

# 哈尔滨松花江边超深基坑降水实践

梁成华

(北京建材地质工程公司,北京 100102)

**摘要:**在临江建筑施工中,基坑降水是关系整个基坑开挖的关键环节之一,也是影响工期和整个工程施工质量的重要因素。对哈尔滨市一临松花江超高层建筑超深基坑地下水处理的设计及实施过程进行了介绍,对施工过程的设计参数选取、施工经验及不足进行了探讨和总结。

**关键词:**临江基坑;超深基坑;基坑降水;大口径管井;止水帷幕

**中图分类号:**TU473.2 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2016)06-0081-03

**Practice of Ultra-deep Foundation Pit Dewatering by Songhuajiang River/LIANG Cheng-hua** (Beijing Building Material Geotechnical Engineering Corporation, Beijing 100102, China)

**Abstract:** Foundation pit dewatering is one of the key links in the excavation for building construction by the riverside and is an important factor affecting the construction period and the construction quality of the whole project. The paper introduces the design and implementation process of groundwater treatment for the ultra-deep foundation pit of a high-rise building by Songhuajiang. The selection of the design parameters in the construction process, the construction experience and deficiency are discussed and summarized, which can be reference to the subsequent construction.

**Key words:** foundation pit by riverside; ultra-deep foundation pit; foundation pit dewatering; large diameter tube well; waterproof curtain

临江深基坑地下水处理是非常关键的环节,如果降水效果不好,会导致土体发生较大的位移,造成流砂、管涌等现象,导致边坡失稳,影响邻近建(构)筑物的安全,甚至影响工程进度和施工质量。本工程为临江松散砂类土地层中进行的超深基坑工程,降低地下水位是必不可少的,根据本场地降水时间集中、水位降深及排水量较大的特点,本工程综合考虑后采用了大口径管井结合悬挂止水帷幕的综合处理方式,成功实施了基坑地下水的处理,满足了工程开挖的要求。

## 1 工程简介

### 1.1 项目地理位置及支护设计

该项目位于哈尔滨市道里区松花江漫滩区域,由地下车库及3栋塔楼组成,主体结构拟采用现浇钢筋混凝土框架结构,基础形式采用桩基础。基坑周长760.0 m,基坑开挖面积29200 m<sup>2</sup>,基坑开挖深度约为15.25~21.0 m,塔楼加深约2.2 m,塔楼电梯坑及集水坑最深达到28.55 m。

### 1.2 场地工程地质条件

本工程地层按照岩土成因、结构、性质不同综合划分主层7层,亚层9层。地基土呈二元结构,上部以第四系砂土为主,夹粘土层,下部为白垩系砂岩及泥岩。对基坑开挖深度及支护、降水影响范围内的地层结构及特征描述如下。

(1)人工堆积层(Q<sup>m1</sup>):①杂填土,主要由粘性土、建筑垃圾组成,局部为素填土,层厚4.0~11.6 m。

(2)全新统冲积层(Q<sup>al</sup>):②细砂,稍密,饱和,层厚0.7~12.0 m;②<sub>1</sub>粉质粘土,呈透镜体分布;③粉质粘土,可塑,中等压缩性,局部夹多层细砂,层厚0.4~7.0 m;③<sub>1</sub>细砂,中密,呈透镜体分布;④中砂,中密,饱和,层厚0.2~25.2 m;④<sub>1</sub>粉质粘土;④<sub>2</sub>细砂;④<sub>3</sub>粉质粘土;④<sub>4</sub>粉质粘土,呈透镜体分布。

### 1.3 场地水文地质条件

场区地下水类型为第四系砂、砾石层孔隙潜水,含水层分布稳定,临近松花江,地下水与松花江水力联系密切,由于含水层的渗透性和径流条件较好,因此形成互补的排泄和补给条件,水位受一定的大气降水和蒸发的影响。地下水动态变化规律为:7—9月份丰水期水位高,3—5月份枯水期水位低,地下

收稿日期:2016-04-05; 修回日期:2016-05-30

作者简介:梁成华,男,汉族,1976年生,硕士,技术负责,从事岩土工程设计与施工管理工作,北京市望京西路甲50-1号卷石天地大厦4层,75173747@qq.com。

水位年变化幅度 2.0~3.0 m。

## 2 地下水处理实施的特点及不利条件

(1) 基坑距离松花江较近,开挖面积大,基坑深度深。项目位于松花江漫滩地区,距离松花江堤最近处 50 m,基坑开挖面积近 3 万  $\text{m}^2$ ,基坑深度最深达到 28.55 m,水位降深达到 21 m,降水难度极大。

(2) 地层情况复杂。基坑开挖深度范围内,上部为厚达 4.0~11.6 m 杂填土①层,杂填土以下为粉细砂②层及粉质粘土③层,基底附近为中砂④层,场区地层渗透系数及涌水量均较大。

(3) 周边建(构)筑物距离很近。基坑北侧存在一栋 3 层楼房(距离基坑最近处 6.5 m);基坑西侧首期住宅距离基坑距离 27.0 m。均在降水影响范围内。

(4) 排水距离长,倒坡排水,扬程损失巨大。因客观原因,本基坑降水排水口距离基坑现场 1.2 km,出水口标高较基坑高约 1.0 m,排水过程中的管壁阻力导致扬程损失巨大,降效严重。

## 3 降水井设计参数选取

依据专项抽水试验结果,本项目地层综合渗透系数及降水影响半径均较大,前期进行主基坑(基坑深度 20.95 m)的降水设计。后期根据塔楼的基底标高进行了塔楼加深部位降水的单独设计。

### 3.1 主基坑降水设计

(1) 降水井的深度计算(见图 1)。

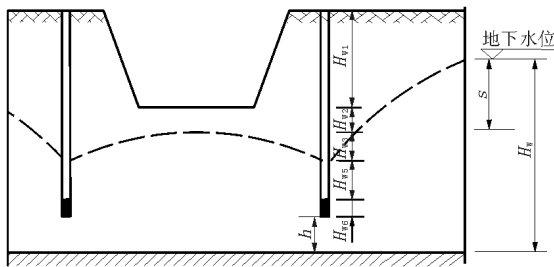


图 1 降水井深度计算示意图

$$H_w = H_{w1} + H_{w2} + H_{w3} + H_{w4} + H_{w5} + H_{w6}$$

式中:  $H_w$ ——降水井深度, m;  $H_{w1}$ ——基坑深度, m;  $H_{w2}$ ——降水水位距离基坑底要求的深度, m;  $H_{w3}$ —— $ir$ ;  $i$ ——水力坡度, 取 1/15;  $r$ ——降水井分布范围的等效半径或降水井排间距的 1/2, m;  $H_{w4}$ ——降水期间水位变幅, m;  $H_{w5}$ ——降水井过滤器工作长度, m;  $H_{w6}$ ——沉砂管长度, m。

经计算得  $H_w = 30.0$  m。

(2) 含水层渗透系数的确定。为达到基坑开挖所需的无水施工要求,井管大部分坐落于粉细砂、中粗砂层中,降水区设计水位最大降深为 13.75 m,根据地勘报告及本工程抽水试验提供的参数,结合粉细砂和中粗砂的渗透系数经验值,平均渗透系数  $K$  取 30.0 m/d,含水层厚度  $H = 32.7$  m。

(3) 不规则块状基坑等效半径。

$$r_0 = \sqrt{A/\pi} \approx 96.1(\text{m})$$

式中:  $r_0$ ——基坑引用半径, m;  $A$ ——基坑面积,  $\text{m}^2$ 。

(4) 影响半径  $R$  的确定。

$$R = 2S\sqrt{HK}$$

式中:  $R$ ——降水影响半径, m;  $S$ ——水位降深, m;  $H$ ——含水层厚度, m;  $K$ ——含水层渗透系数, m/d。

本工程为砂砾石层孔隙潜水含水层,根据以上公式计算并结合当地施工经验,降水影响半径  $R$  取 225 m。

(5) 基坑涌水量计算。按照基坑支护技术规程,采用均质含水层潜水非完整井涌水量公式进行涌水量计算。

$$Q = \pi K \cdot \frac{H^2 - h^2}{\ln(1 + R/r_0) + \frac{h_m - l}{l} \ln(1 + 0.2h_m/r_0)}$$

式中:  $Q$ ——基坑出水量,  $\text{m}^3/\text{d}$ ;  $K$ ——渗透系数, m/d;  $H$ ——含水层厚度, m;  $h$ ——降水后基坑内水位高度, m;  $R$ ——影响半径, m;  $r_0$ ——基坑等效半径, m。

$$h_m = (H + h)/2 \approx [H + (H - S)]/2$$

式中:  $S$ ——水位最大降深, m;  $l$ ——过滤器淹没段长度, 4.0 m。

计算得  $Q = 45057 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

(6) 单井出水能力计算。选择群井抽水时水位干扰影响最大的降水井来计算降水井单井出水能力,按下式确定深基坑单井出水量:

$$Q_{\text{单}} = (ld/\alpha) \times 24$$

式中:  $Q_{\text{单}}$ ——管井出水能力,  $\text{m}^3/\text{d}$ ;  $l$ ——过滤器淹没段长度, 4.0 m;  $d$ ——过滤器外径, 400 mm;  $\alpha$ ——与含水层渗透系数有关的系数, 取 50。

计算得  $Q_{\text{单}} = 768 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

(7) 降水井数量的确定。据降水井点数量计算公式  $N = Q/Q_{\text{单}}$  可求出降水井数量。  $N \approx 58.6$  眼,为加强降水效果缩短降水时间,沿深基坑周边布置降水井为 43 眼,基坑内布置降水井 17 眼(排距 35.0

m),共计60眼。

可选用额定出水量为 $50\text{ m}^3/\text{h}$ 、扬程 $39\text{ m}$ 、电机功率为 $7.5\text{ kW}$ 的配套水泵。

### 3.2 塔楼加深部位地下水处理方案设计

塔楼基坑在裙房基底以下加深 $1.5\sim 2.2\text{ m}$ ,塔楼核心筒内电梯井加深最深达到 $8.5\text{ m}$ ,且含水层均为中粗砂(局部砾砂),与松花江水联系紧密。考虑涌水量巨大且含水层为砂层,如果发生管涌,后果非常严重,慎重考虑后采取二阶降水结合帷幕局部截水的方式,将地下水位降至基底最深部位以下 $0.5\text{ m}$ 。

沿塔楼基础外围设置一圈降水井,将塔楼整体水位降至塔楼基底以下 $2.0\text{ m}$ ,对塔楼基底以下深度超过 $2.0\text{ m}$ 的集水坑部位,采取沿开挖上口线设置悬挂止水帷幕的方式,并在帷幕内设置降水井,将水位降至基底以下,以满足开挖及结构施工需要。悬挂帷幕桩采用拉森钢板桩实施,钢板桩型号SP-Ⅲ型,长度 $12.0\text{ m}$ ,帷幕桩封闭区域内设置降水井,井底标高位于塔楼基底以下 $15.0\text{ m}$ ,井间距为 $10.0\sim 15.0\text{ m}$ 。

## 4 降水引起的沉降预测分析

考虑土的成层性,运用分层总和法,根据土有效应力增量计算管井降水导致的沉降量。取第 $i$ 层土的土层微单元。第 $i$ 层土的沉降计算公式如下:

$$\Delta S_i = (\Delta\sigma'/E_{si})\Delta h_i$$

式中: $\Delta S_i$ ——第 $i$ 层土微单元的沉降,mm; $\Delta\sigma'$ ——降水深度 $h$ 处土附加应力,kPa; $E_{si}$ ——第 $i$ 层土的侧限压缩模量,MPa; $\Delta h_i$ ——第 $i$ 层土微单元的厚度,m。

依据地勘报告选取典型地层参数进行计算,估算在地下水完全疏干情况下引起的沉降。

降水前后土层中某点的有效自重应力计算如下:

$$\text{降水前:}\sigma_1 = \gamma_d z + \gamma_w z n - \gamma_w z$$

$$\text{降水后:}\sigma_2 = \gamma_d z + \gamma_w (z - h) n - \gamma_w (z - h)$$

降水引起的附加应力:

$$\Delta\sigma' = \sigma_1 - \sigma_2 = \gamma_w h(1 - n) = \gamma_w h/(1 + e)$$

式中: $\gamma_d$ ——土颗粒重度; $z$ ——深度; $\gamma_w$ ——水的重度; $n$ ——孔隙率; $e$ ——孔隙比; $h$ ——降水深度。

沉降估算如下: $S_1 = 16.5\text{ mm}$ 。

该地区的降水沉降经验系数取为1,则最大降水沉降量 $S = 16.5\text{ mm}$ 。

## 5 施工效果及经验教训

通过采用井点降水和悬挂式帷幕桩隔水相结合的降水方案,经过精心设计和组织施工,基坑内水位符合坑底干燥的施工要求,也保证了基坑和周边建筑安全,达到了预期效果。本项目在设计与施工过程中,经验教训主要表现在以下几点。

(1)水位下降到基底附近地层进入中砂(砾砂)层后,基坑涌水量巨大,水位下降非常缓慢,在一定程度上影响了施工进度。分析原因,除了涌水量巨大外,排水管路超长、管路扬程损失严重也是重要原因。本工程采用高扬程水泵,克服水泵排水背压,取得较好效果。

(2)为了加快降水速度,在基坑内设置了疏干井,但土方施工导致部分疏干井被埋,并没有发挥应有作用。而且部分外围降水井被锚杆注浆破坏,影响了整体抽水效果。因此基坑内疏干井应在土方挖至水位附近再施工,能有效防止过早施工而破坏的情况出现;降水井数应乘以 $1.1\sim 1.2$ 倍富裕系数,以保证不因换泵或降水井损坏而影响降水效果。

## 6 结语

本项目作为当地临松花江边最深基坑,采用井点降水和悬挂式帷幕桩隔水相结合的降水方案具有一定的创新,通过其成功实施,达到了预期效果,综合效益明显,也为类似工程积累了丰富的设计与施工经验。

## 参考文献:

- [1] JGJ/T 111—98,建筑与市政降水工程技术规范[S].
- [2] JGJ 120—2012,建筑基坑支护技术规程[S].
- [3] GB 50027—2001,供水水文地质勘察规范[S].
- [4] GB 50296—99,供水管井技术规范[S].
- [5] 编写组.工程地质手册(第四版)[M].北京:中国建筑工业出版社,2011.
- [6] 王文明,李芳.傍河深基坑降水技术研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(4):78-80,84.
- [7] 刘静.城际铁路新郑机场站基坑工程降水设计与施工[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(12):62-67.
- [8] 樊朝金,李德文,邓春海.山东潍坊万达广场深基坑降水及有承压水头降水井的封井方法[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(12):71-73,77.
- [9] 郭金富.综合降水技术在临江基坑中的应用研究[J].新材料新装饰,2014,(3).
- [10] 陈健.某临江超深基坑工程降水计算与设计分析[J].地下空间与工程学报,2009,(5).
- [11] 王君.基坑降水方案的选型与实施[J].山西建筑,2009,(23).