

五轴水泥搅拌桩在码头工程软土地层中的应用

李志林

[摘要] 为提高码头工程水泥搅拌桩的施工效率，以广州某码头工程软土地基加固处理工程中的应用为例，提出五轴搅拌桩机施工工艺的五轴水泥搅拌桩参数、施工要点，并对三轴水泥搅拌桩、五轴水泥搅拌桩两种施工技术参数进行对比，结果表明：采用五轴水泥搅拌桩技术，以替代单轴、三轴水泥搅拌桩技术方案，在施工效率方面具有明显优势。

[关键词] 码头工程；五轴水泥搅拌桩；软土地层；效率

水泥搅拌桩因加固效果显著、施工效率较高等优势，被广泛应用在软土地区，包括基坑围护结构、止水帷幕及地基加固等方面。随着科学技术的进步，在施工领域出现了工效更高的五轴水泥搅拌桩施工机械。常见的搅拌桩机械多为单轴水泥搅拌桩、三轴水泥搅拌桩。单轴水泥搅拌桩由于成桩设备设计的问题，施工效率较低；三轴水泥搅拌桩施工工艺采用大灰水比设计，止水效果较好，可达到30m左右，但三轴水泥搅拌桩在成桩过程中易出现较大的溢浆现象，大量水泥成为置换土而被浪费。

赵春风等^[1]研究高效无置换智能化五轴水泥连续搅拌桩工法；郑赉济等^[2]介绍五轴水泥搅拌墙桩机结构、施工工艺等；黄伟群等^[3]探究砂性土采用五轴水泥搅拌桩做基坑止水帷幕的效果；周玉石^[4]、沈丹^[5]分析对比五轴水泥搅拌桩不同的成桩模式、与传统水泥搅拌桩的差异；洪冬明^[6]在富水深厚砂层中采用五轴水泥搅拌桩支护技术。近年来，该技术被广泛应用在地铁工程^[7]、基坑工程^[8-9]、水库大堤防渗工程^[10]等领域。然而在码头工程中使用五轴水泥搅拌桩技术较少见，本实例属于码头工程中软土地层处理的首次大规模应用，施工效果良好，可对类似工程建设的设计施工提供参考。

1 地质概况

某码头工程位于广州市珠江口，拟建的泊位工程结构采用钢管组合板桩结构，因此根据地质情况，锚碇桩前被动区、前墙板桩后分区进行水泥搅拌桩二次加固处理，其四周无障碍物，施工场地规则便利，具体处理宽度为35.75m~63.50m，深度为16m。地质报告揭示，自上而下主要有填土层，呈欠压实状，为软弱土层；海陆交互沉积地层以淤泥、淤泥质土为主，其厚

度大，含水率高，孔隙比大，压缩性高，强度低；陆域冲洪积地层中主要含淤泥质土、黏土层、松散及稍密砂层，其淤泥层强度低，承载力低，具高压缩性，为软弱夹层；河口冲积沉积地层和陆成冲积地层等。人工填土层至冲洪积地层上部的地层总体厚度约17m。因此场地内存在的淤泥、淤泥质土软土层以及部分强度较低、中等和高压缩性的黏土、粉质黏土层，是工程地基处理的主要土层。

2 五轴搅拌桩机选用

五轴搅拌桩机施工具有对周围地层影响小、抗渗性好、工期短、大深度、技术经济指标好等优点。由于码头工程工期紧张，工序繁多，移交出的工作面要衔接紧密，为了避免不必要的停工，杜绝产生安全和环保质量隐患，经综合考虑并协商业主单位提出采用五轴水泥搅拌桩工艺进行施工。所用的五轴搅拌桩机为JQA170/85-5型，如图1所示。



图1 五轴搅拌桩机设备

一般该型搅拌桩机施工速度快，整机功效高，自动化程度高，掘进能力强，其打桩架为全液压步履式，技术参数如下表1所示。

表1 五轴搅拌桩机技术参数		
序号	主要技术指标	技术参数
1	钻孔直径/mm	850
2	轴距/mm	600
3	最大钻孔深度/m	35
4	钻杆转速/（r·min ⁻¹ ）	14
5	钻杆直径/mm	273
6	立柱导轨中心距/mm	600×101.6
7	电动机功率/kW	45
8	立柱筒体直径/mm	1020
9	总重量/t	200

3 五轴搅拌桩机施工工艺

3.1 五轴水泥搅拌桩参数

采用五轴搅拌桩机施工，按5根水泥搅拌桩为一幅进行施工。根据设计要求，具体参数如下：格栅状布置φ850@600的五轴水泥搅拌桩，采用两搅两喷湿法工艺，纵横向搭接长度为250mm。桩体无侧限抗压强度：28d龄期强度不小于0.8MPa，90d龄期强度不小于1MPa，检验数量为总桩数的0.7%。水泥选用强度等级不低于42.5R的普通硅酸盐水泥，水泥掺入量16%，灰水比1.5。施工时，水泥搅拌桩下沉速度为0.6m/min~0.7m/min，提升速度为0.8m/min~0.9m/min，实际施工偏差幅度不宜偏大。

3.2 施工要点

因五轴搅拌桩机转位较为笨重，为避免频繁移动机位进行格栅状桩位施工造成的时间浪费，五轴搅拌桩机以5幅平行于钢管桩方向的水泥搅拌桩为一个区间，从靠近后墙钢管桩的桩位施工至前墙钢管桩桩位。施工过程中，将对管板桩进行位移观测，掌握水泥搅拌桩对管板桩的影响情况。水泥搅拌桩施工流程如图2所示。

（1）场地平整。五轴搅拌桩机施工前须先平整场地。场地平整的基本要求是在钢板铺垫条件下满足大型机械（五轴搅拌桩机重200t左右）带负荷行走。

（2）测量定位。对施工场地的基准点、基轴线及水准点进行复核；对于标定的基准点做好明显的标志和编号，并妥善保护；使用经纬仪和钢卷尺等，采用坐标法进行桩位区域边线的测定；对施工区域内的所有桩位进行测量定位，并做好明显、牢靠的桩位标志。同时做好测量记录，以便复核。

（3）就位对中。五轴搅拌桩机组装完成后，自行利用步履式行走系统移至桩位处，由专人负责统一指挥就位工作。桩机就位对中后平稳周正，其动力头、搅拌头及桩位三者的中心处于同一铅垂线上，搅拌头定位偏差不大于30mm。

（4）制备水泥浆。按设定灰水比拌制水泥浆液，制备好的浆液为防止离析、沉淀应不断搅动，每次投料后拌合时间不得少于3min。浆液制备好后在喷浆前倒入集料池内。施工过程中需对制备好的水泥浆进行不定时的检测，严格管控水泥浆的质量。

（5）喷浆搅拌下沉。先启动五轴搅拌桩机，其动力头沿导向架向下触土，钻杆带动钻头旋转强制切土，直至设计桩底标高，下沉速度按照0.6m/min~0.7m/min。下沉的同时开启送浆泵，通过3根中空钻杆向土体中喷水泥浆（3台泵选择BW250相同型号的泥浆泵，选用第三挡流量145L/min进行施工），同时通过另外2根中空钻杆送入高压空气促使固化材料与土体充分拌和，保证喷浆均匀。5根钻杆相邻钻杆正反向旋转切割、搅拌土体，搅拌桩机持续下沉至根部桩底设计标高，完成根部桩的“搅、喷、拌”过程。

（6）喷浆搅拌提升。下沉到达设计深度后，按0.8m/min~0.9m/min的提升速度边喷浆反转搅拌边提升钻杆，使浆液和土体充分拌合。桩机提钻前，应在桩底部喷浆停留30s，与桩端土充分搅拌。提钻至设计桩顶标高以上500mm后，停止搅拌和喷浆。

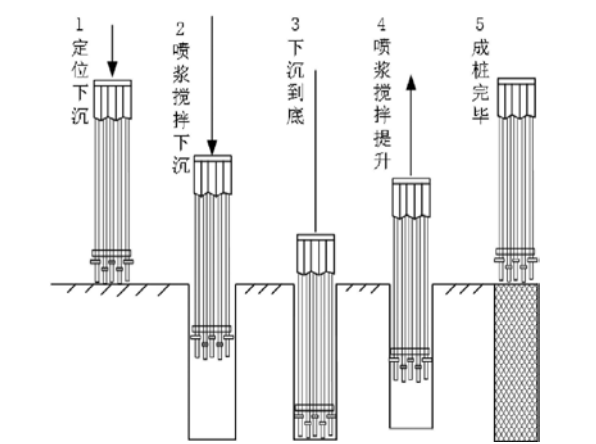


图2 五轴水泥搅拌桩两搅两喷示意图

（7）清洗机具、管路。每天施工完成停机后向集料斗中注入适量清水，开启灰浆泵，清洗管路中残余的水泥浆，直至基本干净，并将黏附在搅拌头的软土清洗干净。

(8) 移位。待深层搅拌机提出地面后,关闭浆泵,将桩机移至新的桩位,重复上述步骤进行下一根桩的施工。

4 施工工艺对比

为了更好说明五轴搅拌桩机的优势,在该码头工程项目中,也有三轴水泥搅拌桩施工的区域。根据设计要求,结合现场实际施工情况分析,将三轴水泥搅拌桩、五轴水泥搅拌桩两种施工技术参数进行对比,如表2所示。

表2 单轴、三轴、五轴水泥搅拌桩对比

工艺简称	直径及间距/mm	是否套打	成桩要求	单幅完成截面积/m ²
三轴	φ850@600	是	下沉速度0.60m/min~0.70m/min,提升速度0.80m/min~0.90m/min	1.49
五轴	φ850@600	否	下沉速度0.60m/min~0.70m/min,提升速度0.80m/min~0.90m/min	2.42

三轴搅拌桩因设计要求,每幅桩有效成孔约为3个圆柱体,同排施工原理与五轴水泥搅拌桩基本相同。五轴水泥搅拌桩需要试桩,其桩体质量好,经设计单位认可,实际每幅桩成孔如图3所示。

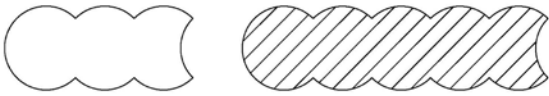


图3 三轴、五轴水泥搅拌桩每幅成孔对比图

由此可以看出,五轴搅拌桩机在施工效率方面具有明显优势,单幅施工5个桩体,每幅桩施打的有效截面积也明显增大。三轴搅拌桩机每幅桩成孔时间与五轴搅拌桩机基本一致。五轴水泥搅拌桩在施打过程中,移机次数明显减少,桩位偏差更易于控制。

五轴水泥搅拌桩施打总体减少了搭接区域内的重复注浆,减少了水泥消耗量,施工效率显著提高。根据实际效果测算(取中位数),按每24h为一个周期,五轴搅拌桩水泥用量约为三轴水泥搅拌桩的2.7倍。现场实际施工中,在类似工况下,五轴水泥搅拌桩施工效率为单轴水泥搅拌桩的6至7倍,约为三轴水泥搅拌桩的2至3倍如表3所示。

表3 每24h成桩水泥用量

水泥掺量18%	每24h延米/m	单桩每延米水泥用量/t	总水泥用量/t
三轴水泥搅拌桩	900	0.48	435.60
五轴水泥搅拌桩	1500	0.79	1177.50

在该码头工程完成五轴水泥搅拌桩施工的区域,成桩24d后,选取3根水泥搅拌桩钻芯进行检验检测。根据检测结果,试桩1#喷浆孔号桩、试桩1#喷气孔号桩、试桩3#喷浆孔号桩的检测桩长均满足设计要求,而且桩身均匀性良好,桩底持力层为粉质黏土层。对3根桩进行无侧限抗压强度试验,抗压强度代表值为0.88MPa~1.09MPa,满足设计要求。

5 结论

该工程软土地层加固采用五轴水泥搅拌桩工法,根据工程现场实际情况,提出有针对性的做法,通过有关实地检测和后期工序的顺利完成,验证了该工艺的可靠性。

(1) 首次在码头工程中采用五轴搅拌桩机施工效率高、成桩质量好,对周围环境的影响小。

(2) 整个成桩过程可单次完成5孔一幅,五轴搅拌桩水泥用量约为三轴水泥搅拌桩的2.70倍,可广泛应用于码头工程软土地层的处理。

(3) 采用该方法施工时,选取的3根试桩24d抗压强度代表值为0.88MPa~1.09MPa,满足设计要求。

[参考文献]

[1]赵春风,邹豫皖,赵程,等.基于强度试验的五轴水泥土搅拌桩新技术研究[J].岩土工程学报,2014,36(2):376-381.
[2]郑赉济,梁志荣,李伟,等.五轴水泥土搅拌墙在地下两层基坑中的应用[J].地下空间与工程学报,2014,10(22):1860-1865.
[3]黄伟群,闫涛,管宁,等.五轴搅拌桩止水帷幕在砂性土深基坑中的应用[J].建筑安全,2017,32(12):26-28.
[4]周玉石.五轴水泥土搅拌桩不同成桩模式的对比分析[J].建筑施工,2018,40(5):644-647.
[5]沈丹.五轴水泥搅拌桩与传统水泥搅拌桩的对比分析[J].山西建筑,2015,41(3):78-80.
[6]洪冬明.富水深厚砂层中的五轴水泥土搅拌桩支护施工技术[J].建筑施工,2020,42(5):694-697.
[7]彭学军.五轴水泥搅拌桩施工技术在城市地铁工程中的应用[J].企业技术开发,2019,38(7):34-40+64.
[8]刘世星.五轴搅拌桩在砂性土基坑中的应用研究[J].山西建筑,2018,44(10):50-52.
[9]黄木平,方威,周军民.五轴搅拌桩在基坑支护中的应用[J].建筑施工,2016,38(4):397-398.
[10]朱鹏.五轴水泥土搅拌桩防渗墙在水库大坝防渗工程中的应用[J].科技创新与应用,2013(16):192-193.