

挤扩支盘桩桩土相互作用的三维有限元分析

杨保全¹, 俞 晨¹, 张思军²

(1. 河海大学土木工程学院, 江苏 南京 210098; 2. 河南省电力勘测设计院, 河南 郑州 450007)

摘要 简要分析了挤扩支盘桩挤扩成盘过程中及受压状态下的桩土相互作用, 并结合一工程实例, 利用 ADINA 有限元程序建立了桩土作用三维模型, 对挤扩支盘桩受压状态下桩体、土体的应力状态进行了分析计算. 结果表明, 上支盘内的有效应力要明显大于下支盘, 两支盘间土体存在应力叠加, 并通过分析指出了最佳的盘间距应大于 3.5 倍支盘直径.

关键词 挤扩支盘桩 桩土相互作用 盘间距 有限元分析

中图分类号 :TU473.1+2 **文献标识码** :A **文章编号** :1000-1980(2008)03-0350-04

挤扩支盘桩是一种新型结构的钢筋混凝土桩, 从成孔方式角度看, 它属于钻孔灌注桩形式的一种; 从桩身形状角度看, 它是一种变截面桩. 从已有的使用情况来看, 它既是一种可靠的抗压桩, 同时也是一种理想的抗拔桩^[1-2]. 然而, 由于其特殊的成桩工艺和桩体形状, 目前对于挤扩支盘桩桩身的受力性能及工作机理研究尚不成熟, 对于在成桩过程中桩土间的相互作用分析也较少, 因此, 本文结合实际工程, 利用大型有限元软件 ADINA 建立了挤扩支盘桩的三维模型, 对南阳热电厂工程中的 2 号试桩与桩周土的相互作用进行了模拟分析, 其结果对于优化设计和指导工程实践具有一定的现实意义.

1 挤扩支盘桩的桩土相互作用

挤扩支盘桩是在钻孔灌注桩的基础上衍生而成的一种新型桩, 其施工工序与钻孔灌注桩基本相同, 只是在钻孔灌注桩施工工艺中增加了一道“挤扩成支、盘”的工序^[3-4].

在挤扩成支、盘过程中, 弓压臂对四周土体做功, 土体的运动及位移量是一种复杂的动态过程, 与挤压力、弓压臂张开角及土体的压缩模量、泊松比等都有关系. 最终, 支盘上下端土体得到了压密, 土体的内摩擦角、黏聚力、压缩模量及侧压力系数均有所增大, 压缩性减小, 使其物理力学性质要高于原状土, 从而提高了原有土层的承载力^[5-7].

2 工程概况及计算模型

2.1 工程概况

南阳热电厂是南阳市拟建的一座以供热为主、兼顾发电的大型火电项目. 依据可研审查意见并根据场地的岩土工程条件和上部结构的荷载特点, 采用挤扩支盘桩深基础方案^[8]. 其桩型设计如图 1 所示. 施工区土层主要为黏土, 根据其力学参数可分为 5 层.

2.2 三维有限元模型

本文利用 ADINA (automatic dynamic incremental nonlinear analysis 的简写) 有限元分析软件建立模型并进行有限元计算, 该软件是对固体、结构及结构-流体系统作静、动位移和应力分析的一个计算机程序, 对于分析静力的线性、非线性问题具有较强的适应性.

为尽可能准确地模拟实际工程情况, 将挤扩支盘桩及周围土体以三

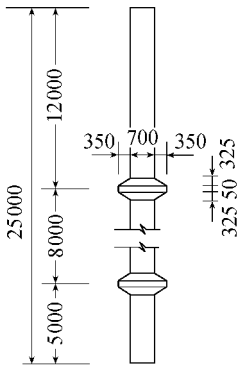


图 1 挤扩支盘桩桩型示意图
Fig.1 Schematic diagram of
squeezed branch pile

维实体建模. 桩长 25 m,在距桩顶12 m 和 20 m 的位置各设置 1 个盘,为保证有限元的计算精度,结合工程经验及以往的计算经验,土体模型边界取距桩轴线 1 倍桩长,即 25 m,竖向边界取到距桩底以下 0.5 倍桩长,但结合实际工程的勘察资料,将竖向边界取到 - 36.9 m(桩顶标高为 0 m),并将土体分为 5 层,各土层物理力学参数见表 1.

有限元分析中,土体选用 Mohr-Coulomb 弹塑性模型,桩体选用线弹性材料. 采用水土合算的方法来考虑地下水^[5]. 在划分单元时,采用程序自动剖分模式划分单元,对桩体划分较密,对最下面 2 层土划分较疏,单元划分选用 4 结点四面体单元. 最终桩体共划分为 8 850 个 3D 单元,土体共划分为 16 332 个 3D 单元,整个模型共 7 685 个结点,剖分后的模型如图 2 所示.

表 1 各土层物理力学参数

Table 1 Mechanical parameters of the soil

土层	变形模量 E/MPa	泊松比 μ	密度 $\rho/(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$	黏聚力 c/kPa	内摩擦角 $\varphi/(^{\circ})$
1	7.2	0.35	1970	45	11.1
2	9.5	0.33	1980	60	12.9
3	12.0	0.30	1980	65	16.0
4	14.5	0.30	1860	65	16.0
5	17.0	0.30	2000	79	16.5

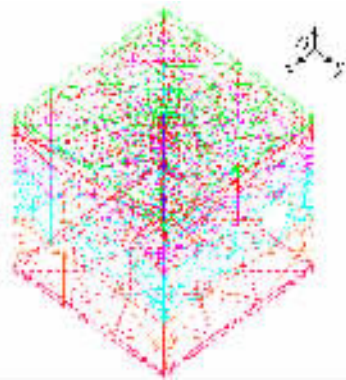


图 2 有限元计算模型

Fig.2 Finite element calculation model

2.3 计算参数选择

计算模型中桩体物理力学参数为:弹性模量 $E = 3\,250\text{ MPa}$,泊松比 $\mu = 0.166\,7$,密度 $\rho = 2\,400\text{ kg/m}^3$,土层的物理力学参数取值如表 1 所示.

3 计算结果及分析

3.1 位移场分析

求解过程中,在桩顶施加一个 6 400 kN 的荷载,并通过 ADINA 中的时间函数定义来模拟分级加荷. 在外加荷载作用下,桩体产生沉降,同时使桩周围土体产生水平方向和竖直方向的位移,由于支盘的存在,会对其周围土体特别是其上下部位土体的位移产生较大影响^[9-10]. 经有限元计算得到桩体及土体各部分位移如图 3 所示,其中桩体在竖向的最大、最小位移分别为 17.19 mm 和 0.011 61 mm,在水平方向的最大、最小位移分别为 2.011 mm 和 1.407 mm.

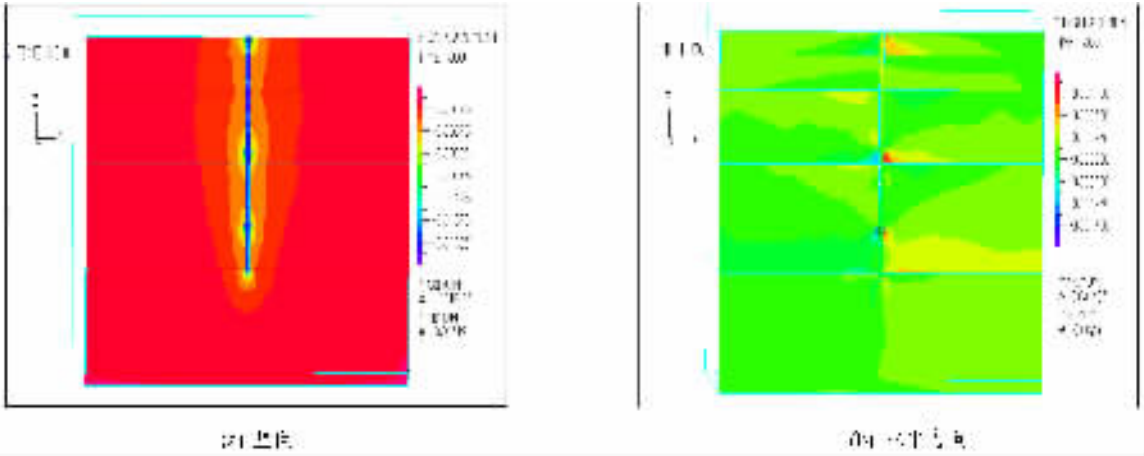


图 3 桩体和土体位移云图

Fig.3 Displacement of the pile and soil

由计算结果可见,在 6 400 kN 的竖向荷载作用下,桩周土产生竖向位移的范围边界:水平方向为距桩轴线 21d 左右(d 为主桩直径),竖直方向为距桩端下 7d 左右.在距桩轴线 9d 之外,土体沉降较小,因此可以认为由于桩体沉降而引起的周围土体沉降的影响范围为距桩轴线 9d 之内的区域.

由图 3(a) 显示的土体内部靠近桩身处的竖向位移可知,土体中产生竖向位移的范围总体上是随着深度的增大而逐渐减小,在上、下两支盘附近和桩端周围,土体产生的竖向位移都要大于 3 个直桩段周围土体的竖向位移,并且能够看出,产生竖向位移的土体在上支盘周围展开的范围要大于在下支盘周围展开的范围.

分析图 3(b) 显示的土体水平方向位移,支盘桩桩周土水平位移的主要特点是在桩侧支盘以上的土体产生了较大的径向向内的水平位移,支盘以下的土体产生了径向向外的水平位移.产生这一现象主要是由于在外加荷载作用下桩体沉降对支盘下部土体产生了挤压作用,从而使其产生径向向外的水平位移,而支盘上部的土体则由于应力松弛作用产生了径向向内的水平位移.

3.2 应力场分析

在桩基抗压试验中,一般表现为土体受压剪切破坏,或者是桩体材料破坏,对于挤扩支盘桩,由于其特殊的结构,在抗压过程中支盘提供了较大的承载力,因此较容易发生支盘下端土体的受压破坏和支盘本身的强度破坏.

通过对图 4 上、下 2 个承力盘有效应力的分析发现,承力盘内的有效应力沿径向向外逐渐减小,在支盘与主桩结合部分应力比较大,某些部位出现了应力集中现象.通过对比还可以看出,上支盘内的有效应力要明显大于下支盘,且应力梯度也较下支盘大.

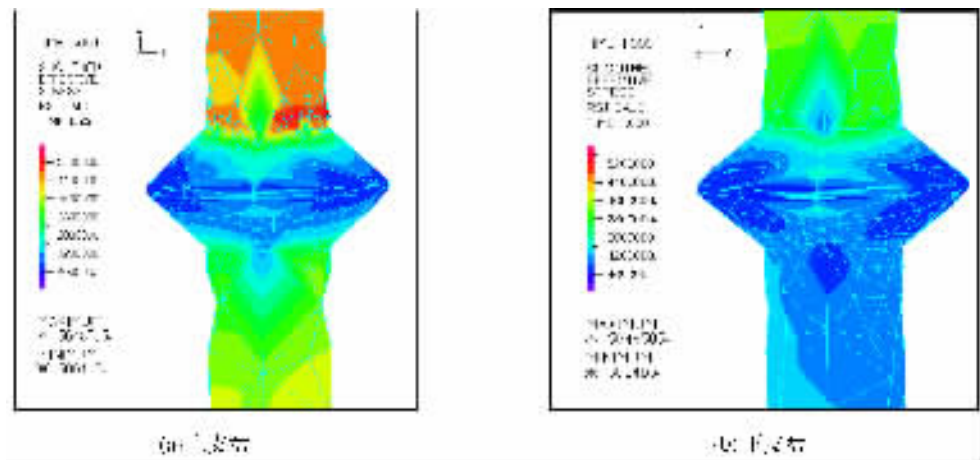


图 4 支盘等效应力云图

Fig.4 Equivalent stress on branches

对比图 5 上、下支盘处土层的最小主应力云图,上支盘下的土体压应力要大于下支盘下的土体压应力,这也说明在承受荷载方面,上支盘要大于下支盘.因此,在设计桩体承力盘的位置时,应选择好上支盘所处的持力层.

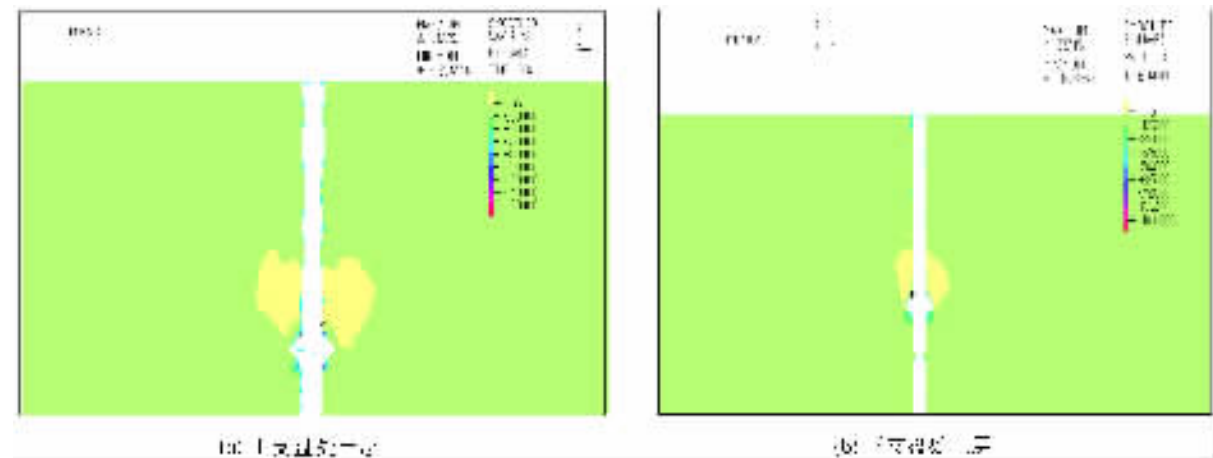


图 5 支盘处土层最小主应力场云图

Fig.5 Least principle stress field in the soil around branches

对于 2 个支盘上下最小主应力的扩展范围,从计算所得的云图可以看出,支盘对其上部土体的影响范围在 $(1.5 \sim 2.5) D$ 之间 (D 为支盘直径),对其下部土体的影响范围在 $(0.5 \sim 1.0) D$ 之间.因此,当 2 个支盘间

距小于 $3.5D$ 时,2 个承力盘间土体会产生应力叠加现象,导致盘间土体产生附加沉降,影响支盘承载力的发挥.因此,设计支盘桩时要充分考虑这一因素,合理安排支盘间距.根据本文有限元模拟计算结果,建议支盘竖向间距应大于 $3.5D$.

4 结 论

- a. 通过三维有限元模拟,计算出在 6400 kN 荷载作用下,因桩体沉降引起的周围土体沉降的影响范围大约为距桩轴线 $9d$ 之内的区域.
- b. 土体应力场分析显示上支盘下的土体压应力大于下支盘下的土体压应力,且上支盘下土体的竖向位移也较大,因此,在设计时要特别注意上支盘的位置.
- c. 根据有限元模拟计算结果,认为设计中在满足承载力要求的同时,挤扩支盘桩盘间距应大于 $3.5D$,以保证在受荷状态下 2 个承力盘间土体不会产生应力叠加现象.

参考文献：

[1] 徐至钧,张国栋. 新型桩 挤扩支盘灌注桩设计与工程应用[M]. 北京 机械工业出版社,2003.
[2] 马智杰,穆慧敏. 扩底桩的发展与应用[J]. 水利水电科技进展,1998,18(5) 49-51.
[3] 彭国斌. DX 挤扩灌注桩施工技术及其应用[J]. 岩土工程界,2006(4) 36-39.
[4] 钱德玲. 挤扩支盘桩的荷载传递规律及 FEM 模拟研究[J]. 岩土工程学报,2002,24(3) 371-375.
[5] 钱家欢,殷宗泽. 土工原理与计算[M]. 2 版. 北京 中国水利水电出版社,1996 16.
[6] 王俊林,王博,高有斌. 钻孔灌注桩荷载传递机理试验研究[J]. 河海大学学报 自然科学版,2007,35(4) 430-433.
[7] 巨玉文,挤扩支盘桩力学特性的试验研究及理论分析[D]. 太原 太原理工大学,2005.
[8] DJG-J2000,火电发电厂支盘桩暂行技术规定[S].
[9] 李咏偕,施泽华. 塑性力学[M]. 南京 河海大学出版社,1987 24.
[10] 陈国荣. 弹性力学[M]. 南京 河海大学出版社,2005 36.

3D finite element analysis of pile-soil interaction of squeezed branch pile

YANG Bao-quan¹, YU Chen¹, ZHANG Si-jun²

- (1. College of Civil Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China ;
- 2. Henan Electric Power Survey & Design Institute, Zhengzhou 450007, China)

Abstract : The pile-soil interaction of a squeezed branch pile under squeezing and compression is briefly analyzed. A 3D model was developed based on a finite element program, ADINA, and applied to calculating the stress of the piles and soil when the squeezed branch pile is in compression. The results from a case study show that the effective stress is larger on the upper disk than the lower one, and stress superposition efficiency exists between two disks. It is proposed that the optimal distance between the disks is larger than 3.5 times the diameter of the disk.

Key words : squeezed branch pile ; pile-soil interaction ; distance between the disks ; FEM analysis