

港口与航道工程钻孔灌注桩施工主要技术探讨

杨胜焜

中大职能科技股份有限公司 湖南 长沙 410000

摘要：港口与航道工程作为水上交通基础设施的关键组成，其基础施工质量直接关乎结构安全与使用寿命。本文聚焦港口与航道工程钻孔灌注桩施工主要技术，阐述了该技术的概述与前期准备工作，重点分析成孔、泥浆制备与管理、钢筋笼制作与安装、混凝土灌注、特殊工艺处理、施工质量控制及设备维护等核心技术。通过对各环节技术要点的梳理，明确了不同地质与环境下的技术应用规范，为保障钻孔灌注桩施工质量与效率提供了系统性技术参考，对提升港口与航道工程基础施工水平具有实践意义。

关键词：港口与航道工程；钻孔灌注桩施工；主要技术

引言：钻孔灌注桩因适应复杂地质、承载力强等优势，成为该领域主流基础形式。但水上施工面临潮汐、水流等特殊环境挑战，对施工技术提出更高要求。本文围绕钻孔灌注桩施工技术展开探讨，从技术概述、前期准备到各核心施工技术进行分析，旨在为工程实践提供技术指导，推动该领域施工技术的规范化与高效化。

1 港口与航道工程钻孔灌注桩施工技术概述

钻孔灌注桩作为一种基础工程施工技术，在港口与航道工程中占据重要地位。其核心原理是通过机械钻孔形成桩孔，在孔内安放钢筋笼后灌注混凝土，最终形成具有高强度承载力的基桩结构。该技术凭借适应性强、施工噪音小、对周边环境影响小等特点，成为水上及岸边工程的优选基础形式。从技术优势来看，钻孔灌注桩能适应不同地质条件，无论是软土地基、砂卵石层还是岩层，均可通过调整钻孔工艺实现有效成桩。其单桩承载力高，可通过优化桩径、桩长设计满足大型港口机械及码头结构的荷载要求。施工过程无需大规模开挖，能最大限度减少对原有地形地貌的破坏，尤其适合生态敏感的航道区域。

港口与航道工程的特殊性对钻孔灌注桩技术提出了严苛要求。首先是抗水环境能力，基桩需长期承受海水或淡水侵蚀，必须具备优异的抗渗性和耐久性，通常需采用特殊配比的混凝土并加强钢筋防腐处理。其次是动态荷载承受能力，码头结构会受到船舶撞击、波浪力等反复荷载作用，要求桩体具有良好的韧性和抗疲劳性能。水上施工环境增加了技术难度。施工过程需应对潮汐变化、水流冲击等自然因素，对钻孔设备的稳定性、泥浆护壁效果及混凝土灌注连续性提出了更高标准^[1]。

2 施工前期准备工作

施工前期准备是保障港口与航道工程钻孔灌注桩施

工质量的基础，需从以下地质勘察、方案设计、材料设备等多维度系统推进。（1）地质勘察与分析需形成立体化数据体系。通过钻探取样明确土层分布规律，重点标注软土夹层、砂卵石层等特殊地质的埋深与厚度，同时采用静力触探测定地基承载力特征值。针对水下环境，需补充水文勘察，记录水位变化幅度、水流速度及潮汐周期，为钻孔设备选型和泥浆配比设计提供依据。勘察报告还应包含周边构筑物分布情况，避免施工对既有码头、护岸结构产生影响。（2）施工方案设计需实现技术可行性与经济合理性的平衡。根据桩位布置图优化施工顺序，采用跳打工艺减少相邻桩孔的相互干扰；结合工期要求配置钻孔机组数量，明确各工序衔接节点。对于深水区域施工，需专项设计钻孔平台，计算平台承载力及抗倾覆稳定性，同时制定应急预案，包含设备故障、恶劣天气等突发情况的应对措施。（3）材料与设备准备需满足水上施工特殊要求。钢筋、水泥等原材料需具备抗锈蚀性能，进场前核查出厂合格证及力学性能检测报告；混凝土掺合料应选用符合要求的粉煤灰或矿渣，通过试配确定最佳掺量。钻孔设备优先选用自带泥浆循环系统的水上钻机，配备备用动力装置以防停电；钢筋笼加工设备需适应现场狭窄空间操作，运输船舶需设置专用固定装置，防止钢筋笼变形^[2]。

3 港口与航道工程钻孔灌注桩施工主要技术

3.1 成孔施工技术

成孔是钻孔灌注桩施工的首要环节，其质量直接决定后续工序的可行性。根据地质条件差异，成孔工艺可分为以下旋转钻进、冲击钻进和旋挖钻进三类。（1）旋转钻进适用于软土、砂土及粒径较小的卵石层，通过钻具旋转切削土体，配合泥浆护壁形成桩孔，钻具转速需根据地层硬度调整，软土地层转速控制在30-50r/min，硬

土层可提升至60-80r/min。(2)冲击钻进依靠钻锥自由下落冲击破碎岩层,适用于坚硬岩层及大粒径卵石层,冲击频率通常为40-60次/min,冲程根据岩性选择,软岩采用1-2m短冲程,硬岩采用2-4m长冲程,每次冲击后需及时清渣,避免重复破碎。(3)旋挖钻进作为高效成孔工艺,通过钻斗旋转切削并抓取渣土,成孔速度较传统工艺提升30%-50%,适用于粘性土、粉土、砂类土及中等硬度岩层。施工时需控制钻斗升降速度,提升速度不超过0.5m/s,避免因负压导致孔壁坍塌;下放速度保持0.3-0.4m/s,防止钻斗碰撞孔壁。成孔过程中需实时监测孔位偏差,采用全站仪定期复核,确保偏差不得超过50mm;垂直度控制通过钻机自带的垂直度监测系统实现,每钻进5m校准一次,垂直度偏差需小于1%。

孔深控制采用双控法,即钻具长度标记与测绳测量相结合,每钻进10m进行一次深度复核,确保孔深误差在±50mm范围内。成孔后需进行孔径检测,采用孔径仪沿桩孔轴线均匀检测6个点,孔径不得小于设计桩径,且局部缩径量需控制在设计直径的10%以内。

3.2 泥浆制备与管理技术

泥浆在成孔过程中起到护壁、携渣、冷却钻具的作用,其性能参数直接影响成孔质量。泥浆制备需根据地质条件确定配合比,对于粘性土层,可采用原土造浆,通过钻进过程中土体与水混合形成泥浆;砂性土及卵石层则需采用人工造浆,以膨润土为主要原料,掺入纯碱、CMC等外加剂,膨润土掺量为8%-12%,纯碱掺量为膨润土的3%-5%,CMC掺量为0.05%-0.1%。泥浆性能指标需严格控制,比重在1.1-1.3g/cm³之间,粘度为18-28s,含砂率不超过4%,胶体率大于95%,pH值保持在8-10。施工过程中需设置泥浆循环系统,包括沉淀池、储浆池和循环泵,沉淀池容积不小于桩孔体积的1.5倍,采用三级沉淀方式,使泥浆经沉淀后含砂率降低至2%以下方可回用。

针对水上施工特点,需采取防漏浆措施,在桩位周边设置防渗帷幕,必要时掺入锯末、棉籽壳等堵漏材料,当泥浆漏失量超过0.5m³/h时,需及时补充新浆并调整配比。钻孔结束后需进行泥浆置换,采用优质泥浆将孔底沉渣置换出,确保沉渣厚度不超过100mm,为后续混凝土灌注创造条件^[1]。

3.3 钢筋笼制作与安装技术

钢筋笼制作需遵循精准加工原则,钢筋材质需符合设计要求,进场后进行力学性能和重量偏差检验。主筋采用闪光对焊或直螺纹连接,焊接接头需进行抗拉强度试验,合格率需达到100%;直螺纹接头外露丝扣不得超

过2扣,接头拧紧扭矩符合规范要求,直径25mm及以上钢筋拧紧扭矩不小于300N·m。钢筋笼成型采用模具定位法,设置专用胎架确保主筋间距偏差不得超过±10mm,箍筋间距偏差控制在±20mm范围内,保护层垫块采用混凝土预制块,每2m设置一组,每组不少于4块,确保保护层厚度偏差在±10mm以内。钢筋笼长度超过12m时需分段制作,分段长度根据吊装设备能力确定,通常为6-9m,段与段之间采用法兰盘或套筒连接,连接部位主筋搭接长度需满足设计要求,且接头位置需错开,同一截面接头数量不超过50%。

安装前需检查钢筋笼垂直度,采用吊线法检测,偏差不得超过1%;安装过程中采用两点起吊,吊点设置在钢筋笼重心上方1/3处,起吊时保持平稳,避免变形。下放钢筋笼时需控制速度,每下放1m停顿一次,检查孔壁是否有刮蹭现象,若遇阻碍不得强行下放,需查明原因并处理后再继续。钢筋笼安装深度需精确控制,顶面标高偏差不得超过±50mm,就位后采用固定装置与护筒连接,防止混凝土灌注过程中发生上浮或偏移。

3.4 混凝土灌注技术

混凝土材料选择需满足水下灌注要求,采用强度等级不低于C30的商品混凝土,水泥选用普通硅酸盐水泥,初凝时间不小于4h,粗骨料采用连续级配的碎石,粒径为5-25mm,含泥量不超过1%,细骨料选用中砂,含泥量不超过3%。混凝土配合比需通过试验确定,坍落度控制在180-220mm,扩展度不小于500mm,初凝时间需大于整个灌注过程所需时间。灌注设备采用导管法,导管直径为250-300mm,壁厚不小于3mm,每节长度2-3m,配1-2节0.5-1m的短节。导管使用前需进行水密性试验,试验压力为0.6-1.0MPa,保持15min无渗漏方可使用。导管安装时底部距孔底距离控制在300-500mm,顶部设置漏斗,漏斗容积不小于1.5m³,确保首批混凝土灌注量能满足导管埋深不小于1m的要求。

灌注过程需连续进行,不得中断,首批混凝土灌注后需测量导管埋深,确保埋深在1-3m之间,后续灌注中导管埋深控制在2-6m,每次拆除导管前需测量混凝土面高度,计算导管埋深,避免导管拔出混凝土面造成断桩。混凝土面上升速度需保持在2-3m/h,灌注至设计标高以上0.5-1.0m,以保证桩顶混凝土强度。

3.5 特殊工艺处理技术

针对深水施工环境,需采用水上钻孔平台技术,平台结构可选用钢管桩支架或浮式平台,钢管桩直径不小于600mm,入土深度根据计算确定,确保平台承载力不小于2倍施工荷载。平台上设置钻孔机组、泥浆系统及材

料堆放区,各区域之间设置防护栏杆,平台与岸边采用栈桥连接,确保施工人员及材料运输安全。在岩溶发育区施工时,需采用超前地质钻探方法查明溶洞分布,对于小型溶洞(直径小于1m),可采用填充碎石和水泥浆的方式处理;大型溶洞则需设置钢护筒穿越,护筒长度需覆盖溶洞上下界面,护筒直径比桩径大200-300mm,底部嵌入完整岩层不小于500mm。面对潮汐影响,需合理安排施工时段,在平潮期进行成孔和混凝土灌注作业,同时设置水位监测装置,实时调整护筒内泥浆面高度,确保泥浆面始终高于外部水位1.5-2.0m,防止海水倒灌影响成孔质量。

3.6 施工质量控制技术

成孔质量控制采用全过程监测方式,钻进过程中每2小时测量一次泥浆性能,发现指标超标及时调整;成孔后12小时内完成混凝土灌注,避免孔壁长时间暴露发生坍塌。沉渣厚度采用测锤检测,测锤重量不小于1kg,检测点不少于3个,取平均值作为最终沉渣厚度。

混凝土质量控制需进行全过程跟踪,开盘前检查配合比通知单,灌注过程中每50m³混凝土制作一组试块,试块在标准养护条件下养护28天后进行抗压强度试验,试验结果需满足设计要求。采用超声波检测技术对成桩质量进行完整性检测,检测数量不少于总桩数的30%,对于重要部位桩全部检测。检测过程中若发现断桩、夹泥等缺陷,需采用钻芯法复核,根据缺陷位置采取高压注浆或补桩等处理措施,确保桩体质量符合设计标准。

3.7 施工设备维护与技术保障

施工设备的稳定运行是保障钻孔灌注桩施工连续性的核心要素,需建立以下全周期技术保障体系。(1)钻孔设备的维护重点在于动力系统与钻具组件,每日施工前需检查发动机机油液位、燃油滤清器及液压系统压力,确保发动机怠速运转时液压系统压力稳定在18-22MPa。钻杆连接处需每日涂抹专用润滑脂,检查丝扣

磨损情况,当磨损量超过2mm时需及时更换,防止钻进过程中发生脱扣。(2)泥浆循环系统的维护需聚焦于泵体与管路,泥浆泵每工作100小时需更换密封件,检查叶轮磨损程度,当叶轮直径减少3%以上时进行修复或更换。管路接头采用法兰连接时,需每周检查螺栓预紧力,确保扭矩保持在350-400N·m,避免高压泥浆泄漏。沉淀池内的搅拌装置需每日试运行,确保转速稳定在15-20r/min,防止泥浆沉淀结块。(3)混凝土灌注设备的维护侧重导管与振动系统,导管每次使用后需进行内壁清理,采用高压水枪冲洗残留混凝土,检查管体有无变形,当弯曲度超过1%时需校直或报废。振捣器需定期检测振幅与频率,确保振幅保持在0.8-1.2mm,频率稳定在2800-3200次/min,每50小时更换一次轴承润滑脂。(4)技术参数的动态监测系统需与设备集成,通过传感器实时采集钻压、转速、泥浆流量等数据,当钻压波动超过设定值±10%时自动预警,提示操作人员调整钻进参数^[4]。

结束语:港口与航道工程钻孔灌注桩施工技术体系涵盖多环节关键技术,各技术环节紧密关联、相互影响。从成孔到设备维护,严格把控技术要点是保障工程质量的核心。随着工程环境日趋复杂,需持续优化施工工艺,加强新技术与设备的应用。未来应进一步完善质量控制体系,提升施工技术的适应性与可靠性,为港口与航道工程的可持续发展提供坚实的基础技术支撑。

参考文献

- [1]袁明家.港口与航道工程钻孔灌注桩施工技术主要技术探讨[J].珠江水运,2025(1):129-131.
- [2]吴军.港口航道工程中钻孔灌注桩施工技术应用探讨[J].模型世界,2025(10):161-163.
- [3]刘嘉辉.港口航道工程建设中的钻孔灌注桩施工技术分析[J].珠江水运,2023(13):38-40.
- [4]陈钟.港口航道工程中钻孔灌注桩施工技术应用[J].运输经理世界,2024(35):154-156.