

山地城市半地下污水厂建设与竖向空间综合利用案例

张华伟, 瞿露

(中国市政工程中南设计研究总院有限公司, 湖北 武汉 430010)

摘要: 重庆唐家桥污水厂位于核心商圈, 周边住宅密集。为消除臭气对周边居民的影响, 改善整体景观, 采用集环保、节能和综合利用于一体的污水厂原址重建、整体加盖方案, 将旧厂拆除, 改扩建为半地下式污水处理厂, 污水处理能力由 $4.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 提高至 $6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。结合山地城市空间特性, 充分利用竖向立体空间, 将污水厂上部空间建成城市广场、公共停车库和综合大楼, 提高土地资源利用率。污水处理采用具有前置反硝化脱氮功能的两级生物滤池工艺, 占地面积小, 出水水质稳定达到一级A标准, 部分指标达到Ⅳ类地表水标准。尾水回用于绿化浇洒、水源热泵系统等, 有效实现节能减排。臭气经处理后, 通过综合办公楼里的专用排风廊道100 m高空排放。

关键词: 山地城市; 空间综合利用; 半地下式污水厂; 两级生物滤池

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2019)20-0042-05

Case Study on Construction of Semi-underground Sewage Treatment Plant and Comprehensive Utilization of Vertical Space in Mountain Cities

ZHANG Hua-wei, QU Lu

(Central and Southern China Municipal Engineering Design & Research Institute Co., Ltd.,
Wuhan 430010, China)

Abstract: Tangjiaqiao Sewage Treatment Plant of Chongqing was located in the core business circle, so the surrounding residential buildings were dense. In order to eliminate the impact of odor on surrounding residents and improve the overall landscape, the old plant was demolished and rebuilt into a semi-underground sewage treatment plant with the treatment capacity enhancement from $4.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ to $6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ in the original site, and overall covering scheme integrating environmental protection was taken to combine energy conservation and comprehensive utilization. In combination with the spatial characteristics of mountain cities, the vertical three-dimensional space was fully used, the upper space of the sewage plant was built into an urban square, a public parking garage and a comprehensive building to improve the utilization of land resources. The sewage treatment plant adopted a two-stage biofilter process with pre-denitrification, which had a small footprint. The treated water was stable to meet the first class A standard, and some indicators reached the level Ⅳ of the environmental quality standards for surface water. The treated water was reused for greening, water source heat pumps, etc., effectively achieving energy saving and emission reduction. The odor generated from the sewage plant was treated and discharged through the special exhaust corridor in the comprehensive building to 100-meter high atmosphere.

Key words: mountain city; comprehensive utilization of space; semi-underground sewage treatment plant; two-stage biofilter

唐家桥污水厂是重庆市第一座现代化的市政污水处理厂。随着城市发展,污水厂所在地段已成为核心商圈,周边高楼林立,污水厂的臭气、景观已严重影响周边环境及居民的日常生活。

采用原址重建、整体加盖方案,将旧厂拆除,改扩建为半地下式污水厂,充分利用厂址上部的立体空间(污水厂周边地形均较高),在污水厂上层建设停车库和环保主题广场等市政公共设施,提高土地资源利用率。污水处理采用前置反硝化两级生物滤池工艺,处理效果好,占地面积省,出水水质能够稳定达到一级A标准,部分指标达到Ⅳ类地表水标准,尾水为广场绿化及综合楼水源热泵空调系统提供水源。

1 污水厂概况及改造目标

唐家桥污水厂于1997年建成,设计规模为 $4.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,厂区地面标高为222.0~225.0 m。

厂区南侧有两条路,下层万唐路连接厂区大门,是厂区主要出入口,道路标高为222.0~226.0 m;上层为渝澳大道,标高为233.0~240.0 m。厂区西侧为金源路,道路标高为230.0~239.0 m。厂区东侧为嘉华路,道路标高为229.0~234.0 m。厂区北侧有一条规划路尚未修建,现状地形标高约为234.0~242.0 m。污水厂改造前概况见图1。



图1 污水厂改造前概况

Fig.1 Overview of the sewage treatment plant before reconstruction

改造目标如下:①彻底消除臭气对周边环境的污染。②提高污水处理能力(由 $4.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 提高至 $6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$)和出水水质标准[由《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中的三级标准提升至一级A标准]。③充分利用污水厂立体空间,建设城市广场、停车库和综合大楼,提高土地资源利用率,服务公众,美化环境。④推行节能减

排技术,采用高效先进的污水处理工艺,并实现中水回用。改造后效果图见图2。



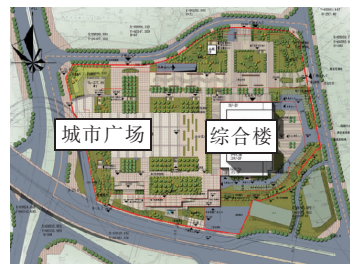
图2 污水厂改造后效果图

Fig.2 Design sketch of the sewage treatment plant after reconstruction

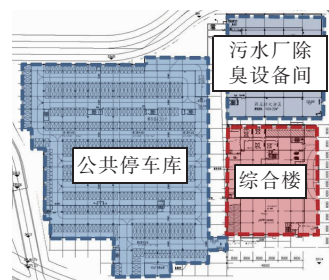
2 改造方案

2.1 功能分区

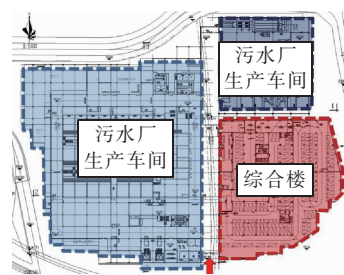
根据功能要求、场地条件及规划限定,整体功能分区如下:综合建筑负二层为污水处理厂,负一层为停车库,屋顶为城市广场;配套建筑为综合办公楼。各层布置见图3。



a. 地面层平面图



b. 负一层平面图



c. 负二层平面图

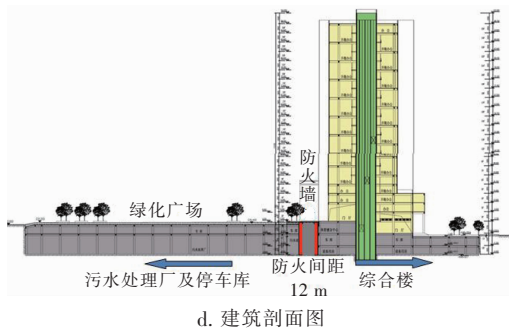


图3 建筑各层布置

Fig. 3 Layout of each floor of the building

2.2 污水厂设计

污水处理厂位于综合建筑负二层,建筑面积为28 483 m²。厂区主出入口位于万唐路,车间地面标高为221.50~223.50 m,层高为6.50~8.50 m。

2.2.1 设计水质、工艺流程及整体布置

污水厂设计进水水质参照改扩建前的实际进水水质确定,出水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级A标准(见表1)。

表1 设计进、出水水质

Tab. 1 Design influent and effluent quality

项目	BOD ₅	COD	SS	TN	NH ₃ -N	TP
进水	240	440	400	50	35	5
出水	10	50	10	15	5(8)	0.5

本工程用地紧张,有机物及总氮负荷较高,具有前置反硝化脱氮功能的两级曝气生物滤池工艺处理效果好^[1-2]、布置紧凑、占地面积省,对于本工程尤其适用。污水处理工艺流程如图4所示。

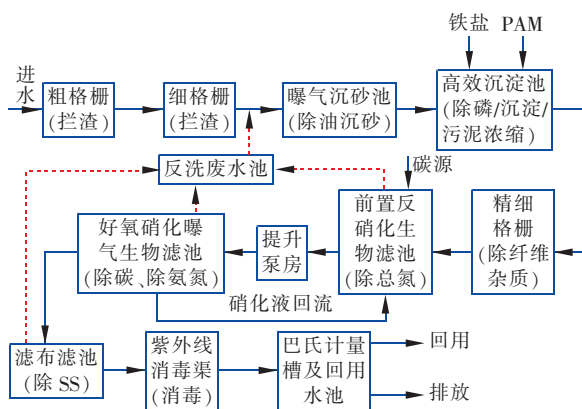


图4 污水处理工艺流程

Fig. 4 Flow chart of sewage treatment process

处理构筑物尽量采用组合池设计,如粗格栅、细格栅、曝气沉砂池组合设计,高效沉淀池和精细格栅

组合设计,两级生物滤池、中间提升泵房、鼓风机房、反洗设备间、反洗废水池组合设计,滤布滤池和紫外线消毒渠组合设计,整体布局紧凑,平面总体布置如图5所示。污水厂采用重力自流进水,因生物滤池水头损失较大,需设置中间提升泵房。

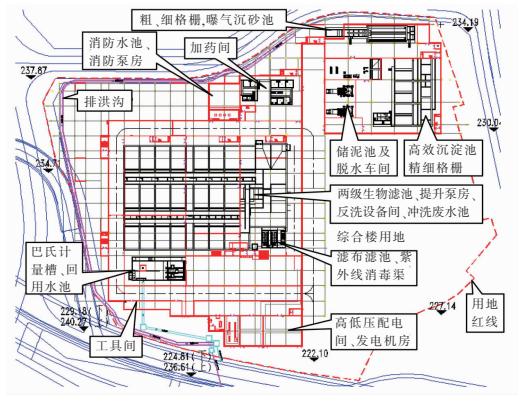


图5 污水厂平面布置

Fig. 5 Plane layout of the sewage treatment plant

2.2.2 主要工艺单元及设计参数

① 粗、细格栅及曝气沉砂池

粗格栅采用回转耙齿式格栅,过栅流速为0.7 m/s,栅条间距为8 mm,栅前水深为1.1 m。细格栅采用内进流网板格栅,过栅流速为0.7 m/s,网板孔隙为3 mm,栅前水深为0.95 m。

曝气沉砂池1座,分为2格,单格有效宽度为2.5 m,有效长度为18 m,有效水深为2.40 m,排泥区为1.30 m,总池深为3.70 m,水平流速为0.08 m/s,水力停留时间为3.7 min,采用穿孔管曝气。

② 高效沉淀池及精细格栅

设高效沉淀池1座,分3池,单池净空尺寸为11.5 m×18.5 m,总池深为6.5 m。各区域平均时水力停留时间:机械搅拌区为3.3 min,中间反应区为2.44 min,快速混合反应区为10.44 min,推流区为4.6 min。澄清区平均时设计上升流速为9.08 m/h,最高时设计上升流速为13.62 m/h;污泥回流比为2%~5%。斜管直径为80 mm,长度为750 mm,安装角度为60°。

精细格栅采用内进流网板格栅,孔隙为1.0 mm,栅前水深为2.3 m,并设有超越渠。

③ 前置反硝化生物滤池

前置反硝化生物滤池共分为8格,单格过滤面积为90 m²,单格平面尺寸为7.5 m×12 m,总池深

为10 m。设计反硝化负荷为 $0.75 \text{ kgNO}_3^- - \text{N}/(\text{m}^3 \text{ 滤料} \cdot \text{d})$,水力负荷为 $9.3 \sim 10.4 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ (含回流液),空床水力停留时间为 $23.04 \sim 26.04 \text{ min}$ (含回流液),硝化液回流比为 $167\% \sim 200\%$ 。

采用球型轻质多孔生物滤料,粒径为 $\phi 6 \sim 9 \text{ mm}$,厚度为 4.0 m 。反冲洗周期根据实际情况而定,一般为 $12 \sim 24 \text{ h}$,通过反冲洗排泥。反冲洗水强度为 $5 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,反冲洗气强度为 $14 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

④ 除碳硝化曝气生物滤池

除碳硝化曝气生物滤池共分为14格,单格过滤面积为 90 m^2 ,单格平面尺寸为 $7.5 \text{ m} \times 12 \text{ m}$,总池深为 7.8 m 。设计硝化负荷为 $0.35 \text{ kgNH}_3 - \text{N}/(\text{m}^3 \text{ 滤料} \cdot \text{d})$,水力负荷为 $5.3 \sim 5.95 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ (含回流液),空床水力停留时间为 $40.32 \sim 45.3 \text{ min}$ (含回流液),气水比为 $3.5:1$ 。

采用球型轻质多孔生物滤料,粒径为 $\phi 3 \sim 5 \text{ mm}$,厚度为 4.0 m 。反冲洗周期根据实际情况而定,一般为 $24 \sim 48 \text{ h}$,通过反冲洗排泥。反冲洗水强度为 $5 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,反冲洗气强度为 $19 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。采用单孔膜空气扩散器布气,膜孔径为 1.0 mm 。

⑤ 鼓风机房及反冲洗设备间

充分利用生物滤池的管廊空间,将曝气及反洗设备全部置于管廊内。滤池采用降水位气水联合反冲洗形式,按降水位(3 min)、气洗(4 min)、气水联合洗(6 min)、清水漂洗(10 min)四个阶段进行。

设曝气用罗茨风机9台(变频,8用1备),单台 $Q=20.83 \text{ m}^3/\text{min}$,风压为 0.06 MPa 。设反冲洗用罗茨风机4台(3用1备),单台 $Q=38 \text{ m}^3/\text{min}$,风压为 0.08 MPa 。设反冲洗水泵3台(2用1备),单台 $Q=810 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=110 \text{ kPa}$ 。

⑥ 滤布滤池

设计平均时滤速为 7.5 m/h ,最大时滤速为 11 m/h 。滤池分2格,单格设置转盘式滤布微过滤器一套,每套30个滤盘,滤盘直径为 2.4 m ,单盘有效过滤面积为 5.64 m^2 ,滤布网孔直径为 $10 \mu\text{m}$ 。

⑦ 紫外线消毒渠

设计UV穿透率 $\geq 65\%$,UV剂量 $\geq 20 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ 。渠道水深为 1.72 m ,共设15个UV模块,每个模块8支灯管。根据紫外线强度监视系统反馈值自动调节紫外线灯管功率。

2.2.3 除臭设计

为防止臭气污染,对污水厂内各构(建)筑物加

盖封闭,对臭气进行收集处理。除臭系统集中布置在综合建筑负一层,分为高浓度和低浓度两套除臭系统:高浓度除臭系统采用生物复合滤池工艺,主要收集处理污水处理构筑物内的臭气,设计气量为 $115000 \text{ m}^3/\text{h}$,空床停留时间为 18.5 s ;低浓度除臭系统采用活性炭吸附工艺,主要收集处理地下污水厂车间内的微量臭气,设计气量为 $363000 \text{ m}^3/\text{h}$,空床停留时间为 3.5 s 。

臭气经处理后达到《恶臭污染物排放标准》(GB 14554—1993)中恶臭污染物厂界标准值二级标准(新扩改建)及《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中厂界(防护带边缘)废气排放最高允许浓度二级标准,最终通过综合办公楼预留的臭气专用排风道高空排放(排放高度约 100 m),从而满足环评要求。

2.2.4 中水回用设计

部分处理后的尾水作为中水回用,用于综合办公楼的冲厕及环保主题广场的绿化浇洒。同时利用尾水温度与大气温度的差值,将尾水作为综合办公楼空调系统夏季制冷的冷却水和冬季供热的冷冻水,可使空调机组的性能系数分别提高 8% 和 17% 左右,大大降低空调系统能耗,节能效果显著。

2.2.5 运行维护

半地下污水厂空间受限,设计中更应充分考虑运行维护的方便。车间设有环形检修通道,并在部分大型设备的顶部设置吊装运输口。构筑物周边主要通道均设有地面排水边沟,上设雨水篦子。在车间地面层下(检修通道下)设有综合管沟,管沟净空高度为 $3.0 \sim 7.0 \text{ m}$,管沟内设有排水边沟、污水提升泵、起吊装置、地面吊装孔等辅助设施,污水、污泥、加药、生产废水、回用水等各种管道,电力电缆等尽可能在管沟内安装。

2.3 停车库、城市广场及综合办公楼设计

停车库位于综合建筑负一层,建筑面积为 21056 m^2 。车库设3个出入口,分别位于金源路、嘉华路和北侧规划路。车库地面标高为 230.50 m ,层高为 5.50 m ,停车数量约500辆。车库防火分类为Ⅰ类^[3],建筑耐火等级为一级,内设自动灭火系统,划分6个防火分区(每个防火分区 $\leq 4000 \text{ m}^2$)。

城市广场位于综合建筑顶层,即车库屋顶。广场面积为 21847 m^2 ,设2个主出入口,分别位于金源路、嘉华路与规划路的交接处,场地标高为 236.00

m。广场由三部分组成:主题广场用于公众集会、娱乐及宣传活动;休闲广场用于市民休憩健身;湿地广场用于展示污水处理过程及结果,加强环保教育。

综合办公楼位于嘉华路和渝澳大道交汇处,占地面积约7 740 m²。建筑共26层(裙房5层,标准层21层),总建筑面积为57 528 m²。建筑一层地面标高为236.00 m,与广场地面平齐,加强了建筑与广场的空间联系。建筑一层设有环保展示厅,融合了建筑与广场空间的文化内涵。建筑主体面向城市广场,景观效果较好。

3 消防设计

由于现行国家规范对地下停车库与地下污水处理厂组合建造、地下式污水处理厂火灾危险性没有明确规定,缺乏设计依据,本次改扩建工程参照了广州、深圳、昆明等地类似厂房消防设计,将该工程按戊类厂房进行防火设计,并采取以下措施保证消防安全:①将存在甲类生产环境的预处理车间单独布置,设置防火墙及10~12 m防火间距与其他部位分隔;②将地下汽车库建于污水处理厂火灾危险性较小的其他生产车间上层;③加强通风换气,设置气体检测仪表及报警装置等。

4 厂区防洪及紧急排水措施

由于污水厂地处低洼地段,应重点考虑周边区域雨水排放对厂区的影响。通过调查,污水厂周边已形成完善的雨水收集排放系统,周边区域的雨水均通过市政道路上的现状雨水管道收集。在污水处理车间周边设置排洪沟($B=1\text{ m}$, $H=0.6\sim 1.0\text{ m}$),接入市政雨水主管。

污水厂事故时,应有污水的紧急排水措施。在进水井设电动闸门及手动叠梁闸门(双重保障措施),事故时可将进水闸门关闭,污水全部溢流至现状排水箱涵($3.6\text{ m}\times 4.2\text{ m}$),进入下游唐家沱污水厂(规模为 $40\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$)处理,避免污水在事故状态下继续排入污水厂造成安全事故。

5 运行情况

项目总投资约6.47亿元(含综合大楼及广场),目前污水厂已投入试运行,处理水量达到设计规模的80%,运行效果良好。

出水各项指标均稳定达到一级A排放标准,其中BOD₅、COD、氨氮三项指标已经达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中的Ⅳ类水质标准。

6 结论

唐家桥污水厂改扩建工程充分考虑了山地城市的空间特性,在污水厂上部建成公共车库、城市广场、综合楼,提高土地资源利用率,并利用综合楼建成专用排风廊道,实现污水厂除臭尾气100 m高空排放,从而满足环评要求。选择具有前置反硝化脱氮功能的两级生物滤池污水处理工艺,处理效果好、占地面积小,出水水质优于一级A标准。尾水回用于绿化浇洒、水源热泵空调系统等,实现了节能减排。

参考文献:

- [1] 曾广德. 城市污水处理厂前置反硝化BIOFOR工艺的设计与运行[J]. 中国给水排水, 2009, 25(6): 34-36.
Zeng Guangde. Design and operation of pre-denitrification BIOFOR process in WWTP [J]. China Water & Wastewater, 2009, 25(6): 34-36 (in Chinese).
- [2] 陈媛, 成炜. 前置反硝化UBAF在城镇污水处理厂的应用[J]. 工业水处理, 2010, 30(6): 75-77.
Chen Yuan, Cheng Wei. Application of pre-denitrification UBAF to municipal sewage treatment plants [J]. Industrial Water Treatment, 2010, 30(6): 75-77 (in Chinese).
- [3] GB 50067—2014, 汽车库、修车库、停车场设计防火规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2015.
GB 50067 - 2014, Code for Fire Protection Design of Garage, Motor Repair Shop and Parking Area [S]. Beijing: China Planning Press, 2015 (in Chinese).



作者简介:张华伟(1980—),男,河南安阳人,大学本科,高级工程师,中国市政工程中南设计研究院有限公司第九设计院副院长,研究方向为市政给排水工程、环境工程。

E-mail: 48005035@qq.com

收稿日期: 2019-04-03