

电厂化学水处理技术的研究与应用

郭晓争

贵州黔西中水发电有限公司, 贵州 黔西 551500

DOI:10.61369/EPTSM.2026020024

摘 要： 电厂化学水处理是保障火力发电安全、经济和环保运行的关键技术。本文系统阐述了电厂水处理的化学基础，包括水中杂质危害、水质标准及化学原理的应用；深入分析了锅炉补给水的预处理、除盐与深度处理技术；探讨了热力系统水汽工况的化学调节与控制方法，以及停备用保护措施；研究了循环冷却水系统的结垢、腐蚀与微生物控制策略，并介绍了废水回用与近零排放技术。通过对上述技术的综合论述，旨在为电厂水处理系统的优化设计、运行维护与节水减排提供理论依据和技术参考。

关 键 词： 电厂化学；水处理；锅炉补给水；热力系统；循环冷却水；废水回用

Research and Application of Chemical Water Treatment Technology in Power Plant

Guo Xiaozheng

Guizhou Qianxi Zhongshui Power Generation Co., LTD. Qianxi, Guizhou 551500

Abstract： Chemical water treatment in power plants is a key technology for ensuring the safe, economical, and environmentally friendly operation of thermal power generation. This paper systematically elaborates on the chemical foundations of water treatment in power plants, including the hazards of impurities in water, water quality standards, and the application of chemical principles. It provides an in-depth analysis of pretreatment, desalination, and advanced treatment technologies for boiler makeup water. It explores chemical regulation and control methods for water and steam conditions in thermal systems, as well as protective measures during shutdown and standby periods. It also investigates strategies for controlling scaling, corrosion, and microbial growth in circulating cooling water systems, and introduces wastewater reuse and near-zero discharge technologies. Through a comprehensive discussion of these technologies, the paper aims to provide theoretical foundations and technical references for the optimal design, operation, maintenance, water conservation, and emission reduction of water treatment systems in power plants.

Keywords： power plant chemistry; water treatment; boiler makeup water; thermal system; circulating cooling water; wastewater reuse

引言

电厂化学水处理技术是指利用化学方法对电厂的进水和循环水进行处理，以达到保护设备安全运行、提高发电效率和保护环境的目的。电厂水处理的关键之处在于清除水里各种有害杂质，避免设备结垢、腐蚀，保障蒸汽质量，达成水资源高效利用并缩减废水排放量^[1]。本文力求全面整理电厂化学水处理包含的诸多关键技术环节，覆盖化学原理到工艺操作，由补水制作直至系统水工况调控，经过循环水处理到废水回收利用等过程，形成起较为完备的技术阐述体系，从而给电厂水处理的科学管理、技术创新及其可持续发展提供系统的知识支撑。

一、电厂水处理的化学基础

（一）电厂用水的主要杂质及其危害

天然水中存在多种杂质，按照它们的分散形式可划分成悬浮

物、胶体以及溶解物三类。悬浮物和胶体致使水质浑浊度增大，会在预处理装置和管道内凝聚，从而影响到后续处理工序的效果。溶解性杂质主要涵盖溶解性盐类、气体以及有机物质。钙离子和镁离子属于生成水垢的关键元素，如果在受热表面聚集起

来,将会极大削减传热效率,甚至有可能引发局部过热而造成爆管事件发生。溶解氧以及二氧化碳会造成系统遭受氧化腐蚀和酸蚀现象,这对于金属材料的使用年限来说是一种严重的危害^[2]。而且,二氧化硅在高压锅炉当中会发生挥发,随后随着蒸汽一起被溶解下来,在汽轮机叶片上面产生难以清除的硅酸盐沉淀,进而对汽轮机的输出功率和效率产生不良影响。

（二）水质指标与电厂运行标准

水质指标用以考量水质优劣,并作为引导水处理工艺运行的量化依据,大致可分物理指标、化学指标以及生物指标。物理指标包含浊度、色度、电导率等。这些指标可直观显示水中悬浮物以及总溶解固体的情况。化学指标更为重要,其中涉及硬度、碱度、pH值、硅含量、钠离子浓度以及各种离子(诸如氯离子、硫酸根离子)的含量等^[3]。它们同设备结垢、腐蚀的可能性存在直接联系。对于不同压力和类型的锅炉,国家和行业制订了严格的标准来约束给水、锅炉水以及蒸汽的质量,比如对溶解氧、二氧化硅、铁、铜等元素含量设定了上限。这些标准就是电厂化学监测的准则,可以保障水汽品质达到机组安全经济运行的需求,免除由于水质变差而产生的事故。

二、锅炉补给水处理技术

（一）预处理技术（混凝、澄清、过滤）

预处理属于锅炉补给水处理的第一道工序,其目的是要去除原水里的悬浮物、胶体以及部分有机物,从而给后续的深度除盐供应符合标准的进水。混凝阶段就是往水中投入混凝剂,这样就能中和胶体颗粒表面的电荷,促使它们发生脱稳并聚集起来。而澄清则需在沉淀池或者澄清池当中来完成,依靠重力使得经过絮凝作用而形成的较大颗粒絮体同水分离出来。过滤作为预处理阶段的最后一道关口^[4]。水流过石英砂、无烟煤或者纤维束之类的滤料层之后,再一次拦截剩余的小型悬浮颗粒,进而减小出水的浑浊程度。预处理的效果会直接影响到后面除盐设备的工作负担、再生历时及其使用年限,更是整个水处理系统能否稳定运行的前提所在。

（二）除盐技术（离子交换、反渗透）

除盐技术重点在于去除水里溶解的盐分离子,从而得到高纯度的除盐水。离子交换法依靠离子交换树脂的选择性交换性质,经过阳床、阴床、混床等一系列工艺流程,逐个去除水里的阳离子和阴离子。这种方法产出的水质纯净度较高,技术比较成熟,不过会耗费酸碱物质来执行再生操作,而且会产生含有酸碱成分的废水。反渗透技术属于膜分离技术的一种,它靠施加压力促使水分子透过半透膜,把大部的溶解盐分、胶体物质、微生物等拦截下来。反渗透具备高效、节能、环保等优势,现在已经成为现代电厂补给水处理当中主要的预除盐工艺。

（三）系统集成与深度除盐工艺

现代大型电厂对补给水的水质有着很高的要求,常常会用到多工艺融合而成的处理系统,这种流程一般是这样的:“预处理—反渗透(或者电渗析)—离子交换(混床)”。反渗透装置能够有

效地去除绝大多数的离子和有机物,极大地减轻了后面离子交换装置的压力,也就能让它运行得更久一些。离子交换混床属于精处理单元,可以保证出水电阻达到兆欧级的标准,从而符合超高压、超临界机组的需求。要是遇到像极低硅含量或者总有机碳这样特别的情况,那么就在系统里增加强氧化、活性炭吸附或者膜脱气之类的深度处理单元^[5]。系统整合的重点在于合理设置各个工艺单元,改良运行参数并改进自动化控制水平,这样才能保证系统始终处于高效、稳定又经济的运行状态,源源不断地产生高质量的锅炉补给水。

三、热力系统水汽工况调节与控制

（一）锅炉水化学调节（磷酸盐处理、挥发性处理）

锅炉水化学调节重点在于避免炉内结垢与腐蚀,其主要手段包含磷酸盐处理和挥发性处理。磷酸盐处理需向锅水中投入磷酸盐,此磷酸盐会与钙镁离子结合形成疏松的水渣,再经排污移除,还要保留锅水一定的碱度及pH值以防止腐蚀。此工艺存在协调磷酸盐处理和低磷酸盐处理两种形式,用以适应不同压力级别的锅炉。挥发性处理无需添加磷酸盐,而是往给水中投入氨和联氨之类的挥发性药剂,依靠调节pH值并除去溶解氧来抑制腐蚀,适合高纯度给水的直流锅炉^[6]。这两种调节方式都要严密监测水质,按照化验成果准确掌控药剂投放量,从而维持炉水化学均衡,保证锅炉受热面干净,提升其使用寿命。

（二）蒸汽品质控制与给水处理

蒸汽品质重点在于蒸汽当中钠盐以及二氧化硅这些杂质的含量情况,这个含量的高低会直接左右汽轮机通流部分出现积盐的风险大小。要想做好蒸汽品质的控制,关键之处就在于要先控制好锅炉内的锅水水质,而且还要改良汽水分离装置以缩减机械携带的现象发生。对于给水品质也有着很严格的要求,因为给水就是生成蒸汽的源头所在,所以其中的杂质含量务必非常之低才行。给水处理一般包含除氧处理和全挥发性处理两个方面,除氧可以通过热力除氧器配合化学除氧(比如添加联氨或者别的除氧剂)的方式来达成,从而完全去掉溶解氧。至于全挥发性处理,则需利用加氨的方法把给水的pH值调到微碱性区间,以此形成钝化保护膜,全方位阻止给水系统因流动而产生的加速腐蚀状况。做到给水的细致处理乃是得到高品质蒸汽并保护整个热力系统的根基所在。

（三）停备用保护与化学清洗技术

机组处于停备用状态时,若缺少防护,潮湿空气中含有的氧气和水分会造成系统金属发生严重氧腐蚀现象,此类腐蚀产生的物质在机组启动之后会渗入到水汽系统当中引发二次污染。停备用保护措施涵盖干法保护和湿法保护两种形式,其中热炉放水利用余热执行烘干操作属于干法保护范畴;充氮法以及采用成膜胺、气相缓蚀剂等化学手段均归类于湿法保护类别之中。而化学清洗专门应对那些在运行过程中已经出现结垢或者遭受腐蚀的系统,其利用化学药剂来清除沉积物以及腐蚀残留物的技术行为。清洗之前要先做诊断,选出恰当的清洗介质(比如酸、络合剂、

缓蚀剂等等)，制订出科学的清洗工艺^[7]。清洗完毕之后还要执行钝化处理，在金属表面生成保护膜。按照规范来做停备用保护和化学清洗，这是恢复设备性能、确保长期安全运行所必需的举措。

四、循环冷却水处理与废水回用

（一）循环冷却水系统结垢、腐蚀与微生物控制

循环冷却水运行时会蒸发浓缩，水中的盐分浓度变大，这样就容易在换热表面生成碳酸钙之类的硬垢，影响传热效果。溶解氧、氯离子等会造成金属管道和设备发生腐蚀现象，而温暖的水体会很容易滋生细菌、藻类，从而产生生物粘泥。要想控制好这三方面，就得采用综合性的水处理方案。预防结垢主要是通过加入酸液调整 pH 值、投入阻垢分散剂来达成；防止腐蚀依靠投放缓蚀剂，在金属表面形成保护层；至于微生物的抑制，则是投入氧化性（比如氯）或者非氧化性杀菌灭藻剂，并且定期更换使用，以此来阻止微生物产生抗药性^[8]。经过水质稳定化处理并维持恰当的浓缩倍率之后，就可以做到既节水又有效地控制住结垢、腐蚀以及微生物繁殖。

（二）循环水系统旁流与零排放处理技术

提升循环水浓缩倍率对于节水十分关键。不过浓缩倍数过大时，结垢及腐蚀的风险就会增大。旁流处理技术从循环水系统中抽出部分水量执行专门处理，去除一些悬浮物、硬度或者盐分之后再送回系统，这样就能让主要系统以更高的浓缩倍率稳定运行。这种处理技术包含旁流过滤、旁流软化或者旁流膜处理等形式。零排放属于更为严格的目标，即电厂不能向外排放废水，一般需把循环水排污水和其他废水深入净化并加以利用，最后把溶解性固体浓缩成固态盐分或者掺入灰渣处理当中。这项技术融合了膜浓缩、蒸发结晶、烟道喷雾蒸发等许多高能耗或者高投入的工艺流程，属于做到电厂与自然环境和谐共处的领先途径。

（三）电厂废水分类与梯级回用集成技术

电厂废水有诸多来源，其水质存在差异，其中包含锅炉补给水处理废水、循环水排污水、脱硫废水、含煤废水、含油废水以及生活污水等。若想达成废水回用，则要依照“分类收集，分级处理，梯级利用”的准则。像反渗透浓水这样的水质较好的废水，通过恰当处理之后，可以回用于循环水系统或者脱硫工艺用水当中^[9]。而脱硫废水这种水质较为复杂的废水，则必要通过中和、沉淀、软化、膜分离等一系列深入处理之后，才能回用或者用于诸如干灰调湿、冲洗之类对水质要求不高的用途上。梯级回用融合技术的重点就在于针对全厂的水系统展开全面分析并加以改良，创建起水资源网络，把每一股废水当作资源来对待，并遵照“高质水源用于高品质需求处，低质水源用于低品质需求处”的理念去开展统一安排和回收利用工作。这样才能够最大程度地缩减新水的开采量以及废水向外排放的总量。

五、结语

随着社会对环境保护的要求越来越高，电厂化学水处理技术也面临着更高的环保要求。因此，电厂化学水处理技术的发展必须与环保要求相适应。电厂化学水处理技术属于多学科交叉领域，它把理论同应用紧密结合，从基本化学原理一直到先进的零排放工艺，该技术的核心目的始终聚焦于保障发电设备安全、改进运行经济性并做到环境友好。如今，环保标准变得越发苛刻，水资源短缺问题也愈加严峻。未来电厂水处理技术将会朝着高效、节能、减药以及高自动化、智能化的方向去发展^[10]。持续深入开展基础研究，改良工艺步骤，巩固系统整合并推进智能化管理，电厂化学水处理技术必定会在电力工业迈向绿色、低碳、可持续发展进程中起到更为重要且不可或缺的作用。

参考文献

- [1] 蔡晨阳. 电厂化学水处理设备腐蚀问题及处理措施 [J]. 大众标准化, 2025, (22): 46-48.
- [2] 王昕. 电厂化学水处理制水设备问题的分析与处置 [J]. 中国设备工程, 2025, (20): 106-108.
- [3] 罗雪明. 电厂化学水处理存在的问题及应对措施 [J]. 科技与创新, 2025, (10): 160-163.
- [4] 王意恒. 电厂化学水处理设备设施腐蚀问题对策分析 [J]. 中关村, 2024, (03): 110-111.
- [5] 李宏峰. 电厂化学水处理技术的应用及发展探讨 [J]. 山东化工, 2023, 52(22): 250-251+255.
- [6] 王世忠. 电厂化学水处理技术探讨 [J]. 造纸装备及材料, 2023, 52(06): 179-181.
- [7] 张龙娜. 电厂化学水处理制水设备问题的分析与处置 [J]. 化工管理, 2023, (05): 41-43+47.
- [8] 李前, 张冬花. 电厂化学水处理技术探析 [J]. 科技资讯, 2022, 20(13): 29-31.
- [9] 王吉茂, 李建明. 火电厂化学水处理设备腐蚀问题处理方法研讨 [J]. 中国金属通报, 2021, (10): 74-75.
- [10] 张春燕. 电厂化学水处理设备的防腐工艺 [J]. 云南化工, 2020, 47(08): 146-147+150.