

DOI: 10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.10.019

安徽某矿山淋溶废水处理厂工程设计及运行

章长江

(安徽中环环保科技股份有限公司, 安徽 合肥 230041)

摘要: 针对安徽省庐江县某矿山淋溶废水中铁、铜离子浓度高, pH 值低及进水量波动大的特点, 设计采用预曝气调节池+一级混凝沉淀池+二级混凝沉淀池+一体化铁锰滤池组合工艺处理矿山淋溶废水。介绍了工程设计水质、工艺选择、主要建(构)筑物和设备参数以及污水厂运行情况。运行结果表明, 该废水处理工艺可行且出水稳定, 处理成本中电费为 0.47 元/m³、药剂费为 2.4 元/m³。

关键词: 矿山淋溶废水; 混凝池; 沉淀池; 铁锰滤池

中图分类号: TU99 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2020)10-0108-05

Design and Operation of a Mine Leaching Wastewater Treatment Plant in Anhui

ZHANG Chang-jiang

(Anhui Zhonghuan Environmental Protection Technology Co. Ltd., Hefei 230041, China)

Abstract: Aiming at the characteristics of high iron and copper ion concentrations, low pH and great fluctuation of leaching wastewater from a mine in Lujiang County, Anhui, the combined process of pre-aeration regulation pool, primary coagulation sedimentation tank, secondary coagulation sedimentation tank, and integrated filter for iron and manganese removal was adopted to treat leaching wastewater. The designed quality, process selection, the major construction and equipment parameters, and operation of the wastewater treatment plant were introduced. The operation results showed that the wastewater treatment process was feasible and the effluent was stable, with the power consumption of 0.47 yuan/m³ and the chemical consumption of 2.4 yuan/m³.

Key words: mine leaching wastewater; coagulation tank; sedimentation tank; filter for iron and manganese removal

1 工程概况

安徽省庐江县矿产资源较为丰富, 在资源开采过程中留下的废矿石, 经雨水、地下水渗透淋溶后形成的废水对环境危害较大, 此类废水须经处理达标后才能排放。某矿山淋溶废水处理工程设计规模为 3 000 m³/d, 废水中含铁、铜及锰等金属离子且呈强酸性, 同时废水水量随季节性变化较大, 与降雨量关系极为密切, 雨季时废水量较多, 旱季时废水量偏少。根据项目环评要求, 处理后出水 pH 值、TP 执

行《巢湖流域城镇污水处理厂和工业行业主要水污染物排放限值》(DB 34/2710—2016)表 3 中巢湖流域工业行业主要水污染物排放限值; 总铁执行上海市《污水综合排放标准》(DB 31/199—2018)表 2 的一级标准; 铜执行《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)的表 4 一级标准; 总锰执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)表 3 选择控制项目最高允许排放浓度(日均值)。根据废水水质特点, 出水及相关文件要求, 废水处理工艺采用预调

节池 + 一级混凝池 + 一级沉淀池 + 二级混凝池 + 二级沉淀池 + 一体化铁锰滤池;污泥处理工艺采用重力浓缩 + 板框压滤机,脱水后污泥含水率 < 60%。经现场调试运行成功后,出水水质可稳定达到排放要求。

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

项目	pH 值	铁/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	TP/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	铜/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	锰/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
进水	3	120	0.55	13.0	2.5
出水	6~9	≤ 2.0	≤ 0.5	≤ 0.5	≤ 2.0

2 废水处理工艺

2.1 工艺选择

通过分析可知,矿山淋溶废水 pH 值较低而铁、铜浓度较高,TP 和锰浓度偏低,所以本工程的处理重点是 pH 值、铁和铜,而 TP 在混凝过程中很容易达标。设计进水锰浓度超标 0.5 mg/L,由于锰不如其他金属离子那样容易去除,同时废水水量随季节性变化较大,旱季时锰浓度会变高,存在波动性,为保证出水稳定达标,需考虑多种除锰技术相结合^[1]。在工艺选择时,根据金属离子去除特性,pH 值调节是关键,应优先进行 pH 值调节,然后结合每种金属离子的反应条件和小试来确定污染因子去除方法和顺序。

① 废水 pH 值的调节

目前处理酸性废水主要方法有:与碱性废水中和、石灰石滤床、投加石灰、投加 NaOH 溶液。由于矿山淋溶废水项目周围并没有能够与矿山淋溶废水中和的碱性废水,而石灰石滤床占地面积较大,反应速率较慢,难以起到快速调节废水 pH 值的作用,所以在调节 pH 值时常选用投加石灰和 NaOH 溶液。由于石灰杂质含量高,容易堵塞预调节池中穿孔曝气管,结合本项目特点,预调节阶段选用 NaOH 作为 pH 值调节剂,迅速将 pH 值调至 7 左右,其他反应阶段使用石灰作为 pH 值调节剂,这样不仅可以达到理想处理效果,而且还可以减少药剂成本及污泥产生量。

② 废水中 TP 的去除

通常采用生化及物化联合去除废水中 TP,而本项目矿山淋溶废水 COD < 10 mg/L,采用生化处理不合适。另外,进水 TP 浓度为 0.55 mg/L,出水 TP

只要求达到 0.5 mg/L 以下,采用常规物化加药即可满足处理要求,所以可结合其他金属离子的去除方法一并去除。

③ 废水中铁的去除

铁在水中常以三价或二价的形态存在,这取决于水的 pH 值和溶解氧浓度^[2]。当 pH 呈中性且有氧存在时,可溶性 Fe^{2+} 能迅速氧化成 Fe^{3+} ,后者最终形成不溶性的 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 。当 pH 值 > 12 时, $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 将重新溶解;而 pH 值 < 6 时, Fe^{2+} 氧化成 Fe^{3+} 的速度极其缓慢。通过上述分析,为达到较好的去除效果,需控制好废水反应 pH 值及溶解氧,而溶解氧浓度大小可直接通过气水比来确定,经查阅相关资料,较经济的气水比为 4^[3],建议矿山淋溶废水采用曝气氧化 + 沉淀技术来除铁,最适沉淀 pH 值需根据实验来确定。

④ 废水中锰的去除

可溶性锰的去除在城市给水和工业废水的处理中已实践多年,锰在水中主要以 Mn^{2+} 存在,只有氧化成高价锰后才能以不溶物被去除,而氧化法主要有化学氧化、臭氧氧化及曝气氧化等。化学氧化采用强氧化剂对 Mn^{2+} 进行氧化,具有投药量难确定、出水水质不稳定和投加点不易选择等缺点;臭氧氧化投入成本及运行费用较高,一般很少采用;而曝气氧化具有投资省、运行费用低且效果稳定等特点,常被工程项目采用,所以本项目采用曝气氧化处理锰离子。废水中含有较高的铜离子会对锰的氧化起到一定的催化作用。

废水中锰去除方法主要有沉淀法、接触氧化法及膜过滤法等。沉淀法中具有代表性的方法为化学沉淀法,化学沉淀是指向含锰废水中投加石灰、氢氧化钠等碱性物质,将 pH 值提高,在曝气作用下将 Mn^{2+} 氧化成高价离子后,以不溶性氧化锰和氢氧化锰析出^[4]。接触氧化法是一种比较常用的除铁、锰工艺^[5],废水中锰经氧化后进入除锰滤池,通过滤料表面的活性滤膜对锰吸附截留,从而降低废水中锰含量^[6]。膜过滤法利用膜孔径大小有选择性地过滤废水中的锰,虽然其去除效果好,但因膜材料具有价格昂贵且易堵塞等缺点而未被广泛使用。通过分析比较可知,采用化学沉淀法处理废水中锰是一种经济且可行的方法。

综上所述,本项目采用“曝气氧化 + 化学沉淀”工艺除锰。同时,由于废水水量随季节性变化较大,

水质也会随之变化,为确保出水稳定达标,考虑在化学沉淀工艺后增加铁锰滤池来强化处理。

⑤ 废水中铜的去除

含铜废水主要处理方法有化学沉淀法、电解法、吸附法、离子交换法^[7]。相比之下,化学沉淀法具有技术成熟、投资省、运行成本低等优点,所以本工程采用化学沉淀法除铜。化学沉淀法在碱性 pH 值条件下使铜形成不溶性的氢氧化物,而从废水中分离,但最适沉淀 pH 值需根据实验来确定。

表2 不同 pH 值条件下的小试结果

Tab. 2 Results of the experiment at different pH value

项目	pH 值	铁/(mg·L ⁻¹)	锰/(mg·L ⁻¹)	铜/(mg·L ⁻¹)	TP/(mg·L ⁻¹)
原水	3.0	120.20	2.46	12.96	0.55
第一次调节 pH 值	7.0	105.21	2.30	11.65	0.54
第二次调节 pH 值	8.0	3.32	1.56	9.63	0.15
第三次调节 pH 值	9.0	1.42	1.38	6.52	0.09
第四次调节 pH 值	10.0	0.35	1.32	0.09	0.04

注: Fe、Mn、Cu、TP 的检出限均为 0.01 mg/L。

从实验结果可以看出,调节 pH 值至 7 时,水样中铁、锰及铜浓度少量下降;继续加碱提高 pH 值至 8 后,出现絮状沉淀物,铁、锰浓度下降较大,而铜浓度变化小,说明铁、锰最适沉淀 pH 值为 8 左右;加碱提高 pH 值至 9 后,铁、锰及铜浓度有微小降低;继续加碱提高 pH 值至 10 后,铜离子下降较大,说明铜最适沉淀 pH 值为 10 左右。

从 pH 值反应来看去除金属离子的顺序,需优先去除铁和锰,再去除铜,且沉淀物呈絮状,投加助凝剂更有利于沉淀形成;同时也说明利用加碱调节 pH 值进行化学沉淀,可有效地去除废水中铁、锰和铜等金属离子。

2.2 工艺流程及设计去除率

采用两级混凝沉淀工艺去除废水中金属离子,一级混凝沉淀主要去除铁和锰,二级混凝沉淀主要去除铜,但由于废水水量随季节性变化较大,旱季时水质浓度偏高,为保证出水稳定达标,增设铁锰滤池强化铁、锰的去除效果,以保证出水稳定达标。

淋溶废水经管道收集后进入预调节池,预调节池由预混凝池、预沉池和曝气调节池合建而成,向预混凝池中投加 NaOH,调节 pH 值至 7 后进入预沉池,经初步沉淀去除部分金属离子后,进入曝气调节池进行曝气氧化;经泵提升进入一级混凝沉淀池,投加 Ca(OH)₂ 溶液调节 pH 值至 8,并投加 PAM 助凝剂,以去除铁、锰离子以及部分铜离子;然后自流入

⑥ 小试

在实验室常温条件下,取矿山淋溶废水进行快速搅拌混凝实验,并向其通入少量空气,分 4 次进行 pH 值调节,先用 NaOH 将 pH 值调至 7,再用 Ca(OH)₂ 将 pH 值调至 8,然后用 Ca(OH)₂ 将 pH 值调至 9,最后用 Ca(OH)₂ 将 pH 值调至 10。考察实验情况,分别检测原水、pH = 7、pH = 8、pH = 9 及 pH = 10 时上清液中铁、锰、铜及 TP 含量,结果如表 2 所示。

二级混凝沉淀池,投加 Ca(OH)₂ 溶液调节 pH 值至 10,同时投加 PAM 助凝剂,主要去除废水中铜离子。出水经加酸调节后进入中间提升泵站,经中间提升泵提升至铁锰滤池进一步强化处理,出水达标排放。若出水不达标或进水异常时,需排至事故池再做后续处理。

系统产生的污泥排至污泥浓缩池,经重力浓缩后泵入板框压滤机脱水,脱水后污泥含水率降至 60% 以下,并定期外运处置。

废水处理工艺流程见图 1。

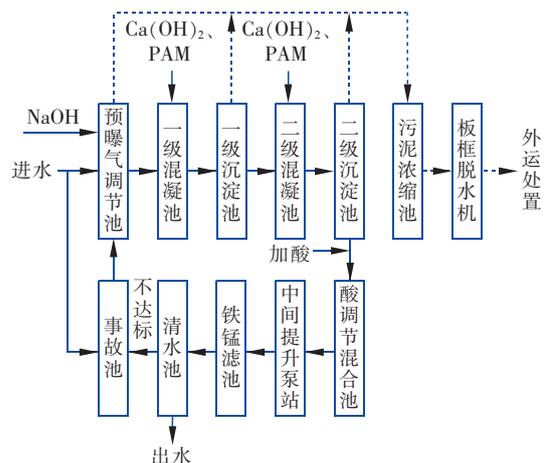


图1 废水处理工艺流程

Fig. 1 Flow chart of wastewater treatment process
各工艺单元预计处理效果见表 3。

表3 各处理单元预计去除率

Tab.3 Expected removal efficiency of each unit

项 目	铁	锰	铜	TP	
预调节池 (进水 pH 值为 3,出水为7)	进水/(mg·L ⁻¹)	120	2.5	13.0	0.55
	出水/(mg·L ⁻¹)	105	2.33	11.5	0.54
	去除率/%	12.5	6.5	11.5	1.8
一级混凝沉淀池 (进水 pH 值为 7,出水为8)	进水/(mg·L ⁻¹)	105	2.33	11.5	0.54
	出水/(mg·L ⁻¹)	4.5	1.58	9.5	0.15
	去除率/%	95.7	32.3	17.4	72.2
二级混凝沉淀池 (进水 pH 值为 8,出水为10)	进水/(mg·L ⁻¹)	4.5	1.58	9.5	0.15
	出水/(mg·L ⁻¹)	0.35	1.33	0.09	0.04
	去除率/%	92.2	15.7	99.0	73.3
铁锰滤池 (进水 pH 值为 8,出水为8)	进水/(mg·L ⁻¹)	0.35	1.33	0.09	0.04
	出水/(mg·L ⁻¹)	0.20	0.95	0.08	0.03
	去除率/%	42.8	28.6	11.1	25

3 主要建(构)筑物及参数

① 预曝气调节池。1座,由混凝反应池、预沉池及曝气调节池合建组成,其中混凝反应池平面尺寸为2.0 m×2.0 m,池深为3.4 m;预沉池平面尺寸为12.0 m×4.0 m,池深为4.5 m;曝气调节池平面尺寸为17.0 m×12.0 m,池深为4.5 m,停留时间为8 h,按气水比为4:1进行曝气风机选型,设曝气鼓风机2台(1用1备,变频调节),单台风量为8.3 m³/min,升压为0.05 MPa,配套曝气穿孔管1套。

② 事故池。1座,与曝气调节池合建,平面尺寸为21.0 m×6.3 m,池深为4.5 m,停留时间为5 h;设潜污泵2台(1用1备),单台 $Q=62.5$ m³/h, $H=50$ kPa, $N=3$ kW。

③ 一级混凝池。1座,平面尺寸 $L\times B=6.0$ m×3.0 m,分成两格,池深5.4 m;第一格内安装混合搅拌机1台,桨叶直径1.0 m,转速为40 r/min,并向内投加氢氧化钙溶液;第二格安装絮凝搅拌机1台,桨叶直径1.4 m,转速为25 r/min,并向内投加PAM,末端安装pH计,控制池内pH值在8左右。

④ 一级沉淀池。1座,采用竖流沉淀池,为改善排泥效果,增加中心传动刮泥机,直径为13 m,池深5.4 m,表面负荷为0.94 m³/(m²·h)。

⑤ 二级混凝池。1座,平面尺寸 $L\times B=6.0$ m×3.0 m,分成两格,池深5.4 m;第一格内安装混合搅拌机1台,桨叶直径1.0 m,转速为40 r/min,并向内投加氢氧化钙溶液;第二格安装絮凝搅拌机1台,桨叶直径1.4 m,转速为25 r/min,并向内投加PAM,末端安装pH计,控制池内pH值为10左右。

⑥ 二级沉淀池。1座,采用竖流沉淀池,为改

善排泥效果,增加中心传动刮泥机,直径为13 m,池深5.4 m,表面负荷为0.94 m³/(m²·h)。

⑦ 中间提升泵站(含酸调节混合池)。1座,平面尺寸 $L\times B=6.0$ m×6.0 m,池深5.1 m,其中酸调节混合池平面尺寸 $L\times B=2.0$ m×2.0 m,池深为5.1 m;设提升泵3台(2用1备,1台变频), $Q=62.5$ m³/h, $H=250$ kPa, $N=11$ kW。

⑧ 一体化铁锰滤池。2套,碳钢罐体(成套设备),单个罐体尺寸 $\varnothing\times H=3.2$ m×4.8 m,滤速7.8 m/h,反冲洗气洗强度为15 L/(m²·s)、水洗强度为10 L/(m²·s)。

⑨ 清水池。1座,与中间提升泵站合建,为铁锰滤池提供反冲洗用水,平面尺寸 $L\times B=6.0$ m×6.0 m,池深为5.1 m,停留时间为1.3 h。

⑩ 污泥浓缩池。1座,直径为5 m,池边深度为4.5 m,污泥固体负荷为60 kg/(m²·d)。

⑪ 设备房。1座,含加药间、脱水机房等,平面尺寸 $L\times B=26$ m×10 m,高度为5 m;设碱液投加装置2套,储存罐尺寸 $\varnothing\times H=2$ m×2 m,加药计量泵3台(2用1备), $Q=500$ L/h, $H=300$ kPa, $N=1.5$ kW;石灰投加装置2套,加药螺杆泵2台(1用1备),流量为1 m³/h,扬程为200 kPa,功率为1.1 kW,变频控制,配套石灰料仓1套,15 m³,附带输送机等配件;PAM加药装置2套,溶解罐尺寸 $\varnothing\times H=1.2$ m×1.3 m,加药计量泵2台(1用1备),流量330 L/h,扬程300 kPa,功率0.75 kW;盐酸加药装置2套,储存罐尺寸 $\varnothing\times H=2$ m×2 m,配套液位开关,盐酸计量泵2套(1用1备), $Q=0\sim 170$ L/h, $H=300$ kPa, $N=0.25$ kW;板框压滤机1套,过滤面积50 m²,污泥螺杆泵2台(1用1备), $Q=8$ m³/h, $H=700\sim 800$ kPa, $N=2.2$ kW,压榨泵1台, $Q=2.4$ m³/h, $H=1\ 220$ kPa, $N=2.2$ kW,压榨水箱1套, $\varnothing\times H=1\ 320$ mm×1 800 mm。

加碱调节pH值进行化学沉淀是本工程的关键,因此加药设备的自动化控制至关重要,设计时考虑加药设备均能根据反应池内pH计测定的pH值反馈至PLC控制系统,同时由PLC来控制加药泵自动投加碱(酸),直至满足设定的pH值要求。

4 工程实际运行情况

该废水处理工程自2019年11月底调试运行以来,由于雨水量较少,平均进水量为1 000 m³/d,进水pH值为2.5~3。在预曝气调节池的预混凝池中

投加质量分数为25%的液碱,调节pH值至7左右,投加量为2.22 mL/L,同时控制曝气调节池内溶解氧为1 mg/L;在一、二级混凝反应池分别投加氢氧化钙(95%纯度)溶液调节pH值至10左右,氢氧化钙投加量为210 mg/L,同时投加0.8 mg/L的PAM助凝剂。实际废水处理效果见表4。该工程出水水质较稳定,处理成本中电费、药剂费分别为0.47、2.4元/m³。

表4 实际废水处理效果

Tab. 4 Actual wastewater treatment effect

项 目	铁	铜	锰	总磷
进水/(mg·L ⁻¹)	118~122	10~13	2.1~2.5	0.2~0.55
出水平均值/(mg·L ⁻¹)	0.19	0.12	1.05	0.02
排放标准/(mg·L ⁻¹)	≤2.0	≤0.5	≤2.0	≤0.5
平均去除率/%	99.8	98.9	54.3	94.6

5 结论

① 矿山淋溶废水中金属离子浓度高且具有强酸性,对周围环境具有极大的危害性,必须对其进行集中收集处理达标后才能排放。

② 采用预曝气调节池+一级混凝沉淀池+二级混凝沉淀池+一体化铁锰滤池工艺处理矿山淋溶废水是可行的,具有操作简单、出水稳定且能耗低等特点。鉴于矿山淋溶废水的复杂性和多样性,在设计类似废水处理工程时,应进行充分调研并结合小试来确定工艺设计参数。

③ 在进行小型污水处理厂设计时,建议采用节约型设计,构筑物尽量合建,合理布局,节省占地;同时需提高厂区自动化控制程度,减轻后期运行操作难度。

参考文献:

- [1] 唐朝春,许荣明. 化学除锰技术研究进展[J]. 水处理技术,2018,44(12):14-19.
Tang Chaochun, Xu Rongming. Research progress of chemical removal of manganese[J]. Technology of Water Treatment, 2018, 44(12): 14-19 (in Chinese).
- [2] 袁飞. 二级曝气中和法处理酸洗废水的研究及工程应用[D]. 上海:同济大学,2006.
Yuan Fei. The Research and Experiment of Two-stage Aeration Neutralization Process on Acid Washing Wastewater [D]. Shanghai: Tongji University, 2006 (in Chinese).

- [3] 胡文容,陈平. 曝气在煤矿酸性矿井水石灰石中和处理中的作用[J]. 煤矿环境保护,1997,11(5):26-30.
Hu Wenrong, Chen Ping. The role of aeration in limestone neutralization treatment of acid mine water in coal mine [J]. Coal Mine Environmental Protection, 1997, 11(5): 26-30 (in Chinese).
- [4] 陶岳云,倪木子,夏圣骥. 地表水锰污染在水处理中去除研究进展[J]. 水科学与工程,2013(5):62-65.
Tao Yueyun, Ni Muzi, Xia Shengji. Progress of manganese contamination removal in surface water [J]. Water Sciences and Engineering Technology, 2013(5): 62-65 (in Chinese).
- [5] 李继震. 接触氧化除铁除锰机理的探讨[J]. 中国给水排水,2010,26(18):6-8.
Li Jizhen. Investigation on mechanism of iron and manganese removal by contact oxidation [J]. China Water & Wastewater, 2010, 26(18): 6-8 (in Chinese).
- [6] 王振兴,王鹤立,李向全,等. 地下水除铁除锰技术研究进展[J]. 环境工程,2012,30(增刊):48-51.
Wang Zhenxing, Wang Heli, Li Xiangquan, et al. The research progress of technology for iron and manganese removing in groundwater [J]. Environmental Engineering, 2012, 30(S): 48-51 (in Chinese).
- [7] 宋春丽,陈兆文,范海明,等. 含铜废水处理技术综述[J]. 舰船防化,2008(2):22-25.
Song Chunli, Chen Zhaowen, Fan Haiming, et al. Review of copper wastewater treatment technologies [J]. Chemical Defence on Ships, 2008(2): 22-25 (in Chinese).



作者简介:章长江(1988-),男,安徽天长人,硕士,工程师,主要从事市政、工业污水工程设计及咨询工作。

E-mail:413327359@qq.com

收稿日期:2020-02-15