

条桩式地下连续墙加锚杆 在北京嘉利来世贸广场的应用

张勇 陈阵 蒋荣庆

(长春科技大学, 长春 130026)

【摘要】 采用条桩式地下连续墙加锚杆联合支护方案, 既保证了基坑支护的稳定和安全, 又减小了成墙的技术难度。

【关键词】 基坑支护; 条桩式地下连续墙; 锚杆

【中图分类号】 TU 473.2

【Abstract】 The supporting design of combining bar-diaphragm wall with anchor can not only ensure the stability and safety of the supporting structure, but also diminish the technical difficulties.

【Key words】 pit shoring; bar-diaphragm wall; anchor

1 工程概况

北京嘉利来世贸广场工程位于北京市朝阳区东三环北路与思源南路交叉口的西北角, 由两座分别为 33 层、25 层的办公楼, 一座酒店式公寓及一系列商场及地下停车库组成。基坑设计周长约 645 m, 开挖深度 15.3 m, 16.4 m, 16.9 m, 18.0 m 不等, 最大挖深 18.0 m, 总投资 998 万元。基坑现场周边相邻建筑较多, 且无法拆除, 这就加大了工程施工的难度。

2 工程地质与水文地质概况

工程现场位于永定河冲积扇中部, 从地表以下, 依次分布着人工堆积层, 厚度 2 m; 新近沉积层和第四纪沉积层的粉质粘土、粘质粉土, 厚度 12.8 m; 粉细砂, 厚度 2.5 m; 圆砾和卵石, 厚度约 2.5 m。在基坑开挖前进行了场地降水。

3 基坑支护方案选择

基坑设置支护结构的目的是使开挖能够顺利进行并保证邻近建筑物的安全。在设计

过程中, 我们曾考虑了排桩式悬臂围护、单锚定式排桩围护、地连墙锚杆围护等几种方案^[1]。经过综合对比, 又考虑到工程现场邻近重要建筑较多等具体条件, 正好可以发挥地连墙刚度大、整体性好、承载能力强及对邻近建筑和地下设施影响很小等特点, 且加多层锚杆可以有效地控制地连墙的水平位移, 增加安全性。因此, 从诸多方案中优选地连墙辅以斜拉锚杆的基坑支护体系。基坑支护平面布置见图 1。

4 基坑支护设计

4.1 设计时考虑的四大难点

① 基坑西南角有一煤气调压站, 吃进地下结构 4.2 m。

② 基坑南侧建设银行吃进结构墙 1.9 m。

③ 基坑东北角的香港美食城距地下室外墙仅 0.43 m。

④ 基坑北侧墙体外侧距水源八厂围墙仅为 0.7 m。

4.2 地下连续墙设计

4.2.1 地下连续墙单元槽段长度及厚度的确定

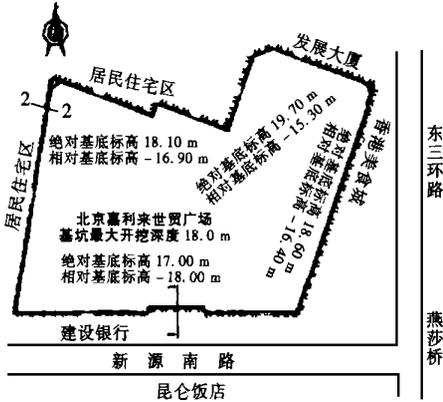


图1 基坑支护平面布置图

地下连续墙单元槽段的长度一般根据土质稳定情况、地下水活动情况、墙体附近地面的静荷载和动荷载情况等因素综合考虑选取。在本工程实践中，我们在充分考虑传统设计思想及施工方法的基础上大胆探索，采用条桩式地连墙（即以条桩代替传统意义上的地连墙），其单元槽段的长度及厚度依据本工程拟采用的BH-7型连续墙液压抓斗的斗体外形尺寸确定，普通槽段长度为2.5m，宽度为0.6m，普通槽段条桩布置见图2。在上述几个特殊地段采用增加单元槽段长度或减小槽段间距、密排墙体等方法来满足现场施工条件的要求以及邻近建筑物的安全。

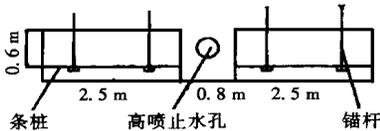


图2 条桩及锚杆布置图

4.2.2 墙体入土深度的确定

根据工程实际情况，拟采用逐层挖土，逐层锚固的方法进行施工^[2]，在设计计算中应用多支点支护结构计算法中与实际情况最为相似的分段等直梁法模型见图3，

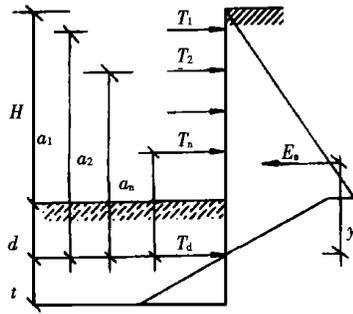


图3 多层支点混合支护结构计算简图

其中：

- H —计算相应阶段时基坑开挖总深度，m；
- d —相应阶段土压力为零时开挖面下的深度，m；
- t —相应阶段条桩嵌入土压力为零点以下需要深度，m；
- $T_1, T_2 \dots T_n$ —自上而下各层支撑的压力；
- $a_1, a_2, \dots a_n$ —自上而下各层支撑到土压力为零点的距离。

分别计算出主动土压力、被动土压力及锚杆各支点的支撑反力。根据经验并通过计算所选的结构按式(1)进行稳定性验算。

$$\frac{\sum E_{pi} \cdot b_{pj} + T_K(L - H_{TK})}{\sum E_{ai} b_{ai}} \geq 1 \quad (1)$$

式中：

- b_{ai}, b_{pj} —分别为各层主动土压力 E_{ai} 、被动土压力 E_{pj} 的作用点至桩端点的距离，m；
- T_K —支点即锚杆设计水平力，kN；
- H_{TK} —锚杆点至桩顶的距离，m；
- L —计算桩长，m。

最终经编程计算得墙体的入土深度为4.5m。

4.2.3 墙体的最大弯矩及槽段配筋

经计算墙体承受最大弯矩为 $600 \text{ kN} \cdot \text{m}$ 。每个槽段的钢筋笼用 $\phi 28, \phi 25, \phi 16, \phi 12$ 不等直径的钢筋焊接而成，配筋率为 8% 。典型配筋断面见图4。

4.3 桩间高喷止水工程设计

为了提高支护体系的整体稳定性并提高

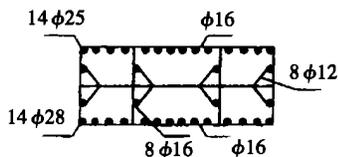


图4 典型配筋断面图

桩间土强度及止水能力,采用了桩间高喷止水工艺。旋喷孔直径设计为 $\phi 110$ mm,从孔深15 m处开始,以18 cm/min的速度提升,至孔口1.5 m处停止作业。

该工程采用CS500-4型高喷台车,喷射管为水气浆三管并列式,三管外套 $\phi 108$ 的外管,喷头为 180° 夹角的喷头,摆动角设计为 30° ,送浆浆液相对体积质量大于 1.60 g/cm^3 ,摆速为 9 r/min ,高压水压力控制在 $36\sim 38 \text{ MPa}$ 之间,压缩气压力为 $0.7\sim 0.8 \text{ MPa}$,水泥浆压力控制在 $0.2\sim 0.5 \text{ MPa}$ 之间。

4.4 锚杆设计

由于基坑开挖深度不同,为了确保工程安全,在设计中,我们在桩底标高为17.0 m的条桩段布置了三层锚杆,其余地段布置二层锚杆,并引入动态设计,在基坑东北角施工中,为了确保邻近的香港美食城及发展大厦的安全,根据现场情况,修改原有设计方案,在墙体拐角处加了两层水平支撑,水平支撑由工字钢组成,通过浇注在墙体中的连接板连接,主要是为了补强锚杆的抗拔力,保证墙体不向基坑内侧滑动。在具体施工中也根据不同槽段出现的问题作了具体处理。

4.4.1 锚杆设计参数的选取

①锚杆与水平面夹角:第一层锚杆与水平面夹角取 20° ,第二、三层锚杆与水平面夹角 16° 。

②锚杆直径均为150 mm。

③锚杆水平间距为1.65 m。

4.4.2 锚杆自由段与锚固段长度的确定

①锚杆自由段长度的计算^[3]据式(2)

$L_f =$

$$\frac{(h + d_1 - d_2) \cdot \tan(45^\circ - \varphi/2) \cdot \sin(45^\circ + \varphi/2)}{\sin(135^\circ - \varphi/2 - \alpha)} \quad (2)$$

式中:

L_f —锚杆自由段长度, m;

h —基坑开挖深度, m;

d_1 —锚杆离坑顶距离, m;

d_2 —支护结构插入深度, m;

α —锚杆与水平面夹角, ($^\circ$);

φ —内摩擦角, ($^\circ$)。

②锚杆锚固段长度的计算据式(3)

$$L_e = \frac{TK}{\cos \alpha \cdot \pi \cdot D \cdot \tau} \quad (3)$$

式中:

L_e —锚杆锚固段长度, m;

T —支护结构传递给锚杆的水平力, kN;

α —锚杆与水平面夹角($^\circ$);

D —锚杆锚固体直径, m;

τ —锚固体周边土的抗剪强度, kPa;

K —安全系数(取2.0)。

经计算锚杆设计结果见表1。锚杆布置及相关参数见图5,其中1-1、2-2分别表示图1中1-1段剖面和2-2段剖面。

表1 锚杆设计计算结果

层序	锚固段长度 L_e /m	自由段长度 L_f /m	单根锚杆的水平拉力 N_t /kN
第一层	19.0	6.0	500
第二层	15.0	4.0	680
第三层	15.0	3.0	650

4.4.3 锚杆组成

本工程锚杆体用抗拉强度为 860 N/mm^2 的7根 $\phi 5$ 预应力钢绞线加工而成,据锚杆所用根数每隔2.0 m用火烧丝与隔离架绑扎在一起,非锚固段涂上黄油,套上 $\phi 20$ 软塑料管,两端用胶带密封。锚杆组成见图6。

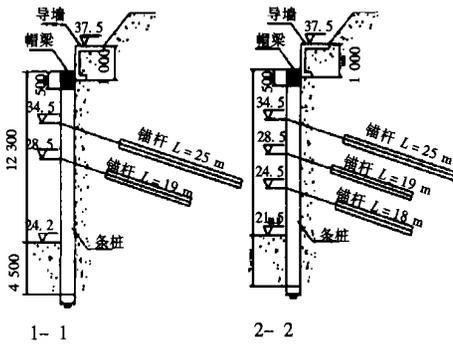
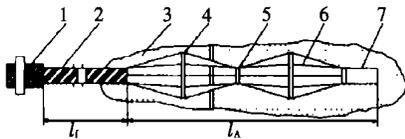


图5 锚杆结构剖面图



1. 锚头 2. 非锚固段及软塑料管 3. 锚固体砂浆 4. 隔离架 5. 钢丝束结 6. 锚固段的外层钢筋 7. 锚杆尾部

图6 锚杆组成图

5 施工概况

5.1 地下连续墙施工

地下连续墙成孔采用意大利引进的BH-7型液压抓斗施工,泥浆是由水、膨润土和碳酸钠组成的溶胶悬浮体,使用进口的BE-10泥浆搅拌机制备泥浆。成孔后要求孔底淤积物厚度小于30cm。钢筋笼制作要严格按照设计要求进行,钢筋交叉点用铁丝绑扎牢固,使之在吊装、浇注过程中不发生活动错位。浇注用混凝土设计塌落度为18~22cm,扩散度控制在34~38cm之间。

5.2 锚杆施工与注浆

该工程锚杆多处于粉质粘土、粘质粉土中,工程降水范围小而锚杆较长,大多数锚孔还需选用跟套管钻进成孔的方法,现场用SM-405型及XU-3型钻机成孔。

工程注浆材料为水灰比(质量比)为0.5的纯水泥浆,用525#普通硅酸盐水泥搅拌而成,用BW-320型注浆泵注浆。

6 现场监测

结合本工程的实际要求,对条桩式地连墙锚杆体系进行了监测,其监测主要包括以

下内容:

①地连墙结构顶部位移、墙体变形及倾斜、墙面不平度、墙体垂直沉降及各点沉降差、墙底沉渣量及嵌入持力层深度的变化、墙身混凝土质量等项的监测。量测结果表明,条桩各测点的水平位移是随着基坑开挖深度的增大而不断增长的,随后逐渐缓慢,最后达到稳定。在测量数据中,桩顶位移最小值为0,最大值为22mm,平均位移7.1mm左右。

②锚杆最大弹性变形为9~16mm,平均为13.2mm,对比锚杆自由段与锚固段的弹性变形,说明它们发挥得较充分,也证明锚杆在土层中的锚固性能良好。

③对邻近建筑物的沉降、变形、倾斜等进行监测。经监测,本基坑在开挖过程中对邻近建筑物几乎无影响。

④利用地下水位观测计对地下水位变化及渗透、管涌、冲刷、抽水影响等进行了监测。

⑤用肉眼巡视观测,对邻近地面的裂缝、塌陷、支撑及墙体裂缝等进行监测。

7 条桩式地连墙锚杆支护体系设计施工的几点体会

①设计之初,必须掌握详细的工程资料及现场周围环境,使设计更合理。在锚杆及支护结构设计时,除按有关规范计算外,类比其他工程实例,采用同类工程的成功经验也很重要。我们就借鉴了邻近的京城大厦的施工经验。

②采用动态设计与信息化施工技术。在该基坑设计施工过程中,结合现场环境,科学地以条桩代替传统的地下连续墙,在保证支护体系安全的前提下,减小了槽段长度,最大地发掘了施工机械的潜力,解决了连续墙施工中由于槽段长度较大而带来的成孔、下钢筋笼、混凝土浇注及槽段连接等许多技术难题。另外,对几处特殊地段结合实际进行的专门设计,经过长期观测,工作很可靠。

③在锚杆施工过程中,遇到了部分锚杆严重漏水的问题,给下一步施工带来了困难,用有机膨胀剂止水取得了一定功效,但并未取得完全效果。我们建议在今后施工过程中可通过以下几条途径解决锚杆漏水问题。

1)用新型的粘土固化浆液代替普通使用的水泥类浆液^[4]。因为其具有良好的抗水稀释性,使其能吸收大量的水分而不发生分层析水,其次,粘土固化浆液以胶结方式充填于地下裂缝中并将其胶结起来,具有良好的自我封闭作用。另外,还具有流动性好,易于渗入岩层的微细裂隙中,提高堵塞效果及成本低等优点。

2)在锚杆孔口管外周使用无缝钢管与钢板中心挖孔焊接成整体孔口管,并预埋在条桩钢筋笼中,在混凝土浇注时即可形成管外周的密封止水,孔口管内侧在锚杆注浆后,用

有机膨胀剂实现密封止水。

3)采用二次高压注浆技术。二次高压补注浆(压力大于 2.5 MPa)时,密封孔体在高压浆液作用下,压缩性较大处孔壁形成扩孔使锚杆体成糖葫芦状,增加了土体的密实度,增大了裂隙水渗漏的阻力。

参考文献

- 1 龚晓南主编·深基坑工程设计手册·北京:中国建筑工业出版社,1998
- 2 黄强编·深基坑工程支护设计技术·北京:中国建材出版社,1995
- 3 黄生根,张希浩,曹辉·地基处理与基坑支护工程·武汉:中国地质大学出版社,1997
- 4 王星华编·粘土固化浆液在地下工程中的应用·北京:中国铁道出版社,1998

收稿日期:1999-12-06

(上接第 66 页)

计算内力功时虽然引入了一个折减系数 α ,但它的取值如何才能准确反映边界条件所带来的误差,尚需进一步研究。其它还有诸如主动土压力的取值,支撑轴力实测值的准确程度等等,都会对计算结果带来影响。

3 结论

本文主要是利用弹性薄板理论对地下连续墙在某一工况下的变形进行计算,针对基坑开挖空间效应引起的墙体变形提出了一种基于变分法的解析方法,可得到如下结论:

①采用变分法计算的最大优点在于我们可以对整块板的变形情况加以了解,而不是仅仅局限于有限的几个墙体断面的变形情况。我们采用的变分解只是满足边界条件的一族函数中最为接近的位移解,但从计算结果来看,它与实际变形情况能较好地吻合,说明这种近似的位移解析解法是合理可行的。

②采用变分法对墙体变形进行分析时,由于地基水平抗力系数 K 的取值依赖于经验确定,在一定程度上影响了对墙体位移计算的精度。

③采用变分法对墙体的某一工况进行位移计算时,是基于土体一次性开挖到底的假设,不能考虑施工工序对墙体变形的影响,这也是它的一大缺陷。

参考文献

- 1 吴家龙·弹性力学·上海:同济大学出版社,1987
- 2 刘建航,侯学渊·基坑工程手册,北京:中国建筑工业出版社,1997
- 3 唐孟雄·高层建筑与承重地下连续墙及桩箱(筏)基础共同作用研究:[博士论文]·上海:同济大学,1996

收稿日期:1999-12-24