

# 火力发电汽轮机供水水质处理技术创新与应用

张 锐 庞驰宸

黄陵矿业沮源发电有限公司 陕西 延安 727307

**摘 要：**火力发电汽轮机对供水水质要求严苛，涉及硬度、溶解氧等多项指标。水质不达标会严重影响汽轮机运行。常见水质问题有结垢、腐蚀、微生物污染。传统处理技术包括沉淀与澄清、过滤、离子交换，但存在不足。创新技术方面，新型除盐技术环保高效，高效过滤技术突破传统局限，智能水质监测与控制技术实现实时精准调控。这些创新技术提升水质处理水平，保障汽轮机安全稳定运行，推动了火力发电行业可持续发展。

**关键词：**火力发电；汽轮机供水；水质处理技术；创新应用

引言：在火力发电领域，汽轮机作为核心设备，其安全稳定运行至关重要，而供水水质是影响汽轮机运行的关键因素。汽轮机对供水水质有严格要求，涉及硬度、溶解氧、pH值等多项指标。若水质不达标，会引发结垢、腐蚀、微生物污染等问题，进而影响汽轮机的安全性、稳定性与使用寿命，增加运维成本，甚至造成重大经济损失。因此，研究火力发电汽轮机供水水质处理技术的创新与应用，对保障汽轮机高效运行、推动火力发电行业可持续发展具有重要意义。

## 1 火力发电汽轮机供水水质要求

### 1.1 汽轮机供水水质要求

火力发电汽轮机对供水水质有着极为严苛的要求，必须严格遵循行业标准并紧密贴合设备运行实际需求。其核心指标涉及硬度、溶解氧、pH值、电导率、悬浮物含量等关键参数。给水硬度要精准控制在 $0.03\text{mmol/L}$ 以下，若硬度超标，钙镁离子就会在设备内部形成结垢，影响热传导效率，降低设备性能。溶解氧含量需低于 $0.05\text{mg/L}$ ，否则金属部件会因氧化腐蚀而损坏，缩短设备使用寿命。pH值要维持在 $8.5\text{-}9.5$ 的弱碱性范围，此范围既能有效抑制腐蚀，又能避免对管道造成侵蚀<sup>[1]</sup>。另外，电导率要 $\leq 0.1\mu\text{S/cm}$ ，悬浮物含量不超过 $5\text{mg/L}$ ，同时对油类、有机物及重金属离子含量也要严格把控。这些要求并非一成不变，需结合汽轮机机组参数、运行工况进行动态调整，确保供水水质与设备设计标准完美匹配，为汽轮机的安全稳定运行筑牢坚实基础。

### 1.2 水质要求对汽轮机运行的影响

水质是否达标直接决定汽轮机运行安全性、稳定性与使用寿命。若水质硬度超标，钙镁盐类会在汽轮机叶片、隔板等关键部件结垢，导致通流面积减小、换热效率下降，不仅增加能耗，还可能因叶片受力不均引发振动甚至断裂。溶解氧超标会造成汽轮机转子、汽缸等金

属部件出现点蚀、溃疡状腐蚀，严重时破坏部件结构完整性，引发泄漏事故。pH值偏离标准范围时，弱酸性水质会加速金属腐蚀，强碱性水质则可能与设备材质发生化学反应，生成有害物质影响供水系统。电导率与悬浮物超标会加剧管道磨损、堵塞阀门，同时增加绝缘部件的漏电风险。不符合要求的水质还会缩短设备检修周期，提高运维成本，极端情况下可能导致机组非计划停机，造成重大经济损失。

## 2 火力发电汽轮机供水常见水质问题

### 2.1 结垢问题

结垢是火力发电汽轮机供水系统最常见的水质问题之一，主要由水中钙镁离子、硅化物、磷酸盐等物质沉积形成。其产生核心原因是供水温度升高、压力变化导致水中溶解盐类饱和度下降，或水质处理不彻底致使杂质残留。结垢多发生在汽轮机凝汽器、加热器、管道内壁及叶片表面，结垢层质地坚硬且导热性差，会显著降低换热效率，导致机组热耗率上升<sup>[2]</sup>。轻度结垢会使设备运行负荷增加，重度结垢会堵塞通流通道，造成汽轮机出力下降、振动加剧，甚至引发叶片断裂、凝汽器真空度不足等故障。结垢层还会掩盖金属表面的腐蚀隐患，加速局部腐蚀进程，形成“结垢-腐蚀”恶性循环，进一步影响供水系统与汽轮机的正常运行。

### 2.2 腐蚀问题

腐蚀问题源于供水水质指标偏离标准、金属材质与水质适配性不足等多种因素，常见类型包括氧腐蚀、酸性腐蚀、碱性腐蚀及微生物腐蚀等。氧腐蚀主要由给水溶解氧超标引发，多发生在汽轮机高压缸、转子等高温高压部件，表现为金属表面点蚀、坑蚀，严重时穿透部件壁厚。酸性腐蚀多因水中二氧化碳含量过高或有机物分解产生酸性物质，导致pH值下降，对碳钢、合金钢部件造成持续性侵蚀。碱性腐蚀则出现在pH值过高的

工况下,会使金属表面形成的钝化膜受损,引发晶间腐蚀。微生物腐蚀是细菌、真菌等代谢产物与金属发生反应导致的腐蚀,常伴随生物黏泥产生,加速局部腐蚀速度,腐蚀产物还会污染水质,诱发其他水质问题。

### 2.3 微生物污染问题

微生物污染问题易被忽视但危害显著,主要由原水携带的细菌、真菌、藻类等微生物在供水系统内繁殖引发。适宜的温度、pH值及水中营养物质为微生物生长提供了条件,其大量繁殖会产生生物黏泥,黏附在管道、凝汽器、过滤器等设备表面,堵塞水流通路与过滤装置,降低供水效率与换热效果。同时,微生物代谢产物会改变水质pH值、产生酸性或碱性物质,加速金属部件腐蚀,部分微生物还会分解水中有机物,生成有害物质污染水质。另外,生物黏泥还会吸附水中悬浮物、金属离子,形成复合污垢,进一步加剧结垢与腐蚀问题,导致设备检修频率增加,甚至引发供水系统故障,影响汽轮机机组稳定运行。

## 3 火力发电汽轮机供水水质处理传统技术分析

### 3.1 沉淀与澄清技术

沉淀与澄清技术堪称火力发电汽轮机供水预处理环节的核心技术,在保障汽轮机供水质量方面起着至关重要的作用。其主要功能是去除原水中的悬浮物、胶体颗粒以及部分溶解杂质,为后续的深度处理工序筑牢基础。沉淀技术主要借助重力作用,让水中密度大于水的杂质缓缓沉降到底部,进而形成沉渣并排出。常见的沉淀形式有平流式沉淀池和竖流式沉淀池等。平流式沉淀池构造简单,处理量大,适用于处理悬浮物含量较高的原水,水流在池内呈水平方向流动,杂质在重力作用下逐渐沉淀。竖流式沉淀池则是水流从中心管进入,自上而下流动,沉淀后的污泥从底部排出,占地面积相对较小。澄清技术巧妙地结合了沉淀与絮凝作用。向水中投加絮凝剂,如聚合氯化铝、硫酸亚铁等,这些絮凝剂能使水中细小的杂质相互凝聚,形成较大的絮体,从而加速沉降过程。澄清池设计精巧,可同时完成混合、絮凝、沉淀等多个工序,处理效率远高于传统沉淀池。不过,这类技术对溶解性盐类、重金属离子的去除效果不太理想,而且受水温、水质波动的影响较大。例如,水温过低时,絮凝效果会变差;水质波动大时,沉淀和澄清的稳定性也会受到影响。因此,在实际应用中,沉淀与澄清技术通常需要与其他技术配合使用,以达到更好的水质处理效果。

### 3.2 过滤技术

过滤技术在火力发电汽轮机供水处理流程中,承担着去除经沉淀澄清处理后水中残留的细小悬浮物、胶体

颗粒及微生物的重要任务,能进一步净化水质,确保供水质量。常见的过滤工艺包括石英砂过滤、活性炭过滤、精密过滤等。石英砂过滤以石英砂作为滤料,利用滤料层的截留、吸附作用去除杂质。其过滤精度较高,经过石英砂过滤后,可将水中的悬浮物含量控制在5mg/L以下,是供水处理中的常规且重要的环节<sup>[1]</sup>。石英砂滤料来源广泛,成本较低,且具有一定的化学稳定性。活性炭过滤则充分利用了活性炭的多孔结构,这种独特的结构使其具有强大的吸附能力,能够吸附水中的有机物、异味、色素以及部分重金属离子。同时,它还能去除水中残留的消毒剂,有效改善水质的口感与纯度,让供水更加安全、健康。精密过滤采用微孔滤膜作为过滤介质,能截留粒径更小的杂质,过滤精度可达微米级,适用于汽轮机供水的深度处理。然而,过滤技术也存在一些不足之处。例如,需要定期对滤料进行反洗,以恢复其过滤性能;对于精密过滤,还需要定期更换滤膜,这无疑增加了运维成本。而且,过滤技术对溶解性盐类的去除效果不佳,无法满足对水质要求极高的汽轮机供水需求,通常需要与其他除盐技术配合使用。

### 3.3 离子交换技术

离子交换技术作为火力发电汽轮机供水除盐处理的核心传统技术,在保障汽轮机安全稳定运行方面发挥着关键作用。它通过离子交换树脂与水中溶解盐类离子发生交换反应,有效去除水中的钙、镁、钠、氯等离子,进而降低水质的硬度与电导率。该技术常用的树脂包括阳离子交换树脂与阴离子交换树脂。阳离子树脂能够吸附水中的阳离子,并释放出氢离子;阴离子树脂则吸附水中的阴离子,同时释放出氢氧根离子。氢离子与氢氧根离子结合生成水,从而实现除盐的目的。常见的工艺有一级复床除盐、二级复床除盐及混床除盐。混床除盐是将阳、阴树脂按照一定比例混合在一起,这种组合方式使得除盐效果更加彻底,能够使电导率控制在0.1 $\mu$ S/cm以下,完全满足汽轮机供水的高标准要求。不过,离子交换技术也存在一些明显的弊端。离子交换树脂在使用一段时间后,其交换能力会逐渐下降,需要定期进行再生处理。再生过程不仅会产生大量的废水,给环保带来较大压力,而且再生剂的消耗量也较大,导致运维成本居高不下。另外,再生过程还可能对环境造成一定的污染,因此在实际应用中,需要不断探索更加环保、高效的除盐技术来替代或改进离子交换技术。

## 4 火力发电汽轮机供水水质处理创新技术

### 4.1 新型除盐技术

新型除盐技术是在传统离子交换技术的基础上进行

升级与优化,具备高效除盐、环保节能等诸多优势,能够更好地满足汽轮机供水的高标准需求。常见的新型除盐技术包含电除盐(EDI)技术和膜蒸馏除盐技术等。EDI技术巧妙融合了离子交换与电渗析技术的优点,借助电场作用促使离子交换树脂再生,无需使用化学再生剂,大大减少了废水排放。它能够持续稳定地去除水中的离子,除盐精度极高,可达 $0.06\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下。而且,其运行过程自动化程度高,可降低人工运维成本。膜蒸馏除盐技术则利用膜的选择透过性,通过蒸发-冷凝的过程来分离水中的盐类。这种技术特别适用于高盐度原水的处理,除盐效率出众,并且不受渗透压的限制,对水质波动的适应能力很强。与传统除盐技术相比,新型除盐技术在环保性方面表现更为突出,运行也更加稳定。它能够有效降低汽轮机供水系统结垢与腐蚀的风险,保障汽轮机的安全稳定运行,延长设备的使用寿命,为汽轮机的高效运行提供可靠的水质保障。

#### 4.2 高效过滤技术

高效过滤技术针对传统过滤技术存在的不足进行了创新改进,在过滤精度、处理效率以及运维成本等多个方面实现了重大突破。常见的高效过滤技术类型有超滤(UF)技术、纳滤(NF)技术以及新型复合滤料过滤技术。超滤技术采用中空纤维膜作为过滤介质,其过滤精度能够达到纳米级,可有效截留水中的悬浮物、胶体、微生物以及大分子有机物。在过滤过程中,无需投加絮凝剂,绿色环保,而且膜组件可以进行反洗再生,使用寿命较长。纳滤技术介于超滤与反渗透之间,它能够截留水中大部分的溶解盐类、有机物以及重金属离子,同时还能保留部分有益矿物质,适用于水质复杂的原水处理。新型复合滤料过滤技术采用多种滤料进行复合搭配,优化滤料层结构,提高过滤容量与截污能力,减少了反洗频率,进而降低运维成本。这些高效过滤技术为汽轮机供水提供了高效的净化保障,确保进入汽轮机的水质符合高标准要求,保障汽轮机的正常运行。

#### 4.3 智能水质监测与控制技术

智能水质监测与控制技术依托物联网、大数据、自

动化控制等前沿技术,实现了对汽轮机供水水质的实时监测、精准调控以及智能预警,成功打破了传统人工监测的局限性。该技术通过在供水系统的各个关键节点安装智能传感器,能够实时采集pH值、电导率、溶解氧、悬浮物含量等核心指标数据。这些数据经无线传输至中控系统,实现了水质参数的动态可视化展示<sup>[4]</sup>。中控系统结合预设的标准与先进的算法模型,能够自动调节加药剂量、过滤速度、再生频率等运行参数,确保水质持续达到标准要求。同时,该系统还具备强大的故障预警功能。当水质参数出现异常或者设备运行出现故障时,系统会及时发出警报,并联动应急处理机制,迅速采取措施减少故障带来的影响。智能水质监测与控制技术不仅提升了水质处理的稳定性与精准度,还显著降低人工成本,为汽轮机机组的智能化运行提供有力的技术支撑,推动了汽轮机供水系统向智能化、高效化方向发展。

#### 结束语

火力发电汽轮机供水水质处理技术的创新与应用,是保障汽轮机安全稳定运行、提升发电效率的关键。传统处理技术虽有一定成效,但存在局限性。新型除盐、高效过滤及智能水质监测与控制等创新技术,有效解决了传统问题,在环保、效率、精准度等方面表现优异。未来,随着科技不断进步,应持续探索更先进、高效、环保的水质处理技术,推动火力发电行业向智能化、绿色化方向发展,为我国能源事业的高质量发展提供坚实支撑。

#### 参考文献

- [1]王磊,赵怀玉,王洪平.火力发电厂汽轮机检修过程的精细化管理研究[J].冶金与材料,2023,43(03):32-34.
- [2]刘刚.火力发电厂汽轮机常见故障分析与检修研究[J].中国设备工程,2022,(02):43-44.
- [3]徐磊.火力发电厂汽轮机运行管理及优化策略分析[J].电脑爱好者(电子刊),2023(8):1616-1617.
- [4]杨奥飞.火力发电厂汽轮机常见故障分析与检修研究[J].电力系统装备,2022(8):141-143.