

承压水地基高层建筑基础工程施工技术分析

郑平 吴旭君 杜甫志
(中国京冶工程技术有限公司,北京 100088)

【摘要】 论述了承压水对高层建筑基坑支护、桩基础、抗浮锚杆(桩)施工的不利影响。结合工程实例,介绍了喷射注浆止水墙处理承压水的设计方法,并分析了总施工顺序、涌水钻孔处理和地下水水位观测等关键技术问题。

【关键词】 承压水;喷射注浆止水墙;降水;基坑支护

【中图分类号】 TU 943.1

【文献标识码】 B

doi:10.3969/j.issn.1007-2993.2012.03.013

Technical Analysis on High-Rise Building Foundation Engineering Construction in Confined Aquifer

Zheng Ping Wu Xujun Du Fuzhi

(China Jingye Engineering Co. LTD, Beijing 100088, China)

【Abstract】 The unfavorable effects of confined water were discussed briefly on the construction of foundation pit support, pile foundation and anti-float anchor (pile) for high-rise building. Combined with a engineering project, the design method of jet grouting cut-off wall in confined aquifer was elaborated. Key techniques, such as general construction sequence, treatment of gushing water in prospect hole and ground water—level observation, were also analysed in this Paper.

【Key words】 confined water; jet grouting cut-off wall; dewatering; foundation pit support

1 概述^[1-3]

承压水砂性土地基中进行高层建筑基础工程施工的主要问题为:①承压砂层沿基坑侧壁涌砂冒水,会造成基坑局部坍方、邻近基坑区域发生过量地面沉降,从而影响基坑的正常使用;②基坑底面以下的承压砂层,在地下水压作用下,可能发生坑底突涌,从而导致基坑整体失稳,严重影响基坑周边建(构)筑物的安全;③桩基础、抗浮锚杆抗浮桩、基坑支护锚杆(索)成孔时若钻至(穿越)承压含水层,可能会导致承压水从钻孔中喷出,引起流砂;另一方面,由于钻孔中有动水,灌浆及灌注砼质量难以保证。

工程实践中,为有效避免承压水地基流砂及动水现象,确保基坑工程施工的安全和质量,通常地下水的处理方法为①侧向止水:在高层建筑地下室四周用地下连续墙、高压喷射摆(旋喷)墙、钻孔灌注桩+高压喷射注浆组合墙或深层搅拌桩止水墙竖向穿越承压水层至相对不透水层,形成竖向封闭的止水

系统,以有效切断承压水和基础施工范围内含水砂层的水力联系;②水平向封底:在基础施工范围内水平向用相互搭接的旋喷桩(或深层搅拌桩)形成一定厚度的封底层,以抵抗基坑底以下的承压水压力,防止坑底涌水突起;③降水:布设降水井以降低地下水位,减小地下水压力。

本文通过某临江高层建筑深基础工程设计与施工实例分析,介绍了承压水地基基坑支护与承压水处理的技术方法。

2 工程概况

2.1 工程规模

拟建工程周边均为空旷的场地,南侧 1 km 处为一湖泊,总建筑面积约 6 万 m²,其主楼高 23 层,地下室 2 层,基坑开挖深度为 9.45 m,基坑顶绝对标高为 +14.00 m,基坑底绝对标高为 +4.55 m,基坑周长约 555 m。基础采用钻孔(扩底)灌注桩,桩端进入中等风化泥质粉砂岩持力层 500 mm,总桩数

1053根,其中 $\Phi 600$ (681根)、 $\Phi 800$ (315根)的桩为竖向抗压和抗拔桩,其余 $\Phi 1500$ (20根)扩底直径2500mm、 $\Phi 2500$ (27根)扩底直径3500mm和 $\Phi 3000$ (10根)扩底直径4000mm的桩为竖向抗压桩。

2.2 场地工程地质条件

场地属山前冲积地貌,现经人工推平改造,除分布有两个鱼塘外,地势较平坦。场地的主要地层有素填土、耕土、第四系冲积层、残积层和第三系强、中、微风化泥质粉砂岩和砂岩。典型钻孔(见图1)土(岩)性自上而下为:

素填土 $Q_4^{ml}(\textcircled{1}_1)$,松散,未经压实,以粘性土为主,层厚1.3m,层底标高+12.07m;

耕土 $Q_4^{ml}(\textcircled{1}_2)$,可塑,由粘性土组成,含植物根系,层厚0.60m,层底标高+11.47m;

粘土 $Q_4^{ml}(\textcircled{2}_1)$,以硬塑为主,层厚7.0m,层底

标高+4.47m, c 值为63.5kPa, φ 值为 17.8° ;

粘土 $Q_4^{ml}(\textcircled{2}_2)$,以可塑为主,局部软塑,层厚4.90m,层底标高-0.43m, c 值为31.9kPa, φ 值为 17.4° ;

粉细砂 $Q_4^{ml}(\textcircled{2}_3)$,饱和,稍密—中密,层厚2.20m,层底标高-2.63m, φ 值为 20.0° ;

中砂 $Q_4^{ml}(\textcircled{2}_4)$,湿—饱和,中密,层厚5.30m,层底标高-7.93m, φ 值为 30.0° ;

粉质粘土 $Q_4^{ml}(\textcircled{3})$,硬塑—坚硬,残积土,层厚0.90m,层底标高-8.83m, c 值为23.2kPa, φ 值为 20.4° ;

强风化泥质粉砂岩($\textcircled{4}_1$),层厚1.60m,层底标高-10.43m;

中等风化泥质粉砂岩($\textcircled{4}_2$),层厚8.50m,层底标高-18.93m。

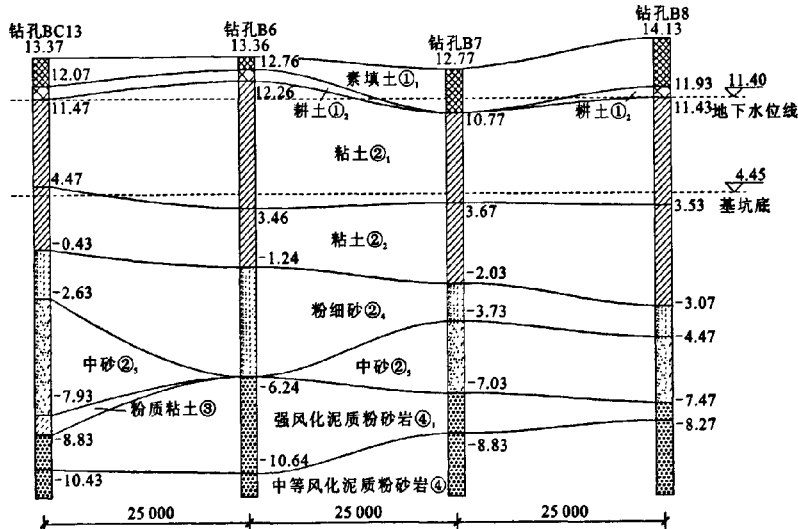


图1 典型钻孔剖面图

2.3 地下水条件

勘察范围内,各钻孔均钻遇地下水,地下水水位埋深0.30~3.60m,相应标高+11.40m,属承压水,含水层主要为 $\textcircled{2}_3$ 粉细砂及 $\textcircled{2}_4$ 中砂层,地下水量中等,地下水受大气降水和地表水补给,其稳定水位受地形及季节性气候影响而变化,地下水在强透水中对砼具弱腐蚀性。

3 基坑支护及地下水处理

3.1 基坑特点

1)土层:由前述可知,基坑深度为9.45m,开挖深度范围内除地表有厚度约2.0m的填土和耕土性质较差外,主要土层为粘土 $\textcircled{2}_1$ 和粘土 $\textcircled{2}_2$,物理力学性状好, c 、 φ 值较高;

2)周边环境:地下室外墙线与用地红线距离

大于18m,且基坑周边无重要的建筑物和地下管线。

3)基坑底抗渗流稳定性差:基坑开挖底面以下为承压水,基坑底至承压含水层顶粘土层厚度为 $t=4.98$ m,若考虑局部桩基承台的开挖深度,土层厚约为3.0m;承压水头高度为 $h=11.83$ m。据《建筑地基基坑设计规范》(GB 50007—2002)附录w,当考虑基坑底为地下室底板底面标高+4.55m时,抗渗稳定系数 $(\gamma_s \cdot t)/(\gamma_w \cdot h) = (19 \text{ kN/m}^3 \times 4.98 \text{ m}) / (10 \text{ kN/m}^3 \times 11.83 \text{ m}) = 0.8$,远小于规范规定的1.1的系数。当考虑局部桩基承台和电梯井基础深挖时,基坑底抗渗流稳定性更低。基坑底在砂层承压水压力作用下可能突起造成基坑整体失稳和已施工桩基础的破坏。

3.2 地下水处理设计计算^[4-5]

由前述可知,本工程地基与基础工程施工的成功与否关键在于基坑底承压水的处理。为确保止水效果,采用了三重管喷射注浆旋喷、摆喷组合结构形式以保证止水墙完整性和可靠性,切断基坑内外砂层中承压水的水力联系,防止基坑底在承压水压力作用下突起失稳。为安全起见,在止水的基础上,沿

基坑周边布置一定数量的降水井备用,在止水墙失效的情况下启动降水井抽水,以降低砂层承压水头,减少作用于基坑底隔水土层上的水压力,确保基坑底安全稳定。

1) 止水墙设计

止水墙采用三重管喷射注浆法,旋喷桩、摆喷桩相间布置,见图2。

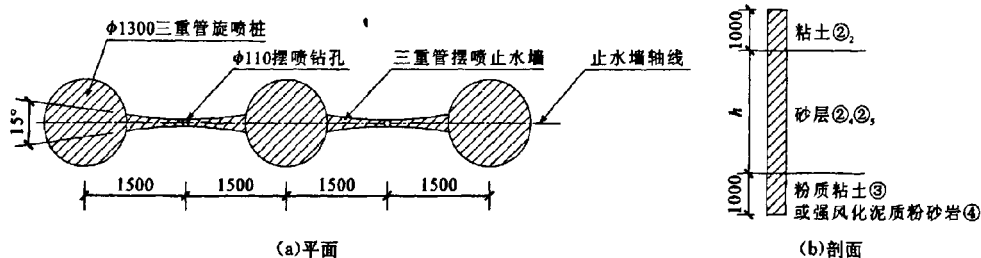


图2 止水墙结构图(单位:mm)

三重管喷射注浆主要参数:高压清水压力 ≥ 25 MPa,流量55 l/min;压缩空气压力0.5~0.7 MPa,流量 ≥ 2 m³/min;中压水泥浆压力 ≥ 1.0 MPa,流量80 l/min,水灰质量比1:1;喷头提升速度10 cm/min,旋喷回转速度10~12 r·p·m,摆喷10~12次/min,摆动角度15°~20°,旋喷桩设计桩径1300 mm。止水墙布置深度:墙顶进入②₂层粘土1.0 m;墙底进入③层粉质粘土或④强风化泥质粉砂岩1.0 m,止水墙总高度约8.0 m。

2) 备用降水井设计

根据《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120—99)附录F,基坑涌水量按下式计算:

$$Q = 2.73k \frac{MS}{\lg\left(1 + \frac{R}{r_0}\right)} \quad (1)$$

式中: k ——砂层渗透系数,取 $k=8.64$ m/d;

M ——含水层厚度,取 $M=7.5$ m;

S ——水位降深,考虑到基坑以下粘土层厚度,计算得需降深2.87 m,取 $S=3.0$ m;

r_0 ——基坑等效半径, $r_0 = \sqrt{A/\pi} = 94$ m;

R ——降水影响半径, $R = 10S\sqrt{k} = 88.18$ m。

计算得基坑总涌水量 $Q=1846$ m³/d

降水井采用 $\phi 600$ 钢筋笼外包滤网管井,单井出水水量 $q=45$ m³/d(经验值)。

总降水井井数 $N = Q/q = 41$ 个,降水井平均间距: $\sum L/N = 15.6$ m($\sum L$ 为基坑顶边线周长,约640 m),取降水井平均间距15.0 m,降水井沿基

坑顶边线布置于止水墙外侧,井底进入强风化泥砂层1.0 m。

3.3 基坑内排水系统

1) 基坑土方开挖前,坡顶设置400 mm×400 mm 砖砌排水沟及沉淀池,基坑内水经沉淀池三级沉淀后排入市政管网;

2) 土方开挖过程中,局部超深挖,用排水泵将超挖坑中的地下水抽入坑顶排水沟,以疏干土方开挖过程中的地下水;

3) 沿基坑底四周设置400 mm×400 mm 砖砌排水沟,每隔50 m设置1.0 m×1.0 m×1.0 m 集水井,用排水泵将集水井中的地下水及雨水等抽入坡顶排水沟,以防止基坑积水。

3.4 基坑侧壁支护^[4-6]

基坑支护采用二级放坡,放坡角度45°,中间设有一4.0 m宽平台,坡面打设土钉并挂网喷射砼。土钉采用人工成孔,成孔直径为 $\phi 100$,成孔角度5°~10°,水平间距1500 mm,垂直间距1500 mm,梅花状布置,杆体为1 $\phi 22$ 螺纹钢(HRB335),长度为1.5~6.0 m;坡面挂 $\phi 6.5@200 \times 200$ 钢筋网,每排土钉用2根 $\phi 16$ 做横向加强筋。喷射砼强度为C20,厚度80 mm,采用32.5普通硅酸盐水泥,配合质量比为 $m(\text{水泥}):m(\text{中砂}):m(\text{碎石})=1:2:2$ 。

综上所述,本工程基坑支护及地下水处理的方案为:土钉墙(45°放坡)+三重管旋喷、摆喷组合止水墙+管井降水(备用),典型的基坑支护剖面见图3。

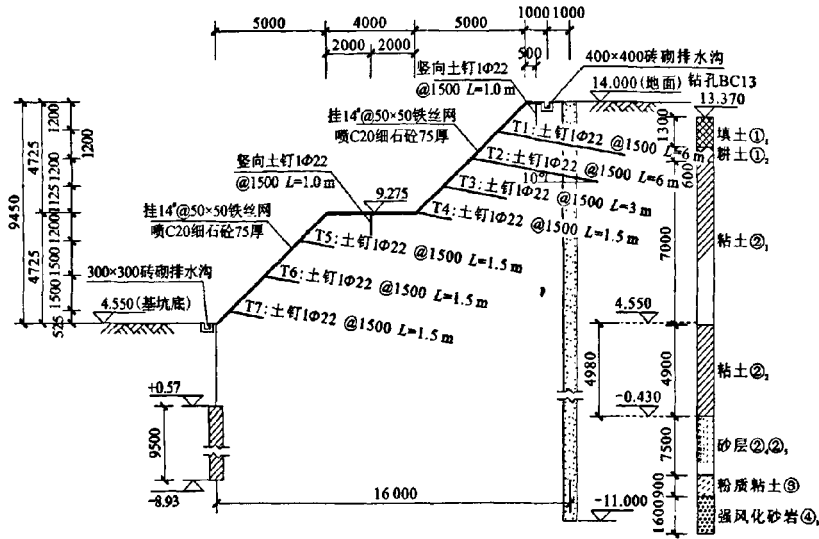


图3 支护结构综合剖面图

4 基础工程施工中的关键技术^[7-8]

4.1 施工总程序控制

由于基坑底板下有一厚 7.5 m 的承压含水砂层,该含水层承压水头高达基坑顶面以下约 3.0 m,高于基坑底面 6.45 m。承压水对桩基础施工影响较大,若桩基施工面标高低于承压水头,桩基钻孔后,地下水在压力作用下会沿孔口流出,孔内形成动水,可能会造成钻孔塌孔、桩身灌注砼质量无保障等问题。若在地面施工,会有空桩长度大、坑底桩位水平偏差等技术问题。根据施工现场基坑周边降水并实测水位,旱季地下水位埋深为 3.5~4.0 m,在旱季进行桩基施工,可将基坑先挖至 3.0 m 深作为桩基础工作面,可有效避免地下水对桩基施工的影响,减少桩基空桩工程量和坑底桩位水平偏差,降低工程造价。

施工总程序为:①土方开挖、基坑支护至±11.0 m→②止水墙、坑底旋喷加固(局部)、降水井(备用)、桩基础施工→③土方开挖、基坑支护至±4.45 m(基坑坑底)→④坡底排水沟、基础底板、桩基承台等施工。

4.2 原勘察孔喷砂冒水处理方法

基坑开挖至±4.55 m(基坑底),出现三个原地质勘探孔喷砂冒水现象,喷水高度 1.0~1.5 m,并伴有大量的涌砂,如不及时处理,基坑底面以下粘土隔水层可能在承压动水的冲蚀下,破坏面积逐渐扩大,进而引起大面积基坑突起,严重影响基坑及基础工程施工安全。

经灌浆法、打入钢管法等止水封堵方法的比较分析,由于现场情况较为危急,最后确定采用打入钢管止水法封堵冒水孔。

$$\text{打入钢管长度 } L \geq \left(\frac{\pi}{4} d^2 \cdot p \cdot k \right) / (\pi d \cdot q_{sa} \cdot \eta)$$

(d 为闭口钢管直径,取 150 mm; p 为孔底水压; k 为安全系数取 1.5; q_{sa} 为粘土隔水层桩周摩阻力特征值; η 为考虑动水条件下的桩周摩阻力折减系数)。计算结果表明: $L \geq 3.5$ m 即可满足堵水要求。

现场采用 $\Phi 150$,长度 $L=3.5$ m 的闭口钢管打入冒水孔,成功封堵了三个涌砂冒水孔,确保了基坑及基础工程的安全施工。

4.3 地下水位监测

施工过程中每天对坑内、坑外及附近地表水系的水位进行观测,若三者水位变幅一致,则表明基坑内外地下水高度联通,侧向止水墙止水效果存在问题,基坑开挖过程中若地下水位高于警戒水位应立即启动备用降水井系统,降低承压水水头,确保基坑不发生突涌事故。

5 结语

承压水地基深基坑施工的关键技术为:①采用合适的降水、止水方法,避免发生基坑侧壁涌砂冒水及基坑底板突起的失稳现象;②合理调整基础工程施工顺序,确保桩基施工过程中无流动水发生;③对地下水水位变化较大的工程,应尽可能选择在旱季施工。本工程采用了三重管喷射注浆旋喷、摆喷组合止水墙,并设置了备用降水井系统,合理调整了桩基础的施工标高,及时有效地封堵了涌砂冒水钻

孔,工程施工历时150天,有效避免了承压水对基础工程施工的影响,一次性通过验收,取得了良好的社会效益。

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] 《工程地质手册》编委会. 工程地质手册(第四版)[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2007.
 [3] 吴林高. 工程降水设计施工及基坑渗流理论[M]. 北京:人民交通出版社,2003.

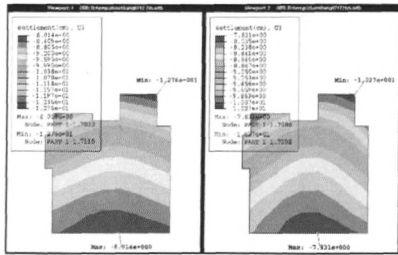
[4] JGJ 120—99 建筑基坑支护技术规程[S]. 北京:中国建筑工业出版社,1999.
 [5] JGJ 79—2002 建筑地基处理技术规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2002.
 [6] 王军连. 工程地下水计算[M]. 北京:中国水利水电出版社,2003.
 [7] 刘国彬,王卫东. 基坑工程手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2009.
 [8] GB 50007—2002 建筑地基基础设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2002.

收稿日期:2012-03-06

(上接第127页)

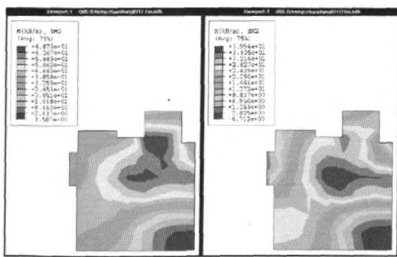
加长堆土侧桩长的长短桩桩基础方案对于减小建筑物不均匀沉降效果显著。

3) 由于不均匀沉降的减小,基础的受力更加均匀,底板的最大弯矩由 68.70 kN/m 减小为 39.94 kN/m。



(a) 桩长8 m (b) 桩长8 m/22 m

图6 底板沉降等值线云图



(a) 桩长8 m (b) 桩长8 m/22 m

图7 底板南北方向弯矩等值线云图

沉降的长短桩组合桩基础设计思路,并对这一思路结合某具体工程进行了三维有限元分析。分析结果表明,当建筑物下方浅部、深部有多个可供选择的桩基持力层时,应尽可能利用浅部持力层提供承载力,一方面降低工程造价,另一方面减小施工难度和风险。此外,建筑物周边的不均匀堆土会使建筑物产生不均匀沉降,针对本工程有邻近不均匀堆土的建筑物,采用长短桩组合桩基础的方案,即利用短桩及桩间土提供承载力、局部加长堆土侧桩长的方案,不仅能够有效地控制了建筑物的不均匀沉降,使得底板受力更加均匀,而且大大减小了桩基础的工程造价。

参 考 文 献

[1] Yang Min, Study on reducing settlement pile foundation based on controlling settlement principle [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2000, 22(4): 481-486.
 [2] 杨敏,杨桦,王伟. 长短桩组合桩基础设计思想及其变形特性分析[J]. 土木工程学报, 2005(12): 103-108.
 [3] GB 50007—2002 建筑地基基础设计规范[S].
 [4] DBJ08-44-1999 地基基础设计规范[S].

收稿日期:2012-03-12

4 结 语

本文针对某有邻近堆土建筑提出短桩、桩间土提供承载力,堆土侧采用长桩控制建筑物的不均匀