

改良型微曝氧化沟/微电解/絮凝技术处理金属冶炼废水

解晓杰

(中铁第一勘察设计院集团有限公司, 陕西 西安 710043)

摘要: 金属冶炼废水难以生物降解,且存在少量还原态的金属离子,处理难度较高,针对于此,某工业园污水处理厂一期工程采用预处理/水解酸化/改良型微曝氧化沟/微电解/絮凝技术处理园区废水。当废水处理量为 $9\,520\text{ m}^3/\text{d}$,进水 COD、BOD₅、SS、NH₃-N、TN、TP、总砷、总镉、总铅的平均浓度分别为 460、140、187、24.3、36.2、3.4、0.04、0.007、0.06 mg/L 时,对应指标的总去除率分别为 91.3%、95.0%、98.8%、90.5%、87.8%、94.1%、82.5%、100%、100%,出水水质达到了《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级 A 标准。废水处理系统直接运行成本为 1.011 元/ m^3 。

关键词: 金属冶炼废水; 改良型微曝氧化沟; 微电解

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)16-0065-04

Application of Modified Micro Aeration Oxidation Ditch/Micro Electrolysis/Flocculation Technology for Metal Smelting Wastewater Treatment

XIE Xiao-jie

(China Railway First Survey and Design Institute Group Co. Ltd., Xi'an 710043, China)

Abstract: Metal smelting wastewater was difficult to be biodegraded, and contained a small amount of reduced state metal ions. So it is hard to be treated. In the view of this situation, the combined process of pretreatment/hydrolysis acidification/modified micro aeration oxidation ditch/micro electrolysis/flocculation technology was used in the first stage project of an industrial park wastewater treatment plant. When the industrial park wastewater treatment capacity was $9\,520\text{ m}^3/\text{d}$, the average influent concentration of COD, BOD₅, SS, NH₃-N, TN, TP, total arsenic, total cadmium, total lead were 460 mg/L, 140 mg/L, 187 mg/L, 24.3 mg/L, 36.2 mg/L, 3.4 mg/L, 0.04 mg/L, 0.007 mg/L, 0.06 mg/L, respectively. And the corresponding index of total removal rate were 91.3%, 95.0%, 98.8%, 90.5%, 87.8%, 94.1%, 82.5%, 100%, 100%. The treated wastewater had reached the first grade A emission standard of *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918-2002). The direct operating cost of the wastewater treatment system was 1.011 yuan/ m^3 .

Key words: metal smelting wastewater; modified micro aeration oxidation ditch; micro electrolysis

1 项目背景

耒阳市大市循环经济工业园区位于耒阳市中心区东北面,是以有色金属冶炼为主导产业的综合型循环经济工业园区,总用地面积为 7.34 km^2 。近年来,随着耒阳市大市循环经济工业园区的规划建设

和经济的迅速发展,工业企业的不断进驻,园区废水量急剧增加。2015 年以前耒阳市在建循环经济工业园尚未有成套的排水体系,所有的生活污水和经处理但达不到纳废水体要求的工业废水直排耒水,对湘江、耒水的水质造成了一定的威胁,为此新建耒

阳市大市循环经济工业园区污水处理厂一期工程。

2 工程规模

2.1 处理水量

工业园区废水排放量约为 $1\,200\text{ m}^3/\text{d}$, 参考末阳市大市循环经济产业园发展产业规划和园区产生的废水量, 一期工程设计处理规模为 $10\,000\text{ m}^3/\text{d}$, 远期处理规模为 $30\,000\text{ m}^3/\text{d}$ 。

2.2 水质设计

本工业园区废水主要为金属冶炼废水, 含 COD、 NH_3-N 、铅、镉、砷等污染物。园区规划要求入驻企业自行处理工业废水并最大限度地循环利用, 排出的工业废水需要在企业内部进行预处理后达到《污水综合排放标准》(GB 8978—1996) 三级标准后方能排入园区进水管网, 其中第一类特征污染物在车间排放口必须达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 中“部分第一类污染物最高允许排放浓度”后排入园区进水管网。根据该产业园的入驻企业生产工艺特点和废水污染物指标数据, 并参考国内相似园区确定本项目的废水进水水质, 出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 一级 A 标准, 达标后最终排至末水河, 具体设计进、出水水质见表 1。

表 1 设计进、出水水质

Tab. 1 Design influent and effluent quality

$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$									
项目	COD	BOD ₅	SS	NH_3-N	TN	TP	总砷	总镉	总铅
进水	500	200	200	30	40	4.0	0.1	0.01	0.1
出水	50	10	10	5(8)	15	0.5	0.1	0.01	0.1

2.3 主体工艺选型分析

本项目废水主要来源为金属冶炼企业排放的生产废水及园区的生活废水, 废水水质成分复杂, 存在一些难降解成分。参考以往产业园废水处理工程经验^[1], 需在好氧生化处理前采用一定的处理方法提高废水中难降解成分的可生化性。该产业园废水的 COD 浓度不高, 但进水量较大, 设计采用水解酸化作为前处理工艺。

二级生化处理设计采用改良型微曝氧化沟工艺。改良型微曝氧化沟为环状折流池型, 兼有推流式和完全混合式的流态, 具有效率高、池深大、占地面积小的优点。

参考同类型废水处理厂的工程实例^[2], 常规二级生化处理工艺无法去除难生物降解或不可生化降

解的有机污染物及还原态的金属离子, 因此需要加设深度处理工艺。结合本项目实际情况, 深度处理工艺确定采用铁碳微电解氧化工艺, 铁碳微电解在分解难降解有机物的同时, 还可进一步去除废水中残余的重金属离子。此外, 铁离子可以起到絮凝剂的作用, 有效去除废水中的悬浮物。

2.4 工艺流程

废水处理工艺确定为预处理 + 水解酸化 + 改良型微曝氧化沟 + 微电解 (见图 1)。污泥脱水工艺选取隔膜板框压滤机, 泥饼外运至金利亚生态科技有限公司进行蚯蚓生物污泥分解, 实现无害化处置。废水处理单元异味气体处理选用生物除臭系统。

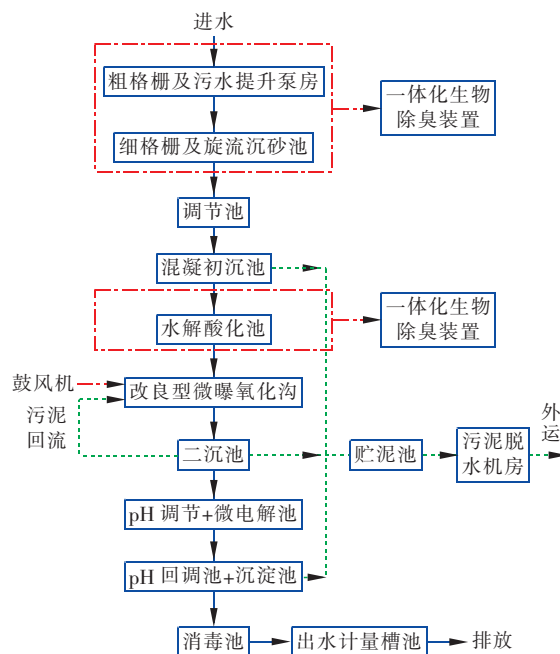


图 1 废水处理工艺流程

Fig. 1 Flow chart of wastewater treatment process

废水进入粗格栅去除粗大的悬浮物后, 再经水泵提升后至细格栅和旋流沉砂池以进一步去除废水中较小颗粒的悬浮、漂浮物质。随后进入调节池, 对废水的水量、水质进行均衡调节。废水进入混凝沉淀池后, 向混凝反应池内投加 PAC、PAM, 经过搅拌絮凝后进入沉淀池, 去除原水中的悬浮物及部分总磷。在企业排入的污染物超标时起到投加药剂去除第一类污染物的作用。混凝沉淀池出水进入水解酸化池, 之后再进入改良型微曝氧化沟进行生化处理, 出水进入二沉池进行固液分离, 二沉池的部分剩余污泥回流到氧化沟中, 出水进入 pH 调节池调节 pH 后进入微电解池, 利用铁碳微电解的氧化还原能力,

降解部分难降解环状和长链有机物,并去除少量金属离子。微电解出水再进入 pH 回调池,通过调节废水的 pH 值使铁离子和重金属离子变成氢氧化物的絮状沉淀,吸附废水中的悬浮或胶体态的微小颗粒及有机高分子,进一步降低废水的色度,同时去除废水中的磷,随后混合液在终沉池进行固液分离,出水再经消毒后达标排放。

2.5 工艺设计参数

一期工程中除粗格栅及提升泵房、细格栅及旋流沉淀池、综合楼、消毒池、计量槽、鼓风机房、贮泥池及污泥脱水间、配电间及维修间按远期 $3.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 规模建设外,其他建构筑物土建按 $1.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 建设,工艺设备按 $1.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 规模安装。

2.5.1 混凝沉淀池

1 座,尺寸为 $20 \text{ m} \times 14 \text{ m} \times 5.5 \text{ m}$,有效水深为 5 m ,表面负荷为 $1.5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,停留时间为 1.5 h 。沉淀池形式为斜管沉淀池,斜管填料体积为 280 m^3 ,斜管直径为 100 mm ,斜管长度为 1 m 。PAC、PAM 反应池停留时间均为 15 min ,尺寸均为 $7 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 5.5 \text{ m}$ 。混凝沉淀池配有 I 级絮凝搅拌机 1 台,桨叶直径为 1.0 m , $N=2.2 \text{ kW}$,转速为 65 r/min ;II 级絮凝搅拌机 1 台,桨叶直径为 1.0 m , $N=1.5 \text{ kW}$,转速为 45 r/min ;干式不堵塞污泥泵 2 台(1 备 1 用), $Q=25 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=150 \text{ kPa}$, $N=2.2 \text{ kW}$ 。

2.5.2 水解酸化池

1 座,停留时间为 8 h ,尺寸为 $30 \text{ m} \times 23 \text{ m} \times 5.5 \text{ m}$,有效水深为 5 m ;配有弹性组合填料 1800 m^3 ,填料规格为 $\varnothing 150 \text{ mm} \times 3000 \text{ mm}$ 。

2.5.3 改良型微曝氧化沟

1 座,厌氧区尺寸为 $26 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 6.0 \text{ m}$,有效容积为 625 m^3 ,有效水深为 5.0 m ,有效停留时间为 1.5 h ;配有厌氧池潜水推流器 2 台,转速为 52 r/min ,叶轮直径为 110 mm , $N=1.5 \text{ kW}$ 。缺氧区尺寸为 $26 \text{ m} \times 11 \text{ m} \times 6.0 \text{ m}$,有效容积为 1450 m^3 ,有效水深为 5.0 m ,有效停留时间为 3.5 h ;配有缺氧池潜水推流器 2 台,转速为 42 r/min ,叶轮直径为 2500 mm , $N=4 \text{ kW}$ 。好氧区尺寸为 $26 \text{ m} \times 26 \text{ m} \times 6.0 \text{ m}$,有效容积为 3240 m^3 ,有效水深为 5.0 m ,有效停留时间为 7.8 h ,污泥回流比 $R=100\%$;配有好氧池潜水推流器 4 台,转速为 42 r/min ,叶轮直径为 2500 mm , $N=4 \text{ kW}$;可提升式管式曝气器 660 套,规格为 $\varnothing 63 \text{ mm} \times 1000 \text{ mm}$,通气范围为 $2 \sim 12 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

2.5.4 二沉池

辐流式沉淀池 1 座,尺寸为 $\varnothing 24 \text{ m} \times 4.5 \text{ m}$,有效水深为 2.5 m ,表面负荷为 $1.0 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,停留时间为 2.5 h ;配有刮泥机 1 台, $N=0.75 \text{ kW}$;污泥泵 2 台, $Q=50 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=150 \text{ kPa}$, $N=4 \text{ kW}$ 。

2.5.5 pH 调节池、微电解池

pH 调节池 1 座,尺寸为 $24 \text{ m} \times 1.8 \text{ m} \times 5.5 \text{ m}$,有效水深为 5.0 m ,停留时间为 0.5 h ;配盐酸储罐 1 个,规格为 $\varnothing 2000 \text{ mm} \times 2500 \text{ mm}$,PP 材质;盐酸加药泵 2 台(1 用 1 备), $Q=50 \text{ L/h}$, $H=100 \text{ kPa}$, $N=0.25 \text{ kW}$;pH 计 1 套。微电解池 1 座,设计 $Q=1.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,分 4 格,每格尺寸为 $6 \text{ m} \times 4 \text{ m} \times 5.5 \text{ m}$,停留时间为 1.5 h ,铁碳微电解填料体积为 384 m^3 。

2.5.6 pH 回调池及絮凝反应池

pH 回调池 1 座,尺寸为 $8 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 5.5 \text{ m}$,有效水深为 5.0 m ;停留时间为 0.5 h ;配 NaOH 储罐 1 个,规格为 $\varnothing 1000 \text{ mm} \times 1300 \text{ mm}$,PP 材质;NaOH 加药泵,2 台(1 用 1 备), $Q=10 \text{ L/h}$, $H=100 \text{ kPa}$, $N=0.2 \text{ kW}$;pH 计一套。絮凝反应池 1 座,尺寸为 $5.6 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 5.5 \text{ m}$,有效水深为 5.0 m ,反应时间为 20 min ;配 PAM 加药装置 1 套,投加量为 5 mg/L ,配制浓度为 0.2% ;加药泵 2 台(1 用 1 备), $Q=1.1 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=60 \text{ kPa}$, $N=0.75 \text{ kW}$;絮凝搅拌机 1 台,桨叶直径为 1.0 m , $N=1.5 \text{ kW}$,转速为 45 r/min 。

2.5.7 终沉池

高密度斜管沉淀池 1 座,尺寸为 $15 \text{ m} \times 15 \text{ m} \times 5.5 \text{ m}$,表面负荷为 $2 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,停留时间为 2.5 h ,斜管填料为 225 m^3 ;配刮泥机 1 台, $N=0.75 \text{ kW}$;污泥泵 2 台, $Q=25 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=150 \text{ kPa}$, $N=2.2 \text{ kW}$ 。

2.5.8 消毒池、出水计量槽

消毒池 1 座,停留时间为 0.5 h ,有效水深为 5 m ,尺寸为 $12.5 \text{ m} \times 10 \text{ m} \times 5.5 \text{ m}$ 。出水计量槽采用巴歇尔流量槽,尺寸为 $10 \text{ m} \times 1.0 \text{ m} \times 3.5 \text{ m}$, $Q=4.5 \sim 630 \text{ L/s}$,喉道宽度为 0.45 m 。

2.5.9 污泥脱水系统

污泥浓缩池 1 台,尺寸为 $\varnothing 9 \text{ m} \times 4.0 \text{ m}$,有效水深为 5 m ;配有刮泥机 1 台,外缘线速度为 1.5 m/min , $N=0.75 \text{ kW}$ 。污泥脱水机房尺寸为 $24 \text{ m} \times 12 \text{ m} \times 10 \text{ m}$;配有隔膜板框压滤机 2 套(1 备 1 用), $N=4 \text{ kW}$,包括带自动清洗装置、自动拉板。

2.5.10 除臭系统

对粗格栅、细格栅、水解酸化池进行除臭。一体

化生物除臭装置1套, $Q=5\,000\text{ m}^3/\text{h}$, 尺寸为 $6.0\text{ m}\times 5.0\text{ m}\times 3.0\text{ m}$, 生物填料体积为 45 m^3 , 洗涤填料体积为 10 m^3 , 含喷淋水箱等。

3 运行效果

本项目至今已运行15个月, 包括试运行4个月和正式运营11个月。试运行期间工程技术人员完成了水解酸化池、改良型曝气氧化沟工艺活性污泥

的接种、驯化和调试, 并对各构筑物运行参数进行调试达到最佳运行状态。在正式运营近1年的时间里, 废水处理量基本稳定在 $8\,500\sim 9\,800\text{ m}^3/\text{d}$, 平均处理量为 $9\,520\text{ m}^3/\text{d}$, 整个系统工艺的运转情况比较稳定, 处理站出水pH值基本维持在 $6.3\sim 8.4$, 出水水质达到一级A排放标准。各单元净化效果见表2。

表2 各处理单元去除效果

Tab.2 Treatment effect of each unit

$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

项 目		COD	BOD ₅	SS	氨氮	TN	TP	总砷	总镉	总铅
粗细格栅、旋流沉砂池、调节池	进水	460	140	187	24.3	36.2	3.4	0.04	0.007	0.06
	出水	446	137	165	24.3	36.2	3.4	0.04	0.007	0.06
混凝沉淀池出水		377	120	49	23.6	35.5	0.7	0.03	0.005	0.04
水解酸化池出水		301	108	36.6	23.6	35.5	0.7	0.03	0.005	0.04
一体化微曝氧化沟出水		62	8	14.2	2.3	4.4	0.3	0.03	0.005	0.04
二沉池出水		60	8	5.3	2.3	4.4	0.26	0.03	0.005	0.04
微电解出水		42	7	3.7	2.3	4.4	0.22	0.007	未检出	未检出
终沉池出水		40	7	2.2	2.3	4.4	0.20	0.007	未检出	未检出
注: 对 COD、BOD ₅ 、SS、NH ₃ -N、TN、TP、总砷、总镉、总铅的去除率分别为 91.3%、95.0%、98.8%、90.5%、87.8%、94.1%、82.5%、100%、100%。										

4 经济性分析

本废水处理工程总投资为8 453万元。运行费用中电费为 $0.361\text{ 元}/\text{m}^3$, 药剂费为 $0.475\text{ 元}/\text{m}^3$, 人工费用为 $0.093\text{ 元}/\text{m}^3$, 自来水费用为 $0.045\text{ 元}/\text{m}^3$, 污泥处理费用为 $0.037\text{ 元}/\text{m}^3$, 则废水处理系统直接运行成本为 $1.011\text{ 元}/\text{m}^3$ 。

5 结论

本工业园污水处理厂一期工程的运行, 使得园区金属冶炼废水得到有效集中治理, 避免了湘江、耒水水质的恶化。工程实践证实, 预处理/水解酸化/改良型微曝氧化沟/微电解技术对金属冶炼废水的处理效果良好, 运行成本在行业中处于中等偏低水平, 具有很好的应用价值。

参考文献:

- [1] 侯巧玲, 王兴, 李兴武, 等. 电化学处理用于重金属工业园区污水处理工程[J]. 中国给水排水, 2017, 33(10): 66-68, 73.
Hou Qiaoling, Wang Xing, Li Xingwu, et al. Electrochemical treatment technology usage in wastewater treatment plant in heavy metal industrial park[J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(10): 66-68, 73(in Chinese).
- [2] 罗发生, 徐晓军, 李新征, 等. 微电解法处理铜冶炼废水

中重金属离子研究[J]. 水处理技术, 2011, 37(3): 100-104.

Luo Fasheng, Xu Xiaojun, Li Xinzhen, et al. Micro-electrolysis treatment of copper smelting of heavy metals in wastewater[J]. Technology of Water Treatment, 2011, 37(3): 100-104(in Chinese).



作者简介: 解晓杰(1986-), 男, 陕西韩城人, 硕士, 工程师, 从事城市轨道交通工程中建筑给排水的设计与技术应用以及市政工程和废水处理工程设计工作, 曾获陕西省优秀工程设计三等奖。

E-mail: 3418802767@qq.com

收稿日期: 2018-03-08