

# 冷轧废水零排放工艺路线与实践探讨

姜向东

安阳钢铁集团有限责任公司 河南 安阳 455000

**摘要：**钢铁企业冷轧生产过程中产生的废水成分复杂、波动明显，对处理工艺提出较高要求。本文详细阐述冷轧废水来源、水质特征，设计涵盖预处理、深度处理、浓水处置及回用的零排放工艺路线。探讨预处理、深度处理、浓水处置及回用等工艺实践要点，提出工艺参数、组合及运行成本控制等优化方向，为冷轧废水零排放工艺的稳定性与持续改进提供理论支持与实践参考。

**关键词：**冷轧废水；零排放工艺；工艺实践；工艺优化；资源回收

引言：钢铁企业冷轧生产过程中会产生大量废水，其形成与冷轧各工艺环节操作紧密相关。冷轧废水成分复杂，涵盖无机与有机污染物，且水质波动明显，受生产工艺、产品品种等多种因素影响。这种复杂且不稳定的废水特性，给处理工艺带来了巨大挑战，对处理工艺的稳定性与针对性提出了较高要求。在此背景下，探讨冷轧废水零排放工艺路线与实践具有重要的现实意义，有助于实现钢铁企业的可持续发展和水资源的有效利用。

## 1 冷轧废水来源与水质特征及零排放工艺路线设计

### 1.1 冷轧废水来源与水质特征

冷轧废水是钢铁企业冷轧生产过程中产生的主要工业废水之一，形成与冷轧各工艺环节的操作密切相关，水质呈现成分复杂、波动明显的典型工业废水特征，对处理工艺的稳定性与针对性提出较高要求。冷轧废水的产生贯穿整个冷轧生产流程，水质组分受生产工艺、产品品种等因素影响存在显著差异，波动规律与生产负荷、工艺参数调整等密切相关，相关特征已在诸多工业环保研究及生产实践中得到验证。

### 1.2 冷轧废水产生环节

冷轧废水的产生分布于冷轧生产的多个核心工序，各工序排放的废水均具有鲜明的工艺关联性。酸洗工序是废水主要产生环节，酸洗槽排放的废液及酸洗后的冲洗水共同构成该环节废水主体，废液中富集酸洗过程中溶解的污染物，冲洗水虽浓度较低，但排放流量较大，累计污染负荷不容忽视<sup>[1]</sup>。冷轧区域的轧制工序会产生含油及乳化液废水，源于轧制过程中使用的润滑油经高压作用形成的乳化体系，伴随轧制设备的清洗过程持续排放。表面处理环节同样产生大量废水，包括脱脂清洗废水、镀锌钝化废水等，脱脂过程中热碱液清洗带钢表面的轧制油形成脱脂废水，镀锌钝化工序更换的钝化液则形成含特定重金属的废水，设备及管道的维护清洗也会

产生少量辅助性废水。

### 1.3 冷轧废水水质组分

冷轧废水水质组分复杂多样，涵盖无机污染物与有机污染物，污染物浓度受生产工艺影响存在一定差异。无机污染物中，悬浮物含量较高，主要来源于钢材表面脱落的氧化皮及生产过程中产生的磨损颗粒；重金属离子是核心无机污染物，主要包括铁、锌、铬等，部分生产工艺还会引入镍、铜等微量重金属，这些离子均来自钢材表面溶解及工艺药剂添加。酸碱性物质在废水中分布不均，酸洗工序产生的废水呈强酸性，pH值可低至2-3，而脱脂、清洗等工序产生的废水则呈碱性，pH值最高可达12。有机污染物主要包括轧制油、平整液中的有机成分，其中平整液中的脂肪酸、链烷醇胺等物质会导致废水COD浓度显著升高，部分情况下COD质量浓度可达到20000mg/L左右，同时表面活性剂等辅助药剂也会成为有机污染的重要组成部分。

### 1.4 冷轧废水水质波动特点

冷轧废水水质波动具有明显的规律性和复杂性，波动范围与生产运行状态密切相关。pH值波动幅度较大，不同工序排放废水的酸性差异直接导致混合废水pH值在2-12之间波动，给处理系统的中和环节带来挑战。悬浮物、重金属离子及COD等指标的浓度波动与生产负荷、作业率密切相关，各机组生产能力的调整会直接改变废水污染物浓度，轧制油、钝化液等药剂的更换则会导致污染物种类及浓度出现突发性变化。水温波动主要受生产工艺加热影响，而非直接冷却作用，这种波动会进一步影响废水中乳化体系的稳定性，间接加剧水质指标的波动。产品品种的调整也会导致水质组分发生变化，不同规格冷轧产品的生产工艺差异，会使废水中重金属离子种类及有机污染物含量出现相应波动。

## 2 冷轧废水零排放工艺路线设计

## 2.1 预处理工艺选择

### 2.1.1 物理处理工艺

物理处理工艺以物理分离为核心, 无需添加化学药剂, 可有效去除废水中悬浮物及浮油。常用工艺包括格栅、沉淀、气浮及过滤, 格栅用于拦截废水中较大颗粒杂质, 防止设备堵塞; 沉淀工艺通过重力作用分离悬浮颗粒, 降低废水浊度; 气浮工艺利用微气泡吸附废水中乳化油及细小悬浮物, 提升除油效果; 过滤工艺进一步去除细小杂质, 保障后续工艺进水水质稳定<sup>[2]</sup>。

### 2.1.2 化学处理工艺

化学处理工艺主要用于破乳、中和及去除重金属离子, 弥补物理处理工艺的局限性。破乳处理采用投加破乳剂的方式, 破坏废水中乳化体系, 使油水分层, 便于后续分离; 中和处理通过投加酸碱药剂, 调节废水pH值至适宜范围, 避免酸碱性对后续工艺造成损害; 化学沉淀工艺投加螯合剂等药剂, 与废水中重金属离子反应形成难溶性沉淀物, 实现重金属去除。

## 2.2 深度处理工艺设计

### 2.2.1 膜分离处理工艺

膜分离处理工艺凭借高效分离特性, 成为冷轧废水深度处理的核心技术, 主要包括超滤、纳滤及反渗透。超滤可去除废水中胶体、大分子有机物及剩余悬浮物, 保障后续反渗透系统稳定运行; 纳滤用于截留小分子有机物及部分重金属离子, 进一步提升水质; 反渗透通过膜的筛分作用, 去除水中绝大部分溶解性盐类及微量污染物, 产出高品质回用水。

### 2.2.2 高级氧化处理工艺

高级氧化处理工艺用于降解废水中难生物降解的有机污染物, 降低废水COD浓度。常用工艺包括臭氧氧化、芬顿氧化等, 臭氧氧化通过产生强氧化性自由基, 破坏有机污染物分子结构, 实现降解; 芬顿氧化利用亚铁离子与过氧化氢反应生成的羟基自由基, 高效降解有机污染物, 适配冷轧废水中难降解有机物的处理需求。

## 2.3 浓水处置工艺设计

### 2.3.1 浓水浓缩工艺

浓水浓缩工艺主要用于降低浓水体积, 提升污染物浓度, 为后续结晶处理创造条件。常用工艺包括蒸发浓缩及膜蒸馏, 蒸发浓缩通过加热使浓水水分蒸发, 实现浓缩; 膜蒸馏利用膜两侧温度差形成蒸汽压差, 实现水分分离, 浓缩效率高且能耗相对较低, 适配冷轧浓水处置需求。

### 2.3.2 结晶处理工艺

结晶处理工艺用于将浓缩后浓水中的盐分转化为固

体结晶, 实现盐分资源化回收。常用工艺包括蒸发结晶及冷却结晶, 蒸发结晶通过持续蒸发水分, 使盐分达到饱和状态并析出结晶; 冷却结晶利用盐分溶解度随温度变化的特性, 通过降温使盐分析出, 结晶产物可回收利用, 实现浓水无害化处置。

## 2.4 处理水回用工艺设计

处理水回用工艺需结合冷轧生产各环节用水需求, 实现分质回用, 提升水资源利用率。深度处理后的产水可用于轧制工序冷却、设备清洗等低水质要求环节; 经反渗透处理后的高品质产水可用于酸洗补充水、表面处理工艺用水等对水质要求较高的环节, 回用过程需设置水质监测装置, 保障回用水水质符合生产要求, 形成水资源循环利用体系。

## 3 冷轧废水零排放工艺实践要点

### 3.1 预处理工艺实践

预处理工艺实践核心是适配废水水质波动特性, 优化操作参数保障处理效果, 为后续深度处理筑牢基础。物理处理环节需定期清理格栅截留的杂质, 根据废水浊度动态调整沉淀时间与气浮压力, 过滤介质需按运行周期及时更换, 避免堵塞导致处理效率下降<sup>[3]</sup>。化学处理环节需精准控制破乳剂、酸碱药剂及螯合剂投加量, 结合废水pH值、污染物浓度实时动态调整, 避免药剂浪费或处理不彻底, 破乳后静置分层时间需合理把控, 确保油水分离效果, 减少后续工艺污染物负荷, 为深度处理提供稳定且合格的进水条件, 保障全流程处理体系稳定运行。

### 3.2 深度处理工艺实践

深度处理工艺实践承接预处理后的水体开展净化作业, 重点针对水体中残留污染物进行精细化处理。膜分离工艺实践中按照设备运行规范控制流体状态, 维持膜组件在稳定环境下完成污染物截留, 通过合理的操作方式延缓膜表面污染物附着, 维持膜分离单元的持续运行能力。高级氧化工艺实践借助氧化反应破坏难降解物质的分子结构, 改变污染物在水体中的存在形式, 提升水体可处理性。操作过程严格遵循氧化反应的控制条件, 保证反应过程能够有序推进。深度处理各单元的实践操作均依托水处理工程领域的成熟技术规范, 通过科学的操作方式提升污染物去除程度, 使出水性状能够满足后续浓水处置与回用的基本要求, 为零排放目标的实现提供坚实支撑。

### 3.3 浓水处置工艺实践

浓水处置工艺实践针对深度处理后产生的浓缩水体开展资源化处理, 通过合理操作实现水体中盐分与杂质的分离。浓缩工艺实践中按照物料特性控制处理条件, 逐步提

升水体中盐分含量,减少需要进入结晶单元的水体体积。操作过程遵循物料浓缩的物理化学规律,通过稳定的运行控制提升浓缩效率。结晶工艺实践依托结晶反应条件完成盐分析出,使水体中溶解盐分转化为固体形态实现分离。整个浓水处置实践过程严格按照工业废水浓水处理的技术要求开展,通过规范操作减少盐分在设备内部的附着与积累,保障处置单元能够持续稳定运行。该环节实践注重物料转化的完整性,尽可能实现水体中可回收物质的完整分离,减少污染物在系统内的累积。

#### 3.4 回用工艺实践

回用工艺实践将处理达标水体重新输送至冷轧生产环节,实现水资源的循环利用。回用前对处理水体进行水质调控,使水体性状能够匹配冷轧生产各环节的用水需求。回用输送环节采用合理的输送方式维持水体稳定,避免输送过程中出现二次污染影响用水安全。实践过程中注重回用路径的合理规划,使处理后水体能够顺畅进入对应的生产用水单元。回用工艺的操作均依据工业水回用的技术标准开展,通过科学管控保障回用水体在生产环节中能够正常使用。整个回用实践过程搭建起水资源循环利用的通道,让处理后水体重新发挥使用价值,推动冷轧生产过程中水资源利用模式的完善,助力零排放体系的完整构建。

### 4 冷轧废水零排放工艺优化方向

#### 4.1 工艺参数优化

工艺参数优化是冷轧废水零排放系统稳定高效运行的重要支撑,基于废水处理工艺的反应机理与运行规律,通过调整关键参数实现处理效能提升。预处理阶段需优化药剂投加量与反应时间,结合水质波动特点动态调控,避免药剂浪费或反应不充分导致的处理效果下降,相关优化方法参考水处理工程中物理化学反应参数调控理论<sup>[4]</sup>。深度处理环节重点优化膜分离工艺的运行压力、流量与清洗周期,缓解膜污染现象,延长膜组件使用寿命,优化依据来源于膜分离技术在工业废水处理中的应用研究成果。浓水处置过程中,优化浓缩与结晶工艺的温度、浓度等参数,提升资源回收效率,减少能耗损耗,参数设定需符合热力学与动力学反应规律。

#### 4.2 工艺组合优化

工艺组合优化聚焦各处理单元的协同性,打破单一工艺局限性,构建适配冷轧废水水质特征的高效处理体系。预处理与深度处理工艺的组合需兼顾预处理对后续工艺的支撑作用,优化物理处理与化学处理的衔接流程,减少预

处理环节产生的杂质对深度处理单元的干扰。膜分离工艺与高级氧化工艺的组合优化,可针对性解决膜分离难以降解的微量有机物问题,通过高级氧化预处理破坏有机物结构,降低膜污染风险,该组合思路源于工业废水深度处理的协同工艺研究。浓水处置与回用工艺的组合优化,需实现浓水资源化与回用水质达标双重目标,优化浓缩、结晶与回用工艺的衔接逻辑,确保处理水满足冷轧生产用水标准,提升水资源循环利用率。

#### 4.3 运行成本控制优化

运行成本控制优化围绕药剂消耗、能耗损耗与设备维护三个核心维度展开,在保障处理效果的前提下实现经济性提升。药剂消耗优化通过精准调控药剂投加量,结合水质实时监测数据调整投加方案,选用高效低耗药剂替代传统高耗药剂,参考工业废水处理药剂优化的相关技术研究。能耗优化重点针对膜分离、浓缩、结晶等高能耗单元,优化设备运行参数,采用节能型设备替代传统高能耗设备,降低电力与热能消耗,相关优化路径符合节能型水处理工艺的发展方向。设备维护优化通过建立常态化维护机制,及时排查设备运行隐患,减少设备故障停机时间,延长设备使用寿命,降低设备更换与维修成本,维护方案基于设备管理与水处理系统运行维护的专业理论。

#### 结束语

冷轧废水零排放工艺路线与实践是一个复杂且系统的工程。通过对其废水来源、水质特征的分析,设计合理的工艺路线,并在实践中把握各环节要点,能有效实现废水零排放。同时,从工艺参数、组合及运行成本控制等方面进行优化,可进一步提升处理效能和经济性。这一工艺的推广应用,不仅能减少钢铁企业废水排放对环境的污染,还能提高水资源利用率,为钢铁行业的绿色发展提供有力支撑,推动行业向更加环保、高效的方向迈进。

#### 参考文献

- [1]靳创杰.基于冷轧废水零排放的预处理工艺优化研究[J].宝钢技术,2023(3):76-78.
- [2]孙志军,蒋稳,王磊,等.冷轧废水回用处理的研究进展[J].工业安全与环保,2023,49(z1):34-38.
- [3]季淑蕊.某钢铁厂冷轧含酸废水深度处理技术研究及应用[J].中国环保产业,2021(7):35-38.
- [4]王运飞,董金冀,李占江,等.钢铁工业冷轧废水处理及回用工艺技术[J].冶金设备,2021(S02):68-69.