

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2010.02.016

挤扩支盘桩的承载特性

李 枫¹,宋焕豹²,周云东¹

(1.河海大学土木与交通学院,江苏 南京 210098;2.南京下关区城市建设开发集团公司,江苏 南京 210015)

摘要 :结合具体工程对挤扩支盘桩在外荷载作用下的承载特性及桩身荷载传递规律进行了测试分析,现场测试结果表明 相对于传统等截面灌注桩,挤扩支盘桩具有承载力高、沉降变形小等优点 ;支盘的存在可以大幅提高桩体的承载力,支盘在单桩承载力中的贡献可达 50% 以上 ;支盘的存在,使得桩侧、桩端等部位承载力的发挥也明显不同于等截面灌注桩,具有明显的时序性 ;现行挤扩支盘桩单桩承载力计算方法偏于保守 .
关键词 :挤扩支盘桩 静载试验 荷载传递 承载特性
中图分类号 :TU473.1 **文献标识码** :A **文章编号** :1000-1980(2010)02-0202-04

高大、复杂的建筑物对地基承载力要求较高,灌注桩是其常用的基础形式.近年来随着机械技术、施工工艺的不断进步,在传统等截面灌注桩基础上又发展出一种新型桩——挤扩支盘桩,亦称多支盘钻孔灌注桩或 DX 桩^[1-2],即通过挤扩设备在等截面钻孔适当深度挤扩形成同心扩径支盘空间,灌注混凝土后形成的变截面桩.从成桩方式而言,挤扩支盘桩属于钻孔灌注桩 ;从桩身形状来看,挤扩支盘桩又属于变截面的异形桩.已有的应用情况表明,挤扩支盘桩具有如下优点 :(a)适用范围广,适用于多种地层地质条件 ;(b)竖向承载力约为传统等截面灌注桩的 2 倍^[3-4] ;(c)用作抗拔桩时由于支盘的作用,桩体的抗拔能力大大增强^[5] ;(d)经济性优越,由于支盘的作用,单方混凝土提供的承载力大大提高.目前有关该桩型的加固机理、设计计算理论的研究较为欠缺,对其承载特性的研究也较少^[6-8].本文结合实际工程情况对挤扩支盘桩的承载特性进行分析,以期指导该桩型的技术革新及工程实践.

1 设计及试验概况

1.1 工程概况及地质条件

南阳热电厂为一以供热为主、兼顾发电的大型火电工程项目,厂区试桩区域自然地面标高约 141.4 m,地基土层主要为硬塑状态的黏性土.勘探深度范围内地基土可分为 5 层,各层的物理力学参数见表 1.

对电厂主厂房、烟囱的地基采用泥浆护壁钻孔挤扩支盘桩进行加固处理.

1.2 单桩承载力设计计算

该工程挤扩支盘桩分 2 种桩型 :A 型桩设计有效桩长为 25.0 m,设计桩顶标高 - 6 m,实际施工桩顶位于自然地面,桩长 29.57 ~ 29.63 m,主桩直径 700 mm,桩身设置 2 个盘,盘径均为 1 400 mm,分别位于桩身 16.5 m 和 25.5 m 处.B 型桩设计有效桩长为 10.0 m,设计桩顶标高 - 3 m,实际施工桩顶位于自然地面,桩长 11.6 ~ 11.8 m,桩径 600 mm,桩身设置一个盘,盘径 1100 mm,支盘位于桩身 10.2 m 处.

支盘桩承载力按式(1)计算^[9-10] :

$$Q_{uk} = Q_{sk} + Q_{pk} = u \sum q_{sik} l_i + \sum \psi_{pi} q_{pi} A_{pi} + q_{pk} A_p \tag{1}$$

式中： Q_{uk} ——单桩承载力标准值； Q_{sk} ——桩侧承载力； Q_{pk} ——桩端及支盘承载力； u ——主桩桩身周长，m； q_{sik} ——桩侧第 i 层土的极限侧阻力标准值，kPa； l_i ——桩穿越第 i 层土的厚度，计算时应减去盘根厚度，m； q_{pik} ——桩身第 i 个支盘处土的极限端阻力标准值，kPa； q_{pk} ——主桩底处土的极限端阻力标准值，kPa； A_{pi} ——扣除主桩桩身截面积的支或盘的水平投影面积， m^2 ； A_p ——主桩桩端截面积， m^2 ； ψ_{pi} ——支、盘极限端阻力标准值的修正系数。

根据式(1)可得 A 型桩单桩承载力为 5 746 kN，B 型桩单桩承载力为 1 778 kN。

1.3 试验概况

为了测试挤扩支盘桩轴力分布规律并探讨其荷载传递机理，试桩施工中在地层分界面及支盘上下部位 A 型桩的 2 根对称主筋上安装了钢筋计，测试桩身的轴力 桩端对称安装 2 只双模土压力盒，用以测试桩端阻力 支盘位置及钢筋计、压力盒安装位置见图 1，桩身轴力测试和静荷载试验同步进行，在每次观测沉降值时，测试一次钢筋应力计频率，直至静荷载试验结束。

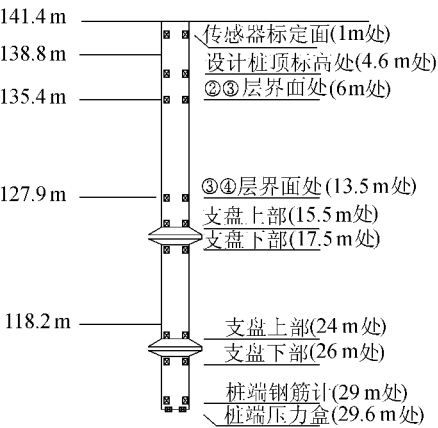


图 1 A 型试验桩仪器布置

Fig. 1 Layout of test equipment for A-type piles

2 静荷载试验

分别对 3 根 A、B 型桩进行静荷载试验，试验采用慢速维持荷载法，静荷载试验结果见图 2 及表 2。

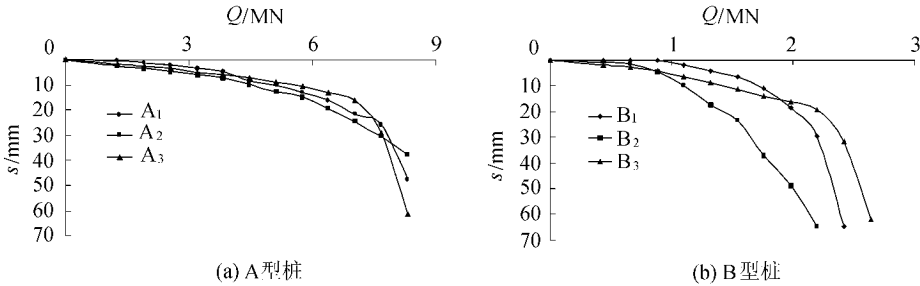


图 2 试桩 $Q \sim s$ 曲线

Fig. 2 Q - s curves of test piles

静荷载试验结果表明，桩长较深并设置 2 个支盘的 A 型桩在整个加载过程中表现出了较好的荷载沉降特性，3 根试桩的 $Q \sim s$ 曲线规律较相似， $Q \sim s$ 曲线变化较平缓，桩顶荷载在 6 MN 之下时沉降极小，约为 10 mm，在荷载达到近 8 MN 时 $Q \sim s$ 曲线才呈现较明显的曲率变化。B 型桩因桩长较短，只设置 1 个支盘且支盘靠近桩底，在相同荷载作用下其桩顶沉降量要远大于 A 型桩。当桩顶荷载达到试桩的竖向极限承载力时 $Q \sim s$ 曲线陡降。

表 2 静荷载试验结果

Table 2 Results of static loading tests

编号	桩径/ mm	桩长/m	支盘直径/ mm	支盘 数量	最终荷载/ MN	最终沉降 量/mm
A ₁	700	29.57	1 400	2	8.32	47.37
A ₂	700	29.63	1 400	2	8.32	37.73
A ₃	700	29.59	1 400	2	8.32	61.32
B ₁	600	11.60	1 100	1	2.42	64.88
B ₂	600	11.80	1 100	1	2.20	64.63
B ₃	600	11.60	1 100	1	2.64	62.22

根据 $Q \sim s$ 曲线特征对单桩竖向抗压极限承载力进行取值， $A_1, A_2, A_3, B_1, B_2, B_3$ 各桩的竖向抗压极限承载力分别为 7 680 kN，7 680 kN，7 680 kN，2 200 kN，1 980 kN，2 200 kN，除 B_2 桩外，其他 5 根试验桩的竖向抗压承载力均显著高于设计值，式(1)计算结果较静荷载试验结果小 20% 左右。

3 荷载传递特性

与直杆桩相比，挤扩支盘桩由于在桩身存在扩径支盘，受支盘影响，桩顶受荷后将表现出不同的桩身轴力、桩侧摩阻力及桩端阻力传递规律。本文选择 A_1 桩桩身的荷载传递规律进行测试分析。

3.1 桩身轴力传递规律

图 3 为 A_1 桩在不同桩顶荷载作用下桩身轴力分布图。随着深度增加，桩身轴力逐渐降低，轴力分布与直杆

桩显著不同.在支盘上下界面位置桩身轴力发生大幅变化,支盘下端轴力显著降低,支盘位置减小的轴力完全由支盘承担,并将其转嫁到支盘底部的土层.桩顶荷载较大时,支盘对轴力的削减作用更为明显. A_1 桩桩身设有 2 处支盘,在下道支盘之下桩身轴力均大幅衰减,从而使 A_1 桩在各级荷载作用下均具有较小的端阻力值.

3.2 支盘荷载传递规律

图 3 桩身轴力分布曲线表明,挤扩支盘桩由于支盘的存在整个桩体的承载特性发生了显著变化.图 4(a)为各级桩顶荷载作用下桩体各部分荷载分担情况.加载初期支盘承担的荷载较小,荷载主要由桩侧摩阻力承担.随着荷载的增加,支盘承担的总荷载逐渐增大,且随着桩顶荷载的增加支盘承担荷载的增长速率也逐步加快.桩身不同位置支盘表现出了不同的荷载增长规律:上、下支盘承载力的发挥具有明显的时间和顺序效应,在加载初期,上盘比下盘承担较多荷载,但下盘分担荷载增长迅速,在受荷后期反而比上盘分担更多荷载.

图 4(b)表明,在桩顶荷载施加到最终加载量的 30% 以前,下支盘对应分担的荷载极小,约为对应施加荷载的 1%,上支盘承担的荷载则占所施加桩顶荷载的 15%~20%,且分担荷载百分比略呈下降趋势.在桩顶荷载施加到最终加载量的 30% 后,下支盘承担荷载百分比迅速增加.当桩顶荷载达到 8 320 kN 时,下支盘承担的荷载为 28.9%,上支盘承担的荷载为 19.2%,两支盘共同承担的荷载占 48.1%.支盘阻力的传递特征与桩端阻力相似,如将支盘阻力和桩端阻力统称为端阻力,则 A_1 桩在桩顶荷载达到 8.32 MN 时,端阻力占总荷载的 50.6%,其余 49.4% 荷载由桩侧摩阻力承担,说明挤扩支盘桩属于摩擦端承型桩.

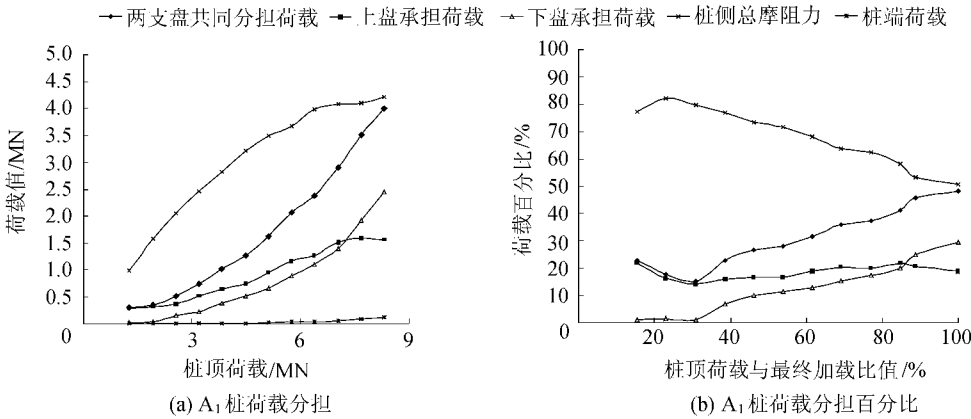


图 4 A_1 桩荷载分担
Fig.4 Load sharing of pile A_1

3.3 桩侧摩阻力传递规律

与支盘承担荷载的变化规律基本相反,桩侧摩阻力在加载初期增长较快.随着桩顶荷载增加,桩侧摩阻力增长速率逐步减小,在桩顶荷载接近极限承载力时桩侧摩阻力几乎停止增长.图 4(b)表明在加荷初期,桩侧摩阻力约承担了总荷载的 80%,随着荷载的增大,桩侧摩阻力分担荷载的比例越来越小.图 5 为 A_1 桩被 2 个支盘分割成的 3 个直桩段的桩侧摩阻力随桩顶荷载的变化曲线,0~15.5 m 段桩侧总摩阻力的发挥对 A_1 桩总摩阻力的大小起决定作用.就这一段总摩阻力的发展趋势而言,大体可分 3 个阶段:桩顶荷载介于 0~4 480 kN 时,桩侧总摩阻力基本呈线性增长;桩顶荷载介于 4 480~7 040 kN 时,桩侧总摩阻力增长变缓,在 7 040 kN 级荷载时达到极限值;桩顶荷载超过 7 040 kN 之后,桩侧总摩阻力呈略下降趋势.17.5~24 m,26~29.6 m 桩段侧摩阻力增长量则较小,桩顶所增加的总荷载增量主要转嫁给其下的 2 个支盘承担,从而弥补桩身摩阻力的不足.说明支盘和桩侧摩阻力之间存在互补关系,而且从时间效应上来看,往往是桩侧摩阻力达到极限

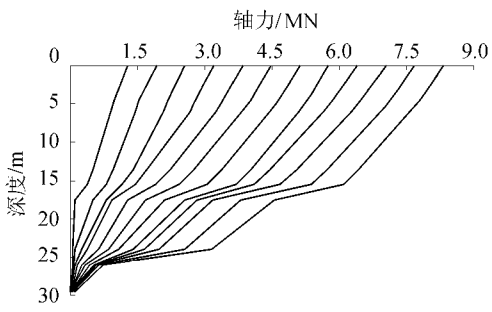


图 3 A_1 桩轴力分布
Fig. 3 Distribution of axial forces of pile A_1

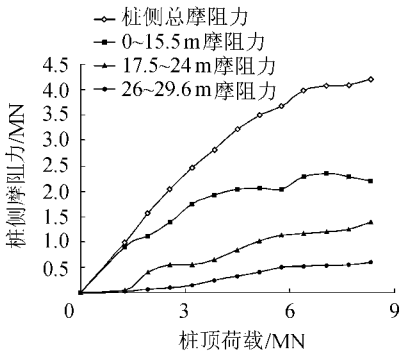


图 5 A_1 桩桩侧摩阻力分布
Fig. 5 Distribution of lateral frictions of pile A_1

值以后支盘才更有效地发挥端承作用,17.5~24 m 段和 26~29 m 段摩阻力的发挥则比较滞后,一直处于缓慢增长的状态。

4 结 论

- 挤扩支盘桩与传统等直径灌注桩相比具有承载力高、沉降变形小、经济性优越等优点。
- 现行规范挤扩支盘桩单桩承载力计算方法过于保守,计算结果较静载荷实测结果小约 20%。
- 静载荷试验结果表明,挤扩支盘桩属于摩擦端承型桩,桩身各部分承载力发挥具有时序性,荷载较小时外荷主要由桩侧摩阻力承担,荷载较大时则主要由支盘承担,当支盘增加至一定数量时,支盘承担荷载可达 50% 以上。

参考文献:

- [1] 沈保汉.多节挤扩灌注桩[J].施工技术,2001(1):51-53. (SHEN Bao-han. Squeezed multi-plate pile[J]. Construction Technique, 2001(1):51-53. (in Chinese))
- [2] 孙翔.挤扩多支盘桩技术及其应用[J].西部探矿工程,2007(7):172-174. (SUN Xiang. The technique and application of the squeezed multi-plate pile[J]. West-China Exploration Engineering, 2007(7):172-174. (in Chinese))
- [3] 史鸿林,胡林忠,王维雅,等.新型挤压分支桩的计算与试验研究[J].建筑结构学报,1997,18(1):49-54. (SHI Hong-lin, HU Lin-zhong, WANG Wei-ya, et al. Calculation and experimental research on bearing capacity of a new type compaction pile with expanded branches[J]. Journal of Building Structures, 1997, 18(1):49-54. (in Chinese))
- [4] 王东坡,钱德玲.挤扩支盘桩的荷载传递规律及研究现状[J].岩石力学与工程学报,2004,23(增刊1):4645-4648. (WANG Dong-po, QIAN De-ling. Law of load transmission of squeezed branch piles and it's research advances[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, 23(S1):4645-4648. (in Chinese))
- [5] 张延庆,苑辉,屈展,等.挤扩支盘桩抗拔性能试验研究[J].工程力学,2008,25(增刊1):82-85. (ZHANG Yan-qing, YUAN Hui, QU Zhan, et al. Experimental study on the anti-pulling behavior of the squeezed cast-in-lace pile[J]. Engineering Mechanics, 2008, 25(S1):82-85. (in Chinese))
- [6] 巨玉文,梁仁旺,赵明伟,等.竖向荷载作用下挤扩支盘桩的试验研究及设计分析[J].岩土力学,2004,25(2):308-315. (JU Yu-wen, LIANG Ren-wang, ZHAO Ming-wei, et al. Experimental investigation and design analysis of vertically loaded cast-in-situ pile with expanded branches and plates[J]. Rock and Soil Mechanics, 2004, 25(2):308-315. (in Chinese))
- [7] 汤丽军,卢成原.挤扩支盘桩工程性状的研究进展[J].浙江工业大学学报,2006,34(6):622-627. (TANG Li-jun, LU Cheng-yuan. Research progress on the project behavior of pile with plates and branches[J]. Journal of Zhejiang University of Technology, 2006, 34(6):622-627. (in Chinese))
- [8] 钱德玲.支盘桩-地基相互作用及有限元法模拟的研究[J].土木工程学报,2004,37(2):82-86. (QIAN De-ling. Study on interaction between squeezed branch pile and soil and FEM simulation[J]. China Civil Engineering Journal, 2004, 37(2):82-86. (in Chinese))
- [9] 杨保全,俞晨,张思军.挤扩支盘桩土相互作用的三维有限元分析[J].河海大学学报:自然科学版,2008,36(3):350-353. (YANG Bao-quan, YU Chen, ZHANG Si-jun. 3D finite element analysis of pile-soil interaction of squeezed branch pile[J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2008, 36(3):350-353. (in Chinese))
- [10] DJGJ—2000,火电发电厂支盘桩暂行技术规定[S].

Bearing behaviors of squeezed branch piles

LI Feng¹, SONG Huan-bao², ZHOU Yun-dong¹

(1. College of Civil and Transportation Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China ;
2 Nanjing Xiguan Urban Construction & Development Corporation, Nanjing 210015, China)

Abstract: Based on a practical project, the bearing behaviors and load transfer characteristics of squeezed branch piles under external loads were studied. The filed investigations indicate that compared with the conventional bored piles with equivalent cross-sections, the squeezed branch piles are of advantages of high bearing capacity and small settlement. The existence of branches results in great increase of the bearing capacity of the piles and they have a contribution of more than 50% to the total bearing capacity of a pile. Due to the existence of branches the function of the bearing capacity at the side and end of the piles is different from that of the bored piles with equivalent cross-sections, and it is of obvious time sequence. The results of static load test show that the current design method for the bearing capacity of the squeezed branch piles is conservative.

Key words: squeezed branch pile; static loading test; load transfer; bearing behavior