

桥梁钻孔灌注桩施工中塌孔问题成因及防治措施探讨

周 淇 罗文强

浙江省建投交通基础建设集团有限公司 浙江 杭州 310012

【摘要】：桥梁钻孔灌注桩作为桥梁工程基础核心施工工艺，其施工质量直接决定桥梁整体承载能力与运营安全性，塌孔是施工过程中最常见且危害严重的质量隐患，易导致工期延误、成本增加甚至工程返工。本文以桥梁钻孔灌注桩塌孔问题为研究核心，明确核心论点为塌孔由地质条件、施工操作、设备材料及环境因素共同作用引发，通过分析各类塌孔现象的表现形式，系统探究各成因的作用机制，结合工程实践提出针对性、可操作的防治措施，旨在减少塌孔事故发生，保障钻孔灌注桩施工质量，为同类桥梁基础施工提供理论参考与实践借鉴。

【关键词】：桥梁钻孔灌注桩；塌孔；成因分析；防治措施

DOI:10.12417/2705-0998.26.04.090

引言

随着我国交通基础设施建设的快速推进，桥梁工程数量逐年增加，钻孔灌注桩凭借承载力强、适应性广、施工便捷等优势，被广泛应用于桥梁基础施工中。作为隐蔽性工程，钻孔灌注桩施工环节复杂，受多种因素影响易出现各类质量问题，其中塌孔问题最为突出，不仅会破坏孔壁完整性、影响桩体成型质量，还可能引发安全事故，造成巨大的经济损失与工期浪费。深入探究塌孔问题的成因，制定科学有效的防治措施，是解决钻孔灌注桩施工质量难题、保障桥梁工程长期稳定运营的关键。基于此，本文围绕桥梁钻孔灌注桩施工中的塌孔问题，展开成因分析与防治措施探讨，衔接后续正文的详细研究。

1 桥梁钻孔灌注桩施工中塌孔问题及表现形式

桥梁钻孔灌注桩施工中，塌孔是较为常见的质量隐患，直接影响桩基施工进度和工程结构安全性，在实际施工过程中有着明确的表现形式。塌孔多发生在钻孔作业阶段或混凝土浇筑前期，钻孔过程中若出现孔内水位突然下降、钻孔进度异常缓慢，且排出的钻渣中夹杂大量泥土、碎石块，甚至出现钻机晃动、钻杆受力不均的情况，大概率是发生了轻度塌孔^[1]。这种情况若未及时处理，会导致孔壁局部坍塌，形成不规则的孔隙，影响后续钢筋笼下放和混凝土浇筑的顺利进行，尤其在粉质黏土、砂层等不良地质路段，此类轻度塌孔现象更为频发。

塌孔的表现形式会随着坍塌程度的不同而有所差异，中度及以上塌孔对施工的影响更为严重。当塌孔范围扩大时，会出现孔口冒浆量明显增多、泥浆浓度急剧变化的现象，钻杆提升时会感受到明显的阻力，甚至出现卡钻、埋钻的情况，此时孔壁坍塌的泥土和砂石会大量涌入孔内，导致钻孔深度突然变浅，之前的钻孔工作需要重新进行。在实际施工中，这种中度塌孔多因钻孔过程中泥浆性能不达标、孔壁支护不到位引发，尤其在地下水丰富的区域，水位变化会加剧孔壁失稳，进而导致塌孔范围进一步扩大。

严重塌孔会直接导致施工无法正常进行，甚至引发安全隐

患，其表现形式更为直观且危害极大。严重塌孔时，孔口会出现明显的塌陷，地面伴随不均匀下沉、纵向或横向开裂，钻孔内的泥浆会迅速流失、液面急剧下降，钻具可能被坍塌的泥土、砂石完全埋入孔内无法取出，不仅会造成钻机、钻杆等施工设备损坏，还会大幅延误施工工期、显著增加施工成本与处置难度。这种严重塌孔多发生在地质条件复杂的路段，如砂卵石层、破碎岩层等稳定性极差的地层，或施工过程中存在违规操作，如钻孔速度过快、泥浆循环不畅通、泥浆性能不达标，导致孔壁无法形成有效支护，孔壁土体失去平衡，最终引发整体性坍塌，给桥梁桩基施工带来极大的困扰，甚至影响后续工程推进。

2 桥梁钻孔灌注桩施工中塌孔问题的核心成因分析

桥梁钻孔灌注桩施工中，塌孔问题的发生多与地质条件管控不到位密切相关，这也是实际施工中最常见的核心诱因之一^[2]。实际施工中，若钻孔区域存在松散砂土、粉土或回填土等不良土层，土层自身稳定性差、抗剪强度低，在钻孔过程中，孔壁缺乏足够的支撑力，极易因土体自重发生坍塌。同时，若施工区域地下水位较高，且未采取有效的降水或止水措施，地下水会持续渗透到钻孔内，导致孔壁土体含水量增加、重度增大，进一步降低土体的稳定性，当孔壁土压力超过自身承载力时，就会引发塌孔，这种情况在软土地基桥梁施工中尤为普遍，严重影响施工进度和桩体质量。

钻孔施工工艺操作不规范，也是诱发塌孔的重要核心因素，很多塌孔问题都是由于施工人员操作不当造成的。钻孔过程中，若钻进速度过快，会导致孔壁土体来不及形成有效应力平衡，尤其是在不良土层中，过快钻进会破坏土体结构，使孔壁出现局部坍塌；若钻孔垂直度控制不佳，孔壁会出现倾斜，局部受力不均，长期受力后易发生失稳塌孔。此外，钻孔过程中泥浆的配置和使用不符合要求，泥浆比重、黏度不足，无法形成有效的泥浆护壁，不能阻挡孔壁土体坍塌，同时泥浆循环系统运行不畅，无法及时将钻孔内的沉渣排出，沉渣堆积过多会增加孔壁压力，间接诱发塌孔。

施工过程中的外部干扰和现场管控疏漏,同样会导致塌孔问题发生,这一因素往往容易被忽视。实际施工中,若钻孔周边存在重型机械设备作业、车辆频繁碾压、大型机械振动等情况,会产生持续振动荷载,这种外力扰动会不断传递到钻孔周围土体,破坏原有土体结构与应力平衡,降低孔壁稳定性,进而诱发坍塌。同时,现场施工管控不到位,未对钻孔全过程进行实时监测,未能及时发现孔壁位移、泥浆漏失、液面骤降等异常征兆,或发现隐患后处置不及时、措施不当,都会使轻微问题逐步扩大,最终演变为塌孔事故。此外,钢筋笼安装时若下放速度过快、定位不垂直、反复碰撞孔壁,会直接破坏已形成的泥皮与孔壁土体结构,也极易诱发局部塌孔,直接影响钻孔灌注桩成孔质量与后续施工安全。

3 不同成因引发塌孔问题的影响机制

地质条件不符是引发塌孔的核心成因之一,其影响机制主要体现在地层稳定性不足对孔壁的破坏作用。施工中若遇到砂层、粉砂层等松散地层,此类地层颗粒级配不均、黏聚力差,钻孔过程中孔壁周围土体失去原有平衡,在水压力和钻孔机械扰动的双重作用下,极易发生颗粒流失,进而导致孔壁局部坍塌^[1]。尤其是当钻孔深度较大时,下部地层压力逐渐增大,松散地层的承载能力无法抵御孔内泥浆压力与外部土体压力的差值,孔壁土体易发生塑性变形,最终形成塌孔,这种情况在河道周边、地下水位较高的区域施工时更为常见,会直接导致孔身变形、孔径扩大,影响后续钢筋笼安装与混凝土浇筑。

泥浆性能不达标对塌孔的影响主要体现在孔壁防护能力的缺失,这是施工中较为常见的人为成因。泥浆在钻孔施工中承担护壁、携渣、冷却钻头的关键作用,若泥浆比重过低,无法形成足够液柱压力平衡孔外土体与水压力,孔壁缺少有效支撑与黏结保护,极易被地下水渗透冲刷,造成土体剥落失稳。若泥浆黏度不足,携渣能力大幅下降,钻渣不能及时排出而堆积孔底,会抬高孔内压力、恶化护壁效果,同时难以在孔壁形成连续致密的泥皮。孔壁土体长期受水浸泡,含水量升高、强度持续降低,逐渐软化、剥落乃至大面积坍塌,严重时会出现孔口塌陷、埋钻等事故,不仅严重影响施工进度,还会大幅增加事故处理与工程返工成本。

施工操作不当的影响机制主要体现在人为扰动对孔壁稳定性的破坏,贯穿钻孔、清孔、钢筋笼安装全过程。钻孔时若钻进速度过快,未充分给土体预留应力释放时间,会导致孔壁土体受扰动后结构破坏,尤其是在软硬地层交界面处,过快钻进易造成孔壁台阶状变形,进而引发坍塌;清孔过程中若过度扰动泥浆,会破坏泥浆形成的泥皮,导致孔壁失去保护,同时清孔不彻底会残留钻渣,影响混凝土浇筑质量,间接加剧塌孔风险;钢筋笼安装时若下放速度过快、碰撞孔壁,会直接破坏孔壁泥皮和土体结构,造成局部土体脱落,形成塌孔隐患,这类塌孔多为局部坍塌,但若处理不及时,会发展为整体塌孔。

4 桥梁钻孔灌注桩施工中塌孔问题的综合防治措施

桥梁钻孔灌注桩施工中,塌孔问题的综合防治需立足施工全流程,从前期准备工作抓起,筑牢施工基础。施工前需对施工区域的地质条件进行全面勘察,明确土层分布、地下水位、岩土性质等关键参数,结合实际地质情况选用合适的钻孔设备和施工工艺,避免因设备选型不当、工艺适配性不足引发塌孔^[2]。针对地下水位较高的区域,需提前采取降水措施,通过轻型井点降水或集水坑降水等方式,将地下水位降至孔底以下一定深度,减少地下水对孔壁的侧压力,同时清理孔位周边的杂物和松软土层,平整施工场地,确保钻孔过程中设备运行稳定,避免因场地不平整导致钻孔偏斜,进而破坏孔壁稳定性。

钻孔施工过程中的精细化操作是防治塌孔的核心环节,需严格控制钻孔速度和泥浆性能,这是保障孔壁稳定的关键。钻孔时应结合地层条件动态调整钻进速度,在松散土层、砂层等易塌地层中放慢钻进速度,减少对孔壁土体的剧烈扰动,防止土体结构破坏引发坍塌;在黏性土层中可适当提速,但严禁盲目过快钻进,防止孔壁产生裂隙、形成局部失稳。同时要科学配制泥浆,精准控制泥浆比重、黏度及含砂率,使其在孔壁形成连续、致密、稳定的泥皮,有效阻隔地下水渗入、约束土体剥落。施工中应及时清理循环泥浆中的钻渣与杂质,持续保持泥浆性能稳定,从工艺操作与护壁保障两方面共同发力,最大限度避免孔壁失稳坍塌,确保成孔质量。

成孔后的后续处理和现场管控也不容忽视,需及时跟进浇筑作业,减少成孔后闲置时间,防止孔壁长时间暴露在空气中或受地下水浸泡而发生坍塌。成孔检测合格后,应尽快下放钢筋笼,下放过程中要保持钢筋笼垂直,避免钢筋笼碰撞孔壁,造成孔壁破损;钢筋笼下放完成后,及时浇筑混凝土,浇筑过程中控制混凝土的浇筑速度和导管埋深,确保混凝土连续浇筑,避免出现断桩、夹泥等问题,同时加强现场巡查,密切关注孔内水位变化和孔壁状态,一旦发现孔壁有坍塌迹象,立即停止施工,采取回填粘土、重新钻孔等应急措施,及时处置隐患,保障钻孔灌注桩施工质量,从根本上防范塌孔问题发生。

5 塌孔防治措施的实践应用与效果分析

塌孔防治措施的实践应用需紧密结合施工场地的地质条件,做到因地制宜、精准施策,在实际桥梁钻孔灌注桩施工中,针对不同地质类型的塌孔隐患,需落实针对性的防治操作^[3]。对于砂层、粉砂层等易坍塌地层,施工中优先采用泥浆护壁工艺,合理控制泥浆的黏度、比重和含砂率,确保泥浆能在孔壁形成一层致密的泥皮,有效阻隔孔外土体的渗透和坍塌,同时严格控制钻孔速度,避免因钻进过快导致孔壁受力不均,引发局部塌孔。施工过程中安排专人实时监测泥浆指标,根据钻进深度和地质变化及时调整泥浆参数,确保护壁效果稳定,杜绝因泥浆质量不达标导致的塌孔问题,保障钻孔施工的顺利推

进。

在塌孔防治的实践过程中,需强化施工全过程管控,将防治措施融入钻孔、清孔、钢筋笼安装及混凝土浇筑的每一个环节。钻孔作业前,对施工区域进行详细的地质勘察,明确地层分布情况,提前制定针对性的防治方案,对可能出现塌孔的区域提前采取预处理措施,如在孔口设置钢护筒,增加孔口稳定性,钢护筒的埋置深度需符合规范要求,且底部嵌入稳定土层,防止孔口坍塌^[6]。清孔作业时,采用换浆法缓慢清孔,避免清孔速度过快破坏孔壁泥皮,清孔完成后及时进行钢筋笼安装,减少孔壁暴露时间,钢筋笼安装过程中避免碰撞孔壁,防止孔壁受损引发塌孔,确保各施工环节衔接顺畅,最大限度降低塌孔风险。

从塌孔防治措施的实际效果来看,科学合理的防治手段能有效降低塌孔发生率,保障桥梁钻孔灌注桩的施工质量和安全。通过严格落实泥浆护壁、钢护筒支护等防治措施,有效解决了砂层、软土层等复杂地质条件下的塌孔难题,减少了因塌孔导致的返工、工期延误等问题,降低了施工成本。在实际应用中,通过加强施工人员专业培训,规范操作流程,确保防治

措施落地执行,进一步提升了防治效果,使得钻孔灌注桩的成孔质量得到显著提升,孔壁完整性良好,为后续混凝土浇筑奠定了坚实基础,切实保障了桥梁基础工程的稳定性和耐久性,满足桥梁施工的设计要求和使用标准。

6 结语

桥梁钻孔灌注桩施工中的塌孔问题,是制约桩基施工质量、影响工程安全与效益的关键瓶颈,其发生是地质条件、施工操作、现场管控等多因素协同作用的结果,不同成因通过不同作用机制破坏孔壁稳定性,引发不同程度的塌孔隐患。解决塌孔问题,需立足施工全流程,以地质勘察为基础,以精细化操作为核心,以全过程管控为保障,落实针对性防治措施,实现从前期预防、过程管控到应急处置的闭环管理。实践表明,科学适配的防治手段能有效降低塌孔发生率,减少工期延误与成本损耗,保障桩基施工质量。本文的探讨可为同类桥梁钻孔灌注桩施工提供实践借鉴,后续可结合更多复杂地质场景,进一步优化防治技术,助力桥梁基础工程高质量发展,筑牢桥梁工程安全根基。

参考文献:

- [1] 杨磊.公路桥梁施工中钻孔灌注桩施工质量控制问题探讨[J].交通世界,2022,(21):66-69.
- [2] 黎霖.钻孔灌注桩施工技术在高速公路桥梁施工中的问题及防治措施[J].黑龙江交通科技,2021,44(07):163-164.
- [3] 张弛.桥梁钻孔灌注桩施工中若干问题及质量管理策略[J].建筑技术开发,2021,48(10):55-56.
- [4] 褚尚武.桥梁钻孔灌注桩施工中常见质量问题及预防措施[J].中国新技术新产品,2018,(10):115-116.
- [5] 方佳成,俞文达.道路桥梁施工中钻孔灌注桩施工技术的应用[J].运输经理世界,2025,(27):100-102.
- [6] 张理智.钻孔灌注桩施工技术在公路桥梁施工中的运用分析[J].时代汽车,2025,(20):189-191.