

# 南昌商业中心深基坑工程组合支护技术

谢秋明, 张青平

(江西省昌水建设工程有限公司, 江西 南昌 330095)

**摘要:**以南昌市一商业中心深基坑支护工程实例为背景,通过分析周边环境、地质条件、开挖深度,在保证安全的前提下,充分利用各种因素降低基坑支护造价。在地下水控制上,合理确定坑外地下水位控制标高,采用截水、降水的组合形式。基坑支护采用组合支护结构,在不同部位分别采用土钉墙、锚拉式排桩的支护形式;支护结构上,下部采用不同结构类型的组合。通过设计方案比较与优化,做到安全适用、经济合理。

**关键词:**深基坑支护;组合支护结构;土钉墙;锚拉式排桩;地下水控制;降水;止水帷幕

**中图分类号:**TU473.2 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2020)09-0075-06

## Composite support for the deep foundation pit of a commercial center in Nanchang

XIE Qiuming, ZHANG Qingping

(Jiangxi Changshui Construction Engineering Co., Ltd., Jiangxi Nanchang 330095, China)

**Abstract:** Taking the deep foundation pit support project of a commercial center in Nanchang as an example, on the premise of ensuring safety, various factors were taken into account to reduce the cost of foundation pit support through analysis of the surrounding environment, geological conditions and excavation depth. In the control of groundwater, water cutting-off was combined with dewatering to control the water table outside the pit at the properly designed elevation. The composite support structure was adopted for foundation pit support with the soil nailing wall and tensional anchor piles used for different parts. Various design alternatives were compared and optimized to attain safety, applicability and proper economics.

**Key words:** deep foundation pit support; combined support structure; soil nailing wall; tensional anchor pile; groundwater control; dewatering; cutting-off curtain

### 1 工程概况

南昌市一商业中心位于红谷滩新区凤凰洲赣江北大道与长江路交叉口,场地紧邻赣江,拟建项目分为商业区及住宅区,其中商业区建筑物主要有 2 栋超高层写字楼(A、B 塔楼 58F)及大型商业楼,设 3 层整体地下室;住宅区建筑物主要有超高层住宅楼 3 栋,设整体地下室 2 层。商业区基坑开挖深度为 13.20~13.40 m,住宅区基坑开挖深度为 9.20 m。商业区及住宅区基坑合并为一个整体基坑进行设计施工,基坑周长 1432 m,面积 123217 m<sup>2</sup>。

基坑东侧紧邻赣江北大道,距基坑边 70 m 处为赣江,南侧紧邻锦江路,西侧紧邻长江路,北侧紧

邻红谷北大道;四周道路地下管线主要有雨水管、污水管、供水管、电力管线、通信管线及煤气管线等,基坑东侧地上管线主要为架空电力线(电线杆),其距地下室外墙边线的距离约为 5.0m。基坑周边环境见图 1。

### 2 场地工程地质水文地质条件

#### 2.1 工程地质条件

拟建场地地处赣抚冲积平原区,位于 I 级阶地上,场地地形平坦。场地四周为城市道路,周边道路路面标高为 19.50~20.90 m;拟建场地原为农田和菜地,地面高程在 17.16~18.85m 之间,从而形成

收稿日期:2019-12-26;修回日期:2020-05-22 DOI:10.12143/j.tkgc.2020.09.013

作者简介:谢秋明,男,汉族,1975 年生,总工程师,高级工程师,注册一级建造师,注册土木工程师(岩土),从事岩土工程勘察、设计、施工工作,江西省南昌市高新开发区紫阳大道 169 号,1043882852@qq.com。

引用格式:谢秋明,张青平.南昌商业中心深基坑工程组合支护技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(9):75-80,96.

XIE Qiuming, ZHANG Qingping. Composite support for the deep foundation pit of a commercial center in Nanchang[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(9):75-80,96

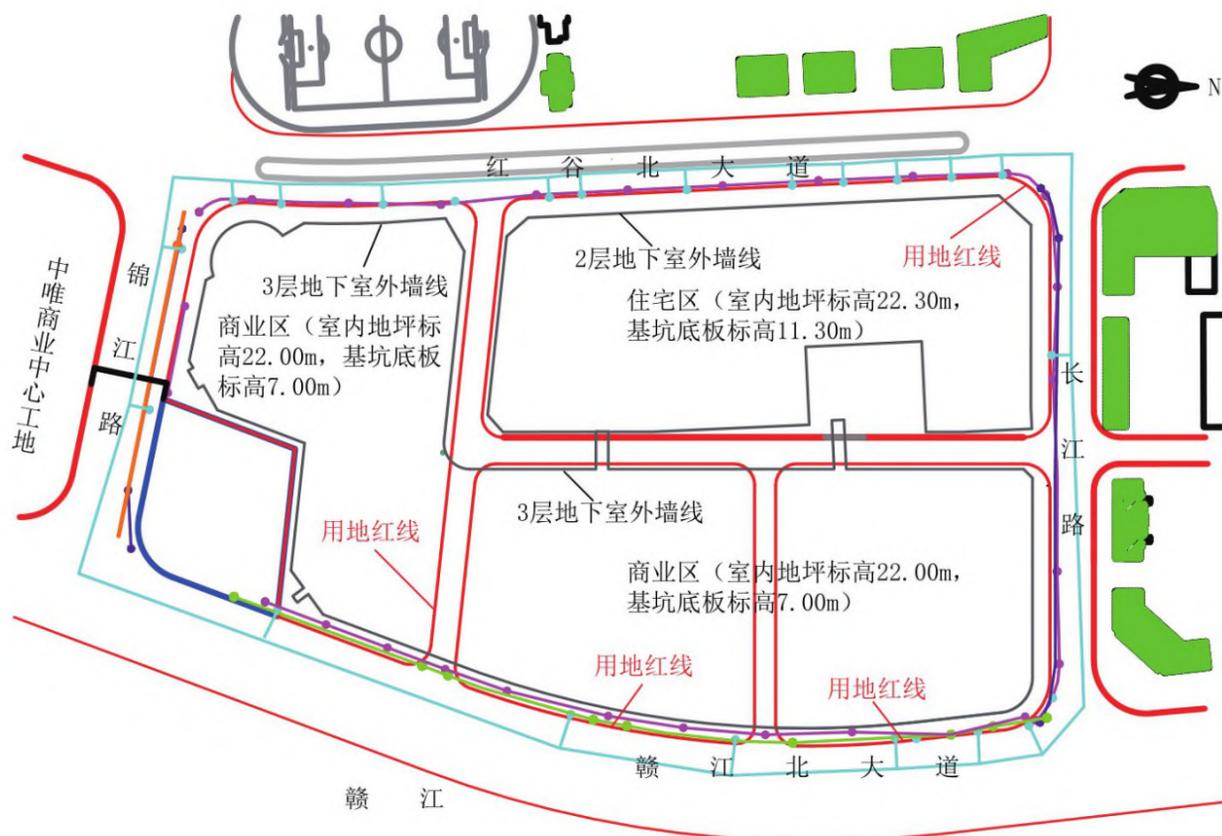


图1 基坑周边环境

Fig.1 Environment around the foundation pit

四周高、中间低的地形。

根据本工程岩土工程勘察报告,拟建场地地处赣抚冲积平原区。自上而下依次划分为①<sub>1</sub>杂填土、①<sub>2</sub>素填土、②粉土、③粉质粘土、④淤泥质粉质粘土、⑤细砂、⑥粗砂、⑦砾砂、⑧泥质粉砂岩。该基坑支护设计采用的岩土物理力学参数为地勘报告提供的建议值与类似工程经验值,其取用参数见表1。

表1 各岩土层基坑设计参数

Table 1 Design parameters of the foundation pit for each formation

岩土层编号	岩土名称	重度 $\gamma$ / ( $\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$ )	粘聚力 $c_k$ / kPa	内摩擦角 $\varphi$ / ( $^\circ$ )	锚杆的极限粘 结强度标准值 $Q_{sk}$ /kPa
①	填土	17.0	5	8	20
②	粉土	18.5	16	15	55
③	粉质粘土	19.0	25	12	50
④	淤泥质粉质粘土	17.5	10	5	30
⑤	细砂	19.0	0	27	45
⑥	粗砂	19.5	0	32	80
⑦	砾砂	19.7	0	35	110
⑧ <sub>1</sub>	强风化泥质粉砂岩	20.0	100	40	150
⑧ <sub>2</sub>	中风化泥质粉砂岩	22.0	200	50	200

## 2.2 水文地质条件

工程场地地下水主要为第四系松散孔隙潜水,局部呈微承压性,承压水头高度为0.70~1.20 m。孔隙水主要赋存于全新统(Q<sub>4</sub><sup>al</sup>)冲积砂砾石层中。勘察期间正值枯水期,稳定水位埋深为6.10~8.70 m,水位标高为11.37~12.00 m,稳定水位标高平

均值为11.60 m,地下水位年变幅3.00~8.00 m。地下水主要接受赣江地表水体的补给,受人为开采影响小,补给条件好;平水季节及枯水季节地下水补给地表水体(赣江),地下水向赣江排泄;汛期赣江水位上涨,地表水体(赣江)返补地下水。赣江有记录的最高水位为22.87 m(黄海高程),最低水位为9.20 m。根据地勘报告的抽水试验资料,场地内含水层渗透性强,综合渗透系数建议采用120 m/d,影响半径为196 m。

## 3 基坑设计重点因素及设计方案分析

### 3.1 重点因素分析

对拟建工程场地的工程地质、水文地质条件、周边环境条件、基坑开挖深度等重点因素进行分析。

基坑开挖范围内的土体除③粉质粘土层外,其余土层边坡的自稳性相对较差,尤其是场地北侧流塑状的淤泥质粉质粘土层,易使基坑边坡产生滑移破坏。场地内下部的砂土层内摩擦角虽较大,但粘聚力低,在水的作用下易失稳,易产生渗透变形。

场地下部孔隙潜水因邻近赣江(相距约70 m)水力联系密切,互为补排,水量极为丰富,基坑最低点标高为7.00 m,而洪水时场地最高水位基本与场地持平(即最高水位可达20.00 m左右),降深达13.00 m,且场地地下水极为丰富,渗透系数大,补给快。

基坑四周地下室外墙边线与用地红线的距离为 8~10 m,用地红线与道路边线基本重合,基坑东侧因人行道和电力架空线位于用地红线内,致使该侧地下室外墙边线与电力架空线距离约 5.0 m。

如何利用好地下室外墙边线与用地红线之间的空间,在保证安全的前提下,充分利用各种因素降低基坑支护造价,是基坑支护设计考虑的重点。

### 3.2 设计方案分析

#### 3.2.1 地下水控制方案

工程场地地下水主要为第四系松散孔隙潜水,孔隙水主要赋存于全新统( $Q_4^al$ )冲积砂砾石层中。与赣江水力联系密切,互为补排,水量极为丰富。孔隙潜水主要接受赣江地表水体的补给,平水季节及枯水季节地下水补给地表水体(赣江),地下水向赣江排泄;汛期赣江水位上涨,地表水体(赣江)返补地下水。根据以往经验,赣江两侧的基坑工程坑外采用减压井减压,坑外控制水位标高一般选定在约 18.00 m 标高<sup>[1]</sup>。

从支护结构安全性、经济性的角度,降低水头可减小水压力从而降低作用在支护结构上的荷载,减少地下水渗透破坏的风险,降低支护结构施工难度等<sup>[2]</sup>。经过调查分析多方论证,本工程采取在基坑外围布置减压井,将坑外水位控制在 15.00 m 标高以下,充分利用地下室外墙边线与用地红线之间的空间,降低基坑支护造价。

地下水控制系统是本基坑支护设计的重点。因此,止水帷幕应重点考虑技术的可靠性和地层的适应性。可选择的工艺有三轴搅拌桩、高压旋喷桩、咬合桩和 TRD 工法<sup>[3]</sup>,止水帷幕比选结果见表 2。

本地区基坑止水帷幕传统工艺多采用高压旋喷桩,但高压旋喷桩桩身缺陷率较高进而影响止水效果;三轴搅拌桩在地铁基坑上应用较多,有较多的成功经验,桩身质量较为可靠,对于一般粘土、砂土地层效果较好;咬合桩技术上可行,但施工控制难度大,稳定性差;TRD 工法遇基坑弯折不规则处施工麻烦,且造价较高<sup>[4]</sup>。综上所述,根据本场地地层特点,采用三轴搅拌桩止水帷幕。

本工程基坑砂砾层地下水接受赣江径流补给,丰水期地下水位上升,地下水位年变幅 3.00~8.00 m,所以水位控制是设计的重点。采取设置水位观测井,再根据水位变化情况进行坑外降水减压。为保证洪水季节基坑外地下水位控制在 15.00 m 标

表 2 止水帷幕比选结果

Table 2 Selection of water cutting-off curtain

止水方法	优点	缺点
三轴搅拌桩	无振动,对周边环境影 响小,整体成型,成桩质量 可靠,连续施工止水效果 好,施工速度快	施工时需要置换泥浆,对现 场造成一定污染;地层穿透 能力不强,对卵石层及岩层 穿透困难、速度慢、效果不佳
高压旋喷桩	穿透能力强,地层适应性 好,布置灵活,成桩过程振 动小,可与支护桩搭接减少 高压旋喷桩数	整体性较差,施工质量较难 控制、桩身缺陷率较高而影 响止水效果,且造价较高
咬合桩	地层适应性较强,与支护桩 咬合,整体性较好,刚度大, 能有效防止桩间流土(砂)	桩身采用特殊的超缓凝混凝 土,缓凝时间波动易造成咬 合失败或偏孔较大而影响止 水效果,施工控制难度大
TRD 工法	地层穿透能力较强,成墙连 续,搭接可靠,厚度一致,墙 体均匀性好,技术可靠性高	连续成墙工艺,遇基坑弯折 不规则处施工麻烦,造价较 高

高以下,坑外采用管井降水减压降低坑外的水位。在坑外距坡顶线 1.00 m 处布设减压井,井间距约 20.00 m,基坑外共布减压井 80 口。止水帷幕采用  $\text{O}850 \text{ mm} @ 600 \text{ mm}$  三轴搅拌桩,采用套接一孔法施工,桩体施工必须保持连续性,形成水泥土搅拌墙,确保防渗可靠性。三轴搅拌桩采用 PO42.5 水泥,水泥渗入量为 18%~20%,水灰比为 1.5~2.2,桩端进入下部隔水层不少于 1.00 m。

#### 3.2.2 支护结构方案

针对基坑的特点,有多种支护形式可供选择,需要在保证安全的前提下对其进行技术经济分析对比,以获得最优设计方案。

(1)锚拉式排桩:该技术和工程实践都成熟,是目前国内基坑工程应用最多的支护结构形式之一;可确保基坑安全,对土方开挖和地下基础施工无障碍。不足之处是灌注桩施工工期较长,锚拉结构易超出红线,工程造价相对较高。

(2)内支撑:这种支护结构无需占用基坑外侧地下空间资源,可提高整个围护体系的整体强度和刚度,能有效控制基坑及周边环境的变形,技术成熟,能确保基坑安全<sup>[5]</sup>。缺点是支护体系复杂,工程造价高,对土方开挖和运输有一定的限制。

(3)土钉墙:这种支护结构经济、简便、施工快速、不需大型施工设备。适用于地下水位以上或经降水的非软土基坑,且基坑深度  $\geq 12 \text{ m}$ 。缺点是需要一定的放坡空间,稳定性、安全性较差<sup>[6]</sup>。

通过对拟建工程场地的工程地质、水文地质条

件、周边环境条件、基坑开挖深度等因素分析,地下水控制采用坑外降水减压+止水帷幕的组合方法,坑外采用管井降水减压降低坑外的水位,使坑外水位控制在15.00 m标高以下<sup>[7]</sup>。利用地下室外墙边线与用地红线之间的空间,支护结构为标高16.00 m以上采用土钉墙支护,标高16.00 m以下采用桩锚支护。充分利用组合支护结构降低基坑支护造价。

经过比选,最终采用土钉墙、支护桩+锚索、坑外减压、坑内降水、三轴搅拌桩止水帷幕等组合支护体系。

#### 4 基坑支护体系设计

根据基坑深度、周边环境条件、地层变化情况等因素<sup>[2]</sup>,将本基坑支护体系分段进行设计,并经验算

符合规范要求,具体如下。

##### 4.1 土钉墙支护段

住宅区基坑开挖深度为9.20 m。该基坑的西侧,地下室外墙边线与用地红线的距离约10.9 m,场地地层不存在淤泥质粉质粘土层区域,采用土钉墙支护,上部4.40 m采用55°进行放坡,在标高16.10 m处设2.00 m宽的平台,下部4.80 m采用60°进行放坡;共设计土钉8排,平面上呈梅花型布置,土钉水平间距为1.00 m,与水平夹角15°。采用三轴搅拌桩 $\text{O}850\text{ mm}@600\text{ mm}$ 进行止水,三轴搅拌桩顶标高15.30 m<sup>[8]</sup>。为减小土钉的施工难度,避免土钉施工对止水帷幕的破坏,三轴搅拌桩放置在第二级坡土钉端部的外侧。基坑西侧土钉墙支护剖面见图2。

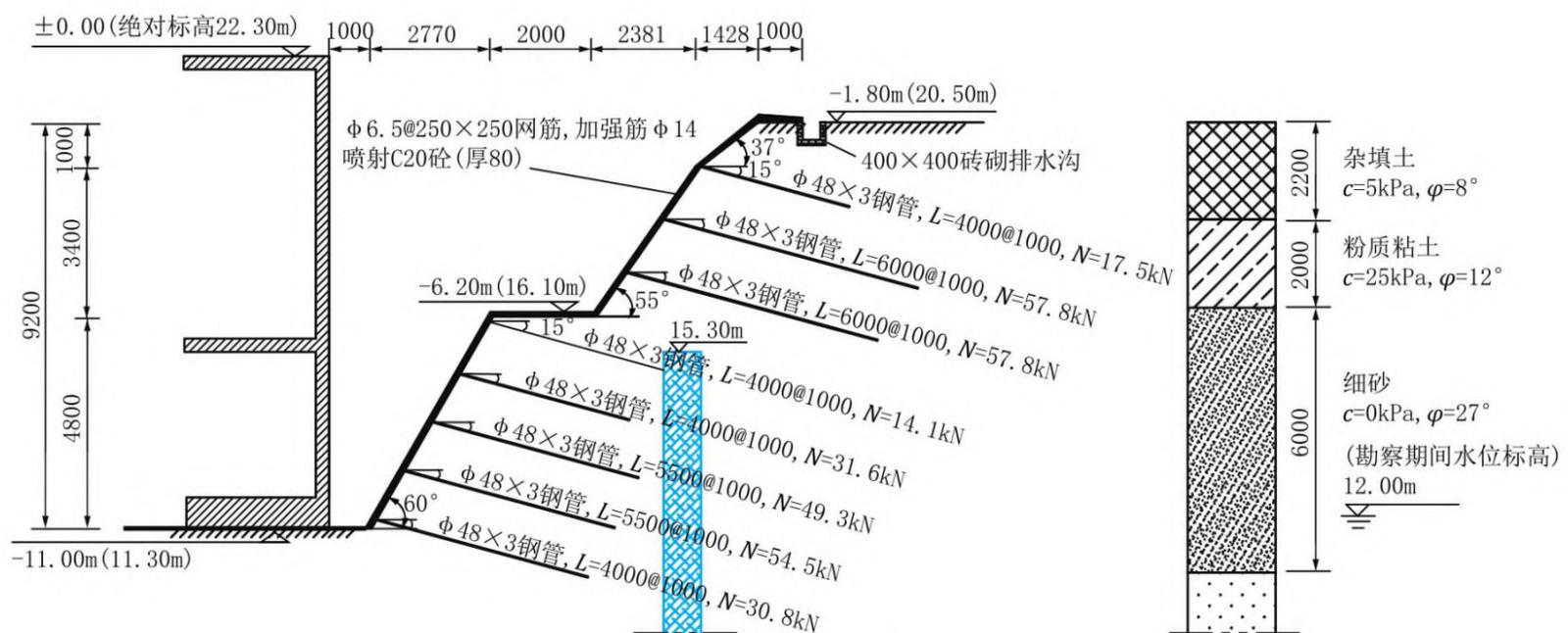


图2 基坑西侧土钉墙剖面

Fig.2 Profile of the soil nailing wall on the west side of the foundation pit

##### 4.2 基坑北侧土钉墙+桩锚支护段

商业区基坑开挖深度为13.20 m,该基坑的北侧,地下室外墙边线与用地红线的距离约10.0 m,场地地层存在淤泥质粉质粘土层,埋深5.20 m。该区域采用土钉墙+桩锚支护,经反复分析、试算,上部4.50 m采用土钉墙,在深4.50 m处设置3.50 m宽度平台时,边坡下部桩锚支护可以仅设置1道锚索;如小于3.50 m宽度平台,则需设置2道锚索。因此该段支护方案为:边坡上部4.50 m采用1:0.75放坡,设土钉3排,土钉间距为1.00 m,土钉长3.00~6.00 m,土钉采用 $\text{O}48\text{ mm}$ 钢管,与水平夹角15°;在标高15.70 m处设3.50 m宽的平台,边坡下部采用桩锚支护,设计桩顶标高为15.70 m、桩

径0.90 m、桩中心距1.40 m、桩身混凝土采用水下C30<sup>[9]</sup>;桩间土采用挂网喷射60 mm厚C20砼;桩外侧采用三轴搅拌桩 $\text{O}850\text{ mm}@600\text{ mm}$ 进行止水;设锚索1道,锚索中心标高15.40 m。为减少支护桩的钢筋用量,支护桩钢筋笼基坑内侧、外侧采用了不均匀配筋,上下段采用了分段配筋。支护桩钢筋笼上段长9.00 m,基坑内侧 $8\text{O}32\text{ mm}$ 钢筋、基坑外侧 $5\text{O}28\text{ mm}$ 钢筋;下段长6.70 m,基坑内侧 $5\text{O}32\text{ mm}$ 钢筋、基坑外侧 $7\text{O}28\text{ mm}$ 钢筋<sup>[10]</sup>。为保证钢筋笼主纵筋的连接可靠,采用了直螺纹套筒连接。基坑北侧土钉墙+桩锚支护剖面见图3。

##### 4.3 基坑东侧土钉墙+桩锚支护段

商业区基坑开挖深度为13.20 m,该基坑的东

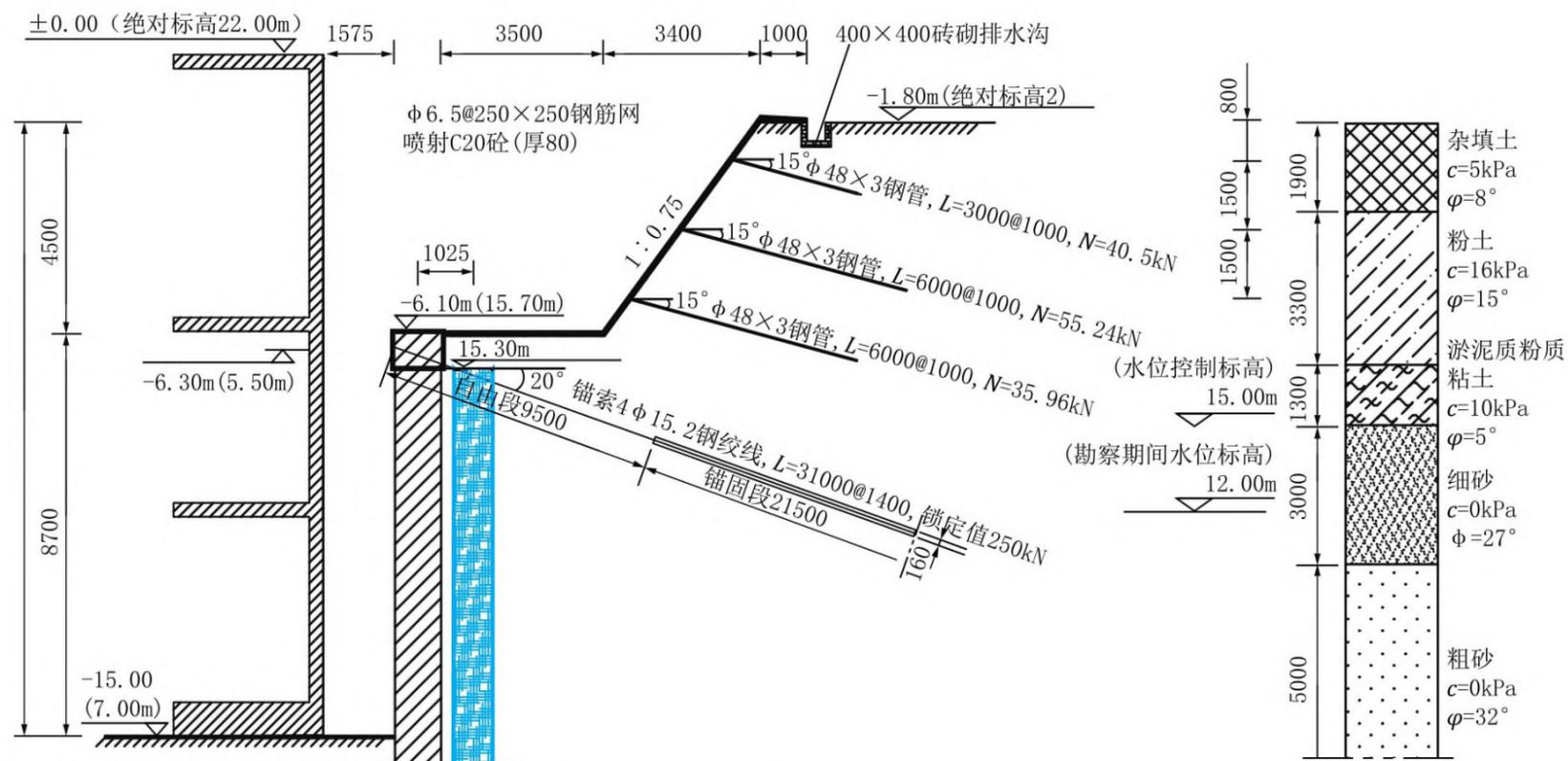


图 3 基坑北侧土钉墙+桩锚支护剖面

Fig.3 Profile of the soil nailing wall + pile anchor support on the north side of the foundation pit

侧,因人行道和电力架空线位于用地红线内,致使该侧地下室外墙边线与电力架空线距离约 5.0 m。该区域采用土钉墙+桩锚支护。边坡上部 2.50 m 采用 1:0.60 放坡,设土钉 2 排,土钉间距为 1.00 m,土钉长 3.00~6.00 m,土钉采用  $\text{O}48$  mm 钢管,与水平夹角  $15^\circ$ ;在标高 17.70 m 处设 1.00 m 宽的平台。边坡下部采用桩锚支护,设计桩顶标高 17.70 m,桩径 0.90 m、桩中心距 1.40 m、桩身砼采用 C30;桩间土采用挂网喷射 60 mm 厚 C20 砼。桩外侧采用三轴搅拌桩  $\text{O}850$  mm@600 mm 进行止水,设锚索 2 道,第一道锚索中心标高 17.40 m,第二道锚索中心标高 14.40 m。为减少支护桩的钢筋用量,支护桩钢筋笼基坑内侧、外侧采用了不均匀配筋,上下段采用了分段配筋<sup>[11]</sup>。支护桩钢筋笼上段长 12.00 m,基坑内侧  $9\text{O}32$  mm 钢筋、基坑外侧  $6\text{O}28$  mm 钢筋;下段长 5.70 m,基坑内侧  $5\text{O}32$  mm 钢筋、基坑外侧  $9\text{O}28$  mm 钢筋。为保证钢筋笼主纵筋的连接可靠,采用了直螺纹套筒连接。第二道锚索中心标高 14.40 m。要求错过洪水季节施工,施工时坑外地下水位应低于 14.00 m 标高,锚索注浆时孔口水泥浆要与三轴搅拌桩紧密结合,水泥浆充满锚索孔口,避免坑外水位上涨至锚索孔口时产生漏水<sup>[12]</sup>。基坑东侧土钉墙+桩锚支护剖面见图 4。

## 5 基坑组合支护体系施工效果

基坑支护结构施工顺序采用先施工三轴搅拌桩再施工支护桩,同时进行外围减压井及部分基坑内疏干井施工,最后伴随土方开挖进行土钉墙、锚索、冠梁、腰梁及坑内疏干井的施工<sup>[13]</sup>。三轴搅拌桩、支护桩施工时间为 55 d,随后进行土方开挖及后续分项的施工。整个使用期间基坑支护体系使用良好,基坑内外水位控制满足了要求。项目已经竣工验收,效果良好,为业主降低了基坑支护造价。

## 6 基坑监测情况

本工程基坑监测从土方开挖开始到基坑回填完成结束<sup>[14]</sup>,监测的内容主要有:水平与垂直位移、地下水位、锚索拉力等<sup>[15-16]</sup>,根据监测结果:水平位移最大值 20.8 mm;累计下沉量最大值 16.6 mm;地下水位满足设计及施工要求,坑外水位在 15.00 m 标高以下,基坑内水位低于坑底 0.50 m;锚索拉力在报警值以内。

## 7 结语

(1)随着城市建设的快速发展,各种地下工程规模不断扩大,越来越多的基坑支护技术被采用和完善,基坑支护体系应根据基坑深度、周边环境条件、

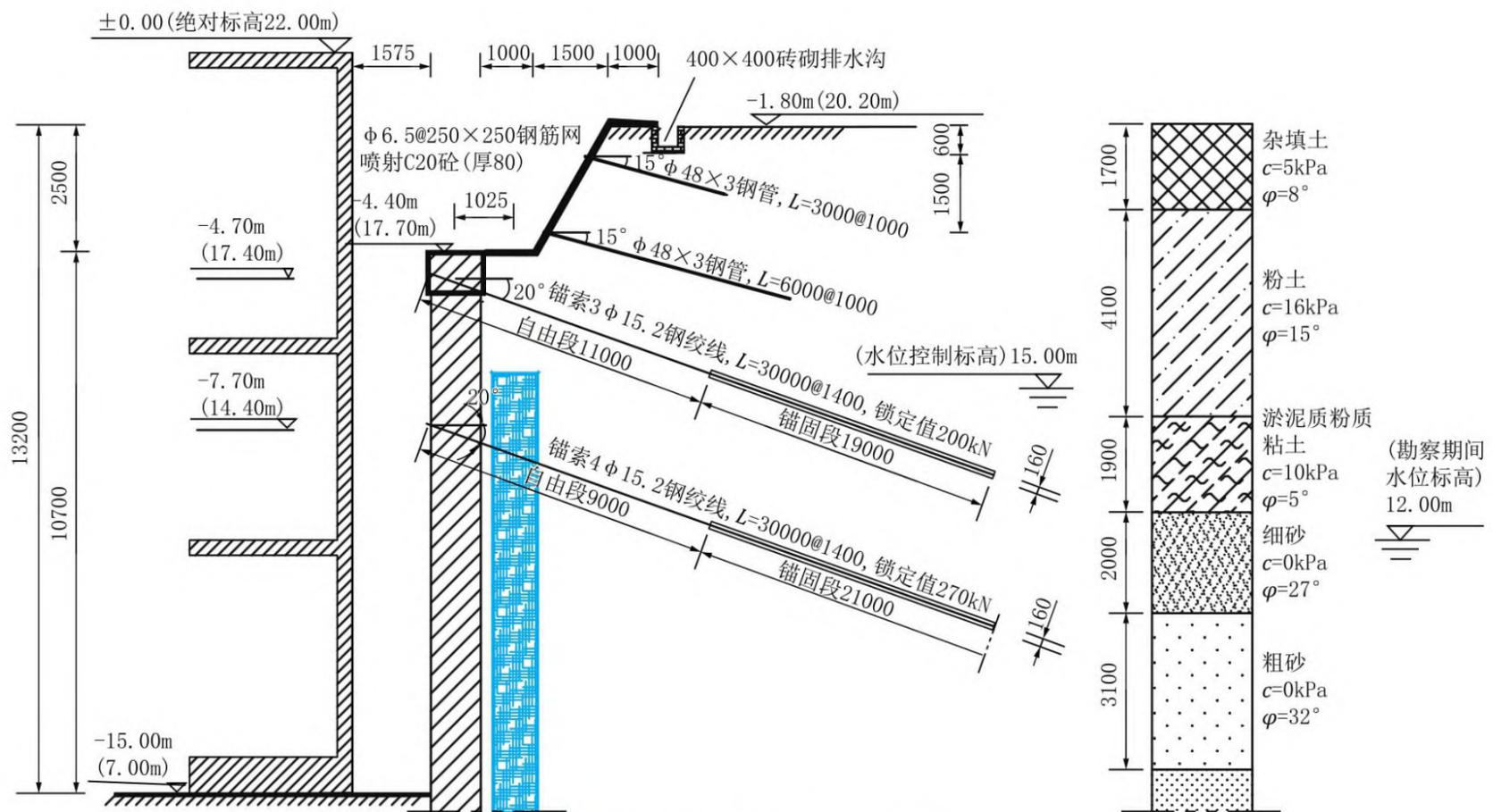


图4 基坑东侧土钉墙+桩锚支护剖面

Fig.4 Profile of soil nailing wall + pile anchor support on the east side of foundation pit

地质条件等因素,在保证安全的前提下,可以充分利用各种因素降低基坑支护造价。基坑支护体系可以采用组合支护结构,在不同部位分别采用不同的支护形式;支护结构上,下部采用不同结构类型的组合。

(2)地下水控制方法应根据基坑周边环境条件、降水深度、工程地质和水文地质条件综合确定,当基坑靠近地表水体时,应查明场地地下水与地表水体间的水力联系,合理确定坑外地下水位控制标高,可采用坑外降水井减压降低坑外水位+止水帷幕的地下水控制方法。通过设计方案比较与优化,做到安全适用、经济合理。

#### 参考文献(References):

- [1] 周庆荣.高富水砂砾层深基坑工程设计与实践[M].南昌:江西科学技术出版社,2017.  
ZHOU Qingrong. Design and practice of deep foundation pit in high water-rich gravel layer[M]. Nanchang: Jiangxi Science and Technology Publishing House, 2017.
- [2] JGJ 120-2012,建筑基坑支护技术规程[S].  
JGJ 120-2012, Technical specification for retaining and protection of building foundation excavations[S].
- [3] 易智宏,贺浩.超深基坑止水帷幕 TRD 与防渗墙工法对比分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(12):82-84.  
YI Zhihong, HE Hao. Comparison analysis on water-stop curtain methods of TRD and cut-off wall for ultra deep foundation pit[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016,43(12):82-84.
- [4] 沈治新,贾万鑫,宋国龙.天津崇德园基坑支护工程技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(4):71-73.  
SHEN Zhixin, JIA Wanxin, SONG Guolong. Technology of foundation pit support engineering in Chongdeyuan of Tianjin [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017,44(4):71-73.
- [5] 殷宝兵,周爱兆,姜彬霖.南通市南山湖综合楼基坑工程降水数值模拟分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(10):61-65.  
YIN Baobing, ZHOU Aizhao, JIANG Binlin. Numerical simulation analysis on dewatering in foundation pit project of Nanshanhu Comprehensive Building in Nantong[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017,44(10):61-65.
- [6] 许清根.南昌市深基坑工程支护结构方案设计文件编制与审查要点[M].南昌:江西科学技术出版社,2014.  
XU Qinggen. Documentation and examination points of supporting structure scheme design for deep foundation pit engineering in Nanchang [M]. Nanchang: Jiangxi Science and Technology Publishing House, 2014.
- [7] 葛鹏,胡远,左新明.扬中金源时代购物中心基坑降水数值模拟分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(4):63-69.  
GE Peng, HU Yuan, ZUO Xinming. Numerical simulation analysis of foundation pit dewatering at Yangzhong Jinyuan Times Shopping Center[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(4):63-69.
- [8] 黄薛,孔涛,郭长恩.济南东舍坊深基坑工程多种支护方式及变形对比分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(6):77-82,87.  
HUANG Xue, KONG Tao, GUO Changen. Comparison of deformation with various support methods used at a deep foundation pit project in Jinan[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(6):77-82,87.

(下转第 96 页)

- ZHENG Wenfu, ZHANG Wenlong, CHEN Shaohui. Directional blasting demolition of a 120m chimney in complex environment[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(1):89-92.
- [6] 罗福友,陶明,王云茂,等.复杂环境下薄壁式倒锥形水塔爆破拆除[J].工程爆破,2019,25(1):38-44.  
LUO Fuyou, TAO Ming, WANG Yunmao, et al. Blasting demolition of thin-walled inverted cone water tower in complex environment[J]. Engineering Blasting, 2019,25(1):38-44.
- [7] 谢先启,刘昌邦,贾永胜,等.38 m 高倒锥形钢筋砼水塔控爆拆除[J].爆破,2009,26(2):61-63.  
XIE Xianqi, LIU Changbang, JIA Yongsheng, et al. Controlled blasting demolition of 38m high reverse cone-shape RC water-tower[J]. Blasting, 2009,26(2):61-63.
- [8] 陈仲超.三方向近距离有保护物的楼房爆破拆除技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(7):81-84.  
CHEN Zhongchao. Demolition blasting technology for a building with close-range existing facilities in three directions[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015,42(7):81-84.
- [9] 温尊礼,顾月兵,韩文红.基坑围护钢筋混凝土支撑精确爆破拆除[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(3):80-84.  
WEN Zunli, GU Yuebing, HAN Wenhong. Accurate blasting demotion of reinforced concrete support for foundation pit enclosure[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015,42(3):80-84.
- [10] 汪旭光,于亚伦.拆除爆破理论与工程实例[M].北京:人民交通出版社,2008.  
WANG Xuguang, YU Yalun. Blasting demolition theory and engineering examples[M]. Beijing: China Communications Press, 2008.
- [11] 周家汉,陈善良,杨业敏,等.爆破拆除建筑物时震动安全距离的确定[J].爆破,1993(S2):165-169,174.  
ZHOU Jiahuan, CHEN Shanliang, YANG Yemin, et al. Determination of vibration safety distance in blasting demolition of buildings[J]. Blasting, 1993(S2):165-169,174.
- [12] 许名标.高耸构筑物爆破拆除触地振动试验研究[J].工程爆破,2015,21(2):30-35.  
XU Mingbiao. Experimental study on blasting demolition touchdown vibration of the towering structure[J]. Engineering Blasting, 2015,21(2):30-35.
- [13] 林飞.大型构筑物拆除爆破振动与塌落触地振动分析[J].爆破器材,2019,48(5):61-64.  
LIN Fei. Analysis of blasting vibration and collapse ground-touching vibration in demolition of large structures[J]. Explosive Materials, 2019,48(5):61-64.
- [14] 季杉,谢伟平,王礼.爆破振动与塌落触地振动特点及传播规律试验研究[J].振动与冲击,2018,37(11):195-201.  
JI Shan, XIE Weiping, WANG Li. Tests for ground vibration characteristics and propagation laws due to blasting and touchdown impact[J]. Journal of Vibration and Shock, 2018, 37(11):195-201.
- [15] 刘铭.爆破拆除建筑物塌落与触地振动响应分析[D].武汉:武汉理工大学,2014.  
LIU Ming. Analysis of buildings collapsing by blasting demolition and touchdown vibration response[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2014.

(编辑 王建华)

## (上接第 80 页)

- [9] GB 50007-2011, 建筑地基基础设计规范[S].  
GB 50007-2011, Code for design of building foundation[S].
- [10] 史佩栋.桩基工程手册[M].北京:人民交通出版社,2008:568-587.  
SHI Peidong. Pile and pile foundation handbook[M]. Beijing: China Communications Press, 2008:568-587.
- [11] JGJ 94-2008, 建筑桩基技术规范[S].  
JGJ 94-2008, Technical code for building pile foundation[S].
- [12] 罗晓伟,车国喜,刘斯全.复杂环境工况下大型深基坑工程施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(2):86-91.  
LUO Xiaowei, CHE Guoxi, LIU Siqian. Construction technology of large deep foundation pit engineering under complex environmental conditions[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017,44(2):86-91.
- [13] 林书成,周振荣,唐咸远.复杂环境中深基坑综合支护设计与施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(1):70-74.  
LIN Shucheng, ZHOU Zhenrong, TANG Xianyuan. Design of comprehensive supporting for deep foundation pit in complex environment and the construction technology[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017,44(1):70-74.
- [14] GB 50497-2009, 建筑基坑工程监测技术规范[S].  
GB 50497-2009, Technical code for monitoring of building foundation pit engineering[S].
- [15] 杨春柳.地铁车站超深基坑围护结构变形监测结果分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(6):47-51.  
YANG Chunliu. Analysis on deformation monitoring results of retaining structure in subway extra-deep foundation pit[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(6):47-51.
- [16] 孙廷仁.基坑竖向位移监测与地表沉降分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(7):76-80.  
SUN Tingren. Monitoring of foundation pit vertical displacement and analysis on surface settlement[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017, 44(7):76-80.

(编辑 周红军)