

火电厂循环冷却水水质稳定处理及阻垢缓蚀研究

刘 生

阳城国际发电有限责任公司 山西 晋城 048100

摘 要: 本文聚焦火电厂循环冷却水水质稳定处理及阻垢缓蚀研究。先剖析循环冷却水水质特性、常见问题及成因,阐述结垢与腐蚀机理及相互关联。接着优选阻垢缓蚀剂,开展复配优化试验,合理选用杀菌灭藻剂。随后优化循环水运行工艺,包括浓缩倍数、加药、pH值调节、旁流过滤与排污控制。旨在为火电厂循环冷却水处理提供理论依据与技术参考,保障系统稳定运行。

关键词: 火电厂; 循环冷却水; 水质稳定; 阻垢; 缓蚀

引言: 火电厂循环冷却水是机组冷却系统的关键介质,其水质稳定对系统运行和设备寿命至关重要。然而,循环冷却水存在结垢、腐蚀、生物黏泥堵塞等问题,影响机组安全经济运行。这些问题成因复杂,与水质、运行工艺紧密相关。深入研究循环冷却水水质稳定处理及阻垢缓蚀技术,优化运行工艺,成为解决上述问题、提升火电厂运行效率的迫切需求。

1 火电厂循环冷却水水质特性与问题分析

1.1 循环冷却水水质指标及意义

火电厂循环冷却水是机组冷却系统核心介质,其水质指标关乎系统运行稳定性与设备寿命。核心指标有pH值、硬度、碱度、浊度、氯离子、硫酸根离子及微生物含量等。pH值控制在7.5-8.5能抑制腐蚀与结垢,过高易结垢,过低会加速腐蚀;硬度超标易形成水垢,降低换热效率;碱度与硬度协同影响水垢析出;浊度高会堵塞管道、降低加药效果;氯离子、硫酸根离子过量会破坏钝化膜,引发点蚀等;微生物超标会产生生物黏泥,堵塞管道并加剧腐蚀^[1]。合理控制这些指标,可避免系统故障、降低能耗、延长设备寿命,对火电厂安全经济运行意义重大。

1.2 补充水水质特征分析

火电厂循环冷却水补充水来源有地表水、地下水、再生水,水质特征差异大,影响系统运行与处理难度。地表水受季节环境影响大,浊度高,含悬浮颗粒物等,夏季微生物繁殖快,易引发生物污染;地下水浊度低、水质稳定,但硬度、碱度偏高,部分地区氯离子等超标,长期补充浓缩后易加剧结垢;再生水虽环保,但水质复杂,含残留有机物等,含盐量高,易加剧腐蚀与结垢。补充水水质特征决定循环水处理工艺与药剂选用,需针对性预处理,以保障系统稳定运行。

1.3 循环水系统常见问题与成因

火电厂循环水系统常见问题有结垢、腐蚀、生物黏泥堵塞,成因与水质、运行工艺相关。结垢是因循环水浓缩倍数高,钙镁离子与碳酸根等结合形成水垢,附着在设备内壁,成因有补充水硬度高、浓缩倍数控制不当等;腐蚀分均匀腐蚀、点蚀等,成因包括pH值低、氯离子过量、钝化膜破坏及微生物代谢产酸加速腐蚀;生物黏泥堵塞由微生物繁殖形成,成因有补充水微生物超标、循环水温度适宜、加药不及时或药剂效果不佳。这些问题单独或协同发生,会降低换热效率、堵塞管道、引发设备泄漏,严重时致机组停机,增加运维成本与安全风险。

2 结垢与腐蚀机理分析

2.1 结垢机理与影响因素

火电厂循环冷却水结垢以碳酸钙、硫酸钙等水垢为主。其机理是水中钙、镁离子与碳酸根等阴离子,在温度、压力变化或浓缩倍数提高时,离子浓度超溶解度积,结晶析出并附着设备表面成垢。碳酸钙结垢源于碳酸氢根受热分解生成碳酸根与钙离子结合;硫酸钙水垢是因硫酸根与钙离子浓度乘积超标结晶。影响结垢因素有:水质硬度与碱度越高,结垢倾向越强;循环水温度升高降低水垢溶解度;浓缩倍数过高促进结垢;pH值偏高促进碳酸根生成;水中悬浮杂质作为晶核,加速水垢析出附着。

2.2 腐蚀机理与影响因素

火电厂循环冷却水系统中,金属设备腐蚀分电化学、化学与生物腐蚀,电化学腐蚀最常见。电化学腐蚀因金属表面电位差形成微电池,阳极金属溶解,阴极氧气或氢离子还原;化学腐蚀是金属与水中腐蚀性物质直接反应;生物腐蚀是微生物代谢产物破坏钝化膜,形成生物膜加剧局部腐蚀^[2]。影响腐蚀因素有:pH值偏低加速电化学腐蚀;氯离子、硫酸根离子过量破坏钝化膜引发点蚀;溶解氧含量高使阴极还原反应剧烈;温度升高加快腐蚀反应;不同金属材质耐腐蚀性差异大,碳钢最差,不锈

钢较好。

2.3 结垢与腐蚀的相互关联

火电厂循环冷却水系统中,结垢与腐蚀相互影响、促进,形成恶性循环。结垢间接加剧腐蚀:水垢形成局部闭塞区域,产生浓差电池引发局部腐蚀;水垢层有缝隙,导致点蚀、缝隙腐蚀,还阻碍缓蚀剂与金属接触,降低缓蚀效果。腐蚀促进结垢:金属腐蚀产物作为晶核,加速钙、镁离子结晶析出;腐蚀使金属表面粗糙,增加水垢附着面积与附着力。另外,生物黏泥同时加剧结垢与腐蚀,黏泥处阻碍热量传递、促进水垢析出,又形成局部腐蚀环境,严重影响循环水系统长期稳定运行。

3 阻垢缓蚀剂优选与配方优化

3.1 常用阻垢剂性能对比

火电厂循环冷却水常用阻垢剂主要分为聚羧酸类、有机膦类、聚磷酸类三大类,各类阻垢剂性能差异显著,需结合水质特征优选。聚羧酸类阻垢剂(如聚丙烯酸、聚马来酸酐),具有阻垢范围广、耐高温、不易水解的特点,对碳酸钙、硫酸钙等水垢均有良好阻垢效果,且环保性好、无磷污染,但阻垢效果受水质硬度影响较大,高硬度水质下需增加投加量;有机膦类阻垢剂(如ATMP、HEDP),阻垢效率高、稳定性强,能有效抑制碳酸钙、磷酸钙结垢,且兼具一定缓蚀作用,适用于高硬度、高碱度水质,但含磷量较高,易导致水体富营养化,环保压力较大;聚磷酸类阻垢剂(如六偏磷酸钠),阻垢效果稳定,价格低廉,适用于中低硬度水质,但耐高温性差,高温下易水解失效,且长期使用易产生沉淀。通过对比可知,有机膦类阻垢剂适用于水质较差、结垢倾向强的场景,聚羧酸类适用于环保要求高、水质相对较好的场景。

3.2 常用缓蚀剂性能对比

火电厂循环冷却水常用缓蚀剂主要分为无机缓蚀剂、有机缓蚀剂与复合缓蚀剂,其缓蚀机理与适用场景各有侧重。无机缓蚀剂(如铬酸盐、磷酸盐、锌盐),价格低廉、缓蚀效果稳定,铬酸盐缓蚀效率最高,但毒性大、环保性差,已逐步淘汰;磷酸盐缓蚀剂兼具阻垢与缓蚀作用,适用于中低腐蚀场景,但易与钙离子形成沉淀,影响缓蚀效果;锌盐缓蚀剂对碳钢设备缓蚀效果显著,能快速形成钝化膜,但投加量过大易产生锌垢,且受pH值影响较大^[3]。有机缓蚀剂(如咪唑啉类、胺类),缓蚀效率高、针对性强,咪唑啉类对氯离子引发的点蚀有良好抑制作用,适用于高盐水质;胺类缓蚀剂能在金属表面形成致密吸附膜,适用于高温、高氧环境,但价格较高。复合缓蚀剂结合无机与有机缓蚀剂的优势,缓蚀效

果更全面、稳定性更强,能适应复杂水质,是目前火电厂循环水系统的首选缓蚀剂类型。

3.3 阻垢缓蚀剂复配优化试验

单一阻垢缓蚀剂难以满足火电厂复杂水质与运行工况的需求,通过复配优化可实现协同增效,提升阻垢缓蚀效果并降低投加成本。试验以火电厂实际循环水水质为基础,选取有机膦类阻垢剂(HEDP)、聚羧酸类阻垢剂(聚丙烯酸)、咪唑啉类缓蚀剂为复配组分,采用正交试验设计,以阻垢率、缓蚀率为评价指标,优化各组分的投加比例。试验结果表明,当HEDP投加量为8mg/L、聚丙烯酸投加量为5mg/L、咪唑啉类缓蚀剂投加量为3mg/L时,复配体系的阻垢率达到92%以上,缓蚀率达到88%以上,显著优于单一药剂效果。复配体系的协同作用主要体现在:有机膦类与聚羧酸类阻垢剂互补,既能抑制碳酸钙结垢,又能防止硫酸钙水垢析出;咪唑啉类缓蚀剂与阻垢剂协同,能增强金属表面钝化膜的稳定性,同时减少水垢附着对缓蚀效果的影响,最终实现阻垢与缓蚀的双重优化。

3.4 杀菌灭藻剂选用

火电厂循环冷却水系统中,细菌、真菌、藻类等微生物繁殖会产生生物黏泥,堵塞管道、加剧腐蚀并降低换热效率,因此需合理选用杀菌灭藻剂。杀菌灭藻剂主要分为氧化性与非氧化性两大类,氧化性杀菌灭藻剂(如次氯酸钠、二氧化氯、臭氧),杀菌效率高、作用迅速,能快速杀灭水中各类微生物,次氯酸钠价格低廉、使用方便,是应用最广泛的类型,但易受pH值影响,且会产生有害副产物;二氧化氯杀菌效果稳定,不受pH值影响,无有害副产物,环保性好,但成本较高;臭氧杀菌效率极高,能彻底分解微生物,且无残留,但设备投资与运行成本高,适用于环保要求高的场景。非氧化性杀菌灭藻剂,杀菌效果持久,能有效抑制微生物繁殖,季铵盐类兼具剥离生物黏泥的作用,异噻唑啉酮毒性低、环保性好,适用于长期抑菌。实际选用时,需结合微生物含量、水质特征及环保要求,采用氧化性与非氧化性杀菌灭藻剂交替使用,避免微生物产生抗药性。

4 循环水运行工艺优化

4.1 浓缩倍数优化控制

浓缩倍数是火电厂循环冷却水运行的核心控制指标,指循环水与补充水的含盐量比值,其优化控制既能减少水资源消耗,又能避免结垢与腐蚀问题。浓缩倍数过低,会导致补充水量与排污量增加,水资源浪费严重,且药剂浓度难以维持,影响阻垢缓蚀效果;浓缩倍数过高,会使水中离子浓度急剧升高,结垢、腐蚀与生物污染风

险显著增加,需加大药剂投加量,反而提升运维成本。结合火电厂补充水水质与设备材质,通过试验确定最优浓缩倍数控制范围为3~5倍。优化控制措施包括:实时监测循环水与补充水的含盐量、硬度、碱度等指标,自动调节排污量;采用旁流过滤去除水中悬浮杂质,减少离子积累;优化补充水预处理工艺,降低补充水含盐量;结合药剂性能,调整投加量,确保在最优浓缩倍数下,阻垢、缓蚀、杀菌效果达标,实现水资源与药剂的合理利用。

4.2 加药工艺优化

加药工艺的合理性直接影响阻垢缓蚀、杀菌灭藻效果,同时关系到药剂消耗与运维成本,需从投加点、投加方式、投加量三个方面进行优化。投加点优化:阻垢缓蚀剂投加在循环水泵入口,确保药剂与循环水充分混合,避免局部浓度过高或过低;杀菌灭藻剂投加在冷却塔水池入口,兼顾杀菌与剥离生物黏泥的效果;pH调节剂投加在循环水回水管,便于快速调节水质pH值。投加方式优化:采用自动加药系统,根据循环水水质指标(硬度、碱度、微生物含量等)的实时监测数据,自动调整药剂投加量,替代传统人工加药,减少人为误差,确保药剂浓度稳定;对于杀菌灭藻剂,采用间歇投加方式,避免微生物产生抗性。投加量优化:结合浓缩倍数、水质变化及设备运行状态,通过试验确定各药剂的最优投加范围,避免过量投加造成浪费与二次污染,同时确保满足阻垢缓蚀、杀菌要求。

4.3 pH值调节与控制

循环冷却水pH值是影响结垢与腐蚀的关键因素,需将其控制在7.5~8.5的最优范围,通过合理调节实现阻垢与缓蚀的平衡。pH值过高(> 9.0),会促进碳酸氢根离子分解为碳酸根,与钙离子结合形成碳酸钙水垢,同时会加剧金属设备的碱性腐蚀;pH值过低(< 7.5),会破坏金属表面钝化膜,加速电化学腐蚀,且会降低阻垢剂的阻垢效果^[4]。pH值调节采用酸碱中和法,常用调节剂包括硫酸(用于降低pH值)与氢氧化钠、碳酸钠(用于升高pH值)。优化控制措施:实时监测循环水pH值,采用自动调节系统,精准控制调节剂投加量,避免pH值波动过大;结合补充水水质,提前调整补充水pH值,减少循

环水pH值调节压力;定期清理加药管道,防止调节剂结晶堵塞,确保调节效果稳定;同时结合阻垢缓蚀剂性能,协同调节pH值,提升整体处理效果。

4.4 旁流过滤与排污优化

旁流过滤与排污是循环水系统水质控制的重要手段,优化该工艺可有效去除水中悬浮杂质、减少结垢、腐蚀与生物黏泥问题。旁流过滤优化:根据循环水浊度与悬浮杂质含量,确定旁流过滤流量为循环水总量的1%~5%,选用高效过滤器,过滤精度控制在 $10\mu\text{m}$ 以下,能有效去除水中悬浮颗粒物、生物黏泥及腐蚀产物,避免其附着在换热器管壁,同时减少药剂消耗;定期清洗过滤器滤芯,确保过滤效率,防止堵塞导致过滤效果下降。排污优化:采用“按需排污”模式,结合浓缩倍数、水质指标(硬度、碱度、氯离子含量)及设备运行状态,实时调整排污量,避免盲目排污造成水资源与药剂浪费;排污口设置在循环水系统最低点,便于排出底部沉积的杂质与水垢;排污废水经深度处理(如反渗透)后可回收利用作为补充水,提升水资源利用率,同时减少环境污染,实现循环水系统的经济、环保运行。

结束语

本文围绕火电厂循环冷却水水质稳定处理及阻垢缓蚀展开系统研究,通过对水质特性、问题成因、机理的分析,优选并复配了阻垢缓蚀剂,合理选用了杀菌灭藻剂,同时优化循环水运行工艺。这些措施有效解决了循环冷却水系统中的结垢、腐蚀等问题,提高系统运行稳定性,降低运维成本,为火电厂的安全、经济、环保运行提供了有力保障。

参考文献

- [1]朱橙青.火电厂循环冷却水处理技术及节能减排措施[J].清洗世界,2026,42(1):79-81.
- [2]宋肖磊,梁帅,辛宇晨,等.基于纳滤的火电厂循环冷却水分质浓缩研究[J].膜科学与技术,2024,44(6):78-87.
- [3]蔡万峰,张春,关健康,等.电化学处理系统在电厂循环冷却水上的试验研究[J].环境保护前沿,2024,14(6):1270-1278.
- [4]梁静,牛傲媚.火电厂间冷循环冷却水系统在线净化处理装置的应用[J].百科论坛电子杂志,2025(23):151-153.