

发电厂化学水处理系统的优化运行研究

杨彦舒

华电江苏能源有限公司句容发电分公司 江苏镇江 212400

摘要：发电厂化学水处理系统在保障整个热力循环系统安全、经济且稳定运行方面起着关键作用，该系统的核心任务是供应充足且质量达标的除盐水，并处理各类废水，这与热力设备的传热效率、防腐防垢性能以及使用寿命直接相关，随着国家对节能减排要求不断提高以及机组参数朝着超超临界方向发展，对水汽品质提出了近乎严苛的要求。深入剖析其优化运行策略，对于提高机组可靠性、降低运行成本以及达成绿色环保目标有着极为关键的理论和现实意义。

关键词：发电厂；化学水处理；系统优化

引言

在发电厂规模庞大的运作体系里，水是传递能量的关键介质，参与从热能到机械能再到电能的转化进程，同时还肩负着冷却介质的关键使命，保证设备在运行时不会因过热而受损。化学水处理系统作为保证水质符合发电要求的核心部分，对发电厂设备的稳定运行、发电效率的提高以及能源消耗的降低有着决定性影响。对发电厂化学水处理系统开展优化运行研究十分紧迫，这利于提升水处理系统的性能与可靠性，降低运行成本，减少环境污染，为发电厂的可持续发展给予有力支撑。

一、发电厂化学水处理系统概述

发电厂化学水处理系统在现代化火力发电、核能发电以及光热发电等大型电力设施里，是极为关键且不可缺少的关键辅助系统，它的核心任务是为热力循环提供高纯度的除盐除氧水，这种水就如同数量充足、品质优良的“血液”一样关键，同时还要处理运行过程中产生的各类废水，以此保障主设备可安全、经济并且长周期地运行。该系统一般可以分为补给水处理以及汽水循环系统中的水汽质量监督与控制这两大部分，补给水处理作为系统的前端和基础部分，其水源大多取自地表水或者地下水，这些水中含有大量悬浮物、胶体、无机盐离子、溶解气体以及有机物等杂质，要经过一系列严格的净化流程。常规工艺有预处理、预脱盐以及精处理这三大步骤：预处理借助混凝、澄清、过滤等物理化学方法去除悬浮物和胶体，降低浊度，预脱盐普遍采用反渗透技术，利用半透膜的选择透过性高效去除绝大部分溶解盐分、有机物以及微生物，这个环节是系统节能降耗

的关键所在，精处理一般采用混合离子交换器或电除盐技术，对经过反渗透处理后的水进行深度净化。

那些有高纯度的补给水被补入到锅炉之后，在处于高温高压状态的汽水循环系统里，其水质的具体状况将会直接对整个热力系统的运行状态起到决定性作用，哪怕是极其微量的杂质，如溶解氧、二氧化碳、氯离子以及硅化合物等，都有可能极端的工况条件之下引发设备出现严重的结垢、腐蚀或者积盐等问题。比如，锅炉水冷壁管出现结垢的情况会让传热效率明显变差，造成管壁局部出现过热现象，鼓包甚至爆管，而溶解氧以及酸性物质则会引发给水管道、省煤器以及汽轮机遭受腐蚀，对设备安全构成威胁并且缩短其使用寿命，系统当中还设置了严密的在线化学仪表监测网络以及加药处理单元，借助持续监测水汽的品质，并且精准地往系统里加入氨、联胺、磷酸盐等化学药剂，以此来调节pH值、消除残余的溶解氧、防止结垢与腐蚀情况的发生。除此之外，系统还需要处理离子交换树脂再生过程当中产生的高盐度废水、设备冲洗排水等，借助中和、沉淀、过滤等工艺达成达标排放或者回用的目的，契合环保方面的要求，发电厂化学水处理系统是一个融合了物理分离、化学反应、在线监测以及自动控制的复杂且精密的工程，其运行水平的好坏，直接和电厂的主设备安全、运行效率、经济效益以及环保绩效相关联。

二、发电厂化学水处理系统运行现状与问题分析

（一）传统离子交换树脂再生技术存在运行能耗高与环境污染隐患

当下我国不少发电厂老旧机组，仍旧广泛运用离子交换工艺来开展水质精处理工作，这项技术虽说成熟且

可靠,然而在实际运行进程里,却显现出了较大的弊端,其中最为突出的问题在于,再生过程需要耗费大量的酸碱化学品,一座中型发电厂每年用于树脂再生的酸碱消耗量可达数百吨,这直接使运行成本升高,还产生了相应的危险化学品运输、储存以及安全防护方面的压力。再生过程中所产生的含盐废水,化学需氧量高且含盐量极大,即便经过了中和处理,对于水体生态环境依旧构成潜在的威胁,从运行效率层面进行剖析,固定床离子交换设备的自动化程度存在局限,再生操作要历经反洗、进酸、进碱、置换、正洗等诸多步骤,整个过程耗费的时间长达数小时。在这段时间内,系统的制水能力大幅降低甚至完全中断,对电厂的连续稳定供水造成了挑战,随着运行周期的延长,树脂还会出现破碎、污染、中毒等状况,致使交换容量降低,周期制水量减少,增加了再生频率,这种间歇式的运行方式与电厂对于连续稳定供水的需求形成了矛盾,也对系统运行的经济性优化产生了制约。

(二) 反渗透系统膜污染问题严重影响系统运行稳定性与经济性

随着膜技术不断发展,反渗透工艺在发电厂水处理的预脱盐环节得以广泛运用,然而膜污染这一问题一直是困扰系统稳定运行的技术难题,在实际运行过程中,膜元件会遭遇微生物、胶体、有机物、无机盐垢等多种污染物的威胁,这些污染物于膜表面沉积形成污染层,致使系统脱盐率降低、产水量减少、运行压力升高。微生物污染所形成的生物膜有极强的粘附性,常规清洗难以将其彻底清除,成为最为棘手的污染类型,为维持产水量,系统需提升运行压力,造成电能消耗增加,频繁进行化学清洗增加了药剂费用,还缩短了膜元件的使用期限,更为严重的是,当污染发展到一定程度时,要停止运行进行深度清洗或者更换膜元件,这直接对电厂的正常生产秩序产生了影响。目前诸多电厂在膜污染预警以及诊断方面依旧缺乏有效手段,大多时候等到系统性能较大下降时才开展处理,错失了最佳干预时机,这种被动应对的模式致使反渗透系统的优势无法得到充分施展。

(三) 系统自动化水平不足与精细化管理欠缺制约运行效能提升

虽说现代发电厂化学水处理系统如今已普遍达成了基础自动化,然而在智能监测、预警诊断以及优化控制这些方面,依旧有着较为十分突出的欠缺之处,不少电厂的水质监测当前还是以人工取样以及离线分析作为主

要方式,在线仪表的配置并不完备,其测量精度以及可靠性都以及待提升。这样的状况致使系统运行参数的调整大多时候会落后于水质的变化,很难达成精准控制,在面对水源水质出现波动或者异常工况的时候,依靠运行人员经验来进行干预的模式存在着比较大的不确定性,在系统管理这一方面,精细化管理理念并没有得到有效的贯彻落实,多数电厂缺少完整的化学技术监督体系,对于水汽品质异常情况的追踪分析不够到位,问题的根源大多时候很难查明。运行数据的记录以及分析工作相对薄弱,历史数据的价值没能得到充分挖掘,设备维护管理仍然停留在计划检修的层面,缺少基于设备状态的科学决策支持,这些管理方面的不足使得系统长时间在并非最优的工况下运行,这对设备可靠性产生了影响,又造成了能源以及物料的浪费,随着电厂对于节能降耗要求的持续提高,这种粗放式的管理模式已经很难适应新形势下的运行需求了。

三、发电厂化学水处理系统的优化运行策略

(一) 推进膜处理技术与离子交换工艺的深度整合与创新

当下发电厂化学水处理系统优化的关键方向是达成膜处理技术与传统离子交换工艺的深度融合,此融合并非单纯的工艺叠加,而是要依据电厂实际水质特性以及运行需求,构建科学合理的工艺链条,展开来说,要充分发挥反渗透膜技术在预脱盐环节的优势,让其承担去除大部分溶解性盐分与有机物的重任,大幅减轻后续离子交换系统的处理负担。经过反渗透处理后的水质有了明显提升,这使得混合离子交换器的运行周期得以延长,再生频率较大降低,酸碱消耗量和废水产生量也随之大幅减少,在技术实施方面,需着重优化系统的集成设计以及运行参数匹配,针对反渗透系统,要建立完善的预处理保障体系,覆盖多介质过滤、活性炭过滤以及精密过滤等多级屏障,有效控制膜污染风险。同时引入节能型高压泵和能量回收装置,降低系统能耗,对于离子交换环节,可考虑采用分层床、双室床等改进型设备,提高树脂利用率与再生效率,在再生方式上,推广逆流再生技术,依靠优化再生液浓度、流速以及温度等参数,保证再生效果的同时降低化学品消耗,积极探寻新型处理技术的应用前景,电除盐技术作为离子交换和电渗析的结合,有连续运行、无需酸碱再生的优势,特别适合作为反渗透后的精处理工艺。依靠构建反渗透加电除盐的全膜法工艺路线,可彻底消除酸碱使用以及危险化学品运输储存环节,实现真正的绿色清洁生产。

（二）构建基于大数据分析的智能化运行管理与决策支持体系

在数字化时代的大环境下，发电厂化学水处理系统要想实现优化运行，建立基于大数据分析的智能化管理平台变得极为迫切，此体系的关键之处在于达成对系统运行整个过程的实时监测、数据挖掘以及智能决策，首先要完善系统的感知层构建，在关键工艺节点配备高可靠性的在线监测仪表，这些仪表囊括压力、流量、温度等过程参数，以及电导率、pH值、硅含量、钠离子浓度等水质指标。这些实时数据借助工业互联网平台进行集中采集与存储，形成系统运行的全景数字画像，基于此，运用机器学习算法构建系统运行的数字孪生模型，该模型可精确呈现各工艺单元之间的耦合关系，预测在不同进水水质以及运行工况下系统的处理效果和能耗水平，借助深度学习历史运行数据，模型可自动识别运行规律，及时察觉异常趋势并发出预警。比如依靠剖析反渗透膜元件的压差变化规律，可精准判断膜污染的发展阶段，科学制定清洗计划，避免出现过度清洗或者清洗不足的状况，在决策支持方面，系统应有多目标优化能力，综合考量水质保障、能耗控制、药剂消耗以及设备寿命等多个因素，自动生成最优运行方案，例如依据电价波动特性，智能调整高压泵和再生设备的运行时段，实现经济用能。借助建立化学药剂投加的精确控制模型，在保证水质的前提下最大程度减少药剂消耗，系统还应有自学习能力，可依据实际运行效果不断修正和优化控制策略，形成持续改进的良性循环。

（三）建立全生命周期管理与绿色化运行的综合性优化方案

化学水处理系统要实现优化运行，需基于全生命周期管理理念，把设备管理、运行维护以及环保要求进行有机整合，在设备选型和系统设计阶段，要充分考量后续运行的可靠性与经济性，挑选技术成熟且性能稳定的设备，同时为后续技术改造预留充足空间，构建完善的设备健康档案，记录从安装调试直至日常维护的整个过程数据，为预防性维修和状态检修提供依据。对于反渗透膜元件、离子交换树脂等核心耗材，要构建完善的使用寿命预测模型，科学制定更换计划，避免因超期服役或过早更换导致资源浪费，在运行维护方面，要建立标准化的操作流程与维护规范，针对不同季节原水水质的变化，制定相应的运行调整方案，保证系统始终处于最

优运行状态。完善化学清洗规程，依据污染物类型和污染程度选择最合适的清洗方案，在恢复系统性能的同时最大程度减少化学清洗对设备的损害，建立关键设备的备品备件管理体系，保证设备故障能及时恢复系统运行，同时要加强对运行人员的专业技能培训，使其能熟练操作设备，还可以理解系统工作原理，有分析问题和处理异常工况的能力。绿色化运行是化学水处理系统优化的关键方向，大力推进废水零排放技术的应用，对反渗透浓水、再生废水等不同性质的废水进行分类收集和分级处理，借助膜浓缩、蒸发结晶等先进技术，实现水资源的充分回收利用以及溶解性固体的资源化利用，优化药剂投加系统，在保证效果的前提下优先选用环境友好型药剂。

结束语

综合来看，本文围绕发电厂化学水处理系统的运行现状展开分析，并对相关优化策略给予探讨，明确指出其优化运行属于一项涉及安全、经济以及环保等多方面的系统性工程。实践证明，借助推进技术升级以及开展智能化改造，构建全生命周期的精细化管理体系，可切实提升系统的可靠性，降低运行成本，并且减少对环境影响。随着人工智能、大数据等技术的深度融合，以及绿色、低碳要求持续提高，化学水处理系统的运行必定会朝着更加智能、高效且清洁的方向发展，为发电厂的本质安全以及可持续发展提供更为稳固的保障。

参考文献

- [1] 贾兰, 刘兴华, 刘鹏, 等. 电厂化学水处理系统现状及技术创新应用研究[J]. 科技创新与应用, 2025, 15(14): 48-53.
- [2] 徐震, 王杰, 闫晗, 等. 火电厂反渗透系统优化设计及应用[J]. 清洗世界, 2025, 41(04): 1-2+5.
- [3] 郭铭. 火电厂化学水处理系统的节能降耗优化措施探讨[J]. 价值工程, 2020, 39(29): 181-182.
- [4] 王毅, 马强, 李睿, 等. 基于多Agent架构的电厂化学制水流程优化控制[J]. 中国科技论文, 2018, 13(11): 1291-1296.
- [5] 安增琴. 浅谈火电厂化学水处理系统的节能降耗优化措施[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2018, 38(06): 96-97.