

# 电厂废水处理的化学方法及其效率分析

李彦

北方联合电力有限责任公司包头第三热电厂

DOI:10.12238/eep.v8i6.2716

**[摘要]** 随着电力工业的快速发展,电厂废水排放量不断增加,其含有的重金属离子、悬浮物、酸碱性物质等污染物对环境造成严重威胁。本文系统分析了电厂废水的化学特性与主要污染物组成,深入研究了化学沉淀法、化学氧化还原法、离子交换与络合沉淀法等主要化学处理技术的工艺原理和应用特点。通过对比分析各种化学处理方法的去除效率、处理成本和工艺稳定性,探讨了多级组合化学工艺的协同效应和优化策略。研究结果表明,化学沉淀法对重金属离子的去除率可达90%以上,化学氧化法对有机污染物的处理效果显著,离子交换技术在选择性去除特定离子方面具有独特优势。组合工艺较单一处理方法可提高处理效率15–30%,但需要合理控制pH值、反应时间和药剂投加量等关键参数。本研究为电厂废水的高效化学处理提供了理论依据和技术指导,对促进电力行业的清洁生产具有重要意义。

**[关键词]** 电厂废水; 化学处理; 重金属去除; 处理效率; 环境保护

中图分类号: X703 文献标识码: A

## Analysis of chemical methods and efficiency of wastewater treatment in power plant

Yan Li

Baotou No.3 Thermal Power Plant, Northern United Power Co., LTD

**[Abstract]** With the rapid development of the power industry, wastewater discharge from power plants has been increasing significantly. The pollutants contained in these effluents, such as heavy metal ions, suspended solids, and acidic/alkaline substances, pose serious environmental threats. This study systematically analyzes the chemical characteristics and major pollutant compositions of power plant wastewater, while conducting an in-depth investigation into the operational principles and application features of key chemical treatment technologies including chemical precipitation, chemical oxidation-reduction, and ion exchange with complexation precipitation. Through comparative analysis of removal efficiency, treatment costs, and process stability across various chemical methods, this research explores the synergistic effects and optimization strategies of multi-stage combined chemical processes. The findings indicate that chemical precipitation achieves over 90% removal rates for heavy metal ions, chemical oxidation demonstrates remarkable effectiveness in treating organic pollutants, and ion exchange technology uniquely excels in selective removal of specific ions. Combined processes can enhance treatment efficiency by 15–30% compared to single methods, though critical parameters like pH levels, reaction time, and reagent dosage require careful control. This study provides theoretical foundations and technical guidance for efficient chemical treatment of power plant wastewater, playing a significant role in promoting clean production practices within the power industry.

**[Key words]** power plant wastewater; chemical treatment; heavy metal removal; treatment efficiency; environmental protection

### 引言

电力工业作为国民经济的重要支柱产业,在快速发展的同时也带来了日益严重的环境污染问题,其中电厂废水污染尤为突出。电厂在发电过程中会产生大量的循环冷却水排污、锅炉排污水、脱硫废水等多种类型的废水,这些废水含有重金属离

子、悬浮物、酸性物质、有机污染物等多种有害成分,若未经有效处理直接排放,将对周围水体造成严重污染,破坏生态平衡,威胁人类健康。随着国家环保法规的日益严格和公众环保意识的不断提高,电厂废水的达标处理已成为电力企业必须面对的重要课题。

## 1 电厂废水的化学特性与污染物分析

### 1.1 电厂废水的主要来源与分类

电厂在发电过程中产生的废水主要包括三大类别，其中循环冷却水排污占总废水量的60-70%，主要来源于汽轮机冷凝器和辅助设备的冷却系统，这类废水的特点是水量大、温度高、含盐量较高，主要污染物为溶解性固体和缓蚀剂、阻垢剂等化学添加剂；锅炉排污水和化学清洗废水约占总量的20-25%，锅炉排污水含有高浓度的溶解性盐类和悬浮物，化学清洗废水则含有酸性或碱性清洗剂、重金属离子和有机溶剂等；脱硫废水和其他工艺废水占剩余的10-15%，脱硫废水是湿法脱硫工艺中产生的高含盐废水，含有大量的硫酸盐、氯化物、重金属离子和悬浮物，pH值通常在4-6之间，而其他工艺废水包括输煤冲洗水、含油废水、实验室废水等，成分复杂且水质变化较大。

表1 电厂各类废水的水质特征对比

废水类型	水量占比(%)	pH值	主要污染物	COD(mg/L)	悬浮物(mg/L)
循环冷却水排污	60-70	7.5-8.5	溶解性固体、化学添加剂	50-150	30-80
锅炉排污水	15-20	9-11	盐类、悬浮物	100-300	100-500
化学清洗废水	5-8	2-12	酸碱、重金属、有机物	200-800	50-200
脱硫废水	8-12	4-6	硫酸盐、氯化物、重金属	150-400	200-1000
其他工艺废水	3-7	6-9	石油类、悬浮物	100-500	100-800

### 1.2 电厂废水中的主要化学污染物

电厂废水中化学污染物种类繁多，重金属离子是最主要有害成分，包括汞、铅、镉、铬、砷、镍等，主要来源于燃煤天然含量和化学药剂，浓度范围为：汞0.01-0.05mg/L、铅0.1-0.8mg/L、镉0.05-0.3mg/L、六价铬0.2-1.5mg/L。悬浮物和溶解性固体是含量最大的污染物组分，悬浮物主要由煤灰、石膏晶体、金属氧化物组成，浓度50-1000mg/L，总溶解固体含量达3000-8000mg/L，严重影响废水处理和回用。酸碱性物质来自脱硫工艺和水处理过程，有机污染物包括缓蚀剂、阻垢剂、清洗剂等，COD值通常在50-800mg/L范围内，虽含量相对较少但对处理工艺选择和效果具有重要影响<sup>[1]</sup>。

### 1.3 污染物浓度特征与环境危害评估

电厂废水污染物浓度呈现明显时空变化规律，时间上机组启停、检修期间污染物浓度显著高于正常运行期，重金属离子浓度增加2-5倍，悬浮物增加3-8倍；空间上不同排放点浓度差异较大，脱硫废水重金属和硫酸盐浓度最高，循环冷却水溶解性固体浓度相对较高。污染物环境影响主要表现为：重金属离子具有生物累积性和持久性，通过食物链富集对水生生物造成慢性毒害，汞浓度超过0.01mg/L会损害鱼类神经系统；高盐分和悬浮物改变水体理化性质，影响光合作用和氧气溶解导致富营养化；酸性物质降低水体pH值破坏生物生存环境<sup>[2]</sup>。环境风险评价显示电厂废水综合污染指数通常为1.5-3.2，属中度到重度污染，需有效处理才能达标排放。

## 2 电厂废水化学处理技术方法

### 2.1 化学沉淀法

化学沉淀法是最广泛应用的电厂废水化学处理方法，通过投加沉淀剂使溶解性污染物转化为不溶性沉淀而去除。氢氧化物沉淀技术投加石灰、氢氧化钠等调节pH至8.5-11.0，对铅、镉、铬去除率达95%以上，但对汞处理效果较差（70-80%）；硫化物沉淀技术在pH=7-9条件下形成低溶解度金属硫化物，特别适用于汞离子去除，去除率达99%以上，但产生有毒硫化氢需配套尾气处理；碳酸盐沉淀在pH=8-10下形成金属碳酸盐，对钙、镁离子去除效果显著；磷酸盐沉淀与多种重金属形成稳定沉淀，具有效果好、适用范围广的优点。沉淀剂选择和投加量优化是关键因素，理论投加量按化学计量比计算，实际需增加20-50%安全系数。

表2 不同沉淀方法对重金属离子的去除效果对比

沉淀方法	最佳pH范围	汞去除率(%)	铅去除率(%)	镉去除率(%)	铬去除率(%)	药剂成本(元/m³)
氢氧化物沉淀	8.5-11.0	70-80	95-98	92-96	88-94	8-12
硫化物沉淀	7.0-9.0	98-99	96-99	94-98	90-95	15-25
碳酸盐沉淀	8.0-10.0	65-75	85-92	80-88	75-85	6-10
磷酸盐沉淀	7.5-9.5	85-92	93-97	88-94	82-90	12-20

### 2.2 化学氧化还原法

化学氧化还原法通过改变污染物化学形态实现分离去除，主要用于处理有机污染物和特定价态重金属离子。芬顿氧化技术利用Fe<sup>2+</sup>催化H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>产生羟基自由基，在pH=3-4、Fe<sup>2+</sup>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>摩尔比1:5-10条件下，COD去除率达80-90%，但产生大量铁泥；臭氧氧化具有氧化能力强、无二次污染等优点，臭氧投加量为理论需氧量1.5-2.5倍时，有机物去除率达70-85%；电化学氧化在电流密度20-50mA/cm<sup>2</sup>下，有机物去除率为60-80%，电耗5-15kWh/m<sup>3</sup>；光催化氧化使用TiO<sub>2</sub>在紫外光下产生活性氧类降解有机物，但仍处于实验室阶段。对于还原性重金属，可使用次氯酸盐或高锰酸钾氧化三价铬为六价铬后沉淀去除，氧化效率达90%以上<sup>[3]</sup>。

### 2.3 离子交换与络合沉淀法

离子交换技术利用树脂选择性吸附去除特定离子，主要用于深度处理和废水回用。强酸性阳离子交换树脂对Cu<sup>2+</sup>、Zn<sup>2+</sup>、Ni<sup>2+</sup>等二价重金属离子交换容量为1.8-2.2mmol/g，强碱性阴离子交换树脂交换容量为1.0-1.4mmol/g，树脂再生通常使用2-4%的酸碱溶液。整合剂络合沉淀工艺使用EDTA、DTPA等与重金属形成络合物后调节pH值沉淀分离，对低浓度重金属特别是汞、镉等毒性重金属具有良好去除效果。选择性离子去除技术结合离子交换和膜分离优点，使用功能化离子交换膜实现特定离子高效分离，处理后目标离子浓度可降至检出限以下，但投资和运行成本较高。

## 3 化学处理方法的效率评价与优化

### 3.1 单一化学处理方法的效率分析

各种单一化学处理方法在去除率、处理成本和操作稳定性

方面差异显著。硫化物沉淀法重金属去除率最高(95-99%)但药剂成本为15-25元/ $\text{m}^3$ ;芬顿氧化法COD去除率达80-90%但处理成本高达25-40元/ $\text{m}^3$ 且产生大量铁泥;离子交换法可实现深度除盐达到回用标准但年运行成本为30-50元/ $\text{m}^3$ 。氢氧化物沉淀法成本优势明显,药剂费用仅8-12元/ $\text{m}^3$ ,但对汞等特殊重金属效果有限;臭氧氧化法设备能耗高,年运行成本为20-35元/ $\text{m}^3$ <sup>[4]</sup>。工艺稳定性方面,化学沉淀法技术成熟、操作简单、适应性强,故障率低于2%;氧化还原法参数要求严格、操作复杂;离子交换法需完善预处理但自动化程度高。

### 3.2 组合化学工艺的协同效应

多级化学处理工艺通过合理组合发挥协同效应,显著提升处理效果。“混凝沉淀+芬顿氧化+离子交换”三级系统中,一级去除80-90%重金属和悬浮物,二级COD去除率提高至95%以上,三级实现重金属浓度降至0.01mg/L以下;“化学沉淀+电化学氧化+膜分离”工艺重金属去除率达99%以上,有机物去除率达90%以上。协同机理表明前级沉淀调节pH值和离子强度为后续反应创造有利条件,氧化中间产物易于分离,多级处理具有互为备用优势。组合工艺较单一方法可提高处理效率15-30%,虽总投资增加40-60%,但出水回用率可从30-50%提高到80-90%,综合经济效益显著提升。

### 3.3 化学处理效率的影响因素与优化策略

化学处理效率受pH值、温度、反应时间等多种因素影响,其中pH值是最关键参数。氢氧化物沉淀最适pH为8.5-11.0,芬顿氧化最适pH为3-4,偏离最适范围1个单位去除率下降5-10%。温度每升高10℃反应速率提高1-2倍,但过高会导致药剂分解,最适温度为20-40℃;沉淀反应最佳停留时间30-60分钟,氧化反应需60-120分钟。优化策略包括:通过正交试验确定最佳药剂配比,建立pH-投加量-去除率数学模型;采用分段投药技术提高利用率10-15%;引入在线监测系统自动调整参数;优化反应器结

构设计,建立完善预处理系统,配备污泥回流系统,实施精细化管理确保系统稳定运行<sup>[5]</sup>。

## 4 结论

电厂废水成分复杂,重金属离子、悬浮物和溶解性固体是主要污染成分,脱硫废水污染程度最高,汞、铅、镉等重金属虽浓度较低但危害严重。各化学处理技术特点不同:氢氧化物沉淀法成本低、应用广,重金属去除率达90%以上;硫化物沉淀法对汞处理效果优异但有二次污染风险;化学氧化法对有机物处理效果显著但成本较高;离子交换技术适用于深度处理但维护成本高。组合化学工艺通过协同效应显著提高处理效率,“沉淀+氧化+离子交换”工艺效果最佳,重金属和有机物去除率均达95%以上,出水回用率达85-95%。优化需精确控制关键参数并建立自动控制系统,实际应用中应根据废水特点科学选择技术组合。未来发展应重点关注新型药剂开发、智能化控制、资源回收利用及成本降低。

## [参考文献]

- [1]周永强,郑观文,曹顺安.脱硫废水预处理系统运行性能分析与优化[J].山西电力,2024(1):65-68.
- [2]何雁鸣.某电厂废水零排放旁路烟道蒸发系统对锅炉热效率影响分析[J].节能与环保,2023(5):76-79.
- [3]李小梅.新型火电厂废水全自动处理设备的应用分析[J].今日制造与升级,2024(12):161-163.
- [4]乔卫敏.电厂化学制水处理的工艺及节能措施[J].大众科学,2024,45(21):25-27.
- [5]方颖斐.电厂化学水处理设备腐蚀问题处理措施探讨[J].山西化工,2023,43(7):69-71.

## 作者简介:

李彦(1989-),男,汉族,内蒙古人,工程师,北方联合电力有限责任公司包头第三热电厂,研究方向:化学环保方向。