

低净空施工工法

一、技术简介

传统桩基施工在低净空环境（净空高度 <6 米，部分场景 <3 米）中面临诸多难以突破的瓶颈：常规大型桩基设备（如旋挖钻机、冲孔桩机）高度超8米，无法进入低净空区域作业，导致施工设备适配性极差；若采用人工挖孔桩，不仅效率低下，且在软土、砂层等复杂地层中易出现坍塌、涌水等安全隐患，作业风险大幅提升；低净空环境下，钻杆提升、钢筋笼吊装等关键工序操作空间受限，易发生设备碰撞、钢筋笼变形等问题，影响施工安全与质量；传统工艺需多次拆解、组装设备，工序繁琐，且成孔垂直度、孔径控制难度大，难以满足工程验收标准，导致项目工期延误、成本超支。桩基低净空施工工法通过设备改良与工艺优化，针对性解决上述难题，实现受限空间内桩基工程的安全高效施工。

该工法以“设备小型化、工艺模块化、操作精细化”为核心，构建多维度技术体系，主要包含四大关键技术：

（1）小型化专用设备研发

定制低净空专用成孔设备，如高度2.5~5米的迷你旋挖钻机、液压冲击钻机，设备采用可折叠桅杆设计，桅杆高度可根据净空高度灵活调节（调节范围1.8~5米），同时配备短冲程钻杆（单节长度1.5~2米），满足低净空下钻杆接卸需求；成孔直径覆盖0.6~1.5米，适配多数低净空桩基工程规格；

（2）分层成孔与接力施工技术

针对低净空下钻杆提升受限问题，采用“分层成孔、接力取土”工艺，将成孔过程分为3~5米的施工段，每完成一段后，通过小型卷扬机配合短节钻杆接力提升岩渣，避免钻杆过长导致的操作不便；同时优化泥浆循环系统，采用小型泥浆泵与浅式泥浆池，减少设备占用空间；

（3）模块化钢筋笼制作与吊装技术

将传统整体式钢筋笼拆解为2~3米的模块化单元，在地面预制完成后，通过低净空专用吊装设备（如微型履带吊、液压千斤顶）分段吊装，吊装过程中采用多点同步起吊技术，控制钢筋笼垂直度偏差 $\leq 1\%$ ，避免钢筋笼变形；钢筋笼对接时采用套筒挤压连接或坡口焊接，确保连接强度符合设计要求；

(4) 精准控制技术

配备浅孔测径仪，成孔后快速检测孔径偏差，确保孔径误差控制在±5毫米以内；同时采用低净空混凝土浇筑导管（直径150~200毫米，可分段连接），配合小型混凝土料斗（容量0.5~1立方米），实现混凝土精准浇筑，避免混凝土离析。



旋挖潜孔锤

二、应用场景

凭借对低净空环境的强适应性，该工法适用于受限空间桩基工程：

(1) 既有建筑改造与扩建工程

如老旧小区地下车库新增桩基、商场中庭加固桩基施工，净空高度多为3~5米，需在不拆除原有结构（如楼板、梁体）的前提下施工，该工法可避免对既有建筑的破坏；

(2) 地下工程与隧道附属桩基

地铁区间隧道顶部桩基、地下综合管廊附属支护桩基，净空高度常 <4 米，且周边存在管线、隧道结构等障碍物；

(3) 桥梁下部结构维修加固

既有桥梁墩柱周边新增防撞桩基、立交桥下匝道桩基施工，桥梁梁体下方净空高度 <5 米，且存在交通通行需求，该工法可实现“边通行、边施工”，减少对交通的影响。

三、经济性

相较于人工挖孔桩，该工法施工效率提升4~6倍，单根直径1米、深度15米的桩基，传统人工挖孔需15~20天，该工法仅需3~5天，大幅减少人工投入（单桩人工成本降低60%）。

四、效率及品质

(1) 生产效率

在黏性土、砂土地层，小型旋挖钻机单日成孔深度可达8~12米（单根桩深度15米时，2~3天完成）；在中风化岩层（单轴抗压强度 $<50\text{MPa}$ ），液压冲击钻机单日成孔深度达5~8米，是人工挖孔桩的4~6倍，是大型设备拆解施工的2~3倍。

(2) 品质

成孔质量精准可控：小型化设备配备实时垂直度监测仪，成孔垂直度偏差 $\leq 1\%$ ，孔径偏差控制在 ± 5 毫米以内；

钢筋笼与混凝土质量可靠：模块化钢筋笼在地面预制，工厂化生产确保钢筋间距偏差 ≤ 10 毫米，连接节点强度通过现场拉拔试验验证（抗拉强度 \geq 设计值的1.1倍）；混凝土浇筑采用导管法，导管埋深控制在2~6米，配合小型振捣

设备（插入式振捣棒长度 1.5~2 米），确保混凝土密实度达 98%以上。