

桥梁钻孔灌注桩成孔过程中孔壁坍塌问题分析与控制

杨光明

湖北交投建设集团有限公司 湖北 武汉 430070

【摘要】：孔壁坍塌是桥梁钻孔灌注桩成孔阶段的常见质量与安全隐患，会破坏成孔完整性、延误施工进度，甚至影响桥梁基础的承载能力与使用寿命。明确孔壁坍塌的诱发因素、掌握科学的控制方法，是保障钻孔灌注桩施工质量的关键。本文结合钻孔灌注桩施工实际，分析孔壁坍塌的主要成因，涵盖地质条件、施工工艺、泥浆性能及现场管理等方面，针对性提出可操作的控制措施，为成孔过程中规避孔壁坍塌风险、保障施工顺利推进提供支撑。

【关键词】：桥梁钻孔灌注桩；成孔施工；孔壁坍塌；成因分析；控制措施

DOI:10.12417/2811-0722.26.06.013

引言

钻孔灌注桩凭借适应性强、承载性能稳定、对周边环境干扰小等优势，广泛应用于各类桥梁基础工程，是保障桥梁结构安全的核心环节。成孔作为钻孔灌注桩施工的基础工序，其施工质量直接决定后续工序的开展及桩基最终质量。孔壁坍塌问题在成孔过程中频发，表现为孔壁岩土体剥落、坍塌，不仅会导致钻孔报废、材料损耗，还可能引发施工安全事故，增加施工成本。深入剖析孔壁坍塌的形成原因，探索切实可行的控制手段，破解成孔过程中的这一技术难题，既能保障施工有序推进，也能为桥梁基础工程的长期稳定奠定坚实基础，衔接后续对坍塌问题的系统分析与控制措施阐述。

1 桥梁钻孔灌注桩成孔孔壁坍塌的危害

1.1 破坏成孔质量影响桩基完整性

孔壁坍塌会直接破坏成孔的几何形态与结构完整性，导致钻孔孔径不规则、孔壁凹凸不平，甚至出现局部缩径、扩径等问题。坍塌产生的岩土碎屑会落入孔底，形成沉渣堆积，若清理不彻底，会影响桩身与地基岩土的结合效果，降低桩基的侧摩阻力和端承力。坍塌严重时，钻孔会直接报废，需重新钻孔施工，不仅浪费大量的人力、物力和时间，还会导致桩基施工质量难以达到设计标准，留下安全隐患^[1]。孔壁坍塌后的修复过程难度较大，修复不当还可能引发二次坍塌，进一步加剧成孔质量问题，影响后续钢筋笼安装、混凝土灌注等工序的顺利开展，对桩基的整体稳定性造成不可逆的影响。

1.2 延误施工进度增加施工成本

孔壁坍塌发生后，施工需立即停止，工作人员需对坍塌部位进行清理、回填、加固等处理，待孔壁稳定后才能恢复成孔作业。这一过程会占用大量的施工时间，打乱原本的施工计划，导致工期延误。处理坍塌问题需要额外投入人力、材料和机械设备，比如回填用的黏土、片石，加固用的泥浆材料，以及清理沉渣的机械设备等，都会增加施工成本。若坍塌情况严重，引发安全事故，还需投入更多的资金用于事故处理、人员救治和设备维修，进一步加剧施工成本的增加。同时，工期延误还

可能导致后续工序衔接不畅，引发连锁反应，影响整个桥梁工程的施工进度。

1.3 引发安全事故威胁施工安全

孔壁坍塌是钻孔灌注桩施工过程中的重大安全隐患，可能直接引发多种安全事故。坍塌的岩土体可能掩埋钻孔设备，导致钻机倾斜、损坏，甚至造成设备倾覆，给施工设备带来重大损失。若施工人员在孔口作业时发生孔壁坍塌，下落的岩土体可能砸伤施工人员，造成人员伤亡事故。孔壁坍塌还可能导致孔内泥浆大量流失，引发孔内水位骤降，进一步加剧坍塌范围扩大，形成恶性循环，对施工现场的整体安全造成严重威胁。坍塌产生的松动岩土体还可能影响周边施工区域的稳定性，引发周边地面沉降，威胁周边建筑物和施工设施的安全。

2 桥梁钻孔灌注桩成孔孔壁坍塌的主要成因

2.1 地质条件先天不足

地质条件是导致孔壁坍塌的先天因素，不同地质类型的岩土体稳定性差异较大，直接影响成孔过程中孔壁的安全。松散砂层、粉土层、淤泥质土层等地质类型，岩土体颗粒之间的粘结力弱、整体性差，抗剪强度低，在钻孔过程中，孔壁失去原有支撑后，极易发生剥落、坍塌。地下水位较高的区域，孔内水位与地下水位存在压力差，若水位控制不当，地下水会渗入孔内，冲刷孔壁岩土体，降低孔壁稳定性，引发坍塌^[2]。地质构造复杂的区域，如存在软弱夹层、岩溶空洞等，会导致孔壁岩土体受力不均，局部区域因承载力不足而发生坍塌，给成孔施工带来极大的难度。

2.2 施工工艺操作不规范

施工工艺操作不规范是引发孔壁坍塌的主要人为因素，贯穿成孔施工的全过程。护筒埋设环节，若护筒埋深不足、底部未穿透透水层，或护筒周边回填不密实，会导致地下水渗入，破坏孔壁稳定性；护筒倾斜、偏移也会导致钻孔受力不均，引发局部坍塌。钻进过程中，钻进速度过快，会使孔壁岩土体来不及形成有效支撑，同时产生较大的扰动，破坏岩土体的整体性，导致孔壁坍塌；钻进速度忽快忽慢，会造成孔壁凹凸不平，

形成应力集中,增加坍塌风险。钢筋笼吊装过程中,若吊装速度过快、钢筋笼碰撞孔壁,会直接破坏孔壁泥皮,导致孔壁岩土体失稳坍塌。

2.3 泥浆性能不符合要求

泥浆在钻孔灌注桩成孔过程中起到护壁、携渣、冷却钻头的重要作用,其性能好坏直接影响孔壁稳定性。泥浆比重不合理,过小时无法形成足够的液柱压力,难以平衡孔外土压力和地下水压力,孔壁岩土体易被冲刷、坍塌;过大时则会增加钻进阻力,同时可能导致泥浆粘度异常,影响携渣效果,沉渣堆积孔底,间接影响孔壁稳定。泥浆粘度不足,无法形成致密的泥皮附着在孔壁表面,孔壁岩土体得不到有效保护,易受地下水冲刷而坍塌;泥浆含砂率过高,会降低泥浆的护壁性能,同时磨损钻具,破坏孔壁完整性。泥浆循环系统不畅,无法及时将钻渣排出,也会导致孔内沉渣过多,加剧孔壁坍塌风险。

3 桥梁钻孔灌注桩成孔孔壁坍塌的前期预防措施

3.1 做好施工前地质勘察工作

施工前的地质勘察是预防孔壁坍塌的基础工作,需全面查明施工区域的地质条件和水文情况,为施工方案制定提供科学依据。勘察过程中,需详细掌握岩土体的类型、分布、物理力学性质,明确松散砂层、淤泥质土层等不稳定地层的分布范围和厚度,以及地下水位的埋深、变化规律。针对地质条件复杂的区域,需采取补充勘察措施,进一步查明软弱夹层、岩溶空洞等特殊地质构造的分布情况。根据勘察结果,制定针对性的成孔施工方案,合理选择钻进工艺、泥浆参数和护筒规格,提前预判坍塌风险,为施工过程中的风险防控提供指导,从源头规避地质因素引发的孔壁坍塌问题。

3.2 规范施工工艺参数设定

规范施工工艺参数设定,是预防孔壁坍塌的关键环节。护筒埋设需严格按照施工方案执行,根据地质条件确定护筒埋深,确保护筒底部穿透透水层,护筒周边采用黏土分层回填夯实,保证护筒稳固、不漏水;调整护筒中心与桩中心偏差,确保护筒竖直,避免因护筒倾斜引发孔壁坍塌^[9]。钻进工艺参数需结合地质条件合理设定,针对松散不稳定地层,采用慢速钻进方式,减少对孔壁岩土体的扰动,待孔壁形成稳定泥皮后再逐步调整钻进速度;钻进过程中保持匀速钻进,避免速度忽快忽慢,减少孔壁凹凸不平现象。钢筋笼吊装前,需检查钢筋笼尺寸,确保与钻孔孔径匹配,吊装过程中保持平稳,缓慢下放,避免碰撞孔壁。

3.3 优化泥浆性能并加强管理

优化泥浆性能并加强管理,能有效提升泥浆的护壁效果,预防孔壁坍塌。根据地质条件和施工需求,合理配置泥浆,调整泥浆比重和粘度,确保泥浆能形成足够的液柱压力,平衡孔外土压力和地下水压力,同时形成致密的泥皮附着在孔壁表

面,保护孔壁岩土体。控制泥浆含砂率,通过泥浆分离器等设备及时清除泥浆中的钻渣,保持泥浆纯净,提升泥浆护壁性能。建立泥浆性能检测机制,定期对泥浆的比重、粘度、含砂率等指标进行检测,发现指标异常时,及时调整泥浆配比,确保泥浆性能始终符合施工要求。加强泥浆循环系统管理,确保泥浆循环顺畅,及时将钻渣排出孔外,避免沉渣堆积影响孔壁稳定。

4 桥梁钻孔灌注桩成孔孔壁坍塌的过程控制措施

4.1 加强成孔过程实时监测

成孔过程中的实时监测的是及时发现坍塌隐患、避免坍塌扩大的重要手段。监测内容涵盖孔内水位、泥浆性能、孔壁状态等多个方面,安排专人负责监测工作,定时记录监测数据,及时分析监测结果。监测孔内水位变化,保持孔内水位高于地下水位,避免水位骤降引发孔壁坍塌;若发现水位异常下降,需立即查找原因,及时补充泥浆,确保水位稳定。监测泥浆性能,每间隔一定时间检测一次泥浆的比重、粘度、含砂率等指标,及时调整泥浆配比。通过孔内摄像、超声波检测等方式监测孔壁状态,及时发现孔壁剥落、变形等隐患,采取针对性措施处理,防止隐患扩大引发坍塌。

4.2 规范钻进操作流程

规范钻进操作流程,能减少人为操作不当引发的孔壁坍塌。钻进前,对钻机设备进行全面检查,确保设备性能良好,钻杆、钻头等部件连接牢固,避免钻进过程中因设备故障引发孔壁扰动。钻进过程中,操作人员严格按照施工方案和操作规程执行,匀速钻进,避免盲目提速或减速;在松散不稳定地层钻进时,适当放慢钻进速度,同时增加泥浆循环量,确保孔壁泥皮形成充分^[9]。钻进过程中若遇到坚硬岩层或障碍物,不得强行钻进,需采取合理措施处理,避免因剧烈振动扰动孔壁。停钻期间,保持泥浆循环,避免泥浆沉淀导致护壁失效,若停钻时间较长,需采取孔壁保护措施,防止孔壁坍塌。

4.3 做好孔壁临时加固处理

针对地质条件复杂、坍塌风险较高的区域,需做好孔壁临时加固处理,提升孔壁稳定性。对于松散砂层、粉土层等不稳定地层,可采用注浆加固的方式,向孔壁周边岩土体注入浆液,待浆液凝固后,形成加固层,增强岩土体的粘结力和抗剪强度,防止孔壁坍塌。对于地下水位较高的区域,可采用降水措施,降低地下水位,减少地下水对孔壁的冲刷,同时减小孔内水位与地下水位的压力差,提升孔壁稳定性。在钻进过程中,若发现孔壁有轻微剥落、变形等迹象,及时采用加大泥浆比重、放慢钻进速度等临时措施,必要时进行回填加固,待孔壁稳定后再继续钻进,避免坍塌扩大。

5 桥梁钻孔灌注桩成孔孔壁坍塌的应急处置方法

5.1 轻微坍塌的应急处置

轻微坍塌主要表现为孔壁局部剥落、沉渣量增加,孔内水

位和泥浆性能基本稳定,此时需及时采取应急处置措施,防止坍塌范围扩大。立即停止钻进作业,保持泥浆循环,加大泥浆比重和粘度,提升泥浆的护壁性能,抑制孔壁继续剥落。采用低速扫孔的方式,用钻头轻轻提拉、旋转,清除孔内坍塌的岩土碎屑,同时修复孔壁,形成致密的泥皮。扫孔过程中,密切监测孔壁状态和泥浆性能,若发现坍塌迹象得到控制,可逐步恢复钻进作业;若坍塌迹象未缓解,需进一步调整泥浆参数,或采取局部回填加固措施,待孔壁完全稳定后再继续施工。

5.2 中度坍塌的应急处置

中度坍塌表现为孔壁局部坍塌范围较大,孔内水位出现波动,泥浆流失较快,沉渣量显著增加,此时需采取更为有效的应急处置措施。立即停止所有施工操作,撤离现场施工人员和设备,防止坍塌加剧造成人员伤亡和设备损坏。向孔内快速补充泥浆,提升孔内水位,平衡孔外压力,抑制坍塌继续发展;同时调整泥浆配比,加大泥浆比重和粘度,增强泥浆护壁效果^[5]。采用片石和黏土分层回填坍塌区域,每回填一定厚度后,注入高浓度泥浆渗透固结,静置一段时间,待回填体稳定后,采用低速复钻方式,逐步清理回填体和沉渣,修复孔壁,确保成孔质量。

参考文献:

- [1] 黄聿潇.国际公路桥梁钻孔灌注桩施工质量控制要点分析[J].工程技术研究,2025,10(09):135-137+186.
- [2] 范志泉.道路桥梁钻孔灌注桩施工技术研究[J].价值工程,2025,44(01):36-38.
- [3] 高照民,张文.公路桥梁钻孔灌注桩施工设计与施工工艺研究[J].工程建设与设计,2024,(18):197-199.
- [4] 魏露.钻孔灌注桩施工技术在公路桥梁工程中的应用[J].交通科技与管理,2024,5(14):77-79.
- [5] 韩玉成.复杂地质条件下桥梁钻孔灌注桩设计及施工关键技术研究[J].工程建设与设计,2024,(09):227-229.

5.3 严重坍塌的应急处置

严重坍塌表现为钻孔大面积坍塌,孔壁严重变形,甚至出现钻孔堵塞、泥浆大量流失,此时需采取彻底的应急处置措施,避免事故扩大。立即启动应急预案,撤离施工现场所有人员和设备,设置警戒区域,禁止无关人员进入,防止坍塌引发二次事故。采用水泥砂浆或混凝土对坍塌区域进行彻底回填,回填至坍塌顶面以上一定高度,确保回填体密实、稳定,抑制坍塌进一步发展。待回填体完全凝固后,重新进行地质勘察,调整施工方案,优化钻进工艺和泥浆参数,必要时采用钢护筒跟进等加固措施,重新进行成孔施工,确保成孔过程安全、稳定,避免再次发生坍塌。

6 结语

本文围绕桥梁钻孔灌注桩成孔孔壁坍塌问题展开系统分析,明确地质条件、施工工艺、泥浆性能等是引发坍塌的关键因素。孔壁坍塌直接影响桩基质量、施工进度与现场安全,只有从前期勘察、过程管控到应急处置形成完整防控体系,才能有效降低风险。施工中应强化地质预判,规范操作流程,优化泥浆护壁,落实全过程监测。针对不同程度坍塌采取对应处置方式,可最大限度减少工程损失。做好孔壁坍塌防控,对提升桥梁基础施工质量、保障结构长期稳定具有重要现实意义。