

夹桩时预制桩的强度分析

周旭¹, 明兴祖², 陈育荣¹, 孙传琼¹

(1. 湖北汽车工业学院 机械工程系, 湖北 十堰 442002; 2. 湖南工业大学 机械工程学院, 湖南 株洲 412007)

摘要: 对夹桩时夹桩机构和预制桩的静态受力进行了分析, 结论表明: 夹桩时预制桩的屈服从与下钳口接触处的内壁开始; 预制桩能承受的最大夹桩力随着夹桩钳口与预制桩之间的接触长度、预制桩的外径和壁厚的增大而增大。

关键词: 夹桩; 预制桩; 强度

中图分类号: TU501

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2010)05-0071-04

Analysis on the Strength of Pre-Fabricated Pile under Pile Clamping

Zhou Xu, Ming Xingzu, Chen Yurong, Sun Chuanqiong

(1. Department of Mechanical Engineering, Hubei Automotive Industries Institute, Shiyuan Hubei 442002, China;

2. School of Mechanical Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract: An analysis of the static forces of pile clamping mechanism and pre-fabricated pile under pile clamping was carried out. The results reveal that the yield of pre-fabricated pile under pile clamping starts from the inner wall contacting with the lower jaw; the sustainable pile clamping force of pre-fabricated pile under pile clamping increases with adding properly contact length between pile clamping jaw and pre-fabricated pile and with augmenting becomingly the outside diameter and wall thickness of pre-fabricated pile.

Keywords: pile clamping; pre-fabricated pile; strength

液压静力压桩机是利用高压油产生的强大静压力, 平稳、安静地将预制桩快速压入地基的一种新型桩工机械, 已广泛用于我国许多城市, 特别是沿海城市建设和旧城改造的桩基施工^[1]。它的工作特性是应用液压传动技术提供的液压力, 通过液压缸将桩段逐渐压入土层中。

以往文献对液压静力压桩机液压系统和夹桩机构的使用、设计和改进讨论较多^[2-9], 而对其进行静力分析较少。为了避免在压桩过程中预制桩因夹持而损坏, 有必要进行夹桩时夹桩机构和预制桩的静态受力分析和研究。

1 夹桩时夹桩机构静力学分析

图1为多点均压式夹桩机构的结构图^[10], 图1中a)图表示有2套相同的夹桩机构沿静压预制桩的轴线分上下两层对称布置, 图1中b)图表示这种夹桩机构的夹桩液压缸和多瓣钳口绕预制桩周围的分布情况。

图2和图3分别表示上、下夹桩机构在夹桩时所受静力。图中力的单位均为N, 各符号含义如下:

F^u 、 F^d 为单个上、下锥形楔块所受单个液压缸的作用力;

N_j^u 、 N_j^d 为夹桩时单个上、下钳口与预制桩之间的法

收稿日期: 2010-07-02

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50927502)

通信作者: 周旭(1964-), 男, 湖南湘潭人, 湖北汽车工业学院高级工程师, 博士, 主要从事机械设计及理论方面的教学和科研工作, E-mail: xuzhouzx@163.com

向作用力；

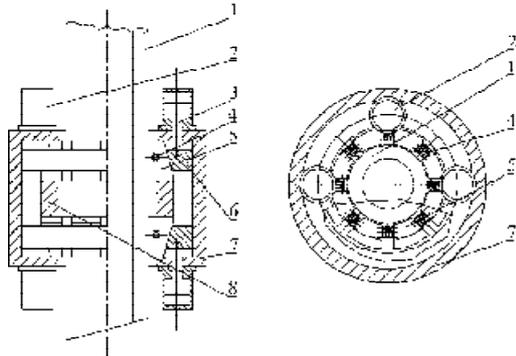
W_1^u, W_1^d, W 为单个上、下锥形楔块和中间支承座的重力；

W_2^u, W_2^d 为单个上、下钳口重力；

$F_1^u, F_1^d, F_2^u, F_2^d, F_3^u, F_3^d$ 分别为夹桩时单个上、下锥形楔块与夹桩箱体内圆柱面，单个上、下锥形楔块与钳口，单个上、下钳口与支承座之间的摩擦力；

$N_1^u, N_1^d, N_2^u, N_2^d, N_3^u, N_3^d$ 分别为夹桩时单个上、下锥形楔块与夹桩箱体内圆柱面，单个上、下锥形楔块与钳口，单个上、下钳口与中间支承座间的法向作用力；

α 为锥形楔块升角，单位($^\circ$)。



a) 夹桩机构对称布置图 b) 多瓣钳口分布图
1—预制桩；2—夹桩液缸；3—液缸活塞杆；4—复位弹簧；5—多瓣钳口；6—锥形楔块；7—夹桩箱体；8—中间支承座

图1 多点均压式夹桩机构原理图

Fig. 1 The mechanism framework of multipoint and iso-pressing pile holder

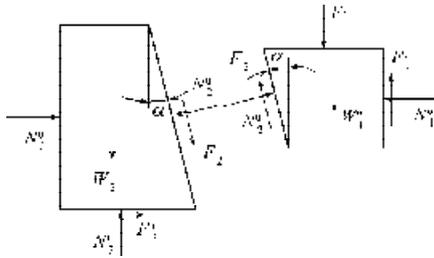


图2 上夹桩机构受力图

Fig. 2 The static forces of upper pile holder

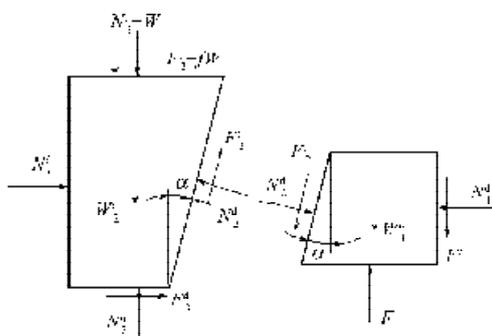


图3 下夹桩机构受力图

Fig. 3 The static forces of nether pile holder

分析图2可得：

$$\begin{cases} F_1^u = \mu_s N_1^u, \\ F_2^u = \mu_s N_2^u, \\ F_3^u = \mu_s N_3^u, \\ F^u + W_1^u - F^u - F_2^u \cos \alpha - N_2^u \sin \alpha = 0, \\ N_1^u + F_2^u \sin \alpha - N_2^u \cos \alpha = 0, \\ N_2^u + F_2^u + F_2^u \sin \alpha - N_2^u \cos \alpha = 0, \\ F_2^u \cos \alpha + N_2^u \sin \alpha + W_2^u - N_3^u = 0. \end{cases} \quad (1)$$

式中： μ_s 为锥形楔块与钳口、锥形楔块与夹桩箱体内圆柱面、钳口与中间支承座之间的静摩擦系数。

解方程组(1)可得：

$$N_2^u = \frac{(\cos \alpha - 2\mu_s \sin \alpha - \mu_s^2 \cos \alpha)(F^u + W_1^u)}{2\mu_s \cos \alpha + \sin \alpha - \mu_s^2 \sin \alpha} - \mu_s W_2^u. \quad (2)$$

据图3下夹桩机构夹桩受力图，与图2同理可得：

$$N_2^d = \frac{(1 + \mu_s^2)(F^d - W_1^d) \cos \alpha}{2\mu_s \cos \alpha - \sin \alpha - \mu_s^2 \sin \alpha} - \mu_s W_2^d. \quad (3)$$

一般情况下，为了设计和制造方便，降低成本，便于使用和维修，可使上、下夹桩机构结构相同，这样上、下夹桩油缸的夹桩力 F 相同，即 $F = F^d = F^u$ 。

为了研究式(2)和式(3)中的夹桩力对夹桩结构单个上、下钳口与预制桩之间的法向作用力的影响，各参数预设值如表1。

表1 参数预设值

Table 1 The default values of parameters

| W_1^u/N | W_1^d/N | W_2^u/N | W_2^d/N | $\alpha/(^\circ)$ | μ_s |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------------|---------|
| 250 | 250 | 600 | 600 | 600 | 600 |

据表1预设值，利用式(2)和式(3)，以 F 为变量，其取值范围 $10 \sim 280$ kN，研究夹桩时上钳口与预制桩之间的法向作用力 N_2^u 、下钳口与预制桩之间的法向作用力 N_2^d 随夹桩力 F 的变化关系，结果如图4所示。

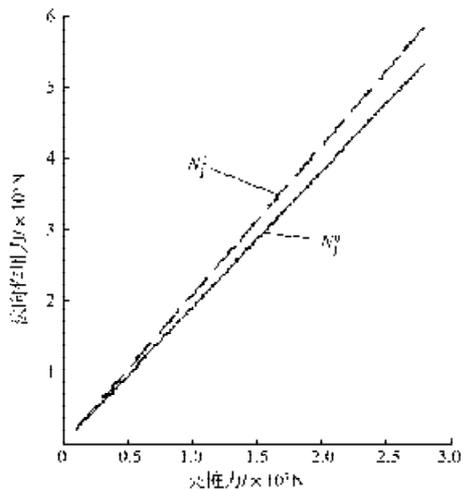


图4 法向作用力随夹桩力的变化

Fig. 4 The normal efforts vs pile clamping force

由式(2)、式(3)和图4可知,在上、下夹桩机构结构相同,且上、下锥形楔块受相同单个液压缸作用力,则夹桩时,单个上钳口与预制桩之间的法向作用力小于单个下钳口与预制桩之间的法向作用力。

由于上、下锥形楔块圆周均匀对称分布,只要单个上层或下层锥形楔块所受单个液压缸作用力相同,即能使预制桩所受法向作用力均衡;且在相同上、下锥形楔块所受单个液压缸作用力作用下,能减少预制桩所受法向合作用力,从而降低预制桩在压桩过程中受损。

2 夹桩时预制桩的静力学分析

为了使预制桩在夹桩过程中不发生破损,对其应力状态进行研究是很有必要的。

在夹桩状态下,预制桩处于双轴压缩应力状态,此时有:

$$\sigma = 0, 0 > \sigma_r \geq \sigma_t \geq -f_c,$$

式中: f_c 为预制桩的双轴压缩强度,单位 MPa。

设预制桩的内、外半径分别为 r_i, r_e , 其外表面受均匀外压力 p 作用,材料为理想塑性不可压缩,这是一个轴对称平面应变问题。

根据拉梅(Lamè)公式^[1],可知预制桩中半径为 r_1 的任意点应力分量为:

$$\sigma_r = -\frac{pr_e^2}{r_e^2 - r_i^2} \left(1 - \frac{r_i^2}{r^2} \right), \quad (4)$$

$$\sigma_t = -\frac{pr_e^2}{r_e^2 - r_i^2} \left(1 + \frac{r_i^2}{r^2} \right), \quad (5)$$

式中: σ_r, σ_t 分别为预制桩的径向和周向应力。

由于预制桩处于平面应变状态,即轴向应变 $\epsilon_z = 0$,俞茂宏等^[12]通过引入中间主应力参数 m (其取值范围 $0 < m \leq 1$),得出 $\sigma_z = m(\sigma_r + \sigma_t)/2$, m 的值可通过理论和实验来确定。根据经验,在弹性区,可取 $m=2\nu$ (这可用广义 Hooke 定律来解释, $m/2$ 可理解为材料的 Poisson 比 ν);而在塑性区,可取 $m=1$ 。假定 $m=1$ (此时对应于塑性不可压缩假设),则有:

$$\sigma_z = \frac{\sigma_r + \sigma_t}{2} = -\frac{pr_e^2}{r_e^2 - r_i^2},$$

由于 $1 - r_i^2/r^2 \leq 1 \leq 1 + r_i^2/r^2$, 可得 $\sigma_r \geq \sigma_z \geq \sigma_t$ 。

对于抗拉强度与抗压强度不等的脆性材料,如铸铁、岩石与混凝土等,莫尔强度理论往往能得出较为满意的结果。

预制桩受三向压应力作用时,由于桩是脆性材料,应采用莫尔强度理论计算其等效应力,等效应力的极限强度应为桩的单轴压缩强度 f_c ,等效应力的折

算应力或等效应力 σ_{max} 的计算公式为^[13]:

$$\sigma_{max} = \frac{f_c}{f_t} \sigma_r - \sigma_z = f_c, \quad (6)$$

式中: f_t 为预制桩的单轴拉伸强度极限。

将式(4)和式(5)代入式(6)得:

$$\frac{pr_e^2}{r_e^2 - r_i^2} \left(1 - \frac{f_c}{f_t} + \left(1 + \frac{f_c}{f_t} \right) \frac{r_i^2}{r^2} \right) = f_c. \quad (7)$$

由于 $r_i \leq r_1 \leq r_e$, 当 r_1 越小,由式(4)得径向应力 σ_r 越大,由式(5)得周向应力 σ_t 越小,从而由式(6)得等效应力 σ_{max} 越大,即屈服从预制桩的内壁开始。若 $r_1=r_i, p=p_e$,代入式(7)得预制桩的极限压力 p_e 为:

$$p_e = \frac{r_e^2 - r_i^2}{2r_e^2} f_c. \quad (8)$$

夹桩时 $N_j^u < N_j^d$,只考虑夹桩机构8个均布下钳口夹桩力给预制桩的压应力为:

$$p = \frac{8N_j^d}{2\pi r_e L}, \quad (9)$$

式中: L 为夹桩钳口与预制桩之间的接触长度。

将式(9)代入式(8),并考虑工作条件系数 η ^[14-15],可得夹桩时预制桩能够承受的最大法向作用力为:

$$N_j^d = \frac{r_e^2 - r_i^2}{8r_e} \pi L f_c \eta. \quad (10)$$

将式(3)代入式(10),整理得夹桩时预应力高强度混凝土管桩能承受的最大夹桩力 F 为:

$$F = A \left(\frac{r_e^2 - r_i^2}{8r_e} \pi L f_c \psi + u_j W_j^d \right) + W_1^d, \quad (11)$$

式中: $A = \frac{2\mu_s \cos \alpha - \sin \alpha - \mu_s^2 \sin \alpha}{(1 + \mu_s^2) \cos \alpha}$ 。

由式(11)可知:随着夹桩钳口与预制桩之间的接触长度、预制桩的外径和壁厚的增大,夹桩时预应力高强度混凝土管桩能承受的最大夹桩力增大。

3 结论

据本文研究结果可知,夹桩时预制桩的屈服从与下钳口接触处的内壁开始。增大夹桩钳口与预制桩之间的接触长度、预制桩的外径和壁厚,可增大夹桩时预应力高强度混凝土管桩能承受的最大夹桩力。

参考文献:

[1] 夏卿坤,汪大鹏,吴宪平,等. QYZ600型全液压静力压桩机及其液压系统的设计[J]. 机电产品开发与创新,2003(4): 47-48.

- Xia Qingkun, Wang Dapeng, Wu Xianping, et al. Design of QYZ600 Hydrostatic Pile Driving Machine and the Hydraulic System[J]. Development & Innovation of Machinery & Electrical Products, 2003(4): 47-48.
- [2] 胡均平, 王凌辉, 刘伟, 等. 抱压式静力压桩斜桩原因及解决办法[J]. 建筑机械化, 2004, 25(9): 26-27.
- Hu Junping, Wang Linghui, Liu Wei, et al. Reasons and Solutions about Lean of Piles in Hydraulic Pile Driver Working [J]. Construction Mechanization, 2004, 25(9): 26-27.
- [3] 姜渭. 抱压式液压静力沉桩机夹桩机构的改进设计[J]. 红河水, 2005, 24(4): 24-27.
- Jiang Wei. Renovated Design of the Pile Clipping of Holding Type Hydraulic Static Pile Presser[J]. Hongshui River, 2005, 24(4): 24-27.
- [4] 王实武. 静压桩机特性分析与改进研究[D]. 吉林: 吉林大学, 2007.
- Wang Shiwu. Characteristics Analysis and Improvement Research on Static Pressure Pile Machine[D]. Jilin: Jilin University, 2007.
- [5] 邓洪超, 林琳, 王实武. 静力压桩机夹桩机构改进设计[J]. 建筑机械化, 2008(2): 41-45.
- Deng Hongchao, Lin Lin, Wang Shiwu. Improved Design of Pile-Clamping Device for Hydraulic Static Pile Pressing Machine[J]. Construction Mechanization, 2008(2): 41-45.
- [6] 陈凤钢, 周本祥, 贺燕麒. 新型YZY1000型液压静力压桩机[J]. 建筑机械, 2005(7): 69.
- Chen Fenggang, Zhou Benxiang, He Yanqi. New Type YZY1000 Hydraulic Static Pile Pressing Machine[J]. Construction Machinery, 2005(7): 69.
- [7] 张健, 陈洁, 芮延年. 基于模糊灰色理论的液压压桩机工作可靠性评价[J]. 工程机械, 2006(8): 20-22.
- Zhang Jian, Chen Jie, Rui Yannian. Evaluation on Operation Reliability of Hydraulic Pile Press Based on Fuzzy Gray Theory[J]. Construction Machinery and Equipment, 2006(8): 20-22.
- [8] 王士国, 周相国. 静压管桩压桩机滑桩原因分析及故障处理[J]. 探矿工程: 岩土钻掘工程, 2007(6): 14-15.
- Wang Shiguo, Zhou Xiangguo. Slide Pile Cause Analysis and Troubleshooting of Static Pipe Piling Machine[J]. Exploration Engineering: Rock & Soil Drilling and Tunneling, 2007(6): 14-15.
- [9] 周明, 胡均平. 双溢流阀系统动态特性研究及故障仿真分析[J]. 科技信息: 学术研究, 2007(27): 23-27.
- Zhou Ming, Hu Junping. Two Relief Valve System Dynamic Characteristics and Fault Simulation Analysis[J]. Science & Technology Information: Academic research, 2007(27): 23-27.
- [10] 朱建新, 何清华, 林宏武, 等. 液压静力压桩机多点均压式夹桩机构的设计与研究[J]. 建筑机械, 2006(5): 66-69.
- Zhu Jianxin, He Qinghua, Lin Hongwu, et al. Research and Design on Multipoint and Iso-Pressing Pile Holder Mechanism [J]. Construction Machinery, 2006(5): 66-69.
- [11] 傅衣铭, 罗松南, 熊慧而. 弹塑性理论[M]. 长沙: 湖南大学出版社, 1996: 200-209.
- Fu Yiming, Luo Songnan, Xiong Huier. Elastic-Plastic Theory [M]. Changsha: Hunan University Press, 1996: 200-209.
- [12] 俞茂宏. 混凝土强度理论及其应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002: 241-245.
- Yu Maohong. Concrete Strength Theory and Its Application [M]. Beijing: Higher Education Press, 2002: 241-245.
- [13] 俞茂宏. 双剪理论及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 195-199.
- Yu Maohong. The Twin Shear Unified Strength Theory and Its Application[M]. Beijing: Science Press, 1998: 195-199.
- [14] 沈保汉, 钱力航. DX挤扩灌注桩的桩身承载力研究[J]. 工业建筑, 2008, 38(5): 23-27.
- Shen Baohan, Qian Lihang. The Checking Computations of Shaft Strength of DX Piles[J]. Industrial Construction, 2008, 38(5): 23-27.
- [15] 中华人民共和国建设部. GB50007-2002建筑地基基础设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002: 229-241.
- The Ministry of Construction of the Peoples Republic of China. GB50007-2002 Code for Design of Building Foundation [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2002: 229-241.

(责任编辑: 李玉珍)