

# 黄陵矿业集团矿工公寓楼基坑支护工程设计

王 伟<sup>1</sup>, 樊亚萍<sup>1</sup>, 王腾飞<sup>2</sup>

(1.陕西地质工程有限公司, 陕西 西安 710054; 2.河北省地矿局第二地质大队, 河北 唐山 063000)

**摘要:**黄陵矿业集团矿工公寓楼基坑设计开挖深度 8.37 m。南侧安全等级为一级, 不具备放坡条件, 设计采用排桩+预应力锚索格构支护方案; 东、西、北三侧区段安全等级为二级, 具备放坡条件, 设计采用放坡+土钉墙支护方案; 采用坑外管井降水+坑内集水明排组合降水方法。介绍了不同支护方案和降水方案的设计情况, 同时介绍了土钉墙、支护桩、预应力锚索、降水井及观测井的施工技术要求。

**关键词:**基坑支护; 排桩+预应力锚索; 放坡+土钉墙; 管井降水

**中图分类号:** TU473.2 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2020)09-0057-06

## Foundation pit support engineering design for the miners' apartment building of Huangling Mining Group

WANG Wei<sup>1</sup>, FAN Yaping<sup>1</sup>, WANG Tengfei<sup>2</sup>

(1. Shaanxi Geological Engineering Co., Ltd., Xi'an Shaanxi 710054, China;

2. No.2 Geological Team of Hebei Bureau of Geology and Mineral Resources, Tangshan Hebei 063000, China)

**Abstract:** The foundation pit support for the miners' apartment building of Huangling Mining Group is designed with the excavation depth of 8.37m. Since the security level for the south side is classified as the first grade, and slope grading is not permitted, the soldier pile + prestressed anchor grid is designed for support. For the east, west and north sections, the security level is classified as the second grade, and sloping is permitted; thus, slope grading + the soil nail wall support is designed for support. For dewatering, tube wells outside the pit is combined with the water ditch collection and drainage in the pit. The design of different support and dewatering plans are introduced. At the same time, the construction specifications for soil nailing walls, support piles, prestressed anchor cables, dewatering wells and observation wells are introduced.

**Key words:** foundation pit support; soldier piles+prestressed anchor cable; grading+soil nailing wall; tube well dewatering

## 1 工程概况

### 1.1 基坑概况

黄陵矿业集团矿工公寓楼基坑东西长 114.55 m、南北宽 43.82 m, 开挖深度 8.37 m, 设计降水水位-9.37 m。基坑北侧为沮河, 坑底开挖线距沮河 14.2 m; 东侧为去店头中学坡道, 坑底开挖线距坡道 11 m; 西侧为 2 层楼房, 坑底开挖线距楼房距离 >20 m; 南侧为 6~8 m 高边坡, 边坡顶部为店头中学和居民住宅楼, 坑底开挖线距边坡坡脚距离为 5 m, 边坡已采用浆砌石挡墙+预应力锚索格构梁进

行了加固防护。

### 1.2 地质条件

场地地层自上而下为: ①素填土、②黄土状土、③混粘土卵石、④强风化砂质泥岩和⑤中风化泥岩, 地下水位埋深 4.4~4.6 m。地层剖面见图 1, 各地层物理力学参数见表 1。

## 2 基坑支护设计

### 2.1 设计参数

(1) 基坑等级: 南侧坑壁距离边坡挡墙约 5 m,

收稿日期: 2020-03-21; 修回日期: 2020-07-10 DOI: 10.12143/j.tkgc.2020.09.010

作者简介: 王伟, 男, 汉族, 1984 年生, 工程师, 地质工程专业, 硕士, 从事岩土工程、地质灾害评价及地质灾害治理工作, 陕西省西安市雁塔北路 100 号, 86596326@qq.com。

引用格式: 王伟, 樊亚萍, 王腾飞. 黄陵矿业集团矿工公寓楼基坑支护工程设计[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2020, 47(9): 57-62.

WANG Wei, FAN Yaping, WANG Tengfei. Foundation pit support engineering design for the miners' apartment building of Huangling Mining Group[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020, 47(9): 57-62.

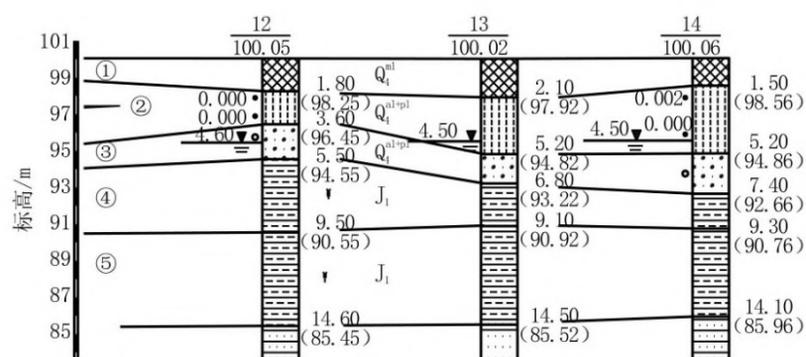


图1 地层剖面

Fig.1 Stratigraphic section

表1 地层物理力学参数

Table 1 Physical and mechanical parameters of formation

层号	土层名称	层厚/ m	计算厚度/ m	重度/ ( $\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$ )	压缩模量/ MPa	粘聚力/ kPa	内摩擦角/ ( $^{\circ}$ )	渗透系数/ ( $\text{m} \cdot \text{d}^{-1}$ )
①	素填土	0.80~2.30	1.20	18.50	8	16.00	15.00	
②	黄土状土	0.60~4.50	2.30	19.20	6	24.00	20.00	
③	混粘土卵石	1.00~4.50	2.50	20.00	20	5.00	28.00	32.0
④	强风化砂质泥岩	1.50~4.00	3.30	20.00	18	30.00	25.00	0.5
⑤	中风化泥岩	4.20~6.10	5.30	20.00	18	30.00	28.00	

(4)降水条件:降水按坑外管井和坑内集水明排组合降水方法设计<sup>[3]</sup>,其中管井降水条件为潜水完整井、基坑远离边界。

## 2.2 设计方案

根据《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120—2012)、《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011)、《建筑基坑工程监测技术规范》(GB 50497—

2009)、《建筑基坑支护技术与安全规程》(DBJ 61/T105—2015)进行基坑支护设计。

(2)附加荷载:南侧边坡及挡墙附加荷载按20 kPa计算,作用范围为无限;东侧、西侧及北侧附加荷载按15 kPa计算。

(3)受力状况:基坑南侧支护结构受力按边坡作为基坑整体和边坡重力按附加荷载2种情况计算,选受力大的状况为支护设计受力状况。

2009)、《建筑基坑支护技术与安全规程》(DBJ 61/T105—2015)进行基坑支护设计。

### 2.2.1 支护方案

基坑东、西、北侧具备放坡条件,采用1:0.4放坡+土钉墙支护方案<sup>[4]</sup>;南侧不具备放坡条件,采用支护排桩+预应力锚索格构支护方案<sup>[5-8]</sup>。支护结构平面布置见图2。

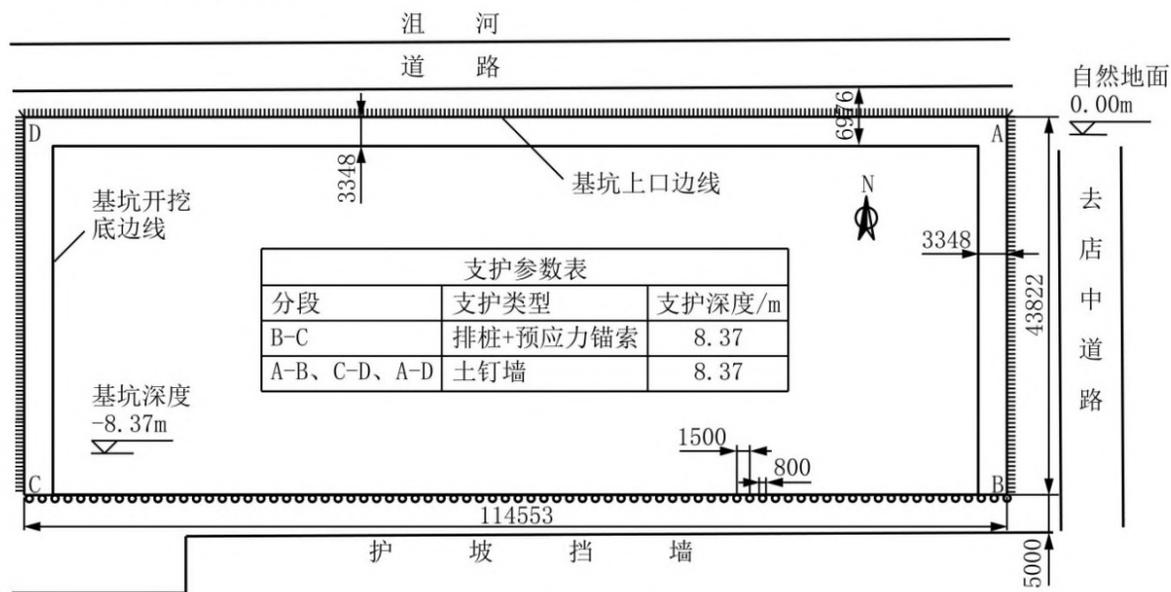


图2 基坑支护方案平面布置

Fig.2 Layout plan of the foundation pit support

#### 2.2.1.1 基坑东、西、北侧放坡+土钉墙支护方案

放坡坡比1:0.4。土钉、花管横向、竖向间距均为1500 mm,共布设5排土钉、花管,第1、第2、第5排为土钉,长度分别7、9和6 m,第3、第4排为花管,长度均为6 m。自第2排土钉下每排均设泄水孔,泄水孔横向间距3000 mm。面层采用强度C20

喷射混凝土,厚度100 mm;网筋为 $\Phi 6.5 \text{ mm} @ 200 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$ 钢筋,网筋上焊压双向1 $\Phi 14 \text{ mm}$ 加强筋。支护结构见图3。

#### 2.2.1.2 基坑南侧排桩+预应力锚索格构支护方案

(1)排桩设计:排桩采用 $\Phi 800 \text{ mm}$ 的C30混凝土灌注桩,桩长15 m,桩中心间距1.5 m,主筋为12

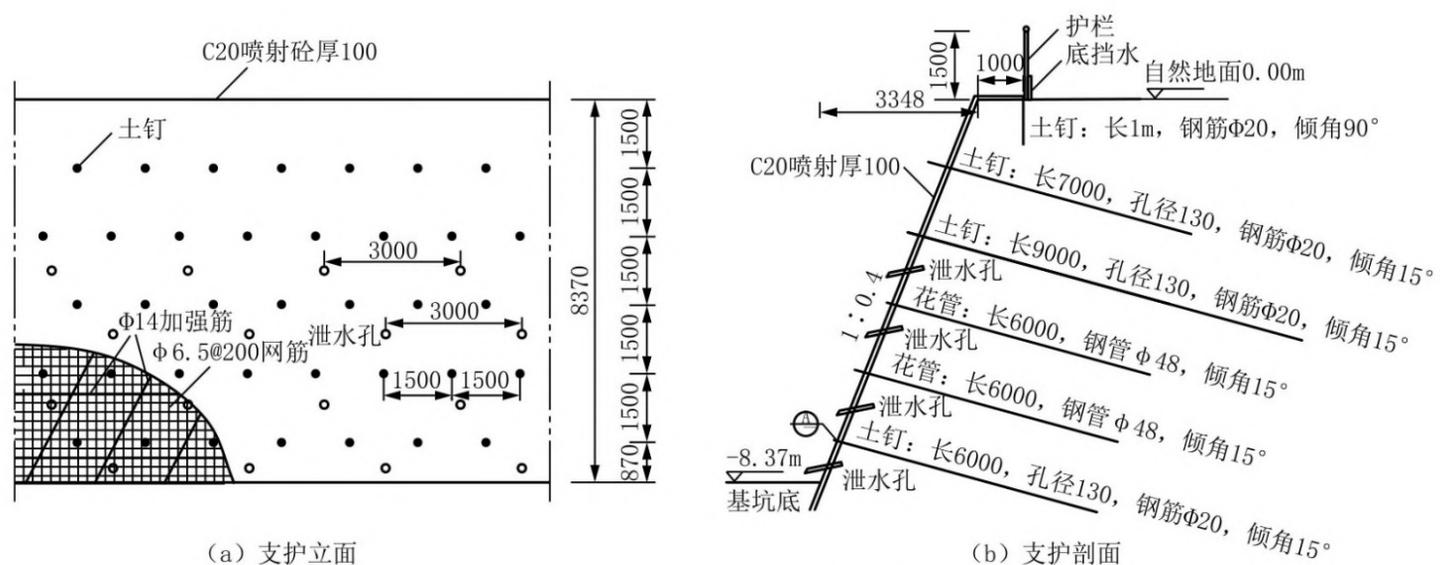


图 3 放坡+土钉墙支护结构

Fig.3 Support structure of slope grading+the soil nailing wall

根  $\Phi 25$  mm 钢筋(均匀布筋),加强筋为  $\Phi 16$  mm@2000 mm,螺旋筋为  $\Phi 8$  mm@200 mm。

(2)预应力锚索格构设计<sup>[9-10]</sup>:共布设 2 排锚索,分别位于自然地面下 2.5 m 和 5.5 m 处,锚索孔横向间距均为 1500 mm。第一排锚索长度 15 m,其中自由段长度 5 m,锚固段长度 10 m;第二排锚索长度 12 m,其中自由段长度 3 m,锚固段长度 9 m。锚索孔孔径 150 mm,锚孔内灌注 M20 水泥砂浆。锚索采用 3 根  $\Phi 15.2$  mm 的 1860 型钢绞线,锚座采用 OVM 预埋式锚座、锚垫板。第一道锚索

设计最大拉应力 130 kN,施加锁锚预应力值 100 kN;第二道锚索设计最大拉应力 120 kN,施加锁锚预应力值 90 kN。格构梁选用 20b 型槽钢。

(3)坑壁挂网喷射 C20 混凝土,厚度 80 mm。网筋为  $\Phi 6.5$  mm@250 mm $\times$ 250 mm 钢筋,横向设一道  $\Phi 16$  mm 加强筋,加强筋与桩体采用  $\Phi 16$  mm 膨胀螺栓连接,螺栓横向、竖向间距均为 1500 mm。

(4)桩顶设置冠梁,冠梁采用 C30 混凝土,截面尺寸为宽 $\times$ 高=0.8 m $\times$ 0.6 m。

基坑南侧支护结构见图 4。

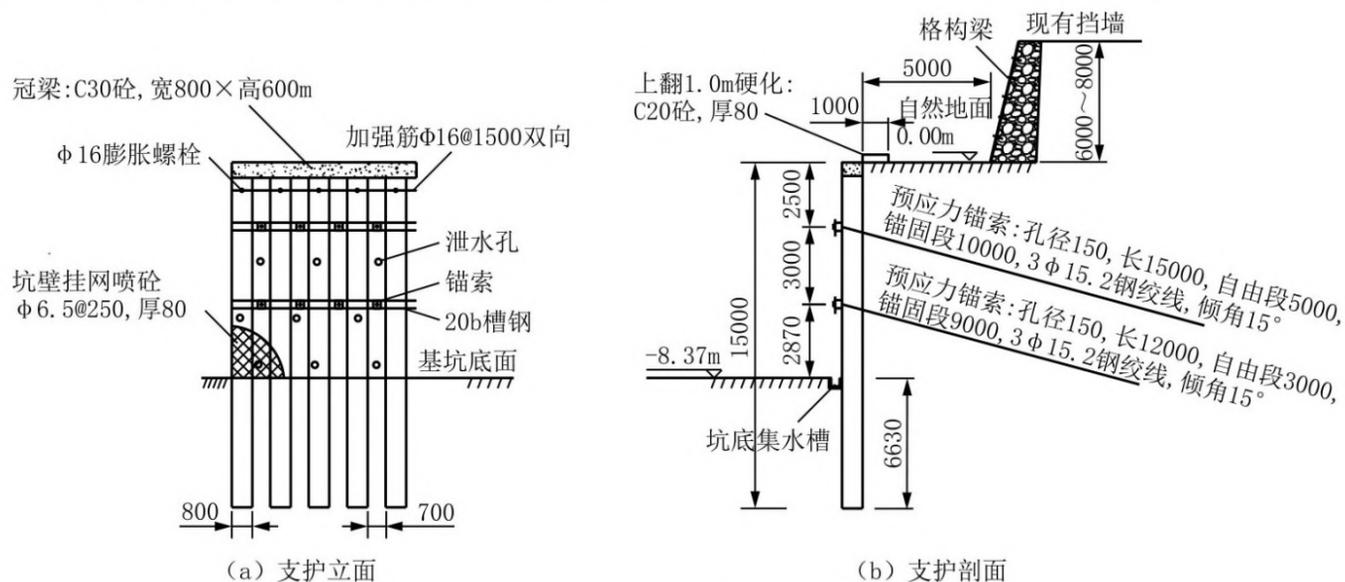


图 4 排桩+预应力锚索格构支护结构

Fig.4 Support structure of soldier piles+prestressed anchor cable grid

### 2.2.2 降水方案

采用坑外管井降水+坑内集水明排组合降水方法<sup>[11-12]</sup>。降水井、观测井平面布置及降水井结构见图 5。

(1)场地地下水位埋深 4.40~4.60 m,本工程基坑底为-8.37 m,设计水位为-9.37 m,因此设计水位降深为 4.97 m。

(2)沿基坑边线共布置降水井 23 口,井深 12 m,井径 800 mm,北侧和西侧井距 13 m,南侧和东侧井距 15 m。

(3)静水位以上选用混凝土实管,静水位以下选用无砂混凝土滤水管,采用托盘式下管法,井管与孔壁之间采用 3~5 mm 磨圆度较好的砾料充填,井底用混凝土封闭。

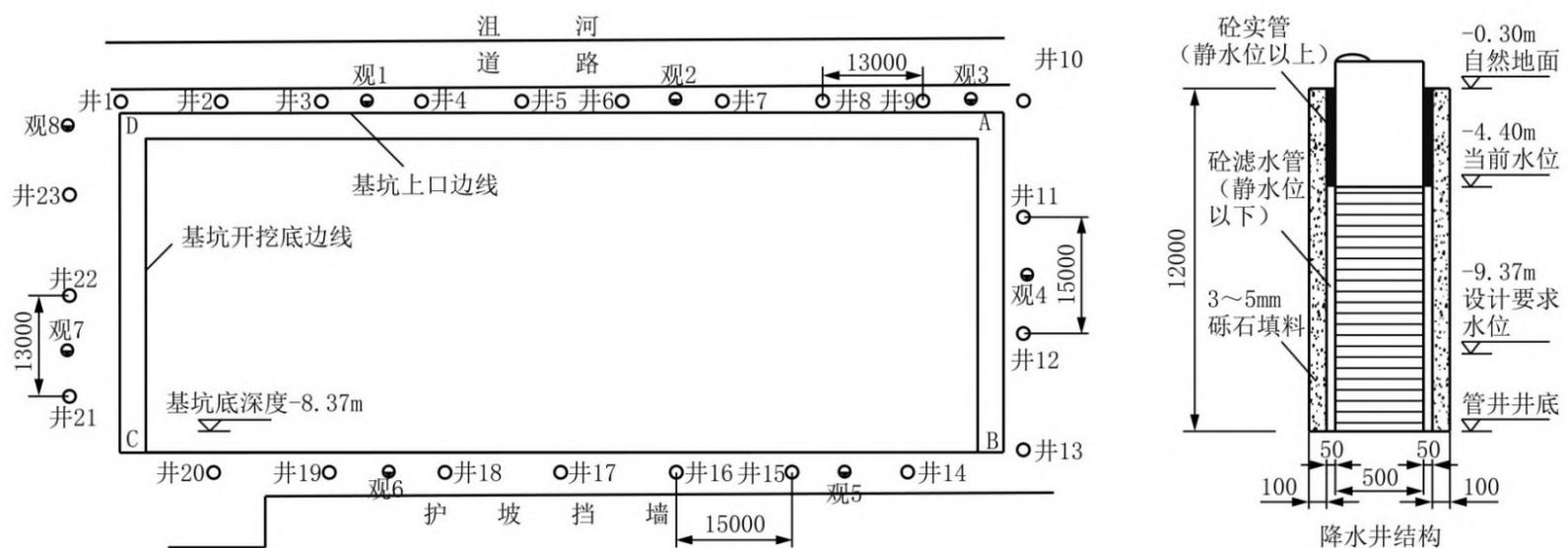


图5 降水井、观测井平面布置及降水井结构

Fig.5 Layout plan of the dewatering well and observation well

(4)下入井管填完砾料后立即采用排污泵洗井,洗井结束后,含沙量不得大于 $1/10000$ 。选用扬程20 m、排量 $35\text{ m}^3/\text{h}$ 的潜水泵进行抽水。

(5)设置观测井8口,井径150 mm,井深12 m,下 $\text{O}100\text{ mm}$  PVC滤水管,滤水管与井壁间填滤料。

(6)施工过程中在基坑内设置集水坑,施工结束后沿坑周边布置集水槽、集水坑,用水泵抽排渗入基坑内的地下水和雨水。

### 2.3 材料选用

本工程选用水泥标号为P.O 42.5R,桩体混凝土强度等级为C30,面层喷射混凝土强度等级为C20,锚索孔灌注水泥砂浆强度等级为M20,土钉孔灌注浆液为水灰比0.45的纯水泥浆液。

螺纹钢选用HRB335钢筋,圆钢筋选用HPB235钢筋,焊条采用E4303型号,花管采用DN40焊管,预应力锚索钢绞线采用 $\text{O}15.2\text{ mm}$ 、强度1860 MPa钢绞线,钢梁采用20b槽钢。

## 3 施工技术要求

### 3.1 土钉墙技术要求

(1)土钉可采用人工洛阳铲成孔,人工洛阳铲无法成孔时采用机械成孔,成孔过程不得向孔内注水;花管可采用潜孔锤直接打入,最后一排土钉采用机械成孔。

(2)花管施工过程如遇到岩层无法砸入时改用土钉支护方法,成孔采用机械成孔。

(3)孔内用水灰比0.45纯水泥浆液压力注浆,注浆压力 $0.2\sim 0.3\text{ MPa}$ 。注浆前孔内应保持通畅、无残留物,注浆管端部距孔底宜为 $250\sim 500\text{ mm}$ 。

(4)土钉、花管误差要求为:孔距允许偏差 $\pm 100$

mm,孔深偏差 $\pm 50\text{ mm}$ ,孔径偏差 $\pm 5\text{ mm}$ ,倾角偏差 $\pm 3^\circ$ 。

(5)面层采用C20喷射混凝土,自第二层土钉起,每层土钉下设计一层泄水孔,泄水孔横向间距3 m、孔径90 mm、深度600 mm,仰角 $15^\circ$ 。泄水管采用 $\text{O}60\text{ mm}$  PVC管,在PVC管上梅花型钻设进水孔,安放时用滤布对PVC管进行包裹、对管外孔口用粘土进行塞填。

(6)施工顺序为:土方开挖→边坡修整→土钉成孔→安放土钉或砸入花管→孔内注浆→补浆→面层钢筋网铺设→设置泄水孔→面层喷射混凝土→洒水养护。

### 3.2 支护桩技术要求

(1)支护桩施工工序:孔位测放→钻进成孔→清孔→安放钢筋笼→安放导管→水下浇筑混凝土。

(2)支护排桩宜采取隔桩施工,并应在灌注混凝土24 h后进行邻桩成孔施工。

(3)支护桩施工时应保证桩径偏差 $\geq 50\text{ mm}$ ,垂直度偏差 $\geq 0.5\%$ ,桩位偏差轴线和垂直轴线方向 $\geq 50\text{ mm}$ 。

(4)支护桩桩底沉渣 $\geq 200\text{ mm}$ 。钻孔灌注桩钢筋保护层厚50 mm,充盈系数1.1。

(5)支护桩应满足桩身质量及钢筋笼焊接质量要求,不得有断桩、混凝土离析、夹泥现象发生。

(6)冠梁施工前,应将支护桩桩顶浮浆凿除清理干净,桩顶以上出露的钢筋长度应不小于冠梁高度。

(7)钢筋笼在起吊、运输和安装中应采取措施防止变形,起吊吊点宜设在加强筋部位。

(8)桩体混凝土强度等级为C30,主筋为12B25 mm,加强筋为B16 mm@2000 mm,螺旋筋为 $\text{O}8$

mm@200 mm。

(9) 支护桩施工结束后应对桩体完整性进行 100% 的小应变检测。

### 3.3 预应力锚索技术要求

(1) 锚索孔采用潜孔锤跟管钻进技术, 锚索采用人工方式安放, 安放锚索时一同安入注浆管。

(2) 锚索采用二次注浆工艺。锚固体采用 M20 水泥砂浆, 注浆压力 0.6 MPa, 二次注浆采用 P. O 42.5R 纯水泥浆液, 水灰比 0.45, 注浆压力 1 MPa。

(3) 锚索张拉分 5 级进行, 每级荷载分别为设计拉力的 0.25、0.5、0.75、1.0、1.1 倍, 除最后一级需要稳定 10~20 min 外, 其余每级需要稳定 5 min, 并记录每一级钢绞线的伸长量。

(4) 锚索施工结束后, 按照 5% 的比例对锚索的拉力进行抽样检测。

### 3.4 降水井及观测井技术要求

(1) 为保证基坑地面施工期间干燥, 设计基坑内降水深度按基坑底面以下 1.0 m 控制。

(2) 降水井的成孔工艺应根据当地经验进行, 但不宜采用泥浆护壁工艺, 若必须采用泥浆护壁时, 则成井完毕应充分洗井, 保证井管滤水畅通, 成孔过程中做好地层的描述。

(3) 下入井管填完砾料后立即采用排污泵洗井, 洗井结束后, 含沙量  $\leq 1/10000$ 。

(4) 降水井的布置沿基坑上口线外放 1.5 m 进行, 若有无法避免的障碍物阻碍施工, 可沿边线方向适当调整位置。

(5) 基坑施工过程中, 在坑内根据渗水量大小挖设集水坑、集水槽, 以明排的方法抽排渗到坑内的地下水。坑内集水明排作为坑外管井降水的辅助降水措施。

(6) 观测井采用地质钻机成孔, 孔径 150 mm, 孔深 12 m, 下入  $\varnothing 100$  mm PVC 滤水管, 滤水管与孔壁间填入滤料。

### 3.5 变形监测技术要求

(1) 主要监测内容为: 基坑上口边线水平位移、垂直沉降<sup>[13]</sup>。

(2) 监测点布置: 沿基坑四周在墙顶设置水平位移观测点, 在基坑周边现有构筑物布置垂直沉降观测点。监测点之间的间距  $\geq 20$  m。

(3) 监测项目在边坡开挖前应测得初始值, 且不应少于 2 次。

(4) 监测频次: 土方开挖期间每天观测一次, 土方开挖至设计高程后 1 个月内每周观测一次, 此后至基坑回填前每月观测一次。

(5) 监测工程预警值: 支护桩支护段最大水平位移 15 mm, 预警值 10 mm, 土钉墙支护段顶水平位移最大值 20 mm, 预警值 15 mm。

(6) 土方开挖时应注意观测点的保护, 监测结果应及时反馈, 实行信息化施工和动态设计, 当监测结果达到预警值或出现其他异常情况时, 立即停止施工, 采取措施后方可继续进行, 确保施工过程中边坡及周边环境的安全, 同时应加强雨天或雨后的监测。

## 4 基坑危险源辨识

(1) 基坑南侧边坡附加荷载较大, 有导致基坑坑壁发生倒塌的危险。

应对措施有: 加强变形监测, 当发生较大变形或导致发生基坑坑壁倒塌事故时, 采用先回填坡脚进行压脚稳定, 再采用预应力锚索格构进行加固处理的措施。

(2) 基坑东、西、北侧坑壁存在施工过程中发生局部滑塌的危险。

应对措施有: 若开挖过程发现地层松散、胶结性差时, 可采用在局部地层进行插管预注浆的方法进行处理; 若开挖后地层发生局部滑塌情况, 可采用先回填滑塌下部开挖部分, 对滑塌区自下而上分层砸入土钉、分层用编织袋装土回填的方法进行局部处理, 处理结束后再按原设计方法进行施工。

(3) 第③层卵石层与第④层砂质泥岩接触面处渗水有可能向外携带卵石层中的砂子。

处理方法是: 对携砂泄水孔重新按设计要求进行安设, 必要时除在泄水管上包裹过滤布外, 可向泄水孔内投放细粒卵石进行辅助过滤。

(4) 基坑北侧地层可能与沮河形成贯通渗水通道, 对基坑造成涌水危险。

应对措施: 当发现基坑北侧渗水量过大时, 停止坑内降水, 对基坑北侧渗水大的部分进行旋喷注浆处理, 形成隔水帷幕, 处理结束后再抽排坑内的积水。

## 5 施工效果

基坑施工结束后, 由于受环保政策限制, 2018 年 11 月至 2019 年 3 月基坑降水停止, 4 个月时间基坑处于浸泡状态。从 2018 年 11 月基坑施工结束

到2019年下半年基坑回填封闭,基坑支护结构均处于稳定状态,说明基坑东、西、北侧采用1:0.4放坡+土钉墙支护结构、南侧采用支护排桩+预应力锚索支护结构、降水采用坑外管井降水+坑内集水明排组合降水方法的设计方案是可靠的,提出的施工技术要求是合理的。基坑施工完成后照片见图6。



图6 基坑施工完成后现场照片

Fig.6 Site photo of the completed foundation pit

## 6 结语

深基坑支护设计时,应根据工程所在场地地质、水文、地形及周边环境情况采取不同的设计方案,确保基坑施工的安全性和经济性。本基坑设计结果表明,在场地有放坡条件下采用放坡+土钉墙支护方案,可以有效地缩短工期及减少投资;在场地无放坡条件的情况下,采用悬臂桩或排桩+锚索支护等设计方案首先确保基坑安全;基坑降水应根据场地地下水位埋深、渗透性、临河情况优先采用管井降水方案,当管井降水单一方法不能保证场地干燥时,可采用管井降水+坑底集水明排结合等方案进行降水。

## 参考文献(References):

- [1] 胡国超,刘施蕊.邻近建筑物的深基坑工程实例[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(10):64-67,73.  
HU Guochao, LIU Shiri. An example of deep foundation pit engineering with adjacent buildings[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2013,40(10):64-67,73.
- [2] JGJ 120-2010,建筑基坑支护技术规程[S].  
JGJ 120-2010, Technical specification for retaining and protection of building foundation excavations[S].
- [3] 时钟.高富水、强透水卵石地层深基坑降水设计与实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(5):78-83.  
SHI Zhong. Dewatering design and practice of deep foundation pit in high water-rich and strong permeable cobble stratum[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017,44(5):78-83.
- [4] 李先经,王会军,刘心起.王家官庄旧村改造基坑支护设计与施工实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(1):69-74.  
LI Xianjing, WANG Huijun, LIU Xinqi. Design and construc-

tion of the foundation pit support for Wangjiaguangzhuang old village reconstruction[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(1):69-74.

- [5] 刘海兵.凤城国贸工程超深基坑桩锚支护设计与施工[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(5):86-91.  
LIU Haibing. Design and construction of the ultra-deep foundation pile-anchor supporting in Fengcheng International Trade Project[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(5):86-91.
- [6] 李光宏.复杂环境基坑支护方案的综合设计[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(9):80-83.  
LI Guanghong. Comprehensive design of foundation pit support scheme in complex environment[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(9):80-83.
- [7] 何俊照,李云安,金玉玲,等.河南信息南广场基坑支护技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(9):84-88.  
HE Junzhao, LI Yunan, JIN Yuling, et al. Application of deep foundation pit supporting technology in Zhengzhou[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(9):84-88.
- [8] 何司忠.北京东坝中路红松园基坑工程设计与施工方案[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(4):54-59.  
HE Sizhong. Design and construction scheme of a foundation pit project in Beijing[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(4):54-59.
- [9] 王建庆.北京中元国际改扩建工程复杂场地深基坑设计与施工[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(4):60-64.  
WANG Jianqing. Design and construction of deep foundation pit for reconstruction and expansion program in complex site of Beijing[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(4):60-64.
- [10] 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. Application of large deep foundation pit engineering construction technology under complicated environment[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017,44(2):86-91.
- [11] 齐晓华.喷锚支护与管井降水技术在基坑支护中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(9):63-67.  
QI Xiaohua. Application of shotcrete & rock bolt support and tube well dewatering technologies in foundation pit support [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2013,40(9):63-67.
- [12] 梁成华.哈尔滨松花江边超深基坑降水实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(6):81-83.  
LIANG Chenghua. Practice of ultra-deep foundation pit dewatering by Songhuajiang River[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016,43(6):81-83.
- [13] 李芳,李强,于元峰,等.桩锚支护结构设计及支护结构变形监测分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(4):53-57,62.  
LI Fang, LI Qiang, YU Yuanfeng, et al. Design of pile-anchor retaining structure and the analysis on its deformation monitoring[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015,42(4):53-57,62.

(编辑 周红军)