

一种抱箍式连接 PHC 抗拔管桩的计算分析和试验研究

郭 杨¹, 崔 伟¹, 陈芳斌², 陈 巧²

(1. 安徽省建筑科学研究设计院, 安徽 合肥 230031; 2. 建华管桩控股有限公司, 江苏 镇江 212413)

摘 要: 提出一种 PHC 抗拔管桩抱箍式连接方式, 并分别通过理论分析研究和实例计算, 得出了该连接方式的管桩抗拔承载力提高明显, 连接处不易发生破坏。通过实际工程的应用发现该桩型抗拔效果优良, 为工程应用中抗拔桩的设计选型提供一种更为便捷且造价节省的新桩型。

关键词: PHC 抗拔管桩; 抱箍式连接; 试验研究

中图分类号: TU473.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2013)S2-1007-04

作者简介: 郭 杨(1970-), 男, 安徽合肥人, 教授级高级工程师, 主要从事地基基础方面的研究与实践工作。E-mail: AHJKDJ@126.com。

Analysis and experimental study of a PHC uplift pile with hold-hoop connection

GUO Yang¹, CUI Wei¹, CHEN Fang-Bin², CHEN Qiao²

(1. Anhui Institute of Building Research & Design, Hefei 230031, China; 2. Jianhua Concrete Pile Holdings Limited, Zhenjiang 212413, China)

Abstract: A PHC uplift pile with hold-hoop connection is proposed. Through theoretical analysis and example calculation, it is found that the pullout capacity of the connection pipe pile is improved significantly, and the connection is less prone to be destructed. In the actual engineering application, the effect of pile uplift is excellent. It may provide a more convenient and economical type of new pile for engineering application.

Key words: PHC uplift pipe pile; hold-hoop connection; experimental study

0 引 言

抗拔桩的使用已经成为抗浮设计的重要手段, 目前抗拔桩主要采用钻孔灌注桩、抗浮锚杆等型式。混凝土抗压能力强而抗拉能力弱, 抗拔桩受力后会过早出现裂缝, 混凝土退出工作, 全部拉力主要由钢筋承受。而抗拔桩处于地下, 周围有土体和地下水等, 混凝土开裂必然会导致钢筋受水和有害化学物质的侵蚀, 大大影响了抗拔桩的承载性能以及桩基的耐久性。因此, 提高抗拔桩的抗裂性能是十分重要的。为此, 有人提出在抗拔桩中施加一定的预应力从而解决混凝土抗拔桩的开裂问题并开展了尝试性的研究工作。由于地下工程不同于地上工程, 预应力的施加难度很大, 目前为止, 这类研究尚未形成成熟的施工工艺。进而人们开始把目光投向技术成熟、应用广泛的预应力混凝土管桩^[1-2], 将其用于抗拔桩。预应力混凝土管桩一般按照抗压桩设计, 但在遇到地下水位较高的工程中, 就需要管桩承受抗浮力。作为预应力构件, 管桩桩身抗裂性能优越, 作为抗拔使用时, 在有效预压应力范围内桩身不会出现裂缝, 对预应力钢筋保护较好, 能较好地发挥桩身强度, 提高桩身抗拔承载力, 从而大

幅降低抗拔桩的工程造价, 大大节约投资, 有效缩短施工工期^[3]。但是目前我国管桩的接头主要为焊接法和机械快速接头连接, 然而现场施工时焊接焊缝质量不容易得到保证, 可能导致多节桩接头在受拉时失效, 而且管桩与管桩的连接焊缝或机械快速接头的连接销也容易受腐蚀环境的长期影响而失效, 造成下节管桩不起抗拔作用, 上节管桩被拔出。因此, 要充分利用预应力管桩桩身良好的抗裂特性, 进而作为有效的抗拔桩型使用, 就必须解决好管桩与管桩之间的连接问题。

1 抗拔管桩抱箍式连接的理论分析与计算

1.1 抗拔管桩抱箍式连接概念的提出

一种抗拔管桩抱箍式连接方法如图 1 所示, 主要抗拔管桩特制的端板和机械连接卡构成, 抗拔管桩的端板比常规管桩端板强度更高, 且端板外周设置有与

基金项目: 安徽省建设行业科学技术计划项目(2012YF-22)

收稿日期: 2013-06-15

U形抱箍卡配套的卡口,端板外周侧面还设置有与高强六角螺栓配套的螺栓孔^[1]。

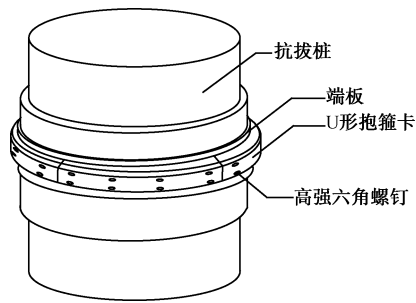


图1 抗拔管桩抱箍式连接示意图

Fig. 1 Uplift pile with hold-hoop connection

如图2所示,使用时,将上下节管桩的端板垂直对齐,然后使用U形抱箍卡将两块端板外周卡口完全箍住,整个圆周使用一套机械连接卡,每套机械连接卡由3个相同、弧度约为120°的U形抱箍卡组成,机械连接卡上设有数量、直径相同的螺栓孔。U形抱箍卡的设计除了满足桩身抗拉强度的要求外,还需要满足防腐的要求,按照每年以0.2 mm的腐蚀计算,以50年为设计年限,要求在50年后其抗拉强度仍能满足要求。最后在U形抱箍卡侧面采用高强六角螺栓进入上下端板的螺栓孔内,如此便使上下端板、U形抱箍卡和高强六角螺栓成为一个整体,并可承受较强的抗压、抗拉及侧向力作用。

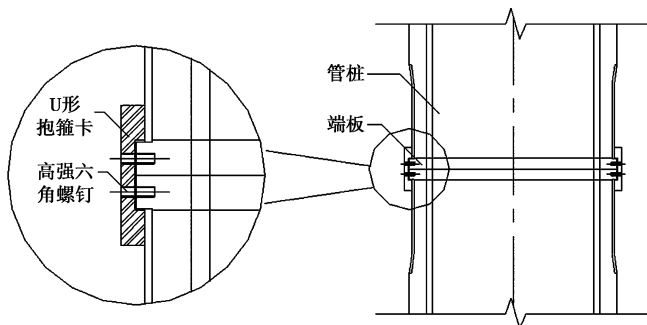


图2 抗拔管桩抱箍式连接剖视图

Fig. 2 Cross-sectional view of uplift pile with hold-hoop connection

1.2 抗拔管桩抱箍式连接的理论分析

抱箍式连接的抗拔管桩的抗拔承载力主要受桩身抗拉强度、端板之间的抱箍式连接件的抗拉强度、端板孔口抗剪强度、钢棒墩头强度、端板抗弯强度和桩顶填芯混凝土的抗拔强度影响,笔者提供以上各种强度的理论计算方法^[4-5]。

(1) 桩身抗拉强度的计算

裂缝控制等级为一级时,

$$N_1 \leq \sigma_{ce} A_0 \quad (1)$$

裂缝控制等级为二级时,

$$N_1 \leq (\sigma_{ce} + f_{tk}) A_0 \quad (2)$$

式中 N_1 为管桩单桩抗拔力设计值; σ_{ce} 为管桩混凝土有效预压应力值; A_0 为截面换算面积; f_{tk} 为混凝土轴心抗拉强度标准值。

(2) 端板之间的抱箍式连接件的抗拉强度的计算
主要包括U形抱箍卡与端板正接触面的抗拉强度及六角螺钉抗剪强度两部分。

a) U形抱箍卡与端板正接触面的抗拉强度应满足下式:

$$N_1 \leq k_2 l_u w_u f_t^u \quad (3)$$

式中 l_u 为U形抱箍卡与端板正接触面的长度, $l_u = \pi(d_1 + d_2)/2$ (d_1 为接触面外径, d_2 为接触面内径); w_u 为U形抱箍卡与端板正接触面的计算宽度; f_t^u 为U形抱箍卡抗拉强度设计值。

b) 六角螺钉抗剪强度设计值应满足下式:

$$N_1 \leq n m d_d^2 f_{wd} / 4 \quad (4)$$

式中 n 为六角螺钉数量; d_d 为六角螺钉直径; f_{wd} 为六角螺钉抗剪强度设计值。

(3) 端板孔口抗剪强度的计算

端板孔口抗剪强度设计值的计算如下所示:

$$N_1 \leq n \pi \left(\frac{d_1 + d_2}{2} \right) \left(t_s - \frac{h_1 + h_2}{2} \right) f_w \quad (5)$$

式中, n 为预应力钢筋数量; d_1 为端板上预应力钢筋锚固孔台阶上口直径; d_2 为端板上预应力钢筋锚固孔台阶下口直径; h_1 为端板上预应力钢筋锚固孔台阶上口距端板顶距离; h_2 为端板上预应力钢筋锚固孔台阶下口距端板顶距离; f_w 为端板抗剪强度设计值; t_s 为端板厚度。

(4) 钢棒墩头抗拉强度的计算

《先张法预应力混凝土管桩 (GB13476—2009)》中规定钢筋墩头部位的强度不得低于该材料抗拉强度的90%, 故根据预应力钢筋墩头抗拉强度确定单桩抗拔承载力时, 按墩头强度为钢筋抗拉强度的90%考虑, 即:

$$N_1 \leq 0.90 \times f_{py} \times A_p \quad (6)$$

式中 f_{py} 为预应力钢筋抗拉强度设计值; A_p 为预应力钢筋总横截面积。

(5) 端板抗弯强度的计算

在PHC管桩抗拔静荷载试验中, 一般是采用混凝土填芯以及填芯内的插筋来传递上拔力。为使上拔力均匀传递至端板, 宜增加一过渡段, 先将圆钢柱筒与管桩端板T形对接焊透, 再将上引钢筋焊接在圆钢柱筒上, 将预应力筋的拉力连续化后的端板作为一悬臂板计算, 则端板抗弯强度为

$$M/W \leq f \quad (7)$$

式中 $M=PS$; $P=N_2/\pi D$; $N_2 \leq \pi D t_s^2 f/6S$; $W=l t_s^2/6S$; $S=(D-D_p)/2$ 。 N_2 为管桩端头板能承受的最大抗拔力; D 为管桩外径; D_p 为主筋所在圆直径; f 为端板钢材抗拉强度设计值; W 为抗弯截面模量。

(6) 桩顶填芯混凝土的抗拔强度的计算
桩顶填芯混凝土的抗拔强度应满足下式:

$$N_1 \leq k_1 \pi d l f \quad (8)$$

式中 k_1 为经验系数; d 为填芯混凝土直径; l 为填芯混凝土长度; f 为填芯混凝土与管桩内壁之间的黏结强度设计值^[6-7]。

选取国标中常用的 PHC—B500(100)桩型, 端板采用普通端板, 端板和 U 形抱箍卡钢材取 Q235 级, 桩顶混凝土填芯深度为 2.0 m, 其余各项设计参数均按照国标及相关规范推荐值选取, 各项与单桩抗拔强度设计值有关的强度设计值如表 1 所示。

表 1 PHC-B500(100)桩各项抗拔强度设计值参数对比表

Table 1 Design parameters of uplift pipe piles PHC-B500 (100)

各项抗拔强度设计值名称	强度设计值大小/kN
桩身抗拉强度 (一级裂缝)	967
桩身抗拉强度 (二级裂缝)	1246
U 形抱箍卡与端板正接触面抗拉强度	2860
六角螺钉抗剪强度	2548
钢棒墩头抗拉强度	1134
端板能承受的最大抗拔力	791
桩顶填芯混凝土的抗拔强度	887

由表 1 可知, 以 PHC-B500(100)桩型为例, 通过理论计算, 如果管桩连接采用抱箍式连接方法, 其 U 形抱箍卡与端板正接触面抗拉强度设计值为 2860 kN, 六角螺钉抗剪强度设计值为 2548 kN, 远大于其他各项抗拔强度设计值, 而普通端板能承受的最大抗拔力最小, 仅为 791 kN, 因此可通过增加普通端板的厚度或材料强度来增加端板的抗拔承载力。

2 抱箍式连接抗拔管桩与钻孔灌注桩工程应用的对比分析

某工程试验现场工程地质条件如表 2 所示。

表 2 各土层物理力学性质指标

Table 2 Indices of physical and mechanical properties of soils

土层名称	层厚/m	重度 (kN·m ⁻³)	黏聚力 /kPa	内摩 擦角(°)
耕填土	0.3~0.9	—	—	—
粉质黏土	0.5~3.4	19.9	67.1	16.9
粉质黏土	0.4~7.0	20.2	50.8	18.1
粉质黏土夹粉土	2.3~15.0	20.3	45.6	18.6
黏土	0.8~7.2	20.3	76.7	17.1

分别采用两根 PHC-B500(100)-5 m 管桩, 采用抱箍式连接 (现场照片如图 3 所示), 试验前分别在两根桩的桩头两端内壁对称粘贴混凝土应变片 2 片, 每根桩共粘贴 4 片应变片, 结合静载试验读取每级荷载下的桩顶位移及桩身各测点的应变值, 并与该场地直径同为 500 mm、桩长为 10 m 的钻孔灌注桩的单桩竖向抗拔荷载试验作对比分析。



图 3 抗拔管桩采用抱箍式连接的现场照片

Fig. 3 Photo of uplift pipe pile with hold-hoop connection

图 4 为同条件下钻孔灌注桩和抱箍式连接抗拔管桩在竖向抗拔荷载试验下的荷载 - 沉降曲线, 从图中可以看出, 在最大荷载 800 kN 时, 钻孔灌注桩的桩顶位移已达到 35.6 mm, 而抱箍式连接抗拔管桩的桩顶位移仅为 19.8 mm。可见, 抱箍式连接抗拔管桩只要解决好管桩之间的连接问题, 作为一种挤土桩, 相对于钻孔灌注桩等非挤土桩型, 其抗拔承载特性要优越得多。

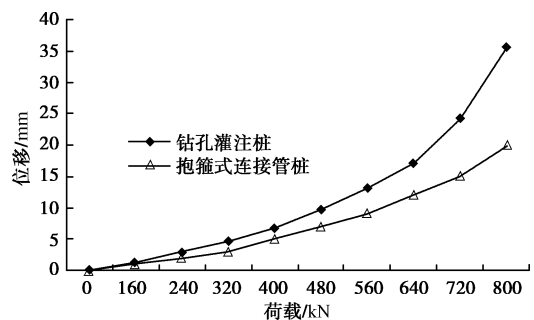


图 4 同条件下两种桩型的荷载 - 沉降曲线

Fig. 4 Load-settlement curves of two different piles under same condition

图 5 为抱箍式连接抗拔管桩在各级荷载下的桩身轴力分布图。在各级荷载作用下, 在抱箍式连接的部位, 轴力曲线连续性较好, 基本无突变, 荷载传递效果良好。

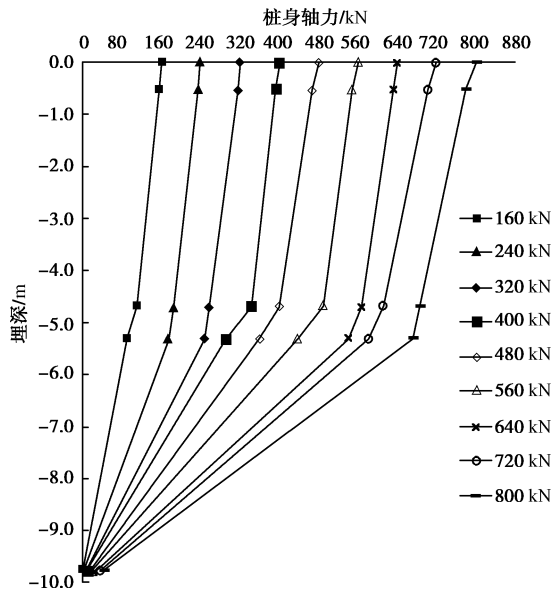


图5 抱箍式抗拔管桩桩身轴力分布图

Fig. 5 Distribution axial force of uplift pipe piles with hold-hoop connection

3 结 论

(1) 本文提出一种抱箍式连接抗拔管桩，并对其桩身抗拉强度、端板之间的抱箍式连接件的抗拉强度、端板孔口抗剪强度、钢棒墩头强度、端板抗弯强度和桩顶填芯混凝土的抗拔强度影响理论计算方法进行分析，并以 PHC-B500(100)桩型进行实例计算，得出U形抱箍卡与端板正接触面抗拉强度与六角螺钉抗剪强度远大于其他各项抗拔强度值，可解决普通 PHC 管桩抗拔能力不足的技术难题。

(2) 通过抱箍式连接抗拔管桩及其与钻孔灌注桩的现场单桩竖向抗拔荷载试验得出，同条件下抱箍式连接抗拔管桩作为一种挤土桩，相对于钻孔灌注桩等非挤土桩型，桩顶位移要小很多。抱箍式连接抗拔管桩在各级荷载作用下，在抱箍式连接的部位，轴力曲线连续性较好，基本无突变，荷载传递效果良好。

参考文献:

[1] DBJ/T11—166 先张法预应力混凝土抗拔管桩（抱箍式连接）[S]. (DBJ/T11—166 Atlas for pretensioned pre-stressed

spun concrete pile foundation[S]. (in Chinese))

- [2] 崔永高, 阳吉宝, 徐骏白, 等. 上海软土地区静力压桩若干问题的探讨[S]. 工程地质学报, 2006(4): 526 - 530. (CUI Yong-gao, YANG Ji-bao, XU Jun-bai, et al. Three issues in using statically-jacked piles for foundations in Shanghai soft soils [J]. Journal of Engineering Geology, 2006(04):526-530. (in Chinese))
- [3] 郭 杨, 崔 伟. 应用圆柱孔扩张理论对 PHC 管桩承载特性的研究[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2010(2): 269 - 274. (GUO Yang, CUI Wei. Study on the bearing behavior of PHC pile using cylindrical cavity expansion theory[J]. Journal of Hefei University of Technology(Natural Science), 2010(2): 269 - 274. (in Chinese))
- [4] 郭 杨, 崔 伟. PHC 管桩在老黏土地区应用的试验研究[J]. 岩土工程学报, 2011(增刊 2): 108 - 115. (GUO Yang, CUI Wei. Experiment study on the application of PHC pile in paleo-clay area[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2011(S2): 108 - 115. (in Chinese))
- [5] 李伟兴, 万月荣, 刘庆斌. 世博会主题馆抗拔 PHC 管桩新型连接的计算分析及试验研究[J]. 建筑结构学报, 2010(5): 86 - 94. (LI Wei Xing, WAN Yue Rong, LIU Qing Bin. Design and experimental study on a new connection between PHC up lift pile segments of the Expo Theme Pavilion[J]. Journal of Building Structures, 2010(5): 86 - 94. (in Chinese))
- [6] 施 峰. PHC 管桩荷载传递的试验研究[J]. 岩土工程学报, 2004, 26(1): 95 - 99. (SHI Feng. Experimental research on load transfer mechanism of pretensioned high strength spun concrete piles[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2004, 26(1): 95 - 99. (in Chinese))
- [7] DB34/T1198—2010 先张法预应力混凝土管桩基础技术规范 [S]. (DB34/T1198—2010 Technical specification for pretensioned pre-stressed spun concrete pile foundation[S]. (in Chinese))