

# 基于细砂土工况的旋挖钻孔灌注桩施工优化方案探讨

郑勇

云南建投第四建设有限公司

**摘要：**细砂土地具有孔隙率大、渗透性强、胶结性差、遇水易失稳的特性，旋挖钻孔灌注桩施工中易出现塌孔、缩径、混凝土充盈系数超标等问题，直接影响桩基成桩质量与施工效益。本文以永善县细沙易地搬迁产业园区标准厂房等基础设施建设项目为工程依托，针对场地细砂卵石层、杂填土交互分布且地下水丰富的工况，开展旋挖桩施工方案优化研究，通过回填黏土二次成孔、分层降水管控、深层塌孔刚性加固、灌注工艺精细化控制等技术措施，解决细砂土工况下成孔失稳、超灌严重、工期延误等核心难题。工程实践表明，优化方案可有效降低塌孔发生率、控制混凝土充盈系数、提升桩基施工质量，可为同类细砂土地旋挖钻孔灌注桩施工提供参考。

**关键词：**细砂土；旋挖钻孔灌注桩；施工优化；塌孔防控；充盈系数

## 引言

旋挖钻孔灌注桩因成孔效率高、适配地层广、机械化程度高等优势，在建筑地基基础工程中应用广泛。细砂土及砂卵石复合地层在西南山区分布广泛，该类地层颗粒间黏结力弱、孔隙通道发育，常规泥浆护壁易出现漏浆失稳，全护筒施工成本偏高且受场地条件限制，导致桩基施工常面临塌孔、缩径、混凝土超灌等问题，既影响单桩承载力达标，也会增加施工成本与工期损耗。永善县细沙易地搬迁产业园区项目场地以细砂卵石层为主要持力层，上部覆盖厚层杂填土，地下水位受雨季影响波动显著，试桩阶段塌孔问题突出，混凝土充盈系数远超合理范围。为适配现场细砂土工况特性，项目经多方案比选与现场试验，形成针对性施工优化方案，在保障桩基质量的同时实现成本与工期的双重管控，为细砂土工况下旋挖桩施工提供可复制的实践经验。

## 1 项目概况

本项目位于云南省昭通市永善县细沙乡，总建设规模 50007.2 m<sup>2</sup>，包含 1#、4#、6# 厂房、宿舍楼及配套用房，均采用旋挖钻孔灌注桩基础，桩基总量 486 根，桩径 800mm，设计桩长 14m ~ 16m，桩身混凝土为 C35 水下混凝土，桩端持力层为第二系卵石层，单桩承载力特征值不小于 1900kN，桩基设计等级为乙类，设计使用年限 50 年。

场地地层自上而下依次为杂填土、细砂卵石层、含砾粉质黏土及角砾层，其中细砂卵石层粒径 2 ~ 5cm，含量 60% ~ 85%，粉质黏土充填，孔隙率高、渗透性强；地下水位埋深 5.9m ~ 15.5m，雨季水位上升 3 ~ 5m，

地下水对孔壁稳定性影响显著。场地属不均匀地基，细砂土及卵石层在动水压力下易发生孔壁剥落、塌孔，是本工程桩基施工的核心控制难点。

原施工方案试桩阶段采用常规泥浆护壁与钢护筒施工，因细砂土孔隙大导致泥浆大量漏失，护壁失效；雨季地下水位上升后，浅层杂填土与细砂层塌孔加剧，混凝土充盈系数最高达 1.35，单桩材料损耗严重；部分桩位出现多次塌孔，成孔效率低，无法满足工期要求。

## 2 细砂土工况旋挖桩施工核心优化策略

### 2.1 回填黏土二次成孔工艺优化

细砂土及杂填土层孔壁结构松散，单次旋挖成孔易出现径向坍塌，形成不规则扩径，直接推高混凝土用量。针对浅层细砂土塌孔问题，采用先引孔、后回填黏土、再二次成孔的工艺，通过黏土回填挤压密实孔壁，封堵地层孔隙，形成柔性稳定护壁<sup>[1]</sup>。

该工艺核心是控制首次引孔深度与黏土回填密实度，首次引孔至浅层易塌段后，分层回填可塑性黏土并夯实，二次钻孔时钻头对回填黏土产生径向挤压力，使黏土嵌入孔壁孔隙，阻断塌孔通道，在不缩小桩径的前提下减少混凝土充盈量。本项目针对地表下 9 ~ 10m 细砂杂填土层，统一采用该优化工艺：首次旋挖引孔至 10m 深度，回填项目 10 ~ 20km 外采购的优质黏土，分层夯实确保密实度；二次引孔时黏土受钻头挤压密实，有效封堵孔壁间隙。经现场实测，采用该工艺的桩位充盈系数从 1.35 降至 1.12，单桩混凝土用量平均减少 12%，浅层塌孔发生率降至 5% 以下，解决了细砂土浅层成孔失稳的核心问题（如下图 1）。

作者简介：郑勇（1987—），男，本科，高级工程师，研究方向为建筑工程施工管理工作。



图 1 回填黏土后挤压的孔壁

为进一步强化黏土回填后的孔壁防护效果，弥补常规泥浆在细砂土地层易漏浆、护壁能力弱的短板，本项目同步开展改性泥浆护壁的适配性优化，打造“黏土挤密+改性泥浆挂壁”的双层柔性护壁体系（如下表 1）。改性泥浆以钠基膨润土为基底，精准配比纯碱、CMC 羧甲基纤维素、重晶石粉，按 8%~10% 膨润土、0.3%~0.5% 纯碱、0.1%~0.2% CMC、2%~3% 重晶石粉的质量比例现场拌制，纯碱调节泥浆 pH 值至 8~10，提升膨润土水化分散效果，CMC 增强泥浆黏度与胶体稳定性，重晶石粉将泥浆比重精准控制在 1.10~1.15，兼顾孔壁液柱压力与孔隙封堵能力。施工中设置三级泥浆循环系统，包含制浆池、循环池、沉淀池，实现泥浆制备、循环利用与沉渣分离，安排专人每 2 小时检测泥浆黏度、含砂率、胶体率等指标，确保黏度维持 18~22s、含砂率 ≤ 4%、胶体率 ≥ 98%。同时将孔内泥浆面控制在高于地下水位 1.5m 以上，利用泥浆液柱压力辅助稳定孔壁，改性泥浆能紧密附着于黏土挤密后的孔壁表面，形成薄而坚韧的泥浆皮，有效嵌入细砂孔隙阻断渗水通道。经现场监测，该双层护壁体系使泥浆漏失率从原方案的 65% 降至 12%，浅层孔壁渗水、剥落现象完全消除，与黏土回填二次成孔工艺形成协同效应，进一步将浅层塌孔发生率控制在 3% 以内，为后续成孔施工奠定了稳定的孔壁基础。

表 1 细砂土工况旋挖桩改性泥浆性能控制指标

检测项目	控制标准	检测频率	检测方法
泥浆比重	1.10~1.15	每 2 小时 1 次	泥浆比重计法
黏度	18~22s	每 2 小时 1 次	马氏漏斗黏度计法
含砂率	≤ 4%	每 2 小时 1 次	含砂率计法
胶体率	≥ 98%	每日 2 次	量筒观测法
pH 值	8~10	每日 2 次	pH 试纸法

### 2.2 分层深井降水与地下水动态管控

地下水是细砂土孔壁失稳的主要诱因，水位波动会破坏细砂颗粒间的有效应力，引发孔壁剥落、塌孔。针对本项目地下水丰富、雨季涨幅大的特点，采用深井分层降水方案，持续降低施工区域地下水位，使桩孔施工段处于疏干状态，从源头提升孔壁稳定性<sup>[2]</sup>。

降水施工需合理布设井位、控制井深与抽水强度，降水井采用波纹管滤水结构，外包密目网防止细砂涌入，井周填充碎石形成滤水层，配套带浮球阀的污水泵实现自动抽水，确保水位稳定控制在桩底以下，避免水位反复波动影响成孔质量。

本项目在建筑物外侧每 10m 布设 1 口 20m 深降水井，采用 800mm 波纹管，管壁间隔 30cm 钻孔，外包三层密目网后投入井内，井周填充碎石过滤细砂；每台水泵配备专用三级电箱，电工值守确保连续抽水。雨季施工期间，地下水位稳定降 3 ~ 5m，桩孔施工段全程处于疏干状态，细砂土孔壁无渗水剥落现象，塌孔发生率较降水前下降 70%，成孔连续性得到有效保障。

### 2.3 深层塌孔早强混凝土分段加固

10m 以下深层细砂卵石层渗透性更强，且受地下水持续浸泡，黏土回填无法形成有效护壁，塌孔后易出现大范围扩径。针对该工况，采用早强混凝土分段灌注加固工艺，对塌孔段进行刚性封堵，待混凝土达到设计强度后复钻，形成稳定孔壁<sup>[3]</sup>。

施工中根据塌孔程度分级选用混凝土标号，一般塌孔采用 C25 早强混凝土，严重塌孔或积水较多时采用 C30 早强混凝土，回填高度超出塌孔段 1m 以上，养护至抗压强度达 20MPa~24MPa（强度 80%）后再进行复钻，避免复钻时孔壁再次坍塌。本项目桩长 14 ~ 16m，10m 以下细砂卵石层共出现 2 处塌孔，均采用该工艺处置：对普通塌孔段灌注 C25 早强混凝土，严重塌孔段灌注 C30 早强混凝土，养护 3 ~ 5 天达标后复钻。经统计，该类桩位复钻成功率 100%，未出现二次塌孔，单桩成孔周期控制在 8 小时内，未影响整体施工进度。

### 2.4 成孔与水下灌注精细化工艺管控

细砂土工况下成孔精度与灌注连续性直接决定桩基质量，需从钻机就位、孔位偏差、垂直度控制、导管理深、沉渣厚度等环节实施全过程精细化管控，避免因工艺偏差引发塌孔、断桩、夹泥等质量缺陷<sup>[4]</sup>。

钻机就位需满足“三点一线”要求，转盘中心与桩位偏差不大于 20mm；成孔后沉渣厚度严格控制在 50mm 以内，超标需二次清孔；水下灌注采用直径 250mm 导管，初灌混凝土埋深不小于 1.5m，连续灌注

时埋深控制在 2.5 ~ 3.5m, 严禁导管拔出混凝土面, 确保桩身密实完整。本项目 3 台徐工 360 旋挖钻机均执行标准化就位校准, 桩位采用全站仪与 RTK 双重复核; 钢筋笼吊装后逐孔检测沉渣厚度, 不合格桩孔立即进行气举清孔; 水下灌注时专人监测混凝土面高度, 动态调整导管理深。经验收, 项目所有桩位偏差均  $\leq 100\text{mm}$ , 桩身垂直度偏差  $\leq 1\%$ , 沉渣厚度全部符合规范要求, 桩身密实度达标率 100%。

#### 4 质量验收与安全文明施工优化

##### 4.1 质量验收体系优化

细砂土工况桩基质量验收需突出过程验收与竣工检测结合, 严格遵循《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB50202-2018、《建筑桩基技术规范》JGJ94-2008 等规范要求, 执行“班组自检、项目部复检、监理验收、第三方检测”四级验收制度。施工中重点验收桩位、孔深、孔径、钢筋笼制作安装、混凝土灌注等关键工序; 成桩 28 天后, 委托第三方检测机构采用低应变法检测桩身完整性, 静载试验检测单桩承载力。本项目 486 根桩基经检测, I 类桩占比 98%, 单桩承载力均满足  $\geq 1900\text{kN}$  的设计要求, 质量验收一次性合格。

##### 4.2 安全文明施工优化

细砂土场地孔口易失稳坍塌, 安全管控需聚焦孔口防护、机械作业、临时用电、吊装作业四大核心。桩孔成孔后立即搭设 1.2m 高防护围栏, 挂设安全网与警示标识, 夜间设置警示红灯; 旋挖钻机、25t 汽车吊

作业时专人指挥, 钢筋笼吊装范围内禁止站人; 临时用电严格执行“一机一闸一漏一箱”, 电缆架空敷设, 避免浸水破损。项目施工期间未发生高处坠落、机械伤害、触电等安全事故, 现场渣土集中堆放并覆盖绿网, 污水经沉淀后排放, 满足绿色施工与环保要求。

#### 5 结论

细砂土及砂卵石复合地层旋挖钻孔灌注桩施工, 核心在于解决孔壁失稳、地下水扰动、混凝土超灌三大难题。本文依托永善县细沙易地搬迁产业园区项目, 形成的回填黏土二次成孔、分层深井降水、深层早强混凝土加固、灌注工艺精细化管控一体化优化方案, 可有效适配细砂土工况特性, 既克服了常规泥浆护壁漏浆失效的缺陷, 也避免了全护筒施工的高成本问题。工程实践表明, 该优化方案能显著降低塌孔发生率、控制混凝土充盈系数、提升成桩质量与施工效率, 可为西南山区细砂土场地同类桩基工程提供可靠的技术参考。

#### 参考文献:

- [1] 林勇. 铁路路基钻孔灌注桩施工关键技术研究 [J]. 科学技术创新, 2026, (05):148-151.
- [2] 张徐. 旋挖钻孔灌注桩施工工艺研究 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2026, (06):139-141.
- [3] 林嘉晖. 基于旋挖钻孔的建筑桩基础施工技术与管理控制措施 [J]. 中国建筑金属结构, 2026, 25(03):102-104.
- [4] 楼康. 高速公路桥梁旋挖钻孔灌注桩混凝土施工技术研究 [J]. 交通科技与管理, 2026, 7(03):149-151.