

旋挖钻搓管全护筒跟进法在岩溶地区桩基施工中的应用与研究

卢占双

中铁北京工程局集团(天津)工程有限公司, 天津

收稿日期: 2025年2月20日; 录用日期: 2025年3月12日; 发布日期: 2025年3月24日

摘要

本文以四川省某大型高速公路项目为依托, 深入研究学习了岩溶地区桩基施工难题。详细阐述了常见岩溶形态及其对钻孔桩施工的危害, 重点介绍旋挖钻搓管全护筒跟进法的施工要点、技术关键点、施工中遇到的问题及应对措施。该方法在该项目的岩溶桩基施工中成效显著, 按时完成任务, 保障桩基质量, 培养技术人才, 为岩溶地区桩基施工积累宝贵经验, 对类似工程具有重要参考价值。

关键词

岩溶地区, 桥梁桩基, 旋挖钻搓管全护筒跟进法, 施工要点

Application and Research of the Full Casing Follow-Up Method with Rotary Drilling Rig and Pipe Ramming in the Construction of Pile Foundations in Karst Areas

Zhanshuang Lu

(Tianjin) Engineering Co., Ltd., China Railway Beijing Engineering Bureau Group, Tianjin

Received: Feb. 20th, 2025; accepted: Mar. 12th, 2025; published: Mar. 24th, 2025

Abstract

This article is based on a large-scale expressway project in Sichuan Province, and conducts an in-depth study and learning of the construction problems of pile foundations in karst areas. It

文章引用: 卢占双. 旋挖钻搓管全护筒跟进法在岩溶地区桩基施工中的应用与研究[J]. 土木工程, 2025, 14(3): 421-428.
DOI: 10.12677/hjce.2025.143048

elaborates in detail on the common karst forms and their hazards to the construction of bored piles, and focuses on introducing the construction key points, technical key points, problems encountered during construction, and corresponding countermeasures of the full casing follow-up method using a rotary drilling rig and pipe ramming. This method has achieved remarkable results in the construction of karst pile foundations of this project. It has completed the task on time, ensured the quality of the pile foundations, cultivated technical talents, and accumulated valuable experience for the construction of pile foundations in karst areas, which has important reference value for similar projects.

Keywords

Karst Area, Bridge Pile Foundation, Full Casing Follow-Up Method with Rotary Drilling Rig and Pipe Ramming, Construction Key Points

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在桥梁建设领域，桥梁桩基施工是地下工程，而岩溶地区的桩基施工质量堪称是决定桥梁整体施工成败的关键因素。面对复杂多变的岩溶地质状况，桩基施工过程中可能会遇到诸多问题，诸如卡钻、埋钻、漏浆、钻孔偏斜、塌孔以及断桩等，这些问题造成质量安全问题频频发生。这些问题如果处理不当不仅会给工程带来高额的经济损失，还可能引发一系列不良的社会反响。鉴于此，对岩溶复杂地质条件下桥梁桩基施工技术进行深入研究是非常有必要的。施工时务必紧密结合工程实际，精准施策，采用针对性强的技术手段，全方位保障桥梁桩基施工的安全与质量，为桥梁的顺利落成筑牢根基[1] [2]。

相较于一般地区，岩溶地区桩基施工难度显著增大。一方面，施工现场需配备大量用于处理溶洞的施工材料与机械设备，以应对复杂地质状况；另一方面，相较于普通桩基施工，管理人员配置需进一步加强，且在桩基钻进溶洞时，必须及时进行精细工序处理，这无疑给岩溶桩基施工的进度管控、质量保障以及安全管理带来巨大压力[3]。

本文以四川省某大型高速公路项目桩基施工为学习对象，对在川渝地区常见的岩溶地质区域采用旋挖钻搓管全护筒跟进法进行桩基施工的要点及施工中遇见的问题及应对措施进行了阐述，为以后相似工程的实施积累了宝贵经验。

2. 常见岩溶形态及危害

1) 岩溶裂隙孔径通常在 0.5 m 以下，其危害相对较轻，对钻孔桩施工的主要影响体现为漏浆现象。针对此问题，可采取改进护筒埋置方法，加大护筒入土深度，一旦发生漏浆，迅速进行补水操作，随后将粘土和片石按约 1:1 的比例投放 2~3 m，继而重新开钻，以此有效应对漏浆风险，保障施工顺利推进[4]。

2) 一般溶洞洞高 ≤ 4 m，连通性较差，对钻孔桩施工的主要危害同样是漏浆。对于空溶洞或半充填的溶洞，施工时可采用小冲程钻进，并将准备好的片石、粘土按适当比例抛入，直至将桩基周围溶洞填满或封堵，确保施工环境稳定；而当溶洞内为硬塑状全充填时，通常无需特殊处理，即可正常施工[5]-[7]。

3) 大型溶洞因尺寸与深度较大且分布不均,对于部分溶洞桩基,往往需综合运用多种处理方法。具体包括:回填封堵漏浆,防止泥浆大量流失;采用钢护筒跟进法,增强孔壁稳定性;运用灌注混凝土护壁二次成孔钻进法,保障成孔质量。通过合理组合这些措施,可有效应对大型溶洞带来的施工挑战[5]-[7]。

4) 多层溶洞处理

多层溶洞由小型和一般溶洞组成时,易出现漏浆、斜孔等病害,此时可参照一般溶洞的处理方法逐一解决。若多层溶洞由大型溶洞构成,则需综合采用灌浆法、内护筒法或全套护筒法、下内护筒等技术手段,根据具体地质情况灵活选用,确保溶洞处理效果,为桩基施工创造有利条件[4]。

3. 溶洞桩基施工方法

该项目位于中国西南部山区,桥梁建设处于川渝地区常见的岩溶地质区域,桩基施工作业难度大、安全风险高。通过对相关资料的学习研究,发现在施工过程中根据超前地质预报,及相应的地质勘探数据,涉及的溶洞多为大型无填充溶洞,采用旋挖钻搓管全护筒跟进法进行施工。

旋挖钻搓管全护筒跟进法技术优势显著,在成孔质量上,可防塌孔缩径,精准控制桩身垂直度,使桩形规则,还能减少孔底沉渣;施工效率颇高,钻进速度快,能连续作业,大幅节省时间。从环保角度而言,能减少泥浆使用,降低噪音污染。而且地质适应性强,适用于各类复杂地层。施工安全也有保障,不仅能降低孔内事故风险,稳定孔壁,而且在成本控制方面表现出色,节约材料与设备投入成本,减少返工费用,是一种高效、优质、环保且经济的施工方法。

通过对相关施工过程中资料的学习,经过总结发现该技术在施工中最重要技术关键点有以下几个方面,这些关键点相互配合,才能充分发挥该技术优势,保障施工顺利推进,保障桩基质量及工程质量。

1) 施工过程中,必须借助专业的监测设备,实时追踪护筒位置,确保其始终与钻孔中心重合。施工过程中对护筒垂直度的监测要贯穿施工全程,一旦发现偏差,立即采用合理的调整措施,如通过调整钻机姿态、利用液压装置微调护筒角度等,以满足桩身垂直度规范要求,为后续桩基承载性能奠定坚实基础。依据地质状况灵活选用适配的钻具及合理调整钻进参数,如在碎块石地层选择耐磨性强的钻头、控制钻进速度等,才能顺利穿越不同地质。

2) 根据现场实际勘探资料,不同地质条件要采用不同的钻具及钻进参数。在碎块石地层,岩石硬度高、磨损性强,此时应选用耐磨性卓越的钻头,如合金钻头或镶齿钻头,以延长钻头使用寿命,降低施工成本。碎块石地层钻进难度大,应适当降低钻进速度,避免钻头过度磨损以及因冲击过大引发孔壁坍塌。而在软土地层,则可选用切削型钻头,提高钻进效率,并依据土层黏性、含水量等特性微调转速与扭矩,确保钻进过程平稳、高效,顺利穿越复杂多变的地质层。

3) 现场技术人员要规范搓管机操作。在施工时,操作的技术人员应熟悉搓管机的工作原理与性能参数,确保搓管力均匀稳定的进行输出。在启动搓管机前,技术人员要仔细检查设备各连接部位的紧固性,防止因松动而导致受力不均的情况发生。在搓管过程中,现场技术人员还要认真观察,依据护筒下沉阻力实时调整搓管力大小,避免因过大的冲击力使护筒变形,或因搓管力不足导致护筒偏斜,影响成孔精度与后续施工。

4) 取土作业与钻进速度要互相协同。施工时要确保取土设备的选型与旋挖钻机的钻进能力相匹配,使取土量能够及时跟上钻进产生的土方量。可以通过选用合适容积的钻斗,优化钻斗的开合机构,合理安排取土时间节点,达到确保出土顺畅的目的,避免了因取土延误造成钻机停工等待的情况发生,提高了施工效率。

旋挖钻搓管全护筒跟进法在施工中相应的关键步骤用下图 1~7 进行表示。

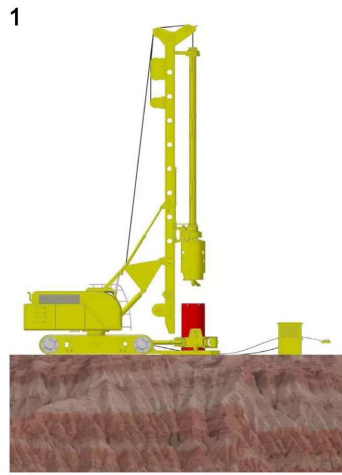


Figure 1. Connection between the rotary drilling rig and the pipe ramming machine
图 1. 旋挖钻机与搓管机连接

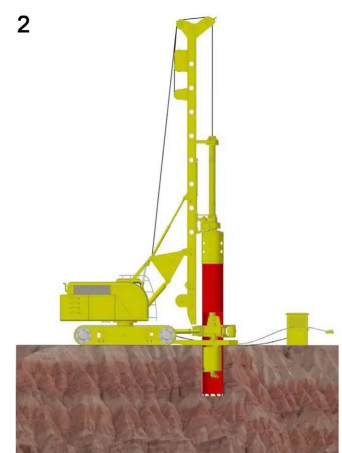


Figure 2. The power head of the rotary drilling rig drives the casing
图 2. 旋挖钻机动力头驱动护筒

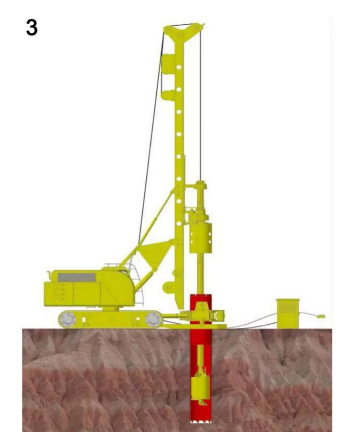


Figure 3. Operation inside the casing of the rotary drilling rig
图 3. 旋挖钻护筒内作业

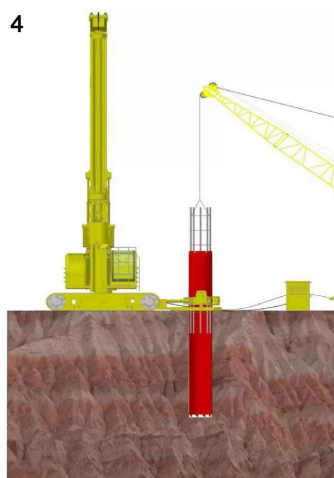


Figure 4. Lower the steel reinforcement cage

图 4. 下放钢筋笼

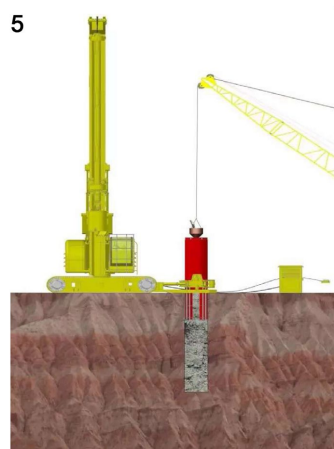


Figure 5. Pour concrete

图 5. 灌注混凝土

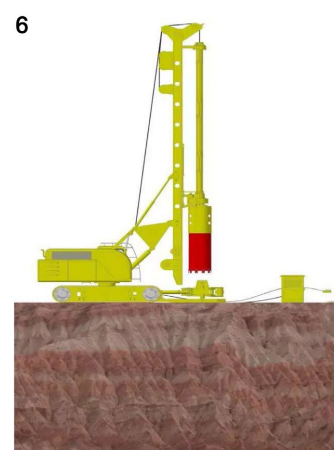


Figure 6. Pull out the casing

图 6. 拔出护筒



Figure 7. Process flow chart of the pipe ramming method construction
图 7. 搓管法施工工艺流程图

4. 桩基施工中主要问题及应对措施

通过对相关施工资料的学习总结，发现在采用旋挖钻搓管全护筒跟进法施工时，由于前期经验不足而遇见的问题主要有卡钻、掉钻、偏孔等。采取一定的措施可以保证桩基的顺利成型，通过学习研究对发现的问题进行了详细记录及反思总结，形成了具有重要工程参考价值的处理措施，形成了预防措施。借助研究学习总结可规范未来后续类似的桩基施工，达到提高施工效率，增强成桩质量，节约施工成本的目的。

1) 卡钻处理

桩基施工过程中，卡钻问题的处理成为了棘手难题，造成卡钻的主要原因是施工前期对溶洞分布状况的勘探不够精准细致，所以当施工至接近溶洞顶板的关键节点时，技术人员仍会采用高程冲击的操作方式，致使钻头迅猛冲破溶洞顶板岩石，导致钻头失稳难以把控，进而发生钻头倾斜，最终被卡在溶洞顶板岩石的各个不同部位，这会严重阻碍桩基施工进度推进。根据相关施工经验及教训，现场技术人员及操作机械人员一旦遭遇卡钻状况，绝不能私自贸然强行提拉钻头、进行野蛮施工，因为这样操作极有可能引发塌孔、埋钻等更大的问题产生，让桩基施工陷入更深的困境。面对卡钻问题，必须依据具体情形精准施策，经过学习研究，可将卡钻问题总结为以下三类。

一是钻头卡在顶板岩石中部，面对这种情况，建议处理时要沉稳应对，现场技术人员应监督机械操作者缓缓地上下活动钻头，利用钻头的微小位移逐步瓦解其与岩石间的卡滞束缚，必须耐心等待感觉到钻头明显松动后，再以极其缓慢、平稳的速度将其从钻孔中提出，整个过程对操作人员的耐心与精细操作能力要求极高。

二是钻头斜卡在顶板岩石之中，面对这种情形，采用常规的提拉手段进行处理是难以产生效果的，而强行操作只会加深困境。面对这种情况下，可通过自制简易的正绳器，利用这种装置巧妙地为钻头施加侧向矫正力，逐步将倾斜的钻头牵拉回垂直状态。在此矫正过程中，操作人员应时刻紧盯正绳器的受力动态以及钻头的矫正进程，谨防矫正过度或不足而引发二次卡钻。待钻头成功回正后，便可仿照卡在中部时的处理手法，缓缓向上提拉，助力钻头顺利脱离卡点。

三是钻头卡在顶板岩石下部，这种情况不仅卡钻位置特殊，而且处理难度骤升，应严防此情况的发生。在实际施工中遇见此类情况在处理过程中主要可利用大钻头自身的重量优势与冲击力，在卡点下方适度范围内反复上下松动，凭借由下向上顶撞卡点石头的策略，循序渐进地破坏顶板岩石结构，直至岩

石破碎到一定程度,使得钻头顺利脱离卡点。

2) 掉钻问题

在桩基施工过程中,掉钻问题的发生主要归因于施工时钻机主绳以及钻头的转向鼻子出现断裂造成的。通过学习研究总结该项目在施工时的经验及教训,桩基施工时需要特别注意,当遭遇钻头无法顺利提起的情形时,绝对要禁止强行提拉钻头,以免引发更为严重的后果。

在施工过程中发生掉钻问题后,若经过技术专家现场研判发现存在孔内泥浆浓度过高的情形,致使钻锤被沉淀物掩埋。在此情况下,可采用如下处理措施:第一步,先进行清孔吸泥操作,目的在于清理出一条通道,可以让打捞工具能够顺利接触到钻锤;第二步,操作人员运用侧锤细致探测钻锤在孔底的具体位置与状态;第三步,操作人员将打捞钩缓缓放入孔底,精准钩住钻锤的保险绳,最终保持缓慢准直的节奏将钻锤提到地面。

3) 钻孔偏位处理

在桩基施工推进过程中,由于所处川渝地区地质条件复杂,所以当桩基穿越溶洞区域时,会遭遇一系列复杂地质状况带来的挑战,钻孔偏位最为常见。研究分析产生的原因多为岩层厚度参差不齐,岩层本身呈现倾斜状态,基岩面不平整,这些因素综合作用,导致钻孔难以按照预定轨迹进行,出现了明显的偏位情况。

经过深入细致的分析与总结,可采用观察钢丝绳摆动状态来判断是否偏位这一简单高效的手段。施工现场技术人员及操作人员根据地质勘探条件,密切留意钻头穿越溶洞瞬间钢丝绳的摆动动态,一旦冲击过程中察觉到钢丝绳摆动幅度异常增大,同时进尺出现突然加大的迹象,那么这便是偏孔发生的预警信号,此时必须果断停钻,以免问题进一步恶化。

采用回填片石的方法能够有效应对偏孔难题。不过,所选用片石的强度务必高于周边岩层强度,方能切实发挥作用。在桩基施工中可采取以下步骤处理偏孔问题,首先要提起钻头,接着向孔内抛填尺寸介于 15 cm 至 25 cm 的片石、碎石以及粘土块,回填高度需达到斜面顶或者偏孔位置上方 0.5 m 及以上之处,之后重新启动冲砸钻进作业。再次钻进时,务必采用小冲程、低频率的冲孔模式,确保钻头时刻保持水平状态,钢丝绳维持竖直,以低锤慢打的方式稳步推进。在实际施工中纠偏应一次到位,但倘若一次纠偏未能达到理想效果,切勿气馁,应多次重复以上回填操作,并持续进行冲孔,直至钻头顺利进入均匀、稳定且完整的基岩内部至少 1.0 m 深度,方可恢复正常施工节奏。

通过该项目的施工过程相关资料进行学习后总结可以发现,通过回填片石、碎石与粘土块这一系列操作,不仅能够巧妙化解孔底虚实不均的困境,为后续施工筑牢基础,而且有利于保障桩孔始终垂直向下,同时还具备造壁堵漏的附加功效,为项目的顺利实施扫除了一大障碍。

4) 预防措施

为预防卡钻问题,保障施工的进度及质量,可以精心制定有效的预防举措。首先,严格把控冲程,依据变化的不同地质状况灵活掌握冲程尺度。可分为在坚实岩层中钻进时,靠近溶洞顶约 1 m 敏感区域时,从源头上规避因冲程失控过大致使钻头冲破顶板岩石,进而引发卡钻的隐患。可在坚实岩层中采用 3~5 m 的较大冲程,保障钻进效率与基岩破碎效果;在洞顶敏感区上方时要果断切换至 0.5~1.5 m 的小冲程,并严格遵循轻锤慢打的操作要诀,借助短冲程、快频率冲击战术,稳步且安全地将洞顶击穿。此外,机械管理人员肩负重任,建立常态化钻机巡检机制,频繁检查钻机运转性能,聚焦动力系统、传动部件、钻头提升装置等关键要害部位,力求早发现诸如部件磨损、连接松动、油温异常等潜在故障隐患,并及时安排维修保养事宜,确保钻机在施工全程始终维持最佳工作状态,间接降低因设备突发故障诱发卡钻事故的几率。

从该项目施工的整体经验及教训来看,对于掉钻问题的应对必须秉持预防优先的原则。一方面,要形成定期检查机具设备的习惯,一旦发现设备存在故障隐患,需立即安排检修,针对损坏的部件,无论是维修还是直接更换,都要迅速落实,坚决不让隐患有进入施工现场的机会。另一方面,在钻头安装环节,操作人员务必提前设置保险绳,并且要确保保险绳足够牢固、可靠,为施工安全增添一份保障。

此外,在实际施工时,也应制定一些关键的操作要点。一是严禁在溶洞内打空锤;二是在操作过程中应时刻观察钢丝绳是否处于绷紧状态;三是采用小冲程的方式,轻锤慢打,稳扎稳打推进施工;四是一旦察觉到漏浆或者其他异常情况出现,第一时间要将钻提至洞口,之后再依据具体状况采取相应的补救措施,以减少卡钻、掉钻、偏位问题的发生,达到提高施工效率、降低施工成本的目的,确保整个施工过程的安全性与稳定性。

5. 总结与期望

旋挖钻搓管全护筒跟进法在四川省某大型高速公路项目某标段岩溶桩基施工中展现出强大的技术优势,有效应对了复杂地质难题。通过精准把握施工要点、攻克技术关键、妥善处理施工问题,不仅能够按时完成桩基施工任务,保障工程质量,还可以为后续岩溶地区桩基施工培养人才、积累经验。未来类似工程可借鉴本文的研究学习成果,进一步优化该技术应用,持续推动岩溶地区基础设施建设朝着高质量方向蓬勃发展,为交通强国战略实施贡献力量。

参考文献

- [1] 李红. 公路工程岩溶地区桩基施工中存在的问题及对策分析[J]. 建筑技术开发, 2020, 47(5): 149-151.
- [2] 张吉浩. 高速公路桥梁溶洞桩基施工技术论述[J]. 建材与装饰, 2018(43): 272-273.
- [3] 杨如安. 绿水特大桥岩溶桩基础施工技术[J]. 铁道勘察, 2005, 31(3): 62-65.
- [4] 邝国强. 浅谈岩溶地区桩基施工要点[J]. 建材与装饰, 2018(30): 265-266.
- [5] 刘育春. 浅谈桥梁桩基施工中的溶洞处理方法[J]. 山西建筑, 2009, 35(34): 302-304.
- [6] 宋志红. 溶岩地区溶洞桩基础施工工法[J]. 黑龙江交通科技, 2017, 40(1): 86, 88.
- [7] 邓成华. 高速公路桥梁溶洞桩基施工技术[J]. 西部交通科技, 2017(9): 97-100.