

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.10.012

新冠肺炎疫情下某健康驿站污水处理站工程设计

程晓玲¹, 郑俊^{1,2}, 孙云东¹, 肖云勤¹, 施会成¹, 张露¹

(1. 安徽华骐环保科技股份有限公司, 安徽 马鞍山 243061; 2. 安徽工业大学 能源与环境学院, 安徽 马鞍山 243002)

摘要: 健康驿站是对新型冠状病毒肺炎密切接触者及其他重点人群进行集中隔离医学观察的场所。某新建健康驿站设置床位4 700床, 配套污水处理站设计处理规模为2 200 m³/d, 设计采用“强化生物处理系统+污水病毒消杀系统+气溶胶消杀系统+污泥病毒消杀系统”的处理工艺。污水、废气经处理后可满足《医疗机构水污染物排放标准》(GB 18466—2005), 出水COD、NH₃-N、SS均值分别为14.53、1.26、9.11 mg/L; 排气口H₂S、NH₃和臭气浓度均值分别为0.01 mg/L、0.8 mg/L和6.3; 污泥定期消毒后外运处置。该工程可为应急医学临时隔离观察设施及方舱医院污水处理设计提供参考。

关键词: 健康驿站; 污水处理站; 强化生物处理; 气溶胶消杀

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2023)10-0080-05

Engineering Design of a Health Service Station Sewage Treatment Station under COVID-19 Epidemic

CHENG Xiao-ling¹, ZHENG Jun^{1,2}, SUN Yun-dong¹, XIAO Yun-qin¹,
SHI Hui-cheng¹, ZHANG Lu¹

(1. Anhui Huaqi Environmental Protection & Technology Co. Ltd., Ma'anshan 243061, China;
2. School of Energy and Environment, Anhui University of Technology, Ma'anshan 243002, China)

Abstract: Health service station is a place in which close contacts with the COVID-19 and other key populations are centralized quarantined for medical observation. A newly built health service station is equipped with 4 700 beds and a supporting sewage treatment station with a designed treatment scale of 2 200 m³/d. The treatment process consists of enhanced biological treatment system, sewage virus disinfection and sterilization system, aerosol disinfection and sterilization system and sludge disinfection and sterilization system. After treatment, the effluent and waste gas can meet the limit specified in *Discharge Standard of Water Pollutants for Medical Organization* (GB 18466-2005). The average COD, NH₃-N and SS in effluent are 14.53 mg/L, 1.26 mg/L and 9.11 mg/L, respectively, and the average concentrations of H₂S, NH₃ and odor at the outlet are 0.01 mg/L, 0.8 mg/L and 6.3, respectively. The sludge is disinfected regularly and then transported outside for disposal. This project can provide reference for sewage treatment design of emergency medical temporary isolation and observation facility and cabin hospital.

Key words: health service station; sewage treatment station; enhanced biological treatment; aerosol disinfection and sterilization

健康驿站是指有公安、卫健等多部门工作人员24 h驻点管理的对新型冠状病毒肺炎密切接触者及其他重点人群进行集中隔离医学观察的场所^[1]。这类人群可能携带新型冠状病毒,其化粪池中可能含有新冠病毒及各类病原微生物,因此需设置必要的污水处理设施,用于污水处理和消毒杀菌,以有效阻断新冠病毒通过污水进一步传播的风险。污水处理设施中的生物处理单元运行中,必然存在曝气、搅拌、提升等过程,在此过程中,病毒极易通过雾化作用以微生物气溶胶的形式向周边环境扩散,因此在设计过程中需充分考虑气溶胶的处理^[2]。此外,有研究人员在污水处理厂的污泥中检测到冠状病毒RNA的存在,且污泥中可积累大量的肠道致病菌^[3],因此,污水处理站中产生的污泥在外运前也需进行消毒处理。

深圳市某健康驿站配套了污水处理站,阐述污水处理过程中的消毒工艺、气溶胶及污泥处理措施,以便为应急医学临时隔离观察设施及方舱医院污水处理设计提供参考。

1 工程概况

深圳作为口岸城市和重要的枢纽城市,面临巨大的输入性疫情风险,需建设健康驿站用于境外回国人员的集中隔离。为满足深圳疫情防控需要,建设6栋18F高层酒店、4栋7F多层酒店,以及服务人员宿舍、应急基本医疗用房、食堂、物资库和 workstation 等配套设施,设计床位4 700床,建筑面积29.55×10⁴ m²。配套污水处理站在30 d内完成建设,设计内容包括污水、气溶胶和污泥处理三个部分。

2 设计依据与思路

2.1 设计水量

按照《医院污水处理工程技术规范》(HJ 2029—2013)和《建筑给水排水设计标准》(GB 50015—2019)中污水处理设计水量计算方法,本项目新建健康驿站设计床位数 $N=4\ 700$ 床,日均单位床位污水排放量取 $q=400\text{ L}/(\text{床}\cdot\text{d})$,污水量 $Q=q\cdot N=1\ 880\text{ m}^3/\text{d}$,设计余量取15%,则本项目设计处理能力为2 162 m³/d,取2 200 m³/d。

2.2 污水处理站设计思路

2.2.1 进、出水水质设计

参考《医院污水处理工程技术规范》(HJ 2029—2013)以及同类医院污水经验数据,本项目设计进、

出水水质见表1。出水水质执行《医疗机构水污染物排放标准》(GB 18466—2005)中表1传染病、结核病医疗机构污染物排放限值,其中要求新冠病毒不得检出。

表1 设计进、出水水质

Tab.1 Design influent and effluent quality

项 目	COD/ (mg·L ⁻¹)	BOD ₅ / (mg·L ⁻¹)	NH ₃ -N/ (mg·L ⁻¹)	SS/ (mg·L ⁻¹)	粪大肠菌群数/ (MPN·L ⁻¹)
进水	250	100	30	80	1.6×10 ⁸
出水	60	20	15	20	100

注: 接触消毒池出口总余氯6.5~10 mg/L。

2.2.2 气溶胶处理设计

考虑新冠病毒可通过气溶胶传播的特点,设计中要注重各构筑物的密封效果,需对废气进行封闭收集及消杀,以阻断病毒通过气溶胶的形式污染周边环境的风险。本工程执行《医疗机构水污染物排放标准》(GB 18466—2005)表2废气排放要求。

2.2.3 污泥处理设计

考虑污泥中有含新冠及其他各类病毒、病原体的可能,在脱水前需进行消毒处理,脱水后的污泥需严格按照危险废物的处理方式进行转运和最终处置。污泥在清掏外运前,应进行监测,需符合《医疗机构水污染物排放标准》(GB 18466—2005)中医疗机构污泥控制标准。

3 污水处理工艺流程及平面布置

3.1 污水处理工艺流程

本工程在确保新冠病毒传染风险得到有效控制的前提下,主要去除COD、BOD₅、NH₃-N和SS,并控制出水中的粪大肠菌群数;鉴于污水可生化性较好,本工程采用生物强化处理结合二级消毒的处理工艺,工艺流程见图1。废水由管网收集经次氯酸钠进行预消毒后自流进入化粪池,再经格栅和调节池预处理后进入生物强化处理系统。通过该系统内微生物的代谢作用分解污水中的污染物,经沉淀单元实现固液分离。其中上清液进入接触消毒池进行二级强化消毒,出水经脱氯系统处理后排入市政管网。系统内部分污泥回流至前端厌氧单元,以保持生化系统内足够的生物活性,剩余污泥排至污泥池,定期消毒脱水后外运处置。为防止废水处理过程中产生的气溶胶挥发到大气中造成二次污染,系统采用加盖密封设计,废气经管道收集,利用气溶胶消杀模块处理后,实现达标排放。

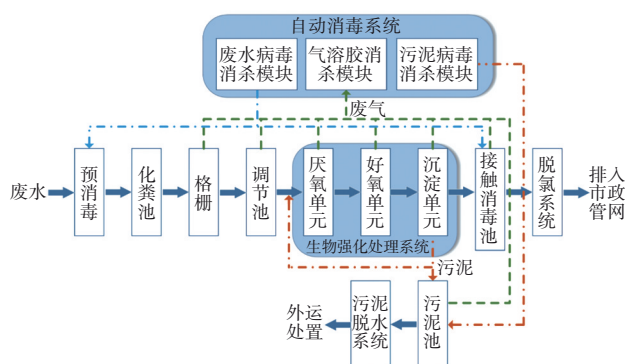


图1 污水处理站工艺流程

Fig.1 Process flow chart of sewage treatment station

3.2 站区平面布置

根据新冠病毒的传播特征,结合生态环境部印发的《新型冠状病毒污染的医疗污水应急处理技术方案(试行)》及有关规范,综合考虑项目用地情况要求后,污水处理站采用地埋式结构与装配式箱体组合方案。格栅、调节池、污泥池、接触消毒池及辅助生产单元均为地埋式结构,生物强化处理系统和污水污泥及气溶胶收集消杀系统为地上装配式箱体,站区的集约布置可最大化减少用地面积,全封闭模式可有效避免恶臭废气及噪声对周边环境的影响。站区平面布置见图2。

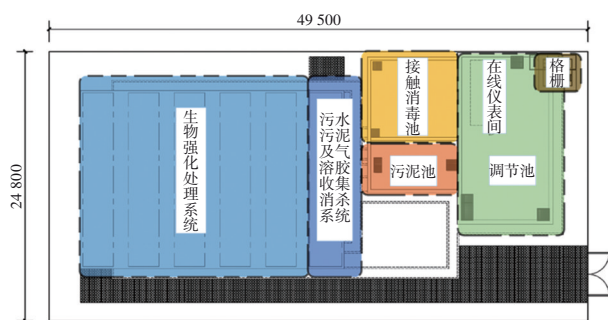


图2 主要构筑物及箱体平面布置

Fig.2 Plane layout of the main structures and box

4 主要处理单元设计

4.1 污水病毒消杀及处理系统

4.1.1 两级消毒工艺

根据《新型冠状病毒污染的医疗污水应急处理技术方案(试行)》要求,本工程设置预消毒和二级消毒工艺。常用消毒工艺包括紫外线、液氯、二氧化氯和臭氧等。其中,含氯消毒剂溶于水后可快速生成次氯酸,其为中性小分子,能渗透进入细胞内部,氧化细胞的蛋白和酶,起到杀菌消毒的作用^[4],具有高效和稳定性。在各种含氯消毒剂中,次氯酸

钠价格低廉,无安全隐患,且与二氧化氯相比,其消毒不会产生亚氯酸根离子和氯酸根离子等对人体有害的副产物^[4],综合考虑后选用次氯酸钠作为消毒药剂。

预消毒的目的是确保后续处理工艺运行安全,提高新冠病毒的灭活效果,本工程预消毒通过加药系统直接将次氯酸钠泵入化粪池前端进行消毒,设计投加有效氯量为30~50 mg/L,污水在化粪池中停留时间为36 h。

二级消毒是对生化处理后的出水进行深度消毒,以确保出水中无新冠病毒检出,并保证出水余氯 >6.5 mg/L(以游离氯计),接触消毒池为地埋式钢混结构,设计规模为 $2\,200\text{ m}^3/\text{d}$,尺寸为 $7.5\text{ m}\times 6.75\text{ m}\times 4.8\text{ m}$,水力停留时间为2.0 h。通过自动消毒系统控制消毒池中次氯酸钠的投加量,设计投加有效氯量为15~25 mg/L。在接触消毒池后增设脱氯系统,确保出水总余氯 <8 mg/L,以减少氯离子对市政污水处理厂运行的影响。脱氯剂选用10%的亚硫酸钠,其投加量为接触消毒池出水余氯含量的3倍。

4.1.2 主要构筑物及参数设计

① 格栅。地埋格栅渠用于去除废水中的固体杂物和悬浮物质,以保护水泵、防止管路堵塞。格栅渠渠道宽0.8 m,其内设置一台功率为1.5 kW的机械格栅,栅隙为3 mm,栅宽600 mm,安装倾角 75° ,主要材质为不锈钢304。对机械格栅增加密封罩,进行气溶胶的统一收集处理,并增设格栅渣桶用于栅渣的收集,定期消毒后按照危险废物进行处理处置。

② 调节池。调节池用于均化水质及稳定水量,兼作应急事故池,为地埋式钢混结构,尺寸为 $15.7\text{ m}\times 11.5\text{ m}\times 4.8\text{ m}$,水力停留时间为7.5 h。在地面设有检修孔,以便于设备的保养和维护。调节池内设有2台叶轮直径为400 mm、转速为740 r/min、功率为2.5 kW的潜水搅拌机,间歇运行。此外,调节池内还设有6台(5用1备)功率为1.5 kW的提升泵, $Q=18.3\text{ m}^3/\text{h}$, $H=70\text{ kPa}$ 。

③ 生物强化处理系统。经调节池均质后的污水泵入强化生物处理系统。该系统采用装配式一体化设备,其核心工艺为A/O泥膜耦合处理技术,微生物量大,处理高效,与隔离点排水水质水量波动大的特点相适应。本项目共设置5套一体化设备,均为地上式钢混结构,单套系统设计水量为440

m^3/d ,包含厌氧单元、好氧单元、沉淀单元等,单套尺寸 $16.0\text{ m}\times 3.0\text{ m}\times 3.0\text{ m}$,总停留时间 6.9 h 。

考虑到水质的波动,本项目对厌氧单元进行了优化设计,其内设有曝气系统,当来水中大分子有机物浓度较低时,开启曝气系统,调整为好氧池,以降低系统的能耗。随后,污水经后续两级好氧池进一步氧化降解。好氧池中采用材质为PP/PE的颗粒柱状悬浮填料,其尺寸为 $\varnothing 25\text{ mm}\times 10\text{ mm}$,比表面积为 $95\text{ m}^2/\text{m}^3$,挂膜质量 $1.3\text{ g}/\text{个}$ 。沉淀单元用于将好氧池出水进行泥水分离,使混合液澄清。池内设混凝区和沉淀区,在混凝区投加除磷药剂,污泥在沉淀区靠重力沉降并在沉淀池底部浓缩斗中浓缩,然后排至污泥池。

4.2 气溶胶消杀系统

本工程气溶胶处理单元用于处理生化系统中因生物氧化还原、机械转运和曝气充氧等原因形成的废气,包括对废气中可能含有的病原微生物气溶胶进行灭杀,同时消除废气中的臭味。为全面收集系统中的废气,对构筑物采用加盖密封设计。来自机械格栅、调节池、强化生物处理系统、接触消毒池和污泥池中的废气,经集气罩、废气收集管等密闭输送至气溶胶处理单元中。

根据各构筑物中废气性质和浓度特性,在考虑防疫要求后,采用UV光解联合活性炭组合工艺处理污水处理站运行过程中产生的气溶胶,UV光解技术可有效破坏病原微生物的核酸及蛋白,活性炭具有强效的吸附能力,可去除废气中的臭味,二者的联合实现了消毒和除臭功能,使尾气达标排放。其中,活性炭每三个月更换一次,并按照医疗废物送至有资质的单位处置。

4.3 污泥病毒消杀系统

生物强化系统产生的污泥经沉淀池固液分离后,剩余污泥通过排泥管进入污泥池贮存。在污泥病毒消杀系统中配有2台加药泵,用于向污泥池中泵入次氯酸钠,对污泥中携带的病毒进行消杀。

设计1座污泥池,为埋地式钢混结构,尺寸为 $6.75\text{ m}\times 3.5\text{ m}\times 4.8\text{ m}$,内设一台潜水搅拌机用于混合次氯酸钠,确保病毒灭活效果。消毒后的污泥通过污泥脱水机进行脱水处理。污泥池内还安装有2台浮球液位开关,通过其监测池内污泥液面高度进而控制污泥提升泵的使用。配套2台(1用1备)污泥提升泵, $Q=3\text{ m}^3/\text{h}$, $H=90\text{ kPa}$, $N=2.5\text{ kW}$;1台叠螺

式污泥脱水机,运行参数为 $30\sim 50\text{ kgDS}/\text{h}$, $N=0.8\text{ kW}$,外加密封罩进行废气收集,并配有1套阳离子PAM加药系统。污泥脱水至含水率 $\leq 80\%$ 后,由有资质的污泥处理单位利用密闭罐车运至指定地点进行最终处置,脱水过程中产生的滤液则回流至调节池。

4.4 自动控制系统

为减少操作人员在站区暴露的风险,以及实现加药系统的精细化与自动化运行,提高站区运行效率,本工程设计PLC控制柜实现站区的自动化控制。自动控制装置包括污水处理工艺控制系统、动力设备、检测设备以及加药设备。设置1套次氯酸钠加药系统,对预消毒段、接触消毒池和污泥池进行自动加药消毒,且采用两地控制设计原则,实现远程干预和调整,从而确保水质达标。

5 主要经济指标及运行效果

该污水处理站总投资约800万元(包括土建工程、设备购置及安装、电气自控等)。站区动力费 $0.32\text{ 元}/\text{m}^3$ 、药剂费 $0.65\text{ 元}/\text{m}^3$ 、人工成本 $0.10\text{ 元}/\text{m}^3$,直接运行成本共计 $1.07\text{ 元}/\text{m}^3$ 。站区生化池于2021年12月13日接种污泥,2022年1月7日调试达标。1月份调试期间运行数据见表2。可见,出水水质达到设计标准。调试期间,排气口在线监测系统结果显示, H_2S 均值为 $0.01\text{ mg}/\text{L}$, NH_3 均值为 $0.8\text{ mg}/\text{L}$,臭气浓度6.3。

表2 污水处理系统进、出水水质

Tab.2 Influent and effluent quality of sewage treatment system

项 目	进水水质	出水水质			排放限值
		最低	最高	平均值	
COD/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	148~212	8.1	22.6	14.53	60
BOD ₅ /($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)		3.21	11.02	7.79	20
NH ₃ -N/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	21.3~28.8	0.8	1.45	1.26	15
SS/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	65~108	6.36	11.45	9.11	20
粪大肠菌群数/(MPN·L ⁻¹)		40	50	45	100
肠道致病菌				未检出	不得检出
消毒池出口总余氯/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)		6.70	7.43	7.23	6.5~10

6 工程设计特点

① 埋地式与地上装配式组合设计。根据站区用地面积、各处理构筑物平面尺寸、竖向深度、结

构强度、通风、消防及运维管理等多方面要求,调节池、污泥池、消毒池及其他辅助生产构筑物采用地埋式设计,生化处理系统和污水消毒及气溶胶收集消杀系统采用地上装配箱体设计(见图3),尽可能隐蔽和封闭污水设施,各构筑物间设计紧凑,管线布局合理。

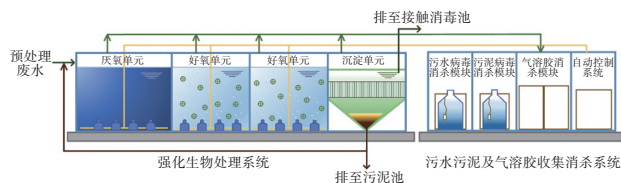


图3 装配式箱体工艺示意

Fig.3 Schematic diagram of prefabricated box integrated equipment

② 处理工艺高效节能,安全稳定。A/O 泥膜耦合处理工艺微生物量大、处理高效、出水水质稳定。根据水质特点,合理调整厌氧与好氧单元的设计,降低处理能耗,自动化控制水平高。系统采用两级消毒,出水安全。在进水泵房、格栅、调节池等地埋式单体上部空间增设集气罩,彻底消除了气溶胶感染的隐患。

③ 建设周期短,平疫转换快。采用集装箱式装配式结构,标准化批量化生产,质量可靠,模块化组合,运输安装方便,污水处理站建设调试周期短。平疫转换快,不仅适用于新建医学隔离观察临时设施,还能满足常规医院、定点医院、方舱医院等多种使用环境。

④ 维护管理方便。为减少人工暴露风险,通过在线仪表间和自动控制系统对进出水水质进行监测,以减少人工取样频次,避免了直接接触污水的风险。

7 结语

该新建健康驿站配套的污水处理站设计处理污水量 2 200 m³/d。采用生物强化处理系统+两级消毒工艺,及联合气溶胶和污泥病毒消杀系统,实现了站区污水、气溶胶和污泥的全面处理达标,且各处理系统安全高效,便于管理与维护。

参考文献:

[1] 马剑平, 彭晓琳, 徐珊, 等. 口岸地区应对新型冠状

病毒肺炎疫情的健康驿站策略——以深圳市 N 区为例[J]. 医学与社会, 2020, 33(5):16-21.

MA Jianping, PENG Xiaolin, XU Shan, *et al.* The health service station strategies in the port area on prevention and control of COVID-19: case study of Shenzhen N district [J]. Medicine and Society, 2020, 33(5):16-21(in Chinese).

[2] 王连杰, 李金河, 郑兴灿, 等. 城镇污水系统中病毒特性和规律相关研究分析[J]. 中国给水排水, 2020, 36(6):14-21.

WANG Lianjie, LI Jinhe, ZHENG Xingcan, *et al.* Review and analysis on the characteristics and rules of virus in urban wastewater treatment system [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36 (6) : 14-21 (in Chinese).

[3] FOLADORI P, CUTRUPI F, CADONNA M, *et al.* Coronaviruses and SARS-CoV-2 in sewerage and their removal: step by step in wastewater treatment plants[J]. Environmental Research, 2022, 207:112204.

[4] 冯志, 程伟, 李敏, 等. 新冠肺炎期间武汉涉疫废水应急处置工作及思考[J]. 中国给水排水, 2020, 36 (10):7-12.

FENG Zhi, CHENG Wei, LI Min, *et al.* Emergency treatment of wastewater from quarantine sites and hospitals in Wuhan during the COVID-19 epidemic outbreak [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36 (10):7-12(in Chinese).

作者简介:程晓玲(1982-),女,安徽合肥人,硕士,高级工程师,华骐环保公司副总裁兼设计研究院常务副院长,长期从事污水处理工程设计及工艺技术应用研究,拥有多项发明专利和实用新型专利,参与国家水专项子课题、安徽省重大专项课题和市科技攻关项目,曾获马鞍山市科技创新特别贡献奖,安徽省级科学技术研究成果 2 项,2019 年获马鞍山市“巾帼环保先锋”荣誉称号,2020 年获“安徽省环保产业先进工作者”荣誉称号,担任安徽工业大学全日制专业学位研究生企业导师,在国家核心期刊发表学术论文 10 余篇。

E-mail:hqjy@huaqitech.com.cn

收稿日期:2022-04-07

修回日期:2022-06-06

(编辑:孔红春)