

人工湿地技术深度处理冷轧乳化液废水的可行性分析

吴高明¹, 胡智泉², 王 剑¹, 刘汉杰¹, 严 刚¹

(1. 武汉钢铁(集团)公司, 湖北武汉 430083; 2. 华中科技大学, 湖北武汉 430074)

[摘要] 根据国内钢铁行业冷轧乳化液废水的排放及其处理现状, 提出了冷轧乳化液废水人工湿地深度处理技术方案。通过技术和经济效益的可行性分析, 得出了人工湿地深度处理工艺具有投资低、运行费低、管理要求低等特点, 同时利用人工湿地深度处理工艺处理冷轧乳化液废水在经济和技术上是可行的。

[关键词] 冷轧乳化液废水; 人工湿地; 深度处理

[中图分类号] X703.1 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1005-829X(2009)07-0011-04

Feasibility analysis on the advanced treatment of the cold rolling emulsion wastewater by constructed wetland

Wu Gaoming¹, Hu Zhiquan², Wang Jian¹, Liu Hanjie¹, Yan Gang¹

(1. Wuhan Iron and Steel Co., Wuhan 430083, China;

2. Central China University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: After analyzing the status of emulsion wastewater and disposal of emulsion wastewater in cold rolling mills of iron and steel industry in China, an advanced constructed wetland process for the treatment of the cold rolling emulsion wastewater is put forward. Based on the analysis of the technical and economic feasibility of this process, the results show that this process is characterized by low investment, low operating costs and low management requirements. Moreover, using this process for treating cold rolling emulsion wastewater is feasible economically and technologically.

Key words: cold rolling emulsion wastewater; constructed wetland; advanced treatment

- [24] 谢丹平, 李开明, 江栋, 等. 印染废水回用处理技术研究[J]. 工业水处理, 2006, 26(2): 21-23.
- [25] 陈保雄. 废水的循环再生工艺——针织毛衣厂洗涤水闭路循环[J]. 生态科学, 1996, 15(2): 83-84.
- [26] Chakraborty S, De S, Bask J K, et al. Treatment of a textile effluent: application of a combination method involving adsorption and nanofiltration[J]. Desalination, 2005, 174(1): 73-85.
- [27] 崔洪友. 膜分离处理印染废水研究进展[J]. 世界科技研究与发展, 2006, 28(5): 43-47.
- [28] Rozzi A, Malpei F, Bomomo L, et al. Textile wastewater reuse in northern Italy (COMO)[J]. Wat. Sci. Tech., 1999, 39(5): 121-128.
- [29] 谢鹏伟, 杜启云. 采用膜集成技术处理印染废水的中试研究[J]. 天津工业大学学报, 2007, 26(5): 22-25.
- [30] 郭豪, 宋淑艳, 张宇峰, 等. 纳滤膜在印染废水处理中的应用研究[J]. 天津工业大学学报, 2007, 26(6): 28-31.
- [31] Marcucci M, Nosenzo G, Capannelli G. Treatment and reuse of textile effluents based on new ultrafiltration and other membrane technologies[J]. Desalination, 2001, 138(1/2/3): 75-82.
- [32] 尤隼, 任洪强, 严永红. BAF/UF/RO 联合工艺深度处理印染废水中试[J]. 中国给水排水, 2006, 22(21): 82-84.
- [33] Sostar-Turk S, Simonic M, Petrinic I. Wastewater treatment after reactive printing[J]. Dyes and Pigments, 2005, 64(2): 147-152.
- [34] Badania Z, Ait-Amar H, Si-Salah A, et al. Treatment of textile waste water by membrane bioreactor and reuse [J]. Desalination, 2005, 185(1/2/3): 411-417.
- [35] Hai F I, Yamamoto K, Fukushi K. Development of a submerged membrane bioreactor for textile wastewater treatment[J]. Desalination, 2006, 192(1/2/3): 315-322.
- [36] Hai F I, Yamamoto K, Fukushi K. Performance of newly developed hollow fiber module with spacer in integrated anaerobic-aerobic fungi reactor treating textile wastewater [J]. Desalination, 2006, 199(1/2/3): 305-307.
- [37] Zheng Xiang, Liu Junxin. Dyeing and printing wastewater treatment using a membrane bioreactor with a gravity drain[J]. Desalination, 2006, 190(1/2/3): 277-286.
- [38] 郑祥, 樊耀波. 膜—生物膜工艺处理毛纺印染废水中试[J]. 中国给水排水, 2004, 20(4): 41-43.
- [39] 杨颖波, 王连俊. ABR-MBR 处理纺织废水[J]. 污染防治技术, 2003, 16(4): 38-40.
- [40] 张国平, 徐宏凯, 李士安, 等. 高含盐印染废水的处理回用[J]. 净水技术, 2006, 25(2): 59-61.
- [作者简介]** 陆继来(1977—), 南京大学博士研究生, 工程师。电话: 025-86655091, 13914715672, E-mail: lujilai@126.com。
- [收稿日期]** 2009-03-10(修改稿)

国内钢铁行业冷轧厂每年排放乳化液废水数十万 t,该类废水含油质量分数一般达 1%~8%,乳化液多数采用混合型乳化剂,其有机物浓度很高(COD>100 g/L)。若不妥善处理,这些乳化液势必对环境造成严重污染,致使水体 COD 升高,鱼类等水生生物难以生存乃至死亡。

目前,国内对乳化液废水的处理主要采用超滤+生化工艺^[1]。通过超滤处理,可将乳化液废水的 COD 降到 2 000 mg/L 左右,然后再进行生化处理,但生化处理后,乳化液的 COD 仍在 200 mg/L 左右,不能达到排放标准。为此,本课题组研究了采用低能耗节能型生物反应器等技术,对乳化液废水实施前处理,然后通过零能耗的酶促生态系统(人工湿地技术)进行深度处理,从而使处理后的乳化液废水达到国家排放标准。本项目的实施将给冷轧乳化液处理带来极大的便利,出水可用于绿化用水,甚至达到回用水的水质指标要求。

1 国内外技术现状、发展趋势

目前,国内对冷轧乳化液废水的处理技术主要集中在对乳化液脱稳的研究上,让乳化剂和水脱离,利用油水密度的差异,达到油水分离的目的。这种对乳化液脱稳的过程俗称“破乳”。其中化学方法有:酸化法、盐析法、酸化凝聚法、凝聚法等;物理法有:电解处理法、气浮法、高梯度磁分离法、超滤法等。也有物理化学法,如化学破乳+电解气浮法等;这些方法都有不同程度的弊端。常用的方法有:超滤法、化学破乳+气浮法、电气浮^[2]。

国外早在 20 世纪 60 年代末就开始将超滤^[3]装置用于工业系统,我国从 20 世纪 70 年代开始着手这方面的研究工作,但无论是在国内还是国外,将超滤装置用于废水处理工程并不普遍,这与超滤装置价格高、技术复杂有一定的关系。随着超滤膜技术的不断发展,其低压、常温、单一相态、控制系统集中、管理方便的优越性日益受到用户的认可。超滤法处理冷轧厂乳化液废水,其优点是操作稳定,能够保证出水的油质量浓度<10 mg/L,油水分离过程不需要化学药剂,系统本身不产生污泥,可回收的废油浓度较高,设备紧凑,占地小,维护管理方便。超滤法的缺点是一次性投资较大,膜易污染,难清洗,水通量小,对溶解性 COD 无法去除,渗透出水需进一步的降解处理。超滤法有其一定的适用范围,不是所有的乳化液废水都能用超滤法处理,特别是皂化度较高、分子链较长的乳化液含油废水若

采用超滤法工艺,皂化油或乳化液油将会堵塞超滤膜表面,使超滤无法进行下去。

根据冷轧厂乳化液废水的性质,可以采用化学破乳+气浮法工艺^[4]处理。该方法的优点是一次性投资较少,根据国内几家采用这种工艺的污水处理站的实际情况,当乳化液废水量达到一定规模时,其总体装备水平约在 30~40 万元/m³,包括土建和电控系统费用。该方法主要缺点是破乳剂的选择性和适应性不强,多数破乳剂对应一种或几种乳化液,当冷轧工艺线上更换乳化液时,废水处理选用的破乳剂也需要更换,从而增加了操作管理的难度和运行费用。另外,化学破乳+气浮法工艺的所需设备较多,运行管理工作量大。

电气浮法的优点比较多,可以连续自动化运行,维护工作量较小,工厂占地较小;对温度适应性较强,形成的气泡小,均匀稳定,气浮效果好;用电设备少,耗电量低,电气浮工艺段采用直流电,运行费用较低;破乳剂适应性较广泛,并可以回用,减少了化学药剂耗量^[5];电解气浮槽采用负压吸渣,并经加热处理,油的回收浓度高。电气浮法的缺点:工艺复杂,技术性较强,实际工程中对操作人员素质要求较高;对阳极板质量要求较高,造价较昂贵;化学过程产渣量大,增加了污泥的处理成本。

此外还有化学混凝法处理乳化液废水,其工艺和化学破乳+气浮法相似,该工艺的关键是如何针对不同性质的乳化液,选用合适的混凝剂。而酸化法处理冷轧乳化液,经过实践证明其破乳效果差,出水中油的浓度很不稳定,对乳化剂的性质依赖性很强,目前这种方法已经很少采用。

宝钢用无机膜分离冷轧板含油废水和乳化液废水^[6],然后进行厌氧生化处理。使用该方法不需要破乳,并可将回收的油进行提炼加工。经超滤处理后的水再进入常规的活性污泥处理系统进行处理,运行效果较好,运行成本低,但投资较高。

综上所述,钢铁行业冷轧厂乳化液废水的处理极为复杂,而且耗费较高。由于国内各冷轧厂采用的乳化剂性质和特点各不相同,因此每种方法的处理效果和技术经济性相差很大,没有一种处理系统占绝对优势。

虽然污水处理的各种技术,如超滤法、化学破乳+气浮法、电气浮、生化处理技术等日趋成熟,但由于这些技术的运行费用高,耗能大等原因,以及水资源的短缺,使得人们不得不发展污水处理的革新

技术和代用技术。由于土地处理系统不仅设备简单,而且净化水质可达二级处理,甚至三级深度处理水平,越来越多的国家开始积极研究和推广污水土地处理与利用。目前,在美国有 600 多处人工湿地工程用于处理市政、工业和农业废水^[7]。在丹麦、德国、英国各国至少有 200 处人工湿地(主要为地下潜流湿地)系统,新西兰也有 80 多处人工湿地系统投入使用。早期人工湿地主要用于处理城市生活污水或二级污水厂出水,目前主要用于治理农业面源污染、城市或公路径流等非点源污染。美国、德国等将其推广应用于处理小城镇、行政事业单位的污水和垃圾渗滤液^[8]。工业上人工湿地主要用于处理以金属离子、BOD、COD 和油污染为主的废水,但处理的废水浓度极限范围不断被突破,现在甚至能处理 COD 高达数千 mg/L 的工业废水,而且其应用不再局限于气候较暖和的地区,在严寒地区也能取得很好的运行效果。北美 2/3 的湿地是自由表面流湿地,其中的一半是自然湿地,其余为人工自由表面流湿地。在欧洲应用较多的则是地下潜流系统,特别是在一些东欧国家应用较广泛。在系统中种植有芦苇、菖蒲、香蒲等湿地植物,为了保证潜流,绝大多数系统还采用砾石作为填料。此类系统趋向于对近 1 000 人口当量的乡村级社区进行二级处理。

我国有利用人工湿地的天然优势,但研究较晚。目前基本停留在试验使用阶段^[9]。首例采用人工湿地处理污水的研究工作是在 1987 年由天津市环保研究所建成的占地 6 hm² 的处理规模 1 400 m³/d 的芦苇湿地工程。1985—1990 年,杨永兴教授在黑龙省建立“稻-苇-鱼”人工湿地处理系统模式,该系统对去除环境污染物、净化环境取得了明显效果。1996 年胶南市充分利用风河下游北岸的大片盐碱荒滩,修建芦苇湿地系统,不仅很好地处理了工业废水和生活污水,而且吸引鸥鹭、燕鹊栖息,取得了良好的生态效益。20 世纪末建成的成都活水公园展示了用绿叶鲜花装饰大地,把清水活鱼送还自然的魅力,使生态与环境效益完美结合,实现了污水资源化利用、整治堤岸、净化水体及恢复水域良性生态环境的多重目的。

华中科技大学开发的污水生物/生态处理技术,提出了依据污水负荷实时调控生物-生态系统工况而实现工艺节能的系统调控技术,提出了污水生物-生态处理工艺设计的理念,研究成果已经在武汉、浙江温岭等地建有两个示范工程。研

究开发的生物与生态组合工艺处理后的出水,优于现行一级排放 A 标准,多数指标达到了回用水的水质指标要求,而综合运行能耗却低于现行工艺的 20%。其关键设备在武汉市沌口污水处理厂得到应用。

2 人工湿地深度处理冷轧乳化液技术方案

2.1 技术路线

本课题组对冷轧乳化液深度处理技术进行了调研,提出采用低能耗节能型生物反应器等技术,对乳化液废水实施前处理,然后通过零能耗的酶促生态系统(生态绿地技术)进行后处理,从而使处理后的乳化液废水达到国家排放标准。这种新型的节能型生物反应器采用华中科技大学研发的城镇与工业污水处理新技术,相比原有的膜生物反应器等其他生物处理技术具有投资少、低能高效的特点。生态绿地处理技术则利用土壤-微生物-植物系统的陆地生态系统的自我调控机制和对污染物的综合净化功能处理城市污水及一些工业废水,使水质得到不同程度改善,同时通过营养物质和水分的生物地球化学循环,促进绿色植物生长并使其增产,实现废水资源化与无害化的常年性生态系统工程。该生态技术处理还可以美化企业环境,增加绿地面积。这种新型组合工艺技术具有投资低、运行费低、管理要求低的特点,通过该组合工艺处理,可使超滤预处理后的乳化液废水达到国家排放标准。其工艺流程如图 1 所示。

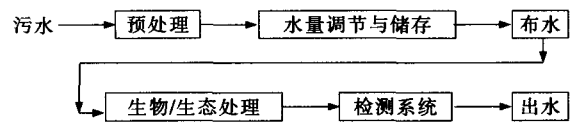


图 1 人工湿地技术处理工艺流程

2.2 项目建设内容

以国内某冷轧厂排放的 24 t/h 乳化液废水处理为例,设计建立一套 600 t/d 的乳化液废水人工湿地技术处理示范工程,建设内容如下:

(1)生物反应器改造。生物处理单元采用低能耗、低成本的生化与沉淀一体化生物反应器处理乳化液废水。将现有生物反应池改造为一体化生物反应器,利用一体化生物反应器物化/生化协同预处理技术,高效去除乳化液废水中的 COD 与 SS,实现高效、经济的运行。根据进水水质、出水水质要求变化,采用实时控制策略,保证生物处理工艺的优化运行和良好的处理效果;进行生物与生态绿地之间的合

理负荷分配与系统协同调控,获得系统的节能优化运行模式,降低生物预处理能耗与处理成本。

(2)人工湿地处理乳化液废水系统设计与建造。考虑温度、乳化液废水的成分,以 Monod Kinetics 模式计算人工湿地处理乳化液废水的水力停留时间、所需要的绿地面积,根据相关资料对其进行修正。并配套建设配水系统及集水系统各 1 套。根据植物的耐污性、生长适应能力、根系的发达程度及美观程度,筛选净化能力强的植物进行生态绿地植物配置。根据当地的土壤性质、乳化液的理化性质,研究适合于拦截乳化液中污染成分的基质,根据污染物的性质和水力停留时间、出水要求,设计出合理的厌氧和好氧段的位置及组合方式,以使土壤、砂砾等基质填料滤床达到最佳的拦截效果。

(3)人工湿地系统的运行维护。用研制的人工湿地系统进行乳化液废水的深度处理,根据湿地滤床降解能力,乳化液废水有机废物去除率,处理后出水的 COD、BOD₅、TN、TP、SS 等主要水质指标,对生态绿地系统进行调试,找到最佳的运行模式。处理后外排水 COD 降至 100 mg/L 以下。

(4)人工湿地深度处理乳化液废水组合工艺系统优化。根据系统运行情况,进一步优化人工湿地组合工艺的系统调控技术,对出水水质进行评价,对处理系统进行经济技术优化。

3 经济效益

轧钢乳化液废水的处理已成为困扰我国钢铁行业的重要环保难题。有些轧钢企业采用进口有机膜处理含油乳化液废水,存在着投资成本高、能耗高、膜衰减快、清洗和维护成本高等缺点。针对乳化液废水的特点,利用人工湿地处理方法对轧钢乳化液废水进行综合治理。整个系统无需曝气,没有污泥产生,体现了生态工程学技术的节能优势。维护管理方便,整个工程运行期间不需人员日常管理,运行成本小。以 600 t/d 的乳化液废水人工湿地处理示范工程为例,在采用污水回用水于循环水补充水后,在运行的 1 a 内,减少外排污水量 2.19×10^5 t, 如果将处理后的污水回用,可节约新鲜水 2.19×10^5 t, 对保护水资源和水环境起到重要作用。水价按 2 元/t 计算,共计节约费用 43.8 万元/a。经济效益十分可观。

4 结语

目前,利用人工湿地组合工艺处理钢铁厂的冷

轧乳化液废水的研究国内尚未见报道。冷轧企业在轧钢过程中产生的乳化液废水很难处理,目前最常用、最有效的方法是超滤+生化处理,但处理成本较高,并且可能产生二次污染。而利用人工湿地深度处理乳化液污水的处理成本低,能较大程度地降低污水中 BOD、COD,不会产生二次污染,同时无害虫、无臭气、无环境卫生上的障碍,受季节更替带来的温度变化影响小,耐冲击负荷大。笔者在生物反应器及生态绿地技术的研究基础上,探索乳化液深度处理的革新技术和代用技术,符合改善生态环境、节约水资源的目标,经济与社会效益显著。在运行费用上,虽然增加了深度处理污水费用,但相应也节约了大量的水费和排污费,综合效益可观。因此,利用人工湿地深度处理工艺处理冷轧乳化液废水在经济和技术上具有可行性,可作为行之有效的污水回用措施在冷轧企业中推荐使用。

[参考文献]

- [1] 冯巍. 冷轧乳化液废水处理方法的探索与实践[J]. 武钢技术, 2002,40(4): 39-42.
- [2] 刘红,幸福堂,朱晓帆. 冷轧乳化液的处理方法[J]. 武汉科技大学学报:自然科学版, 2000,23(3): 247-255.
- [3] 吴爱兵,孔繁钰,胡海修,等. 膜技术在含油废水处理中的应用及研究现状[J]. 重庆石油高等专科学校学报, 2003,5(4):35-37.
- [4] 易宁,胡伟. 钢铁企业冷轧厂乳化液废水的几种处理方法[J]. 冶金动力, 2004(5):58-63.
- [5] 李正要,汪莉,宋存义,等. 乳化液废水处理方法[J]. 北京科技大学学报, 2003,25(3):203-206.
- [6] 蔡圣贤,徐正,朱锡恩,等. 宝钢 2030 冷轧含油废水处理新技术[J]. 宝钢技术, 2004(增刊):17-19.
- [7] 焦有权. 人工湿地处理生态系统污水的研究进展[J]. 中国农村小康科技, 2007(2): 31-33.
- [8] 陈长太,王雪,祁继英. 国外人工湿地技术的应用及研究进展[J]. 中国给水排水, 2003,19(2):105-106.
- [9] 孙桂琴,董瑞斌,潘乐英,等. 人工湿地污水处理技术及其在我国的应用[J]. 环境科学与技术, 2006,29(增刊):144-150.

[作者简介] 吴高明(1964—), 2006年毕业于华中科技大学环境工程专业,博士,高级工程师。E-mail: gm_wu1031@yahoo.com.cn.

[收稿日期] 2009-03-20(修改稿)