

旋挖钻孔灌注桩施工遇串珠状溶洞处理技术

程华仁*

(武汉地质勘察基础工程有限公司,湖北武汉430050)

摘要:溶洞严重影响桩基正常施工作业,造成成本工期失控。分析了与溶洞类型相适应的几种溶洞处理办法。其中对溶洞注浆施工技术工艺过程进行详细说明,列举工程实例,说明溶洞注浆是一种有效的溶洞处理技术措施,在岩溶地区多层串珠状溶洞处理中应用效果良好,为岩溶地区溶洞处理施工提供借鉴,供广大工程同仁参考。

关键词:桩基施工;溶洞处理;注浆技术;串珠状溶洞

中图分类号:TU74 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-5716(2024)02-0026-04

随着城市建设的高速发展,建设项目选址有时无法规避溶洞发育地区;在岩溶地区进行的工程施工,特别是桩基施工,遭遇溶洞地层会造成护壁泥浆漏失,正常施工难以继续,无法按常规工艺完成。必须先对溶洞进行有效处理,常规做法是先进行超前钻施工勘察,查明溶洞的具体情况,按溶洞的不同类型,针对性地采取不同溶洞处理措施。结合我司承担的湖北武昌溶岩地区某项目地基处理工程,施工区域地层存在着大量串珠状溶洞。经对比分析,选用注浆施工技术对溶洞进行处理,取得了良好的效果,成本工期可控,顺利完成了注浆处理和桩基施工任务。

1 溶洞的形成与分类

1.1 溶洞的形成机理

溶洞是可溶性岩石中因喀斯特作用所形成的地下腔隙^[1],是石灰岩地区地下水长期溶蚀的结果,溶蚀作用是一个漫长的地质过程,发育形成大小不同的腔洞体,溶洞发育常见在岩溶地区。

1.2 溶洞的几种常见类型

溶洞按发育成的腔洞形态情况等进行分类。按溶洞的大小分类,可分为三种,a:小溶洞,洞高小于3m;b:大溶洞,洞高大于3m;c:裂隙、溶蚀。按洞内有无填充物进行分类,可分为三种,a:有填充,已填满,包括亚砂土和亚粘土填充,有可塑、软塑和流塑之分;b:半填充,有一半左右填充;c:无填充物,为空洞。按溶洞是否漏水进行分类,可分为三种,a:全漏水,与其它溶洞相连;b:半漏水;c:不漏水。按溶洞垂向数量进行分类,可分

为二种,a:单个溶洞;b:多个溶洞或串珠状溶洞。

1.3 溶洞地层对建设施工的不利影响

岩溶地区很容易发生因溶洞引起的地面沉降和裂缝。桩基础施工遭遇溶洞,会造成护壁泥浆漏失、成孔困难和孔斜、卡钻,混凝土严重超灌,进而造成项目进度、成本和质量目标失控,甚至发生地面塌陷等严重的安全事故。在以往工程实践中,因溶洞引发的各类施工事故屡见不鲜。对溶洞如果处理不及时或采取措施不合适,也有可能引起地质灾害,造成重大经济损失,因此对溶洞进行加固处理至关重要。应按勘察钻孔探明的溶洞具体情况,选用合理的技术手段进行处理。

2 溶洞地区桩基施工的常见处理办法

2.1 常规成孔法(按照无溶洞地质状况考虑)

施工地层发现溶洞存在,且溶洞内有充填物为可塑或软塑的亚粘土,且溶洞不存在漏水情况;这时可忽略溶洞对旋挖施工的影响,而按照正常的施工工艺进行。旋挖钻进成孔时,洞内的土质和溶洞外的土质没有什么差别,可以按无溶洞的情况正常施工作业。

2.2 片石粘土填筑法^[2]

溶洞内无充填或半充填,一般溶洞高度在3m以内,但存在严重漏水,护筒内水头高度难以保持时,可采用片石、粘土和整包水泥进行回填后钻进,旋挖钻机用小进尺干钻,使回填物充分密实后再加泥浆,提高水头至正常高度,等水泥初凝具有一定强度将漏浆处堵住后,继续使用小进尺钻进,形成人工泥石护壁。

对于一些溶槽、溶沟、小裂隙等,钻进时采取投放

* 收稿日期:2023-07-27 修回日期:2023-08-01

作者简介:程华仁(1968-),男(汉族),湖北应城人,高级工程师,现从事基础工程施工管理工作。

片石、粘土和整袋水泥堵塞起到护壁作用,保证护壁泥浆不流失,使钻孔顺利通过岩溶区。如此反复多次回填,反复钻进直至形成泥石护壁并不再漏浆为止。片石粘土填筑法施工有很多成功的溶洞处理案例,是一种比较成熟的溶洞处理施工技术。

2.3 钢护筒跟进法

溶洞腔体高大于3m,单层或多层溶洞成垂直串珠状,可采取钢护筒跟进法施工。该方法就是一面钻孔,一面接高护筒,并且将其压到或震动下沉至已钻成的孔内。

当桩孔穿过多个溶洞,并且均已成功造壁,在下面溶洞钻进时,上面已形成的泥石护壁坍塌漏水,可以钢护筒跟进到这个溶洞位置堵漏。

钢护筒选择。内护筒长度和内径的确定:护筒长度由溶洞底至地面深度确定,单层护筒内径在桩直径加大10cm。多层护筒自内层护筒直径上再加大10cm。钢护筒要求成型直径准确,连接顺直,单个大溶洞用单层护筒,两个大溶洞用双层护筒。

用旋挖钻进成孔钢护筒跟进法施工时,要求钻机成孔桩孔要竖直,无歪斜、缩径。

钢护筒跟进法可用于各种中大型溶洞,施工方法相对复杂,造价高。

2.4 混凝土回灌法

如桩孔出现反复漏浆,现场条件不允许采取钢护筒跟进法和注浆法时,可采取回灌混凝土法,采取低标号混凝土灌注,浇筑桩孔间隔一定时间后采用正常成孔方法施工,当钻穿溶洞漏浆时或遇到倾斜岩面时,填入低标号混凝土,继续成孔。

混凝土回灌法适用于中小溶洞,有无填充物均可采用此方案。施工方法简单,材料消耗大,成本相对较高,此种方法一般用在桩孔漏浆、堵漏困难的地方。

2.5 注浆法

施工地层溶洞层数较多,为串珠状,土层中有较厚的砂层,溶洞漏浆严重会引起钻孔孔壁塌方,这时对土洞、溶洞处理,可采用注浆法进行溶洞充填;注浆材料选用水泥浆,浆液配合比应通过工艺试验确定。

注浆孔径应根据地质条件钻孔深度及注浆工艺确定,注浆孔径不宜小于91mm。注浆压力应综合考虑上覆压力、地层条件和浆液性能等因素。前期注浆压力宜为0.2~0.5MPa,终止压力宜为1~1.5MPa。注浆范围不小于空洞和裂缝的空隙范围。当空洞边界岩体破碎,裂隙发育时,注浆范围超出空洞范围的宽度不应小

于空洞高度的0.5倍。注浆顺序应按跳孔间隔注浆方式进行,宜先外围后内部的施工方法。施工时应记录注浆压力和浆液流量。注浆过程中出现压力骤然下降、上升或冒浆异常时,应查明原因并及时采取措施。注浆结束后,注浆孔应采用水泥浆封闭。待水泥浆液压注作业结束,48h后开始正常钻进施工。

注浆法施工可用于多层串珠状溶洞,也可用于各种有填充物的溶洞,材料消耗较大,造价相对较高。

3 溶洞注浆施工技术特点

3.1 溶洞注浆技术的优点

3.1.1 提高固结力

注浆处理后,地层中添加了适量的水泥,水泥固化后形成坚硬的水泥土,这样可大大提高土体抗压能力,增加土体的固结力。同时注入水泥浆液将会填补溶洞的空洞部分,提高地层支撑能力,防止局部地面下沉。

3.1.2 降低渗透性

水泥浆液能够填补溶洞内的空隙,将地下水流动的路径阻塞,降低潜在的地下水位,从而有效防止地下溶洞导致成孔浆液流失。

3.1.3 提高地层稳定性

通过注浆技术,可以增强地下岩石的整体稳定性,从而有效解决岩溶地区容易造成的地面沉降和地裂缝等问题。

3.1.4 节约成本

利用注浆技术处理岩溶地区的溶洞,可以有效控制材料消耗,减少工期,节约造价,是一种具有高性价比的溶洞处理施工技术。

3.2 溶洞注浆技术的缺点

3.2.1 作业现场布置难度大

岩溶地区地貌复杂,周围环境复杂,施工现场设备、管路布置难度较大;同时管路行程远、压力损失大,需要充分考虑现场安全和操作问题,现场灵活布置。

3.2.2 注浆操作时机把控难

在施工过程中,由于地下水条件的不同,对注浆开始和结束时机需要进行准确的把控,否则可能影响作业效果,造成注浆效果不佳的结果。

3.2.3 对环境的影响较大

注浆作业过程中需要使用大量的水泥等材料,对周围环境可能造成二次污染,容易引起环保问题。

4 溶洞注浆施工工程实例

4.1 工程概况

京东光谷南大健康智能产业园项目桩基工程位于

武汉市江夏区,用地面积95017.5m²,构筑物总建筑面积223310m²;主要建筑物由4栋库房、行车道及综合楼组成,包括1#~2#双层库、3#~4#单层库、5#倒班楼及6#门房。

根据《京东江夏地块岩土工程勘察资料》显示^[3],本工程地质土层主要为:杂填土、素填土(Q^m)、粉质粘土(Q₄^{al})、粉质粘土夹碎石(Q₃^{al+pl})、红粘土(Q^{el})、灰岩(较破碎)(P₁q)、灰岩(较完整)(P₁q)。拟建工程场地属岩溶强发育场地,基岩为灰岩,溶洞见洞率为39.4%,洞内充填物均为可塑状的粘性土夹灰岩碎块,半充填—全充填,钻进有漏水现象。

4.2 基础施工方案

本项目基础形式为旋挖钻孔灌注桩、强夯地基处理及CFG桩,桩基施工主要施工区域为岩溶地区。根据规范要求,必须进场施工勘察及溶洞注浆处理后进行桩基施工;超前钻施工时,发现溶洞后可立即进行注浆处理;要求对施工区域桩孔位置进行施工勘察,对需要注浆的溶洞采取注浆封闭基岩溶洞,停待48h后,按常规旋挖作业进行成孔施工。

经测算比选,注浆法施工成本最低,工期可控,确定对溶洞采取注浆加固法施工处理。

4.3 需要溶洞注浆孔的判定

根据施工勘察资料分析溶洞充填、埋深、高度及空间分布横向分布情况,按照工程设计文件,对桩基及独立基础下的溶洞需要进行处理,桩基础溶洞注浆处理判定方式为^[4]:

(1)一般空洞及半填充溶洞:对于高度超过1m的空洞及半填充溶洞,采用注浆法进行溶洞填充预处理,其余的不处理,具体点位按施工勘察完成报告标识图进行。

(2)对于全填充溶洞,可不进行处理。

独立基础下的溶洞处理方案严格按规范进行。

(1)对于在规范要求的边缘区域发现溶洞的采取调整基础宽度的办法避免处理。

(2)对于全填充溶洞,根据填充物的物理指标验算地基承载力,满足要求的可不处理。

(3)在规范规定深度范围内的一般空洞及半填充溶洞,采用注浆法进行溶洞填充预处理。

4.4 成孔作业

根据勘察报告显示的溶洞区域,按桩位图一桩一孔进行布置,勘察钻机采用XY-1/GK-200钻机;超前钻施工孔位居中布置。

对于出现的满足注浆要求的溶洞桩孔时,利用施工勘察钻孔埋设注浆管,采用袖阀管水泥注浆处理。

4.5 注浆管安装

根据施工勘察探查取得的洞体边界数据,对于需要注浆处理的孔在溶、土洞顶板以上的部位用实管,在溶、土洞范围内使用花管,注浆管底部加注浆器,注浆器用生胶带缠绕封闭。注浆管采用直径25mm、壁厚3mm的钢管,每个孔内放置注浆管3根(用二备一)。对于无充填的溶洞,注浆管下至土溶洞顶板下0.5m,对于半充填/全充填的溶洞,注浆管下至溶洞底。

将实、花管根据要求连接后,在管内注满清水检查密封性能。然后立即将注浆管沿钻孔下至设计标高,上端露出地面40cm左右,并加盖上闷盖。为保证顺利下管,管中要保证注满清水,做好防注浆管上浮的措施。注浆管孔口处应进行封孔,保证止浆效果,同时为加强止浆效果,可在孔壁间隙靠近地面1~2m范围内充填水泥砂浆加固,封孔完成6~8h后方可进行注浆施工。

4.6 注浆浆液配制

根据溶洞面积及高度估算预配制浆液的体积,按水灰比计算出所需的水泥和水的用量,在搅拌机内加入计算好的用水量,边搅拌边加入计算好的水泥用量,搅拌均匀后倒入储浆池内备用。

4.7 注浆孔位顺序

注浆顺序采取由外到内约束—开放型方式,即先注溶洞最外侧后注内侧,隔孔交替进行,以控制浆液扩散范围,保证注浆效果。

4.8 注浆施工

注浆设备机组主要设备为注浆泵,配套设备为水泥罐和浆液搅拌机。

用注浆泵注浆,注浆压力不宜太大,前期注浆压力宜为0.2~0.5MPa,终止压力宜为1~1.5MPa。使浆液填满溶洞或渗透到填充物内,然后固结。水泥采用PO42.5水泥,水泥浆液水灰比0.4~0.6^[4]。当达到以下条件即可停止注浆:

(1)当孔口开始翻浆且注浆量小于15L/min。

(2)发现注浆范围附近地面有上抬的趋势时,立即停止注浆。

(3)发生窜浆或浆液漏失严重时,立即停止注浆。

注浆方式采取后退式分段注浆工艺,即在注浆带内由孔底自下而上进行注浆,每次注浆段长0.5m,注完第一段浆段后,上提注浆芯管,进行第二注浆段注浆

施工。

在芯管拔出长度大于一节管长时,停注拆取该节芯管及接头,将接头接在未拔出的芯管上继续注浆,依此进行直至完成注浆。

注浆过程中如需暂停注浆时,应将注浆芯管提升0.4m,向孔内注清水后再停止注浆,这样既保持管路畅通,又保证注浆不受注水影响。

为保证注浆效果,一般采用重复注浆方法。两次注浆时间间隔为6~10h,注浆3次,满足终孔压力时停止注浆,并用水泥砂浆进行封孔处理。

注浆过程中做好注浆记录,记录实际孔位、孔深、孔内地下物、涌水等,当发现与地质报告不符时,分析具体情况进行改进,修正注浆作业参数。

4.9 现场施工存在问题与解决措施

由于项目场区大,注浆距离远:注浆施工时,注浆距离增加,注浆压力可能不足,影响注浆效果。针对措施是注浆施工做好注浆后台的位置布置,注意观察注浆泵的注浆压力情况,可适当增加注浆压力,避免因距离过远,造成注浆压力不够,影响注浆效果。

地面冒浆问题:现场注浆施工时,注浆液从其他位置冒出,分析主要原因为溶洞内存在破碎带,施工时,随着浆液的注入,压力增大,水泥浆液从其他勘察孔内返出,造成材料浪费。针对措施是对施工勘察孔进行孔口封堵处理,并采用间歇停注、多次复注的方法处理。

4.10 桩基施工成桩

设计要求注浆施工完成后应停待48h,待浆液初凝固,结具备一定强度后方可进行后续成桩作业。桩基施工设备选用SR285旋挖钻机,泥浆护壁成孔,现场实际作业情况一般是在注浆结束后停待了7~15d进行正常旋挖钻进,浆液无漏失情况发生。

钢筋笼制安与混凝土灌注作业按正常工艺流程进

行,不再赘述。最后统计,混凝土灌注方量存在1.5%轻微超方。

4.11 施工总结

本项目共投入施工勘察钻机18台套,注浆设备采用BW150压浆泵2套,桩基施工采用1台SR285旋挖钻机。溶洞区桩基础施工历时50d,顺利完成区内的所有溶洞的勘察超前钻孔、溶洞注浆和旋挖施工任务。其中施工勘察钻进完成进尺约1734.7m,溶洞注浆水泥用量591.5t;完成直径900mm和700mm的钻孔灌注桩施工122根,灌注混凝土量934m³。桩基施工结束后进行了十三组静载试验,检测结果表明,单桩承载力和沉降值均满足设计和规范要求。表明注浆处理完全达到了设计要求的加固效果。

5 结语

综上所述,注浆施工作为一种工艺成熟的施工技术,溶洞注浆处理作为一种重要的解决岩溶地区溶洞处理的有效技术手段,特别在岩溶地区的多层串珠状溶洞处理极具成效。溶洞注浆施工设备和注浆材料容易取得,在降低治理成本方面具有很大的优势,是岩溶地区溶洞处理的一种重要技术措施。注浆处理在地基处理中应用广泛,具有一定的推广价值。但必须注意,溶洞注浆技术有其局限和适应溶洞类型,适用于串珠状溶洞处理,不能有效处理其他全漏水的大溶洞。

参考文献:

- [1] 常士骠,张苏民,等.工程地质手册[M].4版.北京:中国建筑工业出版社,2007:525.
- [2] 陈飞,程华仁,汪朝晖,等.旋挖与冲击组合钻进法在岩溶地区钻孔桩施工中的应用[J].土工基础,2013(3):13-15.
- [3] 卢之艳.武汉光谷大健康项目岩土工程勘察报告[R].湖北省神龙地质工程勘察院有限公司,2022.
- [4] 雷龙.京东光谷南大健康智能产业园项目桩基工程施工组织设计[R].武汉地质勘察基础工程有限公司,2022.