

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.12.019

全过程应用BIM技术的改良AAO工艺大型污水厂的设计

李璐¹, 潘名宾¹, 龙程理¹, 都雪晨¹, 杨墨^{1,2}

(1. 中国市政工程中南设计研究总院有限公司, 湖北 武汉 430010; 2. 哈尔滨工业大学 环境学院, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要: 武汉市某远城区污水处理厂规划控制规模为 $45 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 一期工程规模为 $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 设计出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准。污水处理采用改良AAO+高效澄清池+纤维转盘滤池+二氧化氯消毒工艺, 污泥处理采用机械深度脱水工艺。从2019年9月—2020年1月运行数据看, 处理效果较好, 出水水质稳定且优于设计值。该污水处理厂全过程应用BIM技术并搭建智慧管控一体化平台。工程设计总投资约为3.70亿元, 总成本及经营成本分别为1.20及0.83元/ m^3 。

关键词: 污水处理厂; BIM技术; 改良AAO

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2020)12-0101-05

Design of Large Scale Wastewater Plant with Improved AAO Process Using BIM Technology in the Whole Process

LI Lu¹, PAN Ming-bin¹, LONG Cheng-li¹, DU Xue-chen¹, YANG Mo^{1,2}

(1. Central and Southern China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Wuhan 430010, China; 2. School of Environment, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

Abstract: The planned treatment scale of a wastewater treatment plant in a remote urban area of Wuhan City was $45 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, and the scale of the first phase project was $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$. The designed effluent quality was required in accordance with first class A standard of *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918-2002). The process of improved AAO + high efficiency clarifier + fiber rotary filter + chlorine dioxide disinfection was adopted for wastewater treatment. The process of mechanical deep-dewatering was adopted for sludge treatment. From the operation data of September 2019 to January 2020, the treatment performance was good, the effluent quality was stable and better than the design value. The wastewater treatment plant had the characteristics of applying BIM technology in the whole process and building a smart integrated management and control platform. The total investment of the project was about 370 million yuan, and the total cost and operation cost were 1.20 yuan/ m^3 and 0.83 yuan/ m^3 respectively.

Key words: wastewater treatment plant; BIM technology; improved AAO

1 工程概况

武汉市某远城区新建污水处理厂规划控制规模为 $45 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 一期工程规模为 $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 设计出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准。污水二级处理

采用改良AAO工艺, 深度处理采用高效澄清池+纤维转盘滤池工艺, 出水采用二氧化氯消毒工艺。污泥处理处置工艺采用重力浓缩+机械深度脱水至含水率60%以下, 脱水后污泥由华新环境工程有限公司接收并处置。

2 工程总体设计

2.1 设计规模

根据武汉市及该远城区相关污水规划,该污水处理厂远期规划服务面积为 126.10 km^2 ,服务人口为 78.96 万人,其中一期工程规划服务面积为 37.88 km^2 ,服务人口为 45.56 万人。

设计采用两种方法预测规划水量:一是采用人均综合用水量指标法,得出远期污水量约为 $33.07 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,一期污水量约为 $12.85 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$;二是采用单位建设用地综合用水量指标法,得出远期污水量约为 $55.87 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,一期污水量约为 $15.26 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。经综合比较,结合规划、该远城区未来发展的不确定性及分期建设的合理性,取两种预测结果的平均值,即远期规划控制规模为 $45 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,一期工程建设规模为 $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

2.2 设计水质

该远城区其他污水处理厂实际进水水质如表 1 所示,武汉市大部分污水处理厂设计进水水质如表 2 所示。本工程最终确定的设计进、出水水质如表 3 所示,尾水通过专用管道排入长江,出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准。

表 1 该远城区其他污水处理厂实际进水水质

Tab. 1 Actual influent quality of other WWTPs in the remote urban area

保证 概率	COD/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	BOD ₅ / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	SS/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	NH ₃ -N/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	TP/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
0.85	144	72.42	126	22.29	3.36
0.90	146	73.10	147	22.88	3.43
0.95	147.5	73.70	148	24.20	3.53

表 2 武汉市城市污水处理厂设计进水水质

Tab. 2 Design influent quality of Wuhan WWTPs

项目	COD	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TN	TP
浓度	200~350	120~180	160~250	25~35	30~45	3~5

表 3 设计进、出水水质

Tab. 3 Design influent and effluent quality

项目	COD	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TN	TP
进水	500	180	280	35	45	4
出水	50	10	10	5(8)	15	0.5

该远城区污水处理厂规划控制总用地面积为 26.8901 hm^2 ,一期工程用地面积为 8.9755 hm^2 。

2.3 工艺流程

污水处理选用应用广泛、成熟可靠、运行费用较低、运行管理简单的改良 AAO + 深度处理工艺;污泥深度脱水至含水率 60% 以下后作为建材利用(水泥窑协同处置);除臭选用占地面积小、无需添加任何物质、适应性强且运行成本较低的离子除臭工艺。主要工艺流程见图 1。

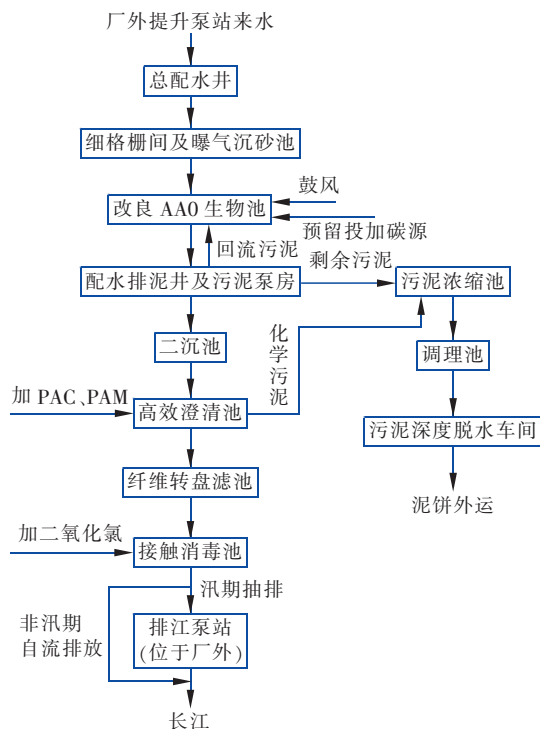


图 1 污水厂工艺流程

Fig. 1 Flow chart of WWTP

3 工艺设计参数

3.1 污水处理系统

① 改良 AAO 生物池

共设 1 座,分 2 格,总平面尺寸为 $134.9 \text{ m} \times 122.5 \text{ m}$,总池深为 7.00 m ,有效水深为 6.0 m 。生物池总停留时间为 15.0 h (其中预缺氧区 0.5 h 、厌氧区 1.5 h 、缺氧区 5.1 h 、好氧区 7.9 h),内回流比 300% ,外回流比 100% ,气水比为 $5:1$ 。预缺氧区与厌氧区设双曲面立式搅拌器,缺氧区与好氧区设潜水推流器,好氧区向缺氧区设混合液内回流泵。

② 二沉池

共设 4 座周进周出二沉池,单座内径为 48.0 m ,池内水深为 4.6 m ,超高 0.5 m ,最大流量时表面负荷为 $1.12 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,总水力停留时间为 4.1 h 。池内采用中心传动双管吸泥机排泥。

③ 高效澄清池

共设两座高效澄清池,每座分 2 格,每格可单独运行。单座总池长为 34.20 m,宽为 26.30 m,池内水深为 6.75~6.60 m,总高为 7.00~7.35 m。

高效澄清池主要由混合区、反应区、推流区及沉淀区组成。混合区水力停留时间为 1.46 min,每格设 2 级立式混合搅拌器;反应区水力停留时间为 8.05 min,每格设 1 台反应搅拌器,直径为 3.00 m,配套设置导流筒;推流区水力停留时间为 3.25 min;沉淀区有效沉淀面积为 472 m²,斜管区上升流速为 13.2 m/h,每格设 1 台刮泥机,直径为 13.80 m。采用污泥螺杆泵进行排泥和污泥回流,污泥回流比为 2%~4%。

④ 纤维转盘滤池

设纤维转盘滤池 1 座,分 3 格,每格处理规模为 5×10^4 m³/d。滤池平面尺寸为 21.10 m × 15.20 m,池深为 4.70 m,水深为 3.49 m。每格滤池配置 1 台可调节的驱动装置。滤盘直径为 3 m,每个滤盘过滤面积为 12.6 m²,每格滤池设 20 片滤盘,过滤面积为 252 m²,滤池总过滤面积为 756 m²。平均流量时滤速为 8.3 m/h,最大流量时滤速为 10.8 m/h。

滤盘采用滤后水冲洗,共设反冲洗泵 12 台,根据设定的时间和滤池运行液位控制反洗。过滤转盘下设有斗形池底,通过池底穿孔排泥管将污泥排放至厂区排水系统,排泥间隔时间及排泥历时可调。

⑤ 接触消毒池及巴氏计量槽

接触消毒池与巴氏计量槽合建,共设 1 座。接触消毒池分 2 格,单格有效容积约 2 090 m³,平面尺寸为 48.05 m × 10.30 m,有效水深为 5.0 m,最大流量时消毒接触时间为 30.9 min,平均流量时接触时间为 40.1 min。巴氏计量槽平面尺寸为 36.25 m × 2.40 m,喉道宽为 1.50 m,设置于接触消毒池上部。

⑥ 加药间

加药间建筑面积为 555.68 m²。

二氧化氯投加量为 6~15 mg/L,选用 6 台二氧化氯发生器(5 用 1 备),单台能力为 20 kg/h,平均每天二氧化氯投加量为 1 800 kg。

PAC 液体投加量为 30~120 mg/L,采用隔膜式计量泵,高效澄清池加药泵共设 6 台(4 用 2 备);浓缩池上清液除磷加药泵共设 2 台(1 用 1 备)。

PAM 投加量为 0.5~1.0 mg/L,采用 2 套 PAM 配制装置,单台 6 kg/h。采用螺杆计量泵投加,共设

6 台(4 用 2 备)。每年耗药量为 27.375 t。

3.2 污泥处理系统

① 污泥浓缩池

污泥浓缩池 2 座,单座内径为 20 m,有效水深为 4.50 m,池总深度(排泥斗至池面)为 7.20 m,池内安装垂架式中心传动浓缩刮泥机。污泥固体负荷为 39.8 kg/(m²·d)。

② 调理池

调理池 1 座,分 3 格,单格尺寸为 5.50 m × 5.50 m × 4.50 m,单格设 1 台变频调速立式搅拌机。

③ 污泥深度脱水车间

污泥深度脱水车间建筑面积约为 2 231 m²,分为两层,包括污泥脱水间、设备间、泵房间、加药间等。设计绝干污泥量约为 25 t/d,出泥含水率不高于 60%。设置 3 台板框式压滤机,单台过滤面积为 600 m²,配套设置高低压进料泵、冲洗设备、压榨设备、加药设备、空压机、储气罐等。

④ 除磷池

除磷池的作用是将浓缩池上清液中释放的磷通过化学沉淀去除,避免再返回到污水处理构筑物中。产生的化学污泥通过污泥泵送至污泥浓缩池进行处理。

除磷池 1 座,尺寸为 15.25 m × 8.05 m × 6.10 m,反应沉淀区有效容积为 183.75 m³(有效水深以 2.5 m 计)。除磷池前端配置 2 台混合搅拌机。除磷池排泥区内设 2 台污泥泵(1 用 1 备),排泥接入污泥浓缩池。

3.3 除臭系统设计

共设 5 套离子除臭设备,总处理量为 106 000 m³/h。

总配水井及南侧生物池预缺氧区、厌氧区、缺氧区合用 1 套离子除臭装置,处理量为 30 000 m³/h;细格栅间、曝气沉砂池及北侧生物池预缺氧区、厌氧区、缺氧区合用 1 套离子除臭装置,处理量为 25 000 m³/h;重力浓缩池设 1 套离子除臭装置,处理量为 6 000 m³/h;调理池、污泥深度脱水车间设 2 套离子除臭装置,处理量为 45 000 m³/h。

4 实际运行情况

2019 年 9 月—2020 年 1 月日均进水量约为 14.3×10^4 m³,月平均进、出水水质见表 4。可见,运行期间存在实际进水水质超过设计值的情况,但出水水质仍稳定达标。

表4 实际进、出水水质

Tab.4 Actual influent and effluent quality

 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项 目	COD		TP		TN		氨氮		BOD ₅		SS	
	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水
2019年9月	240	8	4.5	0.3	24	7	10.5	0.6	178	3	302	6
2019年10月	265	5	4.9	0.3	22	8	11.2	0.4	134	3	288	8
2019年11月	349	9	3.6	0.2	27	7	16.1	0.5	202	3	356	5
2019年12月	322	12	2.8	0.2	25	7	13.4	0.3	214	2	320	5
2020年1月	232	13	2.5	0.3	24	7	12.7	0.8	180	1	245	4

5 BIM技术在全过程中的应用

项目在设计、施工、运维阶段,采用BIM技术,实现数据信息的全过程传递(见图2)。

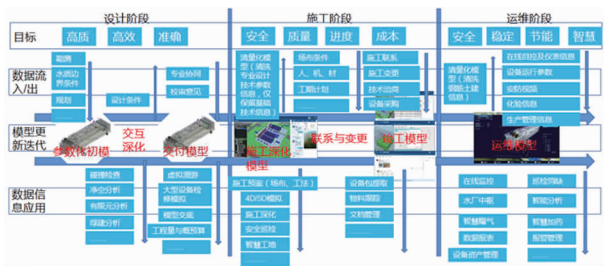


图2 BIM技术在全过程中的应用

Fig.2 Application of BIM technology in the whole process

设计阶段,利用BIM技术实现专业间的高效协同交互,通过碰撞检查、净空分析、绿建分析、有限元分析等完成BIM设计,设计理念得到三维再现。通过虚拟漫游、大型设备检修模拟对设计成果进行检查,实现更加合理的设计(见图3)。

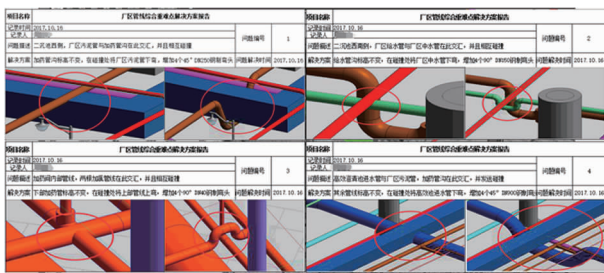


图3 设计阶段BIM碰撞检查应用

Fig.3 BIM collision check application in design stage

设计意图清晰表达,传递给施工,施工通过BIM模型快速理解设计意图,并利用BIM模型数据组织厂区布置方案模拟、施工工法推演、脚手架搭建、支模模拟等施工应用,从安全、质量、工期、投资上实现精细化管理。

项目竣工后,将竣工模型作为数据资产交付运维,运维基于BIM模型搭建管控一体化平台(见图

4),通过BIM技术与污水厂业务相融合,派生巡检、设备维修、在线监控等功能模块,实现生产、资产的精细化管控。



图4 运维阶段BIM平台应用

Fig.4 BIM platform application in operation and maintenance stage

6 工程设计特点

① 全过程应用BIM技术

该工程为国内首个设计、施工、运维全过程应用BIM技术的非地理式污水处理厂。设计阶段采用BIM技术进行正向设计探索,通过全厂BIM协同设计建模,实现全厂零碰撞^[1]。施工阶段通过BIM模型准确传达设计意图,实现智慧工地现场应用,提高建设效率^[2]。运维阶段基于BIM技术搭建智慧污水厂管控一体化平台,包括智慧生产系统、智慧生产管理系统、智慧设备维护系统及智慧安防系统等功能模块,其中智慧生产系统实现现场少人值守;智慧生产管理系统达到全厂保质、保量、安全生产的目标;智慧设备维护系统自动制定设备维护、检修计划,规范维护工作;智慧安防系统建立全面、立体的安保系统,规范人员的活动,保证生产及人员安全。

② 灵活建设多种海绵化设施

厂区设计秉承海绵城市建设理念,灰绿结合,设置了植草沟、下凹式绿地、透水铺装、景观蓄水池等多种海绵化设施,对雨水进行源头削减,下渗,调蓄,

减小外排流量,控制径流污染,还保留利用天然水塘对厂区雨水进行调蓄,例如,对厂区部分雨水收集、净化、调蓄后汇入厂区南侧围墙外一座天然湿塘,最终通过明沟排入附近水体中,最大限度地减少污水处理厂建设对周边生态环境的影响。

③ 积极利用再生能源,节能降耗

充分利用进厂水头及厂区地形标高,厂内不设进水提升泵房及中间提升泵房,并实现尾水长距离自流排放。

厂区设置再生水系统,回用规模达 $6\,000\text{ m}^3/\text{d}$,用于冲洗、加药、浇洒道路、绿化、洗车等。

厂区建(构)筑物屋顶、池顶采用光伏发电,优先用于厂区供电系统,平均每天节电约 $426\text{ kW}\cdot\text{h}$ 。

综合楼空调系统及热水系统采用污水源热泵系统进行交换,平均每年节电约 $38\,045\text{ kW}\cdot\text{h}$,比传统方式节电 14%。

④ 采用板条式橡胶膜微孔曝气器

本工程为湖北省首个采用节能新设备——板条式橡胶膜微孔曝气器的污水处理厂。该技术将传统的直升式曝气状态变为气帘式回流混合曝气形态,曝气更充分,曝气效率提高 20% 左右。

⑤ 采用强夯地基处理

因厂区地势起伏较大,总填方量约 $26\times 10^4\text{ m}^3$,大面积为填方区域,经充分论证后厂区地基采用强夯处理,有效解决了大面积填方的问题;同时强夯地基处理设计考虑现场土源、施工季节的影响,采取多种有效措施保证施工质量,大大节省了工程投资。本项目是武汉市首个采用强夯地基处理设计的污水处理厂。

⑥ 结构设计先进可靠

4 座 48 m 直径圆形二沉池采用无粘结预应力薄壁结构,有效解决了大直径圆形水池环向拉力大、水池容易开裂的问题^[3]。

7 技术经济指标

该污水处理厂一期工程建设规模为 $15\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,工程总投资为 37 041.05 万元(不含征地及青苗补偿费),其中工程费用为 28 753.56 万元。运行总成本为 1.20 元/ m^3 ,经营成本为 0.83 元/ m^3 。

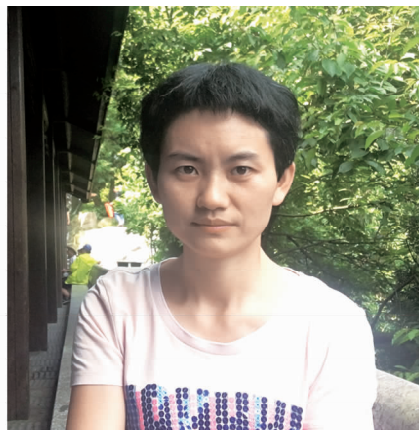
8 结语

武汉市某远城区污水处理厂一期工程采用改良 AAO + 高效澄清池 + 纤维转盘处理工艺,出水水质

达到一级 A 标准。该工程彻底改变了污水尾水入湖的现状,实现了区域污水的全覆盖、全收集、全处理的规划目标,有效保护了区域内湖泊及长江生态环境,为长江大保护作出贡献。

参考文献:

- [1] 王彦祥,何琴,颜炳魁. 市政综合项目设计阶段 BIM 应用的探索与实践[J]. 中国给水排水,2018,34(12):69-73.
Wang Yanxiang, He Qin, Yan Bingkui. Exploration and practice of BIM for municipal comprehensive project design[J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(12): 69-73 (in Chinese).
- [2] 王彦祥,何琴,颜炳魁. BIM 在市政 EPC 项目实施全过程中的应用与实践[J]. 中国给水排水,2018,34(14):46-49.
Wang Yanxiang, He Qin, Yan Bingkui. Application and exploration of BIM in municipal EPC project[J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(12): 46-49 (in Chinese).
- [3] 柯海鹏. 无粘结预应力技术在圆形水池施工中的应用[J]. 中国给水排水,2019,35(24):115-117.
Ke Haipeng. Application of unbonded prestressing technology in circular tank [J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(24): 115-117 (in Chinese).



作者简介:李璐(1984—),女,湖北应城人,硕士,高级工程师,注册公用设备工程师(给排水),注册咨询(投资)工程师,主要从事市政给排水工程的设计与研究工作。

E-mail:16575854@qq.com

收稿日期:2020-02-08