

doi:10.3969/j.issn.1007-3701.2019.04.011

武汉绿地中心深基坑的特殊工程地质条件 及支护体系选择研究

黄正凯^{1,2}, 王旋², 付强², 汪洋¹

HUANG Zheng-Kai^{1,2}, WANG Xuan², FU Qiang², WANG Yang¹

(1. 中国地质大学(武汉), 武汉 430074; 2. 中建三局第二建设工程有限责任公司, 武汉 430074)

(1. China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China;

2. The Second Construction Co. Ltd. of China Construction Third Engineering Bureau, Wuhan 430074, Hubei, China)

摘要: 高承压水条件下深基坑工程的支护与施工是当前国内外城市建设的难点问题。本文针对武汉绿地中心深基坑超大超深、场地土体工程性质差、高承压水且水量丰富等特点,对深基坑常用的支护体系进行了比选分析,确定了地下连续墙支护体系作为武汉绿地中心深基坑支护的主体围护结构,设计了左右两个区先施工及中间区后施工的分区施工方法,并提出了地下连续墙外围接缝处采用高压旋喷桩进行加固止水、基坑内部采用地下连续墙和钻孔灌注桩隔断支护、基坑内侧采用钢筋混凝土水平支撑和钢立柱竖向支撑的多层次支护体系。成果对长江经济带中下游城市的深基坑设计和施工具有重要的借鉴意义。

关键词: 武汉绿地中心;深基坑;地下连续墙;钢筋混凝土内支撑

中图分类号: P642; TU753

文献标识码: A

文章编号: 1007-3701(2019)04-0488-09

Huang Z K, Wang X, Fu Q, Wang Y. Special Engineering Geological Conditions and Selection on Support System of Deep Foundation Pit in Wuhan Greenland Center. *Geology and Mineral Resources of South China*, 2019, 35(4): 488–496.

Abstract: The support and construction of deep foundation pit under the condition of high confined water is a difficult problem in urban construction at home and abroad. Based on the characteristics such as super-large and super-deep foundation pit, poor engineering properties of site soil, high pressure and abundant water of confined aquifer of Wuhan Greenland Center, the common support systems for deep foundation pit are compared, and the underground continuous wall support system is determined as the main support construction of the deep foundation pit. The overall plan of partition construction is designed, which is the left and right sections are constructed first, and the middle zone section is constructed later. Multi-level support system, including high-pressure rotary jet grouting piles for preventing seepage on the outside of slot joints of underground continuous wall, underground continuous wall and bored piles for partition support in deep foundation pit, horizontal reinforced concrete internal support and vertical steel column support inside the foundation pit, is proposed. The results have important reference significance for the design and construction of deep foundation pit in the middle and lower reaches of Yangtze River Economic Belt.

Key words: Wuhan Greenland Center; deep foundation pit; underground continuous wall; reinforced concrete internal support

收稿日期: 2019-9-1; 修回日期: 2019-10-20; 责任编辑: 董好刚

第一作者: 黄正凯(1976—), 高级工程师, 注册一级建造师, 主要从事建筑设计、建造项目管理与研究, E-mail: hzk123@126.com

武汉绿地中心主楼建筑设计高度为 606 m, 为超高层建筑^[1], 其基坑为超大超深基坑工程。深基坑常用的支护体系主要包括地下连续墙支护体系、桩锚支护体系、桩撑支护体系和土钉支护体系^[2], 卢一凡按支护形式统计了武汉市 61 个基坑的支护形式, 其中桩锚体系 8 个, 排桩体系 10 个, 内支撑 6 个, 土钉支护体系 36 个^[3], 但内支撑往往和其它支护措施联合起来使用; 王爱勋针对武汉国际会展中心特大型超深基坑工程的地质环境条件, 划分为四大部分共计 16 个不同支护剖面, 分别采取了连锁灌注桩墙加预应力锚杆、复合喷锚网、土钉墙支护、中深井管井降水、粉喷桩侧向止水帷幕的多种支护与地下水治理技术措施^[4]; 黄晓程等基于武汉地区特定岩土地质条件和基坑工程特征, 分别介绍了 h 形背椅式高低双排桩支护体系、圆环悬臂支护体系、双排桩支护体系、嵌岩地下连续墙支护体系、建筑室内基坑支撑体系等五种支护体系, 并总结每种支护体系的适用条件及优势^[5]; 赵长青针对武汉轨道交通 8 号线三标徐家棚车站深基坑的特征, 考虑近邻长江、高水土压力、强渗透承压水等复杂地质条件, 选取了超深地下连续墙作为其支护措施^[6]; 曹慧、许利东等分析了昆明市某大型深基坑, 复杂环境及富水地质条件, 针对基岩埋深深的西区, 采用地下连续墙结合槽壁加固进行支护, 针对基岩埋深浅的东区, 采用灌注桩排桩结合止水帷幕和三道钢筋混凝土支撑进行支护^[7]; 南宁九洲国际项目基坑影响范围内的土层自上而下为第四系人工堆积层素填土、泥岩、泥质粉砂岩和砂岩, 基坑开挖深度影响范围内地下水主要为裂隙水, 水量不大, 基坑主体围护结构主要为桩锚体系和桩撑体系^[8]; 郭运、马郎等介绍了双排桩结合坑内留土后开挖在武汉长江一级阶地深大基坑中的应用^[9]; 杨书红针对基坑侧壁存在淤泥质粉质粘土、粉细砂、卵石层的富孔隙承压水层, 采用双排桩进行支护^[10]; 武汉地铁二号线江汉路站基坑位于长江一级阶地, 承压水头高, 选取地下连续墙作为主体围护结构, 针对武汉地铁二号线洪山广场车站, 地貌属于剥蚀垄岗地段, 选取钻孔灌注桩作为主体围护结构^[11]; 武汉地铁二号线汉口火车站地貌单元属长江、汉江冲积一级阶地, 地下水类型主要为上层滞水和孔隙承压水, 上层滞水水量有限, 孔隙承压水水量大, 补给充沛, 基坑主体围护结构为地下连续墙^[12]; 武汉地铁

二号线小龟山站地貌单元属长江冲积一级阶地, 地下水类型主要为上层滞水、承压水和基岩裂隙水、岩溶水四种类型, 承压水水位埋深较大, 小龟山车站底板埋深并未接触该层, 基岩裂隙水和岩溶水量较小, 基坑主体围护结构为钢筋混凝土灌注桩^[13]。综上所述, 深基坑支护体系的选取应综合考虑基坑形状、面积、开挖深度、地质条件及周围环境, 对于存在软土分布和高承压水的场地, 深基坑开挖和支护过程中, 深厚软土变形、坑壁管涌流土、承压水等问题严重^[2,13-14]。

武汉绿地中心工程地质条件特殊, 场地属长江南岸 I 级阶地地貌, 距长江仅约 250 m, 承压水头高, 承压水控制的要求高, 易发生管涌、流土等灾害。因此, 针对武汉绿地中心超高层建筑深基坑特殊工程地质条件, 开展支护方案比选和施工工艺研究具有重要的工程实际意义。

1 武汉绿地中心概况及工程地质条件

武汉绿地中心位于武昌滨江商务区核心区域, 总建筑面积约 60 万平方米, 由一栋超高层主楼、一栋办公辅楼、一栋公寓辅楼及裙楼组成(图 1)。超高层主楼地下室 6 层, 地上 119 层, 建筑高度为 606 m, 为核心筒+巨型柱+外伸臂桁架+腰桁架结



图1 武汉绿地中心主要建筑示意图

Fig. 1 Main building schematic diagram of Wuhan Greenland Center

构^[15-18];办公辅楼地上 37 层,高约 170 m,为框架-核心筒结构;公寓辅楼地上 36 层,高约 150 m,为框架-剪力墙结构;裙楼地下室 5 层,地上 9 层,高约 40 m。

按照建筑设计,武汉绿地中心基坑工程呈长方形,长 304 m,宽 121 m,面积约 36000 m²,开挖深度达 22.6 ~ 30.4 m,地下建筑面积 200 万平方米,地下空间 100 万立方米,属超大超深基坑工程。根据上部建筑物类型和施工顺序,基坑工程可分为主楼区域(I 区),裙楼区域(II 区),缓冲区域(III 区),

其中办公辅楼位于 II 区,公寓辅楼位于 III 区。基坑的支护包括地下连续墙、钻孔灌注桩、钢筋混凝土内支撑和高压旋喷桩止水等措施^[17-18]。

武汉绿地中心地势平坦,地貌上属长江南岸 I 级阶地。场地覆盖层除表层人工填土外其余均为长江 I 级阶地冲积层,呈典型的二元结构,上部为粘性土,下部为砂土(含圆砾、卵石),主要的物理力学性质见表 1 和表 2,下伏基岩为志留系中统坟头组砂质泥岩和砂岩(图 2)。地层自上而下分为^[17-21]: (1)杂填土(Q^{ml})、(2-1)粉质粘土夹粉土(Q₄^{al})、(2-2)淤

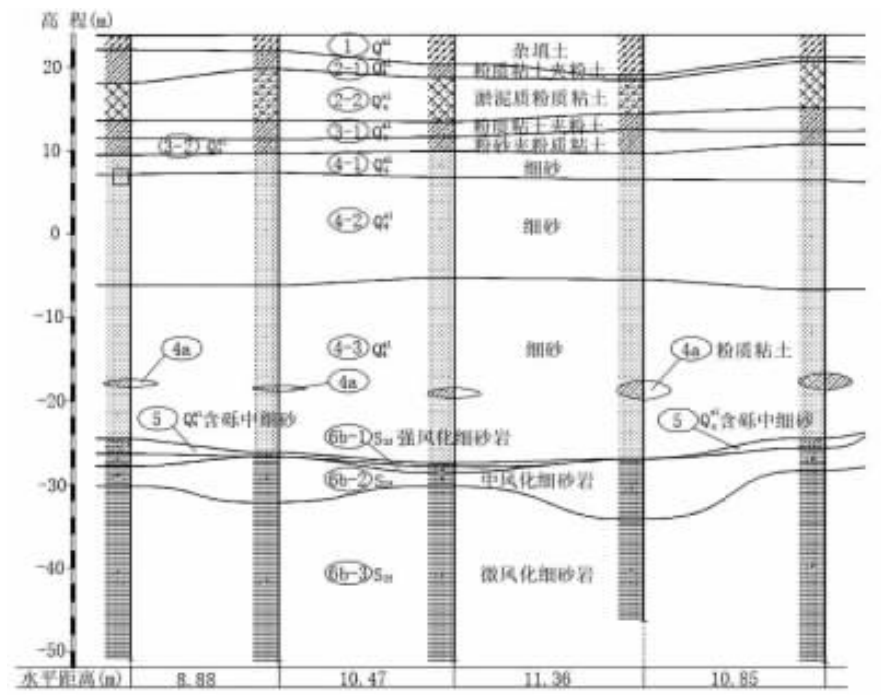


图2 典型工程地质剖面图

Fig. 2 Typical engineering geological profile

表1 土层物理力学性质表

Table 1 Physical and mechanical properties of soils

层号	层名	重度 (kN/m ³)	ϕ (°)	C (kPa)	渗透系数	
					Kv(cm/s)	Kh(cm/s)
(1)	杂填土	17.5	18.0	10.0		
(2-1)	粉质粘土夹粉土	18.1	10.5	18.0	3.7×10 ⁻⁶	3.7×10 ⁻⁶
(2-2)	淤泥质粉质粘土	17.6	6.0	14.0	3.03×10 ⁻⁶	3.03×10 ⁻⁶
(3-1)	粉质粘土夹粉土	17.9	10.0	17.0	4.37×10 ⁻⁶	4.37×10 ⁻⁶
(3-2)	粉砂夹粉质粘土	18.0	26.0	3.0	6.0×10 ⁻⁶	4.5×10 ⁻³
(4-1)	细砂	18.5	32.0	0	2.35×10 ⁻²	2.35×10 ⁻²
(4-2)	细砂	18.5	34.0	0	2.35×10 ⁻²	2.35×10 ⁻²
(4-3)	细砂	18.5	36.0	0	2.35×10 ⁻²	2.35×10 ⁻²
(5)	含砾中细砂	18.9	38.0	0		

表2 粉质粘土的物理力学性质表

Table 2 Physical and mechanical properties of silty clay

层号	含水率 (%)	孔隙比	饱和度(%)	液限(%)	塑限(%)	塑性指数(%)	液性指数 IL	压缩系数 a_{1-2} (MPa ⁻¹)	压缩模量(MPa)
(2-1)	34	0.984	94.2	36.4	21.8	15.2	0.8	0.52	4
(2-2)	40.1	1.112	95.7	38.7	22.8	15.9	1.02	0.59	3.7
(3-1)	35	1.005	93.8	37.3	22.1	15.2	0.82	0.5	4.1
(3-2)	34.1	0.991	93.5	37.3	22.2	15.1	0.76	0.47	4.3
(4a)	38.1	1.11	92.8	39.4	23	16.4	0.86	0.48	4.5

泥质粉质粘土(Q₄^{al})、(3-1)粉质粘土夹粉土(Q₄^{al})、(3-2)粉砂夹粉质粘土(Q₄^{al})、(4-1)细砂(Q₄^{al})、(4-2)细砂(Q₄^{al})、(4-3)细砂(Q₄^{al})、(4a)粉质粘土(Q₄^{al})、(5)含砾中细砂(Q₄^{al})、(6a)砂质泥岩(S₂f)、(6b)细砂岩(S₂f)。

场地内浅层以杂填土和淤泥质粉质粘土为主,其中(2-2)淤泥质粉质粘土呈软~流塑状态、强度低、压缩性高,开挖易流动使开挖面产生侧向变形和坑底隆起;(3-1)粉质粘土夹粉土,软塑,压缩性中偏高;(3-2)粉砂夹粉质粘土,灰褐色,稍密,压缩性中,但厚度小,地层地质条件和物理力学性质差;中部深厚的粉砂夹粉质粘土层、细砂层及含砾中细砂,含水量丰富且渗透系数较大,场地细砂层综合渗透系数建议值 K=20.29 m/d,影响半径建议选用 271.0 m。

水文地质条件复杂。场地地下水类型有上层滞水,孔隙承压水和基岩裂隙水三种类型(图 3、图 4)。上层滞水主要赋存于人工填土(Q^m)层,无统一自由水面,大气降水、地表水和生产、生活用水渗入是其主要的补给来源,水位埋深为 0.2 ~ 1.8 m。孔

隙承压水赋存于第四系全新统冲积(Q₄^{al})粉质粘土夹粉土、砂层及中细砂夹卵砾石层中,拟建项目距长江仅 250 m,其与长江水力联系非常紧密,承压水头最高为 27.00 m,承压水头标高年变化幅度在 4.0 m 左右^[17-18]。基岩裂隙水主要赋存于场地基岩裂隙中,总体看水量较小且不均匀,场地内所分布的基岩仅少量裂隙中裂隙水与第四系砂卵石层承压水相连通。本基坑工程基底已进入承压含水层,基坑工程将面临极为严峻的承压水影响问题。

2 深基坑主体围护结构比选分析

武汉绿地中心基坑工程具有以下特点:一是武汉绿地中心基坑工程呈长方形,长 304 m,宽 121 m,面积约 36000 m²,开挖深度达 22.6 ~ 30.4 m,属超大超深基坑工程;二是工程场地内浅层以杂填土和淤泥质粉质粘土为主,其中淤泥质粉质粘土呈软~流塑状态、强度低、压缩性高,开挖易流动使开挖面产

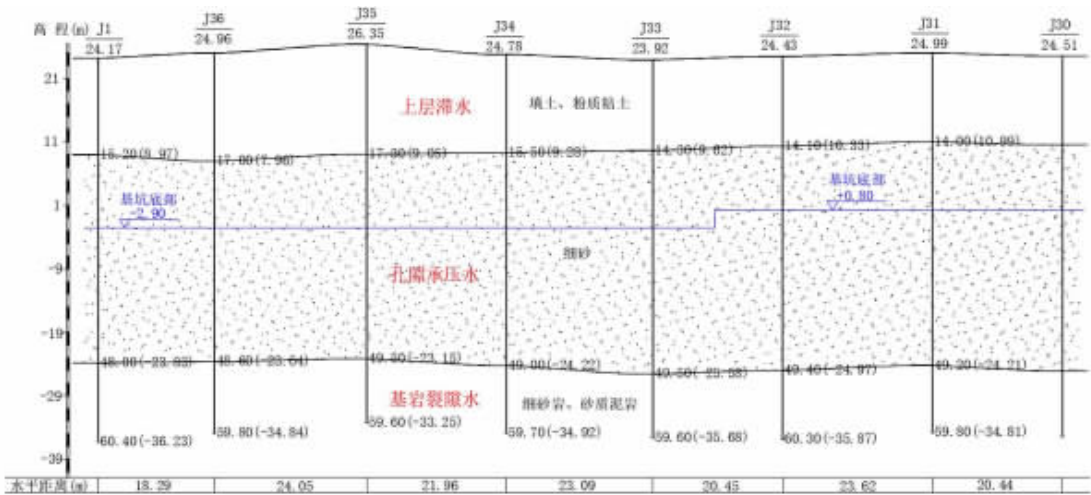


图3 基坑开挖范围内地下水类型(I区)

Fig. 3 The type of groundwater in the excavation area of foundation pit (section I)

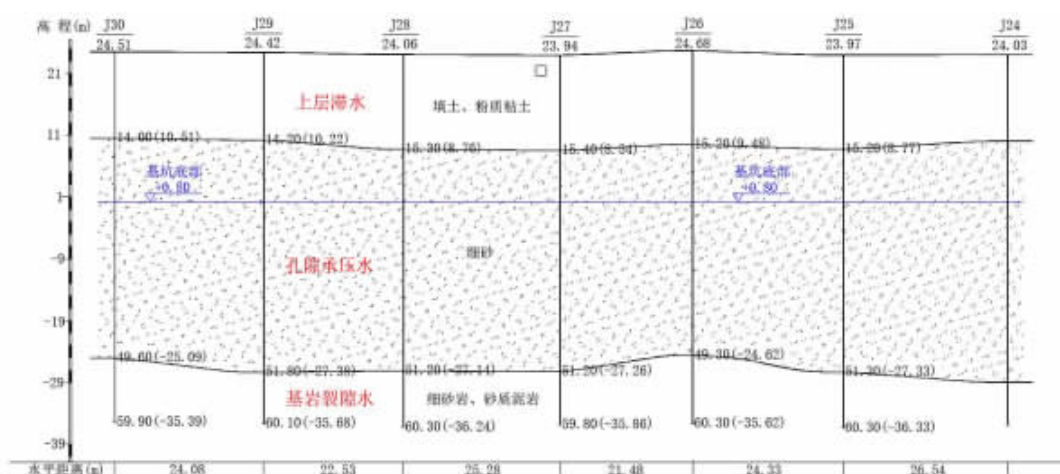


图4 基坑开挖范围内地下水类型(Ⅱ区和Ⅲ区)

Fig. 4 The type of groundwater in the excavation area of foundation pit (section II and section III)

生侧向变形和坑底隆起,且在整个场地几乎均有分布;三是本工程地属长江南岸Ⅰ级阶地地貌,水文地质条件复杂,中部深厚的粉砂夹粉质粘土层、细砂层及含砾中细砂,含水量丰富且渗透系数较大,孔隙承压水厚度超过30 m,紧邻长江,与长江水力联系非常紧密,基坑工程基底已进入承压含水层,基坑工程面临极为严峻的承压水影响问题;四是地块属于武昌滨江商务区核心区域,地下室外墙与基地红线距离为5 m,北侧为规划三路,南侧为规划二路,东侧为规划六路,西至B01块地边界,基地东侧为在建的A04块地,南侧及东南角分别为待建的A02块地和A03块地。

依据武汉绿地中心基坑工程的特点,深基坑支护方案比选如下:一是武汉绿地中心基坑工程开挖深度大,土钉支护体系基坑深度不宜超过12 m,不能采用土钉支护体系;二是工程场地内的(2-2)淤泥质粉质粘土呈软~流塑状态、强度低、压缩性高,(3-1)粉质粘土夹粉土,软塑,压缩性中偏高,(3-2)粉砂夹粉质粘土,灰褐色,稍密,压缩性中,但厚度小,地质条件较差,锚固段地层物理力学性质差,基坑开挖深度大,锚固体系长度大,易发生因强度不足和刚度不够导致结构破坏,故桩锚支护体系不太适用;三是基坑工程基底位于承压含水层中,并且还紧邻长江,面临极为严峻的承压水影响问题,在高地下水位的软土地基中开挖如此超深超大的基坑工程风险大,对承压水控制的要求非常高,桩撑支护体系中大直径钻孔灌注桩排桩加内支撑辅

以水。泥土搅拌桩止水是传统的基坑支护形式,但应用于25.0m以上的深大基坑还未有已完成的工程实例,特别是水泥土搅拌桩用于深大基坑隔水的不确定因素较大,考虑本工程基坑的重要性,不建议选择钻孔灌注桩加搅拌桩方案进行基坑支护;四是地下连续墙刚度大,止水效果好,可以大大减少地下水渗漏问题,同时地下连续墙方案工法成熟,成墙质量可靠,施工风险较小,对周边环境的影响也较小,本基坑开挖面积大、深度深,若采用悬挂式地下连续墙结合沉井降水方案,每天抽水量极大,且降升难以满足要求,故对本基坑建议采用落底式地下连续墙,即地下连续墙进入相对隔水的基岩中,一并考虑支挡及隔水作用。综合以上方面,武汉绿地中心深基坑支护的主体工程选用地下连续墙支护体系。

3 深基坑多层次支护体系的工艺实施及效果

3.1 施工工艺

(1) 基坑四周的地下连续墙支护

地下连续墙设置在基坑周边,基坑长304 m,长度大,为了避免开挖过程中出现过大的位移,实行分区开挖和支护(图5),采用分区顺作+中间缓冲区分作方案,即一分为三(Ⅰ区、Ⅱ区和Ⅲ区),左右两个区(Ⅰ区和Ⅱ区)先作+中间后作(Ⅲ区)^[17-18,22-24]。基坑采用“两墙合一”形式,既作为基坑开挖阶段的挡土止水围护体,同时作为地下室

结构外墙, 基坑分 A 区和 B 区, 主楼区基坑为 A 区, 辅楼区基坑为 B 区。地下连续墙分三种槽段形式, 共分为 165 幅槽段, 总长为 1067 m。基坑 I 区地连墙厚度为 1200 mm, II 区和 III 区地连墙厚度为 1000 mm; 地下连续墙墙顶标高为 -2.350 m, 深度为 47.35 ~ 55.45 m, 各槽段之间设置工字形型钢接头, 接头外侧采用高压旋喷桩进行封堵加固。

(2) 基坑分区间隔断支护

I 区和 III 区之间的隔断采用厚度 1000 mm 地下连续墙, 基坑 II 区和 III 区之间的隔断采用 $\varphi 1200 @1400$ 钻孔灌注桩, 一共有 85 根(图 5), 桩径 1.2 m, 桩心距 1.4 m, 桩长 35.6 m, 开挖深度 23.1 m。钻孔灌注桩成桩施工时易发生塌孔, 为确保钻孔灌注桩成桩质量满足设计及规范要求, 在旋挖钻机成孔时采用跳打的方式施工, 且间距保证 4 倍桩径。

(3) 地下连续墙外围止水措施

基坑四周地下连续墙接缝处易出现渗漏, 为了更好的止水防渗, 在采用高压旋喷桩加固, 每组 3

根, 高压旋喷桩的桩直径为 1 m, 搭接为 400 mm, 桩心距为 600 mm, 成正三角形分布, 桩底进入强风化岩 ≥ 500 mm, 加固深度在 47 ~ 52 m 之间。为防止旋喷桩施工时由于相邻两桩施工距离太近或间隔时间太短, 造成相邻高喷孔施工时串浆, 采取跳孔施工(图 6)。高压旋喷桩采用双高压三管法旋喷进行施工, 压缩空气的气压 0.5~0.7 MPa, 气量 0.5~2.0 m³/min; 水压力 25~30 MPa, 流量 80~120 L/min; 水泥浆压力 ≥ 20 MPa, 流量 100~150 L/min。

(4) 地下连续墙内支撑设置与土方开挖

内支撑包括水平支撑和竖向支撑, 基坑内支撑分为三个独立区, 即 I 区(塔楼区域)、II 区(辅楼先做区域)和 III 区(缓冲区域)。I 区水平向设置五道钢筋混凝土圆形支撑, 支撑采用圆环支撑的布置形式(表 3); II 区基坑水平向设置四道钢筋混凝土支撑, 支撑采用双半圆环支撑结合中部对撑的布置形式(表 4); III 区基坑水平向设置四道钢筋混凝土支撑, 支撑采用对撑的布置形式(表 5)。

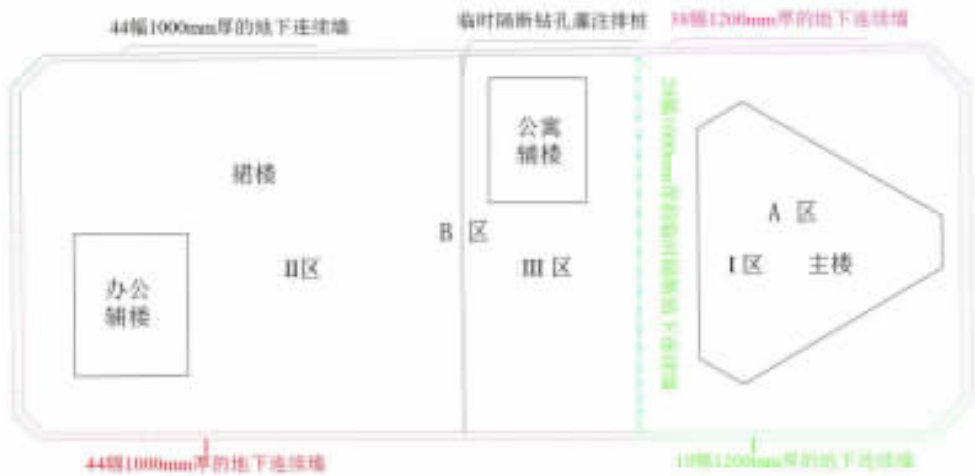


图5 地下连续墙分区支护
Fig.5 Support sections for underground continuous wall

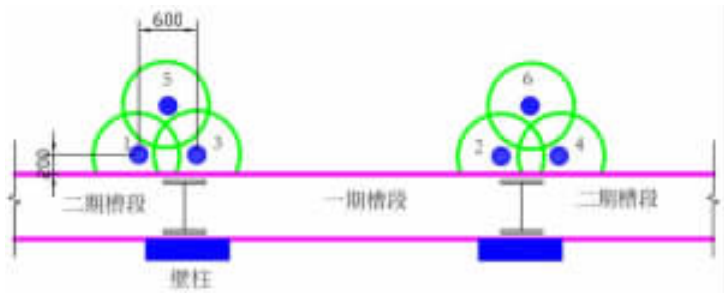


图6 地下连续墙接缝处高压旋喷桩示意图
Fig. 6 High-pressure rotary jet grouting piles in slot joints of underground continuous wall

表3 I 区内支撑型号

Table 3 Specification of internal support of section I

支撑序号	砼等级	压顶圈梁或围檩	圆环撑	角撑	径向杆件	连杆	支撑中心标高
第一道支撑	C30	1200×800	1400×800	1000×800	800×700	700×700	-2.700
第二道支撑	C40	1400×1000	2000×1100	1200×800	900×800	700×700	-8.600
第三道支撑	C40	1600×1100	2800×1500	1400×800	1000×800	800×700	-14.000
第四道支撑	C40	1700×1100	2500×1300	1400×800	1000×800	800×700	-19.200
第五道支撑	C35	1400×1000	1400×1000	1400×1000	1400×1000	1400×1000	-23.500

表4 II 区内支撑型号

Table 4 Specification of internal support of section II

支撑序号	砼等级	压顶圈梁或围檩	圆环撑	边桁架	对撑、角撑	八字撑、径向杆件	连杆	支撑中心标高
第一道支撑	C30	1200×800	1400×800	-	1000×800	800×700	700×700	-2.700
第二道支撑	C40	1400×1000	2000×1100	2000×1100	1200×800	900×800	700×700	-8.600
第三道支撑	C40	1600×1100	2400×1300	2400×1300	1400×800	1000×800	800×700	-14.000
第四道支撑	C40	1400×1000	2000×1100	2000×1100	1200×800	900×800	700×700	-19.200

表5 III 区内支撑型号

Table 5 Specification of internal support of section III

支撑序号	混凝土等级	压顶圈梁或围檩	对撑、角撑	连杆	支撑中心标高
第一道支撑	C30	1200×800	1000×800	700×700	-0.350
第二道支撑	C40	1400×1000	1200×800	700×700	-9.600
第三道支撑	C40	1600×1100	1400×800	800×700	-13.500
第四道支撑	C40	1400×1000	1200×800	700×700	-18.000

竖向支撑构件采用钢立柱及柱下钻孔灌注桩。裙楼区域钢立柱采用由等边角钢 4L160×16、4L180×18 和缀板焊接而成的型钢格构柱,其截面为 460 mm×460 mm;主楼区域钢立柱采用等边角钢 4L160×16、4L180×18、4L200×20 和缀板焊接而成的型钢格构柱,其截面为 480 mm×480 mm。型钢型号均为 Q345B,钢立柱插入作为立柱桩的钻孔灌注桩中不少于 3 m。

为了减小跨中的无支撑时的位移,尽可能缩短跨中的无支撑时的暴露时间,对 I 区和 II 区土方采用岛式开挖,根据基坑四角采用角撑系统的特点,依次开挖对角土方,并及时形成支撑,最后对称开挖跨中土方。I 区水平内支撑施工分为 4 个段,每

层施工时,先施工 I 区 1 段、I 区 2 段,再施工 I 区 3 段、I 区 4 段,当 I 区首道内支撑施工完成后,按图示数字顺序 I-1~I-4 依次挖土并完成内支撑。II 区先施工区域内支撑施工顺序为 II 区 1 段、II 区 2 段→II 区 3 段、II 区 4 段→II 区 5 段、II 区 6 段;II 区按图示数字顺序 II-1~II-6 依次挖土,每挖完一块就及时施工该分区支撑系统。第三道支撑以上采用垂直取土为主的方式进行挖土,第三道支撑以下采用通过栈桥下坑挖土的作业方式以加快基坑土方开挖的速度(图 7)。

III 区土方在 I 区和 II 区地下室结构封顶后采用盆式开挖,盆中开挖完成后,先浇筑盆中钢筋混凝土支撑,盆边土方采用对撑抽条跳挖的方式挖

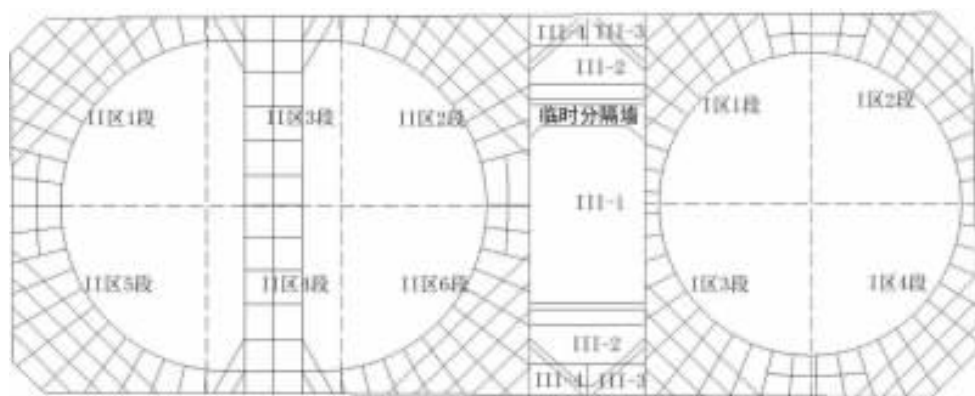


图7 基坑开挖顺序图

Fig. 7 Excavation sequence of foundation pit

土,盆边土方对撑挖除后,同时在已施工中部支撑两端对称施工砼支撑,尽快将对撑形成。根据支撑的分布,按图示数字顺序 III1~III-4。

3.2 效果分析

目前,绿地中心城深基坑工程已经顺利完工,实践充分验证了支护体系选择的正确,保证了施工的顺利进行。长江经济带中下游城市的发展离不开地下空间的开发和利用,场地土体工程性质差、高承压水且水量丰富是这些城市建设过程中面临的关键问题,武汉绿地中心深基坑工程地质条件特殊,支护体系的选取具有代表性,本文对武汉绿地中心深基坑的工程地质条件和多层次支护选取进行了较深入的分析和总结,成果对长江中下游经济带城市的深基坑设计和施工具有重要的借鉴意义。

4 结论

(1)武汉绿地中心深基坑超大超深,场地工程地质条件特殊:土体工程性质差、高承压水且水量丰富、周边存在施工限制等特点。

(2)对深基坑常用的支护体系进行了比选分析,提出了地下连续墙支护体系作为武汉绿地中心深基坑支护的主体围护结构。

(3)针对武汉绿地中心深基坑开挖和支护过程中的支护结构变形、深厚软土变形、坑壁管涌流土和渗水问题,提出了多层次支护体系。基坑四周采用地下连续墙支护,实行左右两个区先施工及中间区后施工的分区施工方法;基坑内部 I 区和 III 区之间的隔断采用厚度 1000 mm 地下连续墙, II 区和

III 区之间的隔断采用钻孔灌注桩;地下连续墙外围接缝处采用高压旋喷桩进行加固止水;基坑内侧水平方向采用钢筋混凝土进行内支撑, I 区设计为五道水平内支撑, II 区、III 区设计为四道水平内支撑, I 区和 II 区土方采用岛式开挖, III 区采用盆式开挖;竖向采用钢立柱及柱下钻孔灌注桩进行支撑。

参考文献:

- [1] 杜享庆, 徐金波, 欧新梅. 武汉新高度 606 m, 投资逾 300 亿建全球第三高楼[J]. 建筑工人, 2011,(4):48-48.
- [2] 徐华坤. 临江超大深基坑支护方案选型及开挖稳定性分析[D]. 武汉理工大学硕士学位论文, 2017.
- [3] 卢一凡. 武汉地区深基坑工程支护结构安全评价研究[D]. 华中科技大学博士学位论文, 2011.
- [4] 王爱勋. 武汉国际会展中心工程关键施工技术研究与应用[D]. 武汉理工大学博士学位论文, 2006.
- [5] 黄晓程, 叶建, 张晋华, 宋志, 王栩. 特殊支护体系在武汉地区深基坑工程中的应用[J]. 施工技术, 2019, 48(9): 90-94.
- [6] 赵长青. 长江一级阶地强渗透承压水深大异形基坑综合施工技术[J]. 建材与装饰, 2016, (5): 261-263.
- [7] 曹慧, 许利东, 王晓曙, 余琨琳. 复杂环境及富水地质条件下的大型深基坑支护方案研究[J]. 建筑施工, 2019, (5): 744-746.
- [8] 肖萌. 超深基坑开挖对支护结构与周边环境的影响研究[D]. 广西大学硕士学位论文, 2017.
- [9] 郭运, 马郎, 刘佑祥, 倪欣, 李松, 朱佳. 双排桩留土后开挖在武汉长江一级阶地深大基坑中的应用[J]. 土工基础, 2017, (5): 5-10.
- [10] 杨书红. 双排钻孔灌注桩在武汉深基坑支护工程中的

- 应用研究[D]. 长春工程学院工程硕士学位论文, 2017.
- [11] 余丽生. 武汉地铁二号线江汉路和洪山广场站深基坑施工仿真分析[D]. 华中科技大学硕士学位论文, 2007.
- [12] 魏凯. 武汉地铁二号线小龟山站和汉口火车站深基坑施工仿真分析[D]. 华中科技大学硕士学位论文, 2007.
- [13] 李建民. 武汉地铁四号线铁岳区间深基坑支护方案模拟[D]. 武汉理工大学硕士学位论文, 2011.
- [14] 胡斌, 杨盛双. 不良地层对武汉地区某深基坑工程的影响及处理措施[J]. 施工技术, 2013, 42(3):87-90.
- [15] 姚习红, 徐晓雨, 高志民. 基于三维激光扫描的BIM技术在武汉绿地中心钢结构项目中的应用[J]. 钢结构, 2018, 33(8):123-126.
- [16] 刘波, 赵飞, 罗轩忠, 李华. 武汉绿地中心工程超厚底板大体积混凝土施工技术[J]. 施工技术, 2015, 44(4):14-17.
- [17] 刘万鹏. 承压水地层中嵌岩地下连续墙施工全过程受力特性分析[D]. 重庆大学硕士学位论文, 2016.
- [18] 付红梅. 基于空间效应长大深基坑变形控制研究[D]. 重庆大学硕士学位论文, 2017.
- [19] 王卫东, 吴江斌, 聂书博. 武汉绿地中心大厦大直径嵌岩桩现场试验研究[J]. 岩土工程学报, 2014, 37(11):1945-1954.
- [20] 易万元, 龚艳霞, 彭杰, 王震, 李家洪. 武汉绿地中心大直径嵌岩桩施工技术[J]. 施工技术, 2016, 45(11):88-90.
- [21] 杜家佳, 陆建锋, 王震, 宋晓峰, 杜国平. 武汉绿地中心深基坑声纳渗流控制技术[J]. 施工技术, 2018, 47(1):6-10.
- [22] 黄晨光, 陈江伟, 郑承红, 余正祥. 武汉绿地中心工程地下连续墙钢筋笼吊装技术[J]. 施工技术, 2015, 44(4):21-22.
- [23] 刘波, 唐碧波, 李家洪, 陈江伟, 姜宏. 武汉绿地中心临江基坑超深地下连续墙施工技术[J]. 施工技术, 2016, 45(10):10-13.
- [24] 刘惠涛, 吴贤国, 王震. 武汉绿地中心超深超大基坑工程施工及安全控制分析[J]. 施工技术, 2014, 43(17):21-25.