

岩溶地质桩基成孔技术研究

翟 鹏

中交一公局集团有限公司 北京 102205

【摘要】岩溶地质桥梁桩基成孔技术是决定桥梁能否稳固地扎根于地下的关键因素，亦是桥梁基础工程能否抵御各种复杂地质条件和环境影响的重要抓手。基于对常见桥梁桩基成孔技术优缺点简析，分析溶洞处理、孔壁稳定性、泥浆性能控制的岩溶地质桩基成孔难点，讨论岩溶地质桩基成孔施工技术选择依据和施工工序，研究卡钻、掉钻、浆液泄漏、塌孔问题及对应解决方法，以期对岩溶地质桥梁桩基成孔施工过程提供有益参考。

【关键词】桥梁桩基成孔；岩溶地质；桩基成孔技术；施工方案

在岩溶地质地区开展桥梁基础建设能够有效连接交通断点，促进区域间经济交流、人员往来与资源流通，克服岩溶地貌引发的地理阻隔，以此有效带动当地及周边地区经济、政治以及文化协同发展^[1]。但岩溶地质展现出溶洞布局复杂、地下河双层水位等独特地貌特性，这些地貌彼此相互联系，共同在岩溶区域塑造出独一无二且极为复杂的地质系统，为桥梁桩基钻孔作业带来挑战。因此，为助力桥梁建设工作高效进行，本文基于对桥梁桩基成孔技术基本介绍，分析岩溶地质桩基成孔难点，设计岩溶地质桩基成孔施工方案，并探究岩溶地质桩基成孔施工常见问题及解决方法，希冀为加快岩溶地质地区桥梁基础建设踢狗有益思路。

1 桥梁桩基成孔技术基本介绍

现阶段在岩溶地质施工时，桥梁桩基成孔技术主要包括冲击钻成孔技术、旋挖钻成孔技术、套管钻机成孔技术和挖孔桩成孔技术，优缺点汇总见表1。

1.1 冲击钻成孔技术

(1) 原理：利用钻头的重力和冲击力，通过反复升降冲击来破碎岩石或溶洞填充物，使钻头逐渐深入地层形成钻孔。钻孔结束后，破碎的钻渣通过泥浆悬浮后排出孔外。

(2) 优势：冲击钻成孔技术具有显著优点。一是冲击钻成孔技术地层适应性强，无论是坚硬岩石、软岩，还是黏土、砂、砾石等各类填充物的溶洞均能妥善处理。二是冲击钻成孔技术可有效处理多层溶洞以及填充物差异大的情形，能够依靠强大冲击力击碎障碍，有力确保钻孔工作的顺利推进^[2]。

(3) 局限性：冲击钻成孔技术存在一些局限性。一是冲击钻成孔技术的冲击钻进速度相对缓慢，致使施工周期可能较长，尤其在软土地层等无需强大冲击力的地形地貌效率较低。二是冲击钻成孔技术在冲击时会产生较大振动

与噪音，这可能对周围地层以及已有建筑物造成周边建筑物墙体开裂等不利影响。三是冲击钻成孔技术频繁进行冲击工作，容易造成钻头快速磨损的问题，导致施工时需频繁更换钻头，从而增加施工成本与时间成本。

1.2 旋挖钻成孔技术

(1) 原理：通过旋挖钻机的钻杆带动钻头旋转，将地层切削破碎后装入钻头内，然后提升钻头将钻渣卸出。泥浆主要起护壁作用，维持孔壁的稳定。

(2) 优势：旋挖钻成孔技术具备多方面优势。其一，旋挖钻成孔技术的钻进速度较快，在岩溶地区的黏土、粉质黏土等软土地层以及部分软岩地层里，均能够迅速地开展钻进与出土工作，有效提升桥梁桩基成孔效率^[3]。其二，旋挖钻成孔技术的自动化程度较高，使得施工过程操作简便易行，降低人工操作导致的误差，提高桥梁桩基成孔效率。其三，旋挖钻成孔技术的施工过程能够兼顾绿色环保，能够直接运输处理钻出的渣土，无需进行大规模的泥浆循环作业。

(3) 局限性：旋挖钻成孔技术存在一定的局限性。一是旋挖钻成孔技术在硬岩地层以及含有大量孤石的岩溶区域，开展硬岩钻进工作较为困难，同时施工过程中可能出现钻头磨损严重甚至损坏的问题，进而导致钻进效率下降。二是旋挖钻成孔技术对孔壁稳定性要求颇高，在地下水位高、孔壁易于坍塌的岩溶地层里，需采取增加泥浆比重、运用钢护筒跟进等特殊护壁措施，否则易出现塌孔现象。

1.3 套管钻机成孔技术

(1) 原理：在钻孔过程中，同时将钢套管或混凝土套管下沉到钻孔内，利用套管隔离溶洞内的填充物和地下水，起到护壁作用，保证钻孔的稳定性。

(2) 优势：套管钻机成孔技术具有显著优势。具体而言，一方面，套管钻机成孔技术能够出色地适应各种复杂岩

溶地层，无论是存在填充物还是无填充物的溶洞，套管均可发挥关键作用，提供稳固的孔壁支撑，有力防止塌孔现象以及泥浆漏失情况的发生^[4]。另一方面，套管钻机成孔技术在控制钻孔垂直度方面具有优势，可精准保障桩基质量，尤其在对垂直度有着严格要求的桥梁桩基施工中极具应用价值，能为桥梁工程的稳固性与安全性奠定坚实基础。

(3) 局限性：套管钻机成孔技术存在一定局限性。一方面，套管钻机成孔技术的设备成本高昂，需专用设备来操作套管，这使得设备购置、租赁及维护费用显著增加。另一方面，套管钻机成孔技术在套管跟进期间，可能遭遇卡管问题，而一旦卡管情况出现，因其处理过程繁杂，往往会导致施工进度延误，给整个工程的推进带来不利影响。

1.4 挖孔桩成孔技术

(1) 原理：通过人工挖掘的方式，使用锹、镐等工具直接在桩位处向下挖掘成孔。在挖掘过程中，需要采取护壁措施，如浇筑混凝土护壁或采用钢护筒等，以防止孔壁坍塌。

(2) 优势：在岩溶地质中，如果溶洞内填充物为较稳定的黏土等，且地下水位较低、溶洞规模较小，挖孔桩成孔技术可以让工人直接观察地层情况，便于在挖掘过程中及时发现和处理清理和加固小型溶洞等问题。

(3) 局限性：挖孔桩成孔技术存在一定局限性。一是挖孔桩成孔技术的人工挖孔方式劳动强度较大且施工速度缓慢，与机械成孔方法相比效率明显偏低，难以满足大规模且工期紧张的桥梁桩基工程需求。二是挖孔桩成孔技术安全风险颇高，诸如孔壁坍塌、井下缺氧以及有害气体中毒等安全隐患频发，这就对施工安全保障措施提出了极为严苛的要求，若安全措施不到位，极易引发安全事故，威胁施工人员生命安全并可能导致工程延误。

表1 桥梁桩基成孔技术优缺点、适用地形

桥梁桩基成孔技术名称	优势	局限性
冲击钻成孔技术	1. 地层适应性强 2. 基岩破碎能力强	1. 效率较低 2. 振动和噪音大 3. 钻头磨损快
旋挖钻成孔技术	1. 钻进速度快 2. 自动化程度高	1. 硬岩钻进困难 2. 对孔壁稳定性要求高
套管钻机成孔技术	1. 适应复杂地层 2. 垂直度控制准确	1. 设备成本高 2. 可能出现卡管问题
挖孔桩成孔技术	1. 直观观察地层	1. 劳动强度大 2. 速度慢 3. 安全风险高

2 岩溶地质桩基成孔难点

2.1 溶洞处理难题

岩溶地质内溶洞的形态构造极为繁杂，规模大小与空间

分布均不规则。一是溶洞能够形成大型中空结构或相互贯通的蜂窝状溶洞群落，出现特定石灰岩区域的多层式布局且各层级溶洞以狭窄孔道连通的现象，导致成孔时钻具易闯入溶洞致泥浆大量渗漏、孔内液面急剧下降并引发孔壁坍塌的问题，因而桥梁桩基成孔难度颇高。二是溶洞填充物不确定，可能是软塑或流塑状黏土、粉质黏土，亦可能半填充或无填充，导致软塑流塑状物质会在钻进中涌入钻头周围影响效率，给桥梁桩基成孔作业带来极大挑战。

2.2 孔壁稳定性问题

岩溶地质孔壁稳定难度大。其一，岩溶地质中存在大量裂隙，不仅削弱孔壁岩石整体性，在成孔时因泥浆压力与钻进振动会使裂隙进一步扩展，致使孔壁岩石破碎脱落，且为地下水流动提供通道，导致孔壁不稳定问题。其二，由于岩溶地区地下水丰富且成分复杂、水位变化频繁，成孔时若孔内水位低于地下水位，地下水会向孔内渗流产生动水压力，过大时会冲刷孔壁带走细小颗粒导致失稳。其三，地下水中化学成分还可能溶蚀孔壁岩石降低其强度，加剧孔壁不稳定问题。

2.3 泥浆性能控制难点

在岩溶地质的桥梁桩基成孔过程中，面临着泥浆相关的诸多难题。一方面是泥浆流失问题。施工过程中泥浆极易流入溶洞，造成泥浆大量流失，致使孔内液面降低从而引发塌孔，严重削弱泥浆的护壁功效。另一方面是适应不同地层的泥浆配比难点。岩溶地质不同地层对泥浆性能要求各异，其中，硬岩地层要求泥浆具备良好润滑性与携渣能力以减少钻头损耗并及时排屑；而溶洞填充物等软土地层则需泥浆有出色护壁性能防止软土坍塌。因此因地制宜精准调整泥浆配比成为桥梁桩基成孔施工中的关键挑战。

3 岩溶地质桩基成孔施工方案

3.1 岩溶地质桩基成孔施工技术选择依据

桥梁桩基成孔施工时选择岩溶地质合适的桥梁桩基成孔技术，需全面综合考量多种因素。其一，施工团队要深入探究岩石硬度、溶洞分布形态与填充物特性以及地下水位高低等地质条件。若岩石坚硬则考虑使用冲击钻成孔技术；若溶洞密集且填充物复杂时，则选用套管钻机成孔技术；地下水位高时，则采用旋挖钻结合钢护筒或套管技术，保障孔壁稳定。其二，施工团队需结合工程具体要求，若大直径长桩可考虑冲击钻成孔技术或旋挖钻成孔技术；若小直径短桩，那么在特定地质条件下可采用挖孔桩成孔技术。其三，施工团队需审视施工条件。若场地空间狭小、周边环境对振动噪音敏感时，则优先考虑旋挖钻成孔技术。其四，施工团队需考虑成本与工期因素，权衡成孔技术在预算与工期限制下的适用性。

3.2 岩溶地质桩基成孔施工工序

(1) 现场考察：岩溶地质桥梁钻孔桩基施工所处地质环境多处于复杂岩溶地段，致使施工颇具难度。施工前，一是施工团队需借助各类地勘资料与可研报告对地质环境展开调研剖析，精准探测岩溶地质中溶洞及裂隙的具体位置，依地勘资料明晰岩溶走向与岩层厚度^[5]。基于既有岩溶溶洞资料，施工团队全面探究施工可能面临的状况，以实现精准应对。二是务必如实向施工负责人反馈地质勘测详情，助力其透彻把握岩溶地质状况，便于在施工期间依据不同地质情形拟定适宜施工方案，且做好充足心理建设，进而更高效地组织现场施工并妥善处置后续问题。此外，由于喀斯特地貌洞穴交错且空洞数量众多，施工团队需在预处理环节将喀斯特洞周边桩孔填实。

(2) 选取桥梁桩基成孔技术与准备材料。在岩溶地质桥梁钻孔桩基施工的前期准备阶段，首要任务是备妥相应的桩基钻孔施工机具与材料，以此合理把控现场施工流程^[6]。首先，施工团队需依据不同岩溶地质状况挑选适配的桩基施工钻机，例如中低风化岩地质环境可选用冲击钻，强分化岩层则可采用旋挖钻，适宜的工具能大幅节省时间、缩短工期。然后，施工团队需筹备相应材料，像在岩溶地质条件下若采用冲击钻机具施工，就需准备泥浆池等相关材料，以契合泥浆护壁钻孔灌注桩的施工工序材料要求。

(3) 制定施工方案。施工团队制定施工方案时，首先要全面收集涵盖溶洞分布、大小、填充物类别及岩石强度等信息的地质勘察报告，深度剖析岩溶地质特征，依此结合地质资料与工程设计要求，精准选定桩基成孔技术。然后，施工团队应综合考量冲击钻成孔、旋挖钻成孔、套管跟进成孔或挖孔桩成孔等适用性，绘制相应施工工艺流程图。最后，施工团队管理层应对施工人员进行全面深入的技术交流与系统完善的安全培训，让施工人员透彻掌握施工要点、难点与安全注意事项，为施工顺利推进筑牢根基。

4 岩溶地质桩基成孔施工常见问题及解决方法

4.1 卡钻、掉钻问题及解决方法

(1) 卡钻问题：在桥梁桩基成孔施工过程中，卡钻表现为施工机器的钻头被地层障碍物或孔壁异常限制无法正常钻进。一是可能由于岩溶地层溶洞填充物及地层不均匀地质复杂引发；二是可能因钻进参数有误、泥浆性能不佳、对地层变化判断不准、施工操作不当引发。针对卡钻问题，施工团队可采用轻提慢转、冲击振动、反循环冲洗、水下爆破等方法处理。

(2) 掉钻问题：在桥梁桩基成孔施工过程中，掉钻是指钻头或钻杆连接部位断裂脱开掉入孔内，导致无法继续钻孔，多由设备质量缺陷、施工操作失当、检查维护缺

失及超负荷使用引发。施工团队可借助打捞工具法、套铣法、磁铁吸附法、扩孔法等进行处理。

4.2 浆液泄漏问题及解决方法

在桥梁桩基成孔施工过程中，浆液泄漏是较为常见且棘手的问题，多由岩溶地区溶洞、裂隙发育等地质条件或是施工中套管密封不严、灌注桩护壁破损等护壁结构存在缺陷引起。对于较小的泄漏点，施工团队可先尝试采用速凝材料封堵，快速堵住漏洞。若泄漏较为严重，施工团队需先确定泄漏通道位置，然后采用投放沙袋、碎石等填充材料对通道进行封堵，之后再重新进行浆液灌注。

4.3 塌孔问题及解决方法

在桥梁桩基成孔施工过程中，塌孔是一个严峻的挑战。其产生原因主要有以下方面，一是地质因素，在岩溶地质中溶洞的存在使得地层稳定性变差，或者地下水位较高时水压力作用于孔壁，均易致孔洞坍塌。二是施工操作不当。施工过程中泥浆比重调配不合理，泥浆过小无法有效护壁，过大则可能压垮孔壁的泥浆。钻进速度过快、冲击力度过大等施工操作不当问题皆可能破坏孔壁土体或岩石的原有平衡，导致塌孔问题。一旦发生塌孔，施工团队需及时判断塌孔情况。若塌孔程度较轻，施工团队需放缓钻进速度，并通过增加泥浆比重、粘度等方式调整泥浆性能，以增强护壁效果；若塌孔较为严重，施工团队需立即停止钻进作业，回填黏土、沙袋等材料，待孔壁稳定后重新钻进，并且在后续施工中要更加精准地控制施工参数，加强对孔壁稳定性的监测，根据地质变化及时调整施工策略，以保障桩基成孔施工安全、有序地推进。

参考文献：

- [1] 张政玖. 岩溶地质情况下桥梁桩基基础施工技术研究[J]. 交通世界, 2022(25): 127-129.
- [2] 毕伟, 郑磊, 张顺, 等. 桩基础冲击钻成孔在坚硬倾斜岩层中偏钻的水下爆破解决法[J]. 建筑施工, 2022, 44(12): 2841-2843+2848.
- [3] 曾永忠. 旋挖钻成孔技术优点及在桥梁桩基工程中的应用[J]. 科技视界, 2021(23): 111-112.
- [4] 尹小康, 刘克林, 覃庄, 等. 全套管全回转施工技术在岩溶地质钻孔灌注桩中应用[J]. 建设机械技术与管理, 2022(S1): 77-79.
- [5] 欧阳松彪. 岩溶地质桥梁桩基施工问题及施工处理方法[J]. 中华建设, 2022(04): 117-118.
- [6] 张溪. 岩溶地质桥梁钻孔桩基施工常见问题及处理方法[J]. 中国公路, 2021(11): 164-165.

作者简介：翟鹏（1991.7—），男，汉族，内蒙古乌兰察布市人，工程师，本科，研究方向为建筑土建。