

设计经验

北京碧水下沉式再生水厂升级改造及生态综合体建设

侯 锋^{1,2}, 王凯军¹, 邵彦青², 薛晓飞², 庞洪涛², 郭媛媛², 李 朋²,
曹效鑫²

(1. 清华大学 环境学院, 北京 100084; 2. 信开水环境投资有限公司, 北京 101101)

摘 要: 北京碧水下沉式再生水厂作为北京城市副中心水环境治理的核心项目,采取 PPP 模式,在原地上厂厂址内新建一座全封闭下沉式再生水厂,占地面积仅为原厂的 1/3。在改造过程中,原厂仍可实现正常运行并保证出水达标排放。新建碧水下沉式再生水厂处理规模由原 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 提升至 $18 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,采用多级 AO 工艺、双层矩形平流沉淀池、高效沉淀+超滤深度处理、污泥低温风冷干化及高效生物除臭等先进处理技术,出水水质由《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 B 标准提升至北京市地方标准《城镇污水处理厂水污染物排放标准》(DB 11/890—2012)的 B 级标准。同时,该厂结合地上景观与市政设施的建设,打造集水质净化、生态景观、休闲运动和科普教育于一体的城市生态综合体。

关键词: 下沉式再生水厂; 生态综合体; 污泥低温干化; 生物除臭

中图分类号: X703 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2017)10-0054-05

Upgrading Project of Bishui Underground Wastewater Treatment Plant and Ecological Complex Construction

HOU Feng^{1,2}, WANG Kai-jun¹, SHAO Yan-qing², XUE Xiao-fei², PANG Hong-tao²,
GUO Yuan-yuan², LI Peng², CAO Xiao-xin²

(1. School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. Xinkai Water Environmental Investment Co. Ltd., Beijing 101101, China)

Abstract: As the core project of water environment improvement in Beijing sub-civic center, Bishui underground wastewater treatment plant was built through public-private partnership model, which located in the original plant and covered 1/3 area of original plant. During the upgrading construction period, the performance of the original wastewater treatment plant was kept stable and the effluent quality could meet the emission standard requirements. The treatment capacity of the new underground plant was improved from $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ to $18 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$. The combination treatment processes were adopted in the new underground plant, including multi level A/O process, double rectangular-horizontal flow sedimentation tank, high-efficiency settling tank, UF advanced treatment unit, low temperature sludge drying and biological deodorization technology. The requirement of effluent quality standard was upgraded from first grade B standard of *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918-2002) to B standard of Beijing *Discharge Standard of Water Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (DB 11/890-2012). Urban ecological complex was constructed by the Bishui underground wastewater treatment plant together with the ground landscape and municipal facilities. In the ur-

ban ecological complex, the wastewater treatment, ecological landscape, recreational activity and popular science bases were built into an integral circle.

Key words: underground wastewater treatment plant; ecological complex; low temperature sludge drying; biological deodorization

1 工程背景

1.1 碧水污水处理厂现状

北京碧水污水处理厂建于 2002 年,位于城市副中心通州区内,采用地上建筑形式,距副中心核心区仅 2.2 km,是区内最大的污水处理厂,服务人口为 70 万人,承担着通州区 84% 的污水处理任务。该厂采用美国深池曝气污水处理技术^[1],存在占地面积大、动力费用高等缺陷。全厂占地面积为 23 hm²,设计处理规模为 10 × 10⁴ m³/d,设计出水标准为《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 B 标准。

随着城市发展,该污水处理厂的 实际处理水量逐渐上升,与此同时,北京市污水处理厂排放标准也日益严格,碧水污水处理厂的处理规模与出水水质已远不能满足城市副中心对环境质量提升与高品质再生水利用的需求。同时,臭气、噪声等问题严重影响着周边居民正常生活,也限制了周边区域的发展,因此,碧水污水处理厂的提标改造与扩建工作迫在眉睫。

1.2 碧水再生水厂升级改造工程

碧水再生水厂升级改造工程采用 PPP 模式,结合现状污水量及未来污水产量预测结果,提标扩容后的碧水再生水厂处理规模从 10 × 10⁴ m³/d 增加至 18 × 10⁴ m³/d,出水排放标准从《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 B 标准提升至北京市地方标准《城镇污水处理厂水污染物排放标准》(DB 11/890—2012) B 级标准。

由于原有碧水污水处理厂已处于城市建成区内,周边无可预留用地,因此升级改造工程需在原厂址进行,同时还需保证改造过程中原厂正常运行且出水稳定达标排放。为满足上述要求,改造后的碧水再生水厂采用下沉式形式,占地仅 7.3 hm²,约为原厂的 1/3。

改造过程中,原碧水污水处理厂通过生物强化、药剂投加等措施保证原厂出水稳定达标排放,在改造工程建设期间,原厂的平均处理水量为 10.7 × 10⁴ m³/d,其处理情况如表 1 所示。

表 1 改造工程建设期间原污水处理厂进、出水水质

Tab.1 Influent and effluent quality of original WWTP during the upgrading mg · L⁻¹

项 目	BOD ₅	COD	SS	TN	NH ₄ ⁺ - N	TP
进水水质	95.3	288.0	116	59.5	48	3
出水水质	14.8	46.9	12.3	14.8	2.8	0.8
排放标准	20	60	20	20	8	1

在原厂旁新建碧水下沉式再生水厂,历时仅 12 个月完成主体工程建设。本工程是国内同等规模实施难度最大、出水标准最高、建设速度最快的污水处理厂改扩建项目。新厂建成后,原厂即停止运行。改造前和改造中的碧水下沉式再生水厂如图 1 所示。

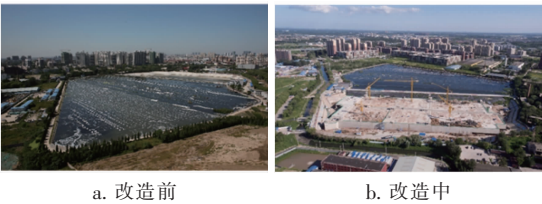


图 1 改造前和改造中的碧水下沉式再生水厂

Fig.1 Bishui underground wastewater treatment plant

该厂升级改造前、后主要指标的对比如表 2 所示。

表 2 升级改造前、后主要指标对比

Tab.2 Comparison of main indexes before and after upgrading

项 目	规模/ (m ³ · d ⁻¹)	占地/ hm ²	出水标准/(mg · L ⁻¹)		
			COD	氨氮	总磷
原厂(地上式)	10 × 10 ⁴	23	60	8	1.5
新厂(下沉式)	18 × 10 ⁴	7.3	30	1.5	0.3

碧水再生水厂主处理工艺采用三级 AO 工艺,深度处理采用高效沉淀 + 超滤 + 紫外消毒工艺,出水中 8 × 10⁴ m³/d 作为再生水回用,另外 10 × 10⁴ m³/d 作为河道补给水源。污泥处理采用低温风冷干化,污泥处理量为 200 t/d(含水率为 80%)。另外,该厂采用生物除臭技术,最大程度控制臭气排放,满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中大气污染物排放的一级标准。工艺流程如图 2 所示。

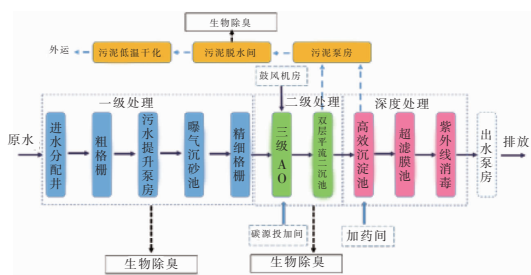


图2 工艺流程

Fig. 2 Process flow chart of Bishui WWP

2 升级改造工程设计

2.1 一级处理单元

粗格栅采用2台动轨式格栅除污机,渠宽为1 800 mm,渠高为9 450 mm,栅隙为15 mm。

提升泵房一座,分为2格,配备潜水排污泵6台(4用2备),单台泵流量为2 600 m³/h,扬程为140 kPa,功率为132 kW。

细格栅选用微孔细格栅机5套,渠宽为1 500 mm,渠高为2 500 mm,栅隙为3 mm。

曝气沉砂池2组,每组分2格,配置桥式吸砂机,平均停留时间为6.5 min。

精细格栅采用微孔细格栅机6套(5用1备),渠宽为1 400 mm,栅隙为1 mm。

2.2 二级处理单元

多级AO工艺,是指将原水分多段进入生物池内的缺氧区和好氧区,在第一段的缺氧区反硝化菌利用原水碳源将污泥回流液中的硝态氮还原,好氧区硝化菌进行硝化反应,反应后的混合液和部分进水进入第二段的缺氧区,后续各段反应功能同第一段^[2]。

碧水再生水厂采用三级AO工艺,设生化池4座,并联运行,总占地面积为4 960 m²,有效水深为8 m。进水流量分配比为4:3:3,总水力停留时间为14.8 h,污泥回流比为75%,硝化液回流比为0~100%。

曝气供氧配置空气悬浮鼓风机8台,其中6台风量为180 m³/min,功率为327 kW;2台风量为90 m³/min,功率为149 kW。

双层矩形沉淀池2座,每座分8格,单格宽为7.5 m,沉淀池总长为67.70 m,共2层,上层有效水深为3.7~4.34 m,下层有效水深为3.90 m。刮泥采用不锈钢金属链式刮泥机,排泥采用沉淀效果好的泥斗沉淀,液下泥泵排泥。双层式沉淀池通过加

深沉淀池的有效水深,大大缩短了池体的长度,从而减少了池体的占地面积^[3]。

2.3 深度处理单元

高效沉淀池共设4座,每座分为混合池、反应池和沉淀池。单座混合池尺寸为4.5 m×4.5 m×6 m,反应池尺寸为(8 m×5.9 m+12.5 m×1.9 m)×7.5 m,沉淀池尺寸为12.5 m×12.5 m,单池斜管区面积为121.25 m²。

在高效沉淀池后接浸没式超滤膜,共设置28组,工作通量为32.6 L/(m²·h)。设超滤产水抽吸泵26台,单台工作流量为334.8 m³/h,采用3台反洗水泵,反洗频率为1次/24 min。

紫外线消毒系统设消毒渠2条(7.85 m×2.04 m×1.60 m)。再生水输送泵3台(2用1备),单台流量为2 340 m³/h,扬程为290 kPa,功率为250 kW。尾水提升泵5台(3用1备,1冷备),单台流量为2.49×10⁴ m³/h,扬程为149 kPa,功率为125 kW。

2.4 污泥处理

依照18×10⁴ m³/d的污水处理规模,预计该厂绝干污泥产量(包括化学污泥、初沉污泥和生化剩余污泥)接近40 tDS/d。该厂配备5台一体化离心浓缩脱水机(4用1备),单台流量为53 m³/h,投加药剂为聚丙烯酰胺,湿污泥经机械浓缩脱水工艺脱水至含水率为80%。

该厂采用污泥低温干化技术对污泥进行进一步减量化处理。脱水后的污泥经泥饼输送泵(5套,单套Q=3 m³/h,H=2 MPa,N=30 kW)输送至污泥低温干化机(5台)干化至含水率为40%,后经刮板输送机至出料口。干化后的污泥可作为土壤改良剂、建材原料或进行协同焚烧发电。

2.5 生物除臭

污水处理过程中产生的臭气主要成分为氨、硫化氢、胺类和粪臭素等,会对周边环境产生严重的影响。在污水处理厂中,臭气的来源主要有污水预处理部分(格栅、提升泵房、沉砂池)和污泥处理部分(贮泥池、脱水间等)^[4]。

该厂采用了炭质填料生物除臭技术,共设置4套除臭塔。在预处理构筑物上方设置1套,尺寸为24 m×4.5 m×3.5 m,处理能力为3×10⁴ m³/h;污泥脱水间设置1套,尺寸为12.5 m×5.0 m×3.5 m,处理能力为2.2×10⁴ m³/h;生化池设置2套,单

套尺寸为 $20\text{ m} \times 4.5\text{ m} \times 3.5\text{ m}$, 处理能力为 $3.2 \times 10^4\text{ m}^3/\text{h}$ 。

3 生态综合体

生态综合体是由自然生态系统、人类系统、社会系统、居住系统和支撑系统五大要素,通过系统的组合构筑在一个特定区域的人居环境体系^[5]。在此体系中,突出强调了自然生态与人类生活的和谐统一。传统地上污水处理厂因臭味和噪声等问题,严重降低周边区域的利用价值,不符合城市生态综合体的理念。碧水下沉式再生水厂通过模式创新,将污水处理设施与地上生态环境有机结合,将污水厂的“负价值”转换为“正价值”,打造以下沉式再生水厂为核心的新型生态综合体。

3.1 生态综合体的建设原则

针对城市建成区内和建成区外的不同功能,下沉式再生水厂地上区域的功能设计也有所区别。城市建成区内再生水厂的地上部分应承接服务城市内部周边区域的功能,为周边居民和游客提供公共空间,强调其社区友好性,注重居住、商业与旅游区的互补和缝合,将其打造成集下沉式再生水厂、市政基础设施、商业街区、主题公园、相关科技展馆及公益体育于一体的综合体。

而城市建成区外下沉式再生水厂的地上部分,因地域面积相对较大,适宜打造为环境优美的湿地公园和素质拓展为主的景观,为居民及游客提供旅游场所的同时,还能够进一步提升水质。设计应强调与周边用地功能的和谐,充分利用当地环境优势,突出生态内涵;需构造公共景观空间和活动空间,让游人在行为与视觉上参与其中,乐在其中,同时应关注一定的经济效益。

3.2 碧水生态综合体的建设

碧水生态综合体区域北临梨园南街,西侧为临河里路,南侧为砖厂北街,东北至六环西辅路,综合总面积约 56.6 hm^2 ,其中心区域用于建设文化休闲区,周边区域用于建设人工湿地地区,具体如图 3 所示。文化休闲区包括儿童游乐区、运动休闲区、林下植物观赏区、疏林草坡休闲区和生态景观湖。在该休闲区建设水环境科技创新基地,集水环境科普教育、科技创新高地和成果转化平台于一体,在为北京市水环境治理提供科技支撑的同时,兼具市政基础设施等功能,与周边居住、工商业和旅游功能区实现互补。



图 3 碧水生态综合体效果图

Fig. 3 Design sketch of Bishui ecological complex

在休闲区的周边范围建设人工湿地地区:潜流湿地通过植物根系和填料层中生物膜的作用,有效去除水中的 COD、SS 和重金属等污染物;表流湿地与潜流湿地连通,在丰富地表景观的同时进一步提高了尾水深度净化程度。

碧水生态综合体的建设主要体现了物质循环、能量利用和信息传递(见图 4)。

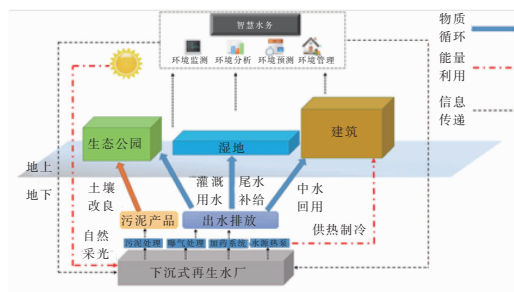


图 4 碧水生态综合体物质、能量及信息循环示意

Fig. 4 Schematic diagram of the matter, energy and information recycling of Bishui ecological complex

① 物质循环

碧水再生水厂再生水产量为 $8 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,可供厂区及地上建筑使用;另外 $10 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 作为河道补给水源,其中潜流湿地过滤 $5 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$, $2 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 可用于湖区补水, $3 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 可用于政府景观用水。同时,根据海绵城市理念,生态综合体总面积全部作为城市生态蓄水排洪湿地,用于缓解城市短时间积水问题。另外,碧水下沉式再生水厂产生的污泥经无害化、稳定化处理,可作为园林土壤改良剂等进行资源化利用,这充分体现了水与污泥在生态综合体中的循环利用。

② 能量利用

碧水下沉式再生水厂采用水源热泵技术,不仅满足厂区内的制冷与采暖需求,还可为地上建筑供给能量,实现了生态综合体中能量的循环。同时,通过合理设计充分利用自然采光,可节省厂区照明用电。

③ 信息传递

在该区域建设环境物联网,根据人类活动和自然变化制定应急机制,通过调控厂内各处理系统进而调整污水处理量、尾水补给量、中水回用量等指标,实现信息的传递互联。

4 结语

北京碧水下沉式再生水厂作为首都城市副中心最大的污水处理厂,采用三级AO工艺、双层矩形平流沉淀池、污泥低温干化及生物除臭技术等先进处理工艺,处理出水达到北京市地方标准《城镇污水处理厂水污染物排放标准》(DB 11/890—2012)B级标准。在具备传统污水处理功能的基础上,碧水下沉式再生水厂同时解决了占地、臭气、噪声等问题,结合地上构筑物,建设城市生态综合体,真正实现环境友好型、土地节约型、资源利用型城市新型污水处理厂,充分体现绿色环保理念,成为京津冀地区下沉式污水处理厂精品项目。

参考文献:

- [1] 姚斌. 宁夏南部山区小城镇生活污水处理模式研究[J]. 中小企业管理与科技, 2010, (10): 229-230.
- [2] 葛士建, 彭永臻. 连续流分段进水工艺生物脱氮除磷技术分析及优化控制[J]. 环境科学学报, 2009, 29(12): 2465-2470.
- [3] 王学福, 齐敦哲, 朱寅春, 等. 双层平流沉淀池的设计

与应用[J]. 净水技术, 2013, 32(1): 83-86.

- [4] 白海龙, 马小杰, 章彧. 上海竹园第二污水处理厂除臭工程设计[J]. 中国市政工程, 2009, (6): 38-40.
- [5] 刘淑勤, 蒲晓芳. 生态综合体 划时代的绿色城市城镇[J]. 公共世界, 2005, (9): 47-48.



作者简介:侯锋(1961—), 男, 陕西安康人, 研究员, 现任中国水环境集团董事长, 国家发改委、财政部、住建部、环保部等部委特聘环境专家, 国家城市污水处理及资源化工程技术研究中心主任, 北京市再生水水质安全保障工程技术研究中心主任, 获得第二、第三届中国两弹元勋邓稼先青年科技奖; 中国环境科学学会第五、第六届优秀环境科技工作者奖; 中国环境科学学会科普创新奖先进个人等。主要从事污水处理及流域治理的技术研发、工程项目设计、建设和投资工作。主持BOT、TOT、PPP等模式规划、设计、投资、建设、运营的水环境治理项目200余项。

E-mail: hf@citicwater.com

收稿日期: 2016-12-30

保护植被, 涵养水源, 防治水土流失