

环保工程中污水处理工艺及方法探究——以火电厂为例

瞿志昆

云南华电昆明发电有限公司 云南 昆明 650000

摘要：火电厂作为高耗水工业企业，废水来源广泛、成分复杂，含高盐、重金属等污染物，处理难度大。本文以火电厂为研究对象，系统探究废水来源、分类及污染特性，详细分析物理、化学、生物三类常规污水处理工艺的应用要点。同时，阐述膜生物反应器、生态处理、高级氧化协同及智能化等新型工艺的技术创新与火电厂适配性。研究表明，常规工艺为基础保障，新型工艺可提升处理效能与资源化水平，为火电厂污水处理工艺优化选型、达标排放及水资源回收利用提供技术参考。

关键词：环保工程；火电厂；污水处理；常规工艺；新型技术

引言：随着环保法规日趋严格及水资源短缺问题加剧，火电厂废水达标处理与资源化利用成为行业发展关键课题。火电厂废水排放量大、水质复杂，若处理不当将严重污染水体环境。当前，火电厂污水处理仍依赖传统工艺，面临高盐废水处理难、能耗高、智能化水平低等瓶颈。基于此，本文立足火电厂生产实际，系统梳理废水特性，深入分析常规污水处理工艺的应用现状，探讨新型工艺的技术创新与应用前景，旨在为火电厂优化污水处理系统、提升环保效益与资源利用效率提供理论与实践支撑。

1 火电厂废水来源、分类及污染特性

1.1 火电厂废水主要来源

火电厂废水产生贯穿燃料储存、机组运行、辅助生产及员工生活全流程，来源具有显著的生产关联性。核

心来源包括：（1）机组运行工艺废水，如锅炉补给水处理系统离子交换树脂再生废水、循环冷却水系统排污水（为维持水质稳定定期排放）、烟气脱硫脱硝系统洗涤废水；（2）燃料与固废处理辅助废水，输煤系统皮带冲洗、煤场喷淋抑尘产生的含煤废水，粉煤灰湿法堆放或水力输送产生的灰水，以及锅炉检修时设备冲洗、管道清洗产生的检修废水；（3）厂区生活污水，即员工办公、住宿、餐饮过程中产生的洗漱、厨余等废水。（4）雨季初期雨水冲刷煤场、灰场后，会携带大量悬浮物和可溶性污染物，也属于需重点处理的废水来源。

1.2 火电厂废水分类标准

火力发电厂在生产过程中产生多种类型废水，按来源和性质主要分为以下几类：

表1-火电厂废水分类

废水类型	主要来源	水质特征	处理难点
脱硫废水	湿法脱硫系统（石膏旋流器溢流）	高盐（TDS 20-60g/L）、高硬度、高悬浮物、含重金属、pH 4-6	腐蚀性强、易结垢、盐分难去除
循环排污水	冷却塔系统排污	含盐量高、含阻垢剂、杀菌剂等化学药剂	浓缩倍率控制、结垢风险
含煤废水	输煤系统冲洗、煤场雨水	高悬浮物、高浊度、含煤粉颗粒	固液分离难度大
含油废水	设备润滑、油系统泄漏	油类污染物、乳化油	破乳难度大、COD高
化学制水废水	反渗透浓水、再生废水	高盐、酸碱性强	酸碱中和、盐分浓缩
灰渣废水	除灰除渣系统	高pH、高悬浮物、含重金属	沉降性能差

1.3 火电厂废水污染特性

各类火电厂废水污染特性差异明显，具体表现为：含煤废水悬浮物浓度高达1000-5000mg/L，主要为煤粉颗粒，COD浓度约50-150mg/L；脱硫废水呈强酸性（pH 2-5），Cl⁻浓度可达10000-60000mg/L，同时富集Hg、Cr、Pb等重金属，毒性强且生物降解性差；工业工艺废水中，循环冷却排污水盐度较高（电导率2000-5000μS/cm），COD浓度50-300mg/L，含少量磷酸盐、氨氮；生活污水BOD₅浓度约

100-200mg/L，BOD₅/COD比值0.4-0.6，可生化性较好，含少量细菌及病原体；含油废水石油类浓度50-500mg/L，若直接排放易形成油膜污染水体^[1]。

2 火电厂常规污水处理工艺及方法

2.1 物理处理工艺

物理处理工艺是火电厂污水处理的基础环节，核心依托物理作用分离不溶性污染物，具有操作简单、成本低、无二次污染的特点，广泛应用于各类废水预处理或

初级处理。具体工艺及方法如下：(1) 沉淀工艺：利用污染物与水的密度差异实现固液分离，火电厂主流形式为平流式、竖流式和辐流式沉淀池。平流式构造简单、耐冲击负荷，适用于含煤废水等大颗粒悬浮物废水；竖流式占地面积小、效率高，多用于中小型电厂生活污水或工业废水预处理；辐流式径向水流均匀，适合循环冷却排污水等大水量废水处理。关键控制要点为水力停留时间和池体结构设计，需根据悬浮物浓度调整参数保障分离效率。(2) 过滤工艺：通过多孔介质截留悬浮杂质，作为沉淀工艺后续环节，常用石英砂、活性炭和纤维过滤。石英砂滤料去除残留细小悬浮物，适用于工业废水和含煤废水深度处理；活性炭借助吸附作用去除悬浮物、部分有机物及异味，用于生活污水和工业废水深度净化；纤维滤料过滤速度快、截污容量大，适配水量波动较大的废水。核心是滤料选择、过滤速度控制及反冲洗周期设定，需定期反冲洗恢复截留能力。(3) 离心分离工艺：借助离心力分离不同密度组分，适用于含细小悬浮颗粒或乳化油的废水，分为离心过滤和离心沉降两类。离心过滤侧重分离大颗粒悬浮废水；离心沉降适用于细小颗粒或乳化污染物。(4) 隔油工艺：专门分离含油废水中浮油和分散油，核心预处理工艺包括平流式隔油池、斜板隔油池和油水分离器。平流式水流平缓，浮油自然上浮收集，运行稳定；斜板强化分离效果，缩短停留时间；油水分离器借助重力、聚结作用加速分离，适配轻度乳化含油废水。关键是控制水流速度和停留时间，确保浮油充分上浮，定期清理池底沉淀物^[2]。

2.2 化学处理工艺

化学处理工艺通过投加化学药剂，利用化学反应改变污染物性质使其易分离，适用于去除物理方法难以处理的溶解性有机物、重金属离子、酸碱污染物等，广泛应用于脱硫废水、工业废水处理。具体工艺及方法如下：(1) 混凝工艺：投加混凝剂使细小悬浮颗粒和胶体凝聚成大絮体，常用铝盐、铁盐等无机混凝剂及聚丙烯酰胺等有机混凝剂。核心是选型和投加量控制，需根据废水pH值、污染物浓度、胶体性质调整参数，通常先投加无机混凝剂破坏胶体稳定性，再投加有机混凝剂增强凝聚效果，适用于含煤废水、工业废水等悬浮物和胶体含量较高的废水。(2) 中和工艺：调节废水pH值以适配后续处理或达标排放，是酸性和碱性废水处理的必要环节，分为酸性和碱性废水中和两类。处理酸性废水常用石灰、石灰石、氢氧化钠等中和剂，其中石灰成本低、来源广，应用最广；处理碱性废水多采用硫酸、盐酸等酸性药剂，或利用酸性废水自身中和。关键是精准控制药剂投加量，避

免pH值不当影响后续效果，同时处理反应产生的沉淀物。(3) 氧化还原工艺：通过氧化或还原反应转化污染物性质，使其无毒低毒或易分离，适用于含重金属、氰化物、难降解有机物的废水。氧化工艺常用次氯酸钠、过氧化氢、臭氧；还原工艺常用硫酸亚铁、亚硫酸钠等，主要处理含六价铬等氧化性重金属废水。核心是氧化剂/还原剂选型、投加量控制及pH值、温度等反应条件调节，确保反应充分提升去除效率。(4) 化学沉淀工艺：投加特定药剂与污染物反应生成难溶性沉淀物，通过固液分离去除，适用于含重金属、磷酸盐的废水，主要包括氢氧化物、硫化物和磷酸盐沉淀。氢氧化物沉淀通过调节pH值生成重金属氢氧化物，适配多种重金属废水；硫化物沉淀生成更难溶的硫化物，去除效率高，适用于低浓度重金属废水；磷酸盐沉淀投加磷酸盐药剂生成磷酸钙等，去除钙、镁离子防后续结垢。关键是药剂选型、pH值控制及沉淀物后续处置，避免二次污染。

2.3 生物处理工艺

生物处理工艺利用微生物代谢作用分解有机污染物，转化为无害的二氧化碳和水等，具有处理效果好、运行成本低、环保性强的特点，主要适用于处理火电厂生活污水及工业废水中可生化性较好的有机污染物。具体工艺及方法如下：(1) 活性污泥法：以活性污泥为核心，利用微生物群体分解有机物，是生活污水和工业废水生物处理主流工艺，由曝气池、沉淀池、回流污泥系统和剩余污泥排放系统组成。运行时废水与回流污泥在曝气池混合，曝气供氧使微生物好氧代谢有机物；混合液进入沉淀池实现污泥沉降分离，上清液为出水，部分污泥回流循环，剩余污泥需后续处置。关键控制参数包括溶解氧浓度、污泥浓度、污泥龄和水力停留时间，需根据有机物浓度调整参数，保障微生物活性，避免污泥膨胀。(2) 生物膜法：在载体表面培养生物膜，利用微生物分解有机物，适用于水量小、水质波动大的废水，常用生物滤池、生物转盘、生物接触氧化池等。生物滤池以碎石、塑料为载体，废水流经载体形成生物膜；生物转盘通过旋转圆盘使生物膜交替接触废水和空气；生物接触氧化池设置填料并曝气，兼具活性污泥法和生物膜法优势，效率高、运行稳定。核心是载体选择、曝气强度控制及生物膜更新周期管理，需定期清理老化生物膜保障效果。(3) 厌氧处理技术：无氧条件下利用厌氧微生物分解有机物产生甲烷，适用于高浓度有机废水，如生活污水化粪池处理、工业废水预处理，常用厌氧消化池、UASB反应器等。厌氧消化池通过密闭环境营造无氧条件，适配高浓度、高悬浮物有机废水；UASB反应器利用

厌氧颗粒污泥沉降性能实现固液分离,效率高、占地小,适用于中高浓度有机废水。关键是控制反应温度、pH值和有机负荷,保障厌氧微生物活性,同时收集处理产生的沼气避免安全隐患。(4)生物脱氮除磷工艺:利用特定微生物代谢作用去除氮、磷营养盐,适用于生活污水和含氮磷工业废水深度处理,防止水体富营养化。生物脱氮通过硝化菌和反硝化菌协同作用将氨氮转化为氮气,主要有缺氧-好氧(A/O)、厌氧-缺氧-好氧(A²/O)等工艺;生物除磷利用聚磷菌厌氧释磷、好氧吸磷特性去除磷,常与脱氮工艺结合。核心是控制各反应段溶解氧浓度、碳氮比和水力停留时间,保障微生物协同作用,提升氮磷去除效率^[3]。

3 火电厂新型污水处理工艺及技术创新进展

3.1 膜生物反应器(MBR)工艺

膜生物反应器将膜分离与生物处理耦合,适配火电厂生活污水与低浓度工业废水处理,兼具出水水质优、占地小、剩余污泥少的优势。针对火电厂废水特性的创新重点的是:研发耐盐、抗污染的PVDF复合膜与陶瓷膜组件,提升对高盐废水的适应性,延长膜寿命;优化膜组件流道与曝气系统设计,降低处理脱硫预处理后废水的能耗。目前多与混凝预处理组合应用,减轻膜污染负荷,处理后出水可直接回用于循环冷却系统,实现水资源回收。

3.2 生态处理工艺

依托植物-微生物-基质协同作用,适用于火电厂低浓度尾水深度净化。核心应用为“稳定塘-人工湿地”复合系统,选用芦苇、香蒲等耐盐耐重金属本土植物,搭配沸石、粉煤灰基质强化吸附重金属与氮磷。创新方向聚焦系统抗冲击设计,通过设置前置调节池应对火电厂废水水量水质波动,优化流态提升净化效率。实践中,处理后尾水COD、NH₃-N去除率可达50%以上,可回用于厂区绿化或景观用水,降低新鲜水消耗。

3.3 高级氧化协同工艺

针对火电厂脱硫废水、含油废水等难降解废水,通过技术耦合强化处理效能。主流创新技术为臭氧纳米气泡催化氧化与电芬顿协同工艺,利用纳米气泡提升臭氧利用率至99%以上,高效分解难降解有机物与重金属络合物;结合火电厂余热优化反应温度,降低能耗。另有等离子体纳米气泡技术,原位产生多种活性物质,针对性处理高盐脱硫废水中的重金属与难降解污染物,无二次污染,为火电厂极限废水处理提供新路径。

3.4 智能化污水处理工艺

依托物联网与大数据技术,适配火电厂多废水源协同处理管控需求。通过传感器实时采集脱硫废水pH、重金属浓度、循环水排污水盐度等关键参数,经云端平台分析后,自适应调节药剂投加量、膜组件运行参数。集成GIS与移动APP,实现各废水处理单元可视化管理与异常预警^[4]。

结束语:本文围绕火电厂污水处理工艺及方法展开全面探究,明确了不同类型废水的污染特性及适配处理路径。常规物理、化学、生物工艺是火电厂废水处理的基础保障,可满足基本达标要求;新型工艺的创新应用则有效突破了难降解、高盐废水处理瓶颈,提升了处理效能与智能化水平。未来,火电厂污水处理需进一步推动常规工艺与新型技术的深度融合,强化工艺优化与成本控制。本研究为火电厂污水处理技术升级提供了有益借鉴,助力行业实现绿色低碳与可持续发展。

参考文献:

- [1]申蓓.环保工程中污水处理工艺及方法探究[J].清洗世界,2024,40(3):139-141.
- [2]张燕,薛玉芬.环保工程中污水处理工艺及方法探究[J].清洗世界,2023,39(6):102-104.
- [3]龙文丽.环保工程中污水处理工艺及方法探究[J].皮革制作与环保科技,2023,4(3):13-15.
- [4]王莉香.环保工程中污水处理工艺及方法探究[J].皮革制作与环保科技,2023,4(14):11-13.