

砂卵石地层深孔桩基施工质量控制要点浅析

霍家豪

中冶武勘工程技术有限公司 湖北 武汉 430080

【摘要】：砂卵石地层具有颗粒级配不均、孔隙率大、透水性强、自稳能力差等特点，在深孔桩基施工中极易出现塌孔、漏浆、缩颈及沉渣过厚等质量通病。为确保桩基工程的承载力与完整性，需从施工准备、成孔工艺、泥浆护壁、钢筋笼安装及混凝土灌注等全环节实施精细化质量控制。

【关键词】：砂卵石地层;深孔桩基;质量控制

DOI:10.12417/2811-0528.26.16.070

由于砂卵石地层含水量丰富、护壁稳定性差，极易发生塌孔、漏浆、偏孔等问题，砂卵石地层深孔桩基施工质量控制要点主要包括，合理选择施工工艺、加强护壁稳定性、控制沉渣厚度、确保成孔垂直度与深度、防止钢筋笼上浮及混凝土灌注缺陷。

1 施工前准备与地质复核

(1) 地质勘察数据复核。砂卵石地层的卵石粒径、含量及分布规律对钻进效率及护壁效果影响显著。施工前必须对岩土工程勘察报告进行详细复核，重点查明卵石层的厚度、最大粒径、密实度以及地下水水位和流速。若勘察数据与实际不符，应及时补充勘探或调整施工方案，确保设计参数与现场地质条件相匹配。

(2) 设备选型与调试。针对砂卵石地层硬度高、磨蚀性强的特点，应优先选用扭矩大、钻压足且具备强力排渣能力的旋挖钻机或冲击钻机。钻头宜选用嵌岩钻头或筒式取芯钻头，以应对大粒径卵石。施工前需对桩机、混凝土搅拌机、导管等设备进行全面性能检查与调试，确保设备处于良好工作状态，避免因设备故障导致停工进而引发塌孔风险。

(3) 原材料检验。严格检验水泥、砂石、钢筋及外加剂等原材料的质量证明文件及性能指标。特别是用于制备泥浆的膨润土，应选用优质钠基膨润土，确保其造浆率和稳定性符合规范要求。不合格材料严禁进入施工现场。

2 泥浆护壁与循环系统控制

(1) 泥浆配比优化。砂卵石地层深孔桩基施工中，泥浆护壁与循环系统控制及泥浆配比优化是确保成孔稳定、防止塌孔和保障桩身质量的核心措施。该类地层因颗粒间隙大、透水性强，极易发生漏浆、塌孔等问题，需通过科学的泥浆系统设计与精细化施工控制来应对。泥浆护壁控制要点，在砂卵石地层中，泥浆护壁是维持孔壁稳定的关键。应重点控制以下方面，泥浆比重，应控制在 1.3~1.5 之间，以增强液柱压力，平衡地

层侧向压力，防止塌孔。粘度控制，保持在 18~22s（漏斗粘度），确保泥浆具有良好的悬浮能力和携渣性能。含砂率，必须低于 4%，避免粗颗粒沉积影响护壁效果。pH 值调节：建议控制在 9~12，通过添加纯碱提高泥浆胶体率和稳定性，减少失水量。泥皮形成，优质泥浆应在孔壁形成致密泥皮，降低渗透性，防止地下水渗入导致孔壁失稳。若地层中存在溶洞或强透水层，可采用高分子聚合物泥浆或预注浆封堵，提升护壁可靠性。泥浆循环系统控制，泥浆循环系统是保障钻进连续性和成孔质量的“血液系统”，其运行效率直接影响施工安全与进度。系统组成，包括制浆池、沉淀池、循环槽、泥浆泵、振动筛、除砂器、离心机等多级净化设备。循环方式，推荐采用“气举反循环”或“泵吸反循环”，加快泥浆流速，提升排渣效率。实时监测，每班至少检测泥浆性能 6 次，重点监控比重、粘度、含砂率等指标，确保符合地层需求。环保要求，泥浆应循环利用，废弃泥浆须经沉淀处理后集中清运，防止污染环境。在深孔施工中，建议配备自动泥浆调配与监测系统，实现动态调控。泥浆配比优化策略，针对砂卵石地层特性，传统原土造浆难以满足护壁要求，需进行科学配比优化。

原材料	推荐用量	功能说明
膨润土	$\geq 8\% \sim 10\%$	提高粘度和悬浮能力，增强护壁效果
水	清洁淡水	避免使用浑水影响泥浆性能
羧甲基纤维素 (CMC)	$0.1\% \sim 0.3\%$	增加泥浆粘性，防止泥皮剥落
纯碱 (Na_2CO_3)	$0.3\% \sim 0.5\%$	调节 pH 值至 9~12，提升胶体率和稳定性

实际施工前应通过室内试验确定最优配比，并根据地层变化动态调整。

其他关键施工措施，钻进工艺选择，旋挖钻机适用于粒径

<10cm 的卵砾石层,宜采用中高冲程(2~4m)钻进,勤出渣。清孔控制,清孔后孔底沉渣厚度应满足,端承桩 $\leq 50\text{mm}$,摩擦端承桩 $\leq 100\text{mm}$,摩擦桩 $\leq 300\text{mm}$,护筒设置,护筒埋深应进入稳定土层,顶面高出地面 300mm,中心偏差 $\leq 50\text{mm}$ 。跳孔施工,采用隔孔或跳打方式,减少相邻桩施工对土体的扰动,防止塌孔。

(2) 泥浆循环系统设置。高效的泥浆循环系统是及时排除钻渣、维持孔内压力平衡的核心。循环流程与设施布局,池体分离,采取循环池与沉淀池分离的方式进行泥浆循环,或者采用滤砂器进行滤砂处理,确保回用泥浆的清洁度。净化设备配置,每台钻机应配备一台泥浆净化器,根据地层情况及钻进速度实时对孔内泥浆进行取样检验,保证护壁质量并减少清孔时间。正循环流程,泥浆从泥浆池经泥浆泵注入钻杆,从钻头喷出携带岩渣,经孔口返回沉淀池。循环流速与动力控制,流速控制,循环流速应控制在 1.5~2.5m/s,以确保岩渣能够充分悬浮并被带出孔外。泵送功率匹配,清孔用泥浆泵的功率必须满足置换泥浆的要求。一般孔深在 5 米以内的,泥浆泵功率应不小于 22KW,对于深孔桩,需根据孔深和孔径计算所需排量,选用大功率泥浆泵。气举反循环应用,在条件允许时,可采用气举反循环成孔工艺。通过集中供应压缩空气,经调压风包稳定后供应给钻机,始终保持较稳定的气压。此举可加快泥浆循环速度,避免因气压不稳定造成的塌孔和钻渣堵塞钻杆事故,显著提高钻孔效率。钻进参数与循环协同,交替循环,每钻进 1m 进行一次正反循环交替钻进,以增强携渣能力,防止钻渣在孔底堆积。转速与钻压,砂卵石层钻进时,转速降至 15~20r/min,钻压控制在 80~100kPa。较低的转速有助于减少泥浆扰动,保持孔壁稳定。

(3) 泥浆护壁性能指标控制,砂卵石地层由于颗粒间空隙较大,泥浆极易渗入地层造成流失,进而导致孔壁失稳。因此,泥浆的配比与性能指标需根据钻进阶段动态调整。新制泥浆指标,材料选择必须选用优质膨润土,并采用合理的配合比(如膨润土:纯碱:纤维素)进行配制。初始指标要求,新制泥浆的比重应控制在 1.08~1.12 之间,粘度控制在 18~23s。这一指标旨在形成致密的泥皮,初步封堵卵石间隙。钻进过程中的泥浆调整,防漏与携渣增强,在砂卵石层钻进时,为填充卵石间隙并提高悬浮能力,可在泥浆中添加 3%的锯末。比重提升,随着钻进深度增加,泥浆比重需提升至 1.20~1.25,以增强对孔壁的支撑力。岩层过渡若遇局部岩层或硬夹层,泥浆比重需进一步控制在 1.25~1.30,粘度提升至 30~35s,以适应不同地层的护壁需求。清孔后泥浆指标,清孔的目的是置换出孔内高比重、高含砂量的浓浆,确保混凝土浇筑前的孔底环境洁净。取样位置,在泥浆循环状态下,于泥浆排出处取样。合格标准,比重,1.03~1.10。含砂率:小于 2%。粘度:17~20s。原则,

各项指标应能满足将孔内浓浆置换出来并降低含砂率的要求,具体数值需根据孔内实际情况适当调整。

3 成孔过程质量控制

(1) 护筒埋设控制。护筒中心线与桩位中心线偏差不得大于 30mm,倾斜度控制在 1%以内。护筒应埋入较坚硬土层,底部及周围用粘土回填密实,防止冲刷导致悬空或塌孔。护筒高度宜高出地面 0.3m,以维持孔内水头压力,防止地表水流入。

(2) 钻进工艺优化。针对大粒径砂卵石层(卵石粒径超 0.3m),可采用旋挖钻+螺旋钻头组合工艺,对扁平状漂石可从短边切入取出。遇孤石时切换为入岩模式(转速 8 转/min),并及时回填掺有 1.5%~2%水泥的粘土,通过反转加压形成板结护壁,增强孔壁稳定性。推荐使用动力头扭矩 $\geq 220\text{ kN}\cdot\text{m}$ 的旋挖钻机,以提升对复杂地层的穿透能力。

(3) 泥浆与护壁控制。采用膨润土泥浆护壁,泥浆比重控制在 1.3~1.5,提高孔壁稳定性和悬浮沉渣能力。在易坍塌砂层中可适当加入粘土,增加泥浆稠度,强化护壁效果。或采用粘土干挖护壁工法,替代传统泥浆,减少环境污染,适用于水资源紧张区域。

(4) 孔深与垂直度控制。孔深偏差不得超过 $\pm 50\text{mm}$,终孔后须测量孔底沉渣厚度,端承桩 $\leq 5\text{cm}$,摩擦桩 $\leq 10\text{cm}$ 。垂直度偏差应 $\leq 1\%$,施工中通过吊线锤、经纬仪或钻机自带监测系统实时校正。为减少桩体侵入结构,建议桩位外放 10cm,提升空间容错率。

(5) 清孔与沉渣控制。实施两次清孔,第一次清孔,终孔后立即进行,采用换浆法或掏渣筒清除粗颗粒沉渣。第二次清孔,钢筋笼安装后,利用导管配合泥浆循环系统进行,确保孔底清洁。清孔后泥浆比重应降至 1.03~1.08,含砂率 $\leq 2\%$,确保混凝土灌注质量。

4 清孔与成孔检测

(1) 清孔质量控制要点。砂卵石地层清孔的关键是防止孔壁坍塌的同时彻底清除孔底沉渣,确保桩端承载力。清孔时机与次数,钻孔至设计深度并经监理验收后立即清孔。由于该地层易沉积,通常需进行两次清孔,第一次在下放钢筋笼前,第二次在灌注混凝土前利用导管进行反循环清孔。泥浆控制指标,泥浆相对密度应控制在 1.15~1.25(土质较差时)以维持孔壁稳定。粘度保持在 18~20s,含砂率不大于 4%,胶体率不小于 90%,优先选用高塑性粘土或膨润土配制。清孔过程中持续补充泥浆,液面应高出地下水位 1.5m 以上,防止塌孔。沉渣厚度要求,对于支承桩或嵌岩桩,孔底沉渣厚度不得大于

50mm。摩擦桩若桩径 $\leq 1.5\text{m}$ ，沉渣厚度应 $\leq 300\text{mm}$ ，桩径 $> 1.5\text{m}$ 或桩长 $> 40\text{m}$ 时，应 $\leq 500\text{mm}$ 。清孔后须使用沉渣测定仪实测，确认达标后立即灌注混凝土。

(2) 成孔质量检测要点。成孔检测是保障桩基几何精度和结构安全的前提，重点检测孔径、孔深、垂直度与沉渣厚度。检测方法与设备，超声波成孔检测法，推荐使用超声波探头对准护筒中心，沿孔深连续提升，记录四向孔壁曲线，可精准识别扩径、缩径、垂直度偏差及沉渣厚度。测绳+重锤法，用于复核孔深，测量精度需达 $\pm 0.2\%$ 。自校程序，检测前应在泥浆中进行至少两次系统自校，锁定声速参数，确保数据准确。特殊地层应对措施，在砂卵石地层中，钻进速度应控制在 15cm/min 左右，避免扰动孔壁；同时经常检查钻头直径，磨损超 10mm 应及时更换，以防缩径。旋挖钻机施工时应确保支承面积足够，钻架稳固，并实时校核垂直度。

5 钢筋笼制作与安装

(1) 钢筋笼加工质量。钢筋笼的加工尺寸、焊接质量及主筋间距必须符合设计要求。监理验收同意后方可出场。钢筋笼中心应与孔位中心对应，对于护筒偏位较大的情况，在下放最后一节钢筋笼时利用钢筋限位措施，确保笼顶中心与桩中心对应。(2) 下放过程控制。下放钢筋笼时应缓慢均匀，避免碰撞孔壁造成塌孔。严格控制丝头连接质量及声测管焊接质量，防止漏浆或堵塞。通过计算引笼长度，严格控制好笼顶标高，确保钢筋笼定位准确。

6 水下混凝土灌注

(1) 混凝土性能要求。适配水下灌注与砂卵石地层特征，和易性与流动性，坍落度控制在 $180\sim 220\text{mm}$ ，含砂率 $40\%\sim 50\%$ ，保证自重下可自行流动、不离析，流动性保持能力需达到 $1\sim 1.5\text{h}$ ，适配较长灌注时长。原材料与配合比，水泥强度等级不低于 32.5MPa ，水泥用量不少于 350kg/m^3 ，粗骨料优先选卵石（最大粒径 $\leq 40\text{mm}$ ，且不超过导管直径 $1/8$ ），水灰比控制在 $0.44\sim 0.6$ ，可掺入缓凝、塑化外加剂，延缓初凝且不影响强度。其他要求，泌水率小、粘聚性好，湿堆密度不小于 2100kg/m^3 ，保证足够容重可自行排开泥浆，保证密实度。

(2) 连续均匀灌注。灌注过程必须连续均匀进行，严禁中途停顿。首批混凝土灌入后，应保证导管埋深不小于 1.0m 。后续灌注中，导管埋深宜控制在 $2\sim 6\text{m}$ 之间，避免埋深过浅导

致断桩或埋深过深造成堵管。通过控制混凝土面上升速度，防止夹泥、缩颈等缺陷。

(3) 桩顶标高控制。灌注结束时，桩顶混凝土标高应高于设计标高 $0.5\sim 1.0\text{m}$ ，以保证凿除浮浆后桩身混凝土质量符合设计要求。同时，做好施工过程记录，包括桩位、桩长、混凝土用量等关键数据，确保数据真实完整。

7 质量检测与验收

(1) 桩身完整性检测。按规范要求进行桩身完整性检测，常用方法包括低应变反射波法、超声波透射法等。对于砂卵石地层中的深孔桩，建议优先采用超声波透射法，以更准确地判断桩身混凝土的均匀性及是否存在缺陷。

(2) 承载力检测。按规范进行桩基承载力检测，如静载试验、高应变法等，验证桩基是否满足设计要求。检测结果作为工程验收的重要依据。

(3) 验收核心标准。

验收项目	控制要求
桩位放样偏差	群桩 $\leq 20\text{mm}$ ，单排桩 $\leq 10\text{mm}$
桩位偏差	开挖后逐根测量，允许偏差符合对应桩型的规范要求
桩顶标高	桩顶设计标高低于场地标高时，需开挖至设计标高后验收
桩身质量	I、II类桩为合格，不允许III、IV类桩未经处理直接验收
承载力	静载试验结果不小于设计要求值

(4) 资料整理与验收。对施工记录、检测报告及隐蔽工程验收记录进行整理审核，确保资料齐全、数据真实。组织监理、设计等单位进行分项工程验收，合格后方可进入下道工序。

总之，建立健全质量责任制，明确各岗位职责。加强施工人员技术培训与交底，确保熟悉操作规程及砂卵石地层施工的特殊要求。实行旁站监理制度，对成孔、清孔、钢筋笼下放、混凝土灌注等关键工序进行全过程监督，及时发现并纠正质量问题。通过实施有效的施工质量控制，预防断桩、偏位、沉渣过厚等常见质量问题，确保桩基施工质量符合设计要求，提升工程整体效益与安全性。

参考文献:

- [1] 刘秀丽.浅谈砂卵石地层深孔桩基施工质量控制要点.2023.
- [2] 王浩宇.关于砂卵石地层深孔桩基施工质量控制要点探讨.2024.