

制革废水处理厂及下游综合污水厂升级改造探究

李志平¹, 李斌², 潘国强², 李连伟²

(1. 云南水务投资股份有限公司, 云南 昆明 650106; 2. 昆明滇池水务股份有限公司, 云南 昆明 650000)

摘要: 对某制革废水处理厂和下游综合污水处理厂的进出水水质和沿程工艺段进行采样分析, 得出制革废水处理厂出水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 TN 平均浓度分别为 77.32、160.93 mg/L, 综合污水处理厂出水 COD 平均浓度为 106.8 mg/L, 其中大部分是难降解 COD, 出水 TN 平均浓度为 89.93 mg/L, 出水 COD 和 TN 是影响污水处理厂出水达标排放的主要指标。在小试中投加 500 mg/L 葡萄糖 (以 COD 浓度计) 时脱氮效果明显增强, 综合污水处理厂出水 TN 浓度可稳定在 15 mg/L 以下。利用臭氧、活性焦和四相催化氧化深度处理综合污水处理厂二级出水, 发现臭氧对 COD 基本没有去除效果, 活性焦和四相催化氧化都能使 COD 浓度降至 50 mg/L 以下, 但四相催化氧化去除单位 COD 的成本约是活性焦的 29%、再生活性焦的 49%。

关键词: 制革废水; 活性焦; 四相催化氧化; 臭氧

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2020)05-0079-06

Upgrading of a Tannery Wastewater Treatment Plant and Its Downstream Integrated Wastewater Treatment Plant

LI Zhi-ping¹, LI Bin², PAN Guo-qiang², LI Lian-wei²

(1. Yunnan Water Investment Co. Ltd., Kunming 650106, China; 2. Kunming Dianchi Water Group Co. Ltd., Kunming 650000, China)

Abstract: The influent and effluent quality and the sampling analysis along the process were carried out for a tannery wastewater treatment plant and its downstream integrated wastewater treatment plant. The results showed that the effluent $\text{NH}_3\text{-N}$ and TN concentrations of tannery wastewater treatment plant were 77.32 mg/L and 160.93 mg/L, respectively. In the integrated wastewater treatment plant, the effluent COD concentration was 106.8 mg/L, most of which was hard to degrade; the effluent TN concentration was 89.93 mg/L; COD and TN were the main indexes affecting the effluent quality to reach the discharge standard. In a bench scale test, the nitrogen removal efficiency was substantially increased when 500 mgCOD/L glucose carbon source was added, and the effluent TN concentration of the integrated wastewater treatment plant was maintained below 15 mg/L. The secondary effluent of the integrated wastewater treatment plant was treated using ozone, activated coke, and four-phase catalytic oxidation. It was concluded that ozone had negligible effect on COD removal, but activated coke and four-phase catalytic oxidation both reduced COD concentration below 50 mg/L. The cost of using four-phase catalytic oxidation to remove 1 kg COD was 29% of the cost of using activated coke, and 49% of the cost of using regeneration activated coke.

Key words: tannery wastewater; activated coke; four-phase catalytic oxidation; ozone

制革废水主要来源于制革生产准备和鞣制两个过程^[1]。制革废水含有重金属、难降解污染物以及高浓度氨氮和高盐度等^[2-3],采用单一处理工艺很难去除。国内外学者都在不断探究活性污泥法和各种深度处理技术的制革废水集成处理工艺^[4-7]。笔者通过探究制革废水处理厂和下游综合污水处理厂存在的问题,针对性地开展加碳源试验和不同深度处理技术小试,同时探究上下游两污水处理厂联动机制,旨在为污水处理厂稳定达标工艺技术路线比

选提供参数支持,为制革废水处理提供参考。

1 材料与方法

1.1 制革废水处理厂和综合污水处理厂概况

制革废水处理厂的处理量为 5 000 m³/d,主要接收各制革厂经厂内污水处理设施处理后的尾水,工艺流程为进水→调节池→混合反应池→初沉池→水解池→A/O池→二沉池→出水[如图 1(a)所示],出水水质要求达到《污水排入城镇下水道水质标准》(CJ 343—2010)的 B 等级。

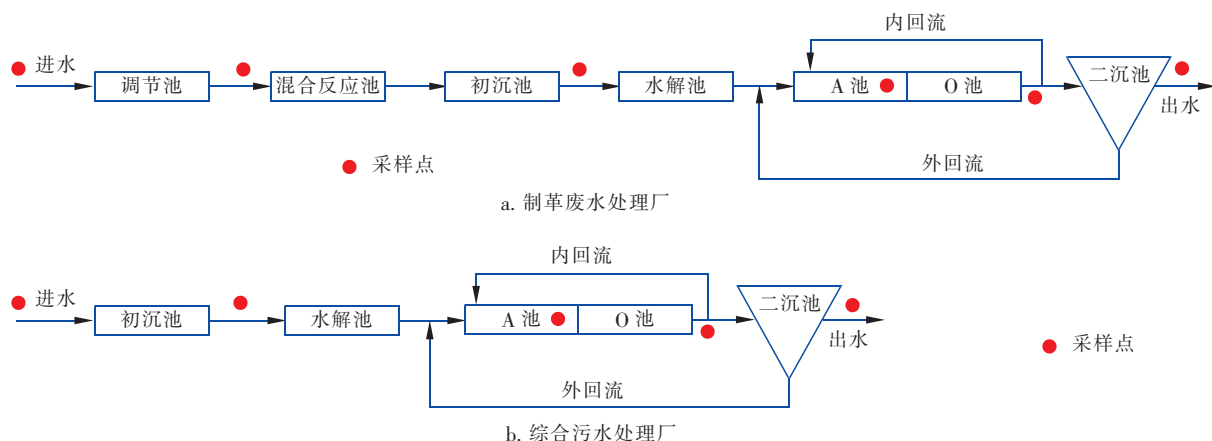


图1 制革废水处理厂和综合污水处理厂工艺流程

Fig.1 Flow chart of tannery wastewater treatment plant and integrated wastewater treatment plant

在制革废水处理厂下游建有处理量为 1×10^4 m³/d 的综合污水处理厂,主要接收制革废水处理厂尾水和市政生活污水,工艺流程为进水→初沉池→水解池→A/O池→二沉池→出水[见图 1(b)],改造完成后出水水质要求达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准。

1.2 试验方法

首先,对制革废水处理厂和综合污水处理厂 1 年的进出水水质进行分析,并进行沿程采样分析(采样点位置如图 1 所示),探究制革废水处理厂和综合污水处理厂现阶段的运行状况和存在的问题;其次,用小试装置模拟在投加外碳源条件下污水处理厂的运行状况;再次,利用臭氧、活性焦和四相催化氧化深度处理技术对综合污水处理厂二级出水分别进行小试,对比分析不同深度处理工艺对污染物的去除效果和运行成本;最后,提出制革废水处理厂和综合污水处理厂的工艺优化改造建议。

1.3 分析项目及方法

利用 WTW 便携式溶氧仪和 pH 仪现场监测制革废水处理厂和综合污水处理厂沿程溶解氧浓度和

pH 值;沿程水样采完后用抽滤机进行泥水分离,并按照国标法检测 COD、可溶性 COD(SCOD)、TN、TP、NH₃-N 和 NO₃⁻-N 浓度。投加外碳源小试主要检测进出水 TN、NH₃-N 和 NO₃⁻-N 浓度,深度处理小试主要检测 COD 浓度。

2 结果与讨论

2.1 进出水水质

根据制革废水处理厂和综合污水处理厂某年的运行数据(见表 1 和表 2),分析制革废水处理厂和综合污水处理厂的运行状况。从表 1 可知,进水污染物浓度在 1 月—6 月相对较高,原因是这个季节属于制革行业的旺季。制革废水处理厂对 COD、BOD₅、SS、NH₃-N、TN、TP、TCr 和 S²⁻ 的平均去除率分别为 77.4%、77.1%、72.9%、54.5%、44.9%、56.1%、60.7% 和 73.1%。其中 NH₃-N、TN 和 S²⁻ 出水浓度超过 CJ 343—2010 的 B 等级。进水 BOD₅/COD 和 BOD₅/TN 年平均值分别为 0.32 和 1.1,说明进水中可生物降解碳源较少,不能满足生物脱氮需求。从碳、氮、磷浓度比可知,进水 TP 浓度严重不足,会导致微生物活性较低。

表 1 制革废水处理厂进出水水质

Tab.1 Influent and effluent quality of tannery wastewater treatment plant mg · L⁻¹

项目	COD		BOD ₅		SS		NH ₃ - N		TN		TP		TCr		S ²⁻	
	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水
1 月	1 229.74	241.77	393.12	80.04	751.29	156.13	143.50	155.32	253.71	208.06	0.53	0.39	3.49	1.03	9.40	4.04
2 月	1 006.62	171.86	307.88	49.13	455.52	127.59	131.23	126.01	231.14	169.66	0.75	0.47	0.84	0.86	14.70	4.59
3 月	1 615.32	336.16	517.42	114.03	1 118.39	168.39	214.84	254.03	389.19	340.16	1.61	0.47	3.20	0.76	24.22	4.94
5 月	1 431.13	241.58	448.48	75.97	1 095.81	195.48	225.06	61.65	375.29	143.54	2.02	0.71	3.15	0.66	27.63	3.65
6 月	1 450.00	253.03	462.11	84.50	817.24	227.93	238.03	12.64	377.28	76.36	1.91	0.84	2.27	0.79	35.19	4.55
7 月	953.77	209.67	318.17	71.00	638.06	264.84	155.07	3.65	245.03	54.63	1.72	0.62	2.37	0.74	21.46	4.52
8 月	580.54	170.23	186.19	52.77	847.78	138.15	121.81	1.46	199.70	60.47	2.24	0.46	1.71	0.49	15.92	5.38
9 月	485.13	172.40	163.07	58.57	338.33	159.33	157.30	15.43	231.60	131.30	3.22	0.77	1.18	0.86	12.19	5.30
10 月	842.77	241.10	270.77	78.06	373.23	194.55	200.77	73.70	325.61	217.35	2.43	1.46	2.40	1.64	19.69	6.10
11 月	823.36	245.29	268.78	78.03	412.86	183.21	149.20	61.08	290.21	183.79	2.80	1.85	2.41	1.19	10.66	5.40
12 月	608.19	211.58	200.29	68.21	368.71	142.26	133.06	85.53	292.94	184.87	1.29	0.98	2.35	0.93	9.35	5.49
均值	1 002.42	226.79	321.48	73.66	656.11	177.99	169.99	77.32	291.97	160.93	1.87	0.82	2.31	0.91	18.22	4.91

表 2 综合污水处理厂进出水水质

Tab.2 Influent and effluent quality of integrated wastewater treatment plant mg · L⁻¹

项目	COD		BOD ₅		NH ₃ - N		TN		SS		TCr		TP	
	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水
1 月	375	95.0	179	13.1	93.59	21.48	128.0	106.0	308	18	0.544	0.134	1.12	0.28
2 月	344	61.1	159	10.0	71.82	9.06	96.0	75.0	263	16	0.388	0.119	1.26	0.29
3 月	523	135.2	251	15.0	163.00	75.97	208.0	165.0	289	20	0.301	0.087	1.14	0.30
4 月	531	143.0	252	15.0	190.92	81.13	229.0	194.0	356	17	0.154	0.057	1.54	0.24
5 月	479	128.5	223	14.0	60.82	7.45	97.0	71.0	410	16	0.200	0.055	1.08	0.22
6 月	376	119.5	180	13.1	27.09	1.35	55.8	36.8	297	12	0.158	0.037	1.04	0.29
7 月	338	112.4	152	13.0	18.17	1.34	52.7	39.0	270	14	0.135	0.031	1.06	0.29
8 月	337	80.0	159	11.0	17.79	1.19	45.2	30.6	256	10	0.163	0.045	1.11	0.18
9 月	335	85.8	154	11.0	23.43	1.49	94.8	62.0	201	9	0.379	0.068	1.28	0.14
10 月	452	91.1	212	15.0	56.78	6.10	133.2	106.9	323	10	0.435	0.078	1.19	0.13
11 月	465	112.1	219	16.0	46.25	10.41	119.9	95.7	303	22	0.476	0.169	1.41	0.24
12 月	387	117.5	176	16.0	73.60	11.08	110.2	97.6	190	39	0.529	0.260	1.02	0.44
均值	412	106.8	193	13.6	70.29	19.00	114.1	89.9	289	17	0.320	0.100	1.19	0.25

从表 2 可知,综合污水处理厂进水水质基本稳定,污水厂对 COD、BOD₅、SS、NH₃ - N、TN、TP 和 TCr 的平均去除率分别为 74.1%、92.9%、94.1%、72.9%、21.2%、78.8% 和 70.5%。BOD₅/COD 和 BOD₅/TN 年均值分别为 0.47 和 0.59。进水碳源较少不能满足脱氮需求。出水 COD、NH₃ - N 和 TN 浓度较高,分别为 106.8、19.00 和 89.9 mg/L。

综上,NH₃ - N、TN 和 S²⁻ 是影响制革废水处理厂出水水质达标的主要原因,COD、NH₃ - N 和 TN 是影响综合污水处理厂出水水质达标的主要原因,也是优化改造的主要去除对象。

2.2 沿程采样分析

对制革废水处理厂和综合污水处理厂沿程污染

物浓度(如图 2、3 所示)、DO 浓度和 pH 值进行检测,得到制革废水处理厂缺氧池、好氧池的 DO 平均浓度分别为 0.12 和 1.86 mg/L,进水 pH 值为 8.5;综合污水处理厂缺氧池、好氧池的 DO 平均浓度分别为 0.17 和 2.5 mg/L,进水 pH 值为 7.61。

制革废水处理厂进水 COD 和溶解态 COD 浓度分别为 2 450 mg/L 和 1 024 mg/L,经调节池处理后分别降到 1 610 mg/L 和 489 mg/L,分析原因是调节池中微生物对 COD 和溶解态 COD 有一定的降解;经生化处理后 COD 和溶解态 COD 浓度分别由初沉池出水的 558 mg/L 和 357 mg/L 降到 271 mg/L 和 260 mg/L,平均去除率分别为 51.4% 和 27.2%。经预处理后 TP 由进水的 48.6 mg/L 降到 3.6 mg/L,

去除率为92.6%,这可能是调节池和初沉池中微生物利用菌胶团吸附综合作用的结果;经A/O池后浓度进一步降到1.13 mg/L,去除率为68.6%。进水TN、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 分别为380、277和35 mg/L,经调节池和初沉池处理后浓度分别为306、185和31.2 mg/L,经A/O池处理后浓度分别为208、1.82、111 mg/L,出水TN中大部分是 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 。

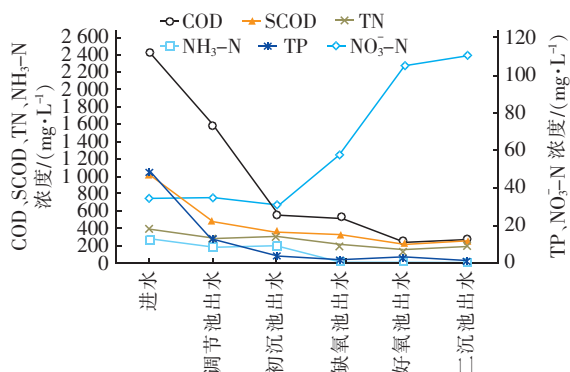


图2 制革废水处理厂沿程污染物浓度变化

Fig. 2 Change of pollutants along process of tannery wastewater treatment plant

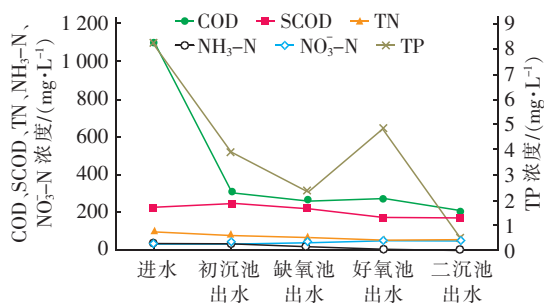


图3 综合污水处理厂沿程污染物浓度变化

Fig. 3 Change of pollutants along process of integrated wastewater treatment plant

综合污水处理厂进水COD和溶解态COD浓度分别为1095 mg/L和228 mg/L,经初沉池处理后分别为312 mg/L和252 mg/L,说明颗粒态COD大部分在初沉池中去除;经A/O池处理后COD和溶解态COD浓度分别为206 mg/L和178 mg/L,去除率分别为33.9%和29.4%,出水中COD大部分为可溶性难降解COD。经初沉池处理后TP浓度由8.25 mg/L下降到3.92 mg/L,去除率为52.5%,说明进水中约有一半的磷是颗粒态磷;经A/O池处理后,二沉池出水TP浓度下降为0.482 mg/L,去除率为87.7%。进水TN、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 浓度分别为97.8、37.5和38.9 mg/L,经初沉池处理后浓度分别

为78.8、36和36.2 mg/L,其中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 浓度基本没有变化,TN降低了19.4%,颗粒态氮在初沉池中基本被全部去除;经A/O池处理后TN、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 浓度分别为60.2、2.83和54.6 mg/L,出水TN的90.7%是 $\text{NO}_3^- \text{-N}$,说明系统反硝化效果较差。

综上可知,出水TN(主要是 $\text{NO}_3^- \text{-N}$)和COD浓度较高是影响制革废水处理厂和综合污水处理厂稳定达标的主要因素,具有较大提升空间。

2.3 投加外碳源效果

针对综合污水处理厂出水TN中大部分是硝态氮、进水COD中大部分是难降解碳源的问题,利用小试装置模拟污水处理系统并在缺氧区投加碳源,探究系统的脱氮效果。试验过程中保持条件(包括溶解氧、内回流量、外回流量和污泥浓度)一致,进水为综合污水处理厂进水,分别投加500、250和125 mg/L葡萄糖(以COD浓度计,下同),结果如图4所示。

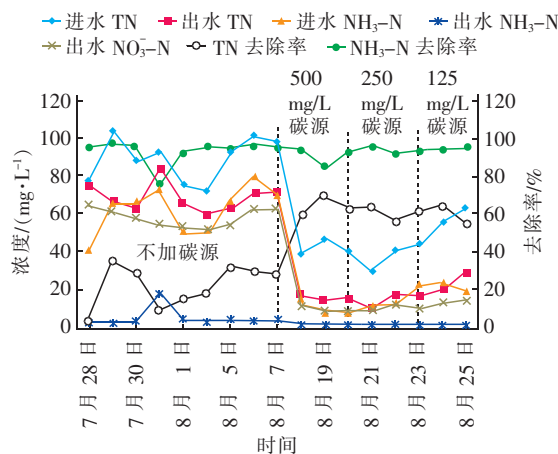


图4 投加外碳源的脱氮效果

Fig. 4 Nitrogen removal with adding carbon source

由图4可以看出,不投加碳源期间进水TN和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 平均浓度分别为88.9 mg/L和62.1 mg/L,出水TN、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 平均浓度分别为68.5、4.5和57.7 mg/L,对TN和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除率分别为22.1%、92.9%。投加500 mg/L葡萄糖后,系统进水TN平均浓度为41.8 mg/L,出水TN平均浓度为14.9 mg/L,平均去除率为64%,系统出水 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 平均浓度为9.6 mg/L。投加250 mg/L葡萄糖后,系统进水TN平均浓度为37.6 mg/L,出水TN平均浓度为14.8 mg/L,平均去除率为60.9%,系统出水 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 平均浓度为10 mg/L。投加125

mg/L 葡萄糖后,系统进水 TN 平均浓度为 59.1 mg/L,出水 TN 平均浓度为 24.1 mg/L,平均去除率为 59.5%,系统出水 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 平均浓度为 14 mg/L。由此可见,投加碳源能较好地提升系统反硝化效率,从而去除系统中的氮。

2.4 臭氧氧化效果

取 2.5 L 综合污水处理厂尾水作为试验原水(COD、SCOD 和色度分别为 223 mg/L、190 mg/L、16 倍),臭氧发生器的臭氧浓度为 70%、流量为 10 L/min,臭氧试验装置高为 1.5 m、直径约为 8 cm,利用纯氧作为臭氧气源。设置臭氧接触时间分别为 10、15 和 30 min,分别探究不同接触时间下臭氧对出水色度和 COD 的去除效果。结果表明,臭氧氧化 10 min 时,出水 COD、SCOD 和色度分别为 211 mg/L、182 mg/L、8 倍;臭氧氧化 15 min 时,出水 COD、SCOD 和色度分别为 205 mg/L、190 mg/L、4 倍;臭氧氧化 30 min 时,出水 COD、SCOD 和色度分别为 200 mg/L、190 mg/L、4 倍。可知,臭氧氧化前后 COD 和 SCOD 浓度变化不大,接触 10、15 min 后对 COD 的去除率分别为 5.4% 和 8%,对 SCOD 基本没有去除效果;对色度的去除效果较好,臭氧氧化 10 min 后去除率达到 50%。

2.5 活性焦吸附效果

活性焦吸附试验的原水为综合污水处理厂尾水,试验装置为 4 级吸附柱串联,第 1~4 级吸附柱高分别为 4、3.5、3 和 2.5 m,直径均为 12.5 cm,活性焦填充量为 54 kg,处理流速为 5 m/h。试验结果表明,当进水 COD 平均浓度为 109.14 mg/L,经过第 1~4 级吸附柱后 COD 平均浓度分别为 39.4、22.1、17.4 和 13.4 mg/L,平均去除率分别为 63.89%、43.90%、21.26% 和 22.99%。可见,污水厂二级出水经过 4 级活性焦吸附处理后可稳定达到一级 A 标准。此外,吸附柱出水 COD 浓度随时间呈上升趋势,主要因为活性焦是通过吸附作用去除污染物,其达到吸附饱和后对污染物的去除率会逐渐降低。

2.6 四相催化氧化效果

取综合污水处理厂尾水作为试验原水,四相催化氧化试验装置由催化反应池、后反应池和沉淀池组成,水力停留时间分别为 0.56、0.8 和 1.17 h,处理流量为 140 L/h,试验过程中在催化反应池投加硫酸亚铁和双氧水,在后反应池中投加氢氧化钠和

PAM,并用空气泵曝气混匀。试验设置 3 个药剂投加梯度,第 1 梯度硫酸亚铁、双氧水和氢氧化钠浓度分别为 800、200、300 mg/L,第 2 梯度硫酸亚铁、双氧水和氢氧化钠浓度分别为 1 200、270、450 mg/L,第 3 梯度硫酸亚铁、双氧水和氢氧化钠浓度分别为 1 300、320、380 mg/L,PAM 投加量始终为 2 mg/L,对 COD 的去除效果如图 5 所示。

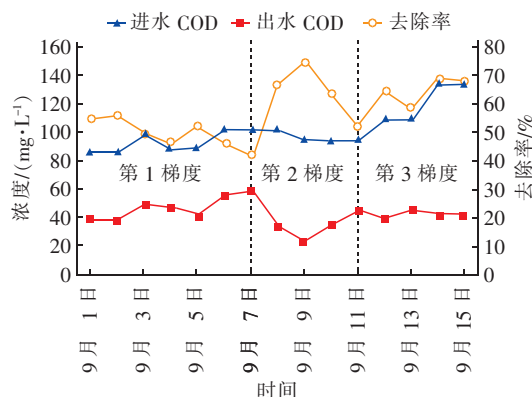


图5 四相催化氧化对 COD 的去除效果

Fig. 5 Removal effect of COD by four-phase catalytic oxidation process

从图 5 可知,在第 1、2 和 3 梯度投加量下,出水 COD 浓度分别为 47.6、34.6、42.15 mg/L,去除率分别为 49.4%、64.1%、64.9%。随着药剂投加量的增加去除率呈上升趋势,第 2、3 梯度出水 COD 浓度均可稳定达到一级 A 标准,且去除率没有明显增加,综合考虑选择第 2 梯度为最佳药剂投加量。

2.7 成本分析

针对综合污水处理厂二级出水 COD 浓度不能达到一级 A 标准,对其进行升级改造。通过小试探究 3 种深度处理技术对 COD 的去除效果,在达到排放要求的前提下分析其运行成本。四相催化氧化投加药剂中硫酸亚铁为 200 元/t、双氧水为 1 000 元/t、液碱为 900 元/t、PAM 为 20 000 元/t,活性焦为 5 000 元/t、再生活性焦为 3 000 元/t。在四相催化氧化试验中,硫酸亚铁、双氧水和氢氧化钠的最佳浓度分别为 1 200、270 和 450 mg/L,计算得单位成本为 0.91 元/m³,换算成去除单位 COD 的成本为 14.68 元/kgCOD。活性焦平均吸附总量是过流总量和进出水 COD 浓度差的乘积,故第 1 级吸附柱的吸附总量为 1.79 kg,第 1 级过滤装置填充 18 kg 活性焦,经换算相当于 1 t 活性焦吸附了 100 kg 的 COD,故去除单位 COD 的成本为 50 元/kgCOD(再

生活性焦处理成本为 30 元/kgCOD)。可以看出,去除等量 COD 时四相催化氧化较活性焦吸附更经济。

3 结论及建议

① 制革废水处理厂出水中 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、TN 和 S^{2-} 是影响出水水质达标的主要原因,综合污水处理厂出水中 COD、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 和 TN 是影响出水水质达标的主要原因,是优化改造的主要去除对象。

② 综合污水处理厂对 TN 的去除率与投加外碳源的量呈正相关,投加 500 mg/L 葡萄糖时去除率为 64%,出水水质可达到一级 A 标准。

③ 臭氧对 COD 基本没有去除效果,四相催化氧化和活性焦吸附对 COD 的去除效果较好,出水水质都能稳定达到一级 A 标准。活性焦和四相催化氧化去除单位 COD 的成本分别为 50 元/kgCOD(再生活性焦处理成本为 30 元/kgCOD)和 14.68 元/kgCOD,四相催化氧化更加经济。

将制革废水处理厂及其下游综合污水处理厂整体考虑,针对制革废水处理厂出水 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 为 77.32 mg/L,占出水 TN 的 48%,可考虑增加制革废水处理厂曝气量尽量将 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 完全转化为 $\text{NO}_3^- - \text{N}$,然后在综合污水处理厂缺氧区投加碳源强化反硝化脱氮。同时,在综合污水处理厂二级出水后增设四相催化氧化深度处理设施,保障出水 TN、COD 稳定达到一级 A 标准。

参考文献:

- [1] 吴浩汀. 制革工业废水处理技术及工程实例[M]. 2 版. 北京:化学工业出版社,2010.
Wu Haoting. Treatment Technology of Tannery Wastewater and Engineering Example [M]. 2nd ed. Beijing:Chemical Industry Press,2010(in Chinese).
- [2] 刘强,刘明月,苏强,等. 制革废水处理工程设计经验总结[J]. 中国给水排水,2016,32(6):41-44.
Liu Qiang, Liu Mingyue, Su Qiang, et al. Summary of design experience of leather wastewater treatment project [J]. China Water & Wastewater,2016,32(6):41-44 (in Chinese).
- [3] 赵宗亭. 制革废水多段 A/O 处理技术研发与工程应用[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2013.
- Zhao Zongting. The Research and Engineering Application of Multi-stage Anoxic/Oxic Process Treating Tannery Wastewater [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology,2013(in Chinese).
- [4] Angelucci D M, Stazi V, Daugulis A J, et al. Treatment of synthetic tannery wastewater in a continuous two-phase partitioning bioreactor: Biodegradation of the organic fraction and chromium separation[J]. Journal of Cleaner Production,2017,152:321-329.
- [5] 杨肖肖,吴红波,王国田. 气浮—混凝沉淀—水解酸化—SBR 工艺处理制革废水[J]. 工业用水与废水,2017,48(3):70-73,86.
Yang Xiaoxiao, Wu Hongbo, Wang Guotian. Treatment of tanning wastewater by air flotation - coagulation sedimentation - hydraulic acidification - SBR process [J]. Industrial Water & Wastewater,2017,48(3):70-73,86(in Chinese).
- [6] 牛波波,买文宁,李海松,等. Fenton 流化床深度处理制革废水[J]. 工业水处理,2016,36(11):34-38.
Niu Bobo, Mai Wenning, Li Haisong, et al. Advanced treatment of tanning wastewater by Fenton fluidized bed [J]. Industrial Water Treatment,2016,36(11):34-38 (in Chinese).
- [7] Lofrano G, Meric S, Balci G E Z, et al. Chemical and biological treatment technologies for leather tannery chemicals and wastewaters: A review[J]. Science of the Total Environment,2013,461/462C:265-281.



作者简介:李志平(1989-),男,云南大理人,硕士,工程师,从事水污染处理技术研究。

E-mail:18088328639@163.com

收稿日期:2019-05-12