

# 空分设备循环冷却水质的优化与控制

梁燕君

河南安阳钢铁集团动力作业部 河南 安阳 455000

**摘要：**空分设备循环冷却水质直接影响装置运行稳定性与效率。本文针对空分设备对冷却水质的特殊要求，先解析硬度、碱度等关键水质参数对设备性能的影响，再构建涵盖核心与辅助指标的水质控制体系，最后提出药剂选型配比、运行参数调控及智能化监测的综合优化控制路径。研究表明，该体系与路径可有效解决水质恶化引发的腐蚀、结垢等问题，提升冷却系统运行稳定性，为空分设备安全高效运行提供水质保障。

**关键词：**空分设备；循环冷却系统；水质；优化与控制；实施路径

引言：空分设备作为工业生产核心装置，其循环冷却系统承担着热量散发的关键职能，水质优劣是决定系统乃至整机运行效率与寿命的核心因素。当前，水质参数失衡导致的腐蚀、结垢及微生物滋生等问题，常引发设备故障与能耗攀升，制约生产稳定开展。基于此，本文立足空分设备运行实际，围绕水质对设备性能的影响、控制指标体系构建及优化控制实施路径展开研究，旨在形成科学可行的水质优化控制方案，助力提升空分设备运行可靠性与经济性。

## 1 空分设备循环冷却水系统概述

### 1.1 循环冷却水系统的基本构成与工作原理

空分设备循环冷却水系统是保障装置连续稳定运行的核心辅助系统，主要由冷却水泵、冷却塔、换热器、循环管网、补水装置及旁滤设备等关键单元构成，形成闭环循环运行架构。其核心工作原理为通过循环水的强制流动实现热量传递，具体流程为：冷却水泵将低温循环水输送至空分设备的压缩机、精馏塔等核心换热部件，吸收设备运行中产生的多余热量后，高温循环水经管网输送至冷却塔，通过喷淋雾化与空气进行热交换实现降温，降温后的低温循环水再由水泵加压回流至各换热设备，完成一次热量交换循环。

### 1.2 空分设备对循环冷却水质的特殊要求

空分设备运行工况的特殊性决定了其对循环冷却水质存在严苛要求，核心围绕防垢、防腐蚀、防生物黏泥三大核心目标。水质指标方面，要严格控制水的硬度与碱度，避免高温环境下钙镁离子析出形成水垢，堵塞换热器管道并降低换热效率；需精准调控pH值在适宜范围，抑制管网与设备金属部件的腐蚀反应，保障设备结构完整性。同时要严格控制水中悬浮物与微生物含量，防止微生物繁殖产生生物黏泥，避免黏泥与悬浮物结合形成复合污垢，影响换热效果。针对空分设备低温运行

特性，水质需具备良好的低温流动性，避免低温下杂质析出沉积，确保系统换热效率与运行稳定性不受影响<sup>[1]</sup>。

## 2 水质参数对空分设备性能的影响

### 2.1 硬度、碱度、氯离子等关键水质参数解析

在空分设备循环冷却系统中，硬度、碱度、氯离子是决定水质优劣的核心参数。硬度主要取决于水中钙、镁离子含量，直接关联结垢风险；碱度反映水中碳酸氢根、碳酸根等碱性物质浓度，其与硬度的配比失衡会加剧结垢或腐蚀倾向。氯离子则具有强腐蚀性，易破坏设备金属表面钝化膜，尤其在高温高压工况下腐蚀作用更显著。

### 2.2 水质参数变化对空分设备冷却效率的影响

水质参数的波动会直接干扰空分设备冷却效率。当硬度、碱度超标时，易在换热器管壁形成致密垢层，增加传热阻力，降低换热效果，导致设备冷却端温度升高，进而影响空分装置的压缩、精馏效率。若氯离子浓度过高，会加速换热器等关键部件腐蚀，形成蚀坑，破坏换热面完整性，进一步削弱冷却能力。水质参数失衡还会导致循环水换热均匀性下降，引发设备局部过热，影响整体运行效能，增加能耗损失。

### 2.3 水质恶化导致的设备腐蚀、结垢及微生物滋生问题

水质恶化会引发系列设备故障，其中腐蚀、结垢及微生物滋生最为典型。结垢多由硬度与碱度失衡所致，垢层堆积会堵塞管道流通截面，增加泵组负荷，甚至导致换热通道堵塞。腐蚀则主要由氯离子超标、pH值失衡引发，会损伤管网、换热器等金属部件，缩短设备使用寿命，严重时引发泄漏事故。水质管控不当会滋生细菌、真菌等微生物，其代谢产物形成的生物黏泥与污垢、悬浮物结合，不仅加剧结垢与腐蚀，还会降低循环水流量，威胁空分设备的连续安全运行<sup>[2]</sup>。

### 3 循环冷却水质控制核心指标体系构建

#### 3.1 核心控制指标筛选

依据核心控制指标的筛选需立足空分设备循环冷却系统的运行特性与水质管控目标,综合多维度因素确定。(1)适配设备工况需求,结合系统高温、高压的运行环境,优先筛选对换热效率与设备材质影响显著的指标;(2)贴合水质劣化主导因素,聚焦结垢、腐蚀、微生物滋生三大核心问题,筛选能直接反映此类问题的关键指标;(3)兼顾管控可行性,选择监测方法成熟、数据获取便捷的指标,确保指标体系可落地实施;(4)匹配行业规范要求,参考相关工业循环冷却水质标准,结合实际运行经验优化指标类型,形成兼具科学性与实用性的核心控制指标体系。

#### 3.2 pH值与碱度控制标准确定

pH值与碱度的控制标准需围绕防垢与防腐蚀的平衡目标制定。(1)pH值控制标准,结合系统内碳钢、不锈钢等主流材质的腐蚀特性,将循环水pH值控制在7.5-9.0区间,此区间既能抑制酸性介质对金属的腐蚀,又可避免碱性过强导致钙镁离子析出结垢;(2)碱度控制标准,以碳酸氢根碱度为核心管控对象,根据原水硬度与浓缩倍数确定控制范围,一般将碳酸氢根碱度控制在80-150mg/L(以CaCO<sub>3</sub>计),同时控制总碱度与硬度的比值,避免因碱度过高引发结垢风险,确保水质处于稳定的化学平衡状态。

#### 3.3 硬度、浊度及微生物含量控制阈值

硬度、浊度及微生物含量的控制阈值需结合系统运行负荷与水质稳定性要求设定。(1)硬度控制阈值,针对原水硬度偏高的工况,通过软化预处理与循环水浓缩倍数调控,将循环水总硬度控制在 $\leq 350\text{mg/L}$ (以CaCO<sub>3</sub>计),防止高温工况下钙镁碳酸盐结晶析出形成硬垢;(2)浊度控制阈值,为减少悬浮物沉积与污垢形成,将循环水浊度控制在 $\leq 5\text{NTU}$ ,确保换热面清洁度,保障换热效率稳定;(3)微生物含量控制阈值,以异养菌为核心管控对象,将其含量控制在 $\leq 10^5\text{CFU/mL}$ ,同时控制真菌、藻类等其他微生物含量,避免生物黏泥生成与繁殖。

#### 3.4 其他辅助控制指标

辅助控制指标的控制标准需结合其对系统运行的影响程度确定。(1)氯离子控制,考虑到氯离子对不锈钢设备的点蚀风险,将其含量控制在 $\leq 250\text{mg/L}$ ,在系统高负荷运行时段需进一步严格管控,避免氯离子局部富集引发腐蚀;(2)悬浮物控制,除浊度管控外,明确悬浮物含量 $\leq 10\text{mg/L}$ ,通过旁滤系统持续去除水中悬浮物,防止

其在管道与换热设备内沉积;(3)溶解氧控制,针对碳钢设备的腐蚀防护需求,将溶解氧含量控制在合理范围,必要时通过化学除氧或优化运行工况减少溶解氧对设备的腐蚀影响,补充完善指标体系的管控维度<sup>[3]</sup>。

### 4 空分设备循环冷却水质优化控制实施路径

#### 4.1 循环冷却水质优化药剂选型与配比方案

循环冷却水质优化药剂的科学选型与精准配比,是实现防垢、缓蚀、抑菌目标的核心环节,具体实施路径如下:(1)药剂选型适配性把控,结合循环水水质基线数据、设备材质特性及运行工况参数,确定药剂选型方向。阻垢剂优先选用复合型有机膦酸盐类药剂,兼顾对碳酸钙、硫酸钙等常见垢型的抑制效果与水质适应性;缓蚀剂选用唑类与胺类复合剂,适配系统内碳钢、不锈钢等多元材质,提升腐蚀防护的全面性;杀菌剂采用氧化性与非氧化性组合体系,保障对不同菌群的杀灭效果。(2)基础配比参数确定,基于水质硬度、碱度、氯离子含量等核心指标,通过实验室静态试验初步确定各类药剂的基准投加量。针对阻垢剂,根据水质浓缩倍数动态调整投加浓度,确保在不同浓缩工况下均能发挥阻垢作用;缓蚀剂投加量结合水质腐蚀性指标与设备运行负荷确定,建立投加量与腐蚀速率的关联关系;杀菌剂投加量依据微生物含量监测数据设定,明确常规维护与强化处理的不同投加标准。(3)配比方案动态优化,建立药剂效果跟踪评估机制,定期监测水质指标变化与设备腐蚀结垢情况,根据评估结果调整药剂配比。当水质硬度异常升高时,适度增加阻垢剂投加量并优化分散成分比例;当出现轻微腐蚀迹象时,微调缓蚀剂组分占比;当微生物指标波动时,调整杀菌剂投加间隔与两类药剂的配比比例,确保药剂协同作用最大化。(4)药剂投加方式规范,采用自动化计量投加设备,实现药剂投加的精准控制与连续稳定。阻垢剂与缓蚀剂采用同步复合投加模式,确保药剂在水中均匀分散;杀菌剂采用交替投加方式,按设定周期切换氧化性与非氧化性药剂,避免菌群产生耐药性。

#### 4.2 循环冷却系统运行参数优化调控策略

通过优化调控循环冷却系统关键运行参数,可提升水质稳定性与系统运行效率,具体实施路径如下:(1)循环水流量与温度调控,根据空分设备运行负荷动态调整循环水流量,建立负荷与流量的联动调控机制,确保换热设备换热面的水流速度处于合理范围,既保证换热效率,又避免因流速过低导致沉积物附着。同时,通过冷却塔运行参数调整控制循环水温度,优化冷却塔风机运行频率与喷淋强度,结合环境温度变化动态调节,将

循环水进水温度控制在适宜区间,减少温度波动对水质稳定性的影响。(2)补水与排污参数优化,严格控制补水水质,建立补水预处理效果监测机制,确保补水硬度、浊度等指标符合系统进水要求。根据水质浓缩倍数变化动态调整排污量,设定浓缩倍数的合理控制区间,当浓缩倍数超出上限时,加大排污量并同步补充合格新水;当浓缩倍数低于下限,减少排污量以降低水资源消耗,实现水质稳定与节水目标的平衡。(3)旁滤系统运行参数调控,优化旁滤设备运行负荷,根据循环水浊度指标调整旁滤流量,当浊度升高时,提升旁滤运行效率,增加悬浮物去除量;定期检查旁滤设备过滤效果,及时更换滤料,确保旁滤系统对水质的净化作用稳定发挥。同时,结合系统运行工况,合理设定旁滤设备的反冲洗周期与反冲洗强度,避免反冲洗不彻底影响过滤效果,或反冲洗过于频繁增加能耗与水资源浪费。(4)系统压力参数管控,监测并调控循环水系统管网压力,将管网压力维持在设计合理范围,避免因压力过高导致管网泄漏,或压力过低影响远端设备供水稳定性。定期检查管网压力分布情况,对压力异常区域进行排查整改。

#### 4.3 水质优化与控制的智能化监测系统设计构建

智能化监测系统是实现水质精准管控的重要支撑,可实时掌握水质动态并为优化决策提供数据支撑,具体实施路径如下:(1)监测指标与点位布局设计,明确监测指标体系,涵盖硬度、碱度、氯离子、pH值、浊度、微生物等水质核心指标,以及流量、温度、压力等系统运行辅助指标。科学布局监测点位,在原水进水口、循环水出水口、换热器进出口、冷却塔补水口及排污口等关键节点设置监测装置,确保监测数据能够全面反映系统水质状况与运行状态,实现水质变化的全流程跟踪。

(2)监测设备与数据传输搭建,选用高精度在线监测仪器,确保水质指标监测数据的准确性与稳定性,配套安装数据采集模块,通过工业物联网技术实现监测数据的实时传输。建立标准化数据存储数据库,对监测数据进行分类存储与管理,设置数据备份机制,确保数据完整

性与安全性。搭建数据传输安全防护体系,保障数据传输过程中不发生丢失或篡改,为后续数据分析提供可靠数据基础。(3)数据分析与预警机制构建,运用统计分析趋势研判算法,对监测数据进行实时处理与分析,识别水质参数的变化规律与异常波动趋势。根据水质控制标准,设定各指标的预警阈值与超标阈值,建立分级预警机制,当监测数据接近预警阈值时,系统发出提示预警;当数据超出超标阈值时,触发紧急预警,并自动推送预警信息至管控终端与相关责任人。(4)智能联动控制实现,建立监测数据与运维措施的联动机制,将监测系统与药剂投加设备、水泵、冷却塔风机等运行设备实现智能联动。当监测到水质硬度超标时,系统自动指令阻垢剂投加设备增加投加量;当循环水温度异常升高时,自动调节冷却塔风机频率与喷淋强度;当出现严重水质异常时,系统自动触发紧急排污程序并发出停机预警提示,实现水质问题的快速响应与处置<sup>[4]</sup>。

#### 结束语

本文围绕空分设备循环冷却水质优化与控制展开系统研究,通过构建科学的水质控制指标体系,提出药剂、运行参数与智能化监测协同的优化控制路径,有效解决了水质失衡引发的各类运行问题。研究成果贴合工业实际运行需求,可直接为相关企业的空分设备水质管控提供技术指导,显著提升系统运行稳定性与经济性。

#### 参考文献

- [1]何池飞,肖宁,李静,等.循环冷却水电化学处理技术研究进展[J].工业水处理,2022,42(12):26-33.
- [2]周金城,刘江淮,王胜利.空分设备冷却水系统技术改造总结[J].低温与特气,2024,42(3):34-37.
- [3]葛伟伟,庄正杰,程晓城,王钊,张志成,李晨旺.空分设备制冷循环系统密封性研讨[J].低温与特气,2023,41(1):14-17.
- [4]洪坤,于明伦,罗金平,郭媛,池晓锋,刘立军.空分装置中循环冷却水系统的节能优化研究[J].风机技术,2021,63(S01):54-58.