

煤化工与矿井水浓盐水资源化利用技术开发与工程实践

赵振云

中煤鄂尔多斯能源化工有限公司 内蒙古 鄂尔多斯 017000

摘要: 本文聚焦煤化工与矿井水浓盐水资源化利用技术开发。深入剖析二者各自水质特性, 细致对比其共性与差异; 全面梳理适用的预处理方法, 并对比分析经济性; 详细阐述膜分离脱盐技术创新、热法脱盐技术改进及新兴脱盐技术探索情况; 还介绍了涵盖盐、水及其他资源的回收利用技术, 旨在为煤化工与矿井水浓盐水资源化利用提供全面的技术指引。

关键词: 煤化工浓盐水; 矿井水浓盐水; 资源化利用

引言: 随着我国煤化工产业规模的持续扩张与矿井开采深度的不断增加, 煤化工与矿井水浓盐水的排放量日益攀升, 其高盐、高污染特性对生态环境与水资源安全构成严峻挑战。在此背景下, 如何通过技术创新实现浓盐水资源化利用, 成为行业可持续发展的关键命题。本文聚焦煤化工与矿井水浓盐水特性, 系统探讨其资源化利用的技术路径与工程实践。

1 煤化工与矿井水浓盐水水质特性分析

1.1 煤化工浓盐水水质特征

煤化工浓盐水成分复杂, 含高浓度无机盐, 像钠、钾、钙、镁的氯化物、硫酸盐等, 盐分浓度高使水体电导率大幅上升, 如某大型企业浓盐水中钠离子浓度达 5000 - 8000mg/L, 硫酸根离子浓度 3000 - 6000mg/L, 电导率 20000 - 30000 μ S/cm。生产所用化学药剂和原料会带入酚类、烃类、含氮杂环化合物等有机物, 大多具生物毒性且难降解, 部分酚类物质含量可达 50 - 100mg/L。此外, 浓盐水中还可能含少量汞、镉、铅等重金属, 源于原料杂质或生产设备, 对生态和人体危害极大。

1.2 矿井水浓盐水水质特征

矿井水浓盐水的水质特征与矿井所在的地质条件、开采方式等密切相关。一般来说, 矿井水浓盐水中含有较高的悬浮物, 主要是煤尘、岩尘等颗粒物。某矿井的矿井水浓盐水悬浮物含量经测定在200-500mg/L之间。其盐分组成以氯化物和硫酸盐为主, 但浓度相对煤化工浓盐水可能较低^[1]。部分矿井水还可能受到地下水中特殊成分的影响, 含有一定量的氟化物、硫化物等有害物质。

1.3 两类浓盐水水质共性与差异对比

煤化工与矿井水浓盐水有共性, 都属高盐水体, 盐分浓度高, 给处理和资源化利用带来挑战, 且都可能含有有机物、重金属等污染物, 需有效处理。不过二者差异明显: 盐分浓度上, 煤化工浓盐水通常更高, 处理更

难; 有机物种类上, 前者多为化工生产产生的复杂有机物, 后者主要来自采矿药剂和地下水原有有机物, 相对简单; 重金属含量上, 前者受原料和工艺影响更复杂多样, 后者一般相对较低。具体数据对比见表1。

表1 煤化工与矿井水浓盐水水质对比

水质指标	煤化工浓盐水	矿井水浓盐水
钠离子浓度 (mg/L)	5000-8000	1000-3000
硫酸根离子浓度 (mg/L)	3000-6000	800-2000
酚类物质含量 (mg/L)	50-100	0.5-5
悬浮物含量 (mg/L)	50-150	200-500
氟化物含量 (mg/L)	0.1-1	5-15

2 浓盐水处理技术开发

2.1 煤化工浓盐水处理技术

针对煤化工浓盐水, 常用沉淀、过滤、混凝等预处理技术。沉淀法添加聚合氯化铝等药剂, 使悬浮物和部分胶体凝聚沉降。过滤借助石英砂、活性炭等多孔介质截留杂质, 活性炭可吸附部分有机物。混凝沉淀与过滤组合工艺应用广泛, 能有效降低水中悬浮物、浊度和部分有机物含量, 处理后浊度可从 100NTU 降至 10NTU 以下^[2]。

2.2 矿井水浓盐水处理技术

矿井水浓盐水处理重点去悬浮物、降浊度。常用自然沉淀、斜板沉淀池沉淀, 自然沉淀靠重力, 耗时长、效率低; 斜板沉淀池设斜板提高效率。含细小颗粒多的水可用气浮法, 通入空气去除颗粒。结合臭氧、芬顿氧化技术去除有机物, 臭氧氧化快速分解有机物, 芬顿氧化有效去除难降解有机物, 处理后 COD 可从 150mg/L 降至 50mg/L 以下。

2.3 预处理技术经济性对比

投资成本上, 自然沉淀、斜板沉淀池沉淀等传统技术设备简单、投资低; 气浮法、MBR 等新型技术需专用设备, 投资高。运行成本方面, 传统技术主要消耗药剂

和电力，成本低。不同技术经济性参数对比见表 2。综合而言，水质要求低、规模大的项目，传统技术经济性好；水质要求高、出水稳定性要求严的项目，新型技术虽成本高，但更能满足需求。

表2 不同预处理技术经济性对比（处理规模100m³/h）

预处理技术	投资成本 (万元)	单位运行成本 (元/m ³)	处理周期 (h)	出水浊度 (NTU)
自然沉淀	30-50	0.8-1.2	24-36	20-30
斜板沉淀池沉淀	80-120	1.5-2.0	4-6	5-10
气浮法	150-200	2.5-3.0	1-2	2-5
MBR技术	300-400	4.0-5.0	0.5-1	1-3

3 浓盐水脱盐核心技术开发

3.1 膜分离脱盐技术创新

膜分离技术是浓盐水脱盐常用方法，有反渗透（RO）、纳滤（NF）等。反渗透利用半透膜选择性透过

原理，在压力下让水分子通过、截留盐分杂质，新型聚酰胺复合膜脱盐率、通量更高，抗污染性增强。纳滤对二价、多价离子截留好，允许部分一价离子通过，可做反渗透前处理，降低进水负荷、延长反渗透膜寿命。针对膜污染问题，开发了多种膜清洗技术和抗污染膜。如在线化学与物理清洗结合，有效去除膜表面污染物；抗污染膜改变膜表面性质，减少污染物吸附沉积。

3.2 热法脱盐技术改进

热法脱盐技术中，多效蒸发（MED）与机械压缩蒸发（MVR）是核心。近年来革新设备结构和工艺流程，采用降膜蒸发器提升传热效率30%以上、减少结垢，优化操作参数使蒸发效率提升至80-85%。机械压缩蒸发通过压缩机压缩二次蒸汽，实现循环利用，具有能耗低、占地小优势^[3]。不同脱盐技术的能耗对比见表3

表3 不同脱盐技术能耗对比（处理浓盐水TDS = 50000mg/L）

脱盐技术	单位能耗 (kWh/m ³ 淡水)	脱盐率 (%)	淡水产量 (m ³ /d)	适用浓盐水类型
传统反渗透 (RO)	5-8	98-99	500-2000	中低浓度浓盐水
新型抗污染RO	6-9	99-99.5	800-3000	高有机物浓盐水
多效蒸发 (MED)	80-120	99.5-99.8	100-1000	高浓度、高结垢浓盐水
机械压缩蒸发 (MVR)	30-50	99.5-99.8	200-1500	高浓度浓盐水
正渗透 (FO)	3-6	90-95	50-500	低污染浓盐水

4 处理工艺技术路线与原理（实例分析）

4.1 该项目采用的总体工艺路线为：双效蒸发+离心分离+流化床干燥+包装 与 蒸发器母液+滚筒干燥+包装的组合工艺。

“处理规模为10.5 m³/h，年运行8000小时，旨在处理现有及规划项目中产生的四股高浓盐水：（1）硫酸钠母

液：4.0 m³/h（2）氯化钠母液：2.5 m³/h（3）60吨/年纳滤分盐浓水：1.5 m³/h（4）25吨/年纳滤分盐浓水：1.0 m³/h

（5）进水水质特征（实例数据）：如下表4所示，这些浓盐水具有高盐、高COD的特点，是典型的难处理化工废水。

表4 进水水质特征（实例数据）

项目	单位	硫酸钠母液	氯化钠母液	60吨纳滤分盐浓水	25吨纳滤分盐浓水
CL ⁻	mg/L	74956.33	171992.8	19718	22596.5
SO ₄ ²⁻	mg/L	21786.7	26526	8848	8594
Ca ²⁺	mg/L	-	0	0	0
Mg ²⁺	mg/L	5.05	0	0	0
总硬	mg/L	20.36	0	0	0
SiO ₂	mg/L	944.33	2777.45	224.3	162.37
pH	mg/L	10.32	10.55	9.07	8.47
COD	mg/L	3400	10650	526	801
TDS	mg/L	188310	442320	51810	56220
总碱度	mg/L	6983.98	19758.99	531.56	429.54

4.2 核心工艺：双效强制循环蒸发结晶

4.2.1 技术原理：采用抗结疤、抗盐析能力强的强制

循环蒸发结晶器。物料在蒸发系统内通过强制循环泵高速循环，经加热室加热后，在分离室进行闪蒸浓缩，有

效减缓设备结垢与腐蚀。利用一效产生的二次蒸汽作为二效的热源,显著降低生蒸汽消耗,提高热效率。

4.2.2 物料流程:原料经预热器(利用二次汽冷凝水和生蒸汽冷凝水的余热)预热后,进入双效蒸发系统浓缩结晶。结晶浆液经出料泵送至稠厚器增浓,后进入离心机分离,得到固体盐(低品质盐)。分离出的母液大部分循环回系统,小部分作为高COD浓液外排至母液干化单元。

4.2.3 蒸汽流程:生蒸汽进入一效加热室冷凝放热,冷凝水回收利用。一效产生的二次蒸汽引入二效加热室作为热源,其冷凝水与二效产生的二次蒸汽冷凝水一同收集,部分用于预热原料,最终达标排放至回用水系统

4.3 母液处理工艺:滚筒干燥

对于系统中外排的高COD、高杂质母液,采用滚筒干燥机进行干化处理,得到杂盐,实现废物的终极减量与稳定化。

5 工艺运行指标与产品(实例数据)

5.1 处理产物

5.1.1 低品质盐:产量约2.5 t/h成分约为NaCl 48.91%, Na₂SO₄45.36%, Na₂CO₃ 5.73%, 含水率≤1%。

5.1.2 杂盐:产量约0.4 t/h,成分约为NaCl 66.85%, Na₂SO₄9.36%, Na₂CO₃ 6.69%, COD及其它7.1%, 含水率≤10%。

5.2 副产水质

工艺产生的冷凝水水质良好,可实现回收或达标排放。

(1) 蒸发冷凝水:流量8.6 m³/h, pH 6-8, 电导率≤1500 μS/cm。

(2) 生蒸汽冷凝水:流量7.6 m³/h, pH 6-8, 电导率≤100 μS/cm, 品质极高。

本技术开发与工程实践取得了显著成效。以文中所述“双效强制循环蒸发结晶+滚筒干燥”组合工艺处理10.5m³/h混合浓盐水为例,工程实践表明:

在水资源回收方面,系统每小时可产生高品质蒸发冷凝水8.6m³,电导率≤1500μS/cm,可直接回用于生产系统,实现了水资源的高效循环利用,年回收水量可观。

在盐资源回收方面,工艺能稳定产出低品质盐(2.5t/h)和杂盐(0.4t/h),尽管产品经济价值有待提升,但实现了盐分的固化与析出,为后续分质资源化奠定了基础,终极废物体积大幅减少。

在能效方面,采用双效蒸发和MVR等节能设计,相较于传统单效蒸发,单位水回收能耗显著降低,体现了工艺的经济性优势。

结束语

煤化工与矿井水浓盐水资源化利用技术开发意义重大,通过对其水质特性分析、预处理与脱盐核心技术探索以及资源回收技术开发,看到了实现水资源高效循环利用的可行性。尽管目前部分技术仍存在成本高、效率有待提升等问题,但随着研究的深入和技术的不断创新,这些问题将逐步得到解决。未来,应加大在该领域的投入,推动技术向更高效、经济、环保的方向发展,为我国水资源保护和可持续发展贡献力量。

参考文献

- [1]江成广.煤化工与矿井水浓盐水资源化利用技术开发[J].煤化工,2019,47(3):13-16.
- [2]杨廷超.煤矿矿井水处理技术及资源化综合利用[J].煤炭与化工,2021,(12):61-63+68.
- [3]刘文,满强强.煤化工废水处理及资源化利用研究现状[J].石化技术,2023,30(11):110-112.