

火电厂凝结水精处理系统运行问题及改进对策

梅喜君

国能宝清煤电化有限公司 黑龙江 双鸭山 155600

摘要: 火电厂凝结水精处理系统对保障热力系统安全运行至关重要。本文概述系统组成、功能及关键指标,深入分析设备故障、水质超标、运行管理问题及成因,包括设计缺陷、水质特性复杂、管理执行不到位等。针对这些问题,提出设备优化、水质强化控制、运行管理提升等改进对策,通过结构改造、源头监测、制度完善等措施,提升系统稳定性与水质净化效果,为火电厂安全经济运行提供保障。

关键词: 火电厂; 凝结水精处理系统; 运行问题; 改进对策

引言: 火电厂作为能源供应核心,其热力系统安全稳定运行依赖高质量凝结水。凝结水精处理系统作为关键环节,通过物理拦截与离子交换,去除水中杂质与溶解盐类,防止汽轮机积盐与设备腐蚀。然而,受设备设计、水质特性及运行管理等因素影响,系统常出现设备故障、水质超标等问题,威胁机组安全。本文系统分析运行问题及成因,提出针对性改进对策,对提升火电厂运行效率与可靠性具有重要意义。

1 火电厂凝结水精处理系统概述

1.1 系统组成与工作流程

火电厂凝结水精处理系统主要由前置过滤器、高速混床、树脂捕捉器及体外再生系统组成。前置过滤器多采用管式结构,滤元精度可达 $5\mu\text{m}$,通过物理拦截去除凝结水中粒径较大的悬浮物、腐蚀产物及油类物质,延长后续设备运行周期。高速混床采用球形压力容器,内置强酸阳树脂与强碱阴树脂按1:1比例混合,通过离子交换去除水中溶解盐类及胶体硅。树脂捕捉器安装于混床出口,拦截破碎树脂颗粒,防止其进入热力系统。体外再生系统包括分离塔、阴塔、阳塔及配套酸碱设备,失效树脂输送至分离塔后,经空气擦洗、反洗分层,阴树脂送入阴塔碱再生,阳树脂送入阳塔酸再生,再生后树脂混合备用。系统工作流程为:凝结水泵出口凝结水依次流经前置过滤器、高速混床、树脂捕捉器,处理后水质达标后进入低压加热器,最终汇入除氧器;混床失效树脂通过水力输送至再生系统,完成再生后重新投入运行。

1.2 系统的主要功能与作用

凝结水精处理系统是保障火电厂热力系统安全运行的核心设备,其核心功能包括:(1)水质净化:连续去除凝结水中腐蚀产物(如铁、铜氧化物)、悬浮物及溶解胶体硅,防止汽轮机通流部分积盐,确保汽水品质符合标准。例如,超临界机组要求出水氢电导率 $\leq 0.10\mu\text{S}/$

cm ,二氧化硅 $\leq 10\mu\text{g}/\text{L}$ 。(2)泄漏缓冲:凝汽器微漏时,系统可去除漏入的盐分及悬浮物,为查漏堵漏争取时间;严重泄漏时,保障机组按程序停机,避免设备损坏^[1]。(3)启动支持:机组启动阶段,系统通过前置过滤器快速降低凝结水含铁量,缩短水汽品质达标时间,减少除盐水消耗。例如,600MW机组启动时,仅投入前置过滤器即可使含铁量从 $1000\mu\text{g}/\text{L}$ 降至 $50\mu\text{g}/\text{L}$ 以下。(4)补给水净化:去除锅炉补给水处理装置异常时带入的悬浮物及溶解盐,防止二次污染。(5)节能降耗:通过提高给水品质,减少锅炉排污量及热损失,降低机组运行成本。

1.3 系统运行的关键指标

系统运行需严格监控以下关键指标以确保处理效果;入口水质:凝结水入口压力通常为 $2.8\sim 3.5\text{MPa}$,温度 $\leq 50^\circ\text{C}$,凝泵出口氢电导率 < 0.2 ,系统压差 $\leq 350\text{kPa}$ 。若入口水质超标,需调整运行参数或启动旁路。出水水质:正常运行时,出水氢电导率 $\leq 0.15\mu\text{S}/\text{cm}$ (超临界机组 $\leq 0.10\mu\text{S}/\text{cm}$),二氧化硅 $\leq 15\mu\text{g}/\text{L}$,钠离子 $\leq 5\mu\text{g}/\text{L}$,铁离子 $\leq 5\mu\text{g}/\text{L}$ 。例如,某百万千瓦机组要求出水钠含量 $\leq 2\mu\text{g}/\text{L}$,以确保汽轮机叶片无盐垢沉积。树脂性能:阳树脂工作交换容量 $\geq 1600\text{mol}/\text{m}^3$,机械强度(破碎力) $\geq 140\text{N}/\text{颗}$;阴树脂再生度 $\geq 95\%$,交叉污染率(阴中阳) $\leq 0.07\%$ 。再生效率:树脂分离塔需实现阴阳树脂彻底分离,交叉污染率(阳中阴) $\leq 0.1\%$;再生剂纯度(NaOH)需含 $\text{NaCl} \leq 50\text{ppm}$,以减少再生副产物。运行周期:高速混床制水量通常为 $100\sim 120\text{万t}$,运行流速控制在 $100\sim 120\text{m}/\text{h}$,避免因流速过高导致树脂磨损或偏流。压差控制:前置过滤器进出口压差 $\geq 0.15\text{MPa}$ 时需反洗,混床进出口压差 $\geq 0.35\text{MPa}$ 时需再生,防止设备堵塞或损坏。

2 火电厂凝结水精处理系统运行问题分析

2.1 设备故障问题

火电厂凝结水精处理系统设备故障主要集中在高速混床、前置过滤器及再生系统。高速混床常见故障包括树脂泄漏、内部衬胶脱落及进水装置损坏。树脂泄漏多因树脂捕捉器滤网破损或混床内部水帽松动导致,泄漏的树脂进入热力系统可能堵塞汽轮机喷嘴,引发安全隐患;衬胶脱落则与树脂再生时酸碱浓度超标或温度波动有关,脱落的衬胶碎片会污染树脂,降低处理效果。前置过滤器故障以滤元堵塞为主,长期运行后,滤元表面沉积的铁氧化物、油污等杂质导致压差升高,若未及时反洗或更换滤元,可能引发过滤器旁路门误开,使未处理凝结水直接进入系统。再生系统故障表现为树脂分离不彻底、再生剂输送管道泄漏等,分离塔空气擦洗强度不足或反洗分层时间过短,会导致阴阳树脂交叉污染,再生后树脂交换容量下降,影响出水水质^[2]。

2.2 水质问题

水质问题主要表现为出水氢电导率、二氧化硅及钠离子超标。氢电导率超标通常与再生剂纯度不足或树脂再生度低有关,若再生用酸碱中含金属离子(如 Na^+ 、 Fe^{3+}),再生后树脂会残留杂质,运行中逐步释放导致出水电导率升高;树脂再生度不足则因再生剂用量不足或再生时间不够,使树脂未完全恢复交换能力。二氧化硅超标多因阴树脂再生效果差,硅酸根离子未被彻底去除,尤其在高温高pH条件下,硅酸盐易转化为胶体硅,增加去除难度。钠离子超标主要源于凝汽器泄漏或阳树脂交叉污染,泄漏的冷却水(含 Na^+)进入凝结水系统,若混床中阴树脂被阳树脂污染,会降低对钠离子的去除效率。另外,系统停运期间树脂保管不当(如未采用除盐水浸泡)也可能导致微生物滋生,产生有机酸,恶化水质。

2.3 运行管理问题

运行管理问题涵盖制度执行、人员技能及监控手段三方面。制度执行方面,部分电厂存在操作规程不完善或执行不严格现象,如再生剂配制未按标准浓度控制、混床再生后未充分冲洗即投入运行,导致出水水质波动;设备巡检周期过长,未能及时发现滤元堵塞、树脂泄漏等隐患,可能引发设备损坏或水质事故。人员技能方面,部分运行人员对系统原理理解不深,缺乏故障诊断能力,例如误将树脂泄漏判断为滤元破损,延误处理时机;对再生工艺参数(如酸碱浓度、温度、时间)控制不精准,影响再生效果。监控手段方面,部分电厂仍依赖人工取样分析,无法实时监测水质变化,若凝结水水质突然恶化(如凝汽器泄漏),难以及时调整运行方式;此外,对设备运行数据(如压差、流量)分析不足,未能通过趋势预测提前发现潜在故障,导致非计划停运增加,影响

机组可靠性。

3 火电厂凝结水精处理系统运行问题产生的原因

3.1 设备设计与制造方面的原因

设备设计与制造缺陷是导致运行问题的重要根源。设计层面,部分高速混床进水装置结构不合理,如采用多孔板水帽时,开孔率不足或分布不均,易造成水流偏流,使树脂磨损加剧且交换不充分;再生系统分离塔的空气擦洗装置设计功率偏低,无法有效剥离树脂表面附着的杂质,导致阴阳树脂分离不彻底,再生后交叉污染率超标^[3]。制造环节,滤元加工精度不足,滤网孔径偏差大,部分滤元实际孔径大于设计值,无法有效拦截微小颗粒,使前置过滤器过早堵塞;树脂捕捉器内部流场设计缺陷,导致水流对滤网冲击不均,局部应力集中,加速滤网破损;设备材质选择不当,如再生系统管道采用普通碳钢而非不锈钢,在酸碱环境下易腐蚀穿孔,引发再生剂泄漏,污染树脂及环境,严重影响系统稳定运行。

3.2 水质特性方面的原因

水质特性复杂多变是引发问题的内在因素。凝结水来源广泛,包含汽轮机排汽凝结、管道腐蚀产物及凝汽器泄漏冷却水等,成分波动大。当凝汽器发生微漏时,冷却水中的氯离子、钙镁离子等进入凝结水,若混床中树脂已接近失效,对离子的去除能力不足,会导致出水电导率、钠离子超标;高温环境下,硅酸盐易转化为胶体硅,其粒径小、去除难度大,若阴树脂再生效果差,对胶体硅的吸附能力下降,会造成出水二氧化硅超标。机组启停阶段,凝结水温度、压力变化剧烈,易引发树脂破碎,破碎树脂颗粒进入热力系统,不仅堵塞管道,还可能释放残留杂质,恶化水质;长期低负荷运行时,凝结水流量降低,流速过慢,导致树脂分层困难,影响再生效果,进一步加剧水质波动。

3.3 运行管理与人员素质方面的原因

运行管理与人员素质问题直接影响系统运行质量。管理层面,部分电厂缺乏完善的设备维护制度,对前置过滤器滤元、树脂捕捉器滤网等易损件未制定定期更换计划,导致设备带“病”运行,故障频发;再生剂管理松散,未对酸碱供应商资质严格审核,采购的再生剂纯度不足,含杂质超标,直接降低树脂再生度;此外,应急预案不完善,当凝结水水质突然恶化(如凝汽器泄漏)时,无法迅速采取有效措施,导致水质事故扩大。人员素质方面,部分运行人员对系统原理理解不深,操作技能不足,如再生时酸碱浓度控制偏差大、再生时间把握不准,影响树脂再生效果;对设备运行参数监测不及时,未能通过数据异常提前发现滤元堵塞、树脂泄漏等隐患,延误

处理时机,增加设备损坏风险及运行成本。

4 火电厂凝结水精处理系统改进对策

4.1 设备优化与改进

针对设备设计制造缺陷,需从结构与材质两方面优化。高速混床方面,重新设计进水装置,采用穹形多孔板配不锈钢水帽,开孔率提升至15%–20%,确保水流均匀分布,减少树脂磨损;升级树脂捕捉器滤网材质为钛合金,抗冲击性能提升3倍,同时优化内部导流板结构,使水流对滤网冲击力降低40%,延长滤网使用寿命。再生系统分离塔需增大空气擦洗装置功率,由原5kW增至8kW,并延长反洗分层时间至20分钟,确保阴阳树脂彻底分离;管道材质全部更换为316L不锈钢,耐酸碱腐蚀能力增强,泄漏风险降低80%。前置过滤器滤元采用梯度密度设计,外层孔径50 μ m拦截大颗粒,内层孔径5 μ m过滤细小杂质,压差上升速度减缓50%,反洗周期延长至15天。另外,增设备用混床及快速切换装置,当运行混床压差超标或水质恶化时,可在10分钟内完成切换,保障系统连续运行。

4.2 水质控制与优化

水质控制需强化源头管理与过程监测。针对凝汽器泄漏,安装在线钠表、电导率仪及溶解氧监测装置,实时监测凝结水水质,当钠离子浓度 $>5\mu\text{g/L}$ 或电导率 $>0.2\mu\text{S/cm}$ 时,自动触发报警并联动关闭凝结水精处理系统入口门,防止污染水进入;同时,优化凝汽器查漏工艺,采用氦质谱检漏仪,将查漏时间由72小时缩短至24小时,泄漏点定位精度提高至1mm。对于胶体硅问题,在再生系统中增设硅酸根去除单元,采用强碱性阴树脂专项吸附,再生时用高浓度NaOH溶液(4%–5%)浸泡8小时,使树脂对硅酸根的交换容量提升30%。建立水质大数据平台,收集历史运行数据,通过机器学习算法预测水质变化趋势,提前调整再生周期或混床运行参数,例如根据负荷变化动态调整混床制水量,避免树脂过度失效导致水质超标。

4.3 运行管理提升

运行管理需完善制度并强化人员培训。制定《凝结水精处理系统标准化操作手册》,明确再生剂配制、混床再生、设备切换等关键操作步骤及质量标准,例如规定再生酸碱浓度偏差 $\leq 0.5\%$,再生时间误差 ≤ 5 分钟;建立设备维护档案,对前置过滤器滤元、树脂捕捉器滤网等易损件实行“一物一码”管理,记录更换时间、运行参数及故障情况,为维护决策提供数据支持^[4]。人员培训方面,开发VR仿真培训系统,模拟树脂泄漏、水质恶化等故障场景,提升运行人员应急处理能力;每季度组织技能考核,考核内容涵盖系统原理、参数调整及故障诊断,合格率需达100%,不合格者需重新培训直至通过。推行“设备主人制”,将每台设备管理责任落实到个人,定期开展设备健康状态评估,对管理成效显著者给予奖励,对因管理不善导致设备故障或水质事故者严肃追责,形成闭环管理机制。

结束语:

火电厂凝结水精处理系统运行问题涉及设备、水质与管理多维度,需通过系统性改进实现长效优化。设备优化可提升系统稳定性与处理效率,水质强化控制能保障汽水品质达标,运行管理提升则通过制度完善与人员培训降低人为失误风险。未来,随着智能监测与大数据技术应用,系统将向智能化、精细化方向发展,为火电厂安全经济运行提供更强支撑,推动行业可持续发展。

参考文献:

- [1]马旭,韩松,倪斌,等.火电厂凝结水精处理系统调试及树脂再生[J].工业用水与废水,2024,55(6):71–75.
- [2]王婷婷.菲律宾Kausawagan火电厂凝结水精处理系统调试案例分析[J].江西电力,2024,48(3):54–57.
- [3]陈亚南.火电厂凝结水精处理系统安全运行分析[J].电脑爱好者(普及版)(电子刊),2021(9):2699–2700.
- [4]邵磊.基于智能传感器的火电厂凝结水精处理自动控制系统的的设计[J].自动化应用,2025,66(19):199–201,205.