

# 优质泥浆在旋挖钻孔灌注桩护壁中的应用

林礼进

(福建省第二地质勘探大队,福建 永安 366000)

**摘要:**分析了福建石狮中竣商城桩基工程旋挖成孔钻孔塌孔的原因,根据地层特点配置了优质泥浆并用于钻孔护壁,取得了较好的实践效果。介绍了优质泥浆的配制方法及应用效果。

**关键词:**优质泥浆护壁;旋挖钻孔;桩基工程;复杂地层

**中图分类号:**P634.6;TU753.3 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2013)11-0057-04

**Application of High Quality Mud in Wall Protection for Rotary Bored Pile Engineering/LIN Li-jing** (No. 2 Geological Exploration Party of Fujian Province, Yong'an Fujian 366000, China)

**Abstract:** The causes of the hole collapse in rotary drilling are analyzed with a case of pile foundation project in Fujian. According to the formation characteristics, high quality mud configuration was adopted for wall protection with good practice effects. The paper introduces the preparation methods of the high quality mud and presents the application effects.

**Key words:** high quality slurry; rotary drilling; pile foundation engineering; complex strata

旋挖钻机是国内外广泛应用于桩基工程成孔作业的施工机械,不会造成严重的尘土泥浆污染,被誉为“绿色施工工艺”。其具有功率大、输出扭矩大、轴向压力大、机动灵活、施工效率高等特点,适用于填土、粘土、粉土、砂性土、砂卵砾石层以及软~中硬质裂隙层理较发育的基岩等地层。对地下水位以上的可塑~硬塑粘性土一般采用干式工法(不需要护壁),但对于地下水位以下的地层,应采用湿式旋挖工法,此时需要进行护壁以防塌孔。本文主要介绍福建石狮中竣商城桩基工程中采用湿式旋挖工法成孔而采取泥浆护壁的工程实践,为本地区类似工程提供一定的借鉴。

(工程量详见表 1)。

表 1 石狮中竣商城基础桩工程数量表

桩径 /mm	灌注桩数量/根						总根数	砼方量 /m <sup>3</sup>
	1 号楼	2 号楼	3 号楼	15 号楼	8~10 号楼	5~7 号楼		
900	/	/	/	/	2	2	4	63.59
1000	/	/	/	1	35	35	71	1373.75
1100	/	/	/	/	12	12	24	569.91
1200	/	/	/	/	21	21	42	621.72
1300	12	12	12	24	2	2	64	2122.64
1400	15	17	17	3	/	/	52	2000.18
1500	1	1	1	4	/	/	7	309.09
1600	6	4	4	1	/	/	15	753.6
1700	1	1	1	4	20	20	47	2722.38
1800	2	2	2	5	/	/	11	699.44
合计	37	37	37	42	92	92	337	11236.3

## 1 工程概况

拟建中竣商城工程位于石狮市凤里街道辖区,镇中路二期片区改造建设工程东侧,规划的镇中路西侧,宝岛西路南侧,工程为 9 幢高层建筑(21~31 层),1 幢 23 层办公大楼及 2~3 层商业建筑,总用地面积 42612 m<sup>2</sup>,总建筑面积 289869 m<sup>2</sup>,建筑工程重要性等级为一级,场地属于中等复杂场地,中等复杂地基;由厦门某设计院设计,桩基工程采用旋挖钻孔灌注桩。

### 1.1 主要工程数量

基础桩共计 337 根,桩直径分别为 0.90~1.80 m,入中风化岩石(持力层)≥0.5 m。孔深 25~40 m,设计桩长为 16~32 m,单柱最大荷载 31000 kN

### 1.2 工程地质条件

石狮属亚热带海洋季风气候,光热资源丰富、季风显著、雨水充沛;根据区域地质调查报告,场区地处北东向新华夏系构造,工程建设区域属构造稳定地块,场地上覆土层主要以第四系坡洪积及残积地层为主,下伏基岩主要为燕山早期侵入的花岗岩,场区内各岩土层特征及分布情况自上而下分布如下。

上部土体主要有:杂填土①(Q<sub>4</sub><sup>ml</sup>)、粉质粘土②、有机质土②<sub>1</sub>、中粗砂③(Q<sub>4</sub><sup>al+pl</sup>)、粉质粘土④(Q<sub>4</sub><sup>dl</sup>)、残积砂质粘性土⑤(Q<sup>el</sup>),厚度 0.90~28.50 m。其中中粗砂③灰、灰黄色,松散~稍密状,层位稳定性差,

收稿日期:2013-07-29;修回日期:2013-09-05

作者简介:林礼进(1968-),男(汉族),福建福州人,福建省第二地质勘探大队工程师、二级注册建造师,土木工程专业,从事探矿工程、建筑工程等岩土钻掘施工与管理工,福建省永安市东坡路 568 号,LLJ096@126.com。

以中粗石英砂为主,层厚 3.00~5.50 m。

下部土体为花岗岩( $r_5^{2(3)}$ ):全风化花岗岩⑥、砂土状强风化花岗岩⑦、碎块状强风化花岗岩⑧、中风化花岗岩⑨,厚度 3.00~16.50 m。其中中风化花岗岩⑨,灰、灰白、灰黄色,湿,节理裂隙中度发育,块状构造、中粗粒结构,岩心呈短柱~长柱状,极硬岩,部分地段分布块状构造的中风化辉绿岩,为岩脉穿插风化而成,层面埋藏深度 15~40 m,变化较大。

场区地下水主要赋存于第四系覆盖层的孔隙水和风化岩石的孔隙~裂隙水,以孔隙潜水类型为主,局部地段为孔隙承压水类型,其中:杂填土、粉质粘土为孔隙水;中粗砂为承压水,渗透性强;强风化花岗岩为基岩裂隙水。场地内地下水初见水位埋深为 0.50~6.11 m,混合稳定水位埋深 1.00~9.50 m。各含水层的水力联系较弱,结合项目特点采用泥浆护壁的湿式旋挖成孔工艺。

## 2 主要施工方法与工艺

### 2.1 主要施工设备配置(表 2)

表 2 主要施工设备配置表

机械设备名称	规格型号	单位	数量
旋挖桩机	TR280DI	台	2
履带吊机	30~50 t	台	2
挖掘机	PC-200/320	台	2
铲车	50	台	1
拌浆机		台	1
泥浆泵	3 PN	台	2
回灌泵	HB80	台	2

### 2.2 施工工艺流程

由于地下水位较高,采用泥浆护壁(湿式)旋挖成孔工艺。工艺流程如图 1 所示。

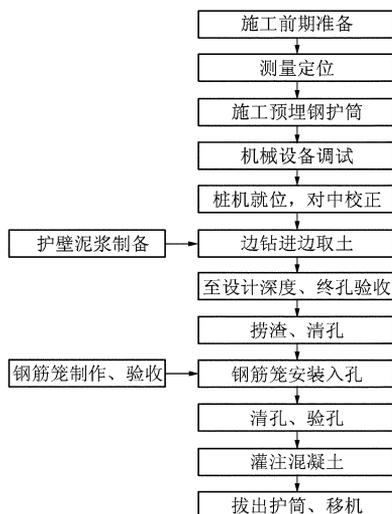


图 1 施工工艺流程图

### 2.3 主要施工工艺

#### 2.3.1 轴线、桩位测量复核

根据施工附图及测量控制网资料,按“从整体到局部的原则”进行桩基的位置放样,并会同有关人员轴线、桩位进行测量复核,并作出复核记录,经复核确认桩位的轴线正确无误,并做好地下管线物探工作后方可埋设护筒。

#### 2.3.2 旋挖钻孔施工

旋挖钻孔施工采用筒式钻头。

旋挖到地下 4~5 m 时,钻机要轻压慢转渐渐进入正常施工,保证钻头对准桩位,预防孔斜和桩位偏差。进入正常施工后,要随时向孔内注满泥浆,平衡孔内侧压力。到砂层后,钻机操作要轻提、轻放,不要强行加压。技术人员要随时观察孔内变化,要保持孔内泥浆注满。如果不进尺或钻头捞不起来东西,要及时采取措施。

(1) 检查钻头,发现外出刃磨坏,钻头封闭不严时应马上修理。

(2) 调配泥浆质量,把含砂量大的泥浆排放掉,及时补充制备好新泥浆。

(3) 在淤泥、砂、卵石层层中施工,旋挖工艺成孔困难,一定要控制好泥浆,选择好钻头形式,才能有效地保持正常施工。

应严格按照工艺要求进行施工,避免造成成孔孔径部分偏大,砼量局部超灌现象。含砂量大的泥浆要及时排放,补足制备性能好的泥浆,使充盈系数控制在 1.20~1.25。砂层施工中,如发生垮孔,首先把垮孔回填,经过一段时间地层稳定后,采用优质泥浆,严格按工艺要求进行施工,必要时结合冲击钻成孔工艺进行固壁成孔。

#### 2.3.3 清孔

清孔是旋挖钻孔灌注桩施工保证成桩质量的重要一环,通过清孔确保孔底沉渣厚度满足设计要求。清孔方法为:桩孔终孔后,将钻头下到孔底,然后慢慢转动把孔底的沉渣收取干净,也可以采用专门清底钻头进行清底。值得注意的是,旋挖钻机施工用的是静态泥浆护壁,与传统的正反循环和冲击成孔动态泥浆护壁有很大差异。首先旋挖成孔孔壁基本上没法形成泥皮护壁,因旋挖过程是将泥土直接挖走,仅静态所形成的泥皮,其泥皮韧性稍差,若泥浆性能未控制好,贸然采用动态循环的方法清孔,极易造成孔壁的不稳而坍塌,本工程施工时就出现过 3 根桩因泥浆性能较差,分别在成孔时、成孔下笼后二次清孔时发生坍塌,损失严重。

### 3 施工中塌孔成因分析及初步对策

#### 3.1 塌孔事故特征

塌孔一般出现在成孔过程中、钢筋笼安装过程中及二次清孔时(造成沉渣超厚)以及浇灌混凝土过程中(造成孔桩缩径夹泥、断桩)。塌孔出现时的特征为:孔内泥浆水平面突然下降,出现大量气泡,二次清孔时所测孔底沉渣厚度成倍数大于终孔前第一次清孔所测厚度,钢筋笼不能安放到设计的孔底标高。

#### 3.2 塌孔的成因分析

(1)钻机自重大、动荷载大、护筒周围未用粘土紧密填封、护筒内水位过低、土层土质松散或砂层较厚、成孔速度太快和钻至砂层时钻具提升较快、空钻时间过长。

(2)成孔后钢筋笼安装时笼体垂直度不合格或笼顶采用单根吊筋造成钢筋笼安装下沉时倾斜,笼体、笼底碰撞孔壁引起塌孔,二次清孔及待灌时间过长。

(3)灌注时间过长。

(4)未采用泥浆护壁或所采用护壁泥浆的密度、粘度不够,未起到护壁作用,不能支撑孔壁的水土压力。

(5)旋挖钻机的圆柱形钻头在孔内上下往复提土即做“活塞运动”时,孔截面积与筒钻和孔壁之间的空隙面积比非常大,从而在此断面泥浆流动断面压缩非常大,速度大,浆液形成局部紊流。紊流首先影响正常泥皮的形成,其次会冲蚀孔壁,极易造成塌孔、扩孔。紊流在不同深度都将发生,也就是筒钻所经过的整个桩孔竖向路程。当局部紊流发生在砂土层、砂砾层时,若未采用优质泥浆护壁,发生大面积塌孔、扩孔的可能性就更大。

#### 3.3 采取的对策

(1)对旋挖钻机施工平台进行初步处理,如铺设钢板等,扩散施工机械的自重压力,同时根据地层情况加长钢护筒,用粘土密实填封护筒四周并夯实;成孔时保持护筒内外的水位差(保持水头高度差至少1.5 m以上);由于湿式旋挖工法的成孔过程是在静态泥浆护壁下将岩土直接挖走,影响护壁泥皮的形成,就算形成也是一些韧性差泥皮,同时旋挖钻机的圆柱形钻头在提出泥浆液面时,会使钻头底部局部空间产生“真空”,加上钻筒提升时泥浆对护筒底部与孔眼相交部位孔壁的冲刷作用,筒内水位随钻筒提离液面瞬间降低,很容易造成护筒底孔壁坍塌,形成浅层塌孔和孔口塌陷;现场设置专门指挥

岗,控制钻筒在孔口处上下时速度,当发现孔内失浆时做到及时补浆。

(2)由于旋挖施工通常采用粘质土自造浆,泥浆性能一般都不好,容易分层,浆液表层密度稠度小,底层密度大,含砂率高,不良的泥浆不容易形成良好的泥皮护壁,护壁效果差。因此在易塌孔地段,如土质松散或砂层地段应采用优质泥浆护壁。

(3)机操手、技术员施工前应做好技术交底,加强开钻阶段浅层地基观察分析,判断土层地质是否良好,提前做好相应防患措施,根据地质情况控制好钻进速度和提钻速度,在进入松散或砂土层等易塌孔地段时应控制筒钻运行速度,减少空钻时间,提升钻筒时特别防止泥浆局部紊流,规避塌孔。

(4)严格控制下笼质量,钢筋笼安装下沉时笼顶设置双根吊筋保证笼体垂直,防止碰撞孔壁引起塌孔;缩短二次清孔后至灌注的时间,时间不应超过3 h。

(5)控制混凝土的灌注时间,在保证施工质量的情况下尽量缩短灌注时间。

上述是灌注桩施工的一般要求与原则,防止钻孔塌孔主要取决于所采用的护壁泥浆的质量。泥浆护壁主要依靠钻孔内外水土压力平衡保证孔壁性能稳定,泥浆在维持压力的过程中发挥着重要的作用。若护壁泥浆的性能达不到要求,则易出现钻孔扩径、甚至坍塌;若泥浆密度过高,易堵塞泥浆泵,严重时会影响混凝土的置换,且易沉渣。

### 4 优质泥浆配置与制备

#### 4.1 泥浆配比指标的选择

为充分发挥泥浆的作用,其配比指标的选取是非常重要的。成孔施工采用一次性全面不间断作业,施工中根据出渣情况判断土层结构及时合理地调整泥浆性能指标,遇松散地层时适当增大泥浆相对密度和粘度,保持孔内水头高度,尽量减轻冲洗液对孔壁的影响,同时降低转速和钻压以满足施工质量控制要求。在砂层等稳定性较差土层施工,人工造浆选用优质膨润土,并掺入适量的纯碱及纤维素。各地层泥浆配比及性能指标见表3、表4,根据地层情况稳定液需满足的性质见表5。

在钻进和清孔过程中,严格控制泥浆的密度、粘度、含砂率等,按规范要求对泥浆性能指标进行测定。使用优质膨润土泥浆护壁,达到桩壁无泥浆套和桩底无沉渣的设计要求。

表3 各地层的泥浆配比

土层	水/kg	膨润土/kg	纤维素/kg	碱/kg
粘性土	100	5	0.8	3
粉砂层	100	15	0.8	3
卵石层	100	15	0.8	1.8
砂岩	100	8	0.8	3
泥岩	100	10	0.8	1.8

表4 泥浆性能指标

土层	密度 /(g·cm <sup>-3</sup> )	粘度 /s	静切力 /Pa	含砂率 /%	塑性 指数
淤泥、粘土	1.05~1.10	18~20	1.0~2.5	<4	>15
细砂	1.20~1.25	20~22	1.0~2.5	<4	>15
粗砂、砾砂	1.20~1.40	22~26	2.0~4.0	<4	>15
卵石、岩石	1.20~1.35	25~28	3.0~5.0	<4	>15

表5 稳定液的性质

项 目	指 标
膨润土的最低浓度	8%
泥浆的最小粘度	25 s
过滤水的限度(0.3 N/mm <sup>2</sup> )	20 mL/30 min
pH 指数最高限度	10.0

## 4.2 泥浆的制备步骤

(1)地质条件较好时,采用含砂量少的黄土或粘土自然造浆,当施工时发现粘土调制的泥浆其性能指标不符合要求时,可在泥浆中掺入纯碱、氢氧化钠或膨润土粉末以提高泥浆性能指标。

(2)遇到地质条件较差时,采用性能较好的钠基膨润土调制泥浆,在中粗砂层中掺入量为每100 L水中加15 kg,粘质土层中的掺入量可适当降低为12~13 kg。

(3)为增强护壁效果,在泥浆中添加适量的羧甲基纤维素(掺入量0.8 kg)和纯碱(掺入量3 kg):纤维素使土层表面形成薄膜而防护孔壁剥落,并有降低失水量的作用;纯碱可使泥浆的pH值增大到10左右,粘土颗粒易于分解,提高泥浆的胶体率、稳定性,并降低失水量,增加粘度、保持流动性;

制浆前,先把粘土(用膨润土、碱、聚丙烯酰胺、纤维素按适当的比例配制而成)打碎,使其易于成浆。制浆时,将打碎的粘土直接投入套管内,使用钻斗旋转制浆,待粘土已搅拌成泥浆时,泥浆的配比经实验确定满足性能指标要求,即可进行钻孔。多余的泥浆导入钻孔外泥浆池贮存,以便随时补充孔内泥浆。制浆程序为:开机拌浆→加水→加纯碱→拌和→加膨润土→拌和→加纤维素→指标合格→出浆。

泥浆制备遵循的原则为:严格按照施工配比拌制泥浆,拌制泥浆的时间<10 min,拌制好的新浆必须在泥浆池中水化分解24 h后才能使用,放置期间

必须用泥浆泵进行池内循环。

制备好的泥浆不透明,胶结一体状态,近距离观测有细颗粒悬浮,长时间放置表面会析出清水2~3 cm厚,但受扰动后(如投入石子等)泥浆成胶结状。

施工中应根据地层情况对采用的泥浆进行微调;粘质土层中泥浆密度适当取小值;粉砂土层中泥浆密度应加大。在使用过程中,做到随地层情况及时调浆、补浆。为动态跟踪泥浆性能,施工中须测定3个指标:相对密度,粘度,含砂率。

## 4.3 废浆处理方式

在钻孔灌注的过程中可采用滤砂器和振动筛,将泥浆中的小碎石、砂等固体颗粒物进行分离,分离后的泥浆排到沉淀池中充分沉淀,泥浆泵安装在沉淀池中供泥浆循环。施工的过程中,利用挖掘机及时清理沉淀池,清理出来的沉渣运至蒸发池中,等到自然脱水固化后,运至储料场。

## 4.4 安全文明施工

泥浆池、沉淀池用栏杆防护,采用Ø50 mm钢管(钢管刷红、白油漆或粘贴红、白反光条),横向2根,竖向每2~3 m一根(根据现场实际情况确定),挂密目安全网围护,如图2。防止人员意外坠落入泥浆池中。

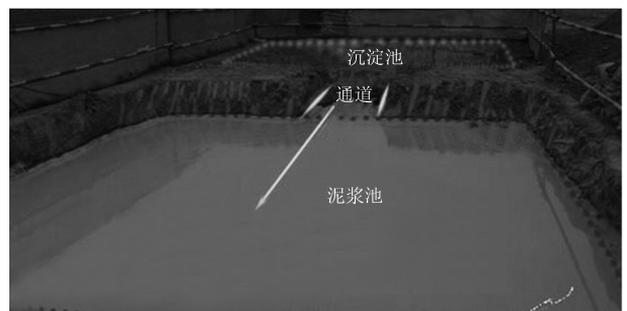


图2 泥浆池防护情况

## 5 应用效果

本项目的中粗砂层中赋存承压水,施工初期钻孔穿越该层时造成孔壁坍塌,后经填土夯实、安置6 m加长钢护筒并采用冲击钻固壁成孔,方解决事故孔。仅调换机械及灌注混凝土超方造成经济损失就达19万元。

对塌孔原因分析后,结合地层情况选用上述方案配置优质泥浆并用于钻孔护壁,解决了塌孔的问题,达到了护壁的目的,后续施工中均未发生孔壁坍塌现象,取得了较好的社会效益和经济效果,主要表现在如下几个方面:(1)护壁效果好,在桩基工程施工

(下转第80页)

据监测报表数据,减小土压至 0.32 MPa,防止对土体造成更大扰动;(3)将同步注浆压力提升至 0.5 MPa,浆液稠度为 9,加入速凝剂;(4)增大二次双液注浆量,合理调整浆液配合比,缩短初凝时间。

最后效果:最大累计沉降为 -11.6 mm。

### 3.4 气象里 23/26、28/30 号楼

为联体楼,20世纪70年代建造,为正穿,条形基础。

难点:(1)处于 30%上坡段与 305 m 小半径曲线正上方,姿态纠偏时会产生超挖;(2)右线为穿角,已对建筑物造成沉降累计达 -13.6 mm,对土体造成扰动较大;(3)地质为淤泥质粉质粘土层,有流沙,流塑性强,可塑性差,造成建筑物持续沉降。

采取措施:(1)保证机械设备运转良好;(2)根据监测报表数据,减小土压至 0.30 MPa,防止对土体造成更大扰动;(3)将同步注浆压力提升至 0.5 MPa,浆液稠度为 9,加入速凝剂;(4)增大二次双液注浆量和注浆点,合理调整浆液配合比,缩短初凝时间。

最后效果:最大累计沉降为 -20.6 mm。

### (上接第 60 页)

过程中,没有出现塌孔、垮孔等现象,经超声波检测,所有桩孔孔径、孔形、垂直度均满足设计要求;(2)除部分钢护筒加长外,其余钢护筒按 2.5 m 设置,起拔顺利,节约了成本;(3)成孔成桩快,满足业主施工进度要求,社会效益显著。

该工程于 2013 年 3 月 5 日开工,至 2013 年 5 月 6 日竣工,经泉州桩基检测中心抽检,其中抽心试验 30 根,静载试验 30 根,低应变测试 337 根,均满足设计要求,达到了优质标准。 $\Phi 1200$  mm 桩静载试验单桩竖向极限荷载 28000 kN,这是目前泉州地区单桩荷载最重桩,试验结果沉降 1.82 cm,表明优质泥浆应用取得良好效果。

## 6 结语

工程实践表明,科学合理地运用好泥浆是成孔

## 4 结语

通过对本次盾构施工的总结,我们得到了引起地面沉降的主要原因,利用施工过程中积累的各种数据,分析了地面建筑物沉降与地质、推力、注浆、纠偏等参数的关系,得出了影响建筑物沉降的因素主要为曲线和纠偏时的超挖、推进速度、注浆参数及注浆方法,总结了控制地面建筑物沉降的管理与技术措施。实践表明,施工参数经过科学的、合理的调整后,建筑物的沉降是完全可以得到控制的。

## 参考文献:

- [1] 张成龙.大坡度并小半径曲线段盾构操作与纠偏施工控制研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(9).
- [2] 高俊强,胡灿.盾构推进和地表沉降的变化关系探讨[J].南京工业大学学报(自然科学版),2005,(4).
- [3] 李围,何川,张志强.大型地下结构下修建盾构隧道模型试验[J].西南交通大学学报,2005,(4).
- [4] 董华珍,王仲林.城市轨道交通中小半径曲线问题探讨[J].四川建筑,2005,(3).
- [5] 边金,陶连金,郭军.盾构隧道开挖引起的地表沉降规律[J].地下空间与工程学报,2005,(2).
- [6] 秦建设,尤爱菊.盾构隧道开挖面稳定数值模拟研究[J].矿山压力与顶板管理,2005,(1).

质量的保证,是经济效益的根本,是施工效率的保障,针对具体地层配制合适的优质泥浆对旋挖钻机成孔能起到很好的护壁作用。此次的实践,可为以后类似工程的桩基施工提供宝贵经验。

## 参考文献:

- [1] 屠厚泽.钻探工程学[M].湖北武汉:中国地质大学出版社,1998.
- [2] 中国建筑工程总公司.地基与基础工程施工工艺标准[M].北京:中国建筑工业出版社,2003.
- [3] 北京土木工程建筑学会.地基与基础工程施工技术措施[M].北京:经济科学出版社,2005.
- [4] 孙丙伦,陈师逊,陶士先.复杂地层深孔钻探泥浆护壁技术探讨与实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(5):13-16.
- [5] 谭现锋,朱学顺.静态泥浆护壁的湿式旋挖工法的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2005,32(12):22-23.
- [6] 时志兴,翟东旭,张东兴.小口径岩心钻探钻孔缩径的预防与处理[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(6):46-49.