

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.04.023

大型机场污水处理改造工程实例

夏雯菁

(广州市环境保护工程设计院有限公司, 广东 广州 510000)

摘 要: 某机场污水处理厂设计处理量为 $2.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 原有生化处理工艺为厌氧-射流曝气氧化沟。改造工程要求出水水质达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 一级 A 标准和广东省地方标准《水污染物排放限值》(DB 44/26—2001) 第二时段一级标准两者中的较严值。在利用原有的预处理及深度处理设施基础上, 生化处理改为厌氧-微孔曝气改良型 Carrousel 氧化沟, 并优化了 PAC 加药系统。虽然进水水质浓度高于设计值, 但运行结果显示改造后各污染物处理效果很好, 对 COD、BOD₅、TN、NH₃-N、TP 和 SS 的去除率分别达到 97.43%、97.83%、82.39%、98.27%、95.48% 和 97.15%, 脱氮除磷效果提升明显, 出水水质可稳定达到排放要求。

关键词: 机场污水; 改造工程; 脱氮除磷

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)04-0110-07

Example of a Wastewater Treatment Reconstruction Project in a Large Airport

XIA Wen-jing

(Guangzhou Environmental Protection Engineering Co. Ltd., Guangzhou 510000, China)

Abstract: The original biological treatment process of a wastewater treatment plant with design capacity of $28\,000 \text{ m}^3/\text{d}$ in an airport, was anaerobic and jet aeration oxidation ditch. It is required for the effluent quality of the reconstruction project to meet the stricter value of the first level A criteria in *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918 - 2002) and the first level criteria in the second period in *Discharge Limits of Water Pollutants* of local standards of Guangdong Province (DB 44/26 - 2001). Fully based on the existing pretreatment and advanced treatment facilities, the biochemical treatment was renovated into anaerobic and improved microporous aeration Carrousel oxidation ditch, and the dosing system of PAC was optimized. Although the influent concentrations were higher than the design value, the operation results showed that the treatment effect of various pollutants was very good after reconstruction. The removal rates of COD, BOD₅, TN, NH₃-N, TP and SS were 97.43%, 97.83%, 82.39%, 98.27%, 95.48% and 97.15% respectively. The nitrogen and phosphorus removal effects were improved obviously, and the effluent quality can meet the discharge requirements stably.

Key words: airport wastewater; reconstruction project; nitrogen and phosphorus removal

某大型机场作为重要的航空枢纽,其航站区按年客流量 2 500 万人次要求设计,其配套污水处理设施已于 2001 年建设并投入使用,设计处理规模为 $2.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,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 B 标准和广东省地方标准《水污染物排放限值》(DB 44/26—2001)第二时段一级标准两者中较严值。

随着区域经济的发展,该机场于 2016 年完成了

扩建工程,设计年客流量达到 8 000 万人次。机场扩建后,污水处理厂虽然设计处理规模仍能满足现状的污水量,但是,一方面,部分处理单元配置不尽合理,主要工艺设备存在老化的问题;另一方面,该污水厂出水水质无法长期稳定达到原排放标准,并且当地已对该污水厂提出了更高的排放要求,故污水厂升级改造势在必行。

该改造工程已于 2017 年 9 月完成并运行。该机场污水处理厂对生化处理工艺、加药系统及消毒方式等环节进行改造,同时完善其他配套设施,出水水质可达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准和广东省地方标准《水污染物排放限值》(DB 44/26—2001)第二时段

一级标准两者中较严值。

1 污水来源

机场污水的来源主要包括生活污水、生产废水以及其他废水。其中,生活污水来自机场航站区、办公工作区、生活区和商务服务等区域,为污水处理厂污水的主要来源;生产废水包括航空食品加工公司、飞机维修公司等区域的排水;其他废水包括地面和车辆等冲洗废水以及飞机产生的航空粪便废水。该污水处理厂的实际进水及设计进水水质与水量如表 1 所示。

目前平均处理水量为 19 421 m³/d,运行负荷率达到 69.36%;虽然该机场的污水主要来源为生活污水,但主要污染物浓度比一般的生活污水高。

表 1 实际进水及设计进水水质、水量

Tab. 1 Actual and design influent quality and quantity

项目	COD/ (mg · L ⁻¹)	BOD ₅ / (mg · L ⁻¹)	SS/ (mg · L ⁻¹)	NH ₃ - N/ (mg · L ⁻¹)	TN/ (mg · L ⁻¹)	TP/ (mg · L ⁻¹)	平均水量/ (m ³ · d ⁻¹)
机场扩建前进水	512.72	231.33	216.25	44.62	48.76	5.27	15 946
机场扩建后进水	571.74	269.43	189.00	56.48	62.57	6.90	19 421
原设计进水	450	210	200	30	40	4.5	28 000

2 改造工程概况

2.1 污水厂改造前工艺及水质

污水厂改造前处理工艺流程见图 1。

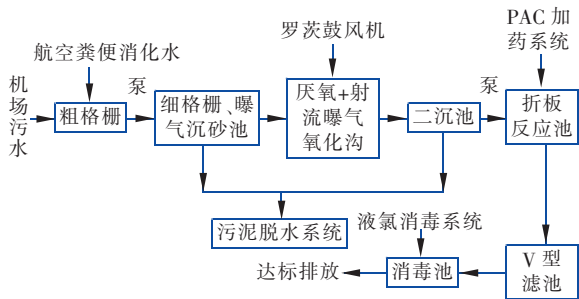


图 1 改造前污水处理工艺流程

Fig. 1 Flow chart of wastewater treatment before reconstruction

设计处理规模为 2.8 × 10⁴ m³/d,共分 2 组。其中,预处理采用粗细格栅 + 曝气沉砂池的工艺;生化处理采用厌氧 + 射流曝气氧化沟的处理工艺;深度处理采用絮凝 + 砂滤 + 液氯消毒的工艺。

改造前污水处理厂的出水水质见表 2,可见改造前有机物去除效果较好,出水 COD 和 BOD₅ 可满足改造后执行的排放标准;而 SS 基本能满足原排放要求,但无法满足改造后所执行的排放标准;此外,改造前污水厂的脱氮除磷效果不够稳定,总氮、氨氮及总磷虽年平均排放浓度勉强能够满足原排放要求,但多次出现超标情况,同时新的排放标准对氮、磷排放提出了更高的要求。由此可见,脱氮除磷是本次改造工程的重点。

表 2 改造前污水处理厂出水水质

Tab. 2 Effluent quality of wastewater treatment plant before reconstruction

项 目		COD	BOD ₅	SS	NH ₃ - N	TN	TP
2014 年—2016 年	平均值	14.43	2.44	11.81	6.15	15.19	0.51
	最大值	18.50	4.34	44.40	31.03	35.01	1.71
原排放标准		40	20	20	8	20	1
提标后排放标准		40	10	10	5	15	0.5

2.2 污水厂的改造

改造工程主要内容有:扩大航空粪便池处理规模,将原有生化工段改造为厌氧 + 微孔曝气改良型

Carrousel 氧化沟,优化加药系统、曝气系统以及消毒系统。

改造后工艺流程见图 2。

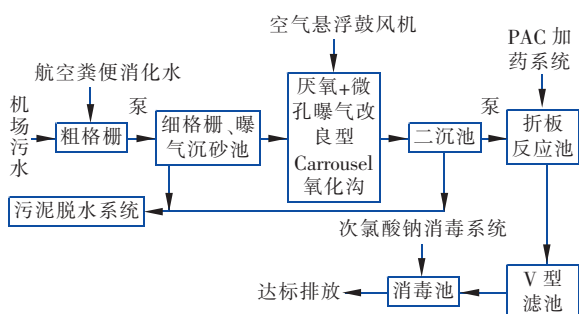


图2 改造后污水处理工艺流程

Fig.2 Flow chart of wastewater treatment process after reconstruction

① 航空粪便池改造

原有航空粪便池按处理量 $100 \text{ m}^3/\text{d}$ 设计,有效容积为 122 m^3 ,停留时间为 1.2 d 。改造工程一方面利用原有航空粪便池,通过增加隔墙,提高化粪池厌氧发酵效果;另一方面,新建一座航空粪便池,设计处理量为 $60 \text{ m}^3/\text{d}$,有效容积为 88.2 m^3 ,停留时间为 1.5 d 。

② 生化池改造

原有生化池采用厌氧池(单组尺寸: $22.00 \text{ m} \times 10.20 \text{ m} \times 5.70 \text{ m}$,2组,超高: 0.50 m) + 射流曝气氧化沟(单组尺寸: $152.45 \text{ m} \times 11.00 \text{ m} \times 5.70 \text{ m}$,2组,超高: 0.50 m)的形式。

改造前单组氧化沟分区见图3。

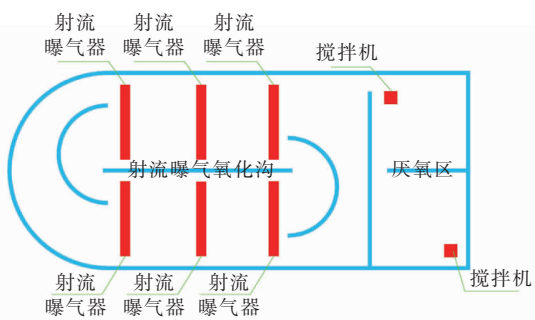


图3 改造前氧化沟分区

Fig.3 Oxidation ditch division before reconstruction

通过优化厌氧区的分格及氧化沟分区,将其改造为厌氧+微孔曝气改良型 Carroussel 氧化沟形式,其中缺氧区单组尺寸: $42.45 \text{ m} \times 11.00 \text{ m} \times 5.70 \text{ m}$,2组,超高 0.50 m ;好氧区单组尺寸: $110.00 \text{ m} \times 11.00 \text{ m} \times 5.70 \text{ m}$,2组,超高 0.50 m 。单组氧化沟隔板改造见图3。

同时厌氧区更换4台潜水推流器,每组2台,功率为 4 kW ,转速为 34 r/min ;缺氧区增加4台潜水

推流器,每组2台,功率为 4 kW ,转速为 43 r/min ,增加回流堰门2台,每组1台,功率为 0.75 kW ;好氧区拆除原有射流曝气设备,增加微孔曝气系统和推流装置,增加4台潜水推流器,每组2台,功率为 7.5 kW ,转速为 52 r/min ;增加4台潜水推流器,每组2台,功率为 4 kW ,转速为 43 r/min ,增加微孔曝气盘3950套,每组1975套。

单组氧化沟改造后分区见图4。

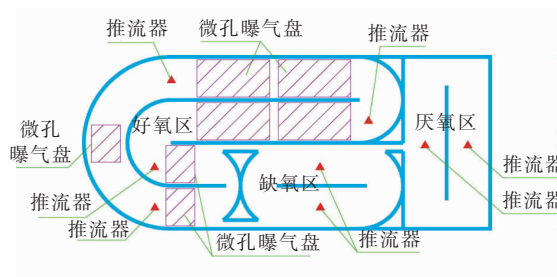


图4 改造后氧化沟分区

Fig.4 Oxidation ditch division after reconstruction

生化处理系统经改造后设计污泥负荷为 $0.075 \text{ kgBOD}_5/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$,气水比为 $8.8:1$,污泥回流比为 $50\% \sim 100\%$,混合液回流比为 $100\% \sim 300\%$ 。

③ 鼓风机系统改造

原有鼓风机系统配置了3台罗茨风机,电源电压为 380 V ,供气量为 $75 \text{ m}^3/\text{min}$ (25°C),功率为 110 kW ,排气压力为 0.6 MPa (75°C),2用1备,设备噪声大,故障多,变频调节难,维护要求高。改造后设计曝气量为 $176 \text{ m}^3/\text{min}$,更换为3台空气悬浮鼓风机,单台 $Q = 88 \text{ m}^3/\text{min}$, $P = 63.7 \text{ kPa}$, $N = 110 \text{ kW}$,2用1备。

④ 除磷加药系统改造

改造工程更换1套化学除磷自动溶药系统,溶药量 20 kg/h ,制备能力 3000 L/h , $N = 8 \text{ kW}$;新增4台隔膜计量泵, $Q = 550 \sim 700 \text{ L/h}$, $P = 0.6 \text{ MPa}$, $N = 0.75 \text{ kW}$,2用2备。

⑤ 消毒系统改造

将原有液氯消毒系统拆除,改造为次氯酸钠消毒系统。新增1个次氯酸钠储罐, 15 m^3 ;新增2台次氯酸钠投加泵, $Q = 100 \sim 200 \text{ L/h}$, $P = 0.3 \text{ MPa}$, $N = 0.37 \text{ kW}$,1用1备;新增2台卸料泵, $Q = 20 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 200 \text{ kPa}$, $N = 2 \text{ kW}$,1用1备;新增1套泄漏检测仪。

2.3 主要处理单元运行参数

改造后主要处理单元的运行参数见表3。

表3 主要处理单元运行参数

Tab.3 Operation parameters of main units

处理单元	参数	改造前	改造后
曝气沉砂池	停留时间/min	3	
	曝气强度/(m^3 气 · m^{-3} 水)	0.15	
氧化沟	HRT/h	厌氧区:2(设计)/3.51(实际)	厌氧区:2(设计)/2.88(实际)
		缺氧区-好氧区:13(设计)/22.83(实际)(缺氧好氧未独立分区)	缺氧区:3.79(设计)/5.46(实际)
	混合液回流	混合液流速 < 0.1 m/s	混合液回流比:100% ~ 300%
	污泥回流比/%	50 ~ 100	
二沉池	表面负荷/ ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$)	0.64(设计)	
		0.36(实际)	0.44(实际)
V型滤池	反洗周期/h	24	
	过滤速度/($\text{m} \cdot \text{h}^{-1}$)	8.5	
消毒池	接触时间/h	> 0.5	

3 运行效果与讨论

3.1 进水水质

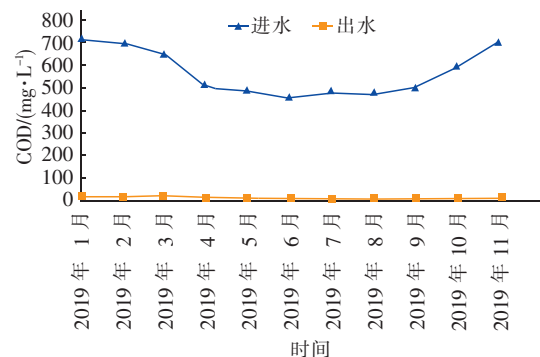
机场扩建前后污水大部分污染物浓度均值已超过设计值,其中扩建后 COD、BOD₅、TN、NH₃-N 和 TP 的平均进水浓度分别为设计值的 1.27、1.28、1.56、1.88 和 1.53 倍。而一般机场污水的水质与生活污水水质相差不大^[1-2],原因可能是该机场的客流量大,飞机起落数量多,航空粪便数量比其他中小型机场要多,并且粪便消化液有机物及氮磷污染物浓度往往很高^[3],粪便消化液接入污水厂提升了进水各污染物的浓度。

污水可生化性方面,虽然该机场污水厂进水的 COD 和 BOD₅ 浓度较高,但进水可生化性较好,进水的 B/C 值约为 0.47,与设计值接近,使用生物方法进行处理比较合适;脱氮方面,生物脱氮系统中 BOD₅/TN > 4 时才能较好发挥微生物的反硝化作用^[4],而该污水厂进水的 BOD₅/TN 平均值约为 4.31,说明该污水具有良好的生物脱氮条件;除磷方面,一般当污水的 BOD₅/TP > 17 时,说明污水的碳源能够满足厌氧释磷的需要^[5],而该机场污水的 BOD₅/TP 平均值约为 39.03,故该污水的有机物能够满足聚磷菌的释磷要求。

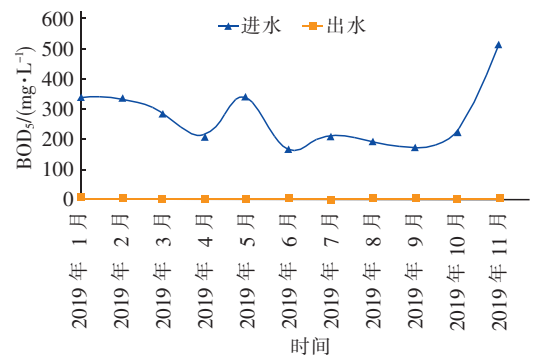
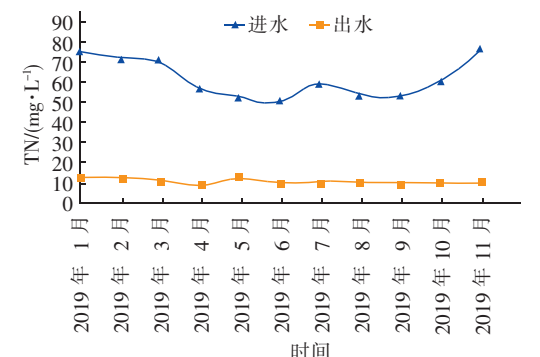
此外,由于该机场位于我国南部省份,参考 2019 年 1 月—11 月的监测数据,水温范围为 15.9 ~ 30.1 ℃,有利于生化处理。

3.2 主要污染物去除效果

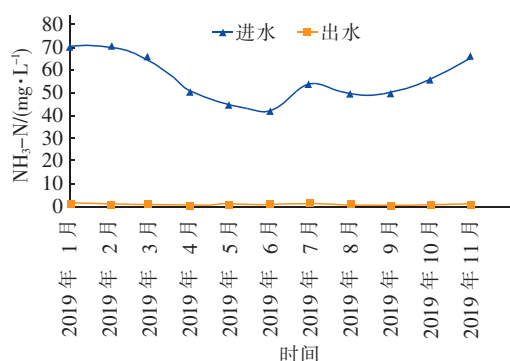
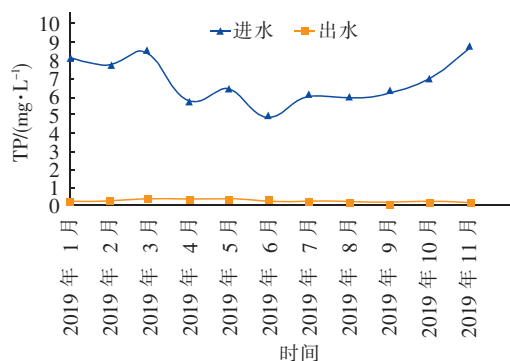
对主要污染物 COD、BOD₅、TN、NH₃-N、TP 和 SS 的去除效果见图 5。



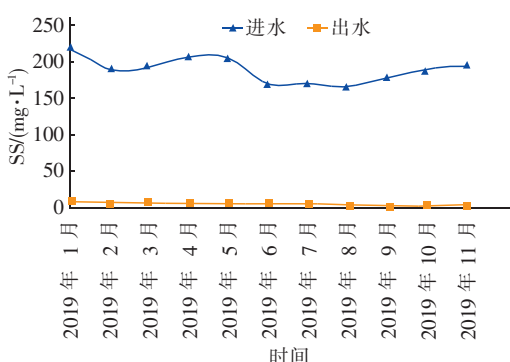
a. COD 去除效果

b. BOD₅ 去除效果

c. TN 去除效果

d. $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除效果

e. TP 去除效果



f. SS 去除效果

图5 2019年1月—11月主要污染物去除效果

Fig. 5 Removal of the main pollutants from January to November 2019

① COD 和 BOD_5 的去除效果

2019年1月—11月出水COD为6~39 mg/L,平均值为14.53 mg/L,而COD月平均去除率为96.87%~98.04%,平均为97.43%。改造前平均出水COD为14.43 mg/L,去除率约97.19%。出水 BOD_5 为1.33~10.70 mg/L,平均值为5.47 mg/L,而月平均 BOD_5 去除率为96.69%~98.87%,平均为97.83%。改造前平均出水 BOD_5 为2.44 mg/L,去除率约98.94%。总体上看,改造后COD和

BOD_5 的处理效果都很好,出水可满足排放要求。

COD 和 BOD_5 主要反映了污水的有机物污染状况,在该污水处理厂中COD和 BOD_5 的去除主要取决于生物除碳的效果。改造前后在去除有机物方面表现都较好,出水浓度很低且比较稳定。但改造前的平均出水COD和 BOD_5 浓度比改造后要低。分析原因:改造前后氧化沟的尺寸并未扩大,而处理水量有所变化,改造前生化处理单元总的实际停留时间较改造后多4.76 h,所以有机物去除更多。

② 脱氮效果

2019年1月—11月出水TN为3.31~14.86 mg/L,平均值为10.71 mg/L,而月平均TN去除率为75.81%~86.07%,平均为82.39%。改造前平均出水TN为15.19 mg/L,去除率约68.85%。出水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 为0.05~4.70 mg/L,平均值为0.97 mg/L,而月平均 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除率为96.82%~99.09%,平均为98.27%。改造前平均出水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度为6.15 mg/L,去除率约为86.22%。虽然进水TN和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度分别为设计值的1.56倍和1.88倍,但改造后TN和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 出水浓度维持在较低水平,可见改造后,机场污水厂的脱氮效果提升明显。

改造前 BOD_5/TN 为4.74,碳源满足生物脱氮需要,但脱氮效果不佳。主要因为改造前采用厌氧+射流曝气氧化沟工艺,好氧缺氧同池交替,难以维持稳定的缺氧的溶解氧要求,过高的溶解氧会抑制反硝化作用。改造后采用厌氧+改良型Carrousel氧化沟工艺,将缺氧与好氧独立分区,能够更好控制溶解氧,较好氧缺氧同池交替的氧化沟工艺,具有更突出的反硝化性能^[6]。另外, $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除主要发生在好氧区,在硝化菌的作用下,将 $\text{NH}_3\text{-N}$ 转变为硝态氮,而改造后 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除效果的提升主要是因为将原有射流曝气改造为微孔曝气,并且加强了氧化沟内的推流混合,微孔曝气+推流更加容易调节充氧效果^[7],进而保证 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除。

③ 除磷效果

2019年1月—11月出水TP为0.09~0.48 mg/L,平均值为0.29 mg/L,而月平均TP去除率为93.70%~96.95%,平均为95.48%。改造前平均出水TP浓度为0.51 mg/L,去除率约90.32%。改造后TP去除率略有提升,目前平均出水浓度低于0.50 mg/L。分析主要有以下原因:a. 优化了单独设立厌氧区的分隔与推流,提升了厌氧区污泥与污水

的混合程度,使聚磷菌的释磷更加充分;b.聚磷菌释磷充分进入好氧段,与 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 去除率类似,曝气系统与推流优化后,聚磷菌好氧吸磷效果得以提升;c.后端 PAC 加药系统升级,利用物化沉淀除磷,保证 TP 的去除效率。

④ SS 的去除效果

2019 年 1 月—11 月出水 SS 为 1.60 ~ 10.00 mg/L,平均值为 5.34 mg/L,而月平均 SS 去除率为 96.10% ~ 98.43%,平均为 97.15%。改造前平均出水 SS 为 11.81 mg/L,去除率约 94.54%。改造后 SS 去除率略有提升,平均出水 SS < 10.00 mg/L。主要也得益于后端 PAC 加药系统的升级,保证了 SS 的去除率提升。

⑤ 主要处理单元处理效果

该污水处理厂各主要处理单元在 2019 年 12 月某日的处理效果见表 4。当日生化处理单元水温为 24.3 ℃,污泥回流比为 100%,混合液回流比为 200%。

表 4 主要处理单元处理效果

Tab. 4 Treatment effect of main units

项目		COD	TN	$\text{NH}_3 - \text{N}$	TP	SS
进水/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)		674	86.56	81.12	7.12	252
预处理/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	曝气沉砂池	589	84.58	79.64	7.03	213
预处理去除率/%		12.61	2.29	1.82	1.26	15.48
生化处理/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	厌氧区	244	28.58	24.65	9.61	—
	缺氧区	102	14.36	11.27	1.92	—
	好氧区	35	12.92	0.52	0.44	—
	二沉池	32	12.17	0.47	0.44	12
生化处理去除率/%		94.57	85.61	99.41	93.74	94.37
深度处理/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	V 型滤池	16	11.57	0.44	0.26	4
深度处理去除率/%		50.00	4.93	6.38	40.91	66.67

预处理阶段各污染物均有小幅降低,但氮、磷去除率相对较低。分析原因是预处理阶段主要靠物理作用去除部分 SS,而污水中的部分 COD 由 SS 贡献,COD 也相应下降,而该阶段的预处理对脱氮除磷作用并不大。

生化处理阶段各污染物去除率都比较高,其中厌氧区 COD、TN 和 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 浓度较上一处理单元的浓度大幅下降,分析原因如下:a.污泥回流至厌氧区,各污染物浓度被稀释;b.部分 COD 在厌氧条件下被分解;c.可能存在厌氧氨氧化细菌在厌氧区发

挥脱氮作用,但有待深入研究。此外,在上述污泥回流稀释作用下,厌氧区的 TP 依然上升,可见厌氧释磷作用明显。在缺氧区各污染物浓度均有明显下降,除混合液回流的稀释作用之外,在反硝化菌作用下,总氮浓度下降并消耗了部分污水碳源;除磷方面,缺氧区的同步反硝化吸磷作用比较明显,总磷浓度大幅下降。在好氧区,各污染物浓度进一步大幅下降,在碳化菌、氨氧化细菌、聚磷菌的共同作用下,各污染物处理效果较好。

深度处理阶段,去除效果比较明显的是 TP、COD 和 SS。分析原因:a.絮凝过程,通过投加 PAC,一方面降低了总磷浓度,另一方面药剂形成的絮团可吸附无法沉淀的 SS;b.砂滤过程,拦截絮凝过程中产生的絮团,降低 SS 及其所贡献的 COD;c.消毒过程,采用次氯酸钠消毒,该过程除具有消毒作用之外,也可氧化部分 COD。

从最后的处理效果上看,改造后各处理阶段均发挥着重要的作用,其中生化处理阶段是整个处理系统的核心,去除了大部分的污染物,特别是生物脱氮除磷效果提升明显;而深度处理阶段也非常关键,它保证了最后出水 TP 和 SS 的稳定达标。

4 工程投资

该机场污水处理厂升级改造总投资共 1 526.38 万元,其中建筑工程费用 249.91 万元,安装工程费用 993.41 万元,其他费用 283.05 万元。

5 结论

① 该机场污水处理厂经改造后,在进水污染物浓度大大高于同类污水的情况下,COD、 BOD_5 、TN、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、TP、SS 的去除率分别达到 97.43%、97.83%、82.39%、98.27%、95.48% 和 97.15%,出水各项指标能够满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准和广东省地方标准《水污染物排放限值》(DB 44/26—2001)第二时段一级标准两者中较严值。

② 通过将原有的厌氧—射流曝气氧化沟改造厌氧—微孔曝气改良型 Carrousel 氧化沟,通过分隔出独立的缺氧区和好氧区,污水脱氮除磷效果提升明显;同时保持了对 COD 和 BOD_5 良好的处理效果。在深度处理阶段,优化了 PAC 加药系统,配合原有 V 型滤池,保证了 TP 和 SS 的达标排放。

③ 该工程的实施和运行对于大型机场配套污水处理设施的设计与建设具有借鉴意义。

参考文献:

- [1] 苏永霞. 太原武宿国际机场污水处理技术[J]. 山西建筑, 2010, 36(6): 186-187.
SU Yongxia. Wastewater treatment technology of Taiyuan Wusu International Airport [J]. Shanxi Architecture, 2010, 36(6): 186-187 (in Chinese).
- [2] 胡彬. 南昌昌北国际机场污水处理工艺的设计及运行[J]. 江西化工, 2014(3): 131-133.
HU Bin. Design and operation of sewage treatment process in Nanchang Changbei International Airport [J]. Jiangxi Chemical Industry, 2014 (3): 131-133 (in Chinese).
- [3] 严雪梅. 粪便消化污水的处理研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2011.
YAN Xuemei. Study on Treatment of Digested Nightsoil Wastewater [D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2011 (in Chinese).
- [4] KOOT A C J, ZEPER J. Carrousel, a new type of aeration system with low organic load [J]. Water Research, 1972, 6(4/5): 401-406.
- [5] 刘伟岩, 李军, 宋玮华, 等. 碳源对缺氧/厌氧/好氧工艺脱氮除磷效果的影响[J]. 中国给水排水, 2009, 25(13): 55-57.
LIU Weiyan, LI Jun, SONG Weihua, *et al.* Influence of carbon source on nitrogen and phosphorus removal by anoxic/anaerobic/aerobic process [J]. China Water & Wastewater, 2009, 25(13): 55-57 (in Chinese).
- [6] 于静洁, 邓宏, 郑淑平, 等. 氧化沟工艺应用研究进展[J]. 工业水处理, 2013, 33(6): 1-5.
YU Jingjie, DENG Hong, ZHENG Shuping, *et al.* Progress in the research and application of oxidation ditch [J]. Industrial Water Treatment, 2013, 33(6): 1-5 (in Chinese).
- [7] 刘祖文, 许建红, 许秦坤, 等. 改良微孔 Carrousel 氧化沟工艺脱氮除磷[J]. 水处理技术, 2007, 33(4): 42-45.
LIU Zuwen, XU Jianhong, XU Qinkun, *et al.* Improved micropore Carrousel oxidation ditch process for phosphorous and nitrogen removal [J]. Technology of Water Treatment, 2007, 33(4): 42-45 (in Chinese).

作者简介: 夏雯菁 (1988-), 女, 广东广州人, 大学本科, 工程师, 从事工业废水及市政污水处理设计工作。

E-mail: queena91827@163.com

收稿日期: 2019-12-24

修回日期: 2020-01-07

(编辑: 衣春敏)

(上接第 109 页)

- LIN Zhixin, XU Youpeng, DAI Xiaoying, *et al.* Effect of urbanization on the river network structure and functions—a case study in Suzhou City [J]. Journal of Lake Sciences, 2018, 30(6): 1722-1731 (in Chinese).
- [2] 廖轶鹏, 周钰林, 范子武, 等. 夏季引流条件下苏州古城区河网水质变化研究[J]. 水利水运工程学报, 2019(5): 18-26.
LIAO Yipeng, ZHOU Yulin, FAN Ziwu, *et al.* Study on the water quality changes of river work in Suzhou ancient city under summer drainage conditions [J]. Hydro-Science and Engineering, 2019 (5): 18-26 (in Chinese).
- [3] 陈浩, 王飞, 施巍巍. 苏州古城区水环境改善方案研究——自流活水之配水工程[J]. 水利规划与设计, 2015(7): 86-89.
CHEN Hao, WANG Fei, SHI Weiwei. Study on water environment improvement scheme of Suzhou ancient city—water distribution project of artesian flowing water [J]. Water Resources Planning and Design, 2015(7): 86-89 (in Chinese).

作者简介: 张俊 (1987-), 男, 江苏苏州人, 大学本科, 中级工程师, 从事污水厂运行管理工作。

E-mail: 16753098@163.com

收稿日期: 2020-08-07

修回日期: 2020-09-16

(编辑: 衣春敏)