

运行与管理

涂装废水处理站的工程改造及调试运行

王宏岩¹, 张欣欣²

(1. 亿利首建生态科技有限公司, 北京 100600; 2. 上海立昌环境工程股份有限公司, 上海 200135)

摘要: 某汽车塑料零配件有限公司产生的前处理废水和循环废水共 $85 \text{ m}^3/\text{d}$, 原废水处理站存在设计缺陷且设备老化已不能使出水水质满足上海市《污水排入城镇下水道水质标准》(DB 31/445—2009)。将处理工艺改造为循环废水收集池/前处理废水收集池/调节池/气浮池/水解酸化池/两级接触氧化池/二沉池后, 出水水质远远优于上海市纳管排放要求, 其中气浮预处理效果好, COD 去除率 $>55\%$ 。在调试过程中, 还解决了阻碍污水站通畅运行的各种问题。

关键词: 涂装废水; 工艺改造; 调试运行; 气浮

中图分类号: TU993 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)14-0115-05

Upgrading and Commissioning of a Coating Sewage Treatment Station

WANG Hong-yan¹, ZHANG Xin-xin²

(1. Elion Shoujian Ecology Science and Technology Co. Ltd., Beijing 100600, China; 2. Shanghai Lichang Environmental Engineering Co. Ltd., Shanghai 200135, China)

Abstract: $85 \text{ m}^3/\text{d}$ of pretreatment wastewater and recirculation wastewater are discharged by an auto plastic parts company. Due to process design defects and serious aging of facilities, the treated water quality of the original sewage station could not meet the requirements of local *Discharge Standard for Municipal Sewerage System* (DB 31/445 - 2009) in Shanghai. A combined treatment process of recirculation wastewater tank/pretreatment wastewater tank/regulating tank/air floatation tank/hydrolytic acidification tank/two-stage contact oxidation tank/secondary sedimentation tank was used to upgrade the original process. The treated water quality was much better than the local standard for discharging to pipes. The removal efficiency of COD is above 55% after the efficient pretreatment unit of air floatation. During the commissioning phase, various problems that obstructed the operation of the new sewage treatment station were solved.

Key words: the coating wastewater; process innovation; commissioning and operation; air floatation

上海某汽车塑料零配件有限公司专业从事汽车塑料零配件的设计、制造及生产。在生产过程中排放涂装废水约 $85 \text{ m}^3/\text{d}$, 处理出水指标需满足上海市《污水排入城镇下水道水质标准》(DB 31/445—2009), 达标后纳管排放。原废水站建于2007年, 采用传统生化处理工艺, 运行效果较差, 处理设施大多

损坏停用, 已不能满足纳管排放要求。该废水站改造工程于2015年9月启动, 2016年4月竣工验收, 至今出水效果良好, 优于出水要求。

1 设计水量和水质

该公司共有三条涂装生产线, 每生产7天左右, 停线12 h。开线时连续不断地产生前处理溢流水,

停线时产生循环导槽废水及前处理导槽废水,两股导槽废水同时排放。前处理废水(前处理溢流水和前处理导槽废水)设计水量为 $75 \text{ m}^3/\text{d}$,循环导槽废水设计水量为 $10 \text{ m}^3/\text{d}$,设计总水量为 $85 \text{ m}^3/\text{d}$ 。循环废水内含有大量的漆渣及漆渣絮凝剂,有机污染物较多,且可生化性较差。前处理废水是清洗零部件表面后的溢流水,原水为一级 RO 出水,较为洁净,有机物浓度较低。具体进、出水水质见表 1。

表 1 废水站设计进、出水水质

Tab. 1 Design influent and effluent quality

项 目	COD/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\text{NH}_3 - \text{N}/$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	SS/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	pH 值
循环废水	$\leq 5\,000$	≤ 25	$\leq 2\,500$	8~9
前处理废水	≤ 400	≤ 20	≤ 30	6~7
出水水质	≤ 500	≤ 40	≤ 400	6~9

2 改造前存在的问题及分析

原处理工艺为循环废水收集池+前处理废水收集池+调节池+水解酸化池+两级接触氧化池+二沉池+污泥池+污泥脱水,对存在的问题分析如下:

① 存在工艺缺陷。循环废水收集池前设置 8 mm 人工格栅,但细小颗粒漆渣可通过格栅进入收集池,因漆渣有粘性,一段时间后会聚集为大颗粒漆渣,堵塞泵体等设备,且不易被厌氧微生物水解,不利于后续好氧微生物的生长。二沉池没有活性污泥回流措施,不能补充活性污泥至生化池。

② 除钢筋混凝土池体外,动力设备(如鼓风机、污泥脱水机、加药系统等)大多已损坏,改造前废水站已基本处于瘫痪状态。

③ 自动化水平较低,存在一定的运行隐患,不能及时发现和处理突发问题^[1]。

④ 运行管理不到位,栅渣、二沉池污泥未能及时处理,设备维修不及时。

3 技术改造及调试运行

3.1 改造工艺路线

针对原废水站存在的问题,本着节省投资成本,尽量利用原有废水处理设施的原则,采用如图 1 所示的改造流程。相比原工艺,在水解酸化池前增加混凝气浮预处理单元,将调节池出水中微小漆渣颗粒及可絮凝物质去除,为后续生化处理提供有利条件,并能有效防止泵体堵塞;另外,在水解酸化池中悬挂组合填料,尽量提高废水可生化性^[2]。采用手动及自动两种方式控制运行。

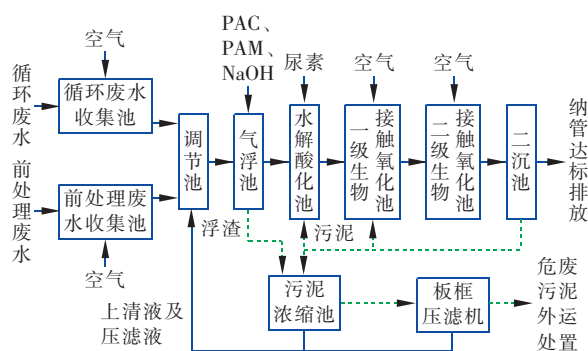


图 1 废水站工艺改造流程

Fig. 1 Flow chart of wastewater treatment upgrading process

3.2 主要处理单元

① 循环废水收集池(改造)。半地上式,钢混结构,尺寸为 $5.52 \text{ m} \times 3.76 \text{ m} \times 4.00 \text{ m}$,内设格栅池。停留时间为 7.5 d。由浮球液位计控制液位高低。人工格栅(利旧)2 道,栅间隙分别为 10 mm 及 8 mm;穿孔曝气管;电缆浮球液位计 1 套;潜污泵 2 台, $Q = 10 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 150 \text{ kPa}$, $N = 1.5 \text{ kW}$,开式叶轮,带可切割功能,铸铁材质;玻璃转子流量计,口径 DN40,运行流量控制在 $0.5 \sim 1.8 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

② 前处理废水收集池(改造)。全地下式,钢混结构,尺寸为 $4.14 \text{ m} \times 2.76 \text{ m} \times 4.00 \text{ m}$,内设格栅池。停留时间为 7.2 h。人工格栅(利旧)2 道,栅间距为 10 mm 及 8 mm;穿孔曝气管;电缆浮球液位计 1 套;潜污泵 2 台, $Q = 8 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 120 \text{ kPa}$, $N = 1.1 \text{ kW}$,开式叶轮,铸铁材质;电磁流量计 1 套,口径 DN32,内衬材质 F4,电极材质 Ti,运行流量控制在 $3.2 \sim 4.0 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

③ 调节池(改造)。全地下式,钢混结构,尺寸为 $2.76 \text{ m} \times 2.64 \text{ m} \times 4.00 \text{ m}$,停留时间为 6.5 h。均衡循环废水与前处理废水的水量及水质,并将废水提升至混凝气浮池。穿孔曝气管;电缆浮球液位计 1 套;潜污泵 2 台, $Q = 10 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 200 \text{ kPa}$, $N = 2.2 \text{ kW}$,半开式叶轮,铸铁材质;电磁流量计,口径 DN32,内衬材质 F4,电极材质 Ti,运行流量控制在 $4.0 \sim 5.0 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

④ 混凝气浮池(新增)。采用部分回流加压溶气组合气浮池。在 pH 值为 8~9 时,加入适量的 PAC 及 PAM,使可絮凝的漆渣物及悬浮物发生絮凝反应,在大量微小气泡的作用下,密度比水小的物质上浮而去除,密度比水大的物质通过沉降去除。气

浮池1座,处理水量为 $3 \sim 5 \text{ m}^3/\text{h}$,CS材质+防腐。带有PAC混凝及PAM絮凝反应池。气浮池尺寸为 $3.5 \text{ m} \times 1.0 \text{ m} \times 2.5 \text{ m}$,每个反应池尺寸为 $0.5 \text{ m} \times 0.5 \text{ m} \times 1.9 \text{ m}$ 。气浮加药反应时间为 4.8 min ,接触区HRT为 5 min ,分离区HRT为 40 min ,出水回流比为30%。另外,配套搅拌机、溶气罐、溶气水泵、刮渣机、空压机等,总功率为 3.72 kW 。

⑤ 水解酸化池(改造)。半地下式钢混结构,尺寸为 $5.52 \text{ m} \times 2.76 \text{ m} \times 4.00 \text{ m}$,HRT=13 h,容积负荷 $\leq 1.6 \text{ kgCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 。1套推流搅拌装置, $n=980 \text{ r/min}$, $N=1.5 \text{ kW}$,叶轮及导杆为不锈钢材质,本体为铸铁材质。三角形出水堰1套,CS材质+防腐。 $\phi 150 \text{ mm}$ 组合填料 31 m^3 ,高密度聚乙烯材质。填料支架由10#槽钢、 $\phi 12 \text{ mm}$ 螺纹钢组成。

⑥ 两级接触氧化池(改造)。半地下式,钢混结构。一级接触氧化池尺寸为 $5.52 \text{ m} \times 4.26 \text{ m} \times 4.00 \text{ m}$,HRT为 19.5 h ,容积负荷为 $1.1 \text{ kgBOD}_5/(\text{m}^3 \text{ 填料} \cdot \text{d})$ 。二级接触氧化池尺寸为 $2.76 \text{ m} \times 2.76 \text{ m} \times 4.00 \text{ m}$,HRT=6.3 h,容积负荷为 $0.45 \text{ kgBOD}_5/(\text{m}^3 \text{ 填料} \cdot \text{d})$ 。接触氧化池安装悬挂式生物填料,以固定微生物并增加生物量。微孔曝气器70套,直径 $\phi 215 \text{ mm}$,ABS材质,服务面积为 $0.3 \text{ m}^2/\text{套}$ 。UPVC曝气管网1套。生物填料、填料支架及三角形出水堰同水解酸化池。

⑦ 二沉池(改造)。半地下竖流式,钢混结构,尺寸为 $2.76 \text{ m} \times 2.76 \text{ m} \times 4.50 \text{ m}$,泥斗底面尺寸为 $0.5 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}$,泥斗卸壁与水平面倾角为 55° ,HRT=3.3 h,表面负荷为 $0.56 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。二沉池设排泥泵,兼作污泥回流泵,补充接触氧化池及水解酸化池的活性污泥,剩余污泥泵入污泥池。二沉池上清液自流至纳管排放口。排泥泵为手动控制。管道排泥泵2台(1用1备), $Q=25 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=150 \text{ kPa}$, $N=2.2 \text{ kW}$,铸铁材质。导流筒直径 $\phi 300 \text{ mm}$,CS材质+防腐,三角形出水堰1套。

⑧ 污泥处理系统。污泥池1座,设在设备房内,全地上式钢混结构,尺寸为 $3.76 \text{ m} \times 2.7 \text{ m} \times 1.0 \text{ m}$ 。由于污泥池高度仅为 1 m 且内为平底,不能起到污泥浓缩的作用,仅能暂存污泥。污泥经脱水后,压滤液回流至调节池,二沉池排泥时,需注意不能将清水排进污泥池。设螺杆泵2台(1用1备), $Q=2 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=600 \text{ kPa}$, $N=1.5 \text{ kW}$,铸铁材质。电接点压力表1块,压力为 $0 \sim 1.0 \text{ MPa}$ 。液压自动保

压板框压滤机1套,过滤面积为 20 m^2 , $N=1.5 \text{ kW}$,滤板为增强聚丙烯材质。

⑨ 加药系统。加药装置共4套:8% PAC、0.1%阴离子PAM、30% NaOH、15% 尿素。带加药搅拌机的 1 m^3 加药桶4套,桶体为PE材质,搅拌轴及桨叶为SS304衬塑材质, $N=0.25 \text{ kW}$ 。加药计量泵4台, $Q=25 \text{ L/h}$,压力 $\geq 0.3 \text{ MPa}$, $N=0.025 \text{ kW}$,投加NaOH泵头为PVDF材质,其余3台为PVC材质。

⑩ 鼓风机。罗茨鼓风机2台(1用1备), $Q=3.68 \text{ m}^3/\text{min}$, $\Delta P=40 \text{ kPa}$, $N=5.5 \text{ kW}$,铸铁材质。

3.3 调试运行

废水站竣工后运行至今,各项出水指标均能满足上海市纳管排放要求。在工程调试阶段,解决了阻碍通畅运行的各种问题。

① 气浮调试。首先进行气浮池加药小试,再依据小试结果,调整气浮运行加药量:将进水pH值从 $6 \sim 7$ 调至 8.5 ,PAC投加量为 20 mg/L ,PAM为 2 mg/L ,溶气罐压力控制在 $0.3 \sim 0.5 \text{ MPa}$,气浮出水较为清澈、透明。当气浮进水COD浓度为 $700 \sim 1000 \text{ mg/L}$ 时,出水COD可降至 $200 \sim 450 \text{ mg/L}$,气浮对COD去除率 $>55\%$,这说明气浮对此类涂装废水具有较好的处理效果。当涂装废水COD $\leq 1000 \text{ mg/L}$ 时,可考虑经气浮处理后直接纳管排放。气浮进水COD偶有超过 1000 mg/L 的情况,为保障出水效果稳定,气浮之后仍然进行生化反应。

② 生化池调试。生化池调试主要在于菌种驯化、控制DO、均衡营养物质。因条件受限,以满负荷生化池进行微生物驯化,投加 5.5 t 电镀废水生化池含水率为80%的脱水污泥。其中水解酸化池均匀投加 1.6 t 污泥,一级及二级生物接触氧化池分别均匀投加 2.9 t 及 1.0 t 污泥。水解酸化池进水COD及氨氮浓度分别为 $450, 0.8 \text{ mg/L}$,按厌氧微生物生长所需营养物质比例 $C:N:P=200:5:1$ 计,水解酸化池中补充尿素 8 mg/L 。随后开启鼓风机,将生物接触氧化池DO控制在 $4 \sim 5 \text{ mg/L}$,闷曝3 d,实测DO平均值为 4.3 mg/L ,闷曝后废水颜色已由黑色逐渐转变为淡黄色,好氧微生物长势良好。水解酸化池不设曝气,DO值维持在 0.3 mg/L 左右。经检测,当水解酸化池进水COD $<400 \text{ mg/L}$ 时,二沉池出水COD $<60 \text{ mg/L}$ 。二级接触氧化池SV₃₀为18%,污泥沉淀效果良好,二沉池出水较为清澈,正常运行时出水SS $<30 \text{ mg/L}$ 。

③ 气浮溶气压力异常的处理。气浮正常运行时溶气罐压力为0.35~0.5 MPa,溶气压力异常会影响气浮的运行效果。调试阶段溶气压力曾两次下降至0.2~0.3 MPa,主要原因:a.原溶气释放器为碳钢材质,而气浮进水pH值为6~7,释放器受弱酸性水质的长期腐蚀,释放孔径扩大了1mm,导致释放出的气泡直径增大,溶气压力降低。将碳钢释放器更换为不锈钢释放器后,溶气压力恢复正常。b.回流泵内部或回流泵的进水管路发生堵塞,清堵后可使溶气压力恢复正常(0.45 MPa)。为避免回流水泵及其进水管路堵塞,气浮开机后,以清水运行30 min,再逐渐加废水至满负荷运行,调节加药量,再通过调节出水液位以确保进入清水区的水尽量清澈,没有悬浮物,同时降低了溶气释放器被堵住的可能性。当气浮溶气压力超出最高警戒压力值(0.6 MPa),达到0.7 MPa,说明溶气罐增压及回流泵运行良好,但溶气释放器的微小孔径被堵塞,此时将释放器清堵即可。

④ 循环废水提升泵的更换。循环水池提升泵初期选用普通潜污泵,泵堵塞频率很高,甚至一天需清理两次。这是因为循环废水中许多细小漆渣可通过8 mm格栅聚集沉积在池底形成大颗粒漆渣;普通潜污泵叶轮为闭式叶轮,废水中直径为3~4 cm的大颗粒物不能通过叶轮的流道。将普通潜污泵更换为带可切割功能的液下泵,并加强现场管理,每天及时清理格栅池内的栅渣,可彻底消除循环废水提升泵堵塞的隐患。选用液下泵,叶轮材质为高铬铸铁合金不锈钢,为全开可切割式。

⑤ 管道排泥泵的更换。废水站生化处理效果较好,二沉池中每天产生的生化污泥及气浮池的浮渣共约5 m³。初期二沉池选用管道式排泥泵,口径仅为 $\varnothing 25$ mm,且进泥管路上安装了6个弯头,泵的入口阻力较大,经常被气浮浮渣及生化污泥聚集成的直径2~3 cm的颗粒物堵塞,导致二沉池不能正常排泥,部分污泥发生厌氧分解而上浮,出水SS也高达800 mg/L。解决措施:首先,将 $\varnothing 25$ mm的管道排泥泵更换为 $\varnothing 65$ mm的立式管道泵,叶轮为半开式,流道宽度为5 cm,可通过直径为2.5 cm的颗粒物。其次,将进泥管管路连接弯头优化至3个。排泥泵更换后,效果良好。

⑥ 螺杆泵的维护。螺杆泵作为板框压滤机的进泥泵,正常运行时进泥管压力维持在0.6 MPa左右,运行近四个月时,进泥管压力下降至0.4 MPa,

且泵声音异常,板框压滤机进泥量减小。拆开泵体,发现螺杆泵的碳钢转子与橡胶定子均磨损严重,出现多处较深的沟痕,更换新的转子及定子后,螺杆泵的使用恢复正常。螺杆泵需定期维检。

⑦ 滤布的选型。调试初期板框压滤机滤布选用腈纶滤布,运行3个月即发生堵塞且清洗无效。因污泥为中性,具有一定的黏性,且压滤机取得较好的脱水效果即可,不需要高过滤精度,故将滤布更换为丙纶750b。该滤布为厚密型斜纹网状,过滤精度一般,但过滤效率较高。调试结果表明,丙纶滤布更适用于此污泥的板框脱水,耐用且不易堵塞,滤布每月可清洗一次,每8个月更换一次。

⑧ 风机运行及降噪。风机的额定风量 $Q = 3.68 \text{ m}^3/\text{min}$,额定风压 $\Delta P = 40 \text{ kPa}$,额定功率 $N = 5.5 \text{ kW}$,额定电流 $I = 11.6 \text{ A}$,实际运行中发现此风机的风量、风压与本工程正常运行需求相比均略小。当收集水池及调节池曝气量阀门开大一点,接触氧化池水面就没有曝气水花了,调节阀门使各池均有曝气,风机的工作风压在0.045 MPa左右,超过了额定风压(0.04 MPa)。生物接触氧化池有效水深为3.5 m,管路风阻损失一般在0.8~1.2 m,风压为0.05 MPa的风机更为合适,而风量也应考虑1.2的余量系数。

在各水池正常曝气的情况下,风机三相工作电流为10~10.6 A,均小于额定电流,说明此风机仍可以使用,不过产生的噪声较大,风机1 m处的噪声为82~85 dB。因风机设在值班房内,为尽量避免噪声损害人体健康,采用70 mm厚冲孔式消音玻璃棉彩钢夹心板及扇叶直径为 $\varnothing 300$ mm的百叶窗式工业排风扇,制作成风机隔音罩,可使风机1 m处噪声降至65 dB左右。

⑨ 预防冰冻。废水站调试期间经历了严冬,2016年1月24日上海地区出现严重冰冻,气温下降至-10℃。因废水站各动力设备及管路并未采取保温措施,导致当日部分UPVC材质的加药管、污水管冻裂,气浮回流水泵叶轮及底座被膨胀的冰体挤压变形。此场冰冻增加了废水站在调试期间的维护成本。一般情况下,上海冬季最低气温不会低于-5℃,若采取管路及设备保温措施一方面增加投资成本,另一方面也不利于夏季散热。在冬季运行时,应积极关注气温变化,当有低温或冰冻天气预警时,应停止进水及运行,并将动力设备及管路积水及

时排空,以避免因冰冻而损坏设备及管路。

3.4 运行效果

由于受设备更换维修、污泥处理系统维护、春节假期、冰冻维修等的影响,废水站调试期经历了4个月。虽然调试期较长,但大部分时间二沉池出水COD、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、SS、pH均达标。一方面因为该废水站涂装废水经调节池混合后COD浓度降至700~1350 mg/L,而原水氨氮及pH指标也均满足出水要求,另一方面是由于气浮池对废水中残留的漆渣及SS去除率较高,气浮出水大多数情况下已达到上海市纳管排放要求,再经水解酸化及接触氧化反应后,废水中污染物浓度进一步降低。从2016年4月废水站正式运营至今,运行状况良好,出水COD<120 mg/L, $\text{NH}_3 - \text{N}$ <6.5 mg/L, SS<80 mg/L, pH=7~8.5,各项指标远远优于出水标准要求。各单元出水COD浓度变化见表2。

表2 各处理单元不同时间出水COD浓度

Tab.2 Effluent COD concentration for different treatment

项目	出水 COD					
	2016年 3月 28日	2016年 6月 22日	2016年 9月 15日	2016年 12月 17日	2017年 2月 20日	2017年 5月 18日
调节池	721.4	1349.1	890.7	900.2	867.2	1100.7
气浮池	145.2	480.8	193.4	280.6	256.3	330.2
二沉池	18.4	105.7	50.5	58.1	48.7	61.3

4 技术经济分析

该废水站改造工程不需要土建施工,仅需工艺设计、设备安装及调试即可,工程量较小。工程建设总成本为36.67万元,其中设备采购费为27.57万元(更换及维修设备2.35万元),电控及材料费为5.13万元,安装及人工费等为3.97万元。废水站直接运行成本为1.90元/ m^3 ,其中药剂费为1.56元/ m^3 、电费为0.34元/ m^3 。

5 结论

① 该工程采用循环废水收集池+前处理废水收集池+调节池+混凝气浮预处理+水解酸化池+两级接触氧化池+二沉池+污泥池+污泥脱水系统工艺处理涂装废水,出水水质优于上海市纳管排放标准,效果良好。

② 混凝气浮池对循环废水及涂装废水的预处理效果良好,可使COD去除率>55%。若循环废水

及涂装废水的混合水COD浓度稳定在1000 mg/L以下,可考虑经混凝气浮处理后直接纳管排放,既简化了工艺流程,又节省了投资成本及运行管理成本。

③ 对于生产汽车塑料零配件产生的涂装废水,循环废水池提升液下泵应选用开放式叶轮,并带可切割功能,以免废水中细小颗粒聚集成大颗粒堵塞泵体;板框压滤机的滤布选择丙纶750b型较合适,立式管道排泥泵的口径不宜小于 $\varnothing 50$ mm。

④ 冰冻或低温前应停止废水站的运行,并及时排空动力设备及管路内的积水,以免因冰冻而损坏设备及管路,造成不必要的经济损失。

参考文献:

- [1] 盛雪芹,李庆江,王晓阳. 大庆石化公司炼油废水厂改扩建工程实例[J]. 中国给水排水,2009,25(22):63-65.
Sheng Xueqin, Li Qingjiang, Wang Xiaoyang. Rebuilding and extension engineering of refinery wastewater workshop of Daqing Petrochemical Company[J]. China Water & Wastewater, 2009, 25(22): 63-65 (in Chinese).
- [2] 管锡珺,王世杰,王金泉,等. 汽车塑料保险杠涂装废水处理工程实践[J]. 中国给水排水,2016,32(22):136-140.
Guan Xijun, Wang Shijie, Wang Jinqian, et al. Discussion on practice of automobile plastic bumper coating wastewater treatment project[J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(22): 136-140 (in Chinese).



作者简介:王宏岩(1987-),女,吉林双辽人,硕士,初级工程师,主要从事工业废水处理、污染土壤修复工作。

E-mail: wanghongyan211@126.com

收稿日期:2017-08-08