

## 城镇给排水工程设计案例专栏

黄文章, 王子龙. 深圳沙河水质净化厂及3#调蓄池工艺设计要点及特点[J]. 净水技术, 2024, 43(6):169-178.

HUANG W Z, WANG Z L. Key points and characteristics of process design of Shahe underground WWTP and 3# storage tank in Shenzhen[J]. Water Purification Technology, 2024, 43(6):169-178.

## 深圳沙河水质净化厂及3#调蓄池工艺设计要点及特点

黄文章<sup>1</sup>, 王子龙<sup>2,\*</sup>

(1. 深圳市水务<集团>有限公司, 广东深圳 518031; 2. 上海市政工程设计研究总院<集团>有限公司, 上海 200092)

**摘要** 沙河水质净化厂设计规模为旱季10万m<sup>3</sup>/d, 雨季额外处理10万m<sup>3</sup>/d初期雨水, 3#调蓄池设计规模为15.3万m<sup>3</sup>。污水及初期雨水处理采用预处理+多段厌氧-好氧(AO)+二沉池+磁混凝高效沉淀池+精密过滤+紫外消毒的工艺, 出水水质执行深圳市地方标准《水质净化厂出水水质规范》(DB 4403/T 64—2020) B级标准, 其中总氮(TN)≤8 mg/L。污泥处理采用离心浓缩+低温热干化工艺, 处理后含水率≤40%。作为国内首个将水质净化厂与初期雨水调蓄池深度融合的全地下式水污染治理综合体, 项目采用多段AO耦合“3W法”(Wet-Weather-Wastewater法), 并以此为核心提出了一种实现大规模污水及初期雨水高标准协同处理的系统解决方案, 且无需大幅度增加污水处理设施体量、投资和运行成本。

**关键词** 地下式水质净化厂 3#调蓄池 水污染治理综合体 协同处理 多段AO “3W法”

中图分类号: TU992 文献标识码: B 文章编号: 1009-0177(2024)06-0169-10

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2024.06.020

## Key Points and Characteristics of Process Design of Shahe Underground WWTP and 3# Storage Tank in Shenzhen

HANG Wenzhang<sup>1</sup>, WANG Zilong<sup>2,\*</sup>

(1. Shenzhen Water Group Co., Ltd., Shenzhen 518031, China;

2. Shanghai Municipal Engineering Design Institute <Group> Co., Ltd., Shanghai 200092, China)

**Abstract** The design scale of Shahe underground wastewater treatment plant (WWTP) is 100 000 m<sup>3</sup>/d in the dry season and an additional 100 000 m<sup>3</sup>/d of initial rainwater in the rainy season. The design scale of the 3# reservoir is 153 000 m<sup>3</sup>. The process of the WWTP consists of pretreatment, step-feed multistage anaerobic-aerobic (AO) biological reactor, secondary sedimentation tank, high efficiency sedimentation tank, precision filters and ultraviolet disinfection, and the effluent water quality is required to meet grade B standard of the Shenzhen local standard *Standards of Water Quality for Wastewater Treatment Plant* (DB 4403/T 64—2020). Among them, TN≤8 mg/L. The sludge treatment process includes mechanical concentration and low temperature heat drying, and the sludge is transported out for incineration after the water content is no more than 40%. As the first fully underground water pollution control complex at home that deeply integrates the WWTP with the initial rainwater reservoir, the project innovatively adopts step-feed multistage AO and “3W” (Wet-Weather-Wastewater) process. Based on this, a system solution that can realize the high-standard collaborative treatment of large-scale sewage and initial rainwater without greatly increasing the volume, investment and operating cost of wastewater treatment facilities is proposed.

**Keywords** underground wastewater treatment plant (WWTP) 3# storage tank water pollution control complex collaborative treatment step-feed multistage AO “3W process”

[收稿日期] 2023-10-08

[基金项目] 上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司启明星计划资助

[作者简介] 黄文章(1979—), 男, 高级工程师, 主要从事市政排水系统规划, 重大排水设施建设工程技术审查和运营管理工作, E-mail: 54043184@qq.com。

[通信作者] 王子龙(1988—), 男, 高级工程师, 主要从事排水设计、城镇排水工作, E-mail: wangzilong@smedi.com。

研究<sup>[1]</sup>表明,城市初期雨水含有大量的有机物、病原体、重金属、油脂、悬浮固体(SS)等污染物质,已经成为了河道水体黑臭的重要原因之一。

对于初期雨水的处理,近年来天津、广东及武汉等地区均进行了一定的工程尝试。例如,天津京津合作示范区为控制面源污染,采用人工湿地及末端截流调蓄加污水处理厂的治理方案,利用污水处理厂峰值系数冗余处理一定量的初期雨水<sup>[2]</sup>。广东、武汉等地采用一级强化处理方式对初期雨水进行处理<sup>[3-4]</sup>。出水达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)三级标准,总氮(TP)和SS达到一级A标准。

目前,初期雨水的治理已经成为很多城市和地区控制面源污染、改善河道水质的重要手段。但是现有的大多数案例中,要么是对初期雨水进行单独处理,处理量较大,但处理标准较低;要么是利用污水处理厂高峰系数的冗余空间进行初期雨水协同处理,处理标准较高,但是处理量较少。

本工程充分利用流域内的污水处理设施及初期雨水调蓄池设施,将用于初期雨水处理的“3W法”(Wet-Weather-Wastewater法)和用于污水处理的多段厌氧-好氧(AO)工艺进行耦合。在仅少量增加污水处理设施体量的情况下,既实现旱季污水的高效处理,又能够满足雨季高标准、大流量的初期雨水处理需求,真正实现了高度集约及低能耗条件下的初期雨水与污水的协同处理,具有重要的示范及推广意义。

## 1 工程概况

大沙河贯穿整个南山区,是南山区的母亲河。深圳市从2009年开始,对大沙河流域开展了专项治理,目前已实现了旱季漏排污水100%截流,消除了旱季水体黑臭现象。但是,大沙河在降雨期间,仍然存在初期雨水溢流污染问题,影响大沙河及深圳湾水质,不符合大沙河生态长廊的环境标准。因此,对大沙河流域的污水及初期雨水进行系统治理,实现大沙河全天候达标迫在眉睫。

深圳市沙河水质净化及3#调蓄池项目位于深圳市南山区北环大道与大沙河交汇处,项目红线面积约为6.8 hm<sup>2</sup>,实际可用地面积约为4.89 hm<sup>2</sup>,其中水质净化厂占地面积约为2.93 hm<sup>2</sup>,3#调蓄池占地面积约为1.32 hm<sup>2</sup>。项目主要建设内容包括沙

河水水质净化厂、3#调蓄池、枢纽泵站及进出水管道系统,项目总投资约为18.4亿元。

沙河水质净化厂属于深圳湾流域污水系统,主要分流现状南山水质净化厂服务范围内(面积约为21 km<sup>2</sup>)的污水。同时,其还需要接纳处理大沙河沿线1#~3#调蓄池调蓄的初期雨水。3#调蓄池主要收集大沙河中下游17.25 km<sup>2</sup>内的初期雨水,与流域内其他调蓄池一道实现对大沙河流域内8 mm以下初期雨水的截流,控制雨季溢流污染。

沙河水质净化厂设计规模为旱季10万 m<sup>3</sup>/d,雨季通过分质多点进水方式额外处理10万 m<sup>3</sup>/d初期雨水,3#调蓄池设计规模为15.3万 m<sup>3</sup>,水质净化厂及3#调蓄池均采用全地下式建设形式,地面为开放的城市公园。

## 2 建设标准

### 2.1 污水处理标准

本项目为新建的水质净化厂,根据深圳市地方标准《水质净化厂出水水质规范》(DB 4403/T 64—2020)的要求,应执行其中B级标准。由于本项目出水排放至大沙河,最终汇入深圳湾,考虑到大沙河及半封闭的深圳湾对TN比较敏感,TN指标按A级标准执行,即TN≤8 mg/L。沙河水质净化厂设计进出水水质如表1所示。

表1 设计进出水水质  
Tab. 1 Designed Quality of Influent and Effluent

指标	污水进水	初期雨水进水	出水
COD <sub>Cr</sub> /(mg·L <sup>-1</sup> )	400	100	≤30
BOD <sub>5</sub> /(mg·L <sup>-1</sup> )	200	40	≤6
SS/(mg·L <sup>-1</sup> )	300	470	≤8
TN/(mg·L <sup>-1</sup> )	40	10	≤8
氨氮/(mg·L <sup>-1</sup> )	32	7	≤1.5
TP/(mg·L <sup>-1</sup> )	5.5	1.0	≤0.3
粪大肠菌群数/L <sup>-1</sup>	约1×10 <sup>7</sup>	/	≤1×10 <sup>3</sup>

注:COD<sub>Cr</sub>为化学需氧量,BOD<sub>5</sub>为五日生化需氧量,TP为总磷。

### 2.2 污泥处理标准

本项目污泥最终处置途径为外运至燃煤电厂掺烧或单独焚烧,根据深圳市相关文件的要求及最终处置的途径,本项目污泥处理经脱水干化后含水率降低至≤40%后外运。

### 2.3 臭气处理标准

根据项目的环评报告及其批复,项目臭气执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—

2002)一级标准。

### 2.4 调蓄池截流标准

调蓄池截流标准的确定直接影响调蓄池建设的规模及最终雨季溢流污染控制的效果。经过对国内外相关规范的研究及当地典型年降雨量的统计分析,确定3#调蓄池截流标准为8 mm。

## 3 工艺设计要点

### 3.1 平面布置设计要点

本工程实际可用地面积约为4.89 hm<sup>2</sup>,其中水

质净化厂占地约为2.93 hm<sup>2</sup>,调蓄池占地约为1.32 hm<sup>2</sup>,综合管理用房下沉广场占地约为0.64 hm<sup>2</sup>。水质净化厂及调蓄池采用全地下式双层结构合并建设。以中间加油站为分界,东侧主要布置调蓄池及其配套设施,西侧主要布置水质净化设施,进水及预处理区域位于加油站南侧。为充分利用调蓄池操作层空间,将污泥处理设施、消防泵房及公园地下停车场与调蓄池合建。综合管理用房布置于地块的东南角,采用下沉广场形式,总平面布局如图1所示。

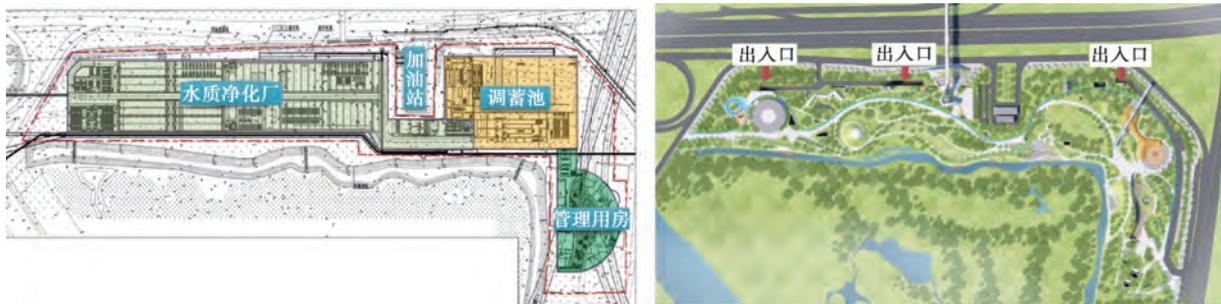


图1 总平面布局

Fig. 1 General Layout

地下箱体东西长为554 m,南北宽为73.1~92.8 m,共设置3处进出通道。箱体内设置构筑物分为南北两组,中央设置车道,车行道路宽为6 m,转弯半径为9~12 m,满足消防及运输的相关需要。按不同功能,箱体内分为预处理区、二级处理区、深度处理及出水区、调蓄池及污泥处理区等。预处理与污泥区紧邻布置,便于臭气的集中收集处理。为

节约用地,操作层内水池池顶设置鼓风机房、加药间、仪表小屋、通风机房及变配电间功能建筑。箱体建筑区域防火分区按不大于2 000 m<sup>2</sup>划分,其余水池顶部按一个防火分区考虑,消防疏散楼梯满足规范要求。地下箱体顶部覆土绿化,建设向公众开放的城市公园(图2)。

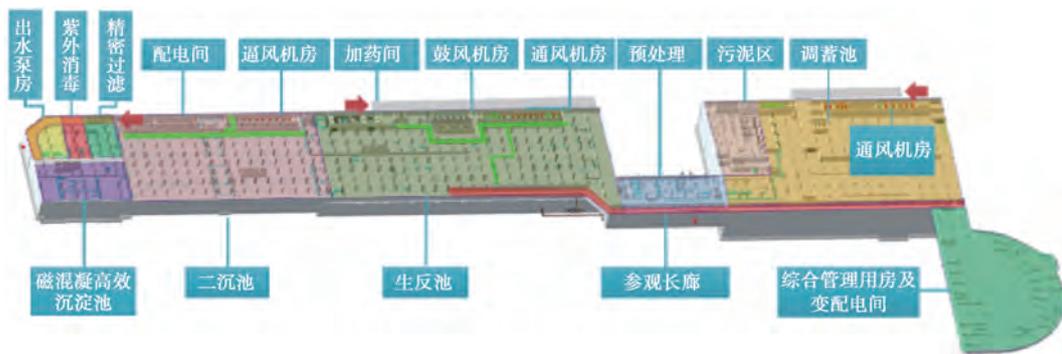


图2 地下箱体总平面布置

Fig. 2 General Layout of Underground Box

此外,地下箱体内设置了国内首条专业化、高标准、全封闭的对公众开放的参观长廊(图3)。公众在其中既可以参观到污水处理的全部流程,又不会进入生产区对生产运行造成影响,为水处理及水文化科普教育提供良好的空间。

### 3.2 竖向设计

项目覆土后地面标高与周边道路平均标高基本一致。箱体顶板覆土厚度为1.80 m,设计标高为10.20 m(黄海高程,下同),地下操作层平均层高为7.00 m,操作层平均标高为3.20 m。地下二层为水



图3 参观长廊效果

Fig. 3 Renderings of Exhibition Promenade

池及管廊层,底标高根据不同构筑物池体深度进行设置,水质净化厂区域标高为 $-2.30\sim 7.35\text{ m}$ 。调蓄池底标高为 $-12.30\text{ m}$ 。

为确保极端情况下的地下箱体安全,除设置必要的速闭闸及进水闸门外,进水泵房及调蓄池所有设置了盖板或其他孔口的区域标高均抬高至 $6.50\text{ m}$ ,高于进厂管道路面标高及周边大沙河和排洪渠200年一遇的防洪水位,地下箱体竖向布置如图4所示。

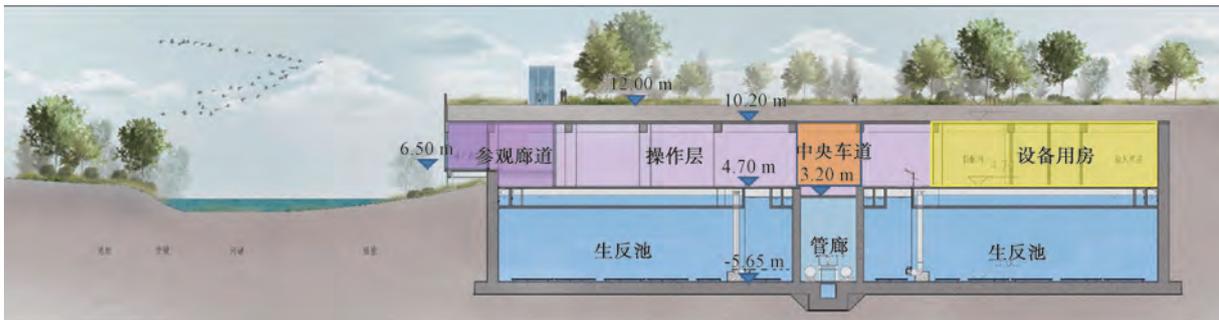


图4 地下箱体竖向布置

Fig. 4 Vertical Layout of Underground Box

### 3.3 污水处理工艺设计

该项目既需要处理旱季污水 $10\text{万 m}^3/\text{d}$ ,雨季时还需要额外处理初期雨水 $10\text{万 m}^3/\text{d}$ ,雨季与旱季处理水量之比达到 $2:1$ ,且水质有较大的差异。为确保旱季污水高效处理的同时,能够在雨季高标准处理大流量的初期雨水,本项目借鉴了适合南方污水高效处理的多段AO工艺<sup>[5]</sup>和适用于初期雨水处理的“3W法”<sup>[6]</sup>,设计了多段AO及“3W法”耦合生物反应池。

多段AO工艺由一系列缺氧段和好氧段串联组合而成,其特点是通过多段多级AO串联布置和多点进水设计,在生物反应池内形成高污泥浓度梯度,从而在特定区域内提高除磷菌和硝化菌的竞争优势,提高除磷菌和硝化菌在活性污泥中的比例,实现在较短停留时间内高效脱氮的目的。该工艺具有脱氮效率高、内回流量小、原水碳源利用充分及外加碳源少的特点。

“3W法”则是日本开发的一种污水处理厂应对雨天超量初期雨水的方法。初期雨水水质一般相对较淡,污染物以 $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 、 $\text{BOD}_5$ 及SS等为主。“3W法”将初期雨水导入生物反应池末端,既利用好氧段快速处理了 $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 等主要污染物,又避免对生物

系统造成过大的冲击,影响污水脱氮除磷,在无需大幅度增加池体容积的条件下,保证了出水水质。

通过将两者进行耦合,利用多段AO生物反应池分段多和进水点多的特点,一方面,适当做大第三段AO段,将初期雨水导入该段实现“3W法”;另一方面,设计计算时,充分考虑旱、雨季两种工况,通过多点进水、分段回流的方法针对性设计不同的进水和回流模式,实现旱季及雨季高效处理。

另外,在总体设计中,为了配合多段AO耦合“3W法”,本项目采用了“分质处理、先分后合、灵活超越”的工艺流程设计原则,污水处理工艺流程如图5所示。

#### 3.3.1 预处理段

在预处理阶段污水及初期雨水采用分质处理的方式,通过专门的构筑物分开处理,为雨季多段AO池通过分质多点进水方式实现“3W法”处理 $10\text{万 m}^3/\text{d}$ 的初期雨水创造条件。其中,污水从进水箱涵经粗格栅及污水提升泵房处理和提升后,进入污水预处理设施(细格栅及曝气沉砂池);初期雨水经调蓄池存蓄后,再进入粗格栅及雨水提升泵房处理,提升后进入雨水预处理设施(细格栅及曝气沉砂池)。两组预处理设施之间设置连通通道,必要时可进行

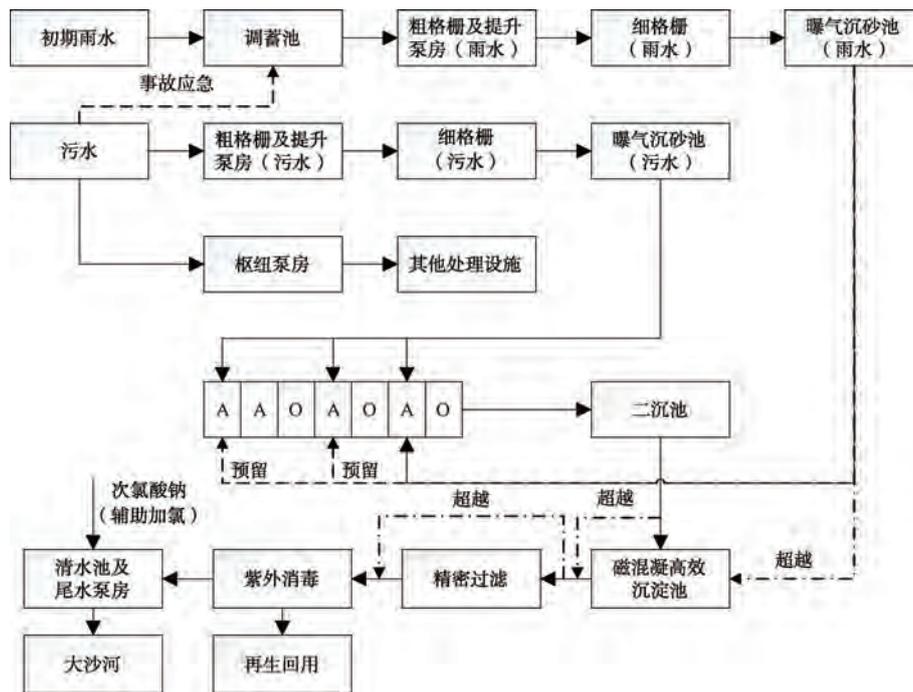


图5 污水处理工艺流程

Fig. 5 Process Flow of Wastewater Treatment

交叉连通和灵活切换。另外,在预处理段设置了一座枢纽泵站,具有近期的应急调配和远期转输至流域内其他污水处理设施的功能,既起到流域污水调

度作用,又提高本工程的运行安全稳定性,具体设计参数如表2所示。

表2 预处理段主要设计参数

Tab. 2 Main Designed Parameters of Treatment Sections

构筑物	项目	旱季(10万 m <sup>3</sup> /d)
粗格栅及进水泵房(污水)	分组	1组
	粗格栅	2台,格栅宽度为1.5m,栅间距为20mm
	提升泵房	水泵3台,Q=580L/s
粗格栅及进水泵房(雨水)	分组	1组
	粗格栅	2台,格栅宽度为1.5m,栅间距为20mm
	提升泵房	雨水泵2台,Q=753L/s
细格栅及曝气沉砂池(污水)	分组	2格
	细格栅	3台,栅间距为5mm
	沉砂池	停留时间为5.3min
细格栅及曝气沉砂池(雨水)	分组	1格
	细格栅	2台,栅间距为5mm
	沉砂池	停留时间为3.0min

### 3.3.2 生物处理段

本工程生物处理段采用的是分质多点进水多段AO工艺耦合“3W法”,生物反应池从前到后依次为厌氧区和3段交替布置的缺氧区及好氧区。其中,

最后一段AO段为初期雨水的主要反应区。旱季时,污水采用多点进水的形式,以实现碳源的最大程度利用,3个进水点分别位于厌氧池起端及第2、3段缺氧池起端,设计进水比例为5:3:2。雨季需

要处理初期雨水时,污水采用两点进水,主要进入厌氧池前端,少量进入第二段缺氧池起端;雨水则主要接入第3段缺氧池起端,与经过前两段处理后的污水混合处理后进入二沉池。另外,为提高运行的灵活性,在第1、2段缺氧池起端也设置了备用的雨水进水点,如图6、图7所示。

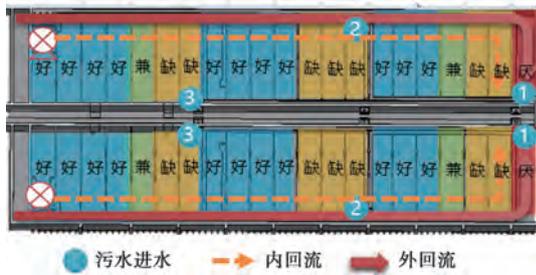


图6 生物反应池旱季运行

Fig. 6 Operation of Biological Reactor in Dry Season

为保障旱、雨季工况下的生物反应池生物系统的稳定及处理效率,在污泥及混合液回流方面也进行了独特的设计。首先,污泥回流由二沉池回流至厌氧池起端。同时,在第2、3段好氧池末端设置了混合液回流泵。旱季工况下根据进水浓度决定是否

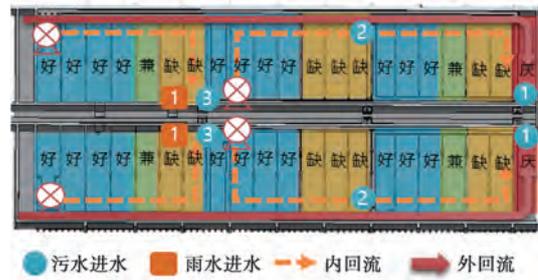


图7 生物反应池雨季运行

Fig. 7 Operation of Biological Reactor in Rainy Season

启用混合液回流,如启用,则开启第3段好氧池的回流泵,将混合液由第3段好氧池末端回流至第1段缺氧池起端。雨季工况下,则将生物反应池分为两个区域分别进行回流,其中厌氧池及第1、2段AO池属于污水处理区,混合液单独由第2段好氧池末端回流至第1段缺氧池起端。第3段AO池的混合液由第3段好氧池末端回流至本段缺氧池前端。该设计既维持了污水处理区域活性污泥的浓度,又通过灵活调控确保雨季接纳处理初期雨水的处理效果。具体设计参数如表3所示。

表3 生物处理段主要设计参数

Tab. 3 Main Designed Parameters of Biological Treatment Section

构筑物	项目	旱季	雨季
生物反应池	分组	2组	2组
	平均总停留时间/h	21.0	10.5
	厌氧区停留时间/h	1.0	0.5
	缺氧区总停留时间/h	9.0	4.5
	好氧区总停留时间/h	11.0	5.5
	分段数	3	3
	生物反应池全池污泥负荷/[ $\text{kg BOD}_5 \cdot (\text{kg MLSS} \cdot \text{d})^{-1}$ ]	0.095	0.121
	有效水深/m	9.1	9.1
	污泥外回流比	50%~100%	50%~100%
	混合液回流比	0~100%	0~100%
矩形周进周出二沉池	气水比	6:1	4:1
	分组	4座,每座4格	4座,每座4格
	高峰表面负荷/[ $\text{m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$ ]	0.99	1.32
	单组平面尺寸/m	52.5×7.5	52.5×7.5
	有效水深/m	4	4

### 3.3.3 深度处理及消毒段

本工程深度处理采用磁混凝高效沉淀池+精密

过滤工艺。其中,磁混凝高效沉淀池作为主要深度处理工艺,精密过滤则主要起到特殊情况下水质保

障作用。该工艺主要特点:一是集约化程度高、占地面积小;二是出水水质好、稳定性强。另外,考虑到雨水水质的变化及运行的灵活性,设置了雨水超越生化系统直接进入磁混凝高效沉淀池的通道,当雨

水水质较淡,无需进行生化处理时,可以预处理后直接混凝沉淀消毒后排放。

消毒工艺段采用紫外线消毒,占地面积小、土建成本低,适合全地下式水质净化厂。

表 4 深度处理及消毒段主要设计参数

Tab. 4 Main Designed Parameters of Advanced Treatment Section

工艺段	项目	旱季	雨季
磁混凝高效沉淀池	分组	2 组,每组 2 格	2 组,每组 2 格
	混合区停留时间/min	2.32	1.74
	磁介质混合区停留时间/min	2.32	1.74
	絮凝池停留时间/min	5.2	3.9
	沉淀池尺寸/m	12×12	12×12
	沉淀池有效水深/m	6.35	6.35
	沉淀池停留时间/min	35.11	26.30
	斜管负荷/[m <sup>3</sup> ·(m <sup>2</sup> ·h) <sup>-1</sup> ]	15.32	17.23
精密过滤	/	6 用 2 备 单台 Q=1 042 m <sup>3</sup> /h	8 用 单台 Q=1 042 m <sup>3</sup> /h
		1 套,单套处理能力 Q=10 万 m <sup>3</sup> /d, P=56 kW	2 套,单套处理能力 Q=10 万 m <sup>3</sup> /d, P=56 kW

### 3.4 污泥处理工艺设计

沙河水质净化厂设计污泥量为 22 t DS/d,污泥

处理流程如图 8 所示。



图 8 污泥处理处置工艺流程

Fig. 8 Process Flow of sludge Treatment and Disposal

储泥池一座,共 4 格,每格平面尺寸为 7.5 m × 7.5 m,有效水深为 4.2 m,停留时间为 8 h,每格配置一台潜水搅拌器,功率为 2.5 kW。污泥脱水干化车间一座,设有离心浓缩机、板框脱水机及低温热干化机等。离心浓缩机 3 台,2 用 1 备,处理量为 640 kg/h,出泥含水率为 93%~95%,功率为 150 kW。调理池 2 格,单格尺寸为 6.0 m × 6.0 m,有效水深为 3.0 m,设搅拌器 2 台,功率为 22 kW。板框脱水机 3 台,2 用 1 备,过滤面积为 600 m<sup>2</sup>。低温热干化机 3 台,2 用 1 备,处理量为 11 t DS/d,功率为 293 kW。

### 3.5 地面口部结构设计

一直以来全地下水水质净化厂的地面口部结构的设置都是一个颇具争议的焦点。其既涉及到地下箱

体消防、逃生、通风及采光等重要功能,同时也是地上地下结合的关键节点,直接影响地面公园的景观及效果。本项目在充分调研的基础上提出了“地面零建筑”的设计理念。通过采用隐蔽式口部结构及下沉广场等设计手段,既对所有口部结构进行了隐蔽,同时又实现了地下箱体的自然通风和采光,改善了地下箱体内的工作环境,节约能源,减少碳排放,真正实现了功能、环境、景观及低碳等多方面的融合。传统口部结构与隐蔽式口部结构如图 9、图 10 所示。

### 3.6 调蓄池设计

本工程 3#调蓄池服务范围为 17.25 km<sup>2</sup>,初小雨截留标准为 8 mm,计算得到 3#调蓄池有效容积



图9 传统口部结构

Fig. 9 Traditional Vents and Escape Hatches

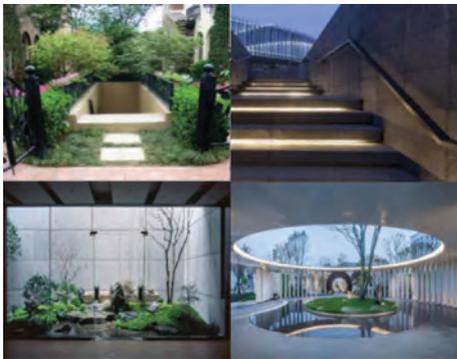


图10 隐蔽式口部结构

Fig. 10 Concealed Vents and Escape Hatches

约为  $15.3 \text{ 万 m}^3$ 。除3#调蓄池外,本工程还需要接纳并处理大沙河1#、2#及牛成河调蓄池转输的初期雨水,各调蓄池总有效容积约为  $19.42 \text{ 万 m}^3$ ,放空时间均为2 d(表5)。因此,初期雨水量为  $9.71 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ ,设计按  $10 \text{ 万 m}^3/\text{d}$  考虑。本工程综合管理用房中设置了流域调蓄池调度中心,可以根据水质净化厂污水处理情况及调蓄池的蓄水情况进行综合调度,实现初期雨水与污水之间相互“削峰填谷”,减小冲击、降低能耗。

表5 各调蓄池有效容积及放空时间

Tab. 5 Effective Volume and Emptying Time of Storage Tanks

项目	有效容积/ $\text{m}^3$	放空时间/d
大沙河1#调蓄池	2.3万	2
大沙河2#调蓄池	1.5万	2
大沙河3#调蓄池	15.3万	2
牛成河调蓄池	0.32万	2
合计	19.42万	-

调蓄池设计有效容积为  $15.3 \text{ 万 m}^3$ , 尺寸  $144.0 \text{ m} \times 92.8 \text{ m}$ , 有效水深为  $12.6 \text{ m}$ 。进水接自大

沙河东西两岸的雨水箱涵,调蓄池前设有2格预沉砂池及6台水平格栅,可以一定程度截留大颗粒砂粒及垃圾,减少调蓄池的淤积。调蓄池分为两格,降雨较少时可以只进入其中一格,当雨量达到设计阈值时,两格调蓄池均投入使用,避免每次降雨均需要冲洗全部的调蓄池,减少水耗和能耗。另外,也可以满足单格检修的需求。

调蓄池放空采用重力放空与水泵提升相结合的形式。结合水质净化厂的预处理区标高,标高为  $-6.50 \text{ m}$  以上的调蓄池水采用重力进行放空,约占整个池容的50%。剩下一半的池水再通过水泵提升后排空,既减小了水泵扬程,减少了投资又节约了能耗。

调蓄池与污水进水渠道之间还设置了连通通道,紧急情况下,污水可以溢流至调蓄池,避免地下箱体被淹没。

## 4 工艺设计特点

### 4.1 流域污水及初期雨水综合调度

项目所在流域内共有西丽、沙河、福田、南山及蛇口5座污水处理厂,沿大沙河两岸还设置了1#~5#初期雨水调蓄池。本项目的沙河水质净化厂及3#调蓄池正好处于整个流域的中心位置,设计之初就定位为流域污水及调蓄初期雨水调度的中心。

硬件上,项目建设调度中心及枢纽泵站,同时,在流域雨污水干管(箱涵)上设置分段截留闸门井和分布在管网系统中的精准截留设施。软件上,项目采用了智慧化的管理调度系统,基于大沙河流域各节点过程实时感知数据、实时降雨量、气象预报信息等丰富的信息,确保本工程对水质净化厂、调蓄池及枢纽泵站等实时调度的精准度。通过软硬件配套措施,项目实现了雨水“削峰填谷”,污水“错峰调度”,确保“调蓄雨水进得来”及跨部门综合调度“快、准、稳”,最终实现大沙河雨、污水系统的综合调度管理,确保系统安全高效地协同运行。

### 4.2 全地下式水污染治理综合体

作为国内首个水质净化厂与初期雨水调蓄池深度融合的水污染物治理综合体项目,突破了传统水质净化厂和初雨调蓄池单独建设的模式,从用地、结构、工艺及运行等多方面做到了深度融合互补,实现了“1+1大于2”的建设效果,为大沙河流域的水污染的综合治理提供了有力保障。

用地及结构设计方面,采用集约化的整体设计方案,将水质净化厂及调蓄池在同一个箱体统筹布置。通过利用调蓄池操作层空间布置污泥处理设施,将污水、初期雨水等泵房合建设,建成污水及雨水统一提升及转输的枢纽泵站,实现空间的充分利用。项目最终占地面积仅为 $2.93\text{ hm}^2$ ,按旱季、雨季处理规模计算,用地指标仅为 $0.29, 0.13\text{ m}^2/(\text{m}^3\cdot\text{d}^{-1})$ 。

工艺设计方面,充分考虑污水及初期雨水协同处理的需求,通过“分质处理、先分后合、灵活超越”的设计方案,使得污水及雨水的处理兼具了高效及灵活的特性,满足不同水质水量下处理需求。核心工艺采用的多段AO耦合“3W法”,既能够适应旱、雨季不同工况下的水质及水量波动,又具备较高的处理效率。同时,自身占地面积较小,兼具韧性、效率及节地的多重优点。

此外,协同运行方面,通过厂内统一管理,可根据污水水量波动,控制调蓄池放空的流量,实现“削峰填谷”。调蓄池还可以作为污水处理厂应急事故池使用,紧急情况下,污水可临时溢流至调蓄池储存,确保地下箱体的安全。旱季时还可以根据峰谷电价,利用调蓄池的调蓄能力调整每天不同时段污水处理量,实现节能降耗,降低运行成本。

#### 4.3 总体设计生态绿色、环境友好。

考虑到所在区位的高度敏感性,在满足治理污染的基本需求之上,从景观融合、无感除臭、绿色低碳及为城市提供生态休闲科普教育公共空间等多个角度实现从“邻避”到“邻利”,服务社会、回馈社会,打造环境友好的绿色生态市政设施典范。

项目通过下沉广场、隐蔽式通风及逃生口等设计,打造了国内首座“口部全隐藏,地面零建筑”的全地下式水污染治理综合体。

项目以国内“最高标准”的严格要求,采用全过程除臭,对产生臭气的重点区域,采用了设备加盖、水池混凝土加盖、区域隔离加盖及整体加盖的四重加盖措施。针对不同区域臭气产生规律及浓度特点,选择喷淋洗涤、生物过滤、高级氧化、干式过滤工艺进行优化组合,实现高效处理,打造居民无感、游人无感、运营无感、参观无感4个“无感”的系统除臭方案。

绿色低碳方面,总体设计中通过分布式下沉广场尽可能利用自然采光和通风,并利用箱体大空间直流发光二极管(LED)智慧照明技术、精确曝气

系统与智能加药技术及智慧化控制技术等进一步降低能耗。同时,项目还通过采用建筑一体化构件(BIPV)技术及污水源热泵技术等实现资源能源的再生回用,进一步降低碳排放。

另外,通过国内首条污水处理厂专业化全封闭科普教育长廊,为参观者提供沉浸式体验,感受水环境文化之美。为市民提供近距离参观现代化全地下水水质净化厂、接受水环境治理教育的良好环境,打造国内一流的科普教育基地。

## 5 结语

目前初期雨水的治理已经成为很多城市和地区控制面源污染,改善河道水质的重要手段,为克服传统初期雨水处理方法的不足,本项目在工艺设计上提出一种实现大规模污水及初期雨水高标准协同处理的系统方案,且无需大幅度增加污水处理设施体量、投资和运行成本,具体如下。

(1)利用多段AO耦合“3W法”,实现了旱、雨季污水及初期雨水的高效低碳处理。

(2)采用“分质处理、先分后合、灵活超越”的设计理念,既满足了多段AO耦合“3W法”的工艺需求,又最大程度减少了设施体量,减少了占地和投资,使得运行管理更加灵活,可针对不同水量水质调节运行模式。

(3)利用配套建设的初期雨水调蓄池及综合调度软硬件系统,实现雨水“削峰填谷”,污水“错峰调度”,进一步减少了设施体量和能耗成本,实现设施的精细化调度运行。此外,作为在超大城市中心城区新建的污水处理设施,为有效解决“邻避效应”,项目从建设形式、地面建筑、景观融合、通风除臭、绿色低碳及开放科普等多个维度进行了精细设计,实现了变“邻避”为“邻利”,为此类项目的建设提供参考。

## 参考文献

- [1] 蒋海涛, 丁丹丹, 韩润平. 城市初期雨水径流治理现状及对策[J]. 水资源保护, 2009, 25(3): 33-36.  
JIANG H T, DING D D, HAN R P. Countermeasures and present conditions for managing urban initial rainwater runoff [J]. Water Resources Protection, 2009, 25(3): 33-36.
- [2] 张超. 京津合作示范区初期雨水治理方案[J]. 净水技术, 2020, 39(3): 59-63.  
ZHANG C. Plan of initial rainwater control for Beijing-Tianjin cooperation and demonstration zone [J]. Water Purification

- Technology, 2020, 39(3): 59-63.
- [ 3 ] 杨磊三, 李骏飞, 李德强, 等. 广东某污水厂二期扩建污水和初期雨水处理工程设计[J]. 中国给水排水, 2022, 24(38): 47-52.
- YANG L S, LI J F, LI D Q, et al. Design of phase-II expansion project for sewage and initial rainwater treatment in a wastewater treatment plant in Guangdong [J]. China Water & Wastewater, 2022, 24(38): 47-52.
- [ 4 ] 周传庭, 郭葵香, 赵国志. 初期雨水就地调蓄处理工程方案[J]. 净水技术, 2020, 39(8): 44-48.
- ZHOU C T, GUO K X, ZHAO G Z. Engineering proposal of on-site regulation and storage and treatment for initial rainwater[J]. Water Purification Technology, 2020, 39(8): 44-48.
- [ 5 ] 王子龙. 多段多级AO工艺处理低碳氮比污水的效能及碳排放分析[J]. 净水技术, 2023, 42(s1): 146-153.
- WANG Z L. Efficiency and carbon emission analysis of step-feed multistage AO process in low C/N wastewater treatment [J]. Water Purification Technology, 2023, 42(s1): 146-153.
- [ 6 ] 徐文征. 城市污水处理厂接纳初期雨水的可行性分析[J]. 净水技术, 2012, 31(4): 13-16.
- XU W Z. Feasibility analysis of initial rainwater disposal by wastewater treatment plant [J]. Water Purification Technology, 2012, 31(4): 13-16.

## (上接第168页)

- [ 7 ] 钟继承, 范成新. 底泥疏浚效果及环境效应研究进展[J]. 湖泊科学, 2007, 19(1): 1-10.
- ZHONG J C, FAN C X. Advance in the study on the effectiveness and environmental impact of sediment dredging[J]. Journal of Lake Sciences, 2007, 19(1): 1-10.
- [ 8 ] 张杰, 郭西亚, 曾野, 等. 太湖流域河流沉积物重金属分布及污染评估[J]. 环境科学, 2019, 40(5): 2202-2210.
- ZHANG J, GUO X Y, ZENG Y, et al. Spatial distribution and pollution assessment of heavy metals in river sediments from Lake Taihu Basin[J]. Environmental Science, 2019, 40(5): 2202-2210.
- [ 9 ] 秦延文, 张雷, 郑丙辉, 等. 太湖表层沉积物重金属赋存形态分析及污染特征[J]. 环境科学, 2012, 33(12): 4291-4299.
- QIN Y W, ZHANG L, ZHENG B H, et al. Speciation and pollution characteristics of heavy metals in the sediment of Taihu Lake[J]. Environmental Science, 2012, 33(12): 4291-4299.
- [ 10 ] 杨陈, 王沛芳, 刘佳佳, 等. 太湖沉积物中重金属的垂向分布特征及迁移转化[J]. 农业环境科学学报, 2016, 35(3): 548-557.
- YANG C, WANG P F, LIU J J, et al. Vertical distribution and migration of heavy metals in sediment cores of Taihu Lake[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2016, 35(3): 548-557.
- [ 11 ] 刘恩峰, 沈吉, 刘兴起, 等. 太湖沉积物重金属和营养盐变化特征及污染历史[J]. 中国科学: 地球科学, 2005, 35(s2): 73-80.
- LIU E F, SHEN J, LIU X Q, et al. Changes of heavy metals and nutrients in sediments of Taihu Lake and their pollution history [J]. Scientia Sinica(Terrae), 2005, 35(s2): 73-80.
- [ 12 ] 郭晶, 李利强, 黄代中, 等. 洞庭湖表层水和底泥中重金属污染状况及其变化趋势[J]. 环境科学研究, 2016, 29(1): 44-51.
- GUO J, LI L Q, HUANG D Z, et al. Assessment of heavy metal pollution in surface water and sediment of Dongting Lake [J]. Research of Environmental Sciences, 2016, 29(1): 44-51.
- [ 13 ] YIN H B, GAO Y N, FAN C X. Distribution, sources and ecological risk assessment of heavy metals in surface sediments from Lake Taihu, China [J]. Environmental Research Letters, 2011, 6(4): 044012. DOI: 10.1088/1748-9326/6/4/044012.
- [ 14 ] 李梁, 胡小贞, 刘娉婷, 等. 滇池外海底泥重金属污染分布特征及风险评价[J]. 中国环境科学, 2010, 30(s1): 46-51.
- LI L, HU X Z, LIU P T, et al. Heavy metals distribution characteristics and potential ecological risk evaluation in the sediment of outer area of Lake Dianchi [J]. China Environmental Science, 2010, 30(s1): 46-51.
- [ 15 ] 孙恬, 王延华, 叶春, 等. 太湖北部小流域沉积物重金属污染特征与评价[J]. 中国环境科学, 2020, 40(5): 2196-2203.
- SUN T, WANG Y H, YE C, et al. Characteristics and assessment of heavy metals pollution in the sediments from a small catchment in northern Taihu Basin [J]. China Environmental Science, 2020, 40(5): 2196-2203.
- [ 16 ] 刘强, 梁雷, 王峰源, 等. 辽河干流消落区沉积物重金属污染特征研究[J]. 中国环境科学, 2013, 33(12): 2220-2227.
- LIU Q, LIANG L, WANG F Y, et al. Characteristics of heavy metals pollution in sediments of the hydro-fluctuation belt in the Liao River of Liaoning Province, Northeast China [J]. China Environmental Science, 2013, 33(12): 2220-2227.