

全套管钻孔咬合桩在临近地铁基坑工程中的应用

朱芝同, 宋志彬, 冯起赠, 和国磊

(中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000)

摘要:以苏州某商业大楼咬合桩的施工为例, 介绍全套管钻孔咬合桩在临近地铁基坑支护工程中的应用情况以及咬合桩施工技术要点。施工结果表明, 全套管钻孔咬合桩对周围环境影响小, 对地层扰动小、施工快、造价低, 在苏州软土及高水位土层基坑支护中具有广阔的应用前景。

关键词:全套管; 钻孔咬合桩; 基坑支护; 施工技术

中图分类号: TU473 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2014)07-0065-05

Application of Drilling Occlusive Pile with Full Casing in Foundation Pit Engineering for Adjacent Subway in Suzhou/ZHU Zhi-tong, SONG Zhi-bin, FENG Qi-zeng, HE Guo-lei (The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China)

Abstract: Taking the construction of an occlusive pile in Suzhou as the example, the paper introduces the application of drilling occlusive pile with full casing in foundation pit support engineering for adjacent subway and the main points of construction technology. The results show that the drilling occlusive pile with full casing has advantages of little influence on environment, small disturbance to the ground, rapid construction and low cost, which has a broad application prospect for foundation pit support engineering in soft soil and high water level ground of Suzhou.

Key words: full casing; drilling occlusive pile; foundation pit support; construction technology

0 前言

全套管钻孔咬合桩作为一种新型的基坑支护施工工法, 具有防渗能力强、无需泥浆护壁、充盈系数小、工程造价低等优点, 这种支护结构既具有良好的止水性能, 又可作永久性挡墙使用, 在地下工程中可以起到“二墙合一”的功效。在我国, 目前这种新型支护结构已经被广泛采用于深基坑排桩支护结构中。1999 年深圳地铁一期工程会展中心站至购物公园站区间隧道的支护结构是钻孔咬合桩在我国应用的第一个工程实例, 随后该工法在上海、杭州、广州、天津等城市建设中得到进一步的推广与应用。

苏州地区首次采用咬合桩作为支护结构成功应用于地铁一号线南施街站, 在后续城市建设, 如苏州站改造工程、地铁二号线车站基坑支护等工程中, 咬合桩也得到了有一定程度的应用, 但该地区可借鉴的咬合桩施工经验仍较少, 在苏州未来的城市建设中, 全套管钻孔咬合桩施工技术仍有较大的发展与应用空间。2013 年 6 月, 在临近苏州地铁二号线施工的商业大楼深基坑支护中采用了全套管咬合桩支护技术。

1 工程概况

拟建商业大楼位于苏州市干将路与广济路交叉口

口, 由 10 层综合楼、5 层裙楼及整体 2 层地下车库组成, 基坑面积约 4118 m², 周长 338 m。

该工程西、南两面紧临主干道, 基坑西侧距离地铁 2 号线仅有 8 m, 东侧为已有建筑, 现场平面布置如图 1 所示。如何在紧邻地铁线路进行基坑施工是本工程的特殊性和施工难点。

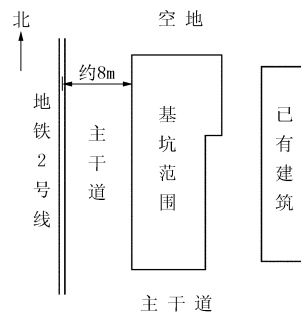


图 1 现场平面简图

1.1 工程地质条件

拟建商业大楼位于广阔的冲湖积平原, 水系发育, 地势平坦, 第四系覆盖层厚度较大, 属第四系(Q₄)沉积地层。各土层水平向分布较稳定, 水文地质条件较复杂, 人类工程活动对地质环境的扰动和作用强烈, 地质环境条件复杂程度属中等地区。

根据钻探揭露, 各土层分布特征自上而下简单

收稿日期: 2014-02-18

作者简介: 朱芝同(1986-), 男(汉族), 山东菏泽人, 中国地质科学院勘探技术研究所助理工程师, 地质工程专业, 硕士, 从事勘探设备研究工作, 河北省廊坊市金光道 77 号, zzt3066@163.com。

描述如下:

- ①人工填土,层厚0.8~1.8 m,杂填土为主;
- ②褐黄色粘土,软~可塑,层厚2.5~3.5 m;
- ③褐黄色粉质粘土,软~可塑,层厚2.0 m左右;
- ④棕黄、灰色粉细砂,稍密~中密,层厚5~8 m;
- ⑤灰色粉质粘土,软塑,层厚9~11 m;
- ⑥暗绿色粘土,硬塑,局部可塑,层厚1~4 m;
- ⑦灰绿色粉质粘土,软塑~可塑,层厚2.5~8

m。

根据地下水埋藏特征,该地区存在以下类型地下水:潜水、微承压水、承压水。潜水赋存于①杂填土中,富水性差,稳定水位0.5~1.5 m。微承压水赋存于④粉细砂中,具有弱承压性,稳定水位5.5~8.5 m。承压水埋深较深,对基础影响不大。

总体上场地的地层分布较稳定,对钻孔孔壁造成不利影响的主要为④层饱和粉细砂以及⑤层饱和含水软塑的粉质粘土层,其中④层透水性强,在动水压力下容易发生流砂现象,⑤层土较为软弱,极易造成孔壁坍塌,对孔壁稳定性构成威胁。

1.2 基坑开挖对地铁隧道的保护要求

商业大楼地下室的外墙距已有2号线地铁中心线8 m,距隧道结构外侧为6 m,地铁设计方对于基坑支护结构的设计及施工要求为:

(1)地下结构水平方向至地铁结构的净距保证大于地铁结构的宽度,竖向的净距应保证隧道结构的初期支护和预加固措施不被破坏;

(2)基坑开挖期间应采取措施保证地铁结构不会产生偏压导致侧向位移,保证地铁结构不会产生上浮和沉降;

(3)施工时不能破坏地铁结构的防水。

2 基坑支护结构设计

2.1 基坑支护方案选择

基坑底板所处地层为粘土层,土层强度差,地下水位高,对坑底的地基稳定和基坑变形影响较大,这就要求选用的支护结构既要有较大的刚度,能承受水土压力,又要有较理想的止水能力,同时还要满足对地铁隧道结构的保护要求。根据苏州软土地基的特点,综合考虑基坑周边环境条件、开挖深度、工程地质和水文地质条件、施工工期及工程造价等诸多因素,经过多种方案对比(见表1),在靠近地铁2号线的基坑西侧选择全套管钻孔咬合桩作为主体支护结构形式。

钻孔咬合桩支护结构和施工工法具有以下优点:

表1 支护方案经济技术对比一览表

支护方案	对地铁周边土体的扰动	占用场地情况	城市环境影响	经济性
钻孔灌注桩+止水帷幕	砂层塌孔,对地层有扰动	较大	泥浆污染	较经济
地下连续墙	砂层成槽时,对地层有扰动	较大	泥浆污染	造价高
全套管钻孔咬合桩	没有扰动	较小	无泥浆污染	较经济

(1)全套管钻孔咬合桩既可挡土又可止水,可靠性高,能够满足基坑的变形控制要求,且比采用地下连续墙造价低;

(2)采用全套管钻孔咬合桩,施工过程对隧道周边的土体扰动最小,可有效地控制地铁隧道结构的变形和沉降;

(3)全套管钻孔咬合桩占用场地小,施工速度快,对环境的影响小,适合城市施工。

2.2 支护结构设计

基坑主体采用全套管钻孔咬合桩+钻孔灌注桩作为支护结构,并设置2道钢筋混凝土梁作为支撑体系。基坑西侧临近地铁隧道侧采用单排咬合桩作为支护结构,支护结构采用 $\varnothing 1000@750$ 钻孔咬合桩,二根钢筋混凝土桩之间采用素混凝土桩作为止水帷幕,钢筋混凝土桩与素混凝土桩咬合250 mm,钢筋混凝土强度等级C30,素混凝土强度等级C20,桩长24 m。桩身素混凝土采用缓凝时间为60 h的超缓凝混凝土,抗渗等级为S8。其他各侧采用 $\varnothing 850$ mm钻孔灌注桩,净间距200 mm,混凝土强度等级为水下C30。

3 全套管钻孔咬合桩施工

3.1 施工设备

全套管钻孔咬合桩施工设备分为2部分,如图2所示。主机为我所生产的CGJ1500冲抓型全套管搓管机,并配有CGB110型独立液压泵站。搓管机设有可升降液压卡盘,能往复搓动、起拔及下压套管。配套设备使用履带吊机用于搓管机的工作反力装置和牵引移位以及冲抓斗的冲抓作业,成桩时吊放钢筋笼、提升导管,其主卷扬提升力300~500 kN,副卷扬提升力50~100 kN,具备快放功能^[1,2]。

3.2 全套管搓管机施工流程^[3]

全套管冲抓成孔灌注桩施工流程分为全套管钻进成孔和全套管灌注成桩2个阶段。这2个阶段紧密相连,套管钻进成孔和套管起拔灌注一次完成。

3.2.1 全套管钻进成孔阶段

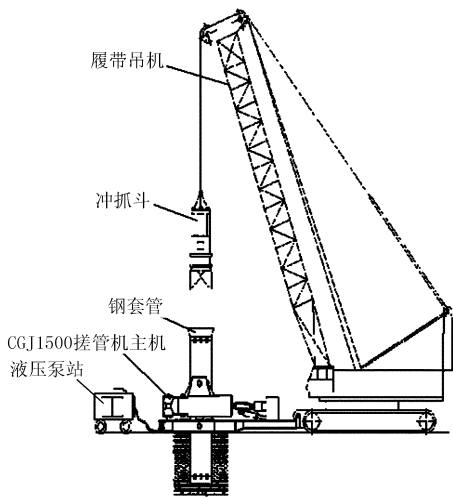


图2 CGJ1500 冲抓型全套管设备示意图

设计桩深→测量孔深→清除虚土→灌注超缓凝混凝土逐次拔管→A1 素桩灌注完成→搓管机对 A2 桩位→取土,搓管钻进至设计桩深→A2 素桩灌注完成→搓管机对 B1 桩位→冲抓取土,搓管钻进至设计桩深→吊放钢筋笼→灌注混凝土逐次拔管→拔出全孔套管灌注完毕→B1 桩灌注完成→钻机移位→搓管机对 A3 桩位。

3.4 施工工艺

3.4.1 导墙施工,钻机就位

为了提高钻孔咬合桩孔口的定位精度与稳定机台,在桩顶上部设混凝土导墙。咬合桩导墙采用 C20 厚 200 mm 钢筋混凝土结构,内配 $\varnothing 16@200$ 钢筋双向布置,导墙形式如图 4 所示。将桩点位反到导墙顶面上,作为钻机定位控制点。移动钻机至正确位置,使钻机上卡盘中心对准导墙孔位中心。

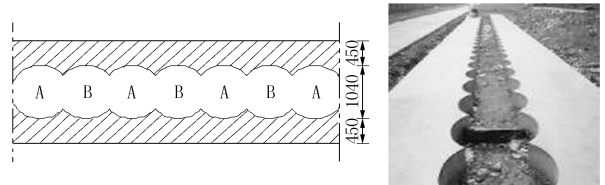


图4 钻孔咬合桩施工导墙图

3.4.2 取土成孔

(1)选择套管。全套管钻机用的套管长度规格一般分为 1,2,4,5 和 6 m 不等。钻机就位后,为保证孔的垂直度,第一节套管要长些。

(2)第一节套管就位完成后,搓管机夹持油缸夹紧套管,搓管油缸将套管在一定角度内顺时针和逆时针方向转动,同时压拔油缸下压套管,剪切土体,套管逐渐压入土中。压拔油缸下压一次油缸行程为 300 ~ 500 mm,每下压一次,用水平及竖向调直油缸进行纠偏。

(3)取土成孔。当套管压入土层深度 2 ~ 4 m 时,使用冲抓斗或旋挖钻机从套管内取土,一边取土,一边下压套管,直至第一节套管全部压入土中(为便于接管,套管须高出导墙顶面 1.2 ~ 1.5 m)。连接第二根套管,调直精度,边挖掘,边摇动,压入第二节套管。采用冲抓斗成孔过程中,始终保证套管超前 2 ~ 4 m 以上。

(4)清孔。根据套管长度,推断孔深到位后,停止抓土,提出抓斗用测绳进行准确测量,当孔深达到设计要求后,及时清除孔内虚土和沉渣。

3.4.3 吊放钢筋笼

钢筋笼经检查合格后用吊机吊直后缓慢放入套

(1)搓管机对中桩位,钻机搓动套管的同时下压套管,实现套管快速钻入地层。

(2)套管钻入地层的同时,利用吊机沿套管内壁释放冲抓斗至孔底实现冲抓取土,一边在套管内冲抓取土一边钻进套管,当遇到孤石(或地下障碍物)时,套管靴边切割边压住孤石。

(3)可利用冲锤在套管内冲击破碎孤石(或地下障碍物),套管内的孤石部分被快速冲碎,随着套管的持续钻进,套管外的孤石部分被挤入孔壁;然后利用抓斗将套管内被冲碎的孤石捞出。这样边冲抓边钻进套管,直至将套管钻至设计桩深,套管内的岩土全部被抓取出来,最后清理孔底沉渣终孔。

3.2.2 全套管灌注成桩阶段

(1)终孔后吊机下入钢筋笼和灌注管,一边灌注混凝土一边起拔套管。

(2)灌注完毕的同时套管也全部拔出,成桩结束。

3.3 施工工序及工艺流程

如图 3 所示,全套管咬合桩总的施工原则是先施工 A 序列桩(素混凝土桩,简称 A 桩),后施工 B 序列桩(钢筋混凝土桩,简称 B 桩),其施工工序是: A1→A2→B1→A3→B2→A4→B3。

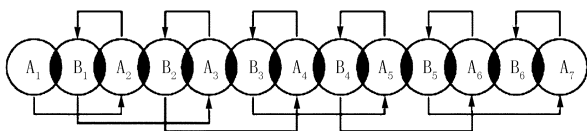


图3 全套管咬合桩施工工序示意图

全套管咬合桩具体施工工艺流程:平整场地,测放桩位→施工混凝土导墙→搓管机对 A1 桩位→压入第一节套管→校验垂直度→管内取土搓管钻进至

筒内,避免钢筋笼碰撞套管内壁。钢筋笼下到孔底标高后,应对钢筋笼进行定位、固定,防止钢筋笼偏移,影响桩的质量。

3.4.4 灌注混凝土

钻孔咬合钢筋桩(荤桩)采用普通混凝土灌注,素桩采用超缓凝混凝土灌注(初凝时间 ≤ 60 h)。孔内有水时,采用水下混凝土灌注施工,孔内无水时,采用干孔灌注施工,此时须振捣。灌注过程中应确保混凝土高出套管 ≤ 2 m,防止上拔过快造成断桩事故。

3.4.5 拔管成桩

一边灌注混凝土一边拔套管,应始终保持套管底低于混凝土面2 m以上。

3.5 施工关键技术

3.5.1 咬合厚度的确定

相邻桩之间的咬合厚度 d 根据桩长来选取,桩越长咬合厚度越大,桩越短咬合厚度越小,并保证桩的咬合厚度 ≤ 50 mm,按下式进行计算:

$$d - 2(kl + q) \geq 50$$

式中: l —桩长; k —桩的垂直度; q —孔口定位误差允许值; d —钻孔咬合桩的设计咬合厚度。

3.5.2 孔口定位误差

为保证钻孔咬合桩底部有足够厚度的咬合量,应严格控制孔口的定位误差。通过做导墙可有效提高孔口的定位精度,减小定位误差。孔口定位误差的允许值可按表2进行选择。

表2 孔口定位误差允许表 /mm

咬合厚度 /mm	桩 长/m		
	< 10	10 ~ 15	> 15
100	± 10	± 10	± 10
150	± 15	± 10	± 10
200	± 20	± 15	± 10
250	± 20	± 15	± 15

3.5.3 缓凝时间的确定

A桩混凝土缓凝时间应根据单桩成桩时间来确定,单桩成桩时间与地质、桩长、桩径和钻机能力等因素有关。A桩混凝土缓凝时间可根据下式来计算:

$$T = 3t + K$$

式中: T —A桩混凝土的缓凝时间(初凝时间); K —储备时间,一般为1~2t; t —单桩成桩时间,一般取12 h。

一般超缓凝混凝土初凝时间 > 60 h,为满足这一要求,混凝土配合比经现场试验后确定。

3.5.4 桩的垂直度控制

一般桩的垂直度标准为3‰,成孔过程中要控制好桩的垂直度,要做好以下3个环节的工作。

(1)套管的顺直度校正。首先检查和校正单节套管的顺直度,然后将配置的套管全部连接起来进行整根套管的顺直度检查,总长15~25 m套管的顺直度偏差 < 10 mm。

(2)成孔过程中桩的垂直度检测。在地面选择两个相互垂直的方向用经纬仪或测锤监测地面以上部分套管的垂直度,发现偏差及时纠正。每节套管压入土层后,都要用测斜仪或“测环”进行孔内垂直度检测,不合格时须进行纠偏。

(3)成孔过程中如发现垂直度偏差过大,必须及时采用全套管钻机油缸进行纠偏。

3.6 施工效果

CGJ1500型搓管机采用恒功率变量双泵分别驱动搓管油缸和压拔油缸,功率损失小,系统效率高,套管的搓动和压拔同时动作互不干扰,提高了搓管机现场处理事故的能力;搓管机独有的快速搓管功能显著提高了套管钻进能力和成桩效率。商业大楼咬合桩支护结构于2013年7月初开始施工,截至8月中旬共施工咬合桩220根,施工效率高,经检测桩身垂直度高、桩间咬合好、桩身质量优良、止水效果好,达到了桩基础设计要求。开挖后的咬合桩施工效果见图5。



图5 钻孔咬合桩的施工效果

咬合桩施工期间,通过对临近路面、地下管线以及地铁隧道等构筑物的密切监测分析,构筑物特别是地铁隧道的沉降和变形都在允许范围值之内。

施工实践表明,全套管咬合桩支护结构既能保证基坑边坡的稳定又不影响建筑物、构筑物特别是地铁隧道的正常使用,全套管咬合桩支护结构在该工程中的应用是非常成功的,解决了施工难题,施工质量可靠。咬合桩作为基坑支护结构具有独特的优势,适合于苏州的地质条件。

4 施工中管涌的处理

在苏州地区含地下水的砂层和软土中钻孔施工,套管的摇动会使周围地基土松软,而且套管内外压力差的存在会引起地下水和砂土的流动,特别是孔底极易发生管涌,造成孔底隆起而发生超挖,管涌严重时可将套管卡住,使套管既压不进去又拔不出来,最后只能将套管废弃。受管涌影响范围内的土体可能会产生较大沉降,并有可能引起邻近运营隧道土体的沉降与变形。

为防止管涌的出现,随着开挖深度的增加,套管内土体所需的预留厚度也要增大。特别是遇到含水砂层时,如果钻机的钻进能力许可,可先将套管一次性穿过砂层后再用抓斗抓取管内砂土^[4]。套管内土体的预留厚度可以近似采用基坑抗隆起公式计算,对于一般的冲洪或冲湖沉积地层,不同开挖深度时套管内土体的预留厚度理论值见表3所示^[5]。在实际施工中,预留土厚度一般只能控制在2~3 m,若钻机钻进能力高,预留土厚度还可更大,CGJ1500型搓管机在遇到砂层时,套管超前钻进8 m之多,也即套管内预留土的厚度达到了8 m,成功克服了砂层管涌难题,显示了其强大的钻进能力。

表3 不同深度的预留土厚度

开挖深度/m	预留厚度/m
4	0.02
8	1.9
16	6

5 结语

(1)对于地形条件限制较大的基坑或施工场地周边建筑密集特别是紧邻地铁的基坑,采取全套管钻孔咬合桩支护结构,可以很好地解决基坑施工中遇到的难题。在类似地质条件以及有特殊要求的基坑支护工程中,可以借鉴采用。

(2)全套管钻孔咬合桩在苏州地区高水位条件下饱和粉细砂层中施工,总体上难度较大,管涌问题比较突出,施工控制较难,超灌和拔桩事故多数与管涌有关,解决好管涌问题是关键,要提前做好预案。

(3)全套管钻孔咬合桩垂直度高,防水效果好,成孔无泥浆作业,并可保证无塌孔、振动小,易于文明施工,可减少对周边环境的影响。但在该支护结构施工中,需要控制的关键技术很多,对施工人员的要求较高,需要较高的施工技术和管理水平。

参考文献:

- [1] 宋志彬,冯起赠,和国磊,等. CG型全套管搓管成孔设备的研究和应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(S1):69-70.
- [2] 宋志彬,冯起赠,王年友,等. CG型全套管冲抓设备及施工工艺[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(9):48-50.
- [3] 宋志彬,冯起赠,许本冲,等. 全套管钻进机理和全回转套管钻机的研究[J]. 建筑机械,2013,(23):87-91.
- [4] 张治纯,程森德,何建明,等. 咬合桩在含承压水地层施工中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(9):45-47.
- [5] 周顺华,郑剑升,何泽刚,等. 冲淤沉积层中新型咬合桩工法及应用[J]. 中国铁道科学,2006,(4):58-59.

(上接第64页)

3 结语

本文是按变形控制思想对CFG桩进行设计,实质就是先计算未处理前地基的变形量,然后计算需要增大多少倍压缩模量才能满足设计要求,CFG桩的作用就是提高地基的压缩模量。设计步骤是首先确定允许的变形量,接着确定比例系数,然后就可以推出CFG桩加固前后的压缩模量比,从而得到承载力特征值,最后计算所需桩数。在设计时,若变形量满足要求,一般承载力也能满足要求;若不满足要求,则对桩径、桩间距等参数进行调整。

CFG桩以其优越的性能在诸多环境中都取得了良好的应用。本工程的实践表明,在卵石地层中,通过埋设钢护筒及使用合适的旋挖钻头,能够较好

地完成CFG桩的成孔施工,进而保证CFG桩的质量。

参考文献:

- [1] 龚晓南. 地基处理技术与展望[M]. 北京:中国水利水电出版社,知识产权出版社,2004. 247-273.
- [2] Yoshit Maeda, Kiyoshi Omine. Ground Foundation Method In Soft Ground[A]. 22nd US-Japan Bridge Engineering Workshop[C]. Washington US:2006.
- [3] 阎明礼,张东刚. CFG桩复合地基技术及工程实践[M]. 北京:中国水利水电出版社,2001.
- [4] 龚晓南. 复合地基理论及工程应用[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2002. 173-182.
- [5] GB 50007-2011, 建筑地基基础设计规范[S].
- [6] 吕军斗,田文杰. 旋挖钻机在无水砂卵石地层围护桩施工中的应用[J]. 建筑技术,2009,40(11):1010-1012.