

港口航道工程中钻孔灌注桩施工技术应用

张俊杰

重庆万友人才服务有限公司, 重庆 400000

[摘要]在港口航道工程中, 钻孔灌注桩依靠它较高的承载能力, 广泛的适用范围以及较低的施工噪声等特点, 在码头, 船闸, 护岸等各种水工构筑物的基础建设中起到了主要的作用; 但由于港口特有的水文地质状况使钻孔灌注桩施工存在孔壁坍塌、桩身质量问题及承载力不够等问题, 因此, 作者详细论述了港口航道工程中钻孔灌注桩的施工技术过程, 具体为施工前准备, 开孔施工, 钢筋笼的加工及安装, 灌注混凝土等重要环节, 并着重探究了孔壁坍塌、桩身质量问题、承载力不足等问题产生的原因及其预防办法。

[关键词]港口航道工程; 钻孔灌注桩; 施工技术

DOI: 10.33142/ect.v4i2.19191

中图分类号: U615

文献标识码: A

Application of Drilling and Grouting Pile Construction Technology in Port and Waterway Engineering

ZHANG Junjie

Chongqing Wanyou Talent Service Co., Ltd., Chongqing, 400000, China

Abstract: In port and waterway engineering, bored piles play a major role in the foundation construction of various hydraulic structures such as docks, ship locks, and revetments due to their high bearing capacity, wide applicability, and low construction noise; However, due to the unique hydrogeological conditions of the port, there are problems such as collapse of the borehole wall, quality issues of the pile body, and insufficient bearing capacity in the construction of bored piles. Therefore, the author elaborates in detail on the construction technology process of bored piles in port and waterway engineering, including preparation before construction, drilling construction, processing and installation of steel cages, and pouring concrete. The author also focuses on exploring the causes and prevention methods of problems such as borehole wall collapse, pile body quality problems, and insufficient bearing capacity.

Keywords: port and waterway engineering; drilled pile; construction technology

伴随着近十年区域内经济高速发展及进出口贸易的逐渐增多, 该港区内货物装卸量也越来越多, 对港口航道的航行能力有了一定的要求。钻孔灌注桩是一种成熟的深基础形式, 在港口航道工程广泛应用, 随着港口的建设朝着更深、更大的方向发展, 码头结构所承受的负荷越来越大, 对桩基的抗压能力和耐久性有了更高的标准。但是港口建设中地质环境较为复杂, 常见有厚软土覆盖层、潮汐区以及填土等地质缺陷, 给钻孔灌注桩的施工造成很多困难。近些年来国内外对于成孔工艺、泥浆护壁、水下混凝土灌注等都有很大的改进。但是因为水上施工的隐蔽性和工序的连续性, 灌注桩的质量仍然容易受到各种因素的影响, 在港口建设中如何根据港口具体情况改进施工方法、加强过程管理成了工程建设领域一直探讨的研究方向。

1 钻孔灌注桩技术概述

钻孔灌注桩是指以机械设备成孔, 孔内布置钢筋骨架浇筑混凝土而成的桩基, 它是依靠着钻机在土层里钻孔, 利用泥浆护壁或者套管跟进保持孔壁稳固, 钻孔结束后清理孔底, 将钢筋笼吊装入孔中, 在孔中进行水下混凝土浇筑而成桩体, 桩体与周围土体紧密结合, 共同承受上部结构荷载。与预制桩相比, 钻孔灌注桩主要有以下几个方面

的优点: 一、适应能力强, 可以穿过各种类型的复杂地质条件, 满足各种不同尺寸以及长度的桩型需求; 二是承压能力强大, 可以通过改变桩径大小及桩长来调控它的承压性能, 而且没有挤土现象产生; 三是噪音低振动小, 适用于临近建筑物或者有特殊环境保护需求等地方进行施工。四是水下施工便捷, 特别适用于港口航道等水域环境。

按照成孔工艺的不同, 常见的钻孔灌注桩有回转钻孔、旋挖钻孔、冲击钻孔三类。其中回转式钻头适用于黏性土、砂质土等土层, 成孔效果好、质量稳定; 旋挖钻机速度快, 在回填地层以及软硬不均的地层都有较好的适用性; 而冲击钻孔适用于含孤石或者岩层较多等地段。

2 施工工艺流程

2.1 施工准备

施工准备是确定灌注桩工程质量的前提条件, 在港口航道工程中的施工准备工作主要包含技术方面的准备、施工现场准备以及材料方面等三个方面的内容。其中技术方面的准备工作主要是对地质资料进行核查以及编写施工方案, 施工单位要对施工场地的水文地质条件做好细致的调查, 了解软弱土层的位置及其分布情况, 掌握地下水位起伏状况以及潮差大小等问题, 从而选取适合的钻孔机械

种类,确定泥浆配制比例以及混凝土的配合比并拟定专门的施工流程方案,规定各主要过程中的工艺指标和技术要求等。此外还要针对距离生态环境保护区比较近的工程项目需要编制环保应急预案^[1]。比如:防城港引航基地码头工程靠近红树林保护区,在开工之前就建好全封闭泥浆循环系统,还专门设置了生态保护带以防油料外泄,保证施工环境下的海水中始终维持着三类以上水质;施工现场准备工作包括施工平台搭设、测量放样及护筒埋设等环节。水下钻孔前必须搭建扎实可靠的平台以便固定钻机,测量放样须精准把控桩位误差程度,护筒埋设是预防孔口坍塌的重要手段。

2.2 成孔施工

成孔是钻孔灌注桩施工的关键步骤,关系到桩基的质量好坏。其对成孔的质量直接决定了桩基的承载能力以及桩身质量的好坏,而港口工程中常采用的成孔方式主要有正循环回转钻进、反循环回转钻进及旋挖钻机。其中正循环回转钻进适用于黏性土、砂层土层等,泥浆由钻杆中心进入,然后经过钻头与孔壁之间的环形间隙排出,携带出钻渣;设备简单易操作,但是清理起来速度慢,适用于小直径的小桩孔施工;反循环回转钻进则是泥浆由孔口进入,从钻杆中心排出,携带钻渣的泥浆经过钻杆中心进行排土抽吸,到地表沉淀池处理;清淤速度快,清孔效果好,适合大型深孔施工,但设备比较繁杂,对泥浆管理要求高。旋挖成孔利用筒式钻头取土,以旋转钻杆带出钻渣提升至孔外,其特点是效率高、耗泥量低、环保性能好,在回填层及上硬下软等地层条件下有较大优势。沙特国王港工程应用旋挖钻机配备高效膨润土泥浆静压护壁有效地克服了回填区域钻孔稳定性差的问题。钻孔时必须注意控制钻进速率、泥浆性质以及孔内水位高度,在易坍塌的地层中要减慢钻进速度、泥浆密度维持在 $1.15\sim 1.25\text{g}/\text{cm}^3$ 左右之间,黏度控制在 $18\sim 22\text{s}$ 范围内,同时保证泥浆水面高出地下水位或施工现场水位至少 2.0m 以上,使得钻孔四周始终处于静水压力作用之下,从而防止孔壁失稳现象发生。清孔是指钻孔完成后直到浇筑混凝土之前的一项重要工序,在这个工序中主要作用就是把孔底残留下来的泥土给清理掉,以使桩基能够有足够的桩端持力层。清孔的方式主要有正循环法、反循环法以及泵吸反循环法。清孔完毕后的泥浆密度应该在 $1.10\sim 1.15\text{g}/\text{cm}^3$ 之间,含砂量小于 4% ,粘度为 $17\sim 20\text{s}$ 。孔底淤积物不得超过规定值,一般情况下对于端承桩来说其不超过 50mm ,而对于摩擦桩来说不得超过 100mm 。

3 关键工序与技术控制

3.1 钢筋笼制作与安装

钢筋笼是灌注桩的骨架结构,承受着拉应力,还起着保持桩的整体性的作用,加工过程中要严格按照设计图来

加工,保证主筋间距、箍筋间距、保护层厚度符合规定的要求,主筋之间的对接尽量采用机械对接或者焊接方式,一个接头位置最多不超过一根主筋的总数的 50% ,两个焊接点之间间隔不能低于 $35d$ (d 为主筋直径)。对于较长的桩则需要分段加工,在现场进行拼接。沙特国王港项目遇到部分桩长大于四十米的问题,采取了分段吊装,机械对接以及导向装置定位的方式,再用全站仪校验,使得垂直度误差控制在百分之二之内。钢筋笼吊装要稳而慢,以免产生变形。入孔的时候要注意对准孔位中央,以防碰坏孔壁。定位之后要加设措施对笼顶加以固定,以免浇筑混凝土时钢筋笼产生上浮或者下沉的现象,保护层质量的把控能够有效保障钢筋笼的耐久度,在钢筋笼四周根据图纸规定增设保护层垫块,通常使用砼滚轮,砂浆垫块等,每隔 $2\sim 3\text{m}$ 设立一块,形成一个梅花式的分布形式,使钢筋笼位于孔中央。

3.2 混凝土灌注

水下混凝土灌注为成桩的重要环节,影响着桩体的质量,灌注混凝土要具备较好的和易性、流动性,坍落度约为 $180\sim 220\text{mm}$ 、扩展度不小于 400mm ,混凝土初凝时间要符合单桩灌注所需的时间,如有必要可添加缓凝剂^[2]。灌注导管使用 $\phi 245\sim 300\text{mm}$ 钢管制作,导管需做水密承压试验,连接处必须紧密。导管使用前应做水密性试验,在 $0.6\sim 1.0\text{MPa}$ 的压力下不得有渗漏现象。导管放入长度要保证底部离孔底还有 $0.3\sim 0.5\text{m}$ 的距离,在灌注开始的时候要在导管顶端放入一个隔水塞或者装上球胆。首盘混凝土浇筑量应通过计算得到,保证沉管入混凝土的深度不低于 1.0m ,浇筑过程必须连续作业,不得停顿。导管埋置深度应在 $2\sim 6\text{m}$ 之间,埋置太浅容易造成断桩事故,埋置太深会导致沉桩有困难。每次浇筑完一罐混凝土都要测一次混凝土顶面高度,随时纠正导管入土深度。沙特国王港项目按要求实施首批封底球启动法以及 0.6m 超灌措施,有效提高了桩头混凝土密实程度,在浇筑过程中必须连续完成至桩顶设计标高之上 $0.5\sim 1.0\text{m}$ 的位置,使桩顶混凝土质量达标,超灌段将在后续施工时剔除掉。

3.3 桩头处理与养护

桩头处理包含超灌混凝土剔凿、桩顶清理和平整以及钢筋校直等工作内容,在浇筑砼凝结成一定强度时要准确放好桩顶高度线,使用空压机风镐或手工方法去除超灌部分,桩头处理严禁破坏设计标高以下的桩身砼,处理后的桩顶必须平整,清洁、无松散砼块及夹泥现象,伸进承台内的钢筋需清理除锈,不够长度时应按规范规定进行搭接焊加强;桩体养护对混凝土强度增长有着重要的作用,灌注桩成孔浇筑结束后,桩顶外露部位要加以保水覆盖,以免因日光曝晒风吹造成砼干缩变形,对于低温潮湿条件下,则需要保温防冻,并避免水流冲击侵蚀。

3.4 成桩检测

成桩检测是用来检验灌注桩质量以及评定其承载能力的一种方法。检测分为桩身完整性检测及承载力检测两大项。桩身完整性检测方法主要有低应变反射波法、声波透射法、钻芯法等。低应变法适合大面积普测,可以迅速判断出桩身是否有明显的缺陷;但是检测深度比较浅。声波透射法需要预先埋设声测管,具有较高的检测精度,能够准确判断缺陷的位置和范围,适用于大直径桩或者重要的工程。钻芯法可以直接观察到桩身混凝土的质量情况、测试其强度值,但是它是一种破坏性的检验方式,费用相对较高。防城港项目对于每个桩基都进行了低应变的检测以及承载力测试,合格率为100%。承载力试检方法主要为静载试验和高应变法。静载试验直观准确,在极限承载力计算中作为标准方法使用,但是其试验时间较长、成本较高。高应变速率采用锤击应力波来测定承载能力,适合于工程桩抽检使用,检验结果分为四个等级:Ⅰ类桩完好无损;Ⅱ类存在轻微损伤但不影响其承载力的发挥;Ⅲ类有明显缺陷;Ⅳ类桩存在严重缺陷,对于Ⅰ、Ⅱ类桩不需要特别的防护措施,但是对于Ⅲ、Ⅳ类桩要采取相应的补强加固或是报废等措施。

4 常见问题与防治措施

4.1 孔壁坍塌

孔洞坍塌是钻孔灌注桩工程施工过程中最常见的质量通病之一。主要表现在孔内水位突然下降、孔口有气泡溢出、钻不动、提钻后孔内大量返土等现象。产生原因是多方面的,首先是泥浆质量不好,密度低或者含砂量高以及失水太快不能有效地造出泥皮,其次是孔内水位不够,在潮汐河段水位急剧变化时没有采取相应的措施进行补救,第三就是钻速太快,特别是在松散砂层及软弱夹层处,最后就是护筒埋设太浅或者底部漏水。因此首先要针对不同土层合理配置泥浆,对于容易塌方的土质要适当增大泥浆的密度和黏度,加入一些防塌剂等。其次,加强对孔内水位的管理,保证始终高出地下水位2.0m以上,在潮区需设置水位观测以及自动补水装置。第三,控制好钻进速度,在软土层里用慢速钻进以及多回扫孔的办法。遇极软地层时,采取长护筒跟随钻孔技术,保证护筒底部伸入较稳固层。

4.2 桩身缺陷

桩基缺陷主要表现为缩径、断桩、夹泥、离析及钢筋笼上浮等情况。缩径即桩身部分处存在直径减少的情况,在软弱土层或者流塑地层中比较常见,造成此类问题的原因是在砼浇筑的过程中钻孔孔壁不稳定发生坍塌或者是混凝土侧压力不够所致。预防措施有:调整好泥浆比重维持孔壁稳定;调整好混凝土配合比来保证其流动性;控制导管埋入深度以及灌注速度,从而使混凝土给予孔壁

足够的侧压力。而断桩则是指桩身混凝土间断的现象,产生的原因是由于导管埋深失控造成拔空或者灌注中断过长时间导致混凝土初凝,防止断桩应严格控制导管埋深,务必使其保持不低于2米。浇筑过程中要连续迅速,中断时间不能大于混凝土初凝时间;出现堵管要及时解决,在需要的情况下重新插入导管继续二次灌注^[3]。钢筋笼上浮大多发生于浇筑混凝土快到钢筋笼底部时,由于混凝土冲击力大的原因造成的。预防办法是:将笼顶牢固地绑在护筒上;当混凝土面距钢筋笼底部较近时,就要减慢灌注,控制导管的入深;当混凝土面上升至钢筋笼底2~3m左右时适当提高导管。

4.3 承载力不足

承载力不足主要体现为单桩竖向抗压、抗拔承载力不能满足设计要求。主要问题有桩底沉渣厚度过大、桩身混凝土强度不够、桩端未能达到设计持力层深度等情况。桩底沉渣过厚最为常见,若清孔不到位或者清孔之后间隔时间过长,就会使沉渣再次沉积,从而造成桩端与持力层间夹填了软土层,防治方法:清孔要彻底,在进行二次清孔之后马上进行浇筑混凝土;可以使用气举反循环等先进清孔方法;清孔完成后到灌注的时间不宜超过三十分钟。桩端未能达到设计持力层深度主要是由于地质情况有变或者钻孔深度控制失准造成的。要加强地质资料审核以及钻探过程中记录,一旦发现出入的地方要及时修正。对于端承桩,要终孔之前检查孔深及岩芯以保证达到进入持力层的规定深度。

4.4 环境影响控制

港口航道工程一般靠近水域以及生态环境保护区,环境保护尤为突出,钻孔灌注桩工程的最主要的环境问题就是对泥浆的排放,对噪音振动以及施工废水等。泥浆的处理是环境保护的核心问题,在传统的施工过程中废弃泥浆直接排放会带来很大的污染,在现代化施工中提倡泥浆循环利用以及减少泥浆数量。防城港项目的整个泥浆循环处理系统,使得施工废水达到100%回收再利用,很好的保护了周边的红树林生态环境。废弃泥浆应该经沉淀、脱水之后才能够进行外运至指定的堆放地点。对于噪声和振动控制方面主要通过使用低噪音设备,科学的组织施工时间,设置隔离屏风等方式来进行。对邻近居民区或珍稀动物栖息地的工程,应避开敏感时段作业。

5 结束语

钻孔灌注桩是主要应用于港口航道基础设施工程建设的基础类型之一,它的工程质量决定着整个工程建设的安全可靠及持久度。以下就从施工工艺流程、重要环节管控以及典型问题预防三方面对港航工程钻孔灌注桩施工中的技术要领进行探讨。港航工程钻孔灌注桩施工需要对潮汐侵扰、软弱地基稳定性、水下浇筑等问题,因此在

面对这些特殊情况时要对工艺参数加以调整。钻孔过程中需要注意钻机泥浆护壁与孔内静水压力保持平衡来避免孔壁坍塌,在灌注过程中要注意导管埋置深度及混凝土的和易性以保证桩体无缺损;成桩以后要用到超声波、低应变、钻芯取样等多种方式进行检验鉴定。伴随着施工机械与监测技术的发展,钻孔灌注桩施工向着自动化的、环保的方向前进着。今后要加强对新型材料以及新技术的研究、推广使用,增强灌注桩的抗压能力及耐久度,给港口航道建设提供更为坚实有力的技术保障。

[参考文献]

- [1]甘一丰.港口航道工程中钻孔灌注桩施工技术应用探讨[J].珠江水运,2024(11):16-18.
 - [2]罗飞飞.港口与航道工程钻孔灌注桩施工技术应用要点分析[J].运输经理世界,2025(20):132-134.
 - [3]宋振彪.钻孔灌注桩施工技术在港口码头工程中的应用[J].中国住宅设施,2025(2):176-178.
- 作者简介:张俊杰(1989.10—),单位名称:重庆万友人才服务有限公司,毕业学校和专业:长沙理工。