

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2023.07.043

装配式混凝土结构在竹园污水处理厂 四期工程建设中的应用

李明杰

(上海城投水务工程项目管理有限公司, 上海市 201103)

摘要: 竹园污水处理厂四期工程为新建 120 万 m³/d 的污水处理设施及配套污泥设施, 工程分为 50 万 m³/d 和 70 万 m³/d 两个厂区, 为达到提高工程质量、缩短工期、减少环境影响等工程目标, 同时突出技术创新的目的, 工程中两个厂区生物反应池的缺氧区段采用了不同形式的预制装配技术。对工程中不同形式的预制装配技术进行介绍, 并利用 BIM 技术对预制装配式结构从设计到施工进行全过程模拟, 从工程的运输、吊装、受力体系以及功效等方面分析其优劣, 总结预制装配式结构与现浇结构之间以及不同装配式结构之间的差异。期望通过竹园污水四期工程中装配式混凝土结构的实施, 为我国污水处理厂装配式技术提供技术积累和工程经验。

关键词: 水务工程; 预制装配技术; BIM 技术; 实施组织, 功效分析, 工程经验

中图分类号: X703

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)07-0183-03

0 引言

根据《国务院办公厅关于促进建筑业持续健康发展的意见》(国办发[2017]19号), 国家推进建筑产业化, 其中重要的一条就是推动建造方式创新, 大力发展装配式混凝土。目前, 预制装配式技术在建筑行业、交通行业已有了比较成熟的技术和应用, 但在水务工程中的应用主要集中在预制窨井、小型矩形预制拼装沉井等小型水池, 在大中型构筑物中极少用到, 且缺乏总结和推广的技术经验^[1]。因此, 开展预制装配式混凝土结构在水务工程中的应用及研究, 不仅符合国家建筑业健康发展和环保政策的需要, 也符合行业技术和安全管理不断探索和发展的要求。

竹园污水处理厂四期工程是上海市重大工程, 同时为《上海市水务局推进装配式技术水务工程应用三年行动计划(2021—2023年)》重点试点工程, 主要建设内容为新建 120 万 m³/d 的污水处理设施及配套污泥设施。工程建成后, 竹园污水处理片区规模达到 340 万 m³/d, 竹园污水处理厂将成为亚洲最大污水处理厂。因此, 在如此规模的污水厂站工程建

设中, 大规模、大体量地运用预制拼装技术, 对上海乃至全国水务工程预制装配式技术的发展具有极大的指导意义和推广作用。同时, 该工程采用 BIM 技术对预制拼装全过程进行了模拟, 对装配式混凝土构件的设计理念 and 施工方案进行了优化和完善, 实现了设计施工一体化、减少资源浪费、提高施工质量、控制工期的目标^[2]。本文通过对工程中装配式技术的构件形式、应用难点和需要解决的关键问题的分析介绍, 为我国水务行业的预制装配式技术发展提供一定的参考和借鉴。

1 预制方案

竹园污水处理厂四期工程中除了建筑物运用了预制装配技术, 在构筑物中的生物反应池缺氧区段也大量采用了预制装配技术。本次生物反应池采用了预制构件形式的主要为隔墙、梁、顶板及观察窗等结构。

竹园污水处理厂四期工程的污水处理设施分为 50 万 m³/d 污水厂区和 70 万 m³/d 污水厂区两块区域, 为展现不同预制方案的特点, 为后续预制拼装工程提供更为充分的设计、施工经验, 两块区域创新性地采用了不同的预制拼装技术, 并用过 BIM 技术对装配式混凝土结构进行预拼装。50 万 m³/d 污水厂区总预制面积为 14 000 m², 主要采用构件整体预制拼装技术(见图 1、图 2); 70 万 m³/d 污水厂区总预制面积为 19 200 m², 主要采用双面叠合墙 + 预制倒 T 型

收稿日期: 2023-01-17

基金项目: 上海市 2020 年度“科技创新行动计划”社会发展科技攻关项目(20dz1204601)

作者简介: 李明杰(1991—), 男, 硕士, 工程师, 从事工程项目管理工作。

叠合板的预制型式(见图3、图4)。具体的预制规模及构件型式见表1。

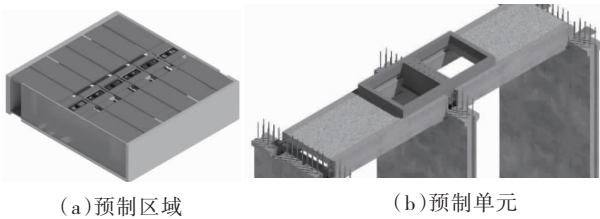


图1 50万 m³/d 污水厂区预制区域及预制单元示意图

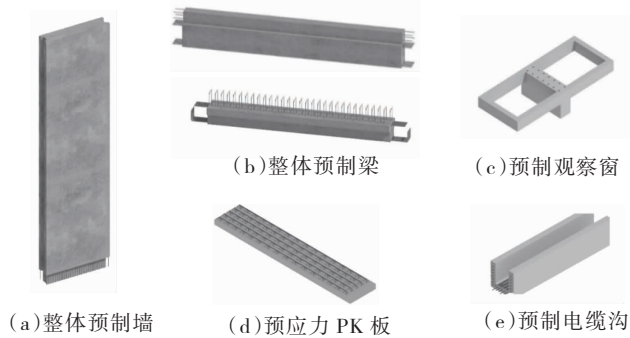


图2 50万 m³/d 污水厂区预制构件

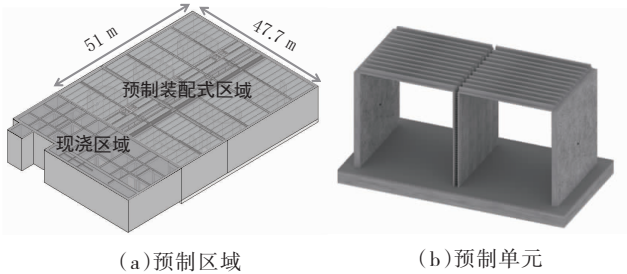


图3 70万 m³/d 污水厂区预制区域及预制单元示意图

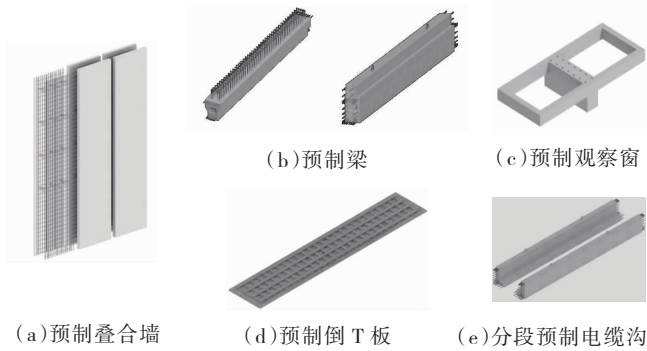


图4 70万 m³/d 污水厂区预制构件

表1 竹园污水处理厂四期工程预制规模及预制型式

厂区	预制方案	预制面积/m²	单个预制区域尺寸/m	预制区域/个	单个区域预制构件内容	单构件最大重量/t
50万 m³/d 污水厂区	整体预制构件	14 000	43.85 m × 78.56 m (约 3 445 m²)	4	预制墙 × 194 个、预制梁 × 84 个、预制板 × 300 个、观察窗 × 6 个	31(预制隔墙)
70万 m³/d 污水厂区	双面叠合墙 + 预制倒 T 型叠合板	19 200	47.7 m × 51.0 m (约 2 433 m²)	8	预制双面叠合墙 × 88 个、预制梁 × 37 个、预制倒 T 型叠合板 × 149 个、观察窗 × 3 个	9.54(预制倒 T 型叠合板)

浇湿接头部分采用超高性能混凝土(UHPC)。由于采用了整体预制结构形式,结构的整体性、刚度较好,吊装完成后浇湿接头部分的施工即可形成完整的受力体系,施工较为方便。后续完成顶板的整浇层,该

2 实施组织

2.1 运输及吊装

由于 50 万 m³/d 和 70 万 m³/d 污水厂区采取了不同的预制结构形式,故在该工程中有针对性地采取了不同的实施组织方案。

50 万 m³/d 污水厂区采用整体预制结构形式。由于生物反应池池体较大,预制拼装区域位于池体中间,且单个构件最重可达 31 t,一般的塔吊无法进行吊运就位,需为此寻找适合吊装的设备。为此,该工程在实施时,研发了 40 t+16 t 非标 ME 型全变频门式起重机。非标 ME 型门式起重机具有外形美观、结构紧凑、防摇摆、寸动微调、升降、吊运、精确定位等功能,能降低操作难度,解决吊运构件时因大幅度、长时间晃动而增加施工时长和碰撞的问题。但是,由于非标 ME 型门式起重机需要进行转场,因此无法实现构件的即到即吊。同时,由于施工现场场地的制约,预制构件堆场安排在基坑底板面上,在基坑边需设置供预制构件运输车停靠的钢平台,以便使用龙门吊对预制构件进行卸货。

70 万 m³/d 污水厂区采用双面叠合墙 + 预制倒 T 型叠合板预制结构形式。由于该方案实现了构件轻量化,最重的构件仅为 9.54 t,因此无需寻找特殊的设备进行吊装。工程实施时采用了 6 台 QTZ500 系列独立式塔机,由于塔吊数量较多,可以同时开展多个施工工作面的作业,可以实现构件的即到即吊,吊装工序施工周期较短,且可节约施工场地面积,缩小构件的堆场范围。

2.2 受力体系

50 万 m³/d 污水厂区的预制隔墙与现浇底板、预制隔墙与预制顶板、预制顶板与现浇墙、预制顶板与预制梁、预制顶板与现浇梁、预制梁与预制墙、预制梁与现浇墙,均采用预留插筋 + 后浇湿接头连接,后

整浇层对整个结构的受力体系不产生影响。图 5 为施工现场。

70 万 m³/d 污水厂区的中隔墙采用了双面叠合墙形式,虽然降低了构件的重量,但吊装完成后需对



(a)预制墙体临时支撑及安装 (b)预制墙体安装完成效果

图5 50万m³/d污水厂区施工现场

叠合墙腔内进行混凝土浇筑。由于叠合墙墙体高度较大,因此采用高抛法分两次进行浇筑,材料选用标号C35自密实混凝土。施工过程中进行多点往返浇筑,且浇筑时需严格控制浇筑速度,不宜过快;浇筑采用高频振捣棒,先低后高,呈梅花形充分振捣。该施工过程对施工质量要求较高,但施工过程中对振捣密实情况较难判断,故后期需通过预留的取样口取芯,进行质量检测。顶板采用了倒T叠合板,结构较为薄脆,吊装就位时需停稳慢放,防止板面损坏。后续需完成顶面的整浇层浇筑,方可完成完整的受力体系。图6为施工现场。



(a)叠合墙现场堆放 (b)叠合墙临时支撑及安装

图6 70万m³/d污水厂区施工现场

总体而言,50万m³/d污水厂区预制构件体量较大,对设备起吊能力要求较高,但后浇部分较少,施工迅速,结构体系形成较快,更为适合场地空旷的施工区域。70万m³/d污水厂区对预制构件进行了轻量化设计,对施工机械的限制较小,但现场后浇部分施工较为复杂,对施工要求较高,质量控制更为困难,对场地狭小、大型机械无法入场的施工区域具有较高的适应性。该工程根据不同施工场地的具体情况,巧妙应用了不同预制及配套施工方案,使工程得以顺利进行。

3 功效分析

竹园污水处理厂四期工程生物反应池除预制装

配式结构外,还有大量的现浇结构。根据现场实际功效分析,对两个污水厂区的预制区域和现浇区域在施工周期、人员投入及成本方面进行对比,对比数据见表2。

表2 竹园污水处理厂四期工程预制功效分析

厂区	施工区域	施工工期/d	单个区域施工人员/人	工程单价/(元·m ⁻³)
50万m ³ /d污水厂区	预制区域	295(-48)	34(-171)	5421(+2872)
	现浇区域	343	205	2550
70万m ³ /d污水厂区	预制区域	115(-45)	25(-60)	5188(+2728)
	现浇区域	160	85	2460

注:括号中的数值为预制区域相较现浇区域的对比数值,其中,“+”表示增加,“-”表示减少。

对项目现场施工情况及预制功效进行分析总结。传统现浇工艺对现场材料、人员及机械的投入大,施工周期长;现浇混凝土质量相对难控制;现场安全及文明施工管控面广,管理难度高;施工措施较多。预制拼装工艺中的预制构件大多在厂内生产,品质易控制;减少了大量现场湿作业,周材、人员的投入有了明显的减少,缩短了施工周期;大量的钢筋混凝土施工转移至构件厂,施工时减少了模板搭设及钢筋绑扎工作,很大程度上降低了现场安全及文明施工的管控难度。

总体而言,相较现浇工艺,预制拼装工艺的施工质量更易控制,施工效率得到了有效提高,人员投入得到合理控制。虽然预制拼装工艺的工程单价相对较高,但从质量把控、时间成本、安全文明施工、对环境和社会的影响等方面综合考虑,具有较高的现实及示范意义。

4 总结与思考

城市污水处理设施是城市正常运转的重要组成部分,是城市的生命线工程。在城市污水处理设施中采用预制装配技术是提高工程质量、缩短工期、节约工程造价和减少环境影响的有效方法。装配式建造具有标准化工业生产和集约化资源利用的基本特质,能够降低建筑材料用量和运输需求,减少碳排放,而且其工艺流程通过信息化技术的加持和赋能,具有深入挖掘和深度培育智能化技术体系的潜力和空间,与国家全局战略需求、社会长期发展趋势和行业技术突破方向都能高度契合^[3]。

竹园污水处理厂四期建设工程于2020年6月28日正式开工建设,2022年12月21日正式通水调试。在工程建设过程中,有计划地进行了多项科研工

(下转第201页)

- ulation model [J].Accident Analysis & Prevention,2019,129(2):211-224.
- [22] KUMAR A, PAUL M, GHOSH I. Analysis of pedestrian conflict with right-turning vehicles at signalized intersections in India[J].Journal of Transportation Engineering, Part A:Systems, 2019, 145(6):1-12.
- [23] WU J, RADWAN E, ABOU-SENNA H. Determination if VISSIM and SSAM could estimate pedestrian-vehicle conflicts at signalized intersections[J].Journal of Transportation Safety & Security, 2018, 10(6):572-585.
- [24] ZHENG L, SAYED T. From univariate to bivariate extreme value models: Approaches to integrate traffic conflict indicators for crash estimation[J].Transportation Research Part C:Emerging Technologies, 2019, 103(3):211-225.
- [25] 施晓蒙.行人交通流复杂运动特性与交互行为实验研究[D].南京:东南大学,2018.
- [26] JOHN N, IVAN M K, ZHANG Y, et al. A study of pedestrian compliance with traffic signals for exclusive and concurrent phasing[J].Accident Analysis & Prevention, 2017, 98:157-66.
- [27] 王雪元, 黄土琛.典型信号控制交叉口行人专用相位设置阈值研究[J].交通信息与安全, 2017, 35(4):69-75.
- [28] 董洁霜, 卞春, 王嘉文, 等.数据驱动的两相位信号控制交叉口行人专用相位动态设置方法[J].公路交通科技, 2020, 37(1):85-95.
- [29] 王嘉文, 陈超, 金杨, 等.考虑人车交互的两相位信号控制交叉口行人专用相位设置条件[J].公路交通科技, 2020, 37(1):96-103.
- [30] 李大林.基于激光雷达数据的行人探测方法研究[D].武汉:武汉大学, 2018.
- [31] LI H L, WU Z D, ZHANG J W. Pedestrian detection based on deep learning model [C]//9th International Congress on Image and Signal Processing, BioMedical Engineering and Informatics (CISP-BMEI), Datong:[s.n.], 2016:796-800.
- [32] 马丹, 裴玉龙, 田昆.基于文献计量分析的行人交通安全研究综述[J].中国安全科学学报, 2020, 30(8):101-108.
- [33] LI Yang, FAN Wei. Pedestrian injury severities in pedestrian-vehicle crashes and the partial proportional odds logit model:accounting for age difference[J].Transportation Research Record, 2019, 2673(5):731-746.
- [34] CHEN Zhen, FAN Wei. Modeling pedestrian injury severity in pedestrian-vehicle crashes in rural and urban areas:mixed logit model approach[J].Transportation Research Record, 2019, 2673(4):1023-1034.
- [35] XU Xuecai, XIE Siqi, WONG S C, et al. Severity of pedestrian injuries due to traffic crashes at signalized intersections in Hong Kong:a Bayesian spatial logit model [J].Journal of Advanced Transportation, 2016, 50(8):2015-2028.
- [36] JUNG S, QIN Xiao, OH C. Improving strategic policies for pedestrian safety enhancement using classification tree modeling [J].Transportation Research Part A-Policy and Practice, 2016, 85(5):53-64.
- [37] LEE J, ABDEL-ATY M, CAI Q, et al. Integrated modeling approach for non-motorized mode trips and fatal crashes in the framework of transportation safety planning [J].Transportation Research Record, 2018, 2672(32):49-60.
- [38] LEE J, ABDEL-ATY M, HUANG H, et al. Transportation safety planning approach for pedestrians:an integrated framework of modeling walking duration and pedestrian fatalities [J].Transportation Research Record, 2019, 2673(4):898-906.
- [39] OSAMA A, SAYED T. Macro-spatial approach for evaluating the impact of socio-economics, land use, built environment, and road facility on pedestrian safety[J].Canadian Journal of Civil Engineering, 2017, 44(12):1036-1044.
- [40] JIANG Ximiao, ABDEL-ATY M, HU Jia, et al. Investigating macro-level hotzone identification and variable importance using big data:a random forest models approach[J].Neurocomputing, 2016, 181:53-63.
- [41] TIWARI G. Progress in pedestrian safety research[J].International Journal of Injury Control and Safety Promotion, 2020, 27(1):35-43.

(上接第 185 页)

作,着重开展了污水处理构筑物预制装配化混凝土结构设计标准、施工质量控制标准和技术、验收标准,大型预制装配式结构的快速施工及质量控制技术,轻量预制化叠合结构体系及关键施工技术,智慧工地及数字化等相关内容的研究,形成了污水处理工程构筑物装配式混凝土结构设计、施工等技术标准,将形成水务厂站工程从设计施工到运维全寿命周期的技术体系,并进行了工程示范,通过技术体系及工程经验为城市重大基础设施和生命线工程的绿

色智慧化建造提供了技术支撑,全面提升了上海市水务工程构筑物预制装配式建筑施工技术。该工程完成后,也将为社会和环境带来巨大效益。

参考文献:

- [1] 柏寒阳,张美超,郭秋静,等.预制水池在大体积水池中的应用与研究[J].结构施工,2019,41(1):106-108.
- [2] 黎灿坤.基于 BIM 技术的预制装配式混凝土结构设计探讨[J].低碳世界,2021,11(5):180-181.
- [3] 叶耀先.大力发展装配式混凝土建筑的思考[J].建筑,2018(12):18-22.