

DOI: 10.11779/CJGE2014S2043

深厚淤泥层中大型深基坑关键施工技术

张具寿, 曹 杨, 高云风, 王纯岩

(中国二十冶集团有限公司, 上海 201900)

摘 要: 介绍了在深厚淤泥层中采用地下连续墙加内支撑支护系统作为深基坑支护结构施工的成功经验, 并探讨在该地质条件下地下连续墙施工、降水、土方开挖所采取的一些关键技术措施。在施工中, 还采用了先进的监测技术及信息化技术, 确保基坑施工处于受控状态。其设计、施工经验对本地区深基坑施工具有一定的借鉴意义。

关键词: 深厚软土; 深基坑; 开挖; 变形控制

中图分类号: TU473

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2014)S2-0250-04

作者简介: 张具寿(1970-), 男, 高级工程师, 主要从事地基基础和深基坑工程技术管理工作。E-mail: mcc20sys@126.com。

Construction techniques for large deep foundation pits in deep silt layer

ZHANG Ju-shou, CAO Yang, GAO Yun-feng, WANG Chun-yan

(China Mcc20 Group Corp., Ltd., Shanghai 201900, China)

Abstract: The successful experience of diaphragm wall and internal bracing system for deep foundation pit in deep silt layer is introduced. Some technical measures for construction of diaphragm wall, dewatering and soil excavation are discussed. In the construction, the monitoring technology and advanced information technology are employed to ensure that the construction of the foundation pit is in a controlled state. The design and construction experience has certain reference meanings for the construction of deep foundation pits in the region.

Key words: deep soft soil; deep foundation pit; excavation; deformation control

1 工程概况

1.1 工程位置

横琴总部大厦坐落于横琴新区口岸服务区, 距离“一岛两制”、“内外辐射”聚焦点——横琴国家级口岸不足 400 m, 与澳门隔濠江相望, 东临澳门繁华新区, 北眺十字门中央商务区。横琴总部大厦(一期)为 T1 塔楼, 地下 3 层, 地上 33 层, 建筑高度 157.5 m; 二期为 T2 塔楼, 地下 3 层, 地上 106 层, 地面以上高度 470 m, 建成后为港珠澳地区的新兴地标性建筑。

1.2 地质、水文情况

横琴地区原始地貌单元为滨海平原地貌, 第四系淤泥层较为发育, 淤泥层较厚, 本工程地基土均属第四系河口—滨海相、滨海—浅海相沉积层, 基坑范围主要由淤泥、淤泥质粉质黏土、粉质黏土、中砂、砾砂组成。

场地地下水类型为赋存于冲填土与素填土中的上层滞水、赋存于砾砂中的潜水、赋存于花岗岩风化裂隙中的潜水, 其中赋存于砾砂中的潜水和赋存于花岗岩风化裂隙中的潜水具有微承压性, 场地稳定混合水

位在地面下 0.5~3.0 m 左右(黄海高程 0.28~2.55 m), 变化幅度 1.0 m 左右。

场地浅部第⑥层(砾砂)属承压含水层, 相对隔水层为第③层、第④层、第⑤, 根据勘察报告, ⑥层承压水水头高程在 -6.025~-9.662 m, 承压水水头 22.3~23.3 m, 承压水水头高, 压力大。

1.3 基坑工程简介

珠海横琴总部大厦(一期)基坑周长 478 m, 基坑面积达 13839 m², 支撑平面呈“品”状, 采用上部 3.6 m 放坡卸荷+下部地下连续墙+内支撑围护结构形式, 地下连续墙厚 1.00 m, 地下连续墙底标高为 -25.50 m、-30.5 m 和 -36.0 m, 地下连续墙设计顶标高为 -2.0 m, 自然地坪标高 +2.60 m, 地下连续墙共计约 84 幅, 裙房区域开挖深度为 13.50 m, 塔楼区域开挖深度 15.7 m, 局部电梯井深坑为 16.8~17.0 m。

基坑竖向设置二道钢筋混凝土支撑, 其中圆环支撑截面 ($B \times H$) 2500 mm × 1500 mm, 支撑立柱采用

灌注桩内部插钢格构柱, 栈桥区域灌注桩内插 $\Phi 630 \times 12$ 钢管桩, 坑底以下采用 $\Phi 1200$ 钻孔灌注桩, 桩长 30 m (其中栈桥区不少于 36 m), 坑底以上采用钢格构柱, 型号 4L160 \times 16, 宽度为 600 mm \times 600 mm, 插入灌注桩不小于 2.5 m (栈桥下不小于 3.5 m)。

基坑顶部按 1:1 自然放坡, 并喷射 80 mm 厚混凝土, 面层内配置 $\Phi 8@200 \times 200$ 钢筋网。北侧、西侧采用 $\Phi 500@400$ 水泥搅拌桩格栅式挡墙。基坑支护结构平面如图 1。

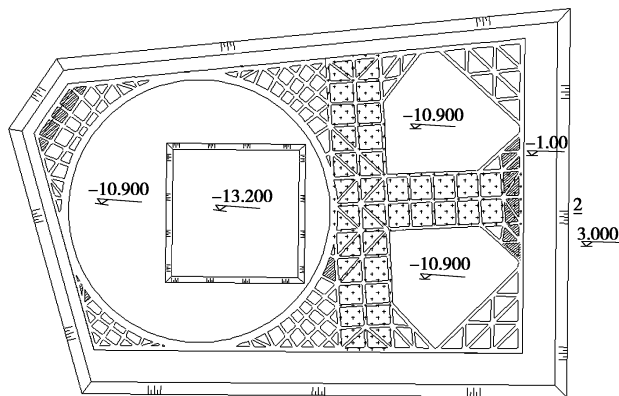


图 1 支护结构平面图

Fig. 1 Plan of foundation pit

1.4 工程特点

(1) 地质条件差, 基坑坑壁主要由新近沉积的软塑—流塑状淤泥或淤泥质粉质黏土组成, 淤泥厚度达 11.1~14.5 m, 平均厚度为 10.4 m 以上, 具有典型的“三高一低”特征, 即“高含水率、高孔隙比、高压缩性, 低强度”($f_{ak}=50$ kPa, $E_s=2.49$ MPa, $c=6$ kPa, $\varphi=4^\circ$, $w=55.5\%$) 的特性, 在基坑土方开挖及降水作用下, 易发生蠕变及固结沉降, 位移量大且持续时间长, 对基坑支护的稳定性和周边环境的稳定十分不利。

(2) 基坑周边环境复杂, 紧邻基坑北侧正在开挖施工的珠海横琴国贸大厦以及国开投资有限公司的美丽之冠梧桐大厦两个基坑, 二者围护壁距离本基坑地下连续墙最近仅 33.0 m, 且两基坑开挖引起的现有环境变化及其桩锚支护方式都无可避免地对本基坑产生不利影响, 因而基坑群施工相互干扰问题不容小觑, 需重点监控。

(3) 充分利用圆形钢筋混凝土具有明显的“拱效应”特性, 塔楼部位支撑体系设计为大直径圆环混凝土内支撑, 圆环直径达 84.90 m, 为塔楼主体先行施工创造了先机条件; 但是, 大直径支撑圆环对挖土分层、分块、均衡、对称开挖要求高, 同时对圆环支撑同心圆施工精度控制要求较高。

2 关键施工技术

2.1 地下连续墙施工

软弱土层槽壁防坍塌控制措施: 地下连续墙施工范围为软塑—流塑状淤泥, 平均厚度 10.4 m 以上, 淤泥层下分布厚层淤泥质粉质黏土, 性能较差。在动水压力的作用下易坍塌, 按照设计要求, 槽壁加固范围穿过淤泥层、淤泥质粉质黏土层进入粉质黏土层, 加固底标高为 -10.5, -22.5, -23.5, -25.5, -26.5, -32.0 m, 加固最深达 34.6 m, 根据现有设备能力以及对垂直度要求, 采用 $\Phi 850@600$ 三轴水泥搅拌桩加固, 不仅加固效果好, 垂直度可控制在 5% 以上, 且与地下连续墙成槽垂直度接近匹配。水泥掺量控制在 15%~18%, 水泥掺量不宜过大, 否则影响成槽切削能力, 造成成槽施工困难。

加强泥浆质量控制: 泥浆压力作用在开挖槽段土壁上, 除平衡土压力、水压力外, 泥浆在槽壁内的压差作用下部分水渗入土层, 从而在槽壁表面形成一层泥皮。性能良好的泥浆失水量少, 泥皮薄而韧性好, 具有较高的黏接力, 这对于防止槽壁坍塌起到很大作用。泥浆采用 Ga^+ 膨润土、CMC、 Na_2CO_3 等原料按比例配制, 加强对配置好的泥浆指标控制, 新鲜的泥浆比重 1.05~1.08 kg/L、黏度 18~25 s、pH 值为 7~10, 含砂率 $<1\%$ 为宜。新配制的泥浆应该在池中放置 24 h 充分发酵后才可使用。在施工过程应加强泥浆指标的检测, 应保证泥浆密度 ≤ 1.25 kg/L, 黏度 <30 s, 含砂率 $<4\%$, 对不符合要求的泥浆一定要坚决废弃。在成槽施工过程中, 应充分重视泥浆液面的控制。注意随时补浆, 泥浆面不应低于导墙顶面 300 mm, 同时应高出地下水位 0.5 m 以上以稳定槽壁。

2.2 大直径圆环支撑同心圆精度控制

由于地下室面积大, 地下室施工受混凝土支撑拆除、换撑等工序影响致使施工周期长。但是, 业主要求塔楼主体预售节点不变, 且工期紧。因此, 为便于塔楼的先行施工, 且不受混凝土支撑拆除、换撑等工序的影响。充分利用圆形钢筋混凝土支撑刚度大, 径向变形小特点, 塔楼区基坑支撑设置为直径达 84.90 m 圆环。要充分表现出其圆形结构的受力特点, 对圆环支撑同心圆精度控制要求较高。

在圆环支撑施工放样中, 建立以基坑圆心为极坐标测量系统, 使用红外线全站仪, 每隔 1.0 m 设置圆弧控制点, 圆环支撑的内圆半径实际偏差控制在 ± 1.0 cm 以内, 圆环支撑同心圆精度控制较好。

通过监测数据表明, 整个圆环支撑系统在开挖过程中“拱效应”明显, 圆环支撑整体刚度大, 径向变

形较小, 受力均衡, 基坑至始至终处于稳定状态。

2.3 基坑降水技术

(1) 坑内降排水

基坑土方开挖范围内为流塑状态的厚层淤泥, 且含水率高, 由于淤泥层渗透系数小, 降水效果差, 坑内主要通过明排解决积水, 即在土方开挖之前, 坑内设置纵横向数条明沟并设置多个 1000 mm×1000 mm 深 1.0 m 的积水坑, 及时将浅层地下水及雨水及时组织排到基坑外, 坑内积水很少, 便于挖土机械干式作业。

(2) 承压水抗突涌验算

随着基坑开挖深度增加, 坑底下隔水顶板土体随着厚度变薄, 土体自重应力逐渐减少, 而承压水水压超过顶板土体自重应力, 或挖穿顶板土体, 就会产生涌水、流砂, 形成地下水水患。

$$F = \frac{\gamma_s h_s}{\gamma_w h_w} \geq 1.20 \quad (1)$$

式中 F 为安全系数; h_s 为基坑底板至承压含水层顶板的距离 (m); h_w 为承压含水层顶板以上的水头高度值 (m); γ_s 为基坑底板至含水层顶板之间土的平均重度 ($17.8 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$); γ_w 为水的重度 ($10 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$)^[1]。

按照 ZK14 孔 (塔楼区域), 第⑥层 (砾砂) 承压含水层层顶标高为 -29.02 m, 承压水水头高程在 -6.025~-9.662 m, 按最不利水头取值 -6.025 m, 经计算, 基坑开挖到底板时的抗突涌安全系数 $F=1.25$ 大于广东省标准《建筑基坑支护工程技术规程》(DBJ/T15—20—97) 规定的最低 1.2, 则基坑底部土的抗承压水头处于平衡状态, 基底不会产生突涌。

由于一期基坑内有很多地勘孔, 且孔深均穿过⑥层砂砾层, 原有的地勘孔前期没有采取封孔措施, 地勘孔存在安全风险, 承压水极有可能通过地勘孔涌入坑内, 危机基坑安全。因此, 在开挖过程中加强了对原有地勘孔观察, 若发现地勘孔不密实, 按照事先预定的应急预案进行封堵, 但整个基坑开挖工程中未发现地勘孔不密实, 没有出现冒水等异常情况, 基坑处于稳定状态。

2.4 基坑出土栈桥设计

基坑挖土具有“两大一紧”特点, 即“基坑面积大、土方量大, 要求挖土穿插支撑施工工期仅 3 个月”, 且深厚淤泥层中挖土效率和又非常率低, 坑内外挖运通道相当紧张, 因此, 挖运通道设计是本工程支护很重要的一项内容。

本工程的挖运通道专项设计中, 除了利用基坑东侧、南侧卸土平台外, 充分考虑重型车辆动荷载对内

支撑不利影响, 在“T”型支撑上设置立柱桩、连系梁、栈桥板以形成支撑栈桥, 栈桥板厚 300 mm, 立柱桩为 $\text{Ø}1200$ 钻孔灌注桩, 桩长不少于 36.0 m, 桩端进入持力层砾砂层不少于 15.0 m, 内插 $\text{Ø}630$ 钢管砼桩, 这种支护方式为土方以及主体结构施工提供便捷和开阔的空间。

在基坑土方开挖过程中, 支撑圆环内设置临时土坡道并与栈桥衔接, 土方车直接下坑装土, 大大加快土方挖出及外运效率。

2.5 基坑土方开挖

土方采用分层、分块、对称、均衡开挖, 基坑从立面分 4 层 8 次开挖, 采用“中心岛”式挖土, 即第②、④、⑥、⑧层土方开挖分别在第①、③、⑤、⑦、层土方开挖后连续进行, 尽量利用支撑养护期开挖中心岛区域土方, 以加快土方施工进度。挖土工况见图 2。

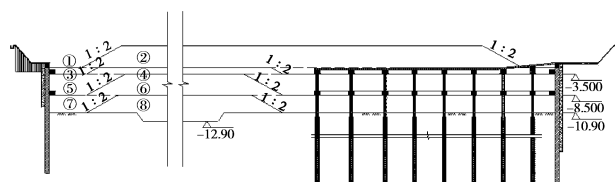


图 2 挖土工况图

Fig. 2 Excavation stage

每层开挖时先开挖圆环支撑外四周土体, 以便及时形成支撑, 后开挖中心岛区域土方。每次挖土坑内设置临时出土坡道与栈桥相接, 以便土方车辆直接下坑装土, 加快出土效率。

每层开挖时应分小层开挖, 分层厚度控制在 2.0 m 以内, 支撑封闭后强度达到 80% 后再开挖下层土方。

基坑支撑圆环外周边土方应对称开挖、对称浇筑混凝土支撑环梁。

挖土遵循“分层、分块、对称、限时、先撑后挖”的原则, 利用“时空效应”原理, 尽量减少基坑无挖土支撑的暴露时间, 因此, 基坑围护结构各测点的变形比较协调, 变化规律基本一致, 基坑处于安全、管控状态。

3 深基坑信息化监测

深基坑工程施工过程中进行信息化施工监测, 有利于实时掌握围护结构及周边环境的动态变化, 根据监测结果动态调整优化施工参数, 指导施工, 并根据监测信息和施工参数的变化规律预测下一步施工工况, 及时提出应对措施。基坑变形累计监测结果见表 1^[2]。

表 1 累计监测结果表

Table 1 Cumulative monitoring results

序号	监测内容	最大点号	位移累计监测值/mm	位移规定限制/mm
1	顶圈梁位移	S5	20.1	30
2	顶圈梁沉降	S6	20.9	30
3	立柱沉降	L1	10.1	20
4	地墙深层位移	CX2	19.8	50
5	潜水位	W6	91.1	1000

根据监测结果显示, 基坑顶部位移均朝迎坑面发展, 最大变化为 S5 点, 位于基坑东部, 最大水平位移 20.1 mm, 约为基坑监控值的 70%, 基坑顶部沉降最大变化点 S6 点, 最大沉降量 20.9 mm。

地下连续墙接头部位自身防水效果较好, 加之外侧护壁三轴水泥搅拌桩双重止水作用, 围护结构渗漏少, 潜水位累计变化≤1000 mm, 满足规范要求。

墙体深层水平位移变形(测斜)从曲线来看, 墙体侧向变形整体呈“大肚”状, 随着开挖深度增加, 最大位移逐渐下移, 最大水平位移在基坑开挖面上 3.0 m 左右, 最大位移为 19.8 mm, 最大变形在 7.5 m 深处。最大变形为 0.2%*H*, 小于规范规定 0.7%*H*, 约为监控值 40%, 墙体变形最大为 CX2, 位于基坑北侧, CX2 变形曲线详见图 3。

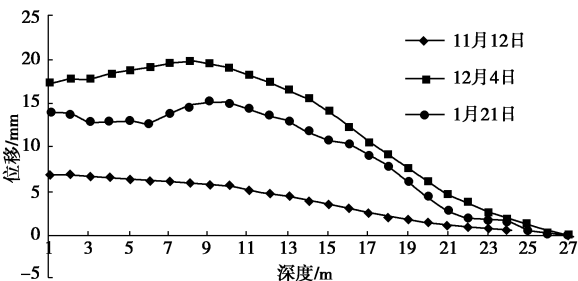


图 3 CX2 深层水平位移图

Fig. 3 Curves of deep horizontal displacement at CX2

4 结 论

横琴总部大厦(一期)基坑作为首批在珠海横琴软土地基上建造的大型深基坑, 堪称横琴岛“第一深坑”, 可借鉴的资料较少, 通过一系列技术措施, 基坑围护结构的变形以及对周边环境的影响都在安全可控范围之内, 其设计、施工经验对本地区深基坑施工都有一定的借鉴意义。

(1) 平面分块、分段、对称均匀开挖, 立面分层分次、先四周后中间, 并有栈桥出土的方法使圆环支撑受力比较平衡, 基坑完全处于受控状态。

(2) 横琴地下淤泥厚, 含水率高达 60%, 承载力低, 在珠三角是比较典型的地质条件。首次将三轴水泥搅拌桩用于地下墙槽壁加固以及基坑支护采用地下连续墙, 均取得较好经济效益和社会效益。

(3) 合理支撑布置形式为土方以及主体结构施工提供便捷和开阔的空间, 也有利于基坑变形控制。

参考文献:

[1] 广东省工程建设标准化协会. DBJ/T15—20—97 建筑基坑支护工程技术规程[S]. 广州, 1997. (Guangdong Province Engineering Construction Standardization Association. DBJ/T15—20—97 Specification for retaining and protection in building excavation engineering[S]. Guangzhou, 1997. (in Chinese))

[2] 珠海市建设工程质量监督检测站. 珠海横琴总部大厦(一期)基坑支护工程基坑监测报告[R]. 珠海: 珠海市建设工程质量监督检测站, 2014. (Zhuhai City Construction Engineering Quality Supervision and Inspection Station. Monitoring report of foundation pit in Zhuhai Hengqin headquarters building (first phase)[R]. Zhuhai: Zhuhai City Construction Engineering Quality Supervision and Inspection Station, 2014. (in Chinese))

(本文责编 明经平)