

# 大直径深层旋喷搅拌桩在昊胜大厦深基坑支护工程中的应用

吴厚信<sup>1</sup>, 陈国勇<sup>2</sup>, 周宏益<sup>2</sup>, 吴晓阳<sup>1</sup>

(1. 广东省地质建设工程勘察院, 广东 广州 510080; 2. 广东省物料实验检测中心, 广东 广州 510080)

**摘要:**大直径深层旋喷搅拌桩具有强度高、变形小、防渗透性好的优点,在地基加固和止水帷幕工程中得到推广应用。以深厚砂层赋存丰富地下水区域深基坑工程为例,通过设计方案和工程施工以及结合基坑监测结果,充分证实大直径深层旋喷搅拌桩所发挥的优良止水作用,值得推广。

**关键词:**大直径深层旋喷搅拌桩;深基坑;止水帷幕

**中图分类号:**TU473.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2010)04-0058-04

**Application of Large-diameter Deep Mixing Pile in the Haosheng Building Foundation Ditch Engineering/WU Houxin<sup>1</sup>, CHEN Guo-yong<sup>2</sup>, ZHOU Hong-yi<sup>2</sup>, WU Xiao-yang<sup>1</sup>** (1. Guangdong Geological Engineering Investigation Institute, Guangzhou Guangdong 510080, China; 2. Guangdong Province Material Testing Center, Guangzhou Guangdong 510080, China)

**Abstract:** The large diameter deep mixing pile has the advantages of high strength, small deformation and good anti-permeability. It is widely used in areas of foundation strengthening and water-sealing engineering. Based on the deep foundation ditch engineering in abundant groundwater region, the water-sealing function with large diameter deep mixing pile was proved by the combination of design program, engineering construction and the excavation monitoring result.

**Key words:** large diameter deep mixing pile; deep foundation ditch; waterproof curtain

## 0 引言

国内在20世纪70年代后期开始引入搅拌桩工法,并首先应用于地基加固。对于搅拌法水泥土桩,许多专家、学者以及许多科研机构、院校均进行了大量的学术研究,建立了完善的理论系统<sup>[1-5]</sup>。20余年来,由于各种施工设备以及施工工法的发展,我国的搅拌桩对于传统的小桩径、低强度概念,已有了较大的突破。作为搅拌桩发展的一个重要指标,我国单轴搅拌的(常用)桩径(搅拌刀片尺寸)已从80年代起步时的500 mm,逐步发展至90年代的550、600、650、700 mm,对于大直径深层旋喷搅拌桩,现已将常用桩径扩大至1000 mm,并有向1200~1800 mm发展的趋势。

如何止水是关乎深基坑工程成败的一个关键。对于地下水丰富的深厚砂层,若存在地下水动水影响,采用传统型小直径双排深层搅拌桩搭接止水或高压旋喷桩止水,往往在成桩工艺上存在缺陷而易造成基坑透水事故。大直径深层旋喷搅拌桩具有穿透能力强、成桩质量好、桩身强度高、止水效果优良

的特点,近年来在珠三角地区地基加固工程、深基坑支护工程中得到推广应用,并取得了良好的效果。本文以广州市昊胜大厦深基坑支护工程为背景,说明大直径深层旋喷搅拌桩在工程止水中所发挥的关键性作用,最后通过计算及实测值的对比分析,从而肯定了支护设计方案。

## 1 工程概况

昊胜大厦位于广州市天河区车陂街、中山大道与车陂路交叉口东南侧,场区原有二层商铺,现已拆除,原始地貌属珠江三角洲冲积平原区,地势平坦开阔,经堆填后拟建场地平整且北、西、南侧均高出四周的道路和地面。本基坑呈扇形,东侧长100.40 m,南侧长90.40 m,西北侧长110.40 m,周长340.40 m。地面高程约为10.40 m,施工前场地标高平整为南侧8.80 m,其余地区为9.20 m。建筑物±0.000相当于绝对高程11.30 m,地下室底板面标高约为-10.25 m,底板厚600 mm。由于拟建的地铁左、右线即将从场地下方穿过,本工程在地下室底板底较

收稿日期:2010-01-06

作者简介:吴厚信(1941-),男(汉族),广东普宁人,广东省地质建设工程集团公司原副总经理、高级工程师,水文地质工程地质专业,从事深基坑与高边坡支护设计与施工工作,广东省广州市环市东路云鹤南3号大院50号3007房(510075),wuhouxin\_1@163.com。

多区域设有高1.950 m的托换梁。计入100 mm厚的垫层后,托换梁区域基坑底标高约为-12.20 m,绝对高程为-0.90 m,其它区域基坑底标高约为-11.85 m,绝对高程为-0.55 m,基坑南侧的开挖深度约为9.35 m,其它区域的计算开挖深度为9.35~9.75 m。

周边建、构筑物情况为:东面紧邻基坑的区域现为停车场,超过基坑3倍深度范围外为已建多层建筑及村民住宅区;南面为已建3~5层村民住宅区,共8栋,村民住宅楼基础6栋为条基基础,2栋为桩基础,距离基坑边最小距离约3.4 m,基坑和村民住宅之间有一条排水沟渠,距离基坑最小距离约2 m;西面为车陂路,人行道边距离基坑最小距离约为5 m;北面为中山大道及规划的BRT高架路,人行道边距离基坑最小距离约为12 m;拟建的地铁从基坑的西南侧和东侧下方穿过,设计的地铁埋深15.6~17.7 m。北面的中山大道和西面的车陂路下方有较多管线。周边环境比较复杂。

## 2 地质情况

根据地质钻探结果,场地上覆第四系土层主要由人工填土、海陆交互相沉积层、残积层及白垩系基岩组成。基岩岩性以泥质粉砂岩、粉砂质泥岩为主,中、微风化岩埋藏较浅,岩面起伏变化不大,差异风化较发育。同时,中更新世以来的第四纪地层中未发现有断裂错动等构造。各岩土层的分布特点及物理力学性质分述如下。

①人工填土层,厚度3.20~5.10 m,平均厚度4.16 m。

②第四系海陆交互相沉积层,主要有粉质粘土(粘土)、粉砂、细砂、中砂、粗砂。据其土性和沉积特点及状态等,分述如下:

②<sub>1</sub>粘土、粉质粘土,标贯试验实测击数8~10击,厚度0.70~2.50 m,平均厚度1.58 m;

②<sub>2</sub>细砂,标贯试验实测击数11~14击,厚度2.70~5.60 m,平均厚度4.35 m;

②<sub>3</sub>中砂,标贯试验实测击数10~13击,厚度0.90~2.90 m,平均厚度1.97 m;

②<sub>4</sub>粗砂,层面埋深10.10 m,厚度1.7 m。

③残积层,由泥质粉砂岩、粉砂质泥岩风化残积而成,遇水易崩解、软化,标贯试验实测击数26~29击,厚度1.10~2.20 m,平均厚度1.55 m。

④白垩系红色碎屑沉积岩,岩性主要为泥质粉砂岩、粉砂质泥岩,呈棕红色,粉砂状结构,泥质胶结

为主,局部钙质铁质胶结,中、厚层状。

场区砂土层分布普遍,厚度较大,透水性较好,其富水性强,强、中风化岩裂隙发育,遍布场区,厚度普遍较大,富含定量的裂隙水,其余岩土层富水性较弱。场区地下水补给条件较好,主要来源于大气降水及地表沟渠渗透补给,其次为侧向迳流补给,补给量较丰富。总的来说,场区地下水较丰富。

基坑支护岩土参数取值见表1。

表1 各土层岩土物理力学性质指标

地质成因	土层名称	天然重度 $\gamma$ /( $\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$ )	粘聚力 $c$ /kPa	内摩擦角 $\varphi$ /( $^\circ$ )
Q	人工填土层	15	10	12
Q	粉质粘土	18.5	15	15
Q	细砂	19	0	28
Q	中砂	19.5	0	29
Q	粗砂	20	0	32.5
残积层	可塑状粉质粘土	18.5	15	15
	硬塑状粉质粘土	19.5	27	15
基岩 K	全风化岩	20	50	30
	强风化岩	20	80	32
	中风化岩	22	200	33
	微风化岩	22	250	46

## 3 支护设计方案

工程基坑开挖深度为9.85~10.25 m,基坑开挖深度范围主要为杂填土和细、中砂层,且砂层较厚,有的地方超过10.0 m,周边紧邻城市交通干道和建筑物,基坑下方有拟建地铁穿过,基坑支护需解决以下几个重点和难点:

(1)基坑止水,特别要注意解决砂层和岩层面之间的止水;

(2)要考虑地铁保护范围对支护结构施工的限制要求;

(3)要考虑深厚细、中砂层中锚索成孔及质量难以保证的困难,以及锚索施工可能带来涌水、涌砂对周边道路、建(构)筑物的影响;

(4)内支撑应有尽量大的空间以便基坑土方开挖施工。

因此,根据周边环境情况、地质情况及基坑开挖深度,并考虑到施工的可行性,基坑支护采用密排钻孔桩加二道钢筋混凝土内支撑+局部加二道预应力锚索支护方案,桩后设密排大直径深层旋喷搅拌桩作为连续止水帷幕,桩径有 $\text{O}1000@750\sim 800$ 和 $\text{O}800@400$ 两种。钻孔桩采用 $\text{O}1000@1150$ 桩,内支撑主撑截面 $1000\text{ mm} \times 800\text{ mm}$ ,连杆 $800\text{ mm} \times 800\text{ mm}$ (见图1、2)。

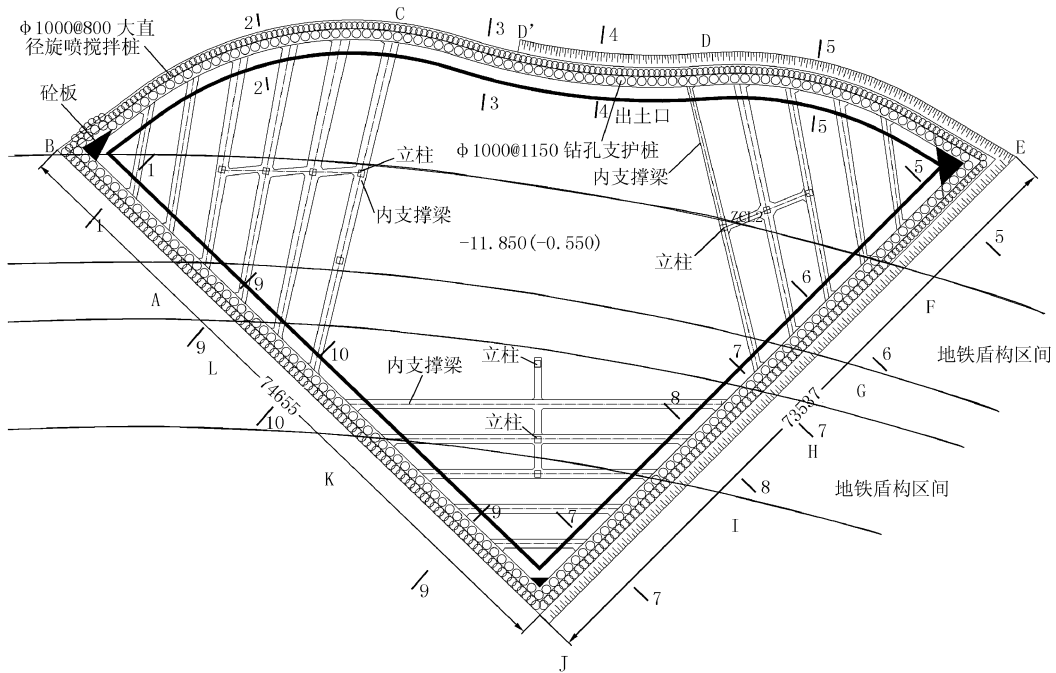


图1 基坑支护第一道支撑平面图

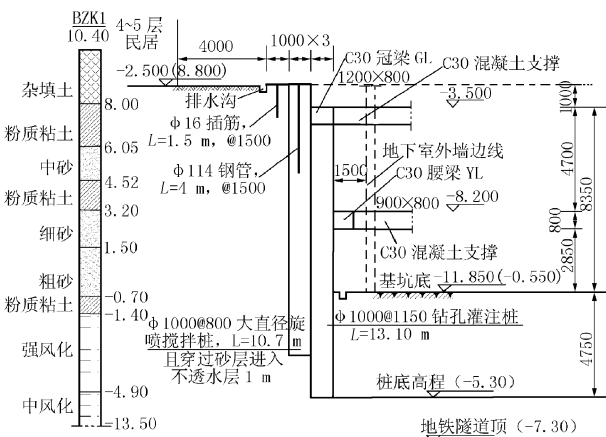


图2 基坑支护深厚砂层处典型剖面图

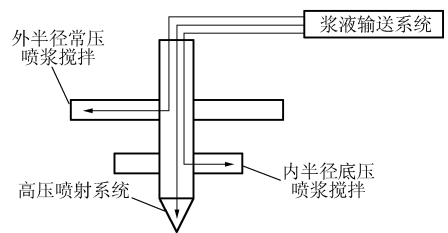


图3 大直径搅拌桩的输浆系统及喷浆系统示意图[6]

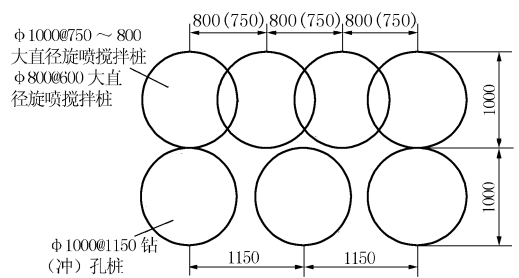


图4 大直径搅拌桩平面布置图

#### 4 围护结构的分析、计算和实例

基坑场地存在深厚砂层,且南面为天然地基基础的民居,西北扇形面为主要交通道路,因此对环境的要求较高。大直径深层旋喷搅拌桩是采用无级变速提引系统及搅拌系统,可以在桩的竖向对不同的地层进行分段控制搅拌强度的方法,提高粘性土地层段的强度(见图3、4)。基坑设计直接引进采用 $\phi 1000@750 \sim 800$ 大直径深层旋喷搅拌桩作止水帷幕穿越不透水层1 m,经抽心检测表明,在中粗砂层中搅拌其无侧限抗压强度可达 $9.4 \sim 12.9$  MPa,粉质粘土中搅拌其无侧限抗压强度为 $4.1 \sim 6.4$  MPa,颗粒胶结较好,岩心采取率达95%以上,岩心长达1 m。在施工过程中,南面因施工条件止水帷幕曾改

成双排 $\phi 600@450$ 高压旋喷桩止水,但由于受地下水影响喷射混凝土效果均不理想,基坑局部发生透水现象,改 $\phi 800@400$ 大直径深层旋喷搅拌桩后基坑南面开挖至坑底土层均处于干燥状态。基坑位移量均满足设计要求,图5为开挖后南侧天然地基民宅实景。

根据基坑设计监测要求,对基坑进行的监测项目有位移沉降观测、测斜观测、周边建筑物位移沉降观测以及内支撑轴力监测等。监测数据表明(表2),桩身最大位移实测值接近于设计值,桩顶最大沉降实测值小于计算值,支撑轴力计算值同样小于



图5 基坑开挖后南侧天然地基民宅实景

或接近于实测值,其原因如下。

(1) 岩土强度变化。土压力计算按《建筑基坑

支护技术规程》(JGJ 120-99)1.1 节规定进行。在支护桩背土侧采用大直径搅拌桩其水泥掺量及转速等控制因素均优于普通小直径搅拌桩,搅拌后搅拌附近范围内岩土强度增加明显,使主动土压力降低,反映至各项监测结果实测值均略小于设计值。

(2) 计算模型差异。现行深基坑支护设计采用弹性地基梁法对墙后土压力未考虑支护结构位移的影响,对墙前开挖面以下也仅考虑位移的线性影响。这与实际情况有一定的差异。

(3) 大直径搅拌桩强度影响。高强度搅拌桩可近似于增加支护桩的作用,可抵消一部分的土压力,以减小支护桩桩身弯矩。

表2 基坑围护结构计算值和实测值对比

剖面	位移测点	沉降测点	轴力测点	桩身最大位移/mm		桩顶最大沉降/mm		第一道内支撑轴力/kN	
				计算值	实测值	计算值	实测值	计算值	实测值
西南 2-2	WY3	SM3	L3	14.09	10.7	18	7.6	4254	2993
西北 5-5	WY6	SM6	L7	17.34	9.6	24	7.84	3894	1515
东 6-6	WY9	SM9	L8	16.06	14.0	25	9.61	4086	899
南 10-10	WY15	SM15	L2	18.87	17.7	26	14.17	4520	3556

## 5 结论

(1) 基坑支护采用  $\text{Ø}1000@1150$  密排钻(冲)孔桩加二道钢筋混凝土角撑+西北侧中段(出土口)二道预应力锚索支护,桩后设密排大直径旋喷搅拌桩(专利技术)作为连续止水帷幕设计方案是合理、可行和安全的。

(2) 大直径旋喷搅拌桩在砂层较厚地段施工,每台班成桩施工 6~7 根,根据 3 根桩进行抽心检测结果,强度达到设计要求。

(3) 大直径旋喷搅拌桩止水帷幕效果好,有效阻止南侧六栋天然地基民居住宅楼地基基础沉降和变形。

(4) 二道钢筋混凝土角撑受力均衡,支撑设计截面第一道混凝土角撑轴力最大 4410 kN,接近设计值。

(5) 西北侧中段(出土口)第二道预应力锚索进入红色砂岩,锚固力大,基坑变形小,有利出土,降低

成本。

(6) 6~7 月地铁四号线北延线隧道左、右线盾构施工顺利安全从场地基坑下方穿过。

(7) 大直径旋喷搅拌桩止水帷幕施工工艺,可在旧城区、临近基坑周围有天然地基民宅和较多地下管线施工时推广运用。

## 参考文献:

- [1] H·F·温特科思. 基础工程手册[M]. 方晓阳, 钱鸿绍, 叶书麟, 等译. 北京: 中国建筑工业出版社, 1983.
- [2] 曾国熙. 地基处理手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1988.
- [3] 沈杰. 地基基础设计手册[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1988.
- [4] 史佩东. 实用桩基工程手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999.
- [5] JGJ 79-2002, 建筑地基处理技术规范[S].
- [6] 胡运杰, 卢信雅. 大直径搅拌桩在地基加固中的发展[M]. 长沙: 湖南大学出版社, 2002. 60-70.
- [7] JGJ 120-99, 建筑基坑支护技术规程[S].