城镇给排水工程设计案例专栏

张彬, 宋远洲, 周合喜, 等. 全地下生物医药产业园区集中废水处理厂设计及运行案例[J]. 净水技术, 2026, 45(10): 170-179.
Zhang B, Song Y Z, Zhou H X, et al. Design and operation case of underground centralized WWTP in a biomedical industrial park[J]. Water Purification Technology, 2026, 45(10): 170-179.

全地下生物医药产业园区集中废水处理厂设计及运行案例

张 彬[1],宋远洲[1],周合喜[2,*],吴文兰[1],肖焕朝[1]
(1. 深圳市坪山区深水水环境有限公司,广东深圳 518133;2. 深圳市水务<集团>有限公司,广东深圳 518031)

摘 要 **【目的】** 为解决深圳国家生物医药产业基地内新建、改(扩)建项目落地难的问题,规划建设配套集中废水处理设施成为解决企业生产废水出路的重要举措。**【方法】** 深圳国家生物医药产业基地配套集中废水处理厂设计规模为1.0万 m^3/d,设备按照0.5万 m^3/d安装,采用全地下建设形式、地上建设景观公园。该项目废水处理工艺为:(调节池/事故池+水解酸化池/臭氧催化预氧化池)/(粗格栅+细格栅+旋流沉砂池)+均质池+改良缺氧-厌氧-好氧生化池+矩形周进周出二沉池+高效沉淀池+臭氧催化氧化池+活性炭滤池+紫外消毒器+接触消毒池+人工湿地,出水主要水质指标满足《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅲ类标准[总氮(TN)≤10 mg/L]。**【结果】** 该项目正式投运1 a来,出水化学需氧量、五日生化需氧量、悬浮物、氨氮、TN和总磷平均质量浓度分别为3.30、0.70、4.00、0.05、3.06 mg/L和0.05 mg/L,但运行中也存在一些问题,包括设施利用率不高、企业纳管数量较小、实际进水水质过低、废水处理成本偏高、入驻企业规模较小等。**【结论】** 该工程设计经验和提出的问题建议,可为同类生物医药园区配套废水处理设施规划建设运营提供参考。

关键词 严格排放标准; 全地下式; 生物医药产业园区; 集中废水处理厂; 建设运营
中图分类号: TU992 **文献标志码**: A **文章编号**: 1009-0177(2026)10-0170-10
DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2026.10.019

Design and Operation Case of Underground Centralized WWTP in a Biomedical Industrial Park

Zhang Bin[1], **Song Yuanzhou**[1], **Zhou Hexi**[2,*], **Wu Wenlan**[1], **Xiao Huanchao**[1]
(1. *Shenzhen Pingshan Shenshui Water Environment Co., Ltd., Shenzhen* 518133, *China*;
2. *Shenzhen Water <Group> Co., Ltd., Shenzhen* 518031, *China*)

Abstract [**Objective**] To address the difficulty in the implementation of new and expanded projects in the Shenzhen National Biomedical Industry Base, the planning and construction of centralized wastewater treatment facilities has become an important measure to solve the disposal of industrial wastewater from enterprises. [**Methods**] The design capacity of Shenzhen National Biological Industry Base's centralized wastewater treatment plant (WWTP) is 10 000 m^3/d, with equipment installed for a capacity of 5 000 m^3/d. The underground construction form is adopted, with a landscape park built on the ground. The wastewater treatment process of this project includes (regulation tank/accident tank, hydrolysis acidification tank/ozone catalytic pre-oxidation tank) / (coarse screen, fine screen, vortex grit chamber), homogenization tank, improved anaerobic-anoxic-oxic (AAO) bioreactor, rectangular peripheral flow secondary sedimentation tank, high-efficiency sedimentation tank, ozone catalytic oxidation tank, activated carbon filter,

[收稿日期] 2025-11-10
[基金项目] 深圳市科技创新委员会可持续发展专项(KCXFZ202002011008448)
[作者简介] 张彬(1987—),男,工程师,主要从事污水处理设施运营管理工作,E-mail: 454773566@qq.com。
[通信作者] 周合喜(1989—),男,高级工程师,主要从事城镇污水处理与再生利用、工业废水处理与资源化及污泥处理处置研究工作,E-mail: hexi725@163.com。

ultraviolet disinfection unit, contact disinfection tank and artificial wetland. The main effluent quality complies with Class III standards of the *Surface water environmental quality standards* (GB 3838—2002) [total nitrogen (TN) ≤ 10 mg/L]. [**Results**] Since the project was put into official operation a year ago, the average concentrations of chemical oxygen demand (COD), biochemical oxygen demand, suspend solid, ammonia nitrogen, TN and total phosphorus in the effluent were 3.30 mg/L, 0.70 mg/L, 4.00 mg/L, 0.05 mg/L, 3.06 mg/L and 0.05 mg/L, respectively, but there were still some operational issues, including low utilization rate of facilities, a small number of enterprises connected to the pipe network, low actual influent quality, high wastewater treatment costs, and small scale of the enterprises in the base. [**Conclusion**] The design experience, issues and suggestions of this project will provide references for the planning, construction, and operation of similar centralized wastewater treatment facilities in biological industry parks.

Keywords stricter discharge standard; fully underground; biomedical industrial park; centralized wastewater treatment plant (WWTP); construction and operation

深圳国家生物医药产业基地是2005年6月5日由国家发展和改革委员会批准认定的以坪山区生物医药产业园区为核心区的国家首批3个生物产业基地之一。该基地位于坪山区东北部,重点发展生物制药、医疗器械、生物服务三大产业领域,规划面积为3.29 km^2。作为深圳市生物医药产业“核心集聚区”,连续两年入选“最具生物制造创新力(国家生物产业基地)”,位居第四。截至2024年9月,坪山区生物医药企业数量为1 261家,其中规上企业有108家、国家高新技术企业有163家、专精特新企业有117家,近6年年均复合产值增长率达到20%以上,生物医药生产企业数量占全市四分之一,形成“深圳生物医药看坪山”的发展态势。

2011年,广东省人民政府印发了《关于严格限制东江流域水污染项目建设进一步做好东江水质保护工作的通知》(粤府函〔2011〕339号),提出严格控制支流污染增量[1]。2018年,《深圳市人居环境委员会关于加强深圳市“五大流域”建设项目环评审批管理的通知》(深人环〔2018〕461号)发布,要求龙岗河、坪山河、观澜河流域内新建、改建、扩建项目生产废水需处理达到地表水Ⅲ类标准[总氮(TN)除外],并按照环评批复要求回用[2]。流域限批政策出台以来,深圳市五大河流水质总体好转,对持续改善流域水环境质量发挥了重要作用。但是位于上述区域范围内的新建、改(扩)建涉水生物医药企业或产业园区需满足上述环保政策要求,该管控条件一定程度上制约了全市生物医药产业园区落地和发展。为解决新建、改(扩)建项目落地难问题,市区两级政府规划建设了深圳国家生物医药产业基地配套集中废水处理厂及干管工程。

1 项目概况

深圳国家生物医药产业基地配套集中废水处理厂(以下简称生物医药废水处理厂)位于坪山区金沙及聚龙山片区内(金联路以东,锦绣东路以北),总占地面积为20 763.79 m^2,采用全地下建设形式,主要服务深圳国家生物医药产业基地,服务范围为3.29 km^2。该工程设计规模为1.0万 m^3/d,其中医药废水设计规模为0.5万 m^3/d,生活污水设计规模为0.5万 m^3/d,土建一次性建成,设备分期实施,近期设备按照0.5万 m^3/d 安装。配套医药废水干、支管长度为14.63 km,一体化泵站1座,生活污水干管长度为0.534 km,回用水管长度为1.21 km。聚龙山人工湿地A区生态修复工程作为生物医药废水处理厂尾水回用的配套设施,位于聚龙山湿地生态园A区A3地块内,总占地面积为18 962 m^2,其中人工湿地净面积为10 590 m^2,设计规模为0.5万 m^3/d。

2 技术方案

2.1 设计进出水水质

设计医药废水进水水质执行《发酵类制药工业水污染物排放标准》(GB 21903—2008)、《化学合成类制药工业水污染物排放标准》(GB 21904—2008)、《提取类制药工业水污染物排放标准》(GB 21905—2008)、《中药类制药工业水污染物排放标准》(GB 21906—2008)、《生物工程类制药工业水污染物排放标准》(GB 21907—2008)、《混装制剂类制药工业水污染物排放标准》(GB 21908—2008)、《污水排入城镇下水道水质标准》(GB/T 31962—2015)及《生物制药行业污染物排放标准》(DB31/373—2010)较严值,设计生活污水水质依据园区水质调

查和居民污染物产污强度核算确定。根据环评批复,设计主要出水水质指标执行《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅲ类标准[TN≤10 mg/L,TN 执行《水质净化厂出水水质规范》(DB4403/T 64—2020)表 1 中 B 标准],特征污染因子执行《生物制药行业污染物排放标准》(DB31/373—2010)中新污染源直接排放限值要求,处理后尾水全部回用于聚龙山人工湿地。设计进、出水水质如表 1 所示,特征污染因子排放限值如表 2 所示。

表 1　设计进出水水质(单位:mg/L)

Tab. 1　Design of Influent and Effluent Water Quality (Unit:mg/L)

水质指标	进水		出水
	医药废水	生活污水	
化学需氧量(COD)	500	300	20
五日生化需氧量(BOD_5)	300	160	4
氨氮	40.0	30.0	1.0
TN	60	35	10
总磷(TP)	8.0	4.6	0.2
悬浮物(SS)	400	190	5

表 2　特征污染因子排放限值(单位:mg/L)

Tab. 2　Discharge Limits of Characteristic Pollutant Factors (Unit:mg/L)

特征污染因子	排放限值
烷基汞	不得检出
总铬	0.15
总锌	0.5
甲醛	0.5
甲醇	3.0
三氯甲烷	0.013
可吸附有机卤化物	1.0
1,2-二氯乙烷	不得检出
苯	0.02
甲苯	0.02
二甲苯总量	0.01
1,2-二氯苯	0.06
总氰化物	不得检出
氯苯	0.06
急性毒性($HgCl_2$ 毒性当量)	0.07
乙腈	2.0
二氯甲烷	0.3
苯胺类	2.0
硝基苯类	2.0

2.2　工艺选择

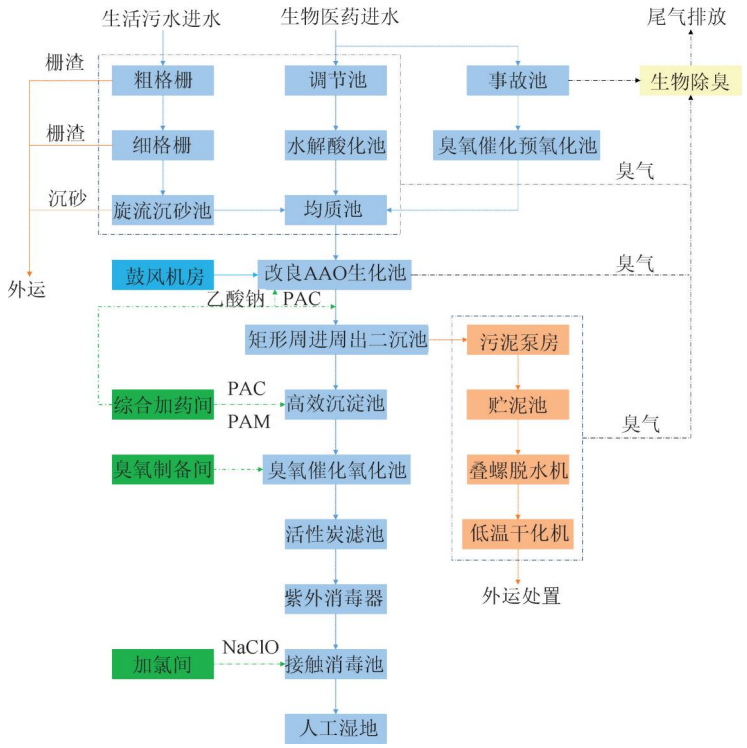
该项目服务的生物医药产业园区医药生产企业以化学合成类和混装制剂类为主,辅以生物工程类、中药类、提取类、发酵类和医疗器械类。近年来,随着深圳生物医药产业转型升级,园区入驻医药企业加速向创新药、高端医疗器械、生物技术三大重点产业领域迈进。面对生物医药产业园区动态发展、医药企业季节性生产特征、废水成分复杂、可生化性差、水质水量波动大以及该项目严格排放标准出水要求特点[3-4],需要构建预处理、二级生物处理和深度处理相结合的三段式长流程组合处理工艺,以确保出水稳定达标。

为优选最佳工艺方案,该项目前期开展了大量中试研究[5-7],结果表明,在地表Ⅳ类标准要求下,最佳工艺方案为臭氧氧化+水解酸化+强化除磷脱氮+臭氧氧化+生物活性炭,出水 COD、氨氮、TN 和 TP 平均浓度分别为 8.0、0.1、3.8 mg/L 和 0.2 mg/L。基于该项目环评批复要求执行地表Ⅲ类标准,相比于地表Ⅳ类标准,需重点强化 COD 去除和关注特征污染因子。臭氧催化氧化能够显著提高臭氧氧化效能,强化对出水中难降解有机物的去除,同时降低臭氧投加量,因此采用臭氧催化氧化工艺。活性炭滤池相比生物活性炭具有更强的吸附去除能力,特别是对特征污染因子所涉微量有机污染物和综合毒性,因此采用活性炭滤池工艺。为进一步提高出水保障率,配套人工湿地内换填部分活性炭填料,以强化湿地净化效果,确保出水稳定达标。

2.3　污水处理工艺流程

该项目主要收集处理生物医药产业园区内医药废水和生活污水,按照分类收集、分质预处理的原则,结合园区废水特征,采用三段式长流程组合处理工艺。因此,废水处理工艺采用(调节池/事故池+水解酸化池/臭氧催化预氧化池)/(粗格栅+细格栅+旋流沉砂池)+均质池+改良缺氧-厌氧-好氧(AAO)生化池+矩形周进周出二沉池+高效沉淀池+臭氧催化氧化池+活性炭滤池+管道式紫外消毒器/接触消毒池+人工湿地。污泥处理采用贮泥池+叠螺脱水机+低温干化机。该项目废水处理工艺流程如图 1 所示。

该项目各工段处理构筑物对污染物的去除率如表 3 所示。



注:PAC 为聚合氯化铝;PAM 为聚丙烯酰胺。

图 1　项目废水处理工艺流程

Fig. 1　Flow Chart of Wastewater Treatment Process of Project

表 3　各工段处理构筑物对污染物去除率

Tab. 3　Pollutant Removal Rates for Each Process Stage of Wastewater Treatment Facility

处理构筑物	类别	COD	BOD_5	氨氮	TN	TP	SS
进水	医药废水/(mg·L^{-1})	500	300	40	60	8	400
	生活污水/(mg·L^{-1})	300	160	30	35	4.6	190
水解酸化池	进水/(mg·L^{-1})	500					
	出水/(mg·L^{-1})	450					
	去除率	10.0%					
均质池	出水/(mg·L^{-1})	375	230	35	47.5	6.3	295
改良 AAO 生化池	进水/(mg·L^{-1})	375	230	35	47.5	6.3	295
	出水/(mg·L^{-1})	40	6	1.0	10	0.5	20
	去除率	89.3%	97.4%	97.1%	78.9%	92.1%	93.2%
高效沉淀池	进水/(mg·L^{-1})	40	6	1.0	10	0.5	20
	出水/(mg·L^{-1})	40	6	1.0	10	0.2	10
	去除率					60.0%	50.0%
臭氧催化氧化池	进水/(mg·L^{-1})	40	6	1.0	10	0.2	10
	出水/(mg·L^{-1})	20	4	1.0	10	0.2	10
	去除率	50.0%	33.3%				
活性炭滤池	进水/(mg·L^{-1})	20	4	1.0	10	0.2	10
	出水/(mg·L^{-1})	16	4	1.0	10	0.2	5
	去除率	20.0%					50.0%
出水		20	4	1.0	10	0.2	5

注:空白单元格表示该项不适用。

3　主要构筑物设计

3.1　平面布置

该项目选址于金沙及聚龙山片区,紧邻荣田河沿河景观带,为使该项目完美嵌入荣田河生态走廊,同时降低对周边环境的影响,真正做到厂城共生、水城相融,采用全地下建筑形式,将污水处理核心构筑物集约化布置于地下立体空间[8],地上建设景观公园。生物医药废水处理厂总平面布置如图 2 所示。

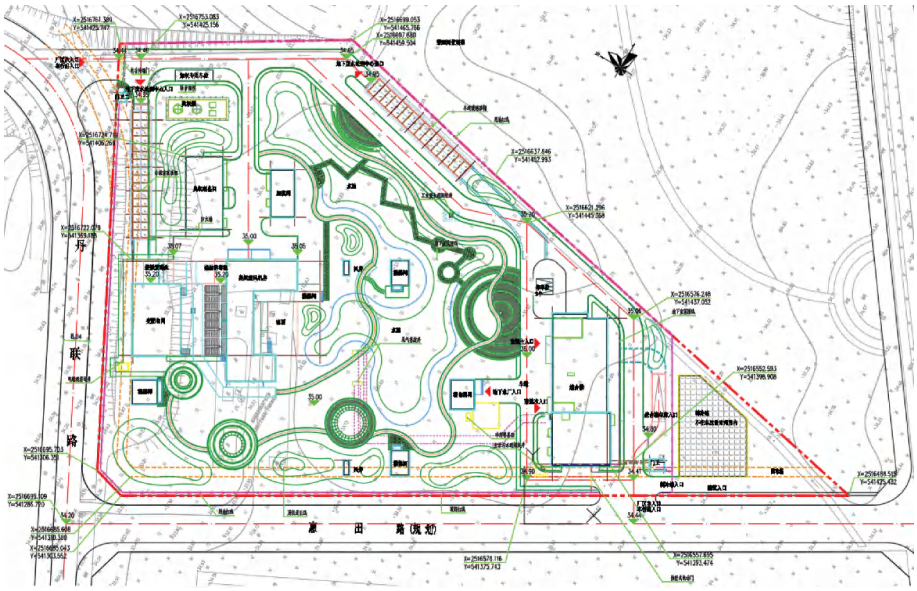


图 2　废水处理厂总平面布置

Fig. 2　General Layout of WWTP

沿用现有人工湿地布置形式,湿地南端通过环形道路与休闲绿地相连,湿地提升泵池掩映在灌木丛中,游客可在游览过程中认识湿地、了解湿地,湿地的总平面布置如图 3 所示。



图 3　湿地总平面布置

Fig. 3　General Layout of the Constructed Wetland

3.2　工艺设计

3.2.1　预处理

(1)调节池/事故池

设置 1 座调节池,分 2 格,设计水力停留时间(HRT)为 10.99 h。配置潜水搅拌器 5 台(4 用 1 备),叶轮直径为 730 mm,单台功率为 5.3 kW;配置生物医药进水提升泵 3 台(2 用 1 备),变频控制,单台流量为 105 m^3/h,扬程为 10 m,功率为 6.3 kW。另配置进水超越提升泵 2 台(1 用 1 备),变频控制,单台流量为 210 m^3/h,扬程为 4.5 m,功率为 11.6 kW,用于事故工况下将生物医药废水提升至事故池暂存。

设置 1 座事故池,分 2 格,设计 HRT 为 5.91 h。配置潜水搅拌器 3 台(2 用 1 备),叶轮直径为 860 mm,单台功率为 7.7 kW;配置事故进水提升泵 3 台(2 用 1 备),变频控制,单台流量为 105 m^3/h,扬程为 24.5 m,功率为 15.2 kW。

(2)水解酸化池

设置 1 座水解酸化池,分 2 格,设计 HRT 为 14.63 h,上升流速为 0.5 m/h,有效水深为 7.15 m。采用复合式反应器,通过多点布水器进行均匀布水。

配置多点布水器 8 套,高密度聚结组合填料 72 套,悬挂间距 300 mm,倾斜角度 60°,框架为玻璃钢,填料为聚丙烯/双组分复合纤维混纺。采用重力排泥方式,配置穿孔排泥管 DN200 8 根。

(3)臭氧催化预氧化池

设置臭氧催化氧化池 1 座,分 5 格,其中 1 格用于预氧化。设计臭氧最大投加量为 25 mg/L,臭氧投加量/COD 去除量为 2.5,滤层停留时间为 20 min,滤速为 6.87 m/h,根据现场小试试验,采用稀土复合型氧化催化剂,填充高度为 2.4 m。设计气洗强度为 15 L/(m^2·s),水洗强度为 5 L/(m^2·s),气洗、气水洗、水洗时间为 15 min、10 min、10 min,冲洗周期为 14 d。配置高效臭氧溶气装置 1 套,包括射流泵、喷射器及高效喷嘴、空化装置等,不锈钢 316 L 材质;反洗鼓风机、反洗水泵和臭氧尾气破坏装置与深度处理共用。

(4)粗格栅

设置 1 座粗格栅渠,分 2 格,渠宽为 1.2 m。配置回转齿耙式粗格栅 2 台,栅条间隙为 15 mm,设计过栅流速为 0.6 m/s,电机功率为 0.75 kW;配套螺旋输送机 1 台,输送量为 4 m^3/h,电机功率为 4 kW。

(5)细格栅

设置 1 座细格栅渠,分 2 格,渠宽为 1.25 m。配置回转孔板式细格栅 2 台,栅条间隙为 5 mm,设计过栅流速为 0.7 m/s,电机功率为 0.75 kW;配套压榨机 1 台,处理量为 4 m^3/h,电机功率为 2.2 kW。

(6)旋流沉砂池

设置 1 座旋流沉砂池,分 2 格。设计表面负荷为 74 m^3/(m^2·h),HRT 为 79.9 s。配置罗茨鼓风机 2 台(1 用 1 备),单台风量为 4.0 m^3/min,出口风压为 65 kPa,电机功率为 5.5 kW;配置桨叶分离机 2 台,搅拌器直径为 1.0 m,电机功率为 1.1 kW。配置砂水分离器 1 台,处理量为 30 m^3/h,电机功率为 0.37 kW。

(7)均质池

设置 1 座均质池,设计 HRT 为 1.4 h。配置潜水搅拌器 2 台,叶轮直径为 860 mm,单台功率为 7.7 kW。

3.2.2 二级生物处理

(1)改良 AAO 生化池

设置 2 座生化池,单座设计规模为 0.5 万 m^3/d。单座有效容积为 3 729 m^3,有效水深为 6.0 m。总 HRT 为 17.9 h,其中厌氧池停留时间为 1.49 h,缺氧 1 池停留时间为 5.97 h,好氧 1 池停留时间为 7.46 h,缺氧 2 池停留时间为 1.49 h,好氧 2 池停留时间为 1.49 h。设计污泥浓度为 3 500 mg/L,污泥龄为 13.6 d,污泥负荷为 0.1 kg BOD_5/(kg MLSS·d)(MLSS 为混合液悬浮固体)。设计好氧 1 池回流至缺氧 1 池回流比为 300%,污泥回流比为 100%。此外,好氧 1 池填充悬浮填料,填充比为 20%,高密度聚乙烯(HDPE)材质,尺寸为 φ25×10 mm,有效比表面积≥800 m^2/m^3。进水通过分配渠可分配至厌氧池和缺氧 1 池,以充分利用进水碳源强化脱氮。厌氧、缺氧池配置双曲面搅拌器 7 台(6 用 1 备),叶片直径为 2 000 mm,功率为 4 kW;好氧池配置板条式微孔曝气器,设计气水比为 5.99∶1。配置内回流泵 2 台(1 用 1 备),变频控制,单台流量为 414 m^3/h,扬程为 0.5 m,功率为 3.4 kW。

(2)矩形周进周出二沉池

设置 2 座矩形周进周出二沉池,单座设计规模为 0.5 万 m^3/d。设计 HRT 为 4 h,表面负荷为 1.125 m^3/(m^2·h),有效水深为 4.5 m。配置非金属链条刮泥机 1 台,功率 0.12 kW;配套电动撇渣器 1 台,功率为 0.37 kW。

3.2.3 深度处理

(1)高效沉淀池

设置 1 座高效沉淀池,分 2 格。设计混合时间为 4 min,絮凝时间为 13 min,沉淀区平均表面负荷为 4.27 m/h。设计 PAC(有效浓度为 10%)最大投加量为 45 mg/L,PAM 最大投加量为 0.5 mg/L。混合区配置搅拌机 1 台,功率为 4 kW;絮凝区配置搅拌机 1 台,功率为 4 kW;沉淀区中心传动刮泥机 1 台,直径为 7.0 m,功率为 0.75 kW。污泥回流和排泥泵 3 台(2 用 1 备),变频控制,单台流量为 15 m^3/h,扬程为 10 m,功率为 4 kW。

(2)臭氧催化氧化池

臭氧催化氧化池 4 格用于深度处理。设计臭氧最大投加量为 50 mg/L,滤层停留时间为 45 min,滤速为 3.37 m/h,填充高度为 2.65 m,其他参数同臭氧催化预氧化池。配置高效臭氧溶气装置 2 套;配置反洗鼓风机 2 台(1 用 1 备),单台风量为 2 640 m^3/h,出口风压为 98 kPa,电机功率为 110 kW;配置反洗水泵 3 台(2 用 1 备),单台流量为 410 m^3/h,扬程为 17.5 m,功率为 46 kW;配置臭氧尾气破坏装置 3 套,

热触媒型,处理量≧110 Nm^3/h,功率为 6.7 kW。

(3)活性炭滤池

设置活性炭滤池 1 座,分 4 格。设计采用 V 型滤池,单格有效过滤面积为 18 m^2,滤料为煤质颗粒炭,级配为 8×30 目,炭层厚度为 1.5 m,下部铺设石英砂滤料,有效粒径 D_{10} = 0.50 mm,滤料厚度为 0.5 m,设计滤速为 3.9 m/h,空床接触时间为 31 min。过滤周期设定为 24 h,以时间和液位差作为反冲洗的条件。设计气洗强度为 15 L/(m^2·s),水洗强度为 5 L/(m^2·s),气洗、气水洗、水洗时间为 15、10、10 min。配置反洗鼓风机 2 台(1 用 1 备),单台风量为 1 221 m^3/h,出口风压为 78.4 kPa,电机功率为 45 kW;配置反洗水泵 2 台(1 用 1 备),单台流量为 450 m^3/h,扬程为 10 m,功率为 21 kW。

(4)紫外消毒器

设置管道式紫外消毒器 1 套。设计紫外剂量为 60 mJ/cm^2,光波最低穿透率为 65%,单套设备功率为 5.76 kW。

(5)接触消毒池

设置接触消毒池 1 座。设计 HRT 为 1.33 h,NaClO(有效质量分数为 10%)投加量为 10 ~ 15 mg/L。

(6)聚龙山人工湿地 A 区

采用垂直流人工湿地,共分为 3 个区域,设计 HRT 为 1.36 d,表面水力负荷为 0.472 $m^3/(m^2·d)$,填料层厚度为 1.6 m,孔隙率为 40%。采用土池结构,底部及周边敷设防渗膜。湿地分为 3 个区域共 6 个配水单元,由湿地进水总管通过缓冲配水池重力配水至配水单元,每个配水单元由布水总管、布水支管、穿孔布水管组成,且在 6 个配水单元布水总管上设置阀门用于控制布水。每个区域均设有出水管,将 3 处出水连接至出水总管,最终经排水总管排入荣田河。填料层由上往下分别为 0.33 m 砾石填料、0.12 m 活性炭填料、0.15 m 沸石填料、0.1 m A 型填料、0.3 m B1 型填料、0.3 m B2 型填料、0.3 m B3 型填料。湿地种植芦苇、千屈菜、香蒲、再力花、美人蕉、水葱、蜘蛛兰和鸢尾等,结合湿地分区及周围景观情况分区进行布置。

3.2.4　配套设施

(1)鼓风机房

设置鼓风机房 1 座,采用螺杆式鼓风机,风量调节范围为 30%~100%。配置 2 台(1 用 1 备),变频控制,单台风量为 25 m^3/min,出口风压为 70 kPa,电机功率为 37 kW。

(2)污泥泵房

设置 1 座污泥泵房。配置污泥回流泵 2 台(1 用 1 备),变频控制,单台流量为 313 m^3/h,扬程为 4.0 m,功率为 11.6 kW;配置剩余污泥泵 2 台(1 用 1 备),单台流量为 25 m^3/h,扬程为 10.0 m,功率为 2.2 kW。

(3)综合加药间

设置综合加药间 1 座,设 PAC、PAM 和乙酸钠投加系统。PAC 最大投加量为 95 mg/L,PAM 最大投加量为 0.5 mg/L,乙酸钠(有效质量分数为 20%)最大投加量为 256.4 mg/L。PAC 投加泵配置 3 台(2 用 1 备),变频控制,单台流量为 50 L/h,扬程为 102 m,功率为 0.25 kW。PAM 投加螺杆泵 2 台(1 用 1 备),变频控制,单台流量为 250 L/h,扬程为 71 m,功率为 0.55 kW;配套 PAM 一体化加药装置 1 套,制备质量分数为 0.3%,制备能力干粉 3 kg/h。乙酸钠投加泵配置 3 台(2 用 1 备),变频控制,单台流量为 115 L/h,扬程为 71 m,功率为 0.25 kW。

(4)臭氧制备间

设置臭氧制备间 1 座。配置臭氧发生器 2 台(1 用 1 备),单台最大产量为 13.02 kg/h,浓度为 10%,功率为 97.65 kW;臭氧发生器配套循环水系统、热交换器。臭氧制备气源为液氧,由液氧站供应。

(5)加氯间

设置加氯间 1 座,设计 NaClO 投加量 10 ~ 15 mg/L。NaClO 投加泵配置 2 台(1 用 1 备),变频控制,单台流量为 315 L/h,扬程为 71 m,功率为 0.75 kW。

(6)污泥脱水间

设置污泥脱水间 1 座。设计绝干污泥量为 2 tDS/d(DS 为干固体),进泥含水率为 99.4%,出泥含水率≦30%。污泥脱水系统运行时间设计近期 9 h/d,远期 18 h/d。

设置贮泥池 1 座,分 2 格。设计 HRT 为 3.25 h,有效水深为 2 m。配置搅拌器 2 台,叶轮直径为 630 mm,功率为 1.4 kW。设置叠螺脱水机 2 台(1 用 1 备),单台干固体处理能力为 120 kgDS/h,功率为 3.7 kW,设计出泥含水率≤80%。配套进泥螺杆泵 2 台(1 用 1 备),单台流量为 20 m^3/h,扬程为 20 m,功率为 5.5 kW;配套污泥切割机 2 台(1 用 1

备),单台流量为 20 m^3/h,功率为 2.2 kW;配套 PAM 一体化加药装置 1 套,干粉制备能力为 1 kg/h,制备质量分数为 0.5%,功率为 3 kW;配套 PAM 加药螺杆泵 2 台(1 用 1 备),单台流量为 1.0 m^3/h,扬程为 30 m,功率为 0.75 kW;配套进料无轴螺旋输送机 1 台,流量为 1.5 m^3/h,功率为 4 kW。配置污泥低温干化机 1 台,标准去水量为 675 kg/h,装机功率为 219.3 kW,设计出泥含水率≤30%。配套冷却塔 1 台,循环水量为 12.8 m^3/h,功率为 4.1 kW;配套干化机冷却泵 2 台(1 用 1 备),单台流量为 13.8 m^3/h,扬程为 30 m,功率为 2.2 kW;配套刮板输送机 1 台,流量为 1.0 m^3/h,功率为 7.5 kW。设置干泥料仓 1 座,有效容积为 10 m^3。

(7)除臭系统

除臭系统采用喷淋洗涤+生物除臭一体化装置,设置除臭系统 3 套,分别为生活污水预处理区和近期生化池对应 1#除臭系统,设计风量为 10 000 m^3/h;生物医药废水预处理区和远期生化池对应 2#除臭系统,设计风量为 12 000 m^3/h;污泥脱水间对应 3#除臭系统,设计风量为 25 000 m^3/h。臭气经处理达标后通过 22.5 m 高的排放塔高空排放。

4 运行效果及技术经济指标

自该项目投入正式运营以来,运行效果良好,实际出水水质远优于出水标准,投运近一年实际进出水水质如表 4 所示。从表中可以看出,生物医药进水 COD、BOD_5、SS、氨氮、TN 和 TP 平均质量浓度分别为 27.2、9.6、19、0.90、4.28 mg/L 和 0.46 mg/L,生活污水进水平均质量浓度分别为 48.4、21.6、34、5.51、10.81 mg/L 和 0.84 mg/L,出水平均质量浓度分别为 3.3、0.7、4、0.05、3.06 mg/L 和 0.05 mg/L。实际医药废水和生活污水进水水质指标远低于设计进水水质,主要原因是该项目服务范围内的企业生产废水需经过企业内部预处理后方可排放至配套医药废水专管,且企业预处理设施普遍采用二级生物处理工艺,导致企业排水水质质量浓度较低;此外,生活污水管网仅收集锦绣东路(聚龙山路至金联路)部分区域的生活污水,该区域仅服务 4 家企业/园区,生活用水仅为办公用水,因此污水水质质量浓度较低。另外,医药废水和生活污水管网均布置于市政道路下方,埋深较深,可能存在地下水和雨水入流入渗,导致实际进水稀释。出水主要水质指标全面优于设计出水水质,对于龙岗河流域污染减排和破解生物医药产业园区发展和落地难题起到重要作用。该项目臭气无组织排放处理效果优于《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的二级标准,有组织排放满足《恶臭污染物标准》(GB 14554—93)表 2 标准。污泥处理后含水率低于 30%,满足设计要求,本项目污泥依据环评批复,按危险废物管理要求,委托有资质的第三方单位合规处置。

表 4 实际进出水水质(单位:mg/L)

Tab. 4 Actual Water Quality of Influent and Effluent (Unit: mg/L)

水质指标		COD	BOD_5	氨氮	TN	TP	SS
进水	医药废水	27.2	9.6	0.90	4.28	0.46	19
	生活污水	48.4	21.6	5.51	10.81	0.84	34
出水		3.3	0.7	0.05	3.06	0.05	4

生物医药废水处理厂及干管工程概算总投资为 42 864.99 万元,其中建安工程费为 36 025.09 万元,工程建设其他费用为 4 356.80 万元,预备费为 2 019.09 万元,项目建设管理费为 464.01 万元。聚龙山人工湿地 A 区生态修复工程概算总投资为 1 199.85 万元,其中工程费用为 997.96 万元,工程建设其他费用为 123.17 万元,预备费为 56.06 万元,项目建设管理费为 22.66 万元。经第三方测算并报财政部门核定,该项目年经营成本为 1 415.46 万元,其中固定成本(人工费、修理费、其他费、管网维护费、绿化养护费、人工湿地管养费)为 732.12 万元,可变成本(药剂费、电费、水费、渣砂和污泥外运及处置费)为 683.34 万元,单位经营成本为 9.695 元/m^3。经首个运营年度运营费用审核,该项目实际年经营成本为 601.55 万元,吨水处理成本为 51.49 元/m^3,其中电费为 2.10 元/m^3,药剂费为 0.06 元/m^3。

5 存在问题与建议

5.1 存在问题

(1)设施整体利用率不高,存在“大马拉小车”现象,导致配套产能闲置。据生产统计,自 2024 年 8 月正式投运一年来,该项目日均处理水量为

457 m^3/d,产能利用率仅为 9%,远低于配套设施设计规模。意味着当前配套设施规划建设与实际需求存在一定脱节,存在“大马拉小车”现象,导致区域废水处理能力闲置,未能发挥配套设施效能。

(2)医药企业纳管数量较少,导致废水处理量较低。据企业摸排调研,截至目前,基地现有涉水排污医药企业数量 38 家,设计排水规模为 3 697 m^3/d,实际排水量为 830 m^3/d;实际排水至配套集中处理设施的 9 家,实际排水量为 158 m^3/d;其余 29 家因各种原因暂未纳管。实际纳管生物医药企业排水量仅占总排水量的 19%,导致设施处理量低,负荷严重不足。

(3)实际进水水质过低,与设计浓度差异较大。基地采用“企业预处理+纳管集中处理”模式,企业生产废水需经预处理至园区纳管标准后方可排入。据企业摸排调研,企业预处理设施普遍采用膜生物反应器工艺,且废水可生化性好,同时特征污染因子执行直接排放限值,因此常规污染物浓度大幅降低;此外,生活污水管网仅收集锦绣东路部分区域的生活污水,且仅为少量办公污水,因此污水水质相较于市政管网浓度较低。另外,污废水管网存在地下水和雨水入流入渗,进一步降低进水浓度。

(4)废水处理成本偏高,一定程度制约医药企业纳管意愿。该项目采用委托运营模式,运营经费来源于区财政,实行收支两条线,差额部分由财政予以补贴。经第三方测算并经区委会审议通过,收费标准按照 24.78 元/m^3 执行。相比于国内同类园区,该项目收费标准偏高,一定程度制约医药企业纳管意愿。

(5)园区入驻企业规模较小,生产型企业占比小。基地生物医药企业数量为 1 261 家,其中涉水排污医药企业仅有 38 家,大部分企业以生物创新药研发和孵化为主,企业规模较小,主要为清洗废水,因此所排废水量少且水质浓度较低;实际排水量超过 100 m^3/d 的企业仅 5 家,生产型医药企业数量占比较小,因此废水排放总量不高。这主要与该生物医药园区发展定位有关,园区以高附加值的生物创新药为主导产业,而高端生物制药耗水量低、水质相对洁净。

5.2　建议

(1)建议行业主管部门会同相关职能部门统筹做好生物医药产业空间发展规划及配套设施规划布局,发挥产业先行,规划引领作用,积极引导生物制造企业集聚发展,发挥已建园区配套废水处理设施产能;同时统筹各类产业支持政策和资本力量补齐园区配套设施短板,支撑生物医药产业园区规模化发展。

(2)建议行业主管部门会同相关职能部门统筹生物医药产业园区配套废水处理设施建设运营,鼓励园区根据自身定位和实际需求分阶段规划建设废水处理设施,解决企业生产废水排放问题;同时对于地处流域限批区域内的产业园区,政府部门依法依规给予园区企业废水处理补贴。

(3)建议行业主管部门按照适度集中原则,积极引导重大产业项目集中布局,推动生物医药产业空间布局与配套环保设施的深度融合,明确园区功能定位与废水处理需求,促进企业集聚与资源集约利用。建立生物医药产业废水处理能力动态分布图并定期更新,引导重大产业项目向产能充裕区域集中,推动重大产业项目转移。

(4)建议行业主管部门会同相关职能部门强化宣传和引导,组织开展专项宣传推广工作,重点突出集中废水处理设施规模化、集约化、规范化优势。通过系统宣传引导,推动园区企业积极响应纳管处理模式,避免自行处理成本高的问题,减少环保重复投入,确保废水稳定达标排放,降低企业环保风险。

6　结语

(1)生物医药废水处理厂设计处理规模为 1.0 万 m^3/d,设备按照 0.5 万 m^3/d 安装,采用全地下建设形式,废水处理工艺采用(调节池/事故池+水解酸化池/臭氧催化预氧化池)/(粗格栅+细格栅+旋流沉砂池)+均质池+改良 AAO 生化池+矩形周进周出二沉池+高效沉淀池+臭氧催化氧化池+活性炭滤池+紫外消毒器+接触消毒池+人工湿地,出水水质执行地表水Ⅲ类。项目投运一年来,出水水质稳定达标。

(2)该项目投运一年来,存在设施利用率不高、企业纳管数量较小、实际进水水质质量浓度过低、废水处理成本偏高、入驻企业规模较小等运行问题,提出统筹生物医药产业发展规划及配套设施规划布局,统筹园区配套废水处理设施建设运营,依法依规给予企业废水处理补贴,积极引导重大产业项目集中布局,强化宣传和引导等建议措施,以提高配套集

中废水处理设施收纳水平和运营效率。

参考文献

[1] 广东省人民政府. 关于严格限制东江流域水污染项目建设进一步做好东江水质保护工作的通知[EB/OL]. (2011-12-31)[2025-11-10]. https://www.gd.gov.cn/zwgk/gongbao/2012/4/content/post_3363405.html.
People's Government of Guangdong Province. Notice on strictly restricting the construction of water pollution control projects in the Dongjiang River Basin and further improving the protection of Dongjiang River water quality [EB/OL]. (2011-12-31)[2025-11-10]. https://www.gd.gov.cn/zwgk/gongbao/2012/4/content/post_3363405.html.

[2] 深圳市人居环境委员会. 深圳市人居环境委员会关于加强深圳市"五大流域"建设项目环评审批管理的通知[EB/OL]. (2018-07-30)[2025-11-10]. https://www.szft.gov.cn/bmxx/qswj/tzgg/content/post_4814670.html.
Shenzhen Municipal Commission of Human Settlements and Environment. Notice of the Shenzhen Municipal Commission of Human Settlements and Environment on strengthening the management of environmental impact assessment approval for construction projects in the "five major river basins" of Shenzhen [EB/OL]. (2018-07-30)[2025-11-10]. https://www.szft.gov.cn/bmxx/qswj/tzgg/content/post_4814670.html.

[3] 李志刚, 田伟峰, 聂楠, 等. 高标准全地下式生物医药园区污水处理厂工程设计[J]. 中国给水排水, 2025, 41(8): 65-70.
Li Z G, Tian W F, Nie N, et al. Design of a high-standard entirely underground wastewater treatment plant in a biomedical park[J]. China Water & Wastewater, 2025, 41(8): 65-70.

[4] 吕英俊, 张健君, 孟凡良, 等. 南方某生物医药产业园集中废水处理厂工艺流程选择的思考[J]. 给水排水, 2023, 49(增刊1): 259-265.
Lü Y J, Zhang J J, Meng F L, et al. Consideration on process selection of centralized wastewater treatment plant in a biomedical industrial park in South China [J]. Water & Wastewater Engineering, 2023, 49(S1): 259-265.

[5] 张健君, 陈立春, 吴春雷, 等. 医药产业基地废水集中处理工艺选择的中试研究[J]. 中国给水排水, 2017, 33(19): 104-109.
Zhang J J, Chen L C, Wu C L, et al. Process selection of centralized treatment of wastewater from pharmaceutical industry base[J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(19): 104-109.

[6] 张健君, 陈立春, 吴春雷, 等. 基于地表Ⅳ类水的医药废水处理工艺中试研究[J]. 给水排水, 2018, 44(5): 65-69.
Zhang J J, Chen L C, Wu C L, et al. Pilot study on the selection of upgrading treatment process of pharmaceutical wastewater[J]. Water & Wastewater Engineering, 2018, 44(5): 65-69.

[7] 张健君, 陈立春, 吴春雷, 等. 医药产业园区废水提标处理中试工艺参数优化[J]. 中国给水排水, 2019, 35(5): 73-77.
Zhang J J, Chen L C, Wu C L, et al. Optimization of pilot scale process parameters for advanced treatment of wastewater in pharmaceutical industrial park[J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(5): 73-77.

[8] 沈凌, 张宏, 周合喜. 土地集约型高排放标准半地下水质净化厂设计[J]. 净水技术, 2025, 44(2): 174-180.
Shen L, Zhang H, Zhou H X. Design of intensive land-use semi-underground WWTP under stricter discharge standard[J]. Water Purification Technology, 2025, 44(2): 174-180.