

塔吊浅基础设计方法探讨*

陈允锐¹, 王海军², 石开荣¹

(1. 东南大学 土木工程学院, 江苏 南京 210096; 2. 江苏驿都国际大酒店有限公司, 江苏 盐城 224005)

摘要: 由于塔吊对其基础的作用是变化的, 提出基础的承载能力也是变化的, 得出改进的设计公式, 并通过实例, 比较改进前后的效果。在数学推导过程中, 运用了数学工具软件 MATHCAD, 进行了复杂公式的积分和方程组的求解。

关键词: 塔吊; 浅基础; 承载力

中图分类号: TU441

文献标识码: A

文章编号: 1671-5322(2005)03-0069-04

固定式塔式起重机(简称塔吊)是垂直运输的重要工具, 几乎每个民用建筑施工中都会用到它, 然而从以往的塔吊事故分析, 倾覆占了很大的比例, 基础的设计过于保守或承载能力不够在施工中是常有的事。笔者认为塔吊的基础设计从经济角度来说最好采用浅基础而不采用桩基础, 且有时候在桩机退场后, 再进场打塔吊基础的几根桩, 又不现实。本文就结合国家的相关规范和施工经验, 对塔吊的浅基础设计提出自己的一些看法。

1 作用在塔基上的荷载

作用在基础上的荷载包括塔吊引起荷载和风引起的荷载。其中塔吊荷载包括工作状态与非工作状态下作用在基础上的各项荷载, 如: 作用在基础上的竖向力 N_c , 倾覆弯矩 M_c , 水平剪力 V_c , 计算扶杆时还要扭矩 T_c 。风荷载包括倾覆弯矩 M_w 、水平剪力 V_w 、扭矩 T_w 。所以在设计塔吊基础前要求制造厂家或租赁公司提供包括工作状态和非工作状态下作用在基础上的各项荷载。就风荷载而言, 要根据当地的情况具体计算。这样作用在基础顶面上的弯矩、剪力和竖向力的设计值分别为:

$$M = \gamma_c M_c + \gamma_w M_w;$$

$$V = \gamma_c V_c + \gamma_w V_w;$$

$$N = \gamma_c N_c;$$

$\gamma_c, \gamma_w, \gamma_G$: 塔吊荷载(分工作状态和非工作状态)、风荷载、基础恒载的分项系数;

M, V, N : 作用在基础顶面的弯矩、剪力、竖向力设计值;

塔吊的浅基础常用的形式见图 1(由于目前工地上塔吊的浅基础的形式绝大多数都是(a)图的基础形式, 所以本文以(a)图为分析对象);

如果把塔身看作实心的柱子, 那么塔吊的基础设计类似于单层厂房的柱下独立基础设计, 但又有区别。塔吊臂是旋转的, 作用在基础上的弯矩矢量的方向是变化的, 而单层厂房的柱下独立基础在两个方向上弯矩方向是固定的。

2 土压力计算

基础底面的尺寸大小常由基础底面土压力是否小于或等于地基承载力的条件来确定。因为塔吊的使用以上旋式居多, 塔吊臂的旋转是 0° 到 360° 的, 所以由于塔吊臂的转动引起弯矩矢量方向变化的范围是 0° 到 360° 。通常, 工程技术人员对基础的验算常常验算相互垂直的两个轴的地基承载力情况, (与柱下独立基础设计一样), 笔者认为在 0° 到 360° 之间找出最不利的“中和轴”更为合理。我们以常用的正方形的基础来说明这个问题: I 是转动惯量, W 是截面的抗弯抵抗矩, 下标是截面绕的轴名, p 是土压力。

* 收稿日期: 2005-04-17

作者简介: 陈允锐(1977-), 男, 江苏盐城人, 东南大学土木工程学院硕士研究生。

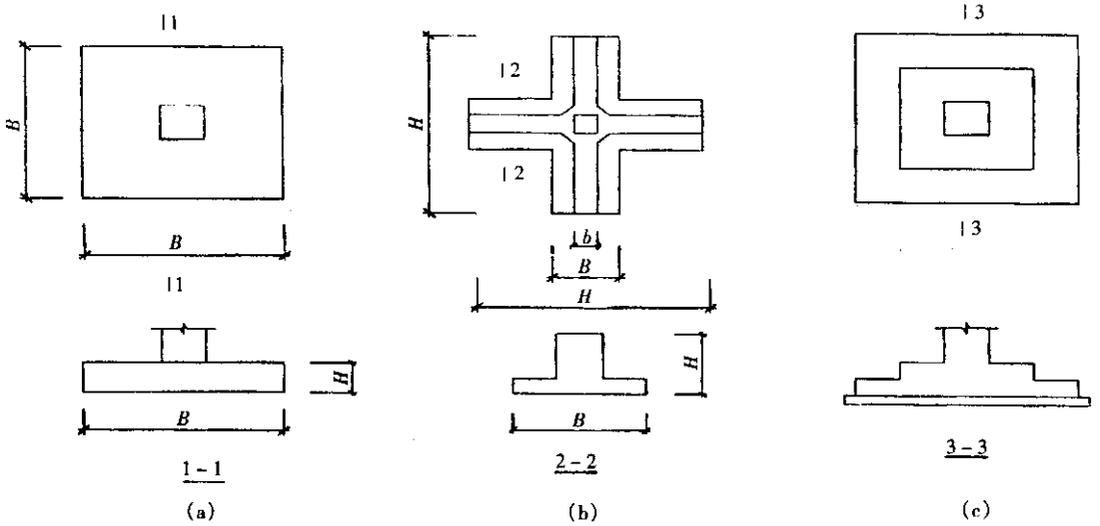


图 1 塔吊的浅基础常用的形式

Fig. 1 Common forms of shallow foundation for tower crane

当 y_1 轴没有转动时(如图 2(a)所示),截面上的应力为:

$$p = \frac{M \cdot y}{I_x} = \frac{M}{I_x/y} = \frac{M}{W_x} \quad (1)$$

其中: y 是离截面的中和轴最远点的坐标。

y_1 轴旋转 α 角度后:

$$I_{x1} = \frac{I_x + I_y}{2} + \frac{I_x - I_y}{2} \cos 2\alpha - I_{xy} \sin 2\alpha \quad (2)$$

$$W_{x1} = \left(\frac{I_y + I_x}{2} + \frac{I_x - I_y}{2} \right) \cos 2\alpha - I_{xy} \sin 2\alpha;$$

其中: $I_{xy}=0$;

$$\text{令 } \frac{dW_{x1}}{dx} = 0; \quad (3)$$

解得:当 $\alpha=45^\circ, 135^\circ, 225^\circ, 315^\circ$ 时,

$W_{x1} = \frac{\sqrt{2}}{12} B^3$ 为最小,所以此时,截面边缘的“受拉”,受压的应力最大。所以我们应该验算与主惯性轴成 45° 方向上的土压力情况。同样,根据材料力学的知识,作用在基底的上的轴向力和弯矩可以等效为一个偏离形心的竖向力,这个力随塔吊臂的旋转而作以偏心距离为半径的圆弧移动,当偏心的距离在正方形的截面核心区之内,则基底的土就不会“受拉”,全截面受压;当偏心的距离作用在核心区的边缘时,另一侧边缘的土压应力正好等于 0,当偏心的距离在核心区之外则说明部分基础底面不与地基接触。由图 2(c)可以看出最小的临界的偏心距是旋转到 45° 的情况时:

$$e_{\text{临界}} = \frac{M+VH}{N+G} = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{B}{6} = \frac{\sqrt{2}}{12} B。$$

(1) 当 $e = \frac{M+VH}{(N+G)} \leq \frac{\sqrt{2}}{12} B$ 时,基础底面和地基全部接触。

$$P_{\max} = \frac{N+G}{B \cdot B} + \frac{M+VH}{W_{\min}} \leq 1.2f; \quad (4)$$

其中:

P_{\max} :基础边缘最大的土压应力;

G :基底以上混凝土和覆盖土的重力荷载设计值, $G = \gamma_c \rho DA$;

ρ :混凝土和覆盖土的平均重度,一般取 20 kN/m^3 ;

D :基础埋置的深度;

A :基础的底面面积;

f :地基承载力设计值;

W_{\min} :截面的最小抵抗矩,正方形取

$$W_{\min} = \frac{\sqrt{2}}{12} B^3;$$

(2) 当 $e = \frac{M+VH}{(N+G)} > \frac{\sqrt{2}}{12} B$ 时,部分基础底面与地基接触。

此时应按图 3(b)、(c)所示的土压应力分布计算,根据力平衡和力矩平衡得:

$$N+G = \int_{(-\frac{\sqrt{2}}{2}B+\frac{\sqrt{2}}{2}a)}^0 dx \int_{\frac{\sqrt{2}}{2}B-x}^{\frac{\sqrt{2}}{2}B+x} \left(1 - \frac{x}{-\frac{\sqrt{2}}{2}B + \frac{\sqrt{2}}{2}a}\right) P_1 dy + \int_0^{\frac{\sqrt{2}}{2}B} dx \int_{\frac{\sqrt{2}}{2}B+x}^{\frac{\sqrt{2}}{2}B-x} \left(P_1 + \frac{P_{\max} - P_1}{\frac{\sqrt{2}}{2}B} x\right) dy;$$

$$N+G = \frac{1}{6} B^2 P_{\max} + \frac{2}{3} B^2 P_1 - \frac{1}{6} P_1 a B - \frac{1}{6} P_1 a^2; \quad (5)$$

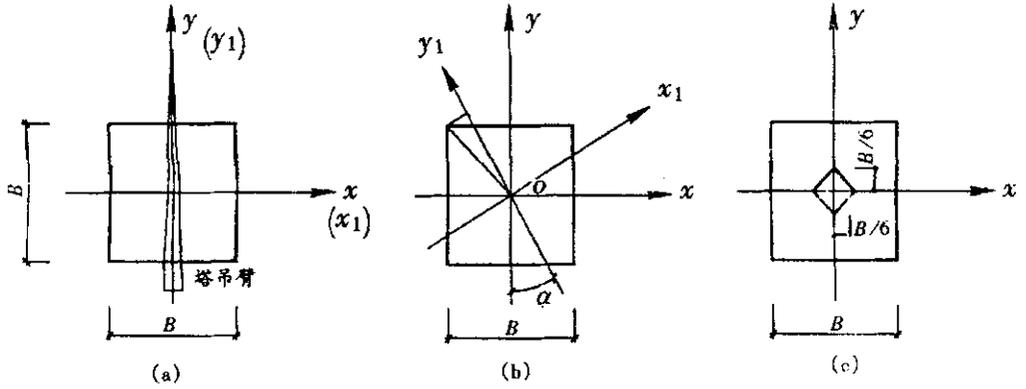


图 2 塔吊旋转时对基础的影响

Fig. 2 Influence on foundation when tower crane rotates

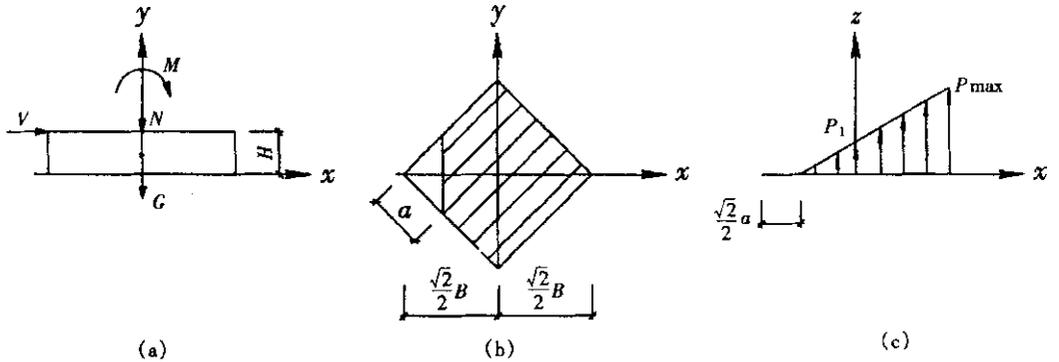


图 3 土反力计算简图

Fig. 3 Calculation sketch of ground compress stress

$$M + V \times H = \int_{(-\frac{\sqrt{2}}{2}B + \frac{\sqrt{2}}{12}a)}^{\frac{\sqrt{2}}{2}B+x} dx \int_{\frac{\sqrt{2}}{2}B-x}^{\frac{\sqrt{2}}{2}B+x} (1 - \frac{x}{-\frac{\sqrt{2}}{2}B + \frac{\sqrt{2}}{12}a})$$

$$P_1 x dy + \int_0^{\frac{\sqrt{2}}{2}B} dx \int_{\frac{\sqrt{2}}{2}B+x}^{\frac{\sqrt{2}}{2}B-x} (P_1 + \frac{P_{max} - P_1}{\sqrt{2}B} x) x dy$$

$$M + V \times H = \frac{\sqrt{2}}{24} (B^3 P_{max} + P_1 B^2 \alpha + P_1 B \alpha^2 - P_1 \alpha^3) \quad (6);$$

其中:

P_1 : 基础中心的土压应力;

$$P_1 = \frac{B - \alpha}{2B - \alpha} P_{max} \quad (7)$$

当 $\alpha = B$, 则 $P_1 = 0$, 所以求得基础底面竖向

$$e = \frac{M + V \times H}{N + G} \leq \frac{1}{4} \sqrt{2} B.$$

当塔吊臂平行于基础边时, 竖向力的最大偏心距是:

$$e = \frac{M + V \times H}{N + G} \leq \frac{1}{3} B, \text{取两者较小值: } \frac{1}{3} B.$$

当基础的截面事先假定时, 联合(5)、(6)、(7)

可以解出土方数据

所以当 $e = \frac{M + V \times H}{(N + G)} \geq \frac{\sqrt{2}}{12} B$ 时, P_{max} 和 e 必须满足(8)、(9):

$$P_{max} \leq 1.2 \times f; \quad (8)$$

$$e = \frac{M + V \times H}{N + G} \leq \frac{1}{3} B \quad (9)$$

以上积分及求解方程过程很繁琐, 但借助数学工具就很容易实现, 如 mathcad2001。

3 实例

某塔吊制造厂所提供的固定式 QTZ80F 塔吊在未采用附着装置前, 基础受力为最大, 有关数据(考虑分项系数后的)如表 1。基础原先采用 $B \times B \times H = 6.25m \times 6.25m \times 1.35m$, 地基承载力设计值: $f = 95kN/m^2$, 基础重: $G = 1318.36 kN$ 。

现在的教材和资料一般都用(10)、(11)来复核基础:

$$e = \frac{M + VH}{N + G} \leq \frac{1}{3} B \quad (10)$$

$$P_{max} = \frac{2 \times (N + G)}{3 \times B \times (0.5 \times B - e)} \leq 1.2 \quad (11)$$

核算工作状态: $e = 0.768 \leq 6.25/3m, P_{max} = 102 \leq 95 \times 1.2 = 114 \text{ kN/m}^2$,
 按(10)、(11)计算结果说明基础安全,但是公
 $92.13 \leq 95 \times 1.2 = 114 \text{ kN/m}^2$,
 式(10)、(11)是基于塔吊臂平行于基础边的情况,
 核算非工作状态: $e = 1.231 \leq 6.25/3m, P_{max}$

表 1 基础顶面上作用的荷载^[1]

Table 1 Loads on the top of foundation^[1]

工况	竖向力 N	水平剪力 V	弯矩 M	扭矩 T
	kN	kN	kN·m	kN·m
工作状态和风荷载组合	717.47	51.14	1493.89	212.05
非工作状态和风荷载组合	496.43	98.63	2100.52	0

当旋转到 45° 时,我们联立(5)、(6)、(7)、(8)、(9):

核算工作状态: $\frac{\sqrt{2}}{12}B \leq e = 0.768 \leq \frac{1}{3}B, P_{max} = 106 \leq 95 \times 1.2 = 114 \text{ kN/m}^2$;

核算非工作状态: $\frac{\sqrt{2}}{12}B \leq e = 1.231 \leq \frac{1}{3}B, P_{max} = 129 \geq 114 \text{ kN/m}^2$;

显然,当塔吊臂旋转到 45° 时,基础: $B \times B \times H = 6.25m \times 6.25m \times 1.35m$ 是不能满足要求的,经调整并验算,取 $B \times B \times H = 7m \times 7m \times 1.35m$ 是可行的。

4 抗弯、抗冲切计算

本质上和钢筋混凝土柱下独立基础的设计差不多,这里就不予赘述。

参考文献:

- [1] 徐立胜,任升高.塔式吊机基础设计合理性的探讨[J].建筑施工,2003,25(3):180-182.
- [2] 魏琏,王森,彭伙水,黄世敏.塔吊基础设计方法研讨[J].特种结构,2000,17(3):65-68.
- [3] 刘鸿文.材料力学[M].北京:高等教育出版社,1992.
- [4] 罗福午,方鄂华,叶知满.混凝土结构及砌体结构[M].北京:中国建筑工业出版社,1994.

5 结论

(1)塔吊基础的设计仅仅验算塔吊臂平行于基础边的情况是不够的,如正方形的基础,弯矩作用在对角线上才是最不利的。

(2)笔者认为公式(9): $e = \frac{M+VH}{(N+G)}$ 接近 $\frac{1}{3}B$ 时,土的压应力梯度太大,由于地基土的可压缩性及土反力的不均匀性,将会使基础边缘的土产生不均匀的变形,从而使基础易发生倾斜。且在实际的施工中,塔吊启动、制动、卸载、转动、承受风荷载肯定对基础起了动力冲击的效果。 $\frac{1}{3}B$ 是个理论值,所以,为了安全起见,的限值应限制地更严格些。

Study of the Design Method of Tower Crane on Shallow Foundation

CHEN Yun-rui¹, WANG Hai-jun², SHI Kai-rong¹

(1. College of Civil Engineering, Southeast University, Jiangsu Nanjing 210096, China)
 (2. Jiangsu City Garden International Hotel Co., Ltd., Jiangsu Yancheng 224005, China)

Abstract: The tower crane has a varying effect on its foundation. The authors draw a conclusion that the capacity of the foundation to resist loads is varying, which leads to improved formulas. Finally, an example is analyzed to compare the different effects. To demonstrate the mathematical process, a mathematic software-MATHCAD is used to achieve the Integrations of complex formulas and the solution of equations set.

Keywords: tower crane; shallow foundation; bearing-capacity