

岩溶地质钻孔桩施工遇溶洞应用技术研究

彭国钊, 王思长

重庆科技学院建筑工程学院, 重庆

收稿日期: 2023年10月8日; 录用日期: 2023年11月10日; 发布日期: 2023年11月23日

摘要

在岩溶地质条件下进行钻孔成桩施工时难免会遇到溶洞, 溶洞问题处理的好坏对后期的桩孔施工成效以及成桩的质量有着决定性的作用。本文主要通过对岩溶地质区域下的钻孔桩遇到溶洞时的施工问题进行分析, 结合工程施工建设相关技术, 并针对冲击式钻孔桩施工技术中遇溶洞施工问题提出有效的工程解决措施, 为相关工程建设提供一定的技术参考。

关键词

岩溶地质, 钻孔桩, 施工技术, 溶洞处理, 解决措施

Research on Application Technology of Drilled Pile Construction in Karst Geology Encountering Caverns

Guozhao Peng, Sichang Wang

School of Civil Engineering and Architecture, Chongqing University of Science and Technology, Chongqing

Received: Oct. 8th, 2023; accepted: Nov. 10th, 2023; published: Nov. 23rd, 2023

Abstract

It is inevitable that the drilled pile construction under the karst geological condition will encounter the cavern, and the good or bad treatment of the cavern problem has a decisive role in the effectiveness of the later pile hole construction as well as the quality of the pile. This paper mainly analyzes the construction problems of drilled piles encountered with caverns under the karst geological region, combines the related technology of engineering construction, and proposes effective engineering solutions for the construction problems encountered with caverns in the percussive drilled piles construction technology, in order to provide technical references for the related engineering construction.

Keywords

Karst Geology, Drilled Pile, Construction Technology, Cavern Treatment, Solution Measures

Copyright © 2023 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

通常在进行一些大型工程建设中, 途经山河地区, 往往需要架设桥梁, 当架设桥梁时, 考虑到建设的成本以及地理条件的局限性, 有时往往需要采用机械式冲桩机和人工进行桥梁桩基钻孔。由于途经山区地带, 地理位置及地质条件往往非常复杂多变, 当遇到岩溶地质时, 对工程建设会产生极大的影响。在桥梁钻孔施工建设工程中, 出现溶洞区域桩孔安全质量问题而引发事故, 就会造成重大经济损失。此外, 针对施工建设过程中遇溶洞地质问题, 国内也做了相关技术的研究, 包括钻孔桩开孔设计、岩溶地质桩基施工、成桩质量问题等。因此, 本文主要在相关的研究基础上, 进一步对采用钻孔桩施工技术遇到岩溶地质出现溶洞时的突发问题进行分析, 并结合工程建设施工状况提出有效的解决措施, 提高公路桥梁桩孔建设施工安全和提升工程建设质量。

2. 岩溶地质钻孔桩施工应用技术分析

2.1. 岩溶地质的分布及影响

通常在工程建设中, 由于途经山区河流地区, 难免会遇到岩溶地质状况。通常来说, 岩溶是一种比较特殊的地质, 其复杂多变, 具有许多难以把控的不确定性因素; 岩溶主要是可溶性岩石在地表水和地下水的长时间侵蚀作用下形成的特殊地质[1]。岩溶地质在我国分布较为广泛, 根据相关数据统计, 在四川、云南、贵州以及广西等省份存在大范围的岩溶地貌, 可溶性碳酸盐的总分布面积达到 $3.44 \times 10^6 \text{ km}^2$, 可溶性岩石在水的长期侵蚀和溶解作用下, 形成复杂多变的岩溶地质[2]。其所处在的岩溶地质区域的岩体在后期的演变过程中出现溶洞、裂隙等现象, 极大程度地降低了岩石的强度, 从而影响岩体结构抵抗变形的能力。因此, 对处在岩溶地质区域上的建筑工程以及道路桥梁等产生极大的影响, 对工程建设构筑物带来不利。

2.2. 岩溶地质区域溶洞发育特征概述

在岩溶发育地区, 根据地下水所在的流动位置及水的流动特性, 可以将岩溶区域分成地下水补给区、地下水排泄区和地下水径流区三种类型, 这三个区域协同发挥作用, 对地下工程空间建设有着不同的危害作用。

2.2.1. 地下水补给区岩溶发育特征

针对岩溶发育区域地下水补给区的成因分析, 由于降水以及地面水是垂直且密集型的向下运动, 随着水的溶蚀作用下, 容易发育成喀斯特的发育形态, 如卡斯特沟、漏斗、石芽及落水洞等形式, 并且发育的岩溶地貌基本属于埋藏浅、发育规模小和演变速度慢的特点, 其中以土层覆盖的溶沟以及岩溶洞隙顶部的岩溶洞口最为突出。

2.2.2. 地下水排泄区岩溶发育特征

岩溶区域发育的排泄区作为地下水的排泄点, 岩溶基本发育成溶洞、暗河及溶蚀盆地, 此种类型岩溶发育的规模较大, 溶洞之间存在相互贯通, 由于地下水的流量较大, 极易形成富水性好的含水层。因此, 在岩溶发育区域进行钻孔桩施工建设时, 最为常见的表现为溶洞上部土层出现局部失稳, 由于岩溶通道内的填充物较少, 上部土层覆盖稀薄, 随着时间的演变, 后期容易产生塌陷灾害, 此外, 在施工过程中, 前期勘测时对溶洞发育区域的溶洞口的实际位置难以准确判断, 成为施工建设时的难点问题。

2.2.3. 地下水径流区岩溶发育特征

地下水径流区作为地下水补给区和排泄区之间的连通区间, 此区域水量较大, 一般多是水平径流, 在经受水的侵蚀作用下, 主要是水平发育溶洞和地下暗河的形式出现。此外, 局部也会存在发育落水洞等垂直岩溶地貌, 多被土层覆盖, 经过浅蚀及渗压的作用下进一步形成土洞; 在水平方向发育形成的单个小型溶洞随着时空变化会逐渐演变发育形成相互连通的大型溶洞[3], 此类溶洞的存在对地下工程建设的桩基础构成危害, 随着时空演化作用影响导致岩溶区域地层出现塌陷和漏空。

2.3. 钻孔灌注桩遇溶洞施工技术分析

在道路工程建设时, 往往会考虑到经济成本以及建设安全等问题, 由于在工程建设选线合理的情况下, 通常为了克服岩溶地质对工程建设项目的影 响, 采用桥梁桩基钻孔桩的方案来有效克服工程建设穿越溶洞地区的施工问题。在满足道路桥梁建设的设计规范要求下, 实施桩基础方案来进行施工建设, 处在岩溶地质区域状况下, 采用桥梁桩基可有效地克服软弱层压缩性土质层及溶洞地质问题的影响, 使其保证桥梁建设的桩基坐落在具有承载力强的岩土体结构上, 从而发挥岩土体结构的有效支撑作用。岩体承载力强, 稳定性好, 同时发生沉降作用小, 对建设构筑物具有良好的支撑保护作用。

虽然桥梁桩基的施工建设方案具备良好的优势, 但是在实际工程建设施工中, 其地质状况是复杂多变, 同时, 在施工过程中进行桥梁桩基方案施工时也存在极大的安全问题。因此, 在进行施工建设前期要充分把控施工技术难度, 并采用最优化的方案进行施工, 包括复杂地质施工状况下采取人工钻孔桩和机械式冲击式成孔桩技术等。因此, 工程建设涉及岩溶地质溶洞问题时, 合理有效的钻孔成桩应用技术能够保障桥梁桩基的施工安全和桥梁结构的稳定性。

3. 岩溶地质钻孔桩常见施工问题概述

3.1. 岩溶地质人工钻孔成桩遇溶洞施工问题

考虑到岩溶地质的复杂多变性, 进行桥梁桩基钻孔方式选择时, 对于岩溶地区的地下水通常较为丰富, 采用人工钻孔成桩时难以克服承压水等破坏问题, 岩溶区域的地下水位较高, 并与相邻周边的沟渠及河流有着相连的作用。在此种情况下, 由于受到地下水的影响, 极易容易导致桥梁桩基施工建设无法正常进行。理想化的岩溶地质施工中存在一些定性和定量的考虑。但是在实际的建设工况下, 岩溶地质的复杂多变因素, 在人工钻孔时往往会存在极大的安全隐患, 必要时采用爆破的形式进行内部岩石的破碎, 再通过人工的方式进行破碎岩土体的清除, 由于爆破时存在一定的爆破力, 对钻孔桩的结构有着不同程度的破坏, 当破坏力过大时, 对处在岩溶地质的溶洞区域时, 也容易引起钻孔桩与溶洞之间的孔壁遭受破坏, 导致溶洞区域的地下水进入桩孔中, 从而人工钻孔成桩施工无法继续进行。除此之外, 人工钻孔区域与溶洞区域之间的孔壁遭受破坏时, 对后期的混凝土浇筑有着非常大的影响; 当出现较大的溶洞时, 甚至无法进行桩基孔高压混凝土的浇灌, 从而严重影响成桩的质量。冲击钻孔成桩的基本施工原理如图 1 所示。

3.2. 岩溶地质冲击式钻孔桩遇溶洞施工问题

在多数情况下, 桥梁桩基的方式选择通常采用机械冲孔桩来提高施工建设进度, 在跨越山河的桥梁桩基由于受到地理位置的局限性以及工程建设经济性指标, 采用冲击式钻孔成桩的方案进行施工。对于处在岩溶地质的溶洞密集区域, 采用冲击式冲孔成桩通常会受到溶洞一系列问题影响, 采用这种水桩冲孔极易出现与溶洞的互通破坏。综上, 钻孔灌注成桩施工过程中常见的破坏形式如下所述:

1) 岩溶地质小规模溶洞: 受冲击式冲桩机的荷载力作用, 极易出现桩孔漏浆的状况, 对后期高压灌注混凝土有一定的影响。

2) 岩溶地质溶洞规模分布比较紊乱无序: 冲击式钻孔施工到达较深的底部桩孔底部的强度大的岩体表面时, 当冲桩机的冲击频率较快时, 极易出现冲锤发生偏斜的情况, 从而使冲桩孔出现斜孔和弯孔。

3) 岩溶地质存在大规模溶洞: 在这种大规模溶洞施工建设区域时, 会出现较高频率的漏浆状况, 影响后期混凝土的高压灌注; 同时, 溶洞分布密集, 通过冲桩机的桩孔施工技术较大的震动力及强烈冲击力的作用下出现钻头卡钻、掉钻下沉, 严重时甚至出现大规模的溶洞区域大面积坍塌和埋钻等严重情况。

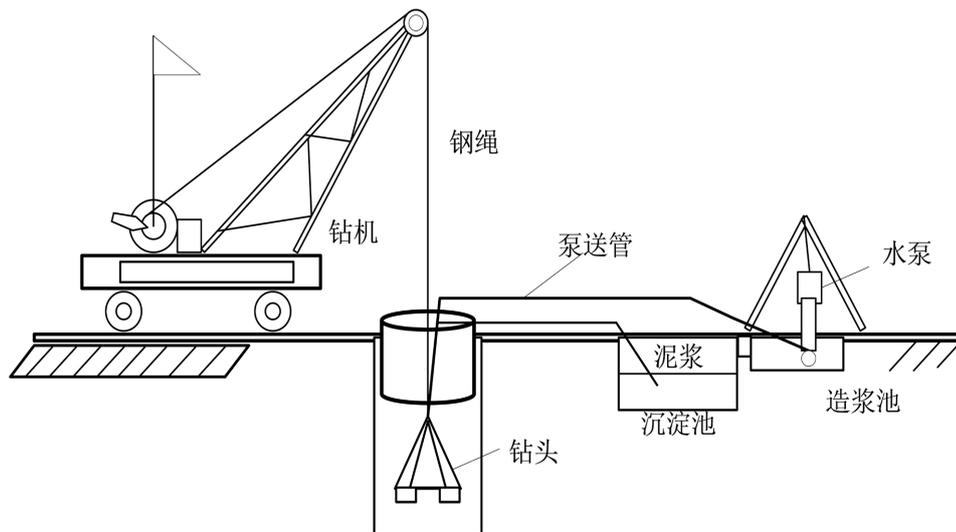


Figure 1. Basic principle diagram of hole formation by percussion drill
图 1. 冲击钻孔桩基本原理图

4. 岩溶地质钻孔桩施工遇溶洞处理技术方案

4.1. 钻孔灌注桩遇溶洞施工处理措施

4.1.1. 回填造壁法

采用钻孔桩冲孔成桩的施工方案遇到溶洞地质时, 根据溶洞的分布规律及规模大小采用不同的处理方式, 对于中小型溶洞, 并且溶洞内部填充物较少的情况下, 可以采用回填造壁的方法进行初步处理; 根据实际建设工况, 可以采用回填粘性土、片石以及水泥等混合料, 利用钻头冲击使填入的混合料可以与该处的裂隙及溶洞接触并实现填充[4]。当采用冲孔机下钻至溶洞上部顶板 1 米处时, 立即采用小冲程式、高频率进行持续钻进, 此时冲桩机的下锤单次高度控制在 1 米左右即可, 逐步实施把溶洞顶部击穿, 及时观察桩基孔内液面的变化, 当桩基孔内液面出现明显的下降趋势时, 此刻及时取出冲击锤, 回填片石、混合料直到桩孔液面不出现下降, 随即下冲锤至孔内进行小冲程冲击回填的混合料, 将回填的混合

料密实地填充到溶洞空腔内, 通过反复的回填、冲击、挤压、密实的方法来堵塞溶洞[5], 从而形成新的封闭的孔壁, 可以保证后期进行高压灌注混凝土时孔内的压强作用效果, 提高灌注桩的成桩质量。

4.1.2. 混凝土高压灌注法

对于溶洞规模较大时, 通常的施工解决方案是先采用初步的回填片石混合料并结合小冲程冲桩机对桩孔内的回填物料进行挤压, 但是对于比较大的溶洞, 这种方式通常难以形成密闭的桩孔和坚实稳定的孔壁, 因此采用反复回填和挤压的方案直到桩孔内部泥浆液面基本稳定后, 灌注水下混凝土至超过溶洞顶部约 1.5 米左右, 静置时间处理待混凝土完全达到强度后, 再重新进行冲孔[6]。击穿混凝土浇灌的溶洞区域, 这时形成的是一个封闭的孔壁, 能够有效保证钻孔中泥浆不会流失, 同时也能确保后期进行水下高压灌注混凝土的过程中不会出现水泥浆的流失, 从而保证高质量的成桩。

4.1.3. 钢护筒跟进法

当桥梁桩基钻孔成桩施工遇到大型溶洞时, 通过简单的施工处理, 无法达到施工建设的要求, 桩孔内难以形成密闭的通道和坚实稳固的护臂, 并且遇到大溶洞区域时, 由于溶洞内没有任何填充物并且与周边暗河区域相连, 此时, 钻孔桩内会出现严重漏水现象。这种情况下通常需要采用钢护筒跟进的方案来进行处理[7]。钢护筒跟进施工方法是在进行冲孔的同时, 一边接高孔内钢护筒, 钢护筒预埋采用分级进行, 使其受到振动的作用力下沉至已钻的孔内或溶洞区域内, 从而达到阻断溶洞内流塑充填物和地下水流动的目的[8], 提高施工安全性, 便于冲孔的顺利实施和保障成桩的质量。

采用钢护筒跟进法施工时, 为了有效防止内护筒受压发生变形和保证其刚度, 钢护筒采用 8~10 mm 钢板卷制铸造而成。一边冲孔, 一边加钢护筒的形式进行, 每增加一级, 内护筒的内径增加 20 cm, 且保证最小一级内护筒直径大于桩径 20 cm, 下沉内护筒时, 由大到小, 分级逐次下沉进行, 做到先钻大孔, 下沉大护筒, 再钻小孔, 再下沉小护筒, 护筒长度根据 $L = h + 3$ (m) 进行确定(L 表示长度, h 表示地质超前钻确定的溶洞高度) [9]。结合实际建设工况, 当内护筒太长, 可以采用分节下沉, 必须确保分节护筒之间孔口进行焊接连接。此方法可以有效解决大溶洞钻孔施工的漏浆、塌孔问题, 使其顺利进行冲孔作业, 并有效保障后期的水下高压灌注混凝土的施工成效。

4.2. 钻孔桩施工遇溶洞紧急突发问题应对技术方案

4.2.1. 钻孔桩施工突发漏浆解决方案

钻孔成桩施工时遇溶洞出现漏浆施工状况, 一方面, 在冲击成孔中, 由于有的溶洞与地下暗河或其他溶洞相通, 泥浆迅速流走, 水位高度急剧下降, 就会造成漏浆; 另一方面, 人工爆破形式钻孔或冲程式钻孔桩会对内壁产生一定的作用力, 溶洞较小时, 内部为空洞无填充物, 地下水较为充足, 此时当溶洞被冲桩机击穿时就会出现漏浆的状况[10]。桩孔内部没有形成密闭的空间体, 泥浆就会渗漏, 导致冲程的过程中发生泥浆液面下降。此时需要通过回填冲击保证桩孔内形成密闭通道和稳固的护壁, 并及时向孔内补充泥浆, 泥浆不足的状况下可以通过注入水, 同时回填大量黏土, 然后继续采用冲锤进行高频率冲程来保证孔壁内产生大量的泥浆, 从而解决钻孔施工过程漏浆问题。

4.2.2. 钻孔桩施工出现斜孔解决方案

钻孔过程中出现斜孔往往是由于桩孔内岩体复杂且分布不均匀, 冲桩机的落锤频率及下落高度不当引起冲锤发生倾斜冲击岩土体导致。同时, 出现斜孔的原因与施工方案的合理性有一定的关联性, 当对桩孔内回填片石不及时以及填充物料不当等因素引起, 导致钻头下落冲击发生一边偏软而发生斜孔。此时, 可以采用回填高强度的小型片石, 进行低频率、小冲程冲孔予以修正偏孔问题; 在实际工况允许的情况下, 采用水下灌注高强度混凝土, 待其完全达到强度后, 再进行小冲程冲孔[11]。采用以上技术方案

来解决冲锤出现斜孔的施工问题。

4.2.3. 钻孔桩施工遇塌孔解决方案

桥梁钻孔成桩的施工途经溶洞区域, 如果施工方案不当就会引起漏浆塌孔等严重状况, 在大溶洞顶板被冲孔机击穿后, 就会初步出现漏浆, 导致孔内水位急剧下降, 此时溶洞内部上层结构岩土体不稳定, 泥浆渗漏严重, 就会出现塌孔。遇到此类施工状况, 可采用黏性土质等混合料进行全部回填, 待其沉降稳定过后, 根据实际建设工况下钢护筒, 护筒安放至稳定的承载力层, 然后再继续进行冲桩形成新的桩孔[12], 同时加大泥浆比重, 进行桩孔内壁的护壁和稳定, 即可有效处理塌孔问题。

5. 结论

在复杂多变的岩溶地质区域运用钻孔灌注成桩技术时会遇到各种各样复杂的施工建设问题, 结合工程实际工况选择合理的、正确的钻孔灌注成桩施工方案进行安全建设具有较大的意义。有效地应对钻孔施工过程中出现的各种突发问题, 针对实际工程建设中遇岩溶地质区域出现的漏浆、穿孔、埋钻以及坍塌等复杂施工状况, 及时采取正确方案进行处理, 避免工程建设事故的发生, 对整体工程建设项目而言能够减少经济损失, 有效地确保工程施工安全和提高工程建设质量, 为相关工程建设提供技术参考。

基金项目

重庆科技学院本科教育教学改革研究项目(202388)。

参考文献

- [1] 罗源宣. 岩溶地区旋挖钻孔灌注桩施工技术及其承载性能研究[D]: [硕士学位论文]. 桂林: 桂林理工大学, 2018.
- [2] 向成恩. 岩溶地质桥梁钻孔灌注桩施工技术分析[J]. 交通世界, 2021(20): 158-159.
- [3] 吴伟斌. 结合岩溶地质危害分析其勘察方法[J]. 建材与装饰(下旬刊), 2008(3): 165-166.
- [4] 曾文乐欣. 岩溶地质条件下的泥浆护壁冲孔灌注桩施工技术[J]. 智能城市, 2020, 6(10): 197-198.
- [5] 丛伟. 公路桥梁桩基工程溶洞处理研究[J]. 城市道桥与防洪, 2018(2): 127-129+16.
- [6] 刘伟. 岩溶区钻孔桩施工溶洞处理研究[J]. 工程建设与设计, 2019(11): 223-225.
- [7] 彭勇锋. 桥梁桩基特大溶洞处理方法的研究与应用[J]. 山西大学学报(自然科学版), 2011, 34(S2): 153-156.
- [8] 赵明恒. 岩溶地区大直径嵌岩钻孔桩溶洞处理施工技术[J]. 民营科技, 2012(10): 297-298.
- [9] 林奕. 岩溶地区冲孔灌注桩设计探讨[J]. 河南建材, 2015(2): 87-89.
- [10] 赵志涛. 岩溶地区钻孔桩施工技术[J]. 铁道建筑技术, 2010(z1): 115-119.
- [11] 范永强. 公路桥梁桩基础在岩溶地区的施工控制[J]. 科协论坛(下半月), 2009(4): 8-9.
- [12] 贾艳杰. 公路桥梁钻孔灌注桩施工主要质量缺陷及处理方法[J]. 交通世界(建养.机械), 2013(10): 228-229.