

桥梁桩基钻孔灌注施工中塌孔问题的预防与处理

贾 敏

内蒙古交通集团蒙通养护有限责任公司呼和浩特分公司 内蒙古 呼和浩特 010000

摘 要: 桥梁桩基钻孔灌注施工中, 塌孔是影响成桩质量与施工安全的关键隐患。本文围绕塌孔成因展开分析, 指出地质土层条件、施工操作偏差、护壁介质缺陷及外部环境扰动为主要诱因。在此基础上, 从地质勘察预处理、护壁系统优化、施工工序标准化管控、成孔后防护四个维度构建前置预防体系, 提出动态监测与系统化识别方法, 并就轻微、中度、严重三级塌孔病害分别给出对应处置技术与复原管护流程, 为桥梁桩基钻孔灌注施工中塌孔问题的系统防控提供可操作的技术参考。

关键词: 桥梁桩基; 钻孔灌注; 塌孔预防; 护壁泥浆; 动态监测

引言: 桥梁桩基钻孔灌注施工中, 塌孔问题始终是威胁成桩质量与施工进度的核心难题。松散砂层、软弱黏土、地下水富集等复杂地质条件叠加钻进操作不当、护壁泥浆性能不足等人为因素, 使孔壁失稳风险贯穿施工全过程。一旦塌孔发生, 轻则延误工期、增加成本, 重则导致桩基报废甚至引发安全事故。如何从成因源头识别风险、在施工过程中实时监控、在塌孔发生后快速处置, 已成为桥梁桩基施工领域亟待解决的现实问题。

1 桥梁桩基钻孔灌注塌孔成因分析

1.1 地质土层条件引发的塌孔诱因

桥梁桩基施工场地土层结构存在明显的差异性, 松散砂层与粉土层颗粒粘结性能偏弱, 土体自身稳定能力不足, 钻孔作业会打破原有土层应力平衡状态, 孔壁土体极易出现松散脱落现象。软弱黏土层含水量偏高, 土体结构稳定性会随钻孔作业推进持续下降, 土层受施工扰动后会产生流变变形, 造成孔壁土体滑移坍塌^[1]。部分施工区域土层存在不均匀夹层, 不同土层的抗剪强度与固结程度存在差异, 钻孔成型后孔壁受力状态分布不均, 结构薄弱部位会持续出现土体剥落, 逐步引发孔壁破损坍塌。地下水富集的土层会持续渗透冲刷孔壁, 不断带走土体细小颗粒, 弱化土层整体粘结强度, 逐步掏空孔壁内部结构, 诱发塌孔问题。

1.2 施工操作不规范产生的塌孔隐患

钻孔施工过程中钻进速度把控不合理, 过快的钻进节奏会对孔壁产生强烈冲击, 扰动周边稳定土体, 破坏孔壁完整结构。钻进作业过程中停钻时长把控不当, 孔壁长期处于裸露状态, 土体稳定性持续衰减, 裸露土层会逐步出现松动坍塌。清孔作业工序把控不到位, 孔

内残留渣土与沉渣会改变孔内受力环境, 造成孔壁局部应力集中, 引发土体脱落。钢筋笼下放作业姿态控制不当, 构件触碰孔壁土体, 会刮蹭破损成型孔壁结构, 引发局部土体坍塌, 逐步扩大塌孔范围。

1.3 施工机具与护壁介质存在的缺陷

钻孔设备运行状态不稳定, 机具振动幅度超标, 振动能量持续传递至孔壁土层, 会松动压实度良好的土体, 削弱孔壁整体稳固性。设备钻头磨损程度过高, 钻进作业时土体切削效果失衡, 孔壁成型平整度较差, 凹凸不平的孔壁结构会出现应力集中, 提升坍塌发生概率。护壁泥浆配置质量不达标, 各项性能指标无法适配现场土层施工需求, 泥浆护壁承压能力不足, 难以对孔壁形成有效支撑防护。泥浆循环系统运行状态异常, 孔内泥浆液面高度无法维持稳定, 护壁压力持续波动, 孔壁土体失去有效防护支撑, 产生塌孔问题。

1.4 外部环境扰动带来的塌孔风险

施工现场地面荷载分布不合理, 施工机械设备与堆放物料产生的压力会传递至地下土层, 改变桩基孔位周边土体应力状态, 挤压扰动孔壁结构。施工区域周边土体存在位移变化, 土层整体稳定性下降, 间接影响钻孔孔壁的结构稳固性。自然环境中的风力与地表温差变化会改变浅层土体物理状态, 浅层孔壁土体固结性能下降, 出现松散坍塌。施工区域地下水水位动态波动, 水压变化会反复冲刷、挤压孔壁, 持续破坏孔壁土体结构, 降低孔壁整体抗扰动能力, 引发不同程度的塌孔病害。

2 桥梁桩基钻孔灌注塌孔前置预防体系构建

2.1 施工前期地质勘察与孔位预处理

桩基施工开展前需细化场地土层勘察工作,精准采集孔位沿线土层分布、土体密实度及地下水赋存状态等基础数据,明确软弱土层、砂土层及夹层土层的空间分布范围。勘察工作可精准定位土层结构薄弱区域,为后续专项防护工作提供基础依据。针对稳定性偏弱的施工土层,可通过土体预压实的方式提升土层整体密实程度,改善原始土体松散特性。地下水发育的孔位区域可布设导排结构,降低地下水渗透作用对孔壁土体的冲刷影响^[2]。表层松散土体可做硬化处理,阻断外部扰动对钻孔成型阶段的不利影响,从源头提升孔位土体自身稳定性能。

2.2 护壁系统优化与泥浆参数管控

根据场地实际土层特性适配护壁结构配置,针对性调整泥浆配比组分,提升泥浆自身的粘结性与承压性能。严格把控泥浆胶体率与粘度等关键指标,让泥浆可以贴合孔壁形成均匀稳定的防护层,抵御孔外土体压力。根据钻孔深度动态调控泥浆重度,适配不同深度土层的受力特征,维持孔内护壁压力平衡。定期检修泥浆循环设备,保障泥浆输送与置换过程顺畅,避免孔内泥浆杂质堆积。及时置换性能衰减的泥浆材料,确保护壁介质始终保持良好的防护状态,杜绝护壁失效引发的孔壁失稳问题。

2.3 钻孔施工工序标准化管控方式

钻孔作业依照标准化施工流程推进,合理匹配钻进速率与土层特性,缓慢穿透砂层及软弱夹层等不稳定土层,减少钻进动作对孔壁土体的扰动破坏。保持钻设设备运行平稳,控制机具振动幅度,弱化机械振动对孔壁结构的松动作用。规范孔内清孔作业流程,分次清理孔内沉渣与悬浮杂物,维持孔内施工环境稳定。严控钻孔垂直度与孔壁平整度,规避孔壁局部应力集中现象。

2.4 成孔后静置与灌注前置防护举措

钻孔成型后缩短孔壁裸露时长,合理规划各施工工序衔接节奏,减少外界环境对孔壁的持续干扰。保持成孔后孔内泥浆液面处于合理高度,持续维持稳定的护壁压力,保障闲置阶段孔壁结构稳定。规范钢筋笼安放流程,平稳把控下放速度与安放姿态,规避构件晃动刮蹭孔壁的情况。灌注作业启动前复查孔内泥浆状态与孔壁完整度,及时处理轻微土体松动隐患。做好成孔区域的现场防护,阻隔地表荷载与气流扰动,为后续混凝土灌注作业提供稳定的孔体施工条件。

3 桥梁桩基塌孔动态监测与识别机制

3.1 钻孔过程孔壁状态动态监测方式

桩基钻孔作业全程开展持续性孔壁状态监测,依托

精细化施工观测手段追踪孔壁土体的整体稳定状态。作业人员持续关注钻孔推进过程中孔内土体的变化情况,捕捉土体脱落、碎屑掉落等细微施工变化^[3]。结合钻孔成型规律实时掌握孔壁完整程度,针对不稳定土层区段提升观测频次。依托设备运行反馈数据辅助判断孔壁结构状态,通过钻进阻力的细微波动感知孔壁土体的结构变化。针对深层钻孔区域强化监测力度,弥补深部区域可视性不足的监测短板,实现钻孔全深度范围的状态把控。

3.2 泥浆运行状态实时跟踪识别逻辑

泥浆系统运行全程开展状态跟踪工作,持续采集泥浆黏度、重度、含砂量等关键性能数据,把控泥浆整体工作性能。观测泥浆循环过程的流动平稳度,关注泥浆输送过程中出现的流速波动与杂质增量变化。泥浆性能出现异常波动时及时联动孔壁状态排查工作,将泥浆指标变化作为孔体失稳的重要判别依据。跟踪泥浆损耗量的变化规律,孔内土体坍塌会造成泥浆参数出现规律性偏差,通过数据变化捕捉潜在隐患。持续把控泥浆置换与补给过程的状态,维持泥浆系统运行稳定性,依托参数变化完成隐患识别。

3.3 孔内水位与土层形变监测手段

采用专业化监测设备把控孔内水位变化,定时记录孔内液面高度数据,捕捉水位异常升降的动态变化。水位出现无诱因波动时对应排查周边土层受力与结构状态,排查土体滑移与内部掏空问题。运用精密监测设备检测孔周土层的微小形变数据,捕捉土层横向位移与竖向沉降的细微变化。针对地下水活跃区段加密监测频次,把控水压变化引发的土层形变现象。整合水位数据与土层形变数据开展综合研判,提升孔体不稳定状态识别的精准程度。

3.4 塌孔前兆特征的系统化识别方法

梳理钻孔施工全过程的异常特征,建立系统化的塌孔前兆识别体系,整合土体、泥浆、孔体三类核心监测信息。归类孔壁掉块、渣土骤增、水位异动等典型前兆现象,形成标准化的隐患判别依据。结合不同土层的施工特性区分前兆特征的表现差异,提升复杂地质条件下的识别精准度。依托实时监测数据完成动态判别,及时捕捉初期轻微失稳现象。依托多维度施工数据交叉比对,规避单一监测方式带来的判别偏差,实现塌孔隐患的提早甄别。

4 桥梁桩基钻孔灌注塌孔处置技术与流程

4.1 轻微塌孔问题的快速处置技术

轻微塌孔多发生于钻孔浅层施工阶段,主要表现为

孔壁表层松散颗粒持续脱落,孔底累积细小渣土与悬浮碎屑,钻孔整体成型轮廓保持稳定,孔周土体应力结构不会产生大范围破坏。现场施工可依托泥浆护壁体系的动态调整完成快速修复,根据现场土层松散程度优化泥浆原始配比,提升泥浆自身粘稠性能与胶体稳定性,强化流体对孔壁松散土体颗粒的包裹与固结能力。调整泥浆循环设备运行档位,精细调控孔内泥浆液面高度,稳定孔内静水承压环境,阻断浅层土体脱落发展趋势^[4]。开展分层梯度清孔作业,分次有序清理孔底堆积的松散碎屑,减少渣土长期堆积对孔壁下段土体造成的挤压负荷。适度放缓钻进推进速率,延长泥浆与孔壁的接触浸润时长,让改良泥浆均匀覆盖孔壁表层孔隙,形成致密坚固的防护膜层。依托泥浆固有护壁承压性能修补局部破损孔壁结构,保障钻孔施工工序持续推进,规避小型塌孔问题持续恶化。

4.2 中度塌孔病害的专项修复技术

中度塌孔会造成钻孔局部孔壁成片破损脱落,钻孔断面平整度大幅下降,孔内沉渣堆积体量显著提升,孔周原状土层固结状态遭到持续扰动,土体整体稳定性持续衰减。施工现场及时暂停钻孔钻进作业,针对出现松动、剥落的孔壁区域开展专项结构加固作业。重新调配适配现场复杂地质条件的高性能护壁泥浆,全面置换孔内性能衰减、含砂量偏高的老旧泥浆,提升泥浆整体承压强度,强化薄弱孔壁的防护支撑能力。采用分层净化清理工艺处理塌孔产生的松散渣土,由浅至深逐层清除孔内悬浮杂质与淤积沉渣,杜绝厚重堆积土体挤压孔壁引发二次结构损伤。砂层与软弱夹层分布的不稳定施工区段,利用泥浆静置浸润工艺加固松动土体,推动离散土体颗粒充分粘合固结。对变形错位的孔壁断面进行精细打磨修整,修复不规整的孔体结构,恢复钻孔标准成型形态。

4.3 严重塌孔隐患的彻底处置方案

严重塌孔会引发大范围孔壁整体坍塌损毁,钻孔原有成型形态完全失效,孔内出现大规模土体堆积,孔周深层原状土层的原始结构彻底扰动破坏。施工现场关停全部钻孔及配套辅助作业,落实全方位的结构性处置工艺。对严重损毁的孔体开展分层回填作业,选用洁净素土或级配均匀的砂土填充孔内空腔,逐层对回填土体进行压实处理,重塑孔位周边土层的应力分布状态。预留充足静置时长保障回填土体完成自然固结沉降,提升回填区域土体密实度与整体结构强度。地质构造复杂、土体抗扰动能力偏弱的施工区域,增设专

项土体加固工艺,改良孔周土层的物理力学指标。待土层应力完全释放、土体结构趋于稳定后重新启动钻孔作业,结合现场地质实况重新核定钻进速率、泥浆指标等核心参数,建立适配性更强的护壁施工标准,遏制塌孔病害再次发生。

4.4 塌孔处置后的孔位复原与后续管护流程

塌孔专项处置作业结束后,逐项推进桩基孔位施工条件复原工作,细致核查孔壁表层完整状态、钻孔整体垂直度以及孔内清洁程度等关键施工指标。全面调试泥浆循环整套设备的运行工况,精准管控泥浆重度、黏度、含砂量等核心性能参数,持续维持孔内护壁压力的动态平衡状态。优化各施工工序的衔接节奏,最大程度压缩成型孔壁的裸露时长,降低地表气流扰动、临时堆载等外界因素对修复孔体的干扰。强化施工全流程动态管护力度,提升孔壁结构状态与泥浆性能的监测频次,及时捕捉土体细微位移与泥浆参数波动情况。严格规范钢筋笼下放、就位校正以及混凝土灌注等关键工序操作,平稳控制构件升降与对位动作,减少硬质构件移动过程中对孔壁的摩擦刮蹭,持续维持修复后孔体的结构稳定性,保障后续桩基施工有序开展。

结束语

桥梁桩基钻孔灌注施工中的塌孔防控,核心在于将预防做在前头、将监测嵌入过程、将处置落到实处。地质勘察与孔位预处理从源头降低土层失稳概率,护壁泥浆参数管控与工序标准化施工为孔壁提供持续有效的支撑防护,动态监测与前兆识别机制为早期预警提供判断依据,分级处置与孔位复原流程为不同程度塌孔病害提供针对性修复手段。四个环节环环相扣、缺一不可,唯有将预防、监控、处置三条线索拧成一股绳,才能真正把塌孔风险控制在可接受范围内,保障桥梁桩基施工质量与安全。

参考文献

- [1] 韩军师. 桥梁钻孔灌注桩施工中塌孔问题的现场识别与处置技术 [J]. 建筑与施工, 2026, 5(10): 199-200.
- [2] 王海军. 道路桥梁钻孔灌注桩施工技术的關鍵问题与优化措施 [J]. 大众标准化, 2025(12): 39-41.
- [3] 杨景博, 杨睿思, 包广谷. 公路桥梁桩基钻孔灌注桩施工中塌孔问题的防治技术 [J]. 越野世界, 2026(10): 131-133.
- [4] 李永霞. 公路桥梁钻孔灌注桩施工技术研究 [J]. 交通世界, 2025(31): 140-142.