

港口与航道工程钻孔灌注桩施工主要技术探讨

何 理

(四川省交通建设集团有限责任公司, 四川 成都 610036)

摘 要 钻孔灌注桩是港口与航道工程中高桩码头、船坞等结构常用的基础形式, 由于其能够较好地适应复杂水工地质条件, 具备较强的承载能力以及良好的抗风浪和抗侵蚀性能, 在水运工程建设中应用较为广泛。本文结合港口与航道工程的特殊工况, 探讨钻孔灌注桩施工的基本原理及类型特征, 重点分析施工平台搭建、钢护筒埋设、钻孔等核心工序的技术要点, 旨在为同类工程提供技术参考。

关键词 港口与航道工程; 钻孔灌注桩; 埋设钢护筒; 钻孔

中图分类号: U655.55

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.21.017

0 引言

港口与航道工程作为水运基础设施的重要组成部分, 其结构安全性及耐久性直接关系到水运通道的畅通。高桩码头、船坞等水工建筑物在基础选型时, 广泛采用钻孔灌注桩作为承载结构, 这一选择源于其对复杂工况的适应能力。然而, 港口与航道工程所处的施工环境具有显著特殊性: 潮汐涨落导致水位频繁变化, 波浪及水流共同作用形成复杂的水动力条件, 表层分布深厚的淤泥层及松散回填层, 这些因素叠加在一起, 使钻孔灌注桩施工面临严峻挑战。

1 钻孔灌注桩施工的基本原理

1.1 钻孔灌注桩的工作原理

钻孔灌注桩的工作原理在于利用现场成孔及混凝土浇筑, 形成一根与周围土体紧密接触的钢筋混凝土柱状结构, 进而将上部结构荷载可靠传递至深层稳定地层。在港口与航道工程中, 高桩码头、船坞等结构物的桩基需要穿越海水层、淤泥层及砂土层, 进入承载力较高的砾石层或风化岩层, 这一传递过程涉及桩身材料、桩—土界面与地基土层的协同工作^[1]。当荷载作用于桩顶时, 桩身首先发生弹性压缩变形, 这种微小的变形促使桩侧表面与周围土体之间产生相对位移趋势, 侧摩阻力由此被激发, 侧摩阻力的发挥遵循“位移协调”原则, 桩身某截面处的位移量直接决定了该处侧摩阻力被调动的程度, 二者呈现非线性相关关系。随着荷载逐级增加, 桩身上部的侧摩阻力率先达到极限值, 荷载传递路径随之向桩身下部延伸, 桩端阻力也开始逐步发挥作用^[2]。

1.2 钻孔灌注桩的类型及适用范围

钻孔灌注桩的类型可从成孔工艺、成孔机械及受力性质三个维度加以划分(见表1)。按成孔工艺分类, 干作业成孔灌注桩适用于地下水位较低、土质稳定的填土、黏性土及粉土地层, 无需泥浆护壁, 工序简洁流畅; 泥浆护壁成孔灌注桩则适用于地下水位较高、土质松散或易塌孔的砂土地层, 利用泥浆循环维持孔壁稳定, 正循环与反循环两种工艺在排渣效率上各有侧重; 套管护壁成孔灌注桩以套管作为护壁材料, 地层适应性广, 软土、湿陷性黄土等易塌孔地层均可适用, 桩身质量更为稳定。按成孔机械分类, 螺旋钻机成孔桩适用于均质土层, 成孔直径 150 mm ~ 2 000 mm、钻深 20 m ~ 30 m; 冲击钻机成孔桩对卵石、岩层等坚硬地层具有不可替代的穿透能力, 成孔深度可达 100 m ~ 150 m; 回转钻机成孔桩适用于黏性土、砂土及软岩等多种土层, 桩长可达 200 m; 潜水钻机成孔桩则适用于软土地层, 成孔质量较好。按受力性质分类, 端承桩、摩擦桩及摩擦端承桩分别对应不同的荷载传递机制以及持力层条件。

2 港口与航道工程钻孔灌注桩施工技术要点

2.1 搭建施工平台

搭建施工平台根据水深条件及地质状况采用不同的结构形式, 水深小于 5 m 且流速较小的水域, 采用筑岛围堰法施工, 在桩位区域填筑黏性土形成人工岛, 顶部铺设碎石垫层后浇筑 150 mm ~ 200 mm 厚混凝土面层, 平台顶面高程按施工期最高潮位加 1.5 m ~ 2.0 m 控制。水深 5 m ~ 15 m 的水域采用钢管桩平台, 选用

作者简介: 何理 (1992-), 男, 专科, 研究方向: 港口与航道工程。

表 1 钻孔灌注桩主要类型及适用特征

分类维度	类型名称	适用地层条件	关键特征
按成孔工艺	干作业成孔灌注桩	地下水位低、土质稳定的填土、黏性土、粉土	工序简单、成孔快，无需泥浆护壁
	泥浆护壁成孔灌注桩	地下水位高、土质松散的砂土、淤泥、碎石土	泥浆循环护壁，分正循环与反循环工艺
	套管护壁成孔灌注桩	软土、湿陷性黄土等各类易塌孔地层	套管护壁，桩身质量稳定，施工成本较高
按成孔机械	螺旋钻机成孔桩	均质土层，干作业或浅层泥浆护壁	成孔直径 150 mm ~ 2 000 mm，钻深 20 m ~ 30 m
	冲击钻机成孔桩	卵石、岩层等坚硬地层	穿透能力强，成孔深度 100 m ~ 150 m，效率较低
	回转钻机成孔桩	黏性土、砂土、软岩等多种土层	成孔直径 0.8 ~ 1.2 m，桩长可达 200 m
	潜水钻机成孔桩	淤泥、淤泥质土等软土地层	钻机潜入泥浆作业，成孔质量好，设备成本高
按受力性质	端承桩	桩端持力层为坚硬岩层或密实土层	荷载主要由桩端阻力承受
	摩擦桩	桩端持力层较软或桩身较长	荷载主要由桩侧摩擦力承受
	摩擦端承桩	兼具上述两种地质特征	荷载由桩侧摩擦力和桩端阻力共同承担

直径 426 mm ~ 529 mm、壁厚 8 mm ~ 10 mm 的钢管桩作为支撑结构，按桩位布置图打设钢管桩，根据地质条件计算确定桩入土深度，一般要求进入持力层不小于 3 倍桩径^[3]。钢管桩打设完成后，在桩顶焊接工字钢横梁与纵梁形成格构式框架，梁顶铺设厚度 12 mm 的防滑钢板，平台周边设置高度 1.2 m 的防护栏杆及踢脚板。平台搭设完成后进行荷载试验，采用静载法在钻机就位位置施加 1.2 倍钻机自重荷载，观测平台沉降量以及变形量，要求沉降量不大于 10 mm、相邻高差不大于 5 mm。平台使用期间每日测量潮位变化，当潮位超过平台设计高程时停止钻孔作业，并检查平台锚固系统及连接节点的稳定性。

2.2 埋设钢护筒

埋设钢护筒前先在施工平台上放出桩位中心点及十字线控制桩，采用导向架精确定位，导向架采用型钢焊接而成，高度 2.5 m ~ 3.0 m，内径较护筒外径大 20 mm ~ 30 mm，导向架四角设置调平螺栓用于调整垂直度。钢护筒选用厚度 10 mm ~ 16 mm 的钢板卷制而成，内径较设计桩径大 200 mm ~ 400 mm，护筒长度根据地质条件及水深确定，一般要求底端进入不透水层或黏性土层不少于 2.0 m。护筒埋设采用振动锤下沉工艺，80 t 履带吊吊起护筒放入导向架内，沿护筒顶口对称布置两台经纬仪监测垂直度，垂直度偏差控制在 1/200 以内。振动锤夹持护筒顶口缓慢下沉，每下沉 2 m 暂

停一次复核垂直度及平面位置，发现偏差时技术调整振动锤偏心块方向或吊车位置进行纠偏，护筒下沉至设计标高后，在护筒顶口焊接吊耳与支撑梁，将护筒固定在平台结构上防止下沉或偏位。

2.3 钻孔作业

钻孔作业根据地质条件选择适宜的成孔方法，在黏性土、粉土及砂土层中，采用回转钻机成孔，钻机转盘驱动钻杆与钻头旋转切削土体，同时通过泥浆循环携带钻渣出孔。回转钻进分为正循环及反循环两种工艺：正循环钻进时，泥浆由泥浆泵经钻杆内腔送至孔底，携带钻渣后沿钻杆与孔壁之间的环状空间上返至沉淀池，适用于细颗粒地层且设备配置相对简单；反循环钻进时，泥浆由孔口补充流入孔内，在砂石泵或空压机作用下，携带钻渣的泥浆经钻杆内腔向上抽出，适用于砂层、砾石层及大直径深孔钻进。在钻孔过程中根据地层变化及时调整钻进参数：黏性土层中控制转速 20 r/min ~ 30 r/min；砂层中适当降低转速至 15 r/min ~ 20 r/min，控制钻压在钻具总重的 50% 以内；进入岩层后更换滚刀钻头或牙轮钻头，钻压提高至钻具总重的 70% ~ 80%。钻进过程中每 5 m 测量一次孔斜度，采用测斜仪进行检测，孔斜率应控制在 1% 以内，保持钻机空转 10 min ~ 15 min 进行扫孔，清除孔壁附着泥皮及探头石，为后续清孔作业创造良好条件。

2.4 清孔作业

钻孔完成后,孔底不可避免地沉积着钻渣及沉淀物,这些沉渣若未彻底清除将在桩底形成软弱夹层,所以钻孔至设计标高后应立即采用气举反循环工艺进行清孔作业。在钻杆内安装风管,风管下端距离钻头 2 m~3 m,空压机输出风压 0.7 MPa~0.8 MPa、风量 6 m³/min~9 m³/min。开启空压机向钻杆内送气,压缩空气及泥浆混合后在钻杆内形成密度低于钻杆外泥浆的气液混合物,由此产生的压力差驱动钻杆内泥浆向上流动,将孔底钻渣携带排出。清孔过程中持续向孔内补充性能良好的新泥浆,保持孔内液面稳定在护筒顶口以下 0.5 m 位置。清孔时间应根据孔深及地层情况确定,一般不少于 30 min,直至排出的泥浆比重降至 1.10 g/cm³~1.15 g/cm³、含砂率不大于 4%^[4]。清孔完成后采用沉渣厚度检测仪测量孔底沉渣厚度,使用测锤法同步复核,沉渣厚度要求不大于 50 mm。沉渣厚度超出标准时,采用导管二次清孔法处理:将导管下放至距孔底 0.3 m~0.5 m 处,导管顶部连接泥浆泵,通过泥浆泵大流量循环置换孔底泥浆,循环时间不少于 20 min,直至沉渣厚度满足设计要求。

2.5 钢筋笼制作安装

钢筋笼的制作安装质量直接关系到桩身结构的受力性能及耐久性能,港口与航道工程处于海洋或淡水环境中,氯离子侵蚀、冻融循环等劣化因素对钢筋混凝土结构构成长期威胁,保护层厚度的均匀性成为控制桩身耐久性的关键参数。钢筋笼在专用加工胎架上分节制作,胎架采用型钢焊接成弧形槽,槽底每隔 2 m 设置一道横向定位筋,保证主筋间距与螺旋筋间距符合设计要求。加工时将主筋端头切平后用丝机加工螺纹,螺纹长度与套筒长度匹配,加工后的螺纹用螺纹环规检验,通规通过、止规旋入不超过 3 扣为合格。主筋与套筒连接时施加扭矩,直径 25 mm 钢筋扭矩不小于 250 N·m,直径 28 mm 钢筋扭矩不小于 320 N·m。螺旋筋与主筋之间采用梅花形点焊,焊点间距不大于 300 mm,焊接电流控制在 120 A~150 A,避免烧伤主筋。吊装采用 80 t 履带吊,吊点设置在加强箍筋位置,起吊时采用两点起吊法,吊点处设置吊耳与卸扣,缓慢提升至竖直状态。钢筋笼下放过程中保持慢速平稳,遇阻时上下提动后缓慢下放严禁强行下冲。钢筋笼下放至设计标高后,用 4 根直径 HRB300 钢筋作为吊筋将钢筋笼悬挂在护筒顶口,吊筋长度根据实测孔口高程与设计桩顶高程计算确定,误差控制在 ±10 mm 以内。在桩头破除过程中,可能会产生较大的冲击力影响桩身主筋,为避免此类损伤可在桩顶高程以上部分套上 PVC 管保护主筋不被破坏。

2.6 水下混凝土灌注

水下混凝土灌注采用导管法,导管选用直径 250 mm~300 mm 的丝扣连接式无缝钢管,壁厚不小于 10 mm,每节导管长度 2 m~3 m,底节导管长度 4 m~5 m 并加装喇叭口。导管安装前进行水密性试验,将导管封闭后注水加压至 1.0 MPa,稳压 15 min 无渗漏为合格。导管下放时用吊车逐节安装,导管底端距孔底距离控制在 0.3 m~0.5 m,导管顶口设置料斗及隔水塞,隔水塞采用橡胶球胆或钢板加橡胶垫片制作^[5]。混凝土配合比设计时掺入缓凝型高效减水剂,初凝时间不小于 8 h,坍落度控制在 200±20 mm,扩展度不小于 500 mm。混凝土采用混凝土搅拌运输车运至现场,泵送入料斗,初灌量计算应保证导管首次埋入混凝土面以下不小于 1.0 m。灌注过程中保持导管埋深 2 m~6 m,每灌注 3~5 车混凝土测量一次混凝土面上升高度,采用测绳配重锤多点测量取平均值,拔管时根据测量结果计算导管埋深,每次拆管长度控制在 2 m~3 m,拆管时间不超过 15 min。桩顶超灌高度按设计要求执行,一般不小于 0.8 m~1.0 m,用以保证桩顶混凝土强度满足设计要求。灌注完成后缓慢拔出导管,清洗后分类堆放,桩头浮浆层待混凝土强度达到设计强度 50% 后采用环刀法。

3 结束语

港口与航道工程钻孔灌注桩施工技术,始终在复杂水文地质条件约束以及工程结构安全要求之间不断优化,潮汐水位的周期性波动、软硬交替地层的随机分布以及水下混凝土灌注的不可视性,共同构成了这一技术领域的核心挑战。随着港口与航道工程不断发展,数字化成孔检测、超声波测壁技术等新技术正在推动钻孔灌注桩施工从经验依赖型转变为数据驱动型。未来,可进一步融合物联网感知及大数据分析手段,为水运基础设施的长期安全服役提供更为坚实的技术支撑。

参考文献:

- [1] 夏杰.港口航道工程中钻孔灌注桩施工技术应用[J].价值工程,2026,45(03):115-117.
- [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] 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.
- [4] 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.
- [5] 盛一蛟.港口航道工程建设中的钻孔灌注桩施工技术[J].中国高新科技,2022(15):96-97.