

滨湖大厦深基坑支护工程多种支护方案的优化设计

谢成, 王国强, 王艳君

(合肥工业大学 资源与环境工程学院, 安徽 合肥 230009)

摘要:本文介绍了滨湖大厦所处的工程地质条件,分析了建设场地的工程地质特点。重点论述了基坑支护的原理、设计计算、验算方法及具体设计方案的确定;结合本工程特点,对多种支护方案进行比较,采用最优设计,很好的解决了采用纯土钉墙基坑安全可靠性不高的问题,又降低了支护工程的造价,可为类似支护工程提供参考。

关键词:深基坑支护; 优化设计; 土钉墙; 锚杆; 护坡桩

中图分类号: TU473

文献标志码: A

0 引言

近年来,由于城市中建筑密度不断加大,施工场地周围环境日趋复杂,建筑行业在向高层化、大深度方向发展的同时,对相邻环境的影响控制越发严格。深基坑支护的设计、施工、监测技术是近10多年来在我国逐渐涉及的技术难题,国内深基坑支护失败的案例较多。深基坑的支护,不仅要求保证基坑内正常作业安全,而且要防止基坑及坑外土体移动,保证基坑附近建筑物、道路、管线的正常运行。目前,基坑支护的主要方式有:深层水泥土搅拌桩、护坡桩、土钉墙、地下连续墙、内支撑、预应力锚杆等。在对滨湖大厦做基坑支护的设计中时,优选了对临路部分及临原有建筑部分采取上部砌挡土墙下部护坡桩加锚杆支护的

体系,其它部位采取上部土钉墙支护下部护坡桩加锚杆支护体系。下面以滨湖大厦基坑支护方案的设计为例,对该支护方式进行探讨。

1 场区工程地质条件

建设场地第四纪地貌类型属河流二级阶地及拗沟微地貌单元。该大厦整体建筑设计为主楼为22层,裙楼为5层,一层地下室,框架或框剪结构。场地地势起伏较大,场地东北侧有大量素填土,勘察期间场地正在整平,依钻探孔口地面高程计,一般为19.76~27.03m,最大高差为7.27m。场地地基岩土工程性质如表1所示。

场地地下水为埋藏于上部杂填土内的上层滞水和泥质砂岩风化带中的裂隙水,拗沟杂填土做的上层滞

表1 地基岩土工程性质如下表
Table 1 Geotechnical engineering properties of foundation

土层名称	层厚(m)	ω (%)	γ (kN)	e	ω (%)	ω (%)	Es(MPa)	f_k (kPa)
①杂填土	0.90~8.00m							
②粘土	0.00~1.00m	29.0	18.2	0.945	32.3	19.4	10.0	210
③粘土	0.7~4.40m	27.0	19.6	0.776	41.5	21.1	13.0	260
④粘土	25.9~28.0m	24.6	19.8	0.726	44.8	22.1	16.0	300
⑤强风化泥质砂岩	6.0~8.9m						20.0	380
⑥中风化砂岩								800

水主要受大气降水补给,水位水量随季节性变化。勘察期间未测得地下水静止水位。场地抗浮设计水位可取现自然地面下1.0m。水质分析结果判定场地地下水对混凝土结构无侵蚀性。

2 基坑支护原理及理论分析

由于该工程基坑比较深,基坑周围场地比较狭窄,

采用比较经济的纯土钉墙支护不安全,全部采用护坡桩支护造价又比较高,为了保证基坑边坡的安全,同时又尽可能降低工程的造价,根据场地的实际情况、基坑深度及建设单位的要求,兼顾经济和安全两个要素,对临路部分及临原有建筑部分,由于没有施工场地,采用上部砌挡土墙下部护坡桩加锚杆支护体系,

其它部位选取上部土钉墙支护下部护坡桩加锚杆支护体系支护方案^[1]。

2.1 土钉墙设计

土压力的设计:由于土钉支护体系采用的是与常规支护体系不同的施工程序,因而作用于面层上的土压力分布也与一般重力式挡墙不同,通过多项土钉工程的原位监测,我们建议土压力按下式计算:^[1,2]

$$q = m_e \cdot k_v \cdot h \quad (1)$$

式中:

q —作用于土钉面层的土压力(kPa)

m_e —工作条件系数,临时性土钉工程(如:基坑等)

取1.1,使用期2年以上的土钉工程(如永久边坡)取1.2;

k —压力系数,取 $k=(k_0+k_2)/2$,其中 k_0 、 k_2 分别为静止、主动土压力系数;

r —土的天然重度(kN/m³);

h —土压力作用点至坡顶的距离(m),当 $h \leq H/2$ 时 h 取实际值;当 $h > H/2$ 时, h 取 $0.5H$ 。

其中: H —土坡垂直高度。

已有工程的土钉实际长度 L 均不超过土坡的垂高 H 。抗拔试验表明对高度 H 小于12m的土坡采用相同的施工工艺,在同类土质条件下,当土钉长度达到土坡垂高时,再增加其长度对抗拔力无显著提高,因此初选土钉长度 L 按下式计算:^[3]

$$L = m \cdot H + s_D \quad (2)$$

式中:

m —经验系数,取0.7~1.0

s_D —止浆器长度,一般为0.8~1.5m

土钉孔直径 d_a 及间距:首先根据成孔机械选定土钉孔孔径 d_b ,一般取 $d_b=120 \sim 200$ mm,常用的孔径为120~150mm。以 S_x 、 S_y 分别表示土钉的列距、行距,选定行、列距的原则是以每个土钉注浆对其周围土的影响区与相邻孔的影响区相重叠为准。应力分析表明,一次压力注浆可使孔外 $4d_b$ 的邻近范围内产生影响,因此按 $(6 \sim 8)d_b$ 选定土钉行列距,且应满足下式的要求。^[1]

式中: K_1 —注浆工艺系数。

对一次压力注浆工艺,取1.5~2.5。按照防腐要求,

$$S_x \cdot S_y = L \cdot K_1 \cdot d$$

土钉孔直径 d_b 应等于加筋土钉杆直径 d_a 加60mm。

为增强土钉中加筋杆与砂浆(或细石混凝土)的握裹力,土钉加筋杆宜选用变形钢筋。土钉加筋杆直径 d_a 可按式估算:^[4]

$$d_b = (2.0 \sim 2.5) \times 10^{-3} \cdot S_x \cdot S_y \quad (3)$$

2.2 锚杆的承载力设计计算

锚杆的承载力主要取决于:锚固段锚固体内浆体与钢筋(或钢绞线)界面之间的握固力;锚固段锚固体与周围土体界面之间的粘结摩阻力;锚固土体在最不利的条件下保持整体稳定性。对于土层锚杆,锚杆的承载力主要取决于锚固体与周围土体之间的界面特性^[5]。

土锚承载力 Q 的计算表达式为:

$$Q = \int_{x_1}^{x_1+x_2} L(x) \cdot \tau(x) dx + \sum_{i=1}^n A_i \cdot \mu_i \quad (4)$$

$$= \int_{x_1}^{x_1+x_2} L(x) \cdot \tau[c(x) + \sigma(x) \tan \phi(x)] dx + \sum_{i=1}^n A_i \cdot \mu_i$$

式中:

Q —锚杆的承载力;

$L(x)$ —锚固体的周长;

τ —锚固体周围土体抗剪强度;

A_i —第 i 个扩体部分的受压面积;

μ_i —为第 i 个扩体处土的抗压强度;

n —扩体数;

$c(x)$ —锚固体周围土体的粘聚力;

$\sigma(x)$ —锚固体周围土体剪切面上的法向应力;

$\phi(x)$ —锚固体周围土体的内摩擦角。

对于单一土层的圆柱形的锚杆,上式简化为:

$$N = \pi \cdot DX_2 \tau = \pi \cdot DX_2 (c + \sigma \cdot \tan \phi)$$

式中:

c —土的粘聚力;

ϕ —土的内摩擦角;

σ —剪切面上法向应力;

D —锚杆直径;

X_2 —锚固长度。

3 设计计算

3.1 土钉墙稳定性验算

土钉内部的稳定性分析:

$$K_{\min} = \sum_{i=1}^n c_{ik} \cdot L_i \cdot S + \sum_{i=1}^n (W_i + q_0 b_i) \cos \theta_i \cdot \tan \theta_{ik} + \sum_{i=1}^n T_{\gamma_i} [\cos(a_i + \theta_i) + 0.5 \sin(a_i + \theta_i) \tan \theta_{ik}] - s \gamma_k \gamma_0 \sum_{i=1}^n (w_i + q_0 b_i) \cdot \sin \theta_i \geq 0 \quad (5)$$

式中:

n —滑动体分条数;

m —滑动体内土钉数;

γ_0 —整体滑动分项系数,取1.3;

γ_i —基坑侧壁重要性系数;
 W_i —第*i*分条土重,滑裂面位于粘性土或粉土中时,按上覆土层的饱和土重度计算;滑裂面位于砂土或碎石类土中时,按上覆土层的浮重度计算;

b_i —第*i*分条宽度;
 c_{ik} —第*i*分条滑裂面处土体固结不排水(快)剪粘聚力标准值;
 θ_{ik} —第*i*分条滑裂面处土体固结不排水(快)剪内

表2 土钉支护设计数据表
Table 2 Soil nailing support design data

层号	锚孔直径(mm)	垂直间距(m)	水平间距(m)	土钉倾角(°)	土钉直径(mm)	土钉长度(m)
1	100	1.5	1.5	10	20	8.0
2	100	1.5	1.5	10	20	10.0
3	100	1.5	1.5	10	20	10.0
4	100	1.5	1.5	10	20	7.0
5	100	1.5	1.5	10	20	5.0

摩擦角标准值;
 θ_i —第*i*分条滑裂面处中点切线与水平面的夹角;
 α_i —土钉与水平面之间的夹角;
 L_i —第*i*分条滑裂面处的弧长;
 s —计算滑动体单元的厚度;
 T_n —第*n*根土钉在圆弧滑裂面外锚固体与土体的极限抗拉力。

筋,喷射100mm厚的C20细石混凝土;坡顶高出地面0.1m,宽 1.0m散水,坡比 1 : 0.1(反坡),配筋、混凝土厚度同坡面做法。

3.4 护坡桩设计

按照《基坑支护技术规范》的设计要求,从保证安全稳定性及经济的角度考虑,对基坑不同部位进行设计比较,采用最优化方案。

土钉墙的抗滑稳定性分析,其抗滑安全系数为:^[6]

$$K_n = (F_i/E_{ax}) > 1.2 \quad (6)$$

式中: F_i —作用在简化墙底端面上的抗滑合力;
 E_{ax} —简化土墙后主动土压力水平分力。

土钉墙的抗倾覆稳定性分析,其抗倾覆安全系数为:^[6]

$K_o = (M_w/M_o) > 1.3 \quad (7)$

式中: M_w —抗倾覆力矩; M_o —土压力产生的倾覆力矩。

上部土钉墙下部护坡桩加锚杆支护体系的护坡桩设计(见图1): I 型护坡桩直径为800mm,桩间距1.50m,桩长14.35m,桩顶标高-8.50m,嵌固长度为4.0,配筋主筋12 ϕ 22为钢筋,箍筋8 ϕ 200,加强筋 ϕ 14@2000,桩身混凝土标号C25。

II 型护坡桩直径为800mm,桩间距1.50m,桩长14.35m,桩顶标高-8.50m,嵌固长度为4.0,配筋主筋为12 ϕ 22钢筋,箍筋 ϕ 8@200,加强筋 ϕ 14@2000,桩身混凝土标号C25。

上部挡土墙下部护坡桩加锚杆支护体系的护坡桩设计(见图2): III 型护坡桩直径为 800mm,桩间距1.5m,桩长21.65m,桩顶标高-2.80m,嵌固长度为4.50m,配筋主筋为13 ϕ 22钢筋,箍筋 ϕ 8@200,加强筋 ϕ 14@2000,桩身混凝土标号 C25。

IV 型护坡桩直径为800mm,桩间距1.50m,桩长20.55m,桩顶标高2.80m,嵌固长度为 4.50m,配筋主筋为 13 ϕ 22钢筋,箍筋 ϕ 8@200,加强筋 ϕ 14@2000,桩身混凝土标号 C25。

3.5 锚杆设计

依据2.2节中提供的设计计算方案可得出护坡锚杆的相应设计参数:

分别按照(5)式及采用《理正4.03基坑支护软件》进行内部稳定性验算及土钉抗拉强度验算,并根据施工经验进行局部调整^[7]。土钉护坡设计数据列于表2。

该部分基坑支护土钉均分为5层。土钉均呈梅花型布置,土钉锚固体直径为100mm,锚筋为1 ϕ 20,土钉墙面层钢筋网规格 ϕ 6.5@200 \times 200和1 ϕ 14横竖压

上部土钉墙下部护坡桩加锚杆支护体系的锚杆设计: I 型护坡锚杆:第一道锚杆标高为- 8.50m,开孔孔

径150mm,锚杆间距1.5m,长度20.0m,自由段5.0m,采用4束1860级钢绞线,锁定在桩顶连梁上,锚杆锁定预应力350kN。第二道锚杆标高为-13.50m,开孔孔径150

mm,锚杆间距1.5m,长度18.0m,自由段5.0m,采用4束1860级钢绞线,锁定在28B工字钢腰梁上,锚杆锁定预应力400kN。Ⅱ型护坡桩锚杆:锚杆标高为-8.50m,

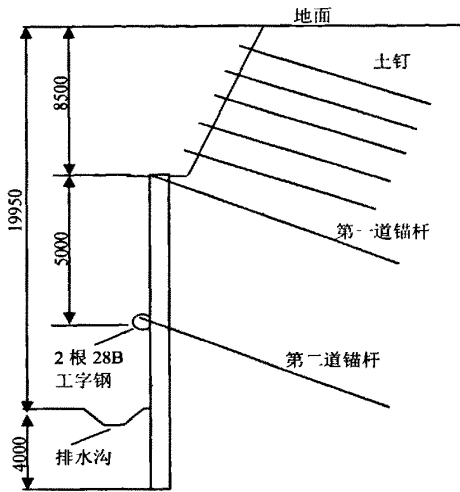


图1 土钉墙加锚杆的护坡支护设计图(单位:m)
Fig.1The design of slope protection with soil nail wall and bolt(unit:mm)

开孔孔径150mm,锚杆间距1.5m,长度22.0m,自由段5.0m,采用4束1860级钢绞线,锁定在桩顶连梁上,锚杆锁定预应力400kN。

上部挡土墙下部护坡桩加锚杆支护体系的锚杆设计:第一道锚杆标高为- 6.50 m,开孔孔径150mm,锚杆间距1.5m,长度22.0m,自由段5.0m,采用4束1860级钢绞线,锁定在28B工字钢腰梁上,锚杆锁定预应力400kN。

上部挡土墙下部护坡桩加锚杆支护体系的锚杆设计:第一道锚杆标高为- 6.50 m,开孔孔径150mm,锚杆间距1.5m,长度22.0m,自由段5.0m,采用4束1860级钢绞线,锁定在28B工字钢腰梁上,锚杆锁定预应力400kN。

第二道锚杆标高为- 12.50m,开孔孔径150mm,锚杆间距1.5m,长度20.0m,自由段5.0m,采用4束1860级钢绞线,锁定在28B工字钢腰梁上,锚杆锁定预应力400kN。

3.6 连接设计

上部土钉墙下部护坡桩加锚杆支护体系的连接设计:混凝土梁截面为800mm×500mm,配筋主筋为8φ22钢筋,箍筋φ8@250,混凝土标号C25。桩间挂φ6.5@250×250钢筋网片,土钉长度2.0m,间距1.0m,土钉主筋为1φ18,并用1φ14钢筋和护坡桩相连,喷

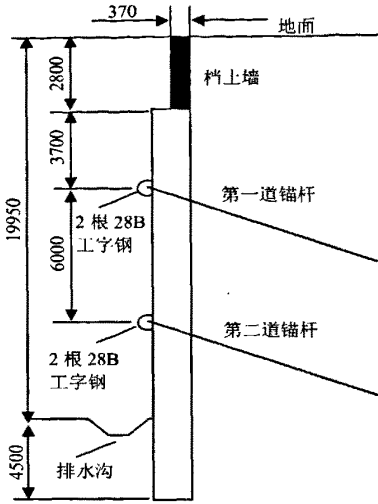


图2 挡土墙加锚杆的护坡支护设计图(单位:m)
Fig.2 The design of slope protection with retaining wall and bolt(unit:mm)

射50mm厚C20混凝土。

上部挡土墙下部护坡桩加锚杆支护体系的连接设计:桩顶联系梁桩间土支护同Ⅰ、Ⅱ型;桩顶以上砌筑370mm厚挡土墙,墙中设构造柱,构造柱为360mm×360mm,间距3.00m,配6φ18钢筋,箍筋φ6.5@200,构造柱混凝土标号C25,挡土墙顶预设压顶梁370mm×150mm。

4 结论与建议

建设场地所处的工程地质条件较好,场地内无不良地质现象,地下水对混凝土结构无侵蚀性。在深基坑支护的过程中,本文通过设计计算及验算确定了具体的设计方案;选取多种支护方式的综合运用,优选了临路部分及临原有建筑部分采取上部挡土墙下部护坡桩加锚杆的支护体系,其它部分基坑支护采取上部土钉墙下部护坡桩加锚杆支护体系,很好地解决了采用纯土钉墙基坑安全可靠性不高的问题,又相对降低了整个基坑支护造价。

本文提供的护坡桩加锚杆支护体系具有安全稳定、施工简便可行的特点,可为类似的支护工程提供参考借鉴。

参考文献:

- [1]JGJ120-99 基坑支护技术规范[S].
- [2]龚晓南.深基坑工程设计施工手册[M].北京:中国建筑工业

出版社,1998.

[3]赵志缙,赵帆.深基坑工程技术的进步与展望[J].建筑技术,2003,34(2):48~53.

[4]张显刚,王俊英,詹泮湘.超深大基坑边坡支护和监测技术[J].建筑技术,2004,35(5):168~172.

[5]张伟峰.高层建筑深基坑支护法的综合运用[J].施工技术,2003,32(8):28-29.

[6]蒋洪胜,曹怀武,张建国.多种支护结构形式在深基坑工程中的应用[J].施工技术,2003,32(8):12~14.

[7]徐杨青.深基坑工程设计的优化原理与途径[J].岩土力学与工程学报,2001,20(2):56~5

OPTIMIZED DESIGN OF MANY SCHEMES FOR FOUNDATION PIT SUPPORTING ENGINEERING OF THE BINHU BUILDING

XIE Cheng, WANG Guo-qiang, WANG Yan-jun

(School of Resources and Environmental Engineering, Hefei University of Technology, Hefei, Anhui 230009, China)

Abstract: This paper introduced the engineering geological conditions of the location of the Binhu Building, analysed the engineering geological features of the construction site and focused on the foundation pit support principle, design and calculation, checking calculation method and specific design scheme. Considering the characteristics of this engineering, this paper compared a number of support schemes, adopted the optimized design and well solved the issue of low-reliability of simple soil nailing wall foundation pit, simultaneously reducing the cost of support engineering.

Keywords: deep foundation pit support; optimized design; soil nailing wall; anchoring rod; slope support pile

332地质队召开皖南地区找矿方向研究 暨地质成果汇报会

2月28日,安徽省地质矿产勘查局332地质队在黄山市召开了皖南地区找矿方向研究暨地质成果汇报会。省国土资源厅杨先静巡视员、省地矿局徐小磊副局长参加会议并作重要讲话,省国土资源厅、省地矿局、省公益性地质调查管理中心、黄山市国土资源局、332地质队等相关单位的领导和专家100余人参加了会议。

会上,有关专家针对皖南地区找矿形势,重点对祁门东源找矿工作进行了详细指导,提出了许多建设性的建议。332地质队承担省级公益性项目和省级地质勘查基金项目的同志进行了专题汇报,从皖南地区成矿地质条件和立项建议等五个内容开展了研讨。

自2007年以来,332地质队先后用了两年多时间,科学查明祁门东源白钨矿资源量9.62万吨,工业储量达6.5万吨,属大型白钨矿。矿区位于江南古陆中元古界浅变质岩系,含矿岩体为花岗闪长斑岩,具有埋藏浅、规模大等特点。该矿的发现,不仅填补了黄山市大型金属矿的空白,而且对在周边地区寻找金属矿藏具有重要的指导意义。

会议专家和代表对祁门东源钨矿给予高度评价,认为祁门东源钨矿的发现是332地质队贯彻“地质立局、强队富民、找矿立功、服务安徽”发展战略的具体成效,是该队广大地质工作者智慧的结晶,为在皖南地区实现找矿更大突破奠定了实践基础和成果依据。

(332地质队)