800\text{MJ/m}^3$)与电极锅炉,实现低谷电制热占比提升至40%,碳排放强度降低25%。地理管网增设相变材料层(相变温度可调范围50-90℃),热

能储存效率提升至85%。环保修复技术迭代。推广紫外光固化内衬修复工艺(修复层厚度偏差 $\leq 1\text{mm}$),修复后管道粗糙度系数降至0.008以下,输送能耗减少18%。

6.5 标准化与生态协同发展。全生命周期管理平台。基于KKS编码体系建立设备数字档案库,检修工单自动关联历史故障数据,维护决策效率提升50%。区块链技术实现碳排放数据可信存证,碳足迹追溯响应时间缩短至5分钟。模块化预制技术推广。标准化预制管段采用法兰快装结构,现场施工周期缩短60%,焊缝合格率提升至99.5%。

总之,电厂在使用热控保护装置时,需要加强系统检查工作,科学引进先进技术,强化设备维护工作,合理构建维护管理制度,并对其进行科学完善,提升维修人员素质,使其对热控保护装置进行有效的检修,提升其维护效果,保证电厂工作的有序运行,推进现代电力企业发展。

参考文献

- [1]朱浩宇.探究火力发电厂热控保护装置的检修和维护措施.2022.
- [2]段海英.王海洋,等.电厂供热管道检修与维护技术探讨.2023.
- [3]刘静优.张海云,李桂林,等.火力发电厂热控保护装置的检修和维护措施探讨.2023.