

# 高炉配管软水系统常见故障诊断流程与应急操作技术研究

王志岩 刘国辉

包钢钢联股份炼铁厂 内蒙 包头 014010

**摘要:** 本文聚焦高炉配管软水系统, 阐述其结构组成与闭环循环冷却工作原理。分析了常见故障类型, 涵盖水质异常、机械故障、控制系统故障。随后设计故障诊断流程, 明确诊断原则、分步流程及工具方法。还研究应急操作技术, 提出分级应急策略、关键操作步骤与应急资源保障。旨在通过科学诊断与应急操作, 降低故障影响, 保障高炉安全稳定运行, 为相关领域提供理论与实践参考。

**关键词:** 高炉配管软水系统; 故障诊断流程; 应急操作技术

引言: 高炉配管软水系统对高炉安全稳定运行至关重要, 其作用是高炉高温部位提供可靠冷却保护。在实际运行过程中, 该系统易受多种因素影响, 出现各类故障, 如水质异常、机械故障、控制系统故障等。这些故障若未及时有效处理, 会严重影响高炉生产, 甚至引发重大事故。因此, 深入研究高炉配管软水系统常见故障诊断流程与应急操作技术, 具有迫切的现实意义和重要的应用价值。

## 1 高炉配管软水系统结构与工作原理

### 1.1 系统组成

高炉配管软水系统由核心设备、辅助装置及连接管路三大部分构成。核心设备包括软水制备装置(离子交换器、反渗透设备等)、循环水泵组(通常采用一用一备或多用一备配置, 确保不间断供水)、膨胀水箱(用于平衡系统压力、补偿软水膨胀量)、板式换热器(实现软水与冷却水的热量交换); 辅助装置涵盖水质监测仪表(电导率仪、pH计、硬度检测仪等)、过滤装置(精密过滤器、旁滤器)、加药系统(投加缓蚀剂、阻垢剂)、安全阀与泄压阀; 连接管路包括主循环管道、分支配管、阀门组件(截止阀、止回阀、调节阀), 管道材质多采用不锈钢或碳钢衬塑, 以抵抗软水腐蚀并减少结垢<sup>[1]</sup>。各组件通过合理布局与管路连接, 形成闭环循环系统, 确保软水稳定输送至高炉各冷却部位。

### 1.2 工作原理

高炉配管软水系统采用闭环循环冷却模式, 其工作流程围绕“软化-输送-冷却-回流-再处理”的核心逻辑展开。首先, 原水经软水制备装置去除钙、镁离子及杂质, 达到工业软水标准(硬度 $\leq 0.03\text{mmol/L}$ ), 避免循环过程中产生结垢堵塞管路; 随后, 软化水在循环水泵的驱动力作用下, 通过主管道及分支配管输送至高炉冷却壁、风口大套等高温部件的冷却通道, 与高温设备进

行热量交换, 吸收热量后的软水温度升高(通常从 $30^{\circ}\text{C}$ 左右升至 $50^{\circ}\text{C}$ 左右); 升温后的软水经回流管道输送至板式换热器, 与外部冷却水进行二次热量交换, 将温度降至设定值后重新进入循环水泵入口; 同时, 膨胀水箱实时平衡系统压力, 补偿软水在加热过程中的体积膨胀量, 水质监测仪表持续监控软水的电导率、pH值等参数, 加药系统根据监测数据自动投加药剂, 防止管路腐蚀与微生物滋生, 确保整个系统持续稳定运行, 为高炉高温部位提供可靠的冷却保护。

## 2 高炉配管软水系统常见故障类型

### 2.1 水质异常类

水质异常是该系统常见故障, 表现多样, 有软水硬度超标、电导率升高等。软水硬度超标多因软水制备装置失效, 像离子交换树脂饱和、反渗透膜破损, 钙镁离子重入循环系统, 在管路内壁结垢, 降低冷却效率。电导率升高常是系统泄漏, 外界杂质水渗入或加药过量, 增加水中电解质浓度, 加速管路腐蚀。pH值异常会破坏软水腐蚀抑制平衡, 过低酸性增强腐蚀金属, 过高则致药剂沉淀形成二次污染。含氧量超标多因系统密封差, 空气进入引发氧腐蚀。悬浮物超标常因过滤装置堵塞失效, 杂质积累堵塞冷却通道。此类故障若不及时处理, 会加剧管路堵塞与设备腐蚀, 形成恶性循环, 严重影响系统正常运行, 降低设备使用寿命, 增加维修成本。

### 2.2 机械故障类

机械故障主要涉及动力、换热设备及管路组件。循环水泵故障常见有泵体振动超标、流量不足等, 多因叶轮磨损、轴承损坏等, 影响软水循环压力与流量, 造成冷却供水中断。换热器堵塞多因水质不佳结垢或悬浮物沉积, 降低换热效率, 泄漏则引发水质污染。管路破损多在焊缝、弯头等处, 因压力冲击、腐蚀或安装不当, 导致软水泄漏, 系统压力下降、补水量增加<sup>[2]</sup>。阀门失效

包括卡涩、关不严等，多因阀芯磨损、阀杆锈蚀或杂质卡阻，影响管路流量调节与系统切换，严重时冷却回路无法正常运行。

### 2.3 控制系统故障类

控制系统故障影响系统自动化运行与参数调节。监测仪表故障表现为电导率仪等显示不准、无读数或频繁报警，多因传感器老化、校准失效等，影响操作人员判断与自动调节功能。PLC控制系统故障包括程序紊乱、通讯中断等，可能导致循环水泵启停异常、加药系统失控等，使系统无法按设定逻辑运行。执行机构故障涉及加药泵等设备，表现为加药泵不打药、调节阀失灵等，多因电机损坏、管路堵塞等，直接影响系统参数调节与故障响应能力。

## 3 高炉配管软水系统故障诊断流程设计

### 3.1 诊断原则

故障诊断需遵循四大核心原则：一是先易后难原则，优先排查直观、易检测的故障点（如仪表显示、管路泄漏等），再深入分析复杂、隐蔽的问题（如内部结垢、设备内部磨损等），避免盲目拆解设备；二是先现象后本质原则，通过故障表现（如压力下降、温度异常）倒推可能的成因，逐步缩小排查范围，不被表面现象误导；三是先局部后整体原则，先排查故障集中的局部区域，再扩展至整个系统，避免全面停机排查，减少生产影响；四是安全优先原则，诊断过程中需严格遵守安全操作规程，避免在高压、高温状态下直接拆解设备，防止软水泄漏、压力冲击等安全风险，同时确保诊断过程不加剧故障程度。

### 3.2 分步诊断流程

#### 3.2.1 初步判断

初步判断是故障诊断的首步，核心是快速锁定故障大致范围。操作人员先通过中控系统查看实时运行参数，像循环压力、流量等，与历史正常数据对比，找出异常项，如压力骤降、pH值偏离。接着现场巡检，观察有无软水泄漏、设备异响等直观现象，记录故障时间、工况及伴随症状。最后结合参数与现场情况，初步划分故障类型。比如参数显示硬度超标且管路结垢，可初步判断为水质异常故障；水泵振动大且流量不足，可初步锁定为水泵机械故障。初步判断要在故障发生后15-30分钟内完成，为后续详细诊断指明方向，让诊断工作更有针对性，提高故障处理效率。

#### 3.2.2 详细诊断

在初步判断基础上，针对锁定故障类型开展针对性检测，明确具体部位与表现。若为水质异常类，需取样

检测软水多项指标，检查软水制备、过滤、加药装置及系统密封性。若为机械故障类，要对循环水泵拆解检查，检测换热器压差、外观，用压力试验排查管路，拆解检查阀门。若为控制系统故障，要校准或更换异常仪表，检查PLC系统程序、通讯线路，测试执行机构动作，排查电源等问题。详细诊断要借助专业工具，保证数据准确、定位精准，为后续根因分析提供可靠依据，避免因诊断不准确导致故障处理失误，延长故障处理时间<sup>[3]</sup>。

#### 3.2.3 根因分析

根因分析是故障诊断核心，旨在找到根本原因，避免同类故障再发生。先汇总初步与详细诊断结果，梳理故障因果链，如“管路结垢”直接原因是“软水硬度超标”，根本原因可能是“离子交换树脂未及时再生”。再从人、机、料、法、环五个维度全面分析，“人”看操作是否规范，“机”查设备缺陷老化，“料”审原水水质与药剂质量，“法”评操作规程与维护计划，“环”察运行环境影响。最后用因果分析图等方法明确根本原因，如循环水泵流量不足根本原因是“维护计划缺失，叶轮长期未清理致磨损”。根因分析要全面深入，为故障处理和预防措施制定提供坚实依据。

### 3.3 诊断工具与方法

故障诊断需借助专业工具与科学方法，提高诊断效率与准确性。常用诊断工具包括：水质检测仪器（便携式硬度计、电导率仪、pH计、溶解氧测定仪），用于快速检测水质指标；设备检测工具（振动分析仪、噪音检测仪、压力传感器、流量测试仪），可监测水泵振动、管路压力、流量等参数；拆解与检测工具（扳手、压力表、超声波测厚仪、内窥镜），用于设备拆解、管路壁厚检测及内部结垢、腐蚀情况观察；控制系统检测工具（PLC编程器、万用表、示波器），用于排查控制系统线路、模块故障。常用诊断方法包括：直观法（通过看、听、摸、闻排查表面故障，如观察泄漏、聆听异响）；参数对比法（对比故障前后运行参数、历史正常参数，识别异常变化）；分段排查法（将系统划分为多个单元，逐一隔离检测，锁定故障单元）；故障树分析法（以某一故障为顶事件，构建故障树，逐层分析导致故障的所有可能原因）；专家经验法（结合操作人员与技术人员的实践经验，快速判断常见故障成因）。合理组合使用这些工具与方法，可实现故障的快速、精准诊断。

## 4 高炉配管软水系统应急操作技术研究

### 4.1 分级应急策略

根据故障严重程度、影响范围及可能导致的后果，将应急响应划分为三级：I级应急（一般故障）、II级

应急（较大故障）、Ⅲ级应急（重大故障）。Ⅰ级应急针对局部、轻微故障（如单一仪表失灵、小型管路轻微泄漏、水质指标小幅偏离），影响范围局限于单个设备或局部回路，不影响高炉正常生产，应急响应由现场操作人员主导，采取局部处理措施（如更换仪表、临时封堵堵塞泄漏点、调整加药剂量），无需停机，确保系统整体运行不受影响；Ⅱ级应急针对影响范围较大、冷却效率明显下降的故障（如循环水泵单台失效、换热器堵塞导致水温超标、水质严重异常），可能导致高炉局部冷却不足，需启动备用设备（如备用循环水泵）、切换冷却回路，由车间技术人员组织应急处理，必要时调整高炉负荷，避免故障扩大；Ⅲ级应急针对系统性、致命故障（如多台水泵失效、主管路破裂导致大量泄漏、系统完全无法供水），可能引发高炉高温设备烧损、被迫停产，需立即启动紧急停机程序，由厂级应急指挥部统一指挥，组织人员抢修、隔离故障系统、启用应急冷却方案（如临时应急供水泵），同时协调高炉降负荷或停产，最大限度降低设备损坏与经济损。

#### 4.2 关键操作步骤

应急操作遵循“安全第一、快速响应、科学处置”原则，针对不同故障等级有规范操作步骤：Ⅰ级：现场操作人员发现故障，立即记录现象、时间及参数；用便携式检测工具确认类型，如仪表失灵现场校准、泄漏查找泄漏点；采取针对性措施，如换失灵仪表、用堵漏剂封堵轻微泄漏；持续监测处理效果，参数正常后记录并上报；后续安排计划性维护，彻底解决根源，如换老化管路。Ⅱ级：操作人员发现故障，立即上报车间技术人员并启动备用设备；技术人员到现场检测原因，如检测换热器压差、水质指标；采取切换冷却回路等措施；密切监控高炉冷却部位温度，若效果未改善，协调高炉降负荷；故障排除后，恢复原系统运行，全面检修故障设备。Ⅲ级：立即启动紧急停机预案，上报厂级应急指挥部，切断故障系统电源与管路；启用应急冷却设备，为高炉关键部位临时冷却；组织抢修队伍排查根源；制定抢修方案快速抢修；抢修后进行压力试验等检测，确认正常后恢复循环；评估损失，分析原因，完善预防措施。

#### 4.3 应急资源保障

完善的应急资源保障是确保应急操作顺利实施的基础，需从人员、设备、物资、技术四个方面构建保障体系。人员保障方面，组建专业应急抢修队伍，包括设备维修工、电工、水质处理技术员、高炉操作工等，明确各岗位职责，定期开展应急演练（每年不少于2次），提升团队应急处置能力与协同配合效率；设备保障方面，配备充足的备用设备，包括备用循环水泵、备用换热器、备用监测仪表、应急供水泵等，确保故障时可快速切换启用，同时定期对备用设备进行维护保养，保证其处于良好备用状态<sup>[4]</sup>。物资保障方面，建立应急物资仓库，储备足量的抢修物资、水质处理药剂（缓蚀剂、阻垢剂、软水再生剂）、检测工具（便携式水质检测仪、拆解工具、压力仪表）及安全防护用品，制定物资管理制度，定期检查补充，确保应急时按需取用；技术保障方面，编制详细的应急操作手册，明确各类故障的诊断方法、应急步骤、注意事项，建立技术支持团队，开通应急技术咨询热线，同时建立故障案例库，记录各类故障的处理过程与经验教训，为应急处置提供技术参考。通过全方位的应急资源保障，确保在故障发生时能够快速响应、高效处置，最大限度降低故障对生产的影响。

#### 结束语

高炉配管软水系统的稳定运行是高炉生产的关键保障。本文围绕常见故障诊断流程与应急操作技术展开研究，明确了诊断原则、流程及工具方法，制定了分级应急策略与关键操作步骤，构建了应急资源保障体系。未来，随着技术不断发展，需持续优化诊断与应急方案，提高系统可靠性与稳定性，进一步降低故障对高炉生产的影响，推动钢铁行业高质量发展。

#### 参考文献

- [1]李亚光,净晓星,王旭旦,等.高炉软水密闭循环冷却系统水温调控分析与探讨[J].冶金动力,2024(1):48-51.
- [2]孙康,蒋学健,魏开庆.特大型高炉联合软水密闭循环冷却系统水质达标实践[J].冶金动力,2021(1):64-67.
- [3]孟淑敏,陈凌,王冰,等.高炉本体软水密封循环冷却技术的应用与创新[J].工业炉,2022,44(5):33-36.
- [4]张明.电炉炼钢软水密闭循环冷却水系统的组成及技术改进[J].冶金动力,2024,(04):53-55.