

水质净化厂主体结构质量控制技术

王海涛, 杨勇

(中交一航局生态工程有限公司)

摘要:为解决茅洲河流域雨季水质达标问题,深圳市沙井水质净化厂三期工程采用半地下结构设计,处理污水 20 万 m^3/d 。针对工程地质复杂、池体防渗要求高、地铁下穿施工限制等质量管控难点,通过技术先行、工艺标准化、BIM 协同管理等综合措施优化施工质量。重点采用桩基动态监测、沉井姿态自动调控、大体积混凝土温差补偿等技术,攻克了淤泥质土中沉井倾斜、超长灌注桩垂直度控制等难题。实践表明,地基沉降偏差 $\leq 2\text{ mm}$,桩基 I 类率达 98%,池体满水试验合格率 100%,有效解决渗漏与裂缝问题,可为类似工程提供参考。

关键词:水质净化厂;微型桩;沉井;灌注桩;混凝土防裂抗渗

1 工程概况

深圳市沙井水质净化厂三期工程位于宝安区沙井街道帝堂路与锦绣路交叉口西南角的预留地上,占地面积 61 900 m^2 。沙井水质净化厂总服务面积约 84.2 km^2 ,其中包括珠江口流域 26.4 km^2 ,茅洲河流域 57.8 km^2 ,服务范围包括全部沙井街道、新桥街道及部分松岗街道。项目采用半地下式集约化设计,整体加盖形成城市公共空间,兼具生态性与功能性,为国内同类工程前列。

工程设计总规模 30 万 m^3/d ,一期建设 20 万 m^3/d ,采用半地下结构,设计使用年限 50 a,抗震设防烈度 7 度。工程主体工艺包括多段 AO 生物池、高密度沉淀池等,出水水质达地表 IV 类标准,污泥含水率 $\leq 40\%$ 。

2 质量管理难点

1) 地质复杂多变

施工区域原为蚝池改成的垃圾填埋场,建筑垃圾、淤泥质土分布不均匀,施工期内连续 3 个雨季,对 PHC 管桩桩位控制、水泥搅拌桩沉桩、灌注桩成孔、沉井下沉等方面施工影响很大。

2) 沉井下沉控制难度大

预沉砂池、粗格栅及提升泵房采取一体设计,采用沉井下沉方式施工,沉井尺寸 31.1 $\text{m}\times 28\text{ m}\times 28.3\text{ m}$ 。施工前对周边沉井下沉情况进行勘察,受地质影响,下沉后状态均存在不同程度的倾斜,给后续设备安装带来很多问题。

3) 支护结构质量控制难度大

沙井三期基坑支护采用水泥搅拌桩格栅墙支

护工艺,其中内外格栅桩均采用咬合形式,属于超过一定规模的危大工程,保证每根桩的成桩质量是保证支护结构安全的根本,也是最难环节,从试桩、过程控制、试验检测 3 个方面进行管理,确保格栅墙安全稳定。

4) 超长灌注桩成桩难度大

深度处理区受地铁下穿影响,PHC 管桩群桩基础变更为灌注桩门架结构,设计要求以桩端入中风化岩深度 1 m 为终孔标准。因此,灌注桩桩长最长 60 m,同时,灌注桩与地铁隧道外壁水平净距只有 0.7 m,灌注桩桩位和垂直度是满足共用需求根本保证。

5) 混凝土池体防裂抗渗要求高

水质净化厂主体多为池体结构,内部构造根据工艺要求复杂多样,池体混凝土裂缝控制就有明确的要求,确保池体无渗漏,需从商品混凝土配合比、搅拌、运输、振捣、膨胀剂、后浇带、养护等全方位进行控制,以达到既定目标。

6) 观感质量要求高

项目借鉴多个水厂的优秀做法,紧抓细节处理,提高整体观感水平。

3 质量管理措施

3.1 组织机构设置

结合公司要求及现场实际,设立 7 部 1 室 1 中心组织架构(图 1)。另为激励全员创新增效,特成立青年创新工作室。为尽快完成水厂系统调试,特成立调试小组。各组织机构均由专业人员组成,营造良好的质量提升环境。

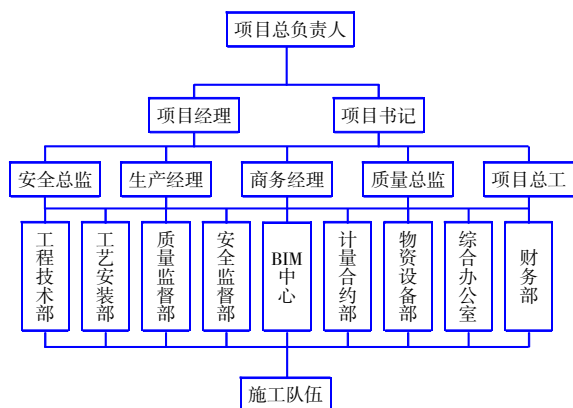


图1 组织机构图

3.2 质量策划先行

提前开展前期策划,编制《项目质量管理策划书》《创优策划》等文件,同时,不断完善项目管理制度,制定质量检验制度、质量例会制度、质量奖惩等28项管理制度,项目质量体系运行平稳。

3.3 技术准备先行

始终执行“技术先行、方案先行、交底先行”的技术管理路线,召开方案讨论会,确保技术措施可行、可靠。执行最严格的技术交底管理,新进场人员、跨年、工序质量不过关等情况发生时,采取交底或重新交底措施,确保技术交底全员覆盖。同时,采用BIM交底,创新交底模式。

3.4 工艺标准化

系统推行质量管理标准化,编制业务指导手册、标准化图册等文件,为现场质量控制提供有力保证。高度重视样板引路作用,每道工序开始前均要进行样板段施工,主体构件采用“实体+BIM+VR”模式进行样板引路,每个分项开工前均做样板段指导后续施工。

3.5 三检制+举牌验收

执行最严格的“三检制”,并辅助“举牌验收”,落实检验责任,做到质量验收可追溯。

3.6 BIM技术协同管理

通过BIM模型实现三维可视化交底,优化施工平面布置。开展碰撞检测桩基动态分析。研发的桩基管理系统集成三维地质模型与设计参数,实时监控桩基施工状态。

3.7 物资设备质量控制

基于EPC模式建立供应商名录,采用招标比选机制采购关键设备,实施驻厂监造与四方联合验收,确保设备参数与设计匹配。进场物资抽检

合格率达100%,设备调试一次通过率98%。

4 工艺质量控制

4.1 水泥搅拌桩格栅墙+微型桩支护工艺

基坑支护除粗格栅西侧为灌注桩+旋喷桩支护形式外,其他部位支护均采用水泥搅拌桩格栅墙+微型桩,地基处理采用单轴搅拌桩。单轴水泥搅拌桩桩径为600mm,三轴搅拌桩桩径为850mm,微型桩桩径为400mm,内插250mm工字钢。主要创优措施如下。

4.1.1 水泥搅拌桩

针对水泥搅拌桩质量控制,进行试桩试验,确保注浆量、搅拌时间、搅拌速度等参数符合设计要求。采用卧式自动制浆系统,自动控制制浆和出浆全过程,确保泥浆用量稳定输出。研发桩机调平控制装置,确保桩机钻杆垂直度。经过严格的水泥搅拌桩成桩质量控制,水泥搅拌桩抽芯检测合格率100%。

4.1.2 微型桩

根据反循环泥浆置换原理,确定微型桩成孔工艺。结合现场水泥搅拌机数量多、场地小、新进桩机无法展开等特点,研发短螺旋钻头成孔工艺,提高了成孔效率及质量。设置工字钢加工平台,工字钢连接采用夹板对接焊,保证工字钢水平顺直及焊口质量。泥浆密度控制在 $1.20\sim 1.25\text{g/cm}^3$,保证将经搅拌形成的土水混合物全部顶出孔口。通过改装搅拌桩机钻头进行微型桩施工,确保微型桩顺利完成的同时节省设备进出场费。

4.1.3 水泥搅拌桩与微型桩结合控制

微型桩与水泥搅拌桩之间和水泥搅拌桩之间均采取咬合措施,形成格栅墙状稳定结构。咬合的重点在定位上,采用全站仪放出端点位置,用尺量出每个桩的中心线,插入标志物定点。使用编号软件,在CAD图上导出坐标的同时完成桩位编号,快捷准确。

4.2 PHC管桩基础

除磁混凝高效沉淀池和滤布滤池(含紫外消毒池和加药间)采用 $\phi 1200\text{mm}$ 灌注桩门架式基础外,其他单体均采用 $\phi 400\text{mm}$ 的PHC管桩群桩基础,管桩共6112根。采用静压法和锤击法2种沉桩工艺,桩端穿透回填土、淤泥质土等软弱土层,进入残积层或全、强风化岩层。桩端采用锥形桩尖和桩身采用机械啮合接头,克服复杂地质影响。

管桩施工前,根据施工桩长在匹配的工程桩身上画出以米为单位的长度标记,并按从下至上的顺序标明桩的长度,以便观察桩入土深度并记录。送桩时采用送桩器,送桩器的轴线与桩身相吻合。送桩器上根据测定的局部地面标高,事先标出送桩深度,准确地将桩送至设计标高。经检测,桩基 I 类桩占比 98%,无 III、IV 类桩。

4.3 混凝土灌注桩基础

磁混凝高效沉淀池和滤布滤池(含紫外消毒池和加药间)采用 $\phi 1\ 200\ \text{mm}$ 灌注桩门架式基础,根据地质条件选用徐工 XRS-1050 型旋挖钻机进行旋挖法成孔施工,通过铺垫砖渣和钢板确保钻机稳定,采用 GPS-RTK 测量方法进行桩位定位以满足 24 h 作业需求。使用直径为 1.40 m、长 6 m 的临时钢护筒定位护壁,护筒顶部高出地面 30~50 cm,采用膨润土制拌护壁泥浆(相对密度 1.05~1.2,最长使用时间 $\leq 24\ \text{h}$),受场地限制采用外部制拌泥浆经封闭罐车运输至现场,并设置临时泥浆池周转使用。

混凝土浇筑采用水下导管法连续施工并超灌 0.5~1.0 m。为确保桩身垂直度不侵占地铁隧道,特加工直径 1.2 m、长 3 m 的钢筋笼式探孔器进行成孔垂直度检测,合格后下方放钢筋笼。钢筋笼采用场外 2 套滚笼机人工焊接成型,分 12 m 标准段与定制非标段,通过板车运输进场后采用全套筒连接工艺拼接。全过程严格管控,所有灌注桩检测合格且桩位精准。

4.4 基坑开挖

基坑开挖采取分层、分块开挖,逐段挂网喷锚支护的方式,有效控制基坑淤泥层变形和保护周边环境^[1]。采用长臂反铲,按 1:6~1:8 坡度开挖,减少开挖机具在淤泥层中对 PHC 管桩的侧向影响。设置截水沟、集水井,通过水泵将积水排出基坑,保证坑内干施工。

4.5 沉井下沉

沉井工程通过科学分层预制与精准控制技术实现高效施工。项目采用分 7 段预制、3 次下沉的工艺方案,首次下沉前完成 9 m(4.35 m+4.65 m)段预制,第 2、3 次分别完成 9.95 m(5.95 m+4 m)和 7.95 m(4.25 m+3.7 m)预制段施工,最终进行封底、隔墙等上部结构建造。针对地质条件,创新采用刃脚水泥搅拌桩加固技术,并配置双履带抓斗对称抓土配合高压水枪的协同作业体系。采用

项目自主研发沉井下沉自动监测系统(图 2),包括集成实时监控、姿态可视化、超限预警等功能,实现施工过程毫米级精度控制,最终沉井平面定位精度、垂直度等核心指标全面达标,为后续设备安装创造优质基础条件。



图 2 沉井下沉自动监测系统

4.6 钢筋工程

为保证钢筋加工质量,钢筋原材料进场及时见证送检,检验合格后方进场使用。采用一航局自主研发的“钢筋翻样及用料优化”插件,基于 BIM 模型进行钢筋翻样,生成钢筋下料单及用料优化料单,提高下料精度同时节约材料。 $\phi 16\ \text{mm}$ 以上钢筋连接均采用机械连接,引进机械接头自动化数控加工成套设备,实现上料、加工一体化,极大提高了加工质量。

为保证钢筋安装质量,钢筋安装前先在底胎上放样,逐一画出点位,然后按线绑扎,确保钢筋位置准确^[2]。采用在下层板筋上焊接定位托架的方式控制上层板筋标高,板筋平整、纵横顺直。墙筋每隔 5 排设竖向定位支架,支架采用拉结筋将里外钢筋网焊接而成。钢筋笼采用环形垫块,板体及墙体钢筋采用蝶形垫块做支垫,保证钢筋保护层符合要求。

4.7 模板工程

为保证模板质量,经过比选,板面全部采用 15 mm 厚黑色建筑模板,板后竖肋采用 50 mm \times 100 mm 木方长边立放,间距 400 mm 设置;横肋采用双 48 mm 圆钢管加 3 型扣件,备双螺母紧固工艺。采取预组拼成大片(一般根据模数 2~3 片用木枋连成一体)整体吊装工艺,板间粘贴泡沫止浆条止浆^[3]。采用三段式止水对拉螺杆连接里外片,模板间距控制较好,止水效果好。

模板支撑体系采用承插型销键式脚手架,经验证,支架强度、刚度、稳定性、变形量均满足支架体系要求。

4.8 大体积混凝土工程

为保证大体积混凝土施工质量,从源头控制商品混凝土质量,所有标号商品混凝土配合比均进行第三方验证,出具验证配合比后方可使用。针对不同商品混凝土站提供的混凝土存在色差问题,采取按单体分配商品混凝土站,确保同一单体无明显色差。合理进行分层、分段、分块施工,减少一次浇筑方量。

为改善混凝土的和易性,减少水泥用量及混凝土收缩开裂,选用缓凝型高效减水剂,并掺加F类Ⅱ级粉煤灰。同时掺加SY-G型膨胀剂补偿混凝土部分收缩。

合理设置后浇带,后浇带处预埋止水钢板,增加一层防水附加层。膨胀加强带施工缝使用钢板止水带止水。浇筑完成的混凝土采取覆盖土工布洒水养护,并在中间位置设置测温导线,安装电子测温仪测温,及时了解混凝土内外温差并调整养护方式。大体积混凝土养护时间不少于21 d。施工期间结构无有害裂缝,水池满水试验均合格,梁、板、柱观感评价均为好。

5 结语

沙井水质净化厂三期工程在复杂地质条件、

高环保标准及地铁下穿限制等多重挑战下,通过系统化的质量管理体系与技术创新,实现工程质量的全面提升。以“技术先行、工艺标准化、BIM协同管理”为核心,通过桩基动态监测系统精准控制沉桩垂直度与沉降偏差(偏差 ≤ 2 mm, I类桩率达98%),结合沉井姿态自动调控技术攻克了淤泥质土层中沉井倾斜难题,确保了超大型沉井平稳下沉。针对大体积混凝土裂缝控制,通过优化配合比、掺加膨胀剂、设置后浇带及智能化温控养护等措施,实现了池体结构零渗漏(满水试验合格率100%)与无有害裂缝目标。此外,通过BIM协同管理、工艺标准化及“三检制+举牌验收”等管理方法,显著提升了施工效率与质量可追溯性。工程获评深圳市优质工程金牛奖,形成的水质净化厂施工质量管理体系,可为类似水质净化厂及复杂地质条件下的市政工程提供参考。

参考文献:

- [1] 贺博文. 污水处理厂土建阶段的施工技术要点及质量控制[J]. 建材与装饰, 2024(16):7-9.
- [2] 万平,姜海华. 污水处理厂施工质量控制要点[J]. 江西煤炭科技, 2009(1):65-66.
- [3] 傅金融. 污水处理厂施工质量安全控制要点研究[J]. 建筑技术开发, 2020,47(9):136-137.