

护壁桩作为塔吊基础的理论设计及应用

马 贇

(辽宁省冶金地质勘查局 401 队, 辽宁鞍山 114001)

摘要:通过鞍山第一高楼——鞍山国际明珠大厦深基坑护壁桩作为塔吊基础的理论设计及成功应用的工程实例,详细介绍了深基坑支护中护壁桩在作为基坑支护的主要结构的同时,又可以通过理论与实际的相互转化,从而又能承担塔吊基础载体的这一大胆设计,成功解决了许多狭小地带修建高层时塔吊安置的难题。以此理论计算为依据,可以举一反三,解决集中荷载在基坑设计中如何取值并且转化成模型,为今后类似工程提供经验。

关键词:护壁桩;塔吊;基础;基坑支护;监测

中图分类号:TU473.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2010)09-0054-04

Theoretical Design of Retaining Pile as Tower Crane Foundation and the Successful Application/Ma Yun (401 Team, Liaoning Provincial Metallurgy Bureau of Geological Exploration, Anshan Liaoning 114001, China)

Abstract: By the engineering case of the theoretical design of retaining pile as tower crane foundation for the first-high building in Anshan-Anshan International Pearl Building, the paper introduced that the retaining pile was constructed not only as the main structure of foundation pit support but also as the carrier of the tower crane. This bold design successfully resolved the difficulty of tower crane installation in many narrow sites. Based on this theoretical calculation, the concentrated loading value-taking in the foundation pit design would be solved and be transformed into the model to provide reference for similar engineering in future.

Key words: retaining pile; crane; base; foundation pit support; monitoring

0 引言

由于城市化的快速发展,城市人口超饱和,导致我国的高层建筑几乎成几何级数递增。从发展趋势看,我国正在建设的高层建筑越来越高,向地下发展越来越深,这对基坑工程提出了严峻的挑战,并且在城市狭小的地方开挖深基坑后采取支护措施,为了便于施工,塔吊的安装,材料的堆放,临时住所的设置,均需要占用现有空间,这样将对基坑的设计带来了更多的思考和难点。鞍山国际明珠项目则很好地解决了这一问题,尤其是塔吊的安置问题。

1 工程概况

鞍山国际明珠大厦位于鞍山市站前街、前进路和铁东五道街所夹三角地带(市政府商业密集区附近),该项工程占地面积 2175.36 m²,总建筑面积 93371 m²,建筑密度 93.32%,建筑地上 46 层,地下 3 层(基坑开挖深度 13.2 m),高度 168 m,为鞍山市最高层。在有限的范围内修建如此之高、如此容积率(42.92)创造了亚洲第一,尤其是基坑三侧紧靠马路,附近建筑密集(见图 1),地形条件复杂,基坑

开挖边线距建筑红线仅 3 m。为了基础施工,需要对现有的场地进行优化设计利用,尤其是塔吊的安置成为重中之重。经过多方论证,选择了护壁桩作为塔吊基础桩这一大胆设计。

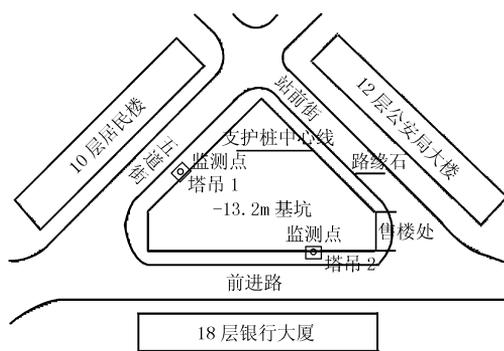


图 1 基坑平面布置图

2 塔吊基础理论设计

2.1 参数信息

塔吊型号:QTZ63,自重(包括压重) $F_1 = 450.80$ kN,最大起重荷载 $F_2 = 60.00$ kN,塔吊倾覆力距 $M = 630.00$ kN·m,塔吊起重高度 = 40.00 m(基坑施

收稿日期:2010-06-24;修回日期:2010-07-29

作者简介:马贇(1984-),男(汉族),甘肃静宁人,辽宁省冶金地质勘查局 401 队岩土工程师,土木工程专业,从事岩土工程(基坑工程)设计及施工、边坡支护设计及施工、地基处理设计及施工、道路桥梁工程施工),辽宁省鞍山市铁东区后峪小房身地质 401 队,myun1127@163.com。

工时暂超过 12 层公安局大楼安装,基础起来后再升节),塔身宽度 $B = 1.50 \text{ m}$,混凝土强度等级:C35,基础采用护壁桩,基础承台厚度 $h = 2 \text{ m}$,承台尺寸 $B_c = 4.80 \text{ m}$ (正方形)。

2.2 塔吊基础承载力计算

依据《建筑地基基础设计规范》(GB 50007 - 2002)第 5.2 条承载力计算。

计算简图见图 2、图 3。

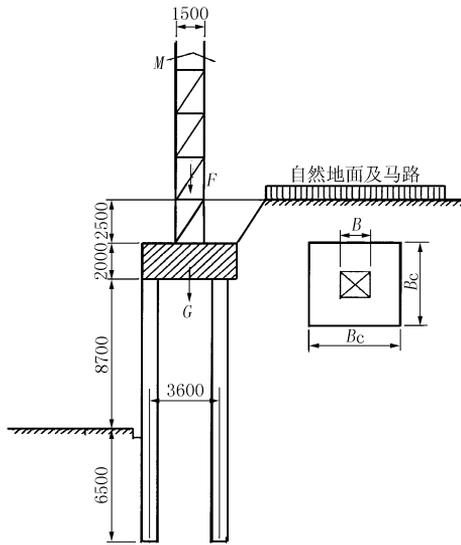


图 2 塔吊承台平面布置图

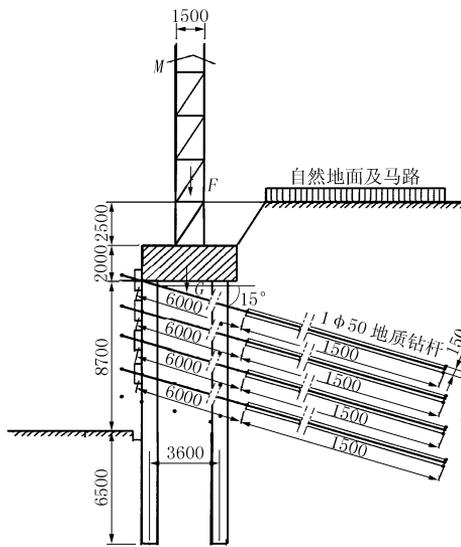


图 3 塔吊基础施工剖面图

当不考虑附着时的基础设计值计算公式:

$$P_{\max} = \frac{F + G}{B_c^2} + \frac{M}{W}$$

$$P_{\min} = \frac{F + G}{B_c^2} - \frac{M}{W}$$

当考虑偏心距较大时的基础设计值计算公式:

$$P_{k\max} = \frac{2(F + G)}{3B_c a}$$

式中: F ——塔吊作用于基础的竖向力,它包括塔吊自重,压重和最大起重荷载, $F = 1.2 \times (450.80 + 60.00) = 612.96 \text{ kN}$; G ——基础自重与基础上面的土的自重, $G = 1.2 \times (25.0 \times B_c^2 \times 2.0 + 20.0 \times B_c^2 \times 2.5) = 2764.80 \text{ kN}$; B_c ——基础底面的宽度,取 $B_c = 4.80 \text{ m}$; W ——基础底面的抵抗矩; M ——倾覆力矩,包括风荷载产生的力距和最大起重力距, $M = 1.4 \times 630.00 = 882.00 \text{ kN} \cdot \text{m}$; a ——合力作用点至基础底面最大压力边缘距离, $a = \frac{B_c}{2} - \frac{M}{F + G} = 2.14 \text{ m}$ 。

经过计算得到:

无附着的最大压力设计值 $P_{\max} = 214.29 \text{ kPa}$;

无附着的最小压力设计值 $P_{\min} = 78.91 \text{ kPa}$;

偏心距较大时压力设计值 $P_{k\max} = 219.22 \text{ kPa}$ 。

2.3 基础承载力验算

基础承载力设计值 $f_a = 6(6 \text{ 根桩}) \times 3.14 \times 0.8(\text{桩径}) \times 6.5(\text{桩嵌固深度}) \times 27(13.2 \text{ m 深基坑下土层侧摩阻力特征值}) = 2645.14 \text{ kPa}$ 。

桩基础承载力特征值 f_a 大于最大压力设计值 $P_{\max} = 214.29 \text{ kPa}$,满足要求。

桩基承载力特征值 $1.2 \times f_a$ 大于偏心距较大时的压力设计值 $P_{k\max} = 219.22 \text{ kPa}$,满足要求。

2.4 塔吊稳定性验算

2.4.1 塔吊有荷载时稳定性验算(以塔吊承台上部为整体考虑)

计算简图见图 4。

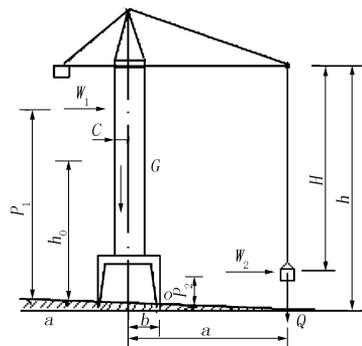


图 4 计算简图

稳定安全系数可按下式验算:

$$K_1 = \frac{1}{Q(a - b)} [G(c - h_0 \sin \alpha + b) - \frac{Qv(a - b)}{gt} - W_1 P_1 - W_2 P_2 - \frac{Qn^2 ah}{900 - Hn^2}]$$

式中: K_1 ——塔吊有荷载时稳定安全系数,允许稳定安全系数最小取 1.15; G ——起重机自重(包括配重,压重), $G=450.80$ kN; c ——起重机重心至旋转中心的距离, $c=1.50$ m; h_0 ——起重机重心至支承平面距离, $h_0=8.00$ m; b ——起重机旋转中心至倾覆边缘的距离, $b=2.40$ m; Q ——最大工作荷载, $Q=60.00$ kN; g ——重力加速度,取 9.8 m/s²; v ——起升速度, $v=0.50$ m/s; t ——制动时间, $t=2$ s; a ——起重机旋转中心至悬挂物重心的水平距离, $a=25.00$ m; W_1 ——作用在起重机上的风力, $W_1=2.00$ kN; W_2 ——作用在荷载上的风力, $W_2=2.00$ kN; P_1 ——自 W_1 作用线至倾覆点的垂直距离, $P_1=10.00$ m; P_2 ——自 W_2 作用线至倾覆点的垂直距离, $P_2=2.00$ m; h ——吊杆端部至支承平面的垂直距离, $h=30.00$ m; n ——起重机的旋转速度, $n=1.0$ r/min; H ——吊杆端部到重物最低位置时的重心距离, $H=28.00$ m; α ——起重机的倾斜角, $\alpha=0.00^\circ$ 。

经过计算得到 $K_1=1.215$ 。

由于 $K_1 \geq 1.15$,所以当塔吊有荷载时,稳定安全系数满足要求。

2.4.2 塔吊结合护壁桩设计时的整体稳定验算(设计)

塔吊范围按 $P=219.22$ kPa 考虑,地面均布荷载按 $q=10$ kN/m 考虑,采用理正深基坑支护 6.0 软件进行计算,其计算模型和结果如下。

2.4.2.1 整体稳定验算(参见图 5)

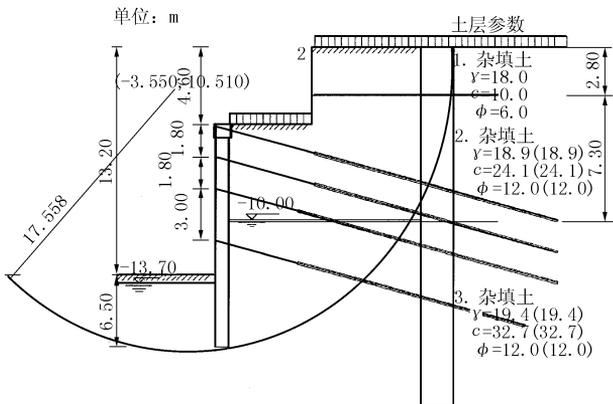


图 5 整体稳定验算简图

计算方法:瑞典条分法

应力状态:总应力法

条分法中的土条宽度:0.40 m

滑裂面数据:

圆弧半径 $R=17.558$ m;

圆心坐标 $X=-3.550$ m;

圆心坐标 $Y=10.510$ m。

$$K = \frac{M_k}{M_q} = \frac{\sum c_{ik} l_i + \sum (q_0 b_i + w_i) \cos \theta_i \operatorname{tg} \psi_{ik}}{\gamma_0 \sum (q_0 b_i + w_i) \sin \theta_i}$$

式中: K ——整体稳定安全系数,规范要求不小于 1.3; M_k ——抗滑力矩, kN·m; M_q ——滑动力矩, kN·m; c_{ik} 、 ψ_{ik} ——最危险滑动面上第 i 土条滑动面上土的固结不排水(快)剪粘聚力(kPa)、内摩擦角标准值($^\circ$);系统按水位以上、水位以下分别取值(见图 5 中参数); l_i ——第 i 土条的滑裂面弧长, m; b_i ——第 i 土条的宽度, $b_i=0.4$ m; w_i ——作用于滑裂面上第 i 土条的重力,水位以上按上覆土层的天然土重计算,水位以下按上覆土层的饱和土重计算, kN/m; θ_i ——第 i 土条弧线中点切线与水平线夹角, ($^\circ$); γ_i ——建筑基坑侧壁重要性系数, $\gamma_i=1.1$; q_i ——作用于基坑面上的荷载, kPa(塔吊范围 $P=219.22$ kPa,地面均布荷载 $q=10$ kN/m)。

经计算得 $K=1.305 > 1.3$,满足规范要求。

2.4.2.2 抗倾覆稳定性验算

抗倾覆安全系数:

$$K_s = (M_{Ep} + M_T) / M_{Ea}$$

$$M_T = \sum \frac{T_{ki} \cos(\theta_i) d_i}{s_i}$$

$$T_{ki} = \min(T_{kki} \gamma_k, T_{mki} \gamma_m)$$

$$T_{kki} = A_s f_{yk} / 1000$$

$$T_{mki} = \sum \pi d q_{sjk} l_j$$

式中: M_{Ea} ——支护结构底部以上主动侧水平荷载对支护结构最底部点(桩底)的弯矩标准值, kN·m; M_{Ep} ——支护结构底部以上被动侧水平荷载对支护结构最底部点(桩底)的弯矩标准值, kN·m; M_T ——锚杆(索)的拉力标准值对支护结构最底部点(桩底)的弯矩, kN·m; T_{ki} ——第 i 个支点反力标准值, kN; T_{kki} ——第 i 排锚杆材料抗力, kN(均采用 R780 地质钻杆抗力); T_{mki} ——第 i 排锚杆锚固力, kN; d_i ——第 i 个支点距支护结构最底部点(桩底)的距离, m; s_i ——第 i 个支点的水平间距, m; γ_k ——材料抗力调整系数, $\gamma_k=1$; γ_m ——锚杆锚固力调整系数, $\gamma_m=1$; A_s ——锚杆实配面积, $A_s=88$ mm²; f_{yk} ——钢筋强度标准值, N/mm²; q_{sjk} ——土体与锚固体的极限摩阻力标准值, kPa; l_j ——第 j 层土中锚固段长度, m; d ——锚杆直径, $d=50$ mm。

经计算得 $K_s=1.328 > 1.2$,满足规范要求。

3 塔吊基础施工

(1)护壁桩采用 $\varnothing 800@1200$ 旋挖钻孔灌注桩,桩长 17.2 m,桩身混凝土设计强度 C25(塔吊处所有混凝土均改为 C35)。

(2)塔吊处承台坐落于原 4 根护壁桩上(此处冠梁只留冠梁配筋,护壁桩标高低于原设计标高,施工完后塔吊承台和相邻冠梁在同一标高,见图 6),为了保证承台受力均匀,在护壁桩后又打 2 根桩(见图 3)。



图 6 塔吊竣工图

(3)塔吊基础下面安置 4 层预应力锚杆(R780 地质钻杆,锚头处为 1 m 长、 $\varnothing 160$ mm 螺旋钻头)。

(4)因该基坑要越冬,为防止基坑冻胀,在塔吊处护壁桩间用钢丝网铺设 2 层草垫子(靠土侧铺塑料薄膜)来保温,有出水的地方安置 1.5 m 长、 $\varnothing 100 @2400$ 泄水管,冠梁及塔吊承台外侧设一防冻沟(里面填满稻壳子),上部硬化,做好地表水的排放。

4 塔吊监测结果及分析

本基坑周围环境较为复杂,施工周期较长,在施工期间(第一层土方开挖至基础 2 m 厚筏板施工完毕)对塔吊处变形进行了全过程的监测,在塔吊承台上设置了一监测点,每天监测 2 次,其水平位移统计见图 7、图 8。

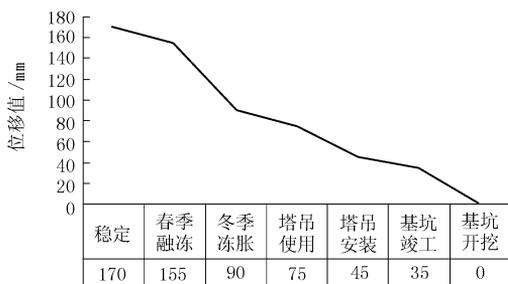


图 7 塔吊 1 变形曲线图

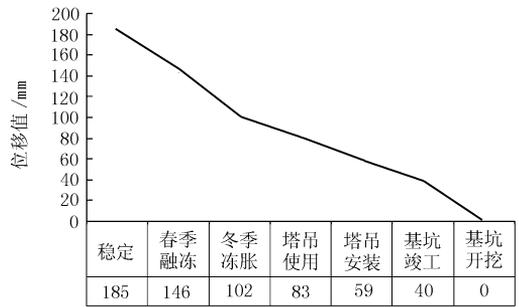


图 8 塔吊 2 变形曲线图

从监测数据统计分析情况看,随着基坑深度的不断开挖和锚杆的锁定以及塔吊使用等,变形经历了基坑开挖、基坑竣工、塔吊安装、塔吊使用、冬季冻胀、春季融冻、稳定 7 个位移变形较大的阶段,虽然最终变形达到了 185 mm,但从整个结果来看,对基坑整体及周边环境均未造成重大不利影响。说明此塔吊设计方案及施工是安全、经济、可靠的。

5 结语

对于城市中心地带修建高层,无条件放坡下的基坑支护后,为了进行基础等前期施工,需要安装塔吊配合,大多数单位对塔吊的安装采取了在基坑内安装、基坑外单独设计安装(坑外一定距离)、塔吊位置进行一定的放坡后安装等形式。无论采用哪种形式,均造成了大小不同的麻烦,尤其是基坑外单独设计安装既占用有限的施工场地,又会带来其他设计的重复等。像本工程基坑边线距建筑红线仅仅 3 m 距离,根本无法满足这一要求,在制定本方案前(鞍山从无从经验),许多专家提出在基坑中心立塔吊,后经论证大胆采取了本设计方案,成功克服了以上困难,经施工后效果良好,对今后类似深基坑工程中塔吊安装具有一定的参考价值,尤其在场地狭小地段不妨可以推广。

参考文献:

- [1] 沈阳建材地质工程勘察院. 国际明珠详勘阶段岩土工程勘察报告[Z]. 2009.
- [2] 潘德来,陈跃. 陡倾斜基岩面条件下的基坑工程[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010, 37(3): 39-41.
- [3] GB 50330-2002, 建筑边坡工程技术规范[S].
- [4] JGJ 120-99, 建筑基坑支护技术规程[S].
- [5] GB 50010-2002, 混凝土结构设计规范[S].
- [6] GB 50007-2002, 建筑地基基础设计规范[S].
- [7] 汪正荣. 建筑地基与基础施工手册(第 2 版)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.