

# 武汉地区岩溶地层钻孔灌注桩成孔技术研究与实践

訾 兵

(宁夏伊斯兰地质工程公司,宁夏 银川 750021)

**摘要:**随着城市基础设施建设及城市化进程的加快,有更多的钻孔灌注桩设计在岩溶地层。在岩溶地层进行钻孔施工容易发生孔内事故,且出现频率较高,处理难度很大,经济损失较大。通过对溶洞裂隙发育的石灰岩地层进行注浆加固,然后进行钻孔桩成孔工艺的试验研究。结果表明,该方法在比较好的解决了石灰岩地层成孔效率低、孔内事故多及泥浆混凝土漏失的技术问题。对岩溶地层进行钻孔桩施工具有重要的参考意义。

**关键词:**岩溶地层;钻孔灌注桩;注浆工艺;成孔施工

**中图分类号:**TU473.1<sup>+</sup>4 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2009)11-0036-03

**Experimental Study and Practice of Boring Technology for Bored Cast-in-place Pile in Karst Formation of Wuhan Area/ZI Bing** (Ningxia Islam Geo-engineering Group, Yingchuan Ningxia 750021, China)

**Abstract:** Downhole trouble often occurs while drilling in karst formation, which is very difficult to deal with and lead to great economic loss. Grouting reinforcement was operated in limestone formation of cave fracture and experimental study was made on bored cast-in-place pile technology. The result shows grouting reinforcement can solve the low efficiency of hole forming, downhole trouble and slurry concrete seepage in limestone formation, and it can be the reference to bored pile construction in karst formation.

**Key words:** karst formation; bored cast-in-place pile; grouting technology; boring construction

随着我国经济建设的飞速发展,我国的城市基础设施建设及城市化进程不断加快。有更多的钻孔灌注桩不得不设计在岩溶地层。多年来,武汉建筑市场的高层建筑基础设计均为钻孔桩基础型式,随着房地产开发向周边延伸及武汉市环城高速公路的规划修建,有更多的下覆基岩地层是石灰岩地层,且溶洞裂隙发育,钻孔桩施工难度大、施工周期长,给生产带来了巨大的经济损失。

针对溶洞裂隙的类型,从技术、经济、工效、质量等方面,为了解决岩溶地层难成孔的问题,研究并总结出一套对岩溶裂隙地层进行注浆加固,从而解决泥浆及混凝土漏失、孔壁塌方和钻孔偏斜等孔内事故的工艺技术方案。

## 1 岩溶地层特性及施工难点

石灰纪地层沉积成岩以后,经历了漫长的地质年代和多次构造运动,形成各方向的褶皱,并有大致平行于褶皱轴向的纵断层和大致与之垂直的横断层。后来经历了侵蚀和剥蚀作用,并在地下水的化学和机械作用下形成一系列岩溶地貌,及溶洞裂隙发育。溶洞按其填充状态可分为空的、半填充的和完全填充的3类;按其填充物的性质可分为粘性土、

砂砾和稀土3类;按其漏水情况可分为漏水和不漏水2类。

在这种地层进行钻孔施工经常出现泥浆漏失、钻孔坍塌、钻孔偏斜、钻头卡钻等孔内事故,且出现频率较高,处理难度很大。

## 2 岩溶地层钻孔试验方案

### 2.1 整体思路

进行超前钻探查明岩溶地层溶洞裂隙发育情况,即溶洞的大小、填充状态、漏水程度、上部第四系松散地层的工程地质条件等。依据以往类似地层的施工经验,预判成孔钻进过程中可能出现的问题,并制定多项初步的注浆加固及成孔工艺方案和技术措施,方案分常规性方案和针对性方案,反复实施,进行比较,最终总结出一套针对性强、切实可行、易操作、多快好省的岩溶地层钻孔桩施工综合方案。

### 2.2 注浆液配制和实验

注浆处理岩溶地层的试验方法主要包括以下3个方面:通过室内实验对注浆浆液材料和配方进行试验;通过现场模拟试验对注浆的施工工艺、关键技术参数进行分析;通过对实际工程应用的研究对注浆处理岩溶地层中的效果、作用机理进行研究。在

收稿日期:2009-09-09

作者简介:訾兵(1964-),男(汉族),宁夏银川人,宁夏伊斯兰地质工程公司武汉公司总工程师,探矿工程专业,从事基础工程施工研究及管理工作,湖北省武汉市武昌区徐东大街97号龙潭大厦19楼(430062)。

室内主要针对注浆材料的要求进行了配比实验。

### 2.2.1 注浆浆液材料

注浆材料品种很多,性能也各不相同,但是作为注浆材料,应有一些共同的性质。一种理想的注浆材料,应该满足以下要求:

(1)浆液粘度低、流动性好、可注性好,能够进入细小隙缝和粉细砂层;

(2)浆液凝固时间能够在几秒或在几十秒内瞬间凝固,可控制浆液灌注在一定范围内且不流失,材料的利用率高;

(3)浆液的稳定性好,常温、常压下较长时间存放不改变其基本性质,不发生强烈的化学反应;

(4)浆液无毒、无臭,不污染环境,对人体无害,属非易燃、易爆物品;

(5)浆液对注浆设备、管路、混凝土建筑物及橡胶制品无腐蚀性,并且容易清洗;

(6)浆液固化时,无收缩现象,固化后有一定的粘结性,能牢固地与岩石、混凝土及砂子等粘结;

(7)浆液结石率高,结石体有一定的抗压强度和抗拉强度,不龟裂,抗渗性好;

(8)结石体耐老化性能好,并且不受温度、湿度的影响;

(9)浆液配制方便,操作容易掌握,原材料来源丰富,价格便宜,能够大规模使用。

一种注浆材料同时满足上述要求是比较困难的,现有的注浆材料都或多或少地存在着这样或那样的缺点。在施工应用中,注浆浆液根据具体情况只要符合其中的几项主要要求即可,因而需在施工中根据具体情况和要求,选取最合适的一种或几种浆液配合使用以达到预期的效果。

### 2.2.2 注浆浆液配比

室内测试不同配比水泥-水玻璃浆液凝结时间见表1。

表1 不同配比水泥-水玻璃浆液凝结时间表

水玻璃浓度/Be	水灰比	水泥浆与水玻璃体积比	磷酸氢二钠用量/%	凝结时间
40	1: 0.75	1: 1	0	1 min 30 s
	1: 0.75	1: 1	2	9 min 41 s
	1: 0.75	1: 1	2.25	13 min 39 s
	1: 0.75	1: 1	2.5	18 min 27 s
	1: 1	1: 1	0	2 min 8 s
	1: 1	1: 1	2	5 min 35 s
	1: 1	1: 1	2.25	12 min 3 s
	1: 1	1: 1	2.5	29 min 15 s

水泥-水玻璃类浆液的凝固时间可以从几秒钟

到几十秒内准确控制,影响其凝胶时间的因素主要有水泥浆浓度、水玻璃浓度、水泥浆与水玻璃体积比等。通过上述几个注浆液实验得出最佳的注浆液配置,应用于岩溶地层中钻孔灌注桩成孔施工中,使其达到最好的效果。

### 2.3 注浆施工方案

注浆法处理岩溶地层地基的效果好坏,关键在于能否按设计的方案进行施工。为了搞好注浆施工,首先要了解工程的技术要求,针对具体工程进行现场调查,搜集工程地质资料。

#### 2.3.1 注浆法实施前的现场调查

前期工程地质资料的分析,内容包括:岩溶发育的裂隙、溶蚀、溶洞、溶洞填充物、地下水文特点等,基于武汉地区处于覆盖型岩溶区,对岩溶地层上的覆盖层的地质特性进行分析,包括覆盖层各地层厚度、成分,场地各层土的力学性质指标等。

#### 2.3.2 施工准备

##### 2.3.2.1 组织施工人员

注浆法处理岩溶地层施工时,按设备要求配备人员。

##### 2.3.2.2 现场施工前准备

施工前应清理施工场地、作好机械检修和保养、布置好孔位、以及搭设工棚、备好材料等。

##### 2.3.2.3 确定施工程序

(1)钻孔:注浆利用超前钻的钻孔为通道进行注浆。

(2)建立孔口灌浆装置:孔口灌浆装置需满足静压灌浆要求。

(3)采用双液注浆,严格按照施工工艺进行。

(4)注浆结束后,若注浆孔口冒浆,需对孔进行封闭处理,防止浆液流出。

#### 2.3.2.4 根据实验结果设计选定注浆参数及浆液配方

#### 2.3.3 注浆设备

主要注浆设备为FBY系列双液注浆机,其它辅助设备有水泥浆搅拌机、高压胶管、孔口注浆装置、压力表、流量计等。

#### 2.3.4 注浆原理和工艺流程

在一定压力下,利用惰性材料形成的浆液注入岩溶裂隙、溶洞中以及塑粘土体孔隙中,首先是填充岩溶洞及岩溶裂隙,对溶洞、裂隙进行封堵,以防止在桩基施工过程中发生漏浆、塌孔事故。根据具体工程的地质条件和水文地质条件,采用静压注浆法,注浆时化学浆液可在几秒或几十秒内瞬间凝固,可

控制浆液灌注在一定范围内且不流失;材料的利用率高,比较经济。对溶洞中的砂、砾等土体,浆液通过渗透作用固结砂和砾,对于溶洞中的软弱土体,浆液通过劈裂、挤密作用加固土体,对于无填充物和半填充溶洞的空间,浆液通过充填作用填满溶洞。注浆工艺流程为:测量放样→钻机就位→钻孔→安装注浆管路→(试泵)注浆→终灌、移机。

### 2.3.5 注浆施工

利用超前钻的钻孔为通道进行注浆,注浆时注浆管必须插入孔底部,注浆开始前先向注浆管内压入清水冲洗孔隙,然后再送浆,打开止浆帽回水阀,待水泥浆液将孔内清水完全置换出来,回水阀流出水泥浆后关闭,开始压力注浆,注浆结束后,清洗注浆设备,防止残留浆凝固堵塞注浆管路。

## 2.4 成孔施工方案

岩溶区在注浆处理后成孔有两种方案:即回转钻进成孔和冲击钻成孔的施工,经过现场比较,采用冲击钻成孔的施工效率较高且孔内事故较少。

### 2.4.1 主要设备与机具

主要有钻机、冲击式钻头和抽砂筒。钻机型号有CZ-20型、CZ-30型等,冲击钻头使用十字形钻头。

### 2.4.2 岩溶地层冲击钻进注意事项

#### 2.4.2.1 开孔

开孔时要采用较小的冲程,以防止孔位偏离或冲坏护筒。当孔位基本定型后,适当加大冲程。孔内始终保持一定水位以防止突然漏浆造成塌孔;并使水位低于护筒顶0.3 m。

#### 2.4.2.2 溶洞顶板的钻进

穿越溶洞顶板时必须十分谨慎,否则易发生卡钻、掉钻现象。

(1)溶洞顶板的判定和穿越。钻进时若发现钻进速度降低,主绳摆动加大,并有偏离设计桩中心的趋势,说明钻头已接触溶洞顶板,应采取破除溶洞顶板的技术措施:冲击钻机在接近溶洞顶板时应用0.8~1.2 m低冲程将顶板击穿;若溶洞较小可用片石、粘土将其充填后反复冲击,直至整个顶板破除;若溶洞太大,填充无法解决问题,可改用大锤低冲程穿越顶板。

(2)穿越过程中的漏浆及探头石问题。当钻至溶洞顶以上0.3~0.5 m已发生漏浆甚至偏孔问题,应减少冲程,加大泥浆密度,抛填片石、粘土包堵漏;并循环超填1.0 m片石处理偏孔、探头石,直到钻头处于平稳、无弹跳的状态。

#### 2.4.2.3 溶洞内钻进

当钻孔速度明显加快,无偏孔现象,表明已进入溶洞。这时应根据溶洞内的填充物,调整冲程和泥浆密度。在溶洞内升降钻头要缓慢、平稳,以免扰动或触及片石形成的临时护壁。

#### 2.4.2.4 清孔

孔底沉渣的厚度直接影响灌注桩的承载力发挥,对嵌岩桩(端承桩)的影响更加突出。清孔方法对孔底沉渣质量也有很大的影响,泵吸反循环清孔工艺能够保证孔底质量,且效率高。

## 3 现场试验及效果

现场试验在“南湖公园世家C区”项目试桩进行了实施,4栋高层布置了8根直径800 mm试桩。因岩溶地层钻孔桩施工前,每个设计桩位都进行了超前钻详勘,溶洞裂隙发育的情况比较清楚,施工前对有溶洞的钻孔先利用超前钻的钻孔为通道进行超前钻孔预注浆,具体地层及注浆情况见表2。

表2 有溶洞的钻孔地层及超前钻孔预注浆情况表

孔号	顶板岩层	顶板位置/m	溶洞位置/m	溶洞填充物	注浆水泥量/t
1	灰岩	22.5	24.1~26.3	流塑状粘性土	4.5
2	灰岩	27.1	30.2~23.5	流塑状粘性土	6.5
3	灰岩	19.8	20.5~21.2	流塑状粘性土	1.0
4	灰岩	30.2	33.1~35.8	流塑状粘性土	5.5
5	灰岩	24.5	至32.5 m	无溶洞裂隙	未注
6	灰岩	26.8	29.1~30.8	流塑状粘性土	3.5
7	灰岩	22.9	至30.9 m	无溶洞裂隙	未注
8	灰岩	25.5	29.1~32.3	流塑状粘性土	6.5

注:浆液凝固时间29 min,注浆量按溶洞高度2 t/m控制,注浆压力>5 MPa时停止注浆。

施工过程中采取回填片石加粘土二次冲击钻进及成孔后先灌水泥砂浆至溶洞顶部位置,待凝固后再钻进至设计孔深等综合工艺和手段,取得良好效果,无塌孔及混凝土灌注流失超量等现象,8根桩经检测全部满足设计要求。

## 参考文献:

- [1] 珊瑚. 石灰岩地区桩基设计与施工[J]. 西南大学学报, 2002(6): 25-27.
- [2] 何华. 岩溶地区钻孔桩基础施工疑难处理措施[J]. 铁道建筑, 2006(9): 4-6.
- [3] 熊绍所, 成润军. 岩溶地区钻(冲)孔灌注桩施工的难点及其技术对策[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 36(8): 73-75, 79.
- [4] 王发民, 石永泉, 韩永昌. 大孔隙岩溶地层的有效钻孔堵漏方法[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2007, 34(3): 15-17.
- [5] 黄伯瑜. 岩溶地基稳定性评价与工程处理[J]. 勘察科学技术, 1988, (5): 16-18.