

深圳盐田行政大楼厚填石层大型基坑支护设计

李吉林, 孙旭

(山东电力工程咨询院有限公司, 山东 济南 250100)

摘要:盐田国际行政办公大楼场地浅层由填石填海而成,填石层厚度约10 m,填石粒径20~80 cm。为了满足地下室结构和桩基础施工需要,一般基坑开挖深度 ≤ 8.7 m,局部达到14.4 m,基坑开挖支护难度极大。因此,选择合适的基坑支护方案就显得尤为重要。深圳盐田行政大楼基坑工程从众多支护方案中选择了“放坡开挖加封水帷幕方案”,从设计计算上确保基坑及周边建筑物安全。后期实施效果证明了方案经济合理、安全可靠。

关键词:深基坑;填石层;基坑支护;封水帷幕

中图分类号: TU473.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2015)09-0076-05

Design of Large Foundation Pit Support in Backfilled Stone Layer of an Office Building in Shenzhen/LI Ji-lin, SUN Xu (Shandong Electric Power Engineering Consulting Institute Ltd., Jinan Shandong 250100, China)

Abstract: The shallow layer of an office building site was reclaimed by backfilling, the thickness of filling layer was about 10m with particle size of 20~80cm. To meet the requirements of basement structure and pile foundation construction, generally the excavating depth was not less than 8.7m and the local depth reached 14.4m. It is particularly important to select proper foundation pit support plan for the very difficult support in this project. Step-slope excavating and water-sealing curtain scheme was chosen, the safety of the foundation pit and the surrounding buildings were ensured in the design calculation. The results show that this selected scheme is reasonable, safe and reliable.

Key words: deep foundation pit; backfilling layer; foundation pit support; water-sealing curtain

1 工程概况

盐田国际行政办公大楼场地位于盐田国际集装箱码头北侧三期工程场地内,占地约20000 m²。东北方向港口进出闸道路,西北方向靠明珠立交桥,西南方向为盐田保税区,西南方向是盐田国际堆场查验区。办公大楼建筑面积约33292 m²,主楼25层,高度122.7 m,结构形式为钢筋混凝土框架,地下室2层,深10 m,局部14.1 m,基础采用桩基础。为了满足地下室结构和桩基础施工需要,大楼基坑平面尺寸不小于125.775 m \times 121.35 m,基坑开挖深度一般 ≤ 8.7 m,局部14.4 m。

盐田国际行政办公大楼桩基与基坑工程技术要求为:(1)在地基工程施工期间,基坑开挖和降水产生的土体位移及沉降不得引起周围建筑物、构筑物、路面和管线的变形和损坏,对此提出预测和防止对策,且对周边场地的位移和沉降进行严格的监测;(2)基坑支护施工、土方开挖方法可分为无支护与有支护开挖方法;(3)基坑工程要求安全可靠、经济合理、施工便利、保证工期,还应结合主体工程设计进行基坑总体方案设计。

2 地质条件

2.1 工程地质条件

场地原始地貌为滨海地貌,地势较低,经人工填海处理后,地形开阔平坦。

地层结构自上而下依次为:人工填石层、第四系海相沉积层、第四系海陆交互相沉积层、第四系残积层,下伏基岩为侏罗系凝灰岩及燕山期侵入的中细粒花岗岩。各岩土层特性分述如下。

①人工填石层(Q^{m1}):主要为微风化凝灰岩及微风化中细粒花岗岩的碎块石组成,填石直径一般20~80 cm,夹有少量粘性土,填石经强夯处理,呈中密—密实状态。

②第四系海相沉积层(Q^m):为灰黑色含有机质粉土,局部以粉砂为主,呈饱和、密实状态,标准贯入平均击数3.8击。一般厚度0.5~6.6 m,层底标高-7.17~-12.39 m。

③第四系海陆交互相沉积层(Q^{m2}):主要为黄灰色含砂粉质黏土和含粘性土粉细砂。前者呈饱和、可塑状态,后者呈饱和、松散状态,局部稍密状态。该层中均含有砂、砾石、小卵石等,局部含少量

有机质。层底标高 $-9.22 \sim -14.30$ m。

④第四系残积层(Q^4):由凝灰岩及中细粒花岗岩风化残积而成,原岩结构可辨,矿物成份除石英外均已风化成土状,湿润、可塑状态,下部呈硬塑状态,局部由全强风化夹层,层顶标高 $-7.71 \sim -14.30$ m。

⑤基岩:凝灰岩具硅化及重结晶现象。受构造影响,岩石裂隙发育,岩性较破碎,花岗岩岩性较凝灰岩完整。基岩从上往下依次为全风化、强风化、中风化、微风化岩石,层顶埋深 $16.7 \sim 38.7$ m,层顶标高 $-12.6 \sim -34.35$ m。

2.2 水文地质条件

2.2.1 含水层的分布和特征

场地浅层由填石填海而成,地下水位受海水潮汐的影响而涨落,勘探资料测得最高地下水位埋深约 2.6 m,标高约 1.6 m,最低地下水位埋深约 4.0 m,标高约 0.2 m。地下水位属孔隙潜水及基岩裂隙水。孔隙潜水主要赋存于填石层中,水质分析可得,场地孔隙潜水与海水联系紧密,主要受海水补给,水质类型为咸水。基岩裂隙水主要赋存于强、中风化基岩裂隙中,微承压水,在基岩裂隙发育且连通性好部位其富水性和透水性好。

2.2.2 地下水的侵蚀性

据水质分析成果报告表,该场地地下水对混凝土结构具有中等腐蚀性,对钢筋混凝土中钢筋在长期浸水条件下具有弱腐蚀性,对钢结构具有中等腐蚀性。

2.3 不良地质条件

(1)场地浅层填石层厚度较大,填石的粒径较大且经强夯处理,对基坑开挖和桩基施工带来困难;

(2)场地地下水与海水紧密相连,海水补给充分,填石层为强透水层,要保持基坑内干燥施工,场地需做好止水和降水措施;

(3)场区为花岗岩和凝灰岩的侵入接触带,受深圳断裂影响,场地内有过多次断裂活动,岩层破碎,在岩层顶部,有微承压裂隙水。

3 基坑支护设计

3.1 方案比选

基坑支护方法很多,有板桩支护式(钢板桩、钢筋混凝土板桩)、排桩支护式(钻孔灌注桩、挖孔灌注桩)、地下连续墙、水泥土挡墙(深层搅拌桩、旋喷桩)、土钉锚固墙、沉井(箱)法、放坡开挖式、组合式等等。根据本工程特殊地层(填石层)结构和工程

结构特征,初步选择地下连续墙方案、排桩方案、放坡开挖加封水帷幕方案进行比较。

3.1.1 地下连续墙支护方案

结构质量和安全性方面是完全可以保障的。且整体刚度大、施工噪声小、就地浇筑的地连墙接头止水效果好等优点,适合软弱土层等复杂地层和建筑密集城市的深基坑支护。但泥浆处理、水下钢筋混凝土浇筑施工工艺复杂、造价高,特别是本工程地基浅层厚约 10 m、粒径 $20 \sim 80$ cm的填石层,成槽较困难,施工设备多、速度慢,相互干扰大,难以满足要求^[1]。

3.1.2 排桩支护方案

排桩支护是把单个桩体(如钻孔灌注桩或挖孔桩等)沿基坑周边一个紧接一个并排连接起来形成的支护结构。排桩结构刚度较大、施工工艺和设备相对简单、对周边环境影响较小,适合软弱土层等复杂地层和建筑密集城市的深基坑支护,工程造价较低。

但桩间接头止水要作好,特别是本工程地基浅层厚约 10 m、粒径 $20 \sim 80$ cm的填石层,成孔较困难,需要较大数量的冲击式钻机方可满足工期要求,还存在与桩基施工干扰大,废浆排放困难等不利因素^[2]。

3.1.3 放坡开挖加封水帷幕方案

本工程周边场地相对开阔,无大型建(构)筑物,特别是地基浅层厚约 10 m、粒径 $20 \sim 80$ cm的填石层,抗剪强度指标 φ 值较大,有放坡条件,而且放坡开挖施工简单,相互干扰少,施工速度快,造价低^[3]。

3.1.4 小结

经过综合分析比较,结合地基地质条件,本工程基坑支护采用放坡开挖加封水帷幕方案。

3.2 设计要点

充分利用浅层填石的特性和周边环境条件,采用放坡开挖形成基坑,同时为了确保基坑在建筑桩体和基础施工时形成干地作业条件,需在基坑周边设置一道封水帷幕墙,相对隔断基坑内外填石层等透水地层的地下水,并在基坑内布置一定的降水管井,降低基坑内地下水位在其基底 2.0 m以下。该工程关键技术问题是如何在深厚填石层中形成封水帷幕,采用地连墙和排桩墙等方案在穿过深厚填石层时施工困难,且工期较长,造价高,难以满足要求;采用高压喷射注浆方案对下部粉质粘土较适用,但是对于上部深厚填石层,由于块石间空隙较大,注浆后浆液流动性较大以致水泥浆会大量流失,难以形成稳定的、连续性较好的封水帷幕。根据以往十多

个特大型基坑堆石体围堰工程隔水防渗帷幕成功实践经验,本工程采用专用块石灌浆施工工艺穿过填石体形成可控灌喷桩封水帷幕,灌注膏状稳定浆液,特别适合块体填石层,不仅施工方便、技术成熟、造价低,且施工速度快,干扰少^[4]。

3.2.1 基坑结构设计要点

基坑平面尺寸:上坡开口线 125.775 m × 121.35 m、下坡脚线 106.2 m × 99.6 m;基坑开挖深度一般为 8.7 m,局部 14.4 m;开挖一般放坡 1:1.25,斜坡段长度 10.875 m,对于因地下管线等影响或局部场地布置窄小地段,在采取喷锚支护或坡顶削方减载等工程措施后,开挖边坡坡比也可变陡为 1:1。施工开挖便道坡比 1:10,宽度 8.0 m。

3.2.2 封水帷幕设计要点

在上坡开口线外 3.0 m 处,由单个可控灌喷桩

搭接而成整体,桩间距 1.0 m,直径 1.2 m。桩在填石层中主要采用灌入膏状稳定浆液形成桩体并用高压喷射灌浆工艺予以加强,在粉质粘土等土层中采用高压喷射灌浆工艺形成旋喷桩体。桩深控制进入至残积土内 1.0 m。根据地质勘探资料,计算平均钻孔深为 16.2 m,平均桩深为 13.7 m(填石层顶部 2.5 m 可不处理),其中在填石层中的桩体平均长度为 7.7 m,在土层中的桩体平均长度为 6.0 m。

3.2.3 降水系统设计要点

为了控制基坑内地下水位在施工作业面 2.0 m 以下,需要在坑内布置一定数量的降水井。降水井平面间距 30 m 一个,共计 16 个。降水井施工可先施工周边井,封水帷幕作好后,先行降低坑内地下水位,以方便开挖,再根据现场施工情况和进展逐步施工中间部位降水井。降水井布置见图 1。

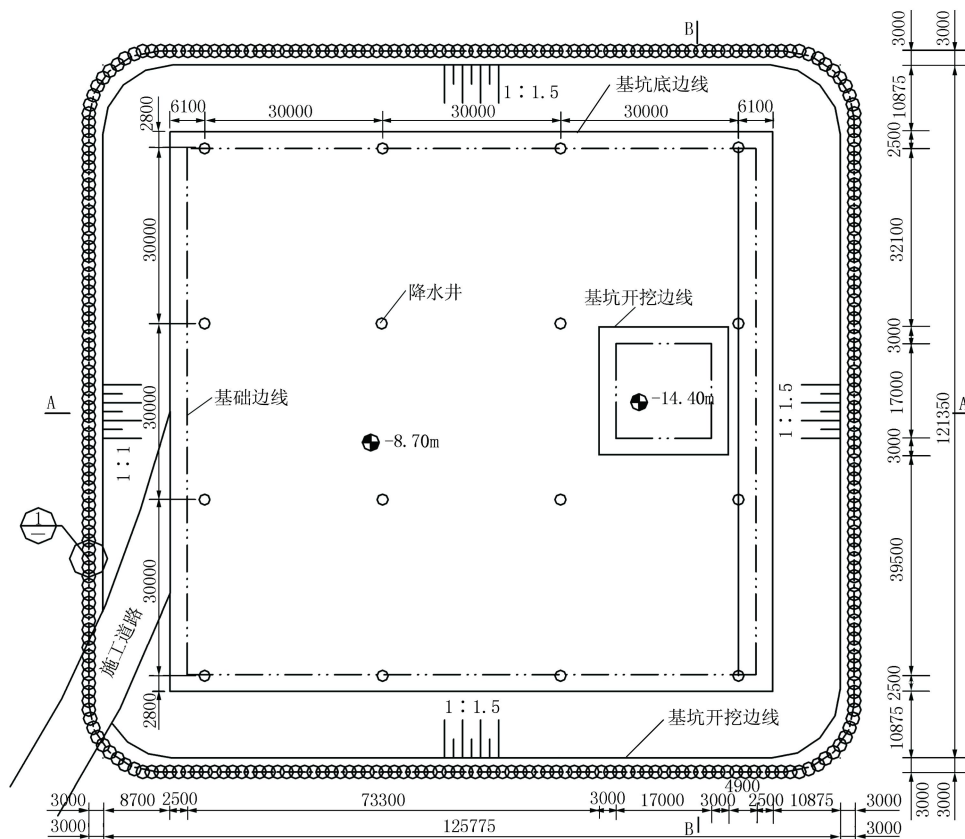


图 1 降水井布置示意图

3.3 可控灌喷桩设计

在块石中灌浆工艺在浆体材料选择上很重要。在大孔隙、强透水层或有集中渗透通道的堤身、坝体或地基中采用常规的水泥浆、水泥粘土浆或化学灌浆,耗费大量昂贵浆液、工效低、成本高,灌浆质量也

不理想,化学灌浆还可能招致环境污染。采用析水率 <5%,有一定塑性屈服强度和塑性粘度的稳定浆液的塑性灌浆技术,特别适用于有效粒径 $d_{10} > 0.5$ mm、渗透系数 $K > 10^{-1}$ cm/s 的粗颗粒土,包括灌注大孔隙漂砾卵石层、不均匀土层中的大孔洞、堤身及坝体

的干砌石区、堆石区、架空层有地下水流的动水区。只需采用 1~2 种浆液配比(本工程采用水灰比 1),孔内循环,自下而上灌浆;或采用纯压式自上而下灌浆方法,工艺简单,浆液有较大的塑性屈服强度,在强透水区达到一定范围即停止扩散,既可形成完整防渗体,又可以避免浆液过分流失。由于析水率小,省去排除浆液多余水份的灌浆时间,并且不会因灌浆后的浆液继续析水而留下未充填的孔隙,灌浆质量较有保证。形成的结石体强度高、防渗性好,抗化学溶蚀能力强。浆液可采用塑性屈服强度 > 20 Pa,必须用螺杆泵压送的塑性浆液、膏状稳定浆液和可控制胶凝时间的水泥化学浆液^[5]。

3.4 基坑边坡稳定计算

基坑开挖主要在填石层内,对于临时开挖边坡和稳定计算可采用圆弧滑动法计算。

3.4.1 计算公式

$$k = \frac{\sum (c_u l + W \cos \beta \tan \varphi_u)}{\sum W \sin \beta}$$

式中: k ——整个滑体剩余下滑力计算的安全系数; l ——单个土条的滑动面长度,m; W ——条块重力,kN,浸润线以上取重度,以下取饱和重度; β ——条块的重力线与通过此条块底面中点半径之间的夹角,(°); c_u , φ_u ——土的抗剪强度指标,采用总应力法时,取总应力指标,采用有效应力法时,取有效应力指标^[6]。

3.4.2 计算简图

边坡坡比 1: 1.25,边坡高度 8.7 m。计算简图如图 2 所示。

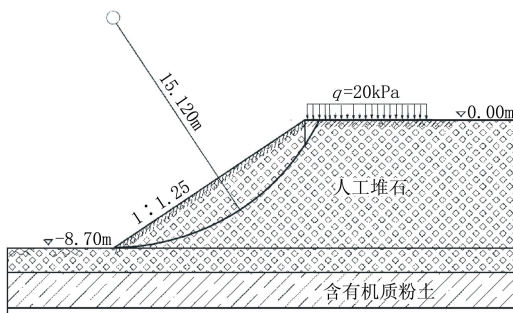


图 2 边坡圆弧滑动稳定计算简图

3.4.3 计算成果

通过圆弧滑动法计算,当边坡采用 1: 1.25 时,搜索最小安全系数 $K = 1.19$;对爆破石渣料回填层采用直线法计算安全系数 $K = 1.10$,能满足临时边坡稳定要求。

3.5 基坑降水计算

3.5.1 未设置封水帷幕基坑降水计算

计算模型:采用均质含水层潜水完整井,基坑远离水源边界模型,见图 3。

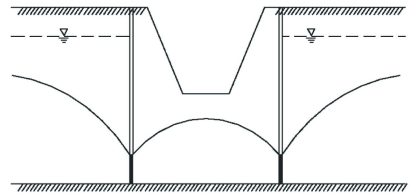


图 3 潜水完整井模型

计算公式:均质含水层潜水完整井,基坑远离水源边界模型公式为:

$$Q = 1.366k \frac{(2H - S)S}{\lg(1 + R/r_0)}$$

式中: Q ——基坑涌水量, $m^3 \cdot d^{-1}$; k ——渗透系数, $m \cdot d^{-1}$; H ——潜水含水层厚度; S ——基坑(降水井壁外侧)水位降深; R ——降水影响半径; r_0 ——基坑等效半径^[7]。

计算参数:主要土层计算参数见表 1。

表 1 主要土层计算参数表

土层分类	土层厚度	渗透系数 $k/(m \cdot d^{-1})$	压缩模量/MPa
人工填石	10	80.0	20.00
粉土	5	3.5	8.80
粉质粘土	10	0.5	4.88

计算结果:在无封水帷幕条件下,在基坑周边设置管井抽水,经计算基坑每日抽水量将超过 88518 m^3/d ,并会引起周边地面沉降。

3.5.2 设置封水帷幕后的基坑涌水量计算

设置封水帷幕后的基坑涌水量计算采用均质含水层潜水非完整井,基坑远离边界模型,均质含水层潜水非完整井,基坑远离边界模型计算公式为:

$$Q = 1.366k \frac{H^2 - h_m^2}{\lg(1 + \frac{R}{r_0}) + \frac{h_m - 1}{l} \lg(1 + \frac{0.2h_m}{r_0})}$$

式中: l ——过滤器有效工作部分的长度,m; h_m ——潜水含水层厚度与动水位以下的含水层厚度的平均值, m , $h_m = (H + h)/2$; h ——井壁外侧动水位以下的含水层厚度,m;其它符号同上。

经计算 $Q = 3860 m^3/d$ 。

3.6 封水帷幕计算

封水帷幕方案关键在于帷幕位置、帷幕体厚度

以及帷幕在坑内降水后产生应力计算。

3.6.1 位置确定

土压力库仑定理和散粒体力学理论。

土压力库仑定理通过挡土墙背后土体滑动楔块上的静力平衡得出的一种土压力计算理论。根据该理论,在滑动体以外的地下水不考虑水压力,滑动面与水平面的夹角为 α 。

散粒体力学理论也是土体塑性平衡理论,在满足强度条件和应力平衡条件的前提下,将土体划分为主动区、过渡区和被动区。此处将帷幕外侧的水压力作为外加荷载,求被动区的范围及相应应力值。

计算结果见表2。

表2 土压力影响范围

采用方法	库仑土压力	散粒体力学
影响范围/m	3.59	4.21

注:影响范围从基坑上开口线计算起。

根据计算结果和现场实际情况,确定采用距离基坑上开口边线3 m设置封水帷幕,既减少了大部分水压力的影响,又使工程量相对经济,并且不影响直线工期。

3.6.2 厚度确定

根据实际水头差和容许水力坡降确定,封水帷幕厚度为40 cm。

3.6.3 防渗帷幕应力验算

在封水帷幕两侧存在约6 m水头差,封水帷幕受到一定的弯矩、剪力,并产生位移。帷幕内力:坑外侧弯矩37.9 kN·m,帷幕最大位移5.8 mm。封水帷幕为柔性结构,根据摩尔-库仑定理计算,墙体可以满足强度和变形要求。

4 基坑监测设计

根据基坑工程的具体情况及所处位置的地质条件和特点,监测内容主要包括地面沉降观测、边坡稳定观测、地下水位观测等,位置上力求有针对性的布设各类监测设施,并兼顾验证设计和指导施工的需要,做到少而精。

4.1 地下水位监测

在基坑四边封水帷幕内侧各布置1个水位观测孔,基坑中央合适位置也布设1个水位观测孔,合计5个水位观测孔。这样既能观测基坑每侧地下水位变化情况,也能形成地下水位观测断面,有利于分析水位变化情况。

4.2 地面沉降监测

在基坑封水帷幕外侧三边3~5 m位置各设置1个水准点,另外一边3、8、15 m位置各设置1个水准点,并在距基坑较远且稳定安全的位置设置1组垂直位移工作基点。合计水准点12个,工作基点1组。

4.3 边坡稳定监测

基坑采用放坡开挖形式,开挖主要填石层中进行,该层在人工填石时地基经过强夯处理,地基条件相对较好。边坡稳定监测主要在基坑四周上坡开口边线附近各设置测斜管1套,对基坑施工期和维护期进行边坡变形稳定监测。

5 结论

(1)本工程需开挖大型基坑,且浅层为厚填石层,基坑支护防渗难度很大,选择合适的支护方案非常关键;

(2)通过前期方案比选,本着安全可靠、经济合理、施工便利的原则,最终选定了“放坡开挖加封水帷幕”的基坑支护方案;

(3)通过灌喷桩、基坑边坡、基坑降水、封水帷幕等各种计算,得出了基坑支护各种设计参数,在技术上是可行的;

(4)通过现场实施,证明设计方案可行,可控灌喷桩在厚填石层中应用防渗效果非常好;

(5)通过现场监测,降水井布设合理,地下水水位一直在基坑基底2 m以上,确保干地作业条件;地面沉降很小,地面沉降最大处为3 cm,边坡一直处于稳定状态。

参考文献:

- [1] 李茂芳,孙钊.大坝基础灌浆(第二版),北京:水利电力出版社,1987.6.
- [2] DL/T 5148—2001,水工建筑物水泥灌浆施工技术规范[S].
- [3] 曾凡杜.坝面帷幕灌浆技术在竹银水库主坝坝基处理中的应用[J].水利水电科技进展,2011,31(6):55-58.
- [4] 彭第,王伟.中梁一级电站库区防渗帷幕灌浆试验效果分析[J].水利水电科技进展,2011,31(5):73-78.
- [5] 李吉林.水布垭面板堆石坝基础灌浆试验[J].水利水电科技进展,2012,32(5):67-70.
- [6] 李吉林.山东某大型电厂桩基混凝土腐蚀性试验[J].水利水电科技进展,2013,33(6):87-90.
- [7] 林华虎,边建峰.固结灌浆试验变形观测方法研究与应用[A]//《水工建筑物水泥灌浆与边坡支护技术》暨第9次水利水电地基与基础工程学术会议论文集[C].2007.
- [8] 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.