



锚碇叉桩的受力分析

钱祖宾, 单海春, 徐莉萍

(江苏省水利勘测设计研究院有限公司, 江苏扬州 225009)

摘要: 锚碇叉桩是拉锚板桩常用的锚碇结构。对非标准叉桩的结构受力进行分析, 并对叉桩轴向力和桩顶切向力计算公式进行推导。通过实例分析比较桩顶间距对桩身内力的影响, 以期为今后锚碇叉桩的设计提供参考。

关键词: 标准叉桩; 非标准叉桩; 轴向力; 切向力

中图分类号: U 656.1+12

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)06-0142-04

Stress analysis of anchored inclined piles

QIAN Zu-bin, SHAN Hai-chun, XU Li-ping

(Jiangsu Water Investigation, Design and Research Institute, Yangzhou 225009, China)

Abstract: Anchored inclined piles are normal structures for sheet piles anchoring. The anchored inclined pile can be divided into two types: standard type and nonstandard type. The standard inclined pile is that the intersection of the piles lies on the bar plain, while the other conditions belong to the nonstandard type. The preset article concentrates on the stress analysis of nonstandard anchored inclined piles and the formulas of the axial and shearing force are derived. Furthermore, the influence of the pile top distance is also analyzed, which may serve as reference for future design of anchored inclined piles.

Key words: standard inclined piles; nonstandard inclined piles; axial force; shearing force

锚碇叉桩是拉锚板桩常用的锚碇结构之一, 具有结构简单、受力明确、施工方便、锚碇效果好等特点, 并在工程设计中获得广泛的应用。锚碇叉桩可分为标准叉桩和非标准叉桩, 标准叉桩就是叉桩的交点正好位于拉杆的安装平面上, 其计算简图见图1, 根据《板桩码头设计与施工规范》^[1], 标准叉桩的结构内力可按桩两端为铰接进行计算, 锚碇叉桩的轴向力可按下列公式计算:

$$N_D = \frac{R \cos \alpha_Z + W \sin \alpha_Z}{\sin(\alpha_D + \alpha_Z)} \quad (1)$$

$$N_Z = \frac{R \cos \alpha_D - W \sin \alpha_D}{\sin(\alpha_D + \alpha_Z)} \quad (2)$$

式中: N_D , N_Z 分别为压桩 D 的轴向压力和拉桩

Z 的轴向拉力 (kN); R 为拉杆的水平拉力 (kN); W 为作用在叉桩桩帽上的垂直力 (kN); α_D 和 α_Z 分别为压桩和拉桩与垂线的夹角 ($^\circ$)。

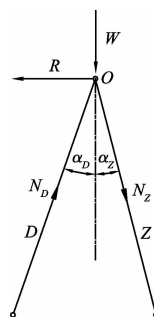


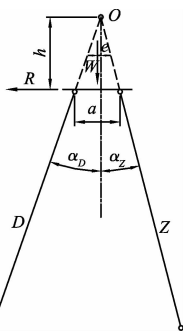
图1 标准叉桩结构简图

而在实际的工程设计中这种理想的设计工况却很难遇见, 多数情况下锚碇叉桩的交点都

收稿日期: 2013-10-10

作者简介: 钱祖宾 (1963—), 男, 高级工程师, 从事水工设计工作。

不在拉杆安装平面上。锚碇叉桩交点的位置主要取决于斜桩顶部的桩间距和斜桩的斜度, 根据《板桩码头设计与施工规范》^[1], 锚碇叉桩的斜度宜取4:1或更缓, 两桩桩顶的净距在施工条件允许的情况下宜减小。而事实上, 由于受到施工条件的限制, 两桩桩顶的净距通常不可能取得太小, 否则将会加大桩基施工的难度, 对于承受水平荷载的桩基而言, 桩距太小还会影响到桩侧地基土水平抗力比例系数 m 的取值。公路桥涵设计手册《墩台与基础》^[2] 规定, 斜桩在承台平面处的桩距不宜小于 1.5 倍的桩径, 这就使得叉桩的交点往往高于拉杆安装平面 (图 2), 该类叉桩可称之为非标准叉桩。



注: a 为叉桩桩顶与桩帽交点间的间距 (m); e 为桩帽上的垂直力 W 与叉桩延伸交点 O 间的偏心距 (m); h 为叉桩的交点 O 距拉杆的垂直距离 (m)。

图 2 非标准叉桩结构简图

1 非标准叉桩受力分析

非标准叉桩的结构内力可取桩帽为“脱离体”来进行分析 (图 3), 图中 O 点为锚碇叉桩的延伸交点, D 和 Z 分别为压桩 D 和拉桩 Z 与桩帽的交点, 可按铰接考虑。如果将 $\triangle DOZ$ 作为运动“刚体”, 并将 O 点作为刚体受力和刚体旋转的基准点, 那么在拉杆水平力 R 和桩帽上的垂直力 W 的作用下, 刚体产生绕基准点 O 的旋转力矩 M (kN·m)。

$$\text{根据图 2 可得: } M = Rh - We \quad (3)$$

$$h = \frac{a}{\tan\alpha_D + \tan\alpha_Z} \quad (4)$$

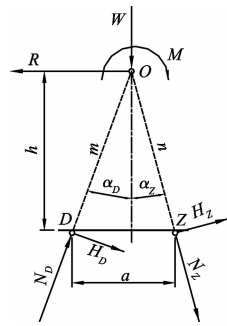


图 3 运动刚体结构简图

由于刚体受到拉杆水平力 R 和桩帽上的垂直力 W 和旋转力矩 M 的共同作用, 因此, 刚体的运动趋势既有沿 R 和 W 合力方向的平移趋势, 又有绕基准点 O 的旋转趋势。为达到刚体的受力平衡, 锚碇叉桩对刚体的约束力除轴向力 N_D 和 N_Z 外, 还应有桩顶切向力 H_D 和 H_Z , 这是因为: 叉桩的轴向压力 N_D 和 N_Z 均通过合力基准点 O , 产生不了约束刚体旋转的抵抗力矩, 只有桩顶切向力 H_D 和 H_Z 才能产生约束刚体旋转的抵抗力矩。

如图 3 所示, 运动刚体受力体系中共有 4 个未知变量, 即锚碇叉桩的轴向力 N_D 和 N_Z 以及桩顶切向力 H_D 和 H_Z , 根据运动刚体的受力平衡原理建立方程:

$$R - N_D \sin\alpha_D - H_D \cos\alpha_D - N_Z \sin\alpha_Z - H_Z \cos\alpha_Z = 0 \quad (5)$$

$$W - N_D \cos\alpha_D + H_D \sin\alpha_D + N_Z \cos\alpha_Z - H_Z \sin\alpha_Z = 0 \quad (6)$$

$$M - H_D m - H_Z n = 0 \quad (7)$$

式中: m 为压桩与桩帽的交点 D 至叉桩延伸交点 O 之间的距离 (m); n 为拉桩与桩帽的交点 Z 至叉桩延伸交点 O 之间的距离 (m)。

$$m = \frac{h}{\cos\alpha_D} \quad (8)$$

$$n = \frac{h}{\cos\alpha_Z} \quad (9)$$

由于根据刚体受力平衡原理建立的 3 个方程式中有 4 个未知变量, 故平衡方程仍无法求解。需建立其它平衡方程。

根据图 3, D 和 Z 点为锚碇叉桩与桩帽的连接

点, 当刚体在旋转力矩作用下发生旋转时, D 和 Z 两点将随刚体发生与叉桩轴线垂直的切向位移, 如图 4 所示, 当刚体发生微转角 $d\alpha$ 时, 则 D 和 Z 两点的切向位移分别为:

$$D \text{ 点: } \Delta D = m \tan(d\alpha) \quad (10)$$

$$Z \text{ 点: } \Delta Z = n \tan(d\alpha) \quad (11)$$

式中: $d\alpha$ 为刚体在旋转力矩作用下绕基准点 O 发生的微转角 ($^\circ$)。

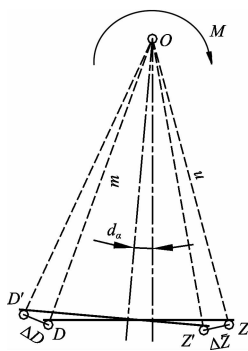


图 4 刚体旋转示意图

同时, 由于 D 和 Z 两点的切向位移又受到锚碇叉桩变形条件的制约, 假设锚碇叉桩在单位切向力作用下的桩顶切向位移为 δ_D 和 δ_Z , 则锚碇叉桩在桩顶切向力 H_D 和 H_Z 作用下 D 和 Z 两点的切向位移为:

$$D \text{ 点: } \Delta D = \delta_D H_D \quad (12)$$

$$Z \text{ 点: } \Delta Z = \delta_Z H_Z \quad (13)$$

式中: H_D 和 H_Z 分别为压桩 D 和拉桩 Z 的桩顶切向力 (kN); δ_D 和 δ_Z 分别为压桩和拉桩在单位切向力作用下的桩顶切向位移 (m)。

根据式(10)~(13)得:

$$\frac{H_D}{H_Z} = \frac{m\delta_Z}{n\delta_D} \quad (14)$$

根据式(7)和(14)可求得:

$$H_D = M \cdot \frac{m\delta_Z}{m^2\delta_Z + n^2\delta_D} \quad (15)$$

$$H_Z = M \cdot \frac{n\delta_D}{m^2\delta_Z + n^2\delta_D} \quad (16)$$

根据式(5)

$$N_Z = \frac{R - N_D \sin\alpha_D - H_D \cos\alpha_D - H_Z \cos\alpha_Z}{\sin\alpha_Z} \quad (17)$$

将 N_Z 代入式(6), 化简得:

$$N_D = \frac{1}{\sin(\alpha_D + \alpha_Z)} [R \cos\alpha_Z + W \sin\alpha_Z - H_D \cos(\alpha_D + \alpha_Z) - H_Z] \quad (18)$$

同理求得:

$$N_Z = \frac{1}{\sin(\alpha_D + \alpha_Z)} [R \cos\alpha_D - W \sin\alpha_D - H_D - H_Z \cos(\alpha_D + \alpha_Z)] \quad (19)$$

如果锚碇叉桩的桩型、桩径及桩位处土层分布与土层性质均相同, 且不考虑桩间距对桩侧地基土水平抗力比例系数 m 的影响, 则有 $\delta_D = \delta_Z$,

并将 $h = \frac{a}{\tan\alpha_D + \tan\alpha_Z}$, $m = \frac{h}{\cos\alpha_D}$, $n = \frac{h}{\cos\alpha_Z}$ 代入式

(15)和(16)得:

$$H_D = M \cdot \frac{m}{m^2 + n^2} = M \cdot \frac{\cos\alpha_Z \sin(\alpha_D + \alpha_Z)}{a(\cos^2\alpha_D + \cos^2\alpha_Z)} \quad (20)$$

$$H_Z = M \cdot \frac{n}{m^2 + n^2} = M \cdot \frac{\cos\alpha_D \sin(\alpha_D + \alpha_Z)}{a(\cos^2\alpha_D + \cos^2\alpha_Z)} \quad (21)$$

$$N_D = \frac{1}{\sin(\alpha_D + \alpha_Z)} [R \cos\alpha_Z + W \sin\alpha_Z - H_D \cos(\alpha_D + \alpha_Z) - H_Z] \quad (22)$$

$$N_Z = \frac{1}{\sin(\alpha_D + \alpha_Z)} [R \cos\alpha_D - W \sin\alpha_D - H_D - H_Z \cos(\alpha_D + \alpha_Z)] \quad (23)$$

2 算例

1) 例 1。

图 5 为某板桩码头锚碇结构示意图, 锚碇叉桩为 PHC-800 (110) B-C80 型预应力混凝土管桩, 经计算, 拉杆拉力为 320 kN, 桩帽上垂直力为 450 kN (含桩帽自重), 锚碇叉桩的斜度: 压桩 D 为 12° , 拉桩 Z 为 10° , 求锚碇叉桩结构内力?

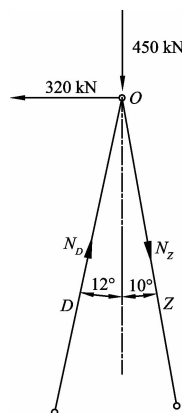


图 5 标准叉桩计算简图

根据图 5, 叉桩的交点位于拉杆平面上, 属标准叉桩, 且 $R = 320 \text{ kN}$, $W = 450 \text{ kN}$, $\alpha_D = 12^\circ$, $\alpha_Z = 10^\circ$, 按公式(1)和(2)分别计算得:

$$N_D = (320\cos 10^\circ + 450\sin 12^\circ) / \sin(12^\circ + 10^\circ) = 1\,091.0 \text{ kN};$$

$$N_Z = (320\cos 12^\circ - 450\sin 10^\circ) / \sin(12^\circ + 10^\circ) = 627.0 \text{ kN};$$

计算结果显示, 压桩 D 的轴向压力为 $1\,091.0 \text{ kN}$, 拉桩 Z 的轴向拉力为 627.0 kN 。

2) 例 2。

图 6 为某拉锚板桩式港池的锚碇结构示意图, 锚碇叉桩为 PHC-800 (110) B-C80 型预应力混凝土管桩, 为便于比较, 取拉杆拉力及桩帽上垂直力与例 1 同值, 即拉杆拉力为 320 kN , 桩帽上的垂直力为 450 kN (含桩帽自重), 锚碇叉桩的斜度: 压桩 D 为 12° , 拉桩 Z 为 10° , 叉桩桩顶的桩距为 3.0 m 时, 桩帽上垂直力的偏心距为 0.2 m , 且桩帽以下土层为均质砂土层, 求锚碇叉桩结构内力?

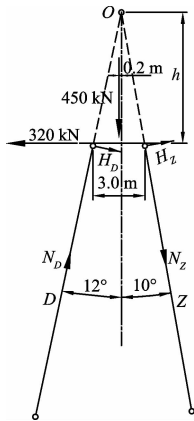


图 6 非标准叉桩计算简图

根据图 6, 叉桩的交点高于拉杆平面, 属非标准叉桩, 且 $R = 320 \text{ kN}$, $W = 450 \text{ kN}$, $\alpha_D = 12^\circ$, $\alpha_Z = 10^\circ$, $a = 3.0 \text{ m}$, $e = 0.2 \text{ m}$ 。

- ①锚碇叉桩延伸交点的高度 h 。 $h = 7.71 \text{ m}$ 。
- ②旋转力矩 M 。 $M = 2\,377.2 \text{ kN}\cdot\text{m}$ 。
- ③锚碇叉桩的轴向力和桩顶切向力。

由于压桩 D 和拉桩 Z 的桩型、桩径均相同, 且地基土层分布和土层性质相同, 故取 $\delta_D = \delta_Z$, 则锚碇叉桩的轴向力和桩顶切向力可按公式(20)~(23)计算, 得 $H_D = 151.73 \text{ kN}$, $H_Z =$

150.71 kN , $N_D = 271.99 \text{ kN}$, $N_Z = -192.25 \text{ kN}$ 。

④桩身内力计算。

桩顶切向力求得后, 桩身内力采用 m 法按桩顶自由进行计算, 地基土按均质土考虑, 桩侧地基土水平抗力比例系数取 $m = 8\,000 \text{ kN/m}^4$, 且不考虑桩距对后排桩 m 的影响, 桩身内力计算结果见图 7 和图 8, 计算过程从略。

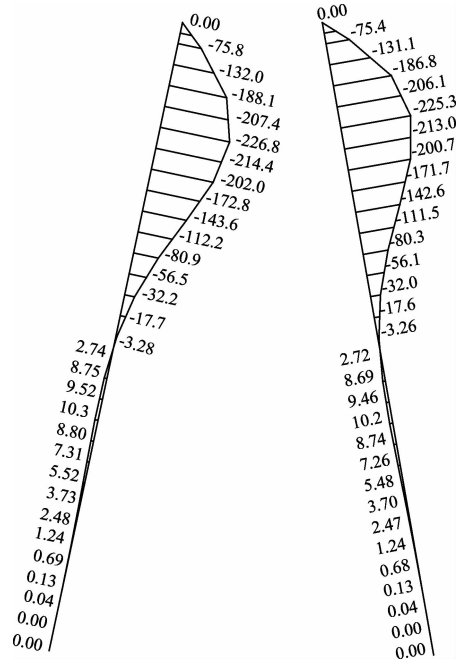


图 7 锚碇叉桩弯矩分布 (单位: $\text{kN}\cdot\text{m}$)

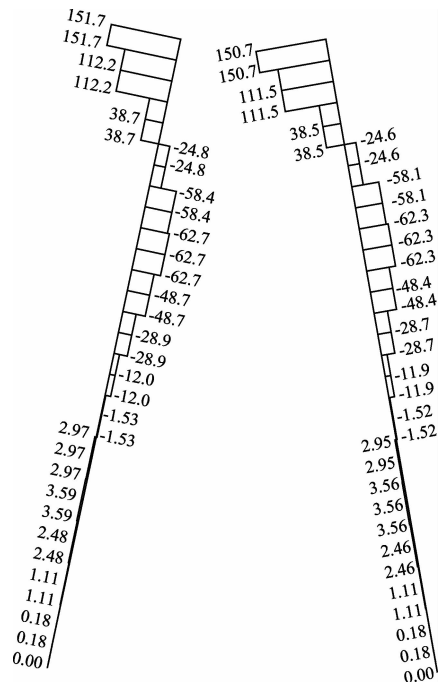


图 8 锚碇叉桩剪力分布图 (单位: kN)