

钢铁企业循环水系统的优化处理与资源化利用

解加旭

(山东力净环保科技有限公司, 山东 济南 271104)

摘要: 随着国家对于低碳、环保的重视度越来越高, 高能耗、高污染行业逐渐进行技术转型和环保化升级。钢铁企业排出的废水量大, 属高污染范畴, 优化升级势在必行。目前, 钢铁企业的循环水系统存在预处理不足、生化效率低、水质波动大等问题, 需进一步技术优化与改进, 以实现循环水资源的有效利用。本文以某公司污水处理厂为例, 详细阐述了系统的设计意图与参数, 分析了运行过程中的问题, 包括抗冲击性差、高运行成本及水质波动大等。针对这些问题, 探讨了改进方案及其实施效果。同时, 提出了钢铁企业循环水系统优化处理与资源化利用的策略, 旨在提升水资源利用效率, 减少环境污染, 推动可持续发展。

关键词: 钢铁企业; 循环水; 资源化利用; 可持续发展

中图分类号: X703

文献标识码: A

DOI: 10.12230/j.issn.2095-6657.2024.14.038

钢铁企业是我国高耗水行业之一。中国钢铁工业协会数据显示, 2022年, 重点统计会员钢铁企业吨钢耗新水降至 2.44m^3 , 同比下降 0.7% ^[1]; 2024年1月最新数据, 已降至 2.20m^3 ^[2]。这一持续下降态势表明, 我国钢铁企业在循环水技术升级方面取得持续进步, 节能降耗水平正在不断提升。

钢铁企业流程繁琐且工序众多, 因此废水来源广泛、量大且成分复杂。废水主要源自工艺过程、循环冷却水系统排污、现场清洗水以及少量厂区生活污水, 其中超过70%为循环水。污染物的种类和含量因产生环节而异, 钢铁生产中的浊循环水是与物料直接接触后产生的浑浊废水, 含有大量氧化铁皮、润滑剂、机油、切削油等污染物, 其水量大、浓度高, 直接排放会对环境造成严重影响, 必须进行回收处理; 而净环水则是高炉、炼钢炉、轧钢加热炉等工业设备的间接冷却用水, 其特点是水温升高后可通过冷却和添加水处理药剂进行循环使用。

循环水的水质直接关系到钢铁生产设备的寿命、板材和线材的质量和产量, 是钢铁生产工艺及其产品质量控制的重要环节之一。随着国家对水资源保护和污染控制的日益重视, 钢铁企业循环水系统的优化处理与资源化利用已成为行业内的核心议题。本文以某公司污水处理厂为例, 深入探讨了其循环水系统的处理现状、存在的问题以及相应的改进策略。

1 资源化利用方案

废水处理系统主要包括预处理、生化、沉淀过滤、膜分离等环节。

设计意图在于通过去除来水中的油类、化学需氧量等有机物污染物以及氮磷等可生化无机污染物, 并进行深度软化除盐处理, 以满足回用要求, 从而实现水资源的循环利用^[3]。处理水量设定为 $600\text{m}^3/\text{h}$, 经过生化处理后, 产水的水质标准如表1所示。

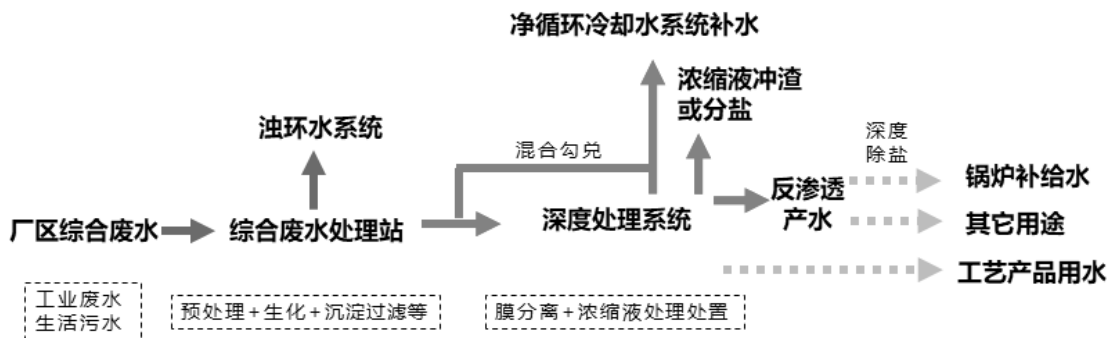


图1 工艺流程图

表1 生化出水水质

序号	产水水质指标	单位	数值	序号	产水水质指标	单位	数值
1	pH	—	6-9	10	钙离子	mg/L	303
2	COD _{Cr}	mg/L	30	11	钠离子	mg/L	141
3	氨氮	mg/L	0.735	12	钾离子	mg/L	14.4
4	总有机碳	mg/L	5.5	13	铁离子	mg/L	0.19
5	石油类	mg/L	0.05	14	硝酸根离子	mg/L	5.72
6	电导率	us/cm	2760	15	硫酸根离子	mg/L	580
7	溶解性总固体/可滤残渣	mg/L	1860	16	氯离子	mg/L	326
8	总硬度	mg/L	1160	17	氟离子	mg/L	1.04
9	总碱度	mg/L	367	18	二氧化硅/硅	mg/L	12

根据表1所示，经过预处理和生化处理后，大部分有机物污染物、氮磷等污染物已被有效去除，符合国家排放标准以及钢铁工业水污染物排放浓度限值和单位产品基准排水量的直接排放标准。然而，废水中可造成设备腐蚀或结垢的无机离子含量仍然较高，因此，无法直接回用。为解决这一问题，需要对废水进行进一步的软化和脱盐处理，以确保其水质符合工业新水的标准^[4]。

1.1 软化处理

软化处理的主要目的是去除水中的钙、镁等高硬度离子，这些离子在加热或浓缩过程中容易形成水垢，对设备造成损害。软化处理的方法有多种，包括石灰软化法、离子交换法、膜分离法等^[5]。

(1) 石灰软化法。通过向水中加入石灰乳或生石灰，使钙离子与水中的碳酸根离子反应生成碳酸钙沉淀，从而去除水中的钙离子。同时，镁离子也能与氢氧根离子反应生成氢氧化镁沉淀而被去除。

(2) 离子交换法。利用离子交换树脂上的可交换离子与水中的硬度离子进行交换，从而去除硬度离子。离子交换树脂在交换过程中会逐渐饱和，需要定期进行再生。

1.2 脱盐处理

脱盐处理的目的是去除水中的溶解性盐类，如氯离子、硫酸根离子等。脱盐处理的方法主要包括反渗透、电渗析、蒸馏等。

(1) 反渗透技术是一种基于半透膜原理的脱盐方法。在压力驱动下，水分子能够透过膜，而溶解性盐类则被截留，从而实现脱盐。反渗透技术以其高效、节能、环保等优点，在工业

废水处理领域得到了广泛应用。

(2) 电渗析技术则依赖于电场作用，利用离子交换膜的选择透过性。在电场作用下，阳离子和阴离子分别通过阳离子交换膜和阴离子交换膜，以达到脱盐的目的。这种技术特别适用于处理含盐量较低的废水。

(3) 蒸馏技术是一种通过加热使水蒸发并冷凝成纯净水的处理方法。在这一过程中，溶解性盐类会留在原水中，从而实现脱盐。虽然蒸馏技术可以得到高质量的水，但由于其能耗较高，因此更适用于处理量较小的场合。

经过软化和脱盐处理后，钢铁工业废水中的无机离子含量可以大大降低，达到工业新水的标准，从而实现废水的回用，节约水资源，降低生产成本，同时减少对环境的污染^[6]。

处理达到工业新水和《工业循环冷却水处理设计规范》关于再生水水质指标的要求。水质如表2。

1.3 生物处理

生物处理主要是通过向活性污泥中添加高效、复合微生物，来处理金属浓度相对较低的钢铁企业循环水。这些微生物能够将金属离子从水体中分离并富集，从而实现低浓度循环水的有效资源化利用。生物处理在冷轧废水和氨氮含量较高的废水中表现出良好的应用效果，具有较高的去除效率。然而，需要注意的是，生物处理对于金属浓度较高、盐度较高的循环水处理效果有限。因此，在实际应用中，通常需要以软化、脱盐等处理作为前置步骤，以降低水体中金属和盐分对微生物的毒害作用。这样做可以确保生物处理法对钢铁企业循环水的去除效率，并进一步提高循环水的资源化效果。

表2 回用水水质

序号	进水水质指标	单位	数值	标准值
1	pH	—	6-9	6-9
2	浊度	NTU	≤1	≤5
3	化学需氧量COD _{Cr}	mg/L	≤2	≤60
4	氨氮	mg/L	≤0.5	≤5
5	电导率	us/cm	≤200	/
6	TDS	mg/L	≤100	≤1000
7	总硬度	mg/L	≤20	≤450
8	钙硬度	mg/L	≤10	≤250
9	硫酸根离子	mg/L	≤50	/
10	氯离子	mg/L	≤30	≤250

2 运行中存在的问题

在运行过程中，该钢铁企业循环水系统存在以下问题。

2.1 预处理环节不完善

预处理环节存在设备及工艺上的不足，导致雨季时进水中悬浮物未能被有效清除。这些悬浮物不仅加重了初沉池的负荷，增加了设备故障率，而且当排泥不及时，会导致生化系统中的污泥无机泥沙含量偏高，使得污泥浓度虚增。频繁的排泥操作会降低生化系统的处理效率，同时引发排水水质的不稳定。若排泥不及时，则可能影响到鼓风机曝气系统的正常运行，导致曝气盘堵塞，进而使风机负荷显著增加，能耗上升。

2.2 生化效率低

大部分老的钢铁企业循环水处理系统因缺乏生化处理环节而面临挑战，这导致大量的可生化有机污染物和氮磷等无机污染物无法被有效去除，进而累积在活性炭滤罐或膜系统中。尽管本工艺已配备生化系统，但由于上游水源主要是循环排污水，生活污水占比较小，这造成进水中可生化性有机物含量严重不足，而无机盐类有机物含量却偏高。这种情况限制了生化处理环节中的微生物种群多样性和数量，降低了微生物的活性。因此，污水中的氮磷等污染物仅凭原水中的有机物难以实现有效降解，同时处理效率也极易受到水质和水量变化的影响，表现出明显的不稳定性。

2.3 水质波动大

在水量较大时，末端的高密沉淀工艺效果不稳定，导致出水水质波动较大。钢铁企业的循环排污水具有独特的水质水量特性，来自不同单位的废水水质差异大，且受多种因素影响，

污水处理系统的进水水质和水量也波动较大，这使得回用水的稳定性难以保证。

2.4 循环水泵管线腐蚀严重

循环水泵管线内部腐蚀严重，表面粗糙度大于 1000 μm 以上，20%~50% 的电能被无形中消耗，严重影响钢铁企业循环水系统的有效运行；腐蚀现象严重还会影响水泵管线使用寿命，增加维修费用，不利于钢铁企业的稳定运行。改善循环水系统水泵管线内部损伤问题，有利于改善循环水系统能耗现状。

3 调整情况及改造后效果

针对以上问题，该钢铁企业采取了以下调整措施。

3.1 优化预处理工艺

针对雨污分流、清污分流效果欠佳的区域，需实施优化改造。这包括优化泵站运行，增设进水曝气沉砂池，以强化对进水悬浮物、油类等污染物的预处理能力，均衡水质，进而减轻来水波动对后续生化处理系统的冲击。

3.2 生化系统改造

通过投入外加碳源，为生化系统补充了充足的有机污染物，从而确保了氮磷的有效脱除，并提高了微生物种群数量。引入外加碳源后，系统对水质和水量波动的抵抗能力得到了显著提升，这在夏秋雨季水量波动较大和冬季低温时出水水质的稳定性增强上得到了体现。即使系统受到小的冲击，生化系统也不再轻易波动；在受到较大冲击后，生化系统的恢复速度也明显加快。

此外，我们还对鼓风机曝气系统进行了改造，将原有的底部

固定式曝气器升级为可提升式,便于故障时的维修维护。同时,通过优化鼓风机,避免了在高氨氮环境下供氧不足的问题。改造后的鼓风机曝气系统为生化系统提供了充足、稳定且均匀的曝气量,从而极大地稳定了生化系统出水氨氮等指标的波动。

3.3 改进沉淀过滤工艺

针对原有高密池停留时间不足的问题,我们通过将加药位置前置,成功延长了混凝药剂的反应时间。这不仅提高了沉淀效果,还降低了药剂消耗。同时,我们对原有滤池进行了改造,采用新型滤料进一步提升了过滤效果。经过这些调整,出水水质稳定达到了既定标准。

3.4 强化回用水管理

为确保回用水的质量与安全,我们建立了一套完善的回用水管理制度和技术标准。此外,还建立了进出水水质的在线监测系统,通过实时监测和分析进水和出水的水质,工作人员能够及时调整处理参数。改造后,进出水水质的波动得到了有效控制,为钢铁企业的稳定运行提供了有力保障。

3.5 应用新型涂层技术,节约循环水系统能耗

高密度陶瓷涂层技术是一种优质的、保护管线内部安全的技术。高含量的陶瓷粒子贴合于系统管线内壁,形成具有优秀耐腐蚀、抗冲击、耐磨损的保护层,有效提高管线内壁光滑程度,降低循环水泵实际能耗。高密度陶瓷涂层不仅可用于涂抹管线内部,还可涂抹水泵叶轮表面等容易出现损伤的部位,为钢铁企业带来实实在在的成本效益。

经过以上调整措施的实施,该钢铁企业循环水系统的处理效果得到了显著提高。改造后,出水水质达到国家排放标准和回用要求,回用水得到了充分利用,实现了水资源的高效利用。同时,这些改进措施也降低了企业的生产成本,进一步增强了企业的整体竞争力。

4 结语

本文通过对钢铁企业循环水系统的深入调查和分析,提出了一系列针对性地改进策略。实践验证表明,通过优化预处理工艺、强化生化处理管理以及改进沉淀过滤工艺等措施,可以

有效提升循环水系统的处理效果及回用水质量。这些经验对于其他钢铁企业在优化其循环水系统处理及实现资源化利用方面具有重要的参考价值。

展望未来,钢铁企业应持续加强对循环水系统的日常管理,定期监测设备的运行状态,并及时发现和解决潜在问题。同时,企业还需加大技术研发和创新的力度,不断探索更加高效、环保的污水处理新技术,以适应日益严格的环保要求和用水需求。通过不断优化循环水系统的处理和实现资源化利用,钢铁企业将能够进一步提高水资源利用效率,降低环境污染,为企业的可持续发展奠定坚实基础。

参考文献:

- [1] 中国经济网.促进钢铁工业高质量发展[EB/OL].(2023-05-15)[2024-03-01].http://views.ce.cn/view/ent/202305/15/t20230515_38545522.shtml.
- [2] 信息统计部.2024年1月会员企业环保情况[EB/OL].(2024-02-28)[2024-03-01].<https://www.chinaisa.org.cn/gxportal/xfgl/portal/content.html?articleId=43fac673c2fc3c515cc89e8a2b92f004c1793338d2b2be1db3b657c6b5688709&columnId=2e3c87064bdfc0e43d542d87fce8bc8c8fe0463d5a3da04d7e11b4c7d692194b>.
- [3] 李素芹,王姜维,雷海萍,等.钢铁工业用水与节水的全生命周期集约化控制技术[J].中国冶金,2023,33(08):131-140.
- [4] 李虹,陈建昌,袁国光,等.现代工业循环水系统节能减排研究[J].中国高新科技,2023,(09):102-104.
- [5] 高振宇.大型节能环保烧结厂给排水系统设计探究[J].矿业工程,2021,19(05):67-70.
- [6] 谷廷良,王涛,梁飞,等.钢铁企业CCPP循环水梯级利用研究与实践[J].冶金能源,2021,40(02):40-44.

作者简介:解加旭(1983-),男,山东济南人,工程师,大学本科,主要从事环保行业工程建设研究。