

城际铁路新郑机场站基坑工程降水设计与施工

刘 静

(安徽水文地质工程地质公司南京分公司,江苏南京 210019)

摘要:郑州至新郑机场城际铁路新郑机场站工程基坑开挖范围内地层条件复杂,砂性土与粘性土互为透镜体,开挖范围内主要为粉土、粉砂、粉质粘土,属黄土类地层,渗透性能差,若降水井施工质量差,抽不出水且容易带走细颗粒,开挖时又容易发生流砂。对此类复杂地层的降水设计应充分考虑地层条件、围护结构的特性,保证将水位降至开挖面以下,同时避免流砂、管涌、突涌的发生,确保基坑开挖安全。在采用三维数值模拟分析场区水文地质渗流情况的基础上,进行降水设计,并采取有效的降水井施工技术措施,实践证明取得了良好的降水效果。

关键词:基坑工程;降水;复杂地层;降水井

中图分类号:TU463 文献标识码:A 文章编号:1672-7428(2014)12-0062-06

Design and Construction of Foundation Pit Dewatering in an Intercity Railway Station of Zhengzhou/LIU Jing(The Hydrogeology and Engineering Geology in Anhui Province, Nanjing Branch, Nanjing Jiangsu 210019, China)

Abstract: The formation conditions are complex in an intercity railway station of Zhengzhou to Xinzheng, lens of sandy soil and cohesive soil exist interacted. The excavation range is in poor permeable loess formation with silt, silty sand silty clay, so the dewatering well construction quality is very important. The formation conditions and characteristics of enclosure structure should be fully considered in dewatering design to ensure water level lowering below the excavating surface and avoid the sand flow, piping and gushing. The dewatering scheme is designed on the basis of the analysis on hydrogeology seepage in the field by 3D numerical simulation, and with the effective dewatering construction measures being used, good dewatering effect has been proved by practice.

Key words: foundation pit engineering; dewatering; complex formation; dewatering well

0 前言

新郑机场站是郑州至新郑机场城际铁路的最后一座车站,也是工程量大、施工条件较为复杂的一座车站,为双层三跨明挖双岛四线车站,其位于既有T1航站楼北侧,迎宾大道东端下方。车站所处场地

北侧为新郑机场过夜停车场,东侧为机场站坪及联络道扩建施工区,南侧为T1航站楼、中国民用航空交通管理局河南分局、机场临时停车场。规划T2和T3航站楼分别位于车站的东侧和北侧,车站上方为规划GTC交通中心。其地理位置如图1所示。

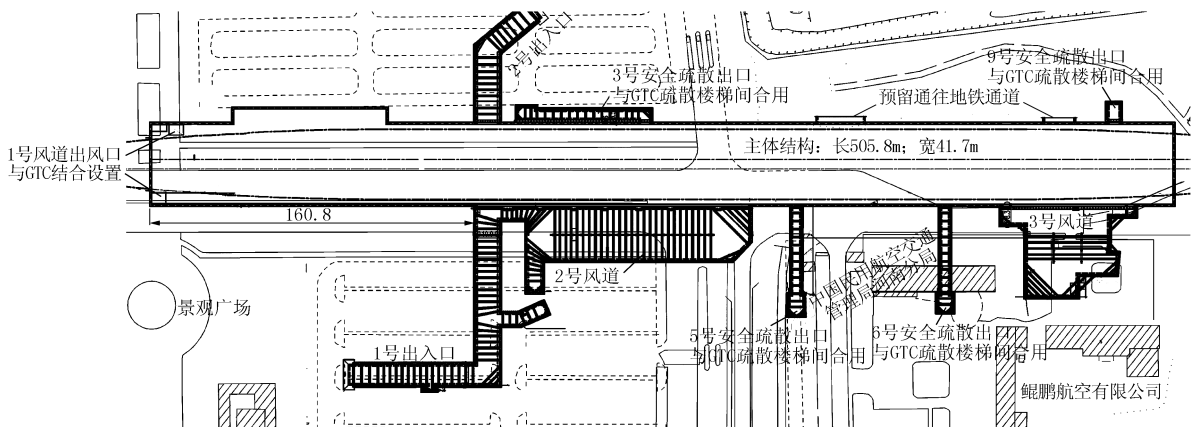


图1 地理位置示意图

1 工程概况

1.1 工程设计概况

车站起讫里程为DK38+378.1~883.9,站台中心里程为DK38+650,主体结构全长505.8m,标准段宽41.7m,高19.83m,开挖深度约22m,车站主

收稿日期:2014-05-14;修回日期:2014-12-01

作者简介:刘静(1987-),女(汉族),四川人,安徽水文地质工程地质公司南京分公司,水文地质专业,从事基坑降水设计与施工工作,江苏省南京市建邺区江东中路311号中泰国际广场5-1616,271054689@qq.com。

体建筑面积为 42825 m²,地下附属建筑面积为 8423 m²,车站地下建筑面积为 51248 m²。车站东、西两端结构顶板上有 3.5 m 厚覆土,覆土以上为 GTC (综合交通换乘中心) 建筑结构,中间部分与 GTC 结构结合,车站顶板为 GTC 底板,车站范围内的墙、柱均作为 GTC 结构的基础。

车站基坑围护结构采用 Ø1200@1400 钻孔灌注桩 + 桩间旋喷止水的型式,围护结构顶设置 1200 mm × 1200 mm 冠梁。基坑内设置内支撑体系,竖向设 4 道内支撑和 1 道倒换支撑,第一道支撑为 800 mm × 800 mm 的混凝土支撑,第三、四道支撑为 1000 mm × 1000 mm 的混凝土支撑,混凝土支撑水平间距约 5.5 m;第二道支撑及倒撑为 Ø800 mm, t

= 16 mm 钢管支撑,水平间距约为 3.5 m。

1.2 地质及水文地质条件

1.2.1 场地环境概况

拟建新郑机场站位于迎宾大道北侧辅路和绿化带下,拟建场地自然地形基本平坦,自然地面高程为 146.6 ~ 147.2 m。

1.2.2 地质条件

场地范围内地层较为复杂(见图 2),砂性土与粘性土互成透镜体,开挖范围主要为粉土、粉砂、粉质粘土。属黄土类地层,渗透性能差。基底以下为粉质粘土,局部有粉砂夹层,粉质粘土层下部为巨厚粉砂层,降水设计若忽视粉砂夹层及下部粉砂层,极易造成坑底突涌,或者底板施工完后造成结构的上浮。

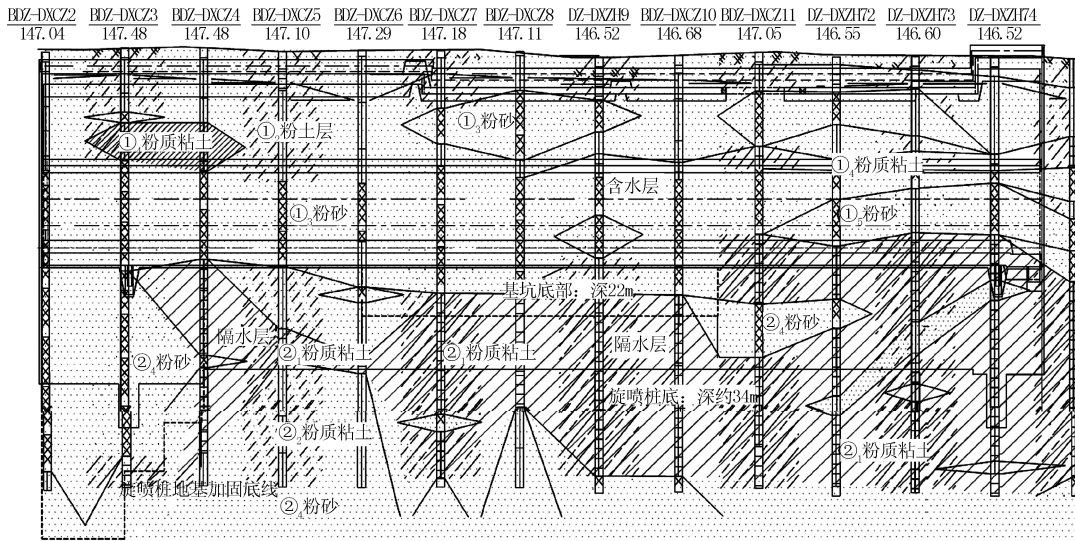


图 2 工程地质剖面图

1.2.3 水文地质条件

根据区域地质资料,拟建场地在风水岭之南,由北向南径流,主要以河流侧向径流和大气降水形式补给,以蒸发形式排泄。

本场地地下水类型属于第四系松散岩类孔隙水,主要含水层为粉砂、细砂和粉土层中,本次勘察期间地下水水位高程为 142.76 ~ 143.76 m,水位变幅约 1 m。

根据勘察抽水试验资料,并依据《铁路工程地质手册》(第四版),结合拟建场地工程地质条件,经计算,本次钻探揭露地层的综合渗透系数可按 3.0 m/d 采用,引用补给半径可以取用 40 m,引用影响半径按 500 m 考虑。

- (1)降低坑内土体含水量,提高坑内土体强度,增加被保护区土抗力;
- (2)降低开挖范围内土体的含水率,方便挖掘机和工人在坑内施工作业;
- (3)将地下水位降至安全水位以下,增加基坑底板稳定性,确保基坑施工安全。

2.2 降水特征

(1)根据勘察资料,开挖范围内的地层主要为粉土、粉砂、细砂,局部为薄层粉质粘土,为饱水地层,对基坑开挖具有影响,开挖前需要对开挖范围内土体进行疏干。

(2)场地范围内的地层较为复杂,砂性土与粘性土互成透镜体,若忽视基底以下砂性土夹层,易造成坑底突涌。

(3)围护结构为钻孔灌注桩 + 桩间旋喷止水型式,桩间间距为 200 mm,该种类型围护结构止水效果较差,极易渗漏,引起坑外地表沉降。

2 降水工程特征与分析

2.1 降水目的

(4)根据勘察资料,由于②₁粉质粘土层厚度变化,部分里程段(DK38+378.10~553.7)围护结构未能隔断坑内、外水力联系,基坑内降水后,坑外水位必然会降低。

(5)基坑位于机场附近,周边环境较为复杂,需要考虑降水对周边环境的影响。

2.3 设计思路

根据该工程以上特征,降水设计时采用以下思路。

(1)为方便基坑开挖、提高坑底及临时边坡的稳定性,在基坑内设置疏干井对开挖范围内地层进行有效疏干。

(2)对围护结构未能隔断基坑内、外水力联系里程段,按“悬挂式”止水帷幕处理,传统的解析法无法计算出该类工况下的地下水渗流特征,设计时采用数值法进行分析计算。

(3)考虑场地地层的复杂性,基坑内部分疏干井采用全滤管井,基坑开挖至设计标高时即封闭;部分疏干井在开挖面以下设置滤管、开挖面以上设实管,作为基坑底板施工完后的降压井使用,同时便于后期封井。

(4)考虑到围护结构的渗漏,在基坑外围布置一圈备用井,一旦发现围护结构渗漏后,及时封堵,若坑外水头压力大,条件允许情况下可适当开启备用井,待渗漏处封堵后即停止抽水,防止对坑外环境造成影响;必要时对坑外备用井进行回灌。

3 降水计算模型

对于坑底为含水层且围护结构未能隔断基坑内、外水力联系的部位(主体结构 DK38+378.1~553.70),地下水位必须降至基坑底板以下1 m,才能保证基坑安全。为了有效降低和控制含水层水位,确保基坑安全顺利开挖,必须进行专门的水文地质渗流分析,而传统的解析公式无法适用于此类工况计算,因此,采用三维数值模拟进行计算分析。

3.1 水文地质概念模型

本次降水设计中,根据水文地质条件及砂性土(含水层)与粘性土(隔水层)的分布情况,将模型概化为3个模拟层(见图3):

第1层为由第四系全新统①(Q₄)粉土、粉砂组成的含水层,基坑开挖时揭露该层;

第2层为由第四系上更新统冲积层②(Q₃)的粉质粘土组成的隔水层,局部存在天窗使第1层与第3层连通;

第3层为第四系上更新统冲积层③(Q₃)及下覆地层的粉土、粉砂组成的含水层。

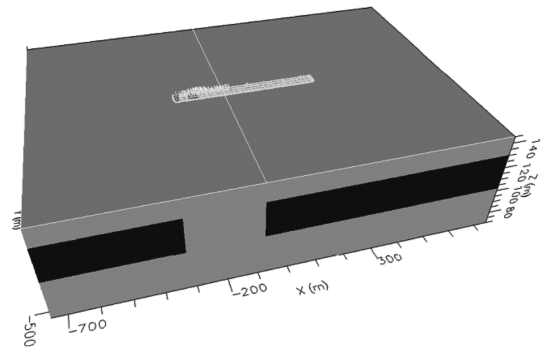


图3 三维模型概化图

因模拟范围较小,场地离水文地质自然边界较远,为了克服边界的不确定性对计算结果造成的影响,根据水文地质勘察资料,本次以场地各边向外扩展500 m人为设定为定水头补给边界,初始水位值取标高+144 m。

3.2 地下水流模型

根据以上建立的概念模型,在不考虑水的密度变化的前提下,可以给出相应的地下水流数学模型:

$$\frac{\partial}{\partial x}(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z}) + W = \frac{E}{T} \frac{\partial h}{\partial t}$$

其中:

$$E = \begin{cases} S & \text{承压含水层} \\ S_y & \text{潜水含水层} \end{cases}$$

$$T = \begin{cases} M & \text{承压含水层} \\ B & \text{潜水含水层} \end{cases}$$

$$S_s = S/M$$

式中: K_{xx} 、 K_{yy} 、 K_{zz} ——平行于主轴 x 、 y 和 z 方向的渗透系数, L/T (L 为长度或高度, T 为时间); W ——单位体积流量,用以代表流进或流出的源汇项, m^3/d ; h ——点 (x,y,z) 在 t 时刻的水位, m ; S_s ——储水率, L/m ; S ——贮水系数; S_y ——给水度; M ——承压含水层厚度, m ; B ——潜水含水层厚度, m 。

初始条件:

$$H(x,y,z,t) = H_0(x,y,z,0) \quad (x,y,z) \in \Omega$$

边界条件:

第一类边界条件:

$$H(x,y,z,t) |_{\Gamma_1} = H_1(x,y,z,t) \quad (x,y,z) \in \Gamma_1$$

第二类边界条件:

$$K \frac{\partial H(x,y,z,t)}{\partial n} \Big|_{\Gamma_2} = q(x,y,z,t)$$

其中: Ω ——立体时间域; $H_0(x,y,z,0)$ ——研究区各层初始水头值; $H_1(x,y,z,t)$ ——研究区各层第一

类边界 Γ_1 上的已知水头函数(L); $q(x,y,z,t)$ ——第二类边界 Γ_2 上的单位面积法向流量(L^2/T);对于隔水边界, $q=0$ 。

3.3 模型剖分及参数选取

模型采用六面体网格剖分,在水平方向上采用非等距矩形网格剖面(基坑开挖区域附近网格加密),模拟区平面上剖分为 209 行、444 列,加密区最小单元格的面积为 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$,非加密区域单元格面积约为 $25\text{ m} \times 25\text{ m}$;垂向上根据地层及围护结构深度共剖分为 4 层,如图 4。

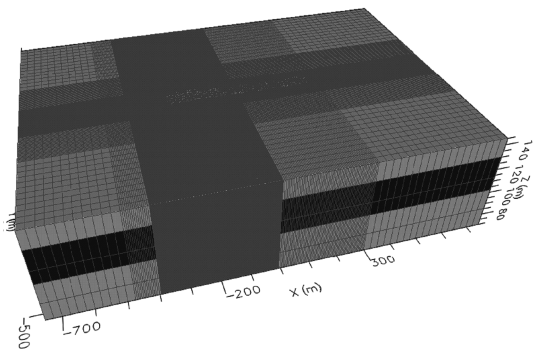


图 4 模型三维网格剖分图

根据勘察资料的抽水试验数据对模型进行赋值,取地层的渗透系数为 3 m/d 。正式施工前,现场进行抽水试验验证。

4 降水井布置

4.1 DK38 + 378.10 ~ 553.7 降水井布置

4.1.1 降压井布置

根据地质资料(图 2),该段坑底砂性土层厚度较大,围护结构未能进入下部粘性土层,基坑内、外存在水力联系。该段降水方案设计时必须充分考虑坑外地下水通过围护结构底的绕流补给,进行三维渗流分析计算。围护结构及降水井立体概化图见图 5,根据数值模型分析计算,该段需要布置 27 口降压井(含 20% 的备用兼观测井)可将地下水位控制在开挖面以下 1 m (见图 6),其中该段总涌水量约为 $4350\text{ m}^3/\text{d}$,单井出水量约为 $200\text{ m}^3/\text{d}$,坑外水位最大降深值约 14 m 。

4.1.2 疏干井布置

该段基坑内除降低坑底地下水水位之外,还需对开挖范围内土层进行疏干。基坑内降压井仅在基坑底部设置滤管,在开挖面以上采用全孔滤料的形式对上部地层进行引渗疏干,若只依靠这部分井引渗,单井的疏干面积较大,疏干效果较差。根据工程经验,疏干降水设计时的单井有效疏干面积一般为

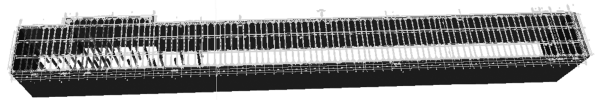


图 5 降水井与维护结构立体概化图

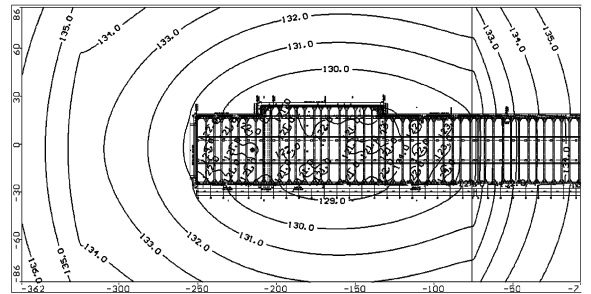


图 6 DK38 + 378.1 ~ 553.7 段水位标高等值线图

$150 \sim 250\text{ m}^2$,为了使疏干效果满足开挖要求,本次降水设计取单井有效疏干面积为 200 m^2 ,本段基坑面积约 8200 m^2 ,因此再穿插布置 14 口全孔滤管的疏干井。见图 7。

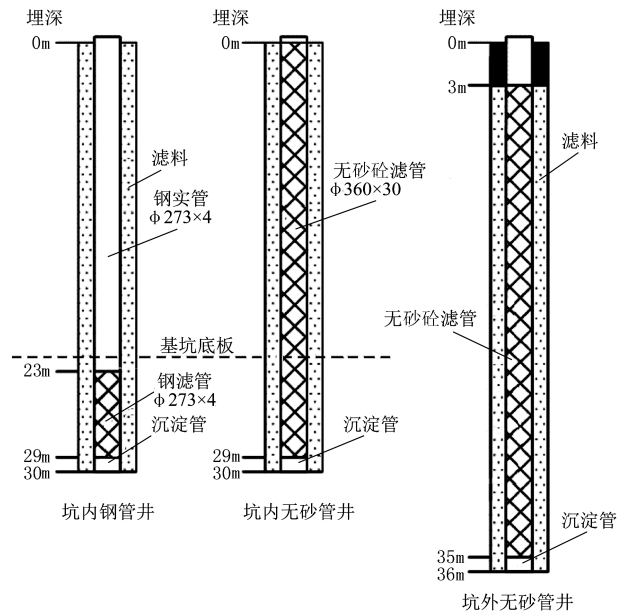


图 7 DK38 + 378.10 ~ 553.70 降水井结构图

4.2 DK38 + 553.7 ~ 883.90 降水井布置

4.2.1 基底抗突涌稳定性分析

该段基坑底部为一层较厚的②₁层粉质粘土层,围护结构进入该层,理论上隔断了基坑内、外水力联系,基坑内只需要布置疏干井进行疏干即可。②₁层粉质粘土层底部为粉砂、细砂含水层,降水设计时若忽视该层,有可能造成坑底突涌,需要对其进行抗突涌稳定性分析。

基坑底板抗突涌稳定条件(参见图 8):基坑底板至承压含水层顶板间的土压力应大于承压水的顶

托力。即:

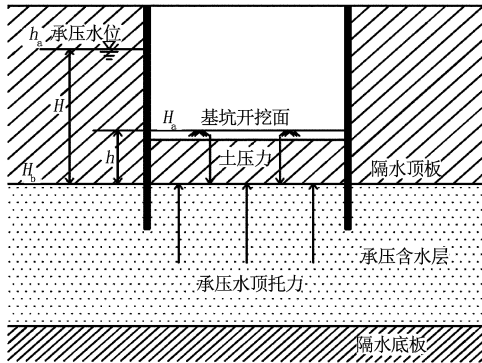


图8 基坑底板抗突涌验算示意图

$$(H_a - H_b) \cdot \gamma_s \geq F_s \cdot (h_a - H_b) \gamma_w$$

式中: H_a ——基坑开挖底板高程, m; H_b ——含水层顶板高程, m; γ_s ——土的饱和重度, kN/m^3 ; h_a ——承压水头安全水位高程, m; γ_w ——水的重度, 取 10 kN/m^3 ; F_s ——安全系数, 一般为 $1.0 \sim 1.2$, 本工程取 1.05 ;

可求得安全水位:

$$h_a = H_b + (H_a - H_b) \gamma_s / (F_s \gamma_w)$$

根据初始水位标高即可求地下水水位降深:

$$S = H_{\text{初始水位}} - h_a$$

计算结果见表1。

表1 基坑底板抗突涌计算表

依据钻孔	H_a	H_b	γ_s	h_a	水位降深 S/m
BDZ-DXCZ7	124.998	102.18	2.02	143	-3.08
BDZ-DXCZ8	124.998	110.41	2.02	143	4.53
DZ-DXZH69	124.998	103.32	2.02	143	-2.02
BDZ-DXCZ10	124.998	103.28	2.02	143	-2.06

根据上述计算结果, 仅 BDZ-DXCZ8 钻孔附近需要降低②₁层粉质粘土层以下水位, 水位降深 4.53 m , 而根据图6, DK38+378.10~553.7段基坑降水时, 该处地下水位降深约 7.00 m , 满足设计要求, 本次设计时此段不单独设置降压井。

4.2.2 疏干井布置

本次降水设计取单井有效疏干面积为 200 m^2 , 此段基坑面积约 13600 m^2 , 共布置69口疏干井。理论上该段围护结构已隔断了基坑内、外水力联系, 实际施工中, 坑底以下围护结构的渗漏以及坑底地层的垂向渗流补给, 导致基坑底板施工完后还必须降水, 直至结构重力满足抗浮设计要求。因此, 疏干井设计时, 一半疏干井采用全孔滤管, 基坑开挖至设计标高后即可封井; 一半疏干井在基坑底板以下设计滤管, 底板以上设置实管, 便于后期的抽水运行及封

井。详见图9, 2种结构疏干井穿插布置。

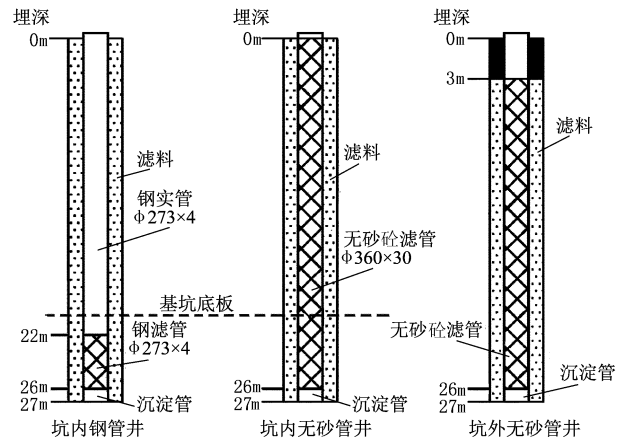


图9 DK38+553.70~883.90降水井结构图

4.3 坑外备用井布置

车站围护结构采用 $\text{O}1200@1400$ 钻孔灌注桩+桩间旋喷止水的型式, 桩间间距 200 mm , 根据类似工程经验, 该类型围护结构极易发生渗漏, 导致基坑开挖过程中, 坑外地下水向坑内渗流并携带泥沙, 轻者影响坑内疏干效果, 影响开挖, 严重者易导致坑外地面沉陷。因此, 在坑外设置一圈备用观测井, 一旦发现围护结构渗漏, 立即注浆封堵, 在渗漏点较大且封堵效果不佳时, 可考虑开启坑外备用井适当降低坑外地下水位后再进行封堵, 堵漏完成后立即停止坑外抽水, 以防对周边环境造成影响。

坑外备用井按间距 20 m 布置, 共需 59 口坑外备用井, 距离基坑外边缘约 6 口, 现场可根据实际情况进行适当调整。

4.4 降水井结构

坑外备用井采用无砂混凝土管井(图7、9), 坑内疏干井分为2类, 一类为全孔滤管的疏干井, 管材采用无砂混凝土管, 基坑开挖至设计标高后即可在施工垫层时浇筑至垫层以下; 另一类为钢管疏干井, 仅在开挖底板以下设置滤管, 开挖面以上为实管, 便于基坑底板施工完后继续抽水, 直至结构重力满足抗浮设计。

5 降水井施工技术

施工设备选用8QZJ-130型工程钻机及其配套设备。成孔时采用正循环回转钻进泥浆护壁的成孔工艺。

5.1 钻进清孔

钻进中保持泥浆密度在 $1.10 \sim 1.15 \text{ g/cm}^3$, 尽量采用地层自然造浆, 整个钻进过程中要求大钩吊紧后徐徐给进(始终处于减压钻进), 避免钻具产生

弯曲,特别是开孔时不能让机上钻杆和水接头产生大幅摆动。每钻进一根钻杆应重复扫孔一次,并清理孔内泥块后再接新钻杆,终孔后应彻底清孔,直到返回泥浆内不含泥块,返出的泥浆含砂量 $<12\%$ 后提钻。

5.2 下井管及滤管

按设计井深事先将井管排列、组合,下管时所有深井的底部按标高严格控制,并且保持井口标高一致。井管应平稳入孔,每节井管的两端口要找平,其下端有 45° 坡角,焊接时二节井管应用经纬仪从成 90° 的两个方向找直,并有二人对称焊接,确保焊接垂直,完整无隙,保证焊接强度,以免脱落。为了保证井管不靠在井壁上和保证填砂厚度,在滤水管上下部各加一组扶正器4块,保证环状填砂间隙厚度 $>150\text{ mm}$,过滤器应刷洗干净,过滤器缝隙(约 1 mm)均匀,外包一层40目滤网。下管要准确到位。自然落下,稍转动落到位,不可强力压下,以免损坏过滤结构。井管到位后下钻杆泥浆密度稀释到 1.05 g/cm^3 左右,在稀释泥浆时井管管口应密封,使泥浆从过滤器经井管与孔壁的环状间隙返回地面,稀释泥浆应逐步缓慢进行。

5.3 填砂

稀释泥浆密度在 1.05 g/cm^3 后关小泵量,将填砂徐徐填入,并随填随测填砂顶面的高度,不得超高。填砂采用级配良好的中粗砂,粒径为地层砂粒径的 $8\sim 12$ 倍。水平向填砂厚度 $\leq 150\text{ mm}$,垂向填砂高度严格按设计图纸进行(见图7、图9)。

5.4 联合洗井

洗井要求采用活塞空压机联合洗井方法,先用空压机洗井,待出水后改用活塞洗井,活塞洗井一定要将水拉出井口,形成井喷状,要求洗井到清水,然后再用空压机洗井并清除井底存砂。成井后水的含砂量达到凿井验收标准,确保洗井质量。

5.5 下泵抽水

安装泵体要稳,泵轴垂直,连接好排水管及电源线路进行试抽水,测定井内水位及观测孔水位变化及流量。

6 降水效果

围护结构采用 $\text{O}1200@1400$ 钻孔灌注桩+桩间旋喷止水的型式,深约 $32\sim 36\text{ m}$ 。该种类型围护

结构止水效果较差,极易在坑外水头压力作用下发生渗漏或者管涌,引起坑外水土流失,造成坑外地表沉降,给基坑安全带来威胁。本项目在做降水方案设计时,充分考虑围护结构特点,采用坑内外结合降水的方案,并针对水文地质特征进行分段设计,最终基坑顺利开挖至底,保证坑内干开挖环境,截至发稿,基坑已顺利完成底板浇筑。

7 结语

本项目从开挖开始降水工作进行十分顺利,整个基坑开挖过程中干燥无水,亦无管涌、流砂、突涌等危险事件的发生,降水工程的成功取决于对本地区复杂地层的充分理解、正确的降水设计方案以及严格的质量控制,开挖过程中,地下水位始终位于开挖面以下 $1\sim 2\text{ m}$,降水井抽水含砂率 $<1/20$ 万。通过本工程的实践,可得出以下体会:

(1)在复杂地层的基坑降水设计中,应充分考虑围护结构特点,采用坑内外结合降水的方案,并针对水文地质特征进行分段设计;

(2)坑外水位降低,侧压力减小,增加了围护体系的稳定性,同时避免了桩间渗水、流砂、管涌的发生;

(3)降水效果较好,使渣土车可以直接开至坑底,采用装载机推土装车,大大提高了工作效率,缩短工期;

(4)开挖前确保水位能降至设计要求,开挖过程中严密监测地下水位变化,根据分段设计的特点,做到按需降水,保证基坑安全的同时,最大限度的减少降水对周边环境的影响。

参考文献:

- [1] 姚天强,石振华. 基坑降水手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2006.
- [2] 吴林高,李国,等. 基坑工程降水案例[M]. 北京:人民交通出版社,2009.
- [3] 张永波,孙新忠. 基坑降水工程[M]. 北京:地震出版社,2000.
- [4] JGJ 120-2012, 建筑基坑支护技术规程[S].
- [5] YB 9258-97, 建筑基坑工程技术规范[S].
- [6] 刘清文,车灿辉. 长江漫滩复杂地层条件下超大超深基坑降水设计[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(5):54-59.
- [7] 张帆,阎佳生. BBA 办公楼基坑支护及降水工程安全监测技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(1):62-65.