

文章编号: 1007-2993(2021)05-0327-05

沙漏型岩溶塌陷区钻孔灌注桩施工技术

刘笔艳

(中冶集团武汉勘察研究院有限公司, 湖北武汉 430080)

【摘要】 在可能发生岩溶塌陷的地区, 不能采用一般常规的施工工艺直接进行桩基施工, 需采取有效的施工措施以保证安全和质量。从沙漏型岩溶塌陷的成因和机理出发, 结合工程实例, 总结岩溶塌陷前的预处理措施和岩溶塌陷后塌陷区桩基施工的技术措施。主要研究内容包括施工前通过有效的勘察手段查明岩溶分布情况, 采取注浆方式进行预处理; 塌陷发生后为防止再次塌陷导致桩基施工时发生事故, 搭设所需钢平台, 并总结全回转全套工艺施工技术要点。

【关键词】 沙漏型岩溶; 塌陷; 钻孔灌注桩; 施工技术

【中图分类号】 TU 473.1

【文献标识码】 A

doi: 10.3969/j.issn.1007-2993.2021.05.009

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Construction of Bored Pile in Hourglass Karst Collapse Area

Liu Biyan

(Wuhan Surveying-geotechnical Research Institute Co., Ltd. of MCC, Wuhan 430080, Hubei, China)

【Abstract】 Conventional pile foundation construction technology cannot be used in karst collapse area, and effective construction measures should be taken to ensure safety and quality. Based on the causes and mechanism of hourglass karst collapse, the pretreatment measures before karst collapse and technical measures for pile foundation construction after karst collapse were summarized combining with engineering examples. The distribution of karst was found out through effective investigation means before construction, and grouting method was adopted for pretreatment. After the collapse, in order to prevent the accident during pile foundation construction caused by the secondary collapse, the required steel platform was erected. The key points of full rotation and full set of construction technology are introduced.

【Key words】 hourglass karst; collapse area; bored pile; construction technique

0 引言

我国幅员辽阔, 岩溶地貌分布广泛, 岩溶分布面积约占国土总面积的 1/3, 公路、铁路、房屋建筑等工程建设领域选址时不可避免会经过这些地区。在这些地区进行桩基施工风险极大, 主要表现为两方面: 一是成孔过程中易发生施工事故, 如漏浆、塌孔、卡钻等; 二是成桩后可能影响桩基本身的质量^[1], 造成废桩。

在岩溶地段进行桩基施工如何确保质量和安全, 已有不同方面的经验总结和研究成果。徐军^[2]以肇花高速公路北江特大桥岩溶桩基施工为例, 通过下钢护筒以及采用化学改性泥浆的方法进行成孔, 确保了桩基施工的顺利完成; 朱哲锋和李云锋^[3]以广州某广场基础施工为例, 描述了全套管灌注桩施工工艺;

翟晓静和张艳娟^[4]在广乐高速公路大桥桩基施工中采取了预处理为主、冲孔过程处理两个方式相结合的方案; 毕树峰^[5]依托杭长铁路客运专线(江西段)进贤特大桥桩基, 提出了多种方式组合使用的方案; 蔡晓男等^[6]针对桥梁临水作业如何搭设施工平台, 总结岩溶条件下桩基施工采用旋挖设备与冲击钻组合施工的技术要点; 颜波和卢辉^[7]针对广州某高速公路岩溶地段桥梁桩基施工中遇到的问题, 提出了根据溶洞的大小和类型采用不同处理方式的决策机制。

以上研究对岩溶地区桩基施工处理技术进行了一定的总结与探索, 但是对岩溶塌陷区桩基施工中如何确保施工安全和成桩质量涉及较少。本文在前人研究基础之上, 结合工程实例, 提出了在岩溶塌陷区桩基施工前的预处理措施和发生塌陷后桩基的施工方案。

作者简介: 刘笔艳, 男, 1979 年生, 湖北天门人, 硕士, 高级工程师, 主要从事岩土工程设计及施工管理工作。E-mail: 41025524@qq.com

岩溶塌陷是很多工程项目普遍存在、不可避免的地质灾害,严重威胁着人们的生命、财产安全。根据可溶岩之上第四系覆盖层土的性质和地下水作用的不同,岩溶塌陷类型可分为沙漏型塌陷、土洞型塌陷和真空吸蚀型塌陷三种^[8]。

在岩溶塌陷地区进行桩基施工时,若不采取措施,采用一般常规的施工工艺施工,经常会发生漏浆、垮孔,不但桩基成孔困难,施工时,一旦发生地面塌陷将会导致设备倾倒是人员伤亡事故,不仅存在极大的安全风险,还会导致工期延误、费用增加,影响工程正常开展。为解决上述问题,桩基施工前对未塌陷区域必须事先采取预处理措施,对已经发生塌陷的区域需采取特殊的施工工艺措施。

1 沙漏型岩溶塌陷机理

岩溶塌陷机理比较复杂,众多学者提出了各种理论,徐卫国等^[9]针对采矿区岩溶塌陷特点提出了“真空吸蚀论”;田级生等^[10]认为是渗透侵蚀作用;代群力^[11]认为是地下水或气压波动与盖层固有频率一致时,将出现共振,从而引发塌陷;徐卫国等^[12]认为岩溶塌陷产生的根本原因按其成因机制分析,是基岩上部覆盖的部分土体受力平衡被打破,塌陷体受到的致塌力大于抗塌力,发生失稳破坏。

沙漏是古代的一种计时装置,由两个玻璃球和一个狭小的连接管道组成,沙漏型塌陷一般发生在长江(河流)一级阶地地貌单元二元结构地层组合的冲积层中^[13],若该地层下覆基岩岩溶发育,岩溶(洞)隙无充填或半充填,且溶洞(隙)与第四系孔隙含水层有开口通道,岩溶水位处于土、岩结合面以下,或岩溶承压水低于孔隙水位(或承压水头),当向下渗流的水力坡度 i 大于孔隙含水层的流土临界水力坡度 i_{cr} 时,受力平衡被打破,饱和砂土呈液态,发生流土,砂土向溶洞(隙)中漏失,从而导致地面塌陷。

2 沙漏型岩溶塌陷成因

沙漏自身具备两个特性^[8],一是有两个球型的容器容纳足够的沙子,二是两个容器之间有连通通道。沙漏型岩溶塌陷具有内外两个诱因,沙漏型岩溶塌陷的内在因素包括岩溶(洞)隙无充填或半充填,溶洞(隙)与第四系孔隙含水层有开口通道。沙漏型岩溶塌陷的外在因素为工程施工、抽排地下水等人类活动^[14]导致连通通道被打通。

3 桩基施工前的预处理措施

3.1 岩溶的预处理

桩基施工前,需采取施工勘察手段查明岩溶发

育程度、充填情况、地下水位埋深、变化规律等。目前常用的岩溶施工勘察手段主要为钻探,为准确查明了解岩溶发育形态、分布以及连通情况,钻探需确保一桩一孔,对局部较复杂地段或桩径较大的桩需一桩多孔,必要时可以辅以物探手段。

查明岩溶情况后,采用预注浆法堵塞溶洞,截断岩溶水流动的方式对该部位进行处理。

注浆施工方法为:利用施工勘察孔进行注浆,开孔直径不得小于 91 ~ 108 mm;注浆材料采用 P.S.A32.5 及以上水泥,水灰质量比为 0.5 : 1 ~ 1 : 1;注浆管采用直径 25 mm 的钢管,底部采用花管,花管长度根据洞高确定,孔眼直径 5 mm,间距 10 cm;注浆时注浆压力不宜太大,控制在 0.3 ~ 1.5 MPa 范围,具体压力值由现场试验确定。速度为 10 ~ 35 L/min;注浆顺序应先外围注,逐渐向里注浆,并间隔跳跃注浆;注浆处理以孔口返浆为原则,长时间不返浆,可采用间歇式注浆方式。

3.2 砂层的预处理

采用高压旋喷桩低压喷浆对上部砂层进行固化,砂层固化后,在重力作用下,砂颗粒不会向下移动。

施工方法为:采用高压旋喷桩设备将喷浆管下沉到达设计深度,下沉过程中为防止泥沙堵塞喷嘴,可采用 0.5 MPa 左右的压力边下管边喷水;到达设计深度后,按设计确定的提升速度,从下而上旋转喷浆。加固范围从砂层顶部到岩石表面,高压旋喷桩桩径、水泥用量、桩的布置等参数需根据地层情况确定。

4 塌陷发生后桩基施工工艺的选择

4.1 旋挖+长钢护筒工艺

旋挖+长钢护筒工艺采用振动锤将护筒打入土中,然后采用旋挖机取土成孔。钢护筒能够起到护壁的作用,防止砂层向下渗漏,避免塌陷发生。但是受振动锤的限制,钢护筒打入土中的深度有限,且受地质情况和孔深影响,钢护筒需要根据孔深在孔口进行焊接后再打入土中,焊接用时较长。当侧壁摩阻力较大时,钢护筒有无法拔出的风险,增加成本。

施工方法为:采用振动打拔锤将护筒打入土中一定深度,然后采用旋挖钻机取土,旋挖取土深度不能超过护筒底面,需预留一定深度的土层,防止塌孔。护筒长度根据孔深焊接。

4.2 全套管全回转工艺

全回转钻机通过动力设备夹紧套管进行 360° 回转钻进,在压入力和扭矩的共同作用下将套管压入土层深部,首节套管带合金刀头,用于在套管钻进时施

工。套管钻入一定深度后,采用旋挖钻机或专用冲抓斗将套管中的岩土掏出,当遇到大的漂石或孤石时可用十字冲锤将其砸碎后再取出。该工艺套管入土深度不受限制,后期成桩后套管可以拔出。

主要施工程序有测量放线、全回转主机就位、吊装安放钢套管、套管钻进取土、钢筋笼制作安装、混凝土浇筑、拔套管、浇筑成桩。施工工艺流程见图 1。

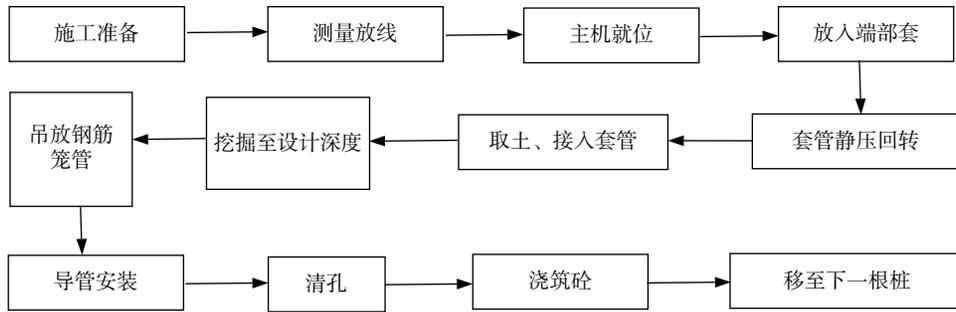


图 1 全回转施工工艺流程图

5 工程实例

5.1 工程概况

武汉白沙洲地区某项目,拟建 8 栋高层和超高层住宅,其中 3#—8#楼位于砂岩地带,1#楼和 2#楼局部位于灰岩地带,2#楼处于砂岩与灰岩交界处。设计采用直径 800 mm 的钻孔桩基础,平均桩长约 45 m。根据施工勘察情况,为预防塌陷发生,需对 2#楼区域

进行预处理。

5.2 工程地质情况

场地地貌属长江右岸 I 级阶地后缘地貌,上部为黏性土、淤泥质土,中部为砂和砂砾石交互层,是典型的二元结构组合地层(见表 1),下部为灰岩或砂岩、砂砾岩。

表 1 主要地层情况表

时代成因	地层代号	岩土名称	状态及密度	层厚/m	层顶埋深/m	岩性特征
Q ^{ml}	①	杂填土、素填土	松散	0.40 ~ 0.80	0.00 ~ 0.00	组成物质不均匀,结构较松散,压缩性大
Q ₄ ^{al}	②	粉质黏土	可塑	1.10 ~ 7.00	0.00 ~ 6.80	含氧化铁斑点,向下逐渐变软并夹有薄层粉土
	③	淤泥质粉质黏土	流塑	1.10 ~ 9.40	1.00 ~ 10.60	局部夹薄层粉土,含少量腐植物,偶见螺壳,有腐臭味
Q ₃ ^{al+pl}	④	粉质黏土与粉土、粉砂互层	软塑、稍密	1.50 ~ 20.10	4.40 ~ 16.40	粉土、粉砂:灰色,主要由石英颗粒和云母片组成,偶含螺壳;粉质黏土:褐灰色,含少量腐植物
	⑤	粉砂	中密	0.70 ~ 17.90	10.30 ~ 28.50	主要由石英颗粒和云母片组成,偶夹薄层粉土及粉质黏土
	⑥	粉质黏土	可塑	0.90 ~ 6.50	13.90 ~ 31.70	褐灰色,夹薄层粉土、粉砂
	⑦	粉细砂	密实	1.20 ~ 6.47	17.70 ~ 32.60	青灰色,主要由石英颗粒和云母片组成,砂质较纯,其底部混有少量中粗砂
	⑧	圆砾	中密	0.00 ~ 16.90	27.00 ~ 47.20	其母岩成分为石英(砂)岩、燧石、石英脉等,平均含量约 64.6%,为亚圆形,粒径 2 ~ 30 mm,含少量卵石,混约 20% 中粗砂及褐黄色黏性土,局部缺失
Q ^{el}	⑨	粉质黏土、黏土	可塑、硬塑	0.00 ~ 12.30	29.50 ~ 41.50	褐黄色,含有高岭土团块和铁锰质颗粒及少量圆砾,局部缺失
K-E	⑩	砂岩、砂砾岩	强风化、中等风化		32.50 ~ 55.20	砂岩棕红色,细中粒结构,层状构造,钙质胶结;砂砾岩紫红色,中粗粒结构,层状构造,钙质胶结
C-P	⑪	灰岩	中、微风化		34.60 ~ 50.50	灰白色,微晶结构,厚层状构造,岩溶裂隙较发育,钻探过程中,大多数勘探钻孔出现漏浆,其中少数钻孔漏浆严重

5.3 预处理措施

(1) 溶洞预处理

2#楼位于灰岩与砂岩交界地带,桩基前采用钻探

手段进行了施工勘察,一桩一孔,对钻探时仅对发现有岩溶空洞、溶洞半充填或钻探时发生循环液漏失的桩进行注浆预处理,其他情况下的桩未进行注浆处

理,注浆完成后采用旋挖工艺施工。旋挖施工时,先后有两根桩已经成孔,施工过程无异常,孔深达到终孔条件,在验收过程中发生垮塌,后及时回填,暂停桩基施工。后采用高压旋喷低压注浆进行处理。

(2)砂层预处理

采用高压旋喷低压注浆对上部的砂层进行固化预处理。高压旋喷采用三重管工艺,压力 2 MPa,处理深度从砂层顶到岩石表面为止,水泥用量每孔 8 t,每米约 260 kg,孔按 2 m×2 m 网格状布置。在高压旋喷桩施工期间又先后发生两次塌陷,两次塌陷均发生在旋喷桩上拔钻杆喷浆期间。

以上预处理措施未能达到预期效果,分析原因为:①施工勘察精度不够,未能探明岩溶区域,且溶洞内的注浆不够彻底,仅对发现有岩溶空洞、溶洞半充填或钻探时发生循环液漏失的桩进行了注浆;②高压

旋喷工艺喷浆压力过大,导致岩溶与砂层间的连通通道被打通。

5.4 塌陷区桩基施工方案的确定

本场地砂层平均厚度约 10 m,采用旋挖或冲孔工艺施工,会对岩溶上部的砂层造成扰动,同时还会打通岩溶与砂层之间的通道,最终发生沙漏型塌陷。全套管全回转工艺成孔过程中采用钢套管护壁,且套管入土深度较深,能够有效防止砂层向下部岩溶区渗漏,从而预防塌陷的发生,确保桩基施工的安全和成桩质量,因此,决定采用全套管全回转钻机施工。

为确保重型设备在塌陷区施工时的安全,拟在塌陷区域设置型钢平台,型钢采用工字钢,高、宽、腹板厚度、翼缘厚度分别为 800 mm、300 mm、14 mm、20 mm,间距 2 m×2 m。钢平台平面布置见图 2。

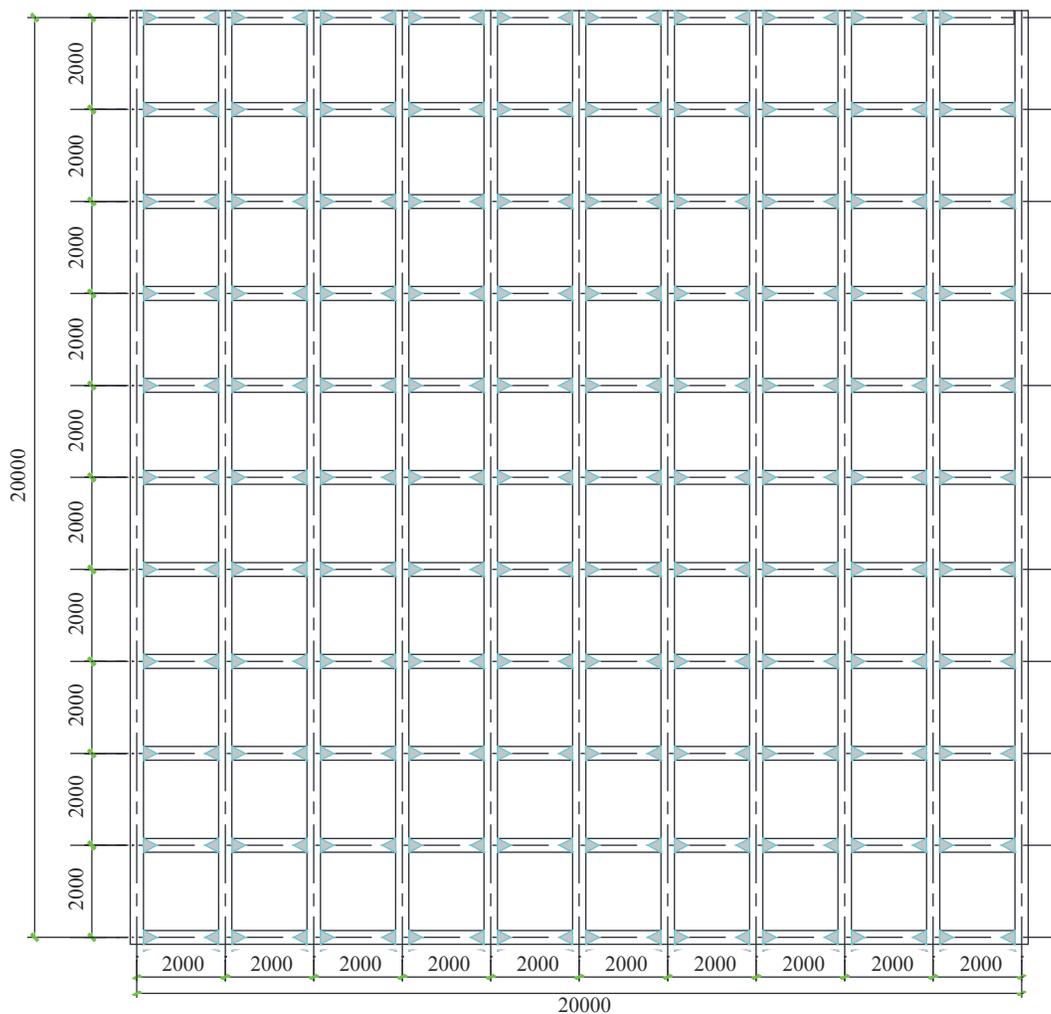


图 2 钢平台平面布置图(单位:mm)

5.5 实施效果

采用全套管全回转施工工艺施工塌陷区的桩基,

套管深度下至岩面,旋挖配合取土,顺利完成桩基施工任务,未再次发生塌陷,桩基检查结果合格。

6 结论

(1)桩基施工前,必须采取有效的勘察手段,详细查明场地地层情况、岩溶发育程度及分布情况,并分析存在塌陷的可能;钻探需确保一桩一孔,对局部较复杂地段或桩径较大的桩需一桩多孔,必要时可以辅以物探手段。

(2)施工勘察孔均应采用压注水泥浆充填封闭岩溶,注浆量以孔口返浆为原则,可间歇进行,确保实现岩溶全充填;注浆顺序宜由外向内进行。

(3)采用高压旋喷桩对上部砂层进行预处理时,需控制注浆压力,不得大于 2 MPa,防止压力过大,破坏土层结构,打通沙漏通道,发生塌陷。

(4)桩基施工时,对已经发生塌陷的部位,当岩面在 20 m 内时,可采用旋挖+长钢护筒的工艺进行施工;当岩面较深时,采用全套管全回转工艺能够确保桩基施工的安全。

参 考 文 献

- [1] 刘洪洋. 岩溶地区桩基施工[J]. 广东公路交通, 2013, (4): 68-70.
- [2] 徐 军. 肇花高速公路北江特大桥岩溶区桩基施工技术[J]. 公路, 2018, 63(5): 182-187.
- [3] 朱哲锋, 李云锋. 高密度岩溶强烈发育地区全套管灌注桩施工技术[J]. 广东土木与建筑, 2019, 26(2): 1-6.

- [4] 翟晓静, 张艳娟. 岩溶地区桥梁桩基础施工技术方案和质量控制探讨[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2017, 13(7): 286-289.
- [5] 毕树峰. 岩溶区高速铁路桩基础施工溶洞处理技术研究[J]. 中外公路, 2014, 34(5): 200-202.
- [6] 蔡晓男, 张文渊, 王禹栋. 岩溶地质斜拉桥索塔钻孔灌注桩施工技术[J]. 岩土工程技术, 2019, 33(2): 66-69.
- [7] 颜 波, 卢 辉. 岩溶地段桩基施工溶洞决策表法处理研究及应用[J]. 广东土木与建筑, 2019, 26(12): 5-8.
- [8] 罗小杰, 罗 成. 沙漏型岩溶地面塌陷物理模型[J]. 中国岩溶, 2017, 36(1): 88-93.
- [9] 徐卫国, 赵桂荣. 试论岩溶矿区地面塌陷的真空吸蚀作用[J]. 地质论评, 1981, 27(2): 15-21.
- [10] 田级生. 柳江水源地岩溶地面塌陷[J]. 水文地质工程地质, 1994, 21(4): 52-54.
- [11] 代群力. 论岩溶地面塌陷的形式机制与防治[J]. 中国煤田地质, 1994, 6(2): 59-63.
- [12] 博 超, 朱 蓓, 王弘元, 等. 浅谈岩溶塌陷的影响因素与模型研究[J]. 中国岩溶, 2015, 34(5): 515-521.
- [13] 涂 婧, 魏瑞均, 杨戈欣, 等. 湖北武汉岩溶塌陷时空分布规律及其影响因素分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2019, 30(6): 68-93.
- [14] 刘鹏瑞, 刘长宪, 姜 超, 等. 武汉市工程施工引发岩溶塌陷机理分析[J]. 中国岩溶, 2017, 36(6): 830-835.

收稿日期: 2020-06-10

(上接第 326 页)

- [6] 宾敬林. “箱型”挡土墙在“湘江大桥”北引桥改造工程中的应用[J]. 湘潭矿业学院学报, 1998, 13(1): 65-68.
- [7] 许正松, 何沛祥. 空箱式挡土墙在水闸连接段中的应用研究[J]. 工程与建设, 2007, 21(6): 885-887.
- [8] 石明宇, 张亚杰. 空箱式挡土墙在大黑河挡黄闸除险加固中的应用[J]. 内蒙古水利, 2016, (11): 70-71.
- [9] 于桂云, 杜 青, 杨夏军. 一种新型连拱空箱式挡土墙[J]. 山东水利科技, 1996, (3): 6-8.
- [10] 唐 洁. 卸荷平台在空箱式挡土墙中的应用比较[J]. 水利建设与管理, 2010, (11): 8-11.
- [11] 童新国. 连拱空箱式挡土墙设计[J]. 特种结构, 2005,

22(4): 26-29.

- [12] 李文斌. 浅析箱形挡土墙在工程中的运用[J]. 建筑结构, 2015, 45(S2): 254-255.
- [13] 戴自航, 蔡荣坤, 赖有泉, 等. L型挡土墙设计计算的有限元法[J]. 水利与建筑工程学报, 2020, 18(4): 221-227.
- [14] 张红叶. 考虑分层填筑及地应力平衡的挡土墙数值仿真[J]. 岩土工程技术, 2021, 35(1): 27-31.
- [15] GB 50330—2013 建筑边坡工程技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.

收稿日期: 2020-07-01