

复合地层采用常规旋挖钻施工咬合桩技术研究

周晓峰 方金帅 郭瑞蛟

中交隧道工程局有限公司 江苏南京 210001

摘要: 为了研究在富水砂层和强风化、中风化泥质砂岩中加快地铁车站围护结构施工进度,同时为围护结构施工提供一种新的施工思路,依托佛山地铁2号线工程沙岗站的局部主体围护结构施工的新思路,对沙岗站主体结构局部采用常规旋挖钻施工咬合桩作为基坑支护结构的施工实例,探索研究在砂层和中等风化岩层的复合地层中施工的可行性。结果表明:在富水砂层和风化岩层并存的地质条件下,采用常规旋挖钻施工咬合桩具有施工进度快、止水效果好的优点;基坑开挖后,围护结构水平位移、地面沉降等监测实测数值与周边地下连续墙的变形数据基本一致,变形较小,因此该方法具有较好的可靠性,也是一种围护结构施工的新思路。

关键词: 富水砂层; 风化岩层; 常规旋挖钻; 咬合桩; 监测变形

一、引言

近些年来,地铁建设快速发展,地铁线路一般会有限穿过人口密集区域,为了方便乘客出入,地铁车站多采用浅层埋设的方案,为方便施工、加快施工进度地铁车站多采用明挖顺做法施工。

对于明挖顺做法施工的地铁车站,围护结构是基坑工程的重要组成部分,其设计的好坏直接影响着整个基坑工程的安全性。地铁车站多处于人员密集场所,周边配套设备较完善,管线迁改、征地拆迁等影响施工进度的因素较多,因此地铁建设在施工过程中通常面临工期紧张的情况。在保证基坑和基坑周围环境安全的前提下,怎样优化围护结构形式加快施工进度是达到上述目的的一个重要条件。

佛山地铁2号线工程沙岗站受管线迁改等前期工程影响,施工工期十分紧张,将局部围护结构形式由地下连续墙调整为咬合桩,咬合桩的施工一般采用全套管钻机施工,该工艺较为成熟且效果较好。由于受沙岗站现场施工场地条件、资源条件及进度计划限制,拟定采用

常规旋挖钻进行咬合桩施工,并附加其他止水措施,以保证基坑安全。通过对施工过程的控制,研究该施工方法在富水砂层及风化岩层地质条件中,在保证基坑安全、提高施工进度等方面具有可行性,同时也为咬合桩的施工提供了新的思路。

二、工程概况

沙岗站为佛山市城市轨道交通2号线(一期)工程中间站,车站总长度约460m,标准段宽度为19.2m,基坑深17.5m,车站采用明挖顺筑法施工。

沙岗站车站主体围护结构采用800mm厚地下连续墙、 $\phi 1000@1150$ 钻孔灌注桩,由于受前期工程影响,施工场地及施工工期不适宜采用地下连续墙施工,为加快施工进度,局部地下连续墙调整为咬合桩,桩长约21m、桩体深入基底约4.5m,咬合桩采用直径1000mm、间距650mm荤素间隔布置,钻孔桩外侧设置 $\phi 550@400$ 单轴密排水泥搅拌桩止水。基坑内共设置三道支撑,第一道支撑为钢筋混凝土支撑,第二、三道为直径800mm、壁厚16mm钢管支撑。咬合桩平面布置及大样图见图1、图2。

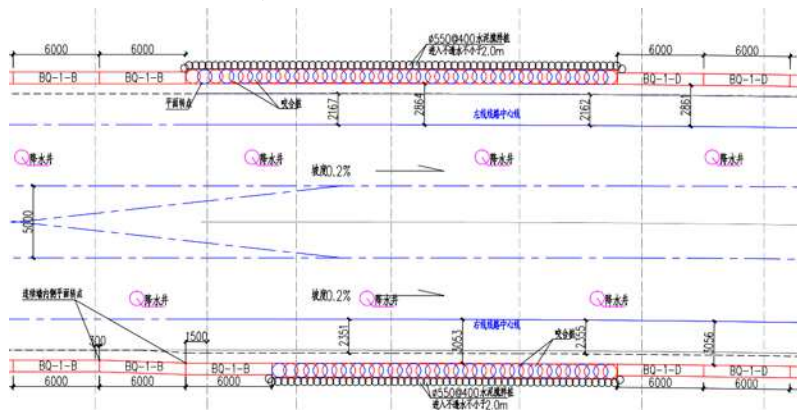


图1 咬合桩平面布置图

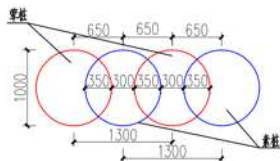


图2 咬合桩平面布置大样图

咬合桩范围内地质情况由上及下依次为杂填土层、中粗砂层、淤泥质粉细沙层、粉细沙层、全风化泥岩、强风化砂岩、中风化砂岩，基底位于中风化砂岩中，地质情况较为复杂，具体见图3，主要土层物理力学参数如表1。

地下水位埋深约2.2m，场地地下水主要有二种类型：一是第四系地层中的松散岩类孔隙水，孔隙水主要赋存于第四系全新统海陆交互沉积层(Q4mc)淤泥质粉细砂(地层代号2-2)、淤泥质中粗砂(地层代号2-3)、第四系上更新统~全新统冲积-洪积层(Q3+4al+pl)粉细砂(地层代号3-1)、中粗砂(地层代号3-2)中，水量丰富，为车站的主要地下含水层，局部地段因受上下相对隔水层的阻隔，略具承压性；另一类为基岩裂隙水，主要赋存于强、中等风化带中，具有微承压性，但由于基岩裂隙发育无规律且不均匀，且岩石裂隙多不贯通，相比砂层含水量小得多，本站基本可忽略基岩裂隙水影响。车站勘察期间地下水位埋深2.20~4.20m，水位高程1.23~4.47m。

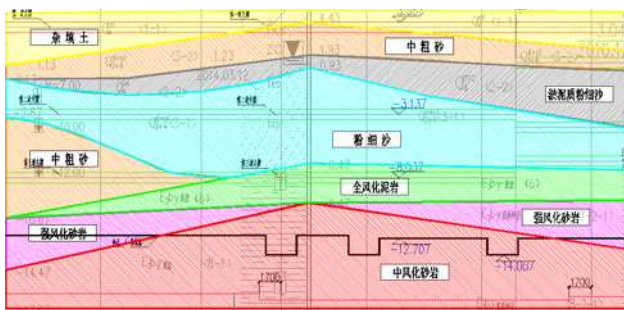


图3 咬合桩位置地质纵剖图

表1 主要土层物理力学参数

| 土层 | 厚度/m | 重度/(kN/m ³) | 天然状态下单轴极限抗压强度(MPa) | 钻(冲)孔桩桩侧摩阻力特征值(kPa) | 钻(冲)孔灌注桩桩端阻力特征值(kPa) |
|--------|---------|-------------------------|--------------------|---------------------|----------------------|
| 杂填土 | 1~4 | 18.3 | | | |
| 中粗砂 | 1~7.8 | 19.5 | | 25 | |
| 淤泥质粉细沙 | 0~4.3 | 18.5 | | 15 | |
| 粉细沙 | 2.9~7.4 | 19 | | 15 | |
| 全风化泥岩 | 0~3 | 19.8 | | 50 | 700 |

续表:

| 土层 | 厚度/m | 重度/(kN/m ³) | 天然状态下单轴极限抗压强度(MPa) | 钻(冲)孔桩桩侧摩阻力特征值(kPa) | 钻(冲)孔灌注桩桩端阻力特征值(kPa) |
|-------|---------|-------------------------|--------------------|---------------------|----------------------|
| 强风化砂岩 | 0~4 | 22.3 | 9 | 90 | 1000 |
| 中风化砂岩 | 1.8~7.5 | 24 | 32 | | |

三、咬合桩施工工艺及资源配置

3.1 总体施工顺序

咬合桩是需要桩与桩之间形成相互咬合排列的一种基坑围护结构，桩的排列方式为一条不配筋的素混凝土桩(A桩)和一条钢筋混凝土桩(B桩，也称“荤桩”)间隔布置^[1]。施工时，先施工A桩，后施工B桩，在A桩混凝土初凝后、终凝前完成B桩施工，沙岗站咬合桩施工顺序如图4。具体每根钻孔桩的施工工艺流程，主要为埋设护筒→钻进→泥浆护壁→成孔→清孔→安装钢筋笼(A桩为素桩、因此无此步骤，仅B桩有此步骤)→灌注混凝土→进入下一循环，基本与常规旋挖成孔灌注桩施工流程一致，工艺流程较为成熟，故此处不再赘述。

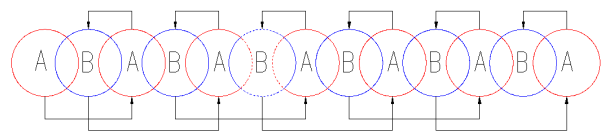


图4 咬合桩施工顺序图

3.2 资源配置

主要施工机械设备为金泰SH360常规旋挖机1台，用于钻孔施工；泥浆泵1台，用于泥浆循环；汽车吊1台，用于钢筋笼吊装；徕卡TS11R5001666078全站仪1台，用于桩位测设及旋挖钻机钻杆垂直度检测；其他配套小型机械设备。

为保证泥浆制备质量，泥浆制备材料主要采用优质粘土、膨润土、CMC羧基纤维素或Na₂CO₃纯碱等材料。

混凝土采用常规C35水下混凝土，钢筋按照设计储备材料。膨润土等泥浆制备材料。

3.3 施工过程质量控制重点

(1) 咬合桩的施工需要采取措施保证桩体与桩体之间的咬合效果，防止桩体之间出现缝隙、空隙等缺陷，这是确保咬合桩完全发挥围护结构支护作用的最主要的控制点，为此施工中咬合桩的每根桩体均需具有较高的垂直度和桩位的准确性。沙岗站施工中采取以下措施，对桩体的垂直度和桩位准确性进行控制。

钻机就位之后,首先采用全站仪对旋挖钻机的钻杆垂直度、钻头的中心位置进行校核,钻杆垂直度偏差不得大于1%,桩位偏差不得大于50mm^[2],此偏差数据限制了咬合桩的设计咬合宽度至少应为250mm,由于此施工方法在佛山地区首次使用,尚无其他案例借鉴,因此为确保围护结构的支护效果,防止其他不利因素出现,为后续施工造成影响,沙岗站咬合桩施工时采用咬合宽度为350mm(如图2)。

从地质情况看,桩体上部所处地层均为素填土和砂层,钻进难度较低,垂直度通过钻孔前的校核,能够得到有效控制;砂层至下即进入到全风化~中风化岩层中,地层性质发生较大变化,且岩层面呈现倾斜状,根据以往钻孔桩相关经验,钻进至此处时,钻机受到的岩层压力、摩擦力等变化较大,极易出现偏斜现象,故钻进至岩层中时,需对钻杆垂直度及水平偏差需再次进行校核并降低钻进速度及钻进的油缸压力,缓慢钻进,防止因地层变化造成孔位倾斜或偏移,若发生偏移现象需及时进行调整。

(2) 砂层地段,严格控制泥浆比重,防止塌孔。一般情况下,咬合桩采用全套管钻机施工,由于有套管的跟进,钻进过程中可减少因泥浆效果不稳定造成塌孔的影响,但沙岗站施工采用常规旋挖钻施工,地层中砂层含量较大,因此,为防止塌孔,泥浆的制备是控制成孔质量的一大因素。实际施工过程中,造浆材料选用优质粘土及膨润土,再掺入适量CMC羧基纤维素或Na₂CO₃纯碱等外加剂,保证泥浆自始至终达到性能稳定、沉淀极少、护壁效果好和成孔质量高的要求。试验工程师负责泥浆配合比试验,对全部桩基的泥浆进行合理配备。实际控制泥浆指标如下:(1) 泥浆比重:入孔泥浆比重为1.2~1.3;(2) 黏度(s):18~22;(3) 含砂率(%):新制泥浆不大于4%;(4) PH值:应大于6.5;(5) 胶体率(%):不小于90%。

(3) 灌注混凝土采用常规的水下混凝土,控制相邻桩的施工时间。常规的咬合桩施工时,素桩(即A桩)先行施工,再进行荤桩施工,为便于后期荤桩(即B桩)施工时套管的压入,素桩的混凝土一般采用超缓凝混凝土。沙岗站工程在实施中,由于采用金泰SH360常规旋挖机进行钻孔,钻机最大扭矩250N·m。场内最硬岩层为中等风化砂岩,岩石天然状态下单轴极限抗压强度为32MPa,经现场实际测定,该种型号钻机在中等风化砂岩中亦可钻进,钻进速度约为1m/h,每根桩成孔时间约4个小时,结合咬合桩施工顺序,每施工完成1根素桩

需6个小时,待混凝土初凝后,间隔2个小时,共计8个小时;施工完成2根素桩和1根荤桩总时间约为22个小时,根据C35水下混凝土的强度的增长规律分析,此时首先施工的素桩的混凝土强度约为设计强度的40%,即14MPa,因此采用金泰SH360常规旋挖机施工咬合桩时,咬合桩混凝土可采用常规水下混凝土进行施工,不需要采取特别处理措施,为施工提供了便利条件。

(4) 严格控制荤桩灌注前清孔的质量。咬合桩施工,咬合部分的施工质量,重点在于荤桩的施工质量。荤桩后于素桩施工,荤桩混凝土灌注前孔内的泥浆质量是直接影响其与素桩混凝土的结合质量,泥浆比重太大、清孔不彻底、泥浆中含泥渣较多时,则荤桩与素桩之间易夹杂较厚的泥渣,在后续基坑开挖期间将会形成过水通路,造成基坑漏水现象;但是,由于沙岗站咬合桩施工部位的地层中砂层含量较高,若泥浆比重过小,则泥浆的护壁效果将会较差,易造成塌孔,从而导致断桩现象发生。因此,荤桩灌注混凝土前的清孔及泥浆指标的控制尤为重要,实践中将清孔后的泥浆指标定为如下:(1) 泥浆比重为1.1~1.15;(2) 黏度18s~20s;(3) 含砂率不大于6%。

其他控制要点如钢筋笼的制作和吊装、导管的拼装、混凝土的灌注时间、灌注速度等,与常规旋挖成孔灌注桩基本一致,此处不再赘述。

四、使用效果评价

4.1 施工效率对比

沙岗站共9幅地下连续墙调整为咬合桩,每幅地下连续墙长6m,调整为咬合桩之后,共81根钻孔桩,根据上文施工效率统计,每台设备每天可施工完成3根桩,理论计算共需27天,实际统计数据为25天。与此相对比,在同样地质条件下,地下连续墙施工,每幅地下连续墙需配备一台成槽机及两台冲击钻进行施工(成槽机主要用于开挖上层砂层及软土地段,下部全风化岩层、强风化岩层及中风化岩层,需用冲击钻进行冲孔,辅助成槽机成槽),由于后期采用冲击钻进行辅助成槽效率极低,根据现场统计,每幅地下连续墙施工完成需3~5天,理论计算工期共需27天至45天。因此在该种复杂地质条件下,利用常规旋挖钻施工咬合桩的方法,在施工效率方面较之于地下连续墙有较大提高,所需投入的施工设备及人力资源也更少。

4.2 围护结构变形对比

围护结构施工及基坑开挖过程中,通过在钻孔桩、地下连续墙内埋设测斜管,对围护结构垂直方向上的变

形进行监测对比分析,结果显示,桩体水平位移最终变形量均未超过30mm,个别桩体在施工过程中变形较大,但最终施工完成后变化平稳;在同样的地质条件和同样的支撑系统下,咬合桩的桩体变形与地下连续墙的墙体变形差异较小,如表2。

表2 咬合桩与地下连续墙变形统计表

| 序号 | 咬合桩 | | 临近地下连续墙 | | 备注 |
|----|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------|
| | 桩体水平位移监测点 | 累计变形量(mm) | 桩体水平位移监测点 | 累计变形量(mm) | |
| 1 | ZQT-14 | +23.15 | ZQT-13 | +20.77 | “+”代表变形向基坑内侧 |
| 2 | ZQT-15 | +22.77 | ZQT-16 | +24.42 | |
| 3 | ZQT-41 | +22.51 | ZQT-40 | +24.48 | |
| 4 | | | ZQT-43 | +21.90 | |

五、结语

基坑开挖过程中,在咬合桩施工段落总体止水效果较好,基坑的变形及各项监测数据也均在设计范围内,基坑未发生一般渗漏水现象。通过现场的实践检验,在上述设置的各项参数下,在类似地层中,利用常规旋挖钻施作咬合桩是可行的,并具有以下优点:

(1) 采用的施工方案较为简单、施工机械较为常规,较之地下连续墙施工,所投入的施工设备少、人力资源少,现场更容易组织与操作。本施工方法所采用的施工机械均为市场上较为普通的旋挖钻,且主要施工设备即为旋挖钻,施工工艺基本与常规旋挖成孔灌注桩一致,

因此施工人员、施工机械设备等施工资源容易配置。

(2) 在施工进度方面较之于地下连续墙施工,更能够加快施工进度,尤其是在工程量较大的情况下,这一优势更为明显。

(3) 比之全套管咬合桩施工,对桩体混凝土的要求稍低,全套管咬合桩施工用混凝土通常采用大量缓凝剂制作超缓凝混凝土进行施工,而本方法只需采用常规水下混凝土即可。

(4) 同时,与全套管咬合桩施工相比,也存在不足之处:桩体垂直度受机械设备影响,比全套管咬合桩有较大偏差,故需通过加大咬合宽度保证咬合效果,进而也导致混凝土浪费的现象。因此,如何提高钻孔桩的垂直度、总体的造价分析是后续需完善的方面。

参考文献:

- [1] 张忠凯. 全套管钻孔咬合桩工艺及单价分析[J]. 价值工程, 2017, 02 (2): 133-134.
- ZHANG Zhongkai. Technology and Unit Price Analysis of the Whole Borehole Casing Secant Pile[J]. Value Engineering, 2017, 02 (2): 133-134.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 地下铁道工程施工质量验收标准[S]. GB/T50299-2018.
- MOHURD. Standard for construction quality acceptance of metro engineering[S]. GB/T50299-2018.