

# 北京(密云)地应力监测孔钻探技术

秦沛

(北京市地质工程设计研究院,北京 101500)

**摘要:**地应力监测钻孔既要满足岩心地质力学测试又要达到孔内实验仪器安放的要求,其钻探质量要求高,施工工艺较常规固体岩心钻探施工复杂。以北京市密云县园林东路1号地应力监测孔钻探施工为例,介绍了北京地区地应力监测孔钻探施工技术。

**关键词:**地应力监测孔;钻探;北京地区

**中图分类号:**P634.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2015)01-0038-05

**Drilling Technology for Ground Stress Monitoring Borehole in Beijing/QIN Pei**(Beijing Geological Engineering Design Institute, Beijing 101500, China)

**Abstract:** Ground stress monitoring hole should not only meet the conditions of core geo-mechanics test but also satisfy the requirements of experimental instruments placing, the construction is more complicated than common solid core drilling. Taking the example of a ground stress monitoring hole in Miyun, this paper introduces the drilling construction technology of ground stress monitoring hole in Beijing.

**Key words:** ground stress monitoring hole; drilling; Beijing

近年来,为加强北京地区地应力的监测,中国地质科学院开展了北京地区深孔地应力综合观测试验深孔钻探施工。我院承担了位于北京市密云县园林东路1号的地应力监测孔的钻探施工任务。

## 1 工程概况

### 1.1 施工目的

本工程是中国地质科学院地质力学研究所主持的国土资源部公益性行业科研专项经费项目“重要地区地应力测量与监测及构造应力场综合研究”项目的钻探工程,目的是建立北京地区深孔地应力综合观测试验站,开展系统的地应力监测工作。

### 1.2 钻孔设计及技术要求

#### 1.2.1 钻孔设计

根据中国地质科学院地质力学研究所的要求和钻孔深度、地层情况,确定钻进的方法和结构。

因开孔为第四系地层,主要是粘性土、砂层和卵石层,属较软—稍硬地层,易坍塌、孔斜、漏水,且不取心,故采用 $\varnothing 152/200$  mm空气潜孔锤跟 $\varnothing 183$  mm套管钻进至完整基岩(或甲方要求深度),水泥封固后分别采用 $\varnothing 150$  mm金刚石单管取心钻具、 $\varnothing 130$  mm金刚石普通双管取心钻具钻进至预计孔深,下

入 $\varnothing 114$  mm技术套管后换S96金刚石绳索取心钻进至设计孔深。然后提出 $\varnothing 114$  mm技术套管,用 $\varnothing 130$  mm扩孔钻具根据地层完整程度进行扩孔。

#### 1.2.2 技术要求

(1)第四系可不取心,基岩地层平均取心率 $\geq 95\%$ 。

(2)钻孔垂直度偏差 $\leq 0.5^\circ/100$  m,可以累计计算。

(3)钻孔换径施工时保证其同心度。

(4)取出的岩心,应自上而下、自左至右按次序排列并及时整理、装箱、编号、不得丢失。按要求存放并做好记录,及时移交,以便取样和保存,为地应力测量和监测选择深度提供可靠资料。

(5)钻进过程中可以使用清水或泥浆作为循环液,尽可能减少润滑剂等处理剂的使用;钻进结束后,清洗孔壁和孔底,孔底岩粉厚度 $\leq 0.2$  m/100 m。

(6)终孔后,采用孔口板对孔口进行封堵。

(7)按要求配合甲方进行相应试验。

#### 1.3 场地条件

场地位于北京市密云县园林东路1号,密云县城西南2 km,潮白河交汇口上游2.5 km,地形平坦。受潮白河古河道变迁的冲洪积作用及人类工程活动

等多种作用影响,形成广泛的冲洪积地貌。场地北有 101 国道,南有京承高速路,交通便捷。因位于我院院内,水、电及场地都比较方便,采用市政用水及市电施工。

### 1.4 地层情况

钻探揭露主要地层是:0~37 m 为第四系地层,主要是回填土、砂层和卵石层,属较软—稍硬地层,岩石可钻性级别为 2~6 级,易坍塌、孔斜、漏水;

37~1003 m 为以角闪二辉片麻岩和石榴黑云辉石片麻岩为主的完整地层,风化裂隙发育程度随深度增加而减弱,富水性较差,中硬—硬,岩石可钻性为 6~9 级,较完整,易于取心,但岩石较硬,扩孔钻进效率较低。

## 2 钻探工艺技术

### 2.1 钻孔结构

根据地层情况及甲方要求,确定钻孔结构为:第四系地层(0~37.73 m)采用了  $\text{Ø}152/200$  mm 空气潜孔锤跟  $\text{Ø}183$  mm 套管钻进,水灰比 0.5 的 PO.32.5 水泥浆封固;换  $\text{Ø}150$  mm 金刚石单管钻进至 103.46 m,并下入  $\text{Ø}146$  mm 套管,以水灰比 0.5 的 PO.32.5 水泥浆封固;再采用  $\text{Ø}130$  mm(小眼导正)金刚石普通双管钻进至 104.10 m,下入  $\text{Ø}114$  mm 技术(活动)套管;换 S96 金刚石绳索取心钻进至终孔。进行应力波测试与水压致裂实验后提出  $\text{Ø}114$  mm 技术套管,用  $\text{Ø}130$  mm 扩孔至 425.42 m 后下入仪器,详见图 1。

### 2.2 施工工艺

第四系地层主要由粘性土、砂层和卵石层组成且不要求取心,泥浆回转钻进效率低,易坍塌、孔斜、

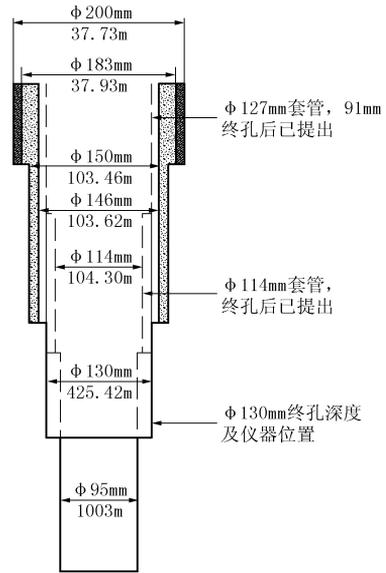


图 1 钻孔孔身结构示意图

漏水。故开孔采用  $\text{Ø}152/200$  mm 空气潜孔锤同心跟管钻进。基岩地层为了提高钻探效率,保证钻孔质量,分别采用了  $\text{Ø}150$  mm 金刚石单管取心钻具、 $\text{Ø}130$  mm 普通双管取心钻具及 S96 绳索取心钻进。

### 2.3 冲洗液选择

为保证监测仪器与孔壁有效接触,防止泥浆对地层影响,应尽量使用单一的冲洗液。结合地层情况,冲洗介质为:第四系空气潜孔锤钻进,以空气为循环介质; $\text{Ø}150$  mm 金刚石单管取心钻进以清水钻进施工; $\text{Ø}130$  mm 金刚石普通双管取心钻进,为保证孔壁稳定,防止坍塌,使用优质粘土泥浆。其配方及性能见表 1;S96 金刚石绳索取心钻进采用清水加皂化液钻进,既能润滑钻具、冷却钻头、携带岩粉、保证金刚石自锐出刃,又能节省钻探成本。

表 1 优质粘土泥浆配比及性能

配 方			性 能				
人工钠土/%	CMC/%	PHP/ppm	粘度/s	密度/( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	失水量/[ $\text{mL} \cdot (30 \text{ min})^{-1}$ ]	含砂量/%	pH 值
3~5	0.1~0.3	100~150	20~22	1.05~1.10	<15	<4	7.5~8

## 3 钻孔技术质量保证措施

与一般固体矿产岩心钻探相比,本孔质量要求,一是取心率高,二是孔斜要求严,三是对冲洗液规定严。另外,由于扩孔深、口径大,对孔斜及施工安全有较大的影响。为此,采取以下措施。

### 3.1 保证岩心采取率措施

(1)S96 钻具下入孔内之前应检查调整以下配

合间隙:绳索取心钻具的弹卡与弹卡挡头的顶面间隙、卡簧座与钻头内台阶之间应保持最优间隙、卡簧内径和钻头内径的配合。

(2)S96 绳取内管总成投入孔内前应将所有丝扣拧紧,尤其是内管接头与内管、内管与卡簧座的连接螺纹及内管总成长度调节丝扣的锁母。防止倒扣造成内管总成打捞失灵。

(3)S96 每回次打捞内管总成后应检查弹卡

的灵活性和内管总成的单动性。

(4) S96 要避免打“单管”现象。

(5)  $\text{Ø}150$  mm 金刚石单管钻进中,一是尽量回次进尺限制在 2.00 m,二是钻进中孔内异常时及时卡心提钻,三是孔内残留岩心  $\geq 0.3$  m 时及时打捞。

(6) 通过逐步探索,正确掌握各种钻进工艺取心操作技术。

### 3.2 防斜措施

(1) 开钻前必须对设备安装质量进行检查、验收,钻机安装要水平、周整,固定牢固,钻机钻塔要对正,天车、游动滑车、立轴中心三点一线,钻进过程中经常检查钻机的水平情况和主动钻杆的重直度,一旦发现偏差,立即纠正。顶角误差  $\leq 0^\circ 20'$ 。

(2) 潜孔锤钻进时必须及时提动吹渣,压力不应  $> 12$  kN。

(3) 钻进时,应尽量采用刚、长、直的钻具满眼钻进。

(4) 换径钻进时,要选用锋利的钻头,主动钻杆不得有偏摆,转速要低,压力要均匀,并应随钻孔加深而逐步加长岩心管,正常钻进的粗径钻具不得短于 6 m,而且要直。

(5) 钻进过程中,当地层由软变硬时,应采用慢速低压钻进。

(6) 下入  $\text{Ø}114$  mm 技术套管前,必须对潜孔锤钻进孔段进行孔斜检测,如满足技术要求,可用  $\text{Ø}150$  mm 金刚石单管钻具打 0.50 m 导向孔,再用  $\text{Ø}130$  mm 金刚石双管钻具钻进 0.50 m 后,再下入套管(参见图 2)。

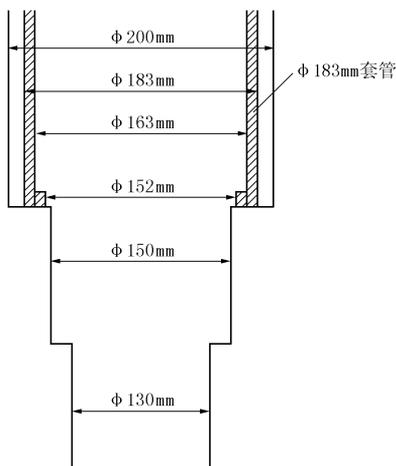


图 2 换径钻进孔径示意

(7) 扩孔时带内扶正器,换径时带外扶正器。

粗径钻具用综合式异径接头连接,中心线一致。换径导正管  $\geq 6$  m,第一回次小径岩心  $\leq 1$  m。

(8) 及时测斜,每 50 m 测斜一次,换径等特殊情况下及时测斜。

### 3.3 做好原始记录的措施

原始报表包括:钻探班报表(含简易水文观测记录表)、交接班记录表。各班必须指定专人在现场用钢笔及时填写原始报表,要做到真实、齐全、准确、整洁。有以下几点措施:

(1) 记录员应在现场认真、及时地填写好各项数据,不允许下班后追记、补记。

(2) 班长、机长(或综合记录员)要每天校对原始记录,发现错误要及时修正,无误后签字自存并定期移交统计部门保存。

(3) 按相关技术标准存放岩心并做相应的记录(如岩性鉴定、RQD 详细统计等)。

### 3.4 保证封孔质量的措施

(1) 必须经甲方核实同意后,方可封孔。

(2) 使用泥浆做冲洗液的时候,应该自下而上清洗封闭孔段壁上的泥皮。

(3) 封孔前必须准确掌握封闭段孔深及隔离塞(架桥)的位置,正确选用架桥材料,并将其固定牢靠。

(4) 必须用清水将水泥搅拌均匀,水灰比应  $< 0.5$ 。

(5) 可视情况采用泵送、导管注入或注送器注入水泥浆的方法,水泥浆出口距隔离位置的距离应  $< 0.5$  m。

(6) 注浆过程不要中断,封闭长度在 5 m 以内时不得提动钻具;水泥浆灌注完毕,要准确掌握替浆的清水用量,不得过多。

(7) 本孔以技术(活动)套管护壁,应先封好套管下部各封闭段后再起拔套管。

### 3.5 保证地应力测量与监测措施

(1) 做好相关准备,及时解决现场施工和配合过程中出现的问题。主要是:按要求准备单根长度  $> 4$  m、耐高压且密封性好的  $\text{Ø}50$  或  $42$  mm 钻杆,用于水压致裂地应力测量;提供现场试验工作用水和 380 V、功率  $\leq 20$  kW 的动力电源;现场满足每班不少于 5 人配合工作,主要负责控制钻机通过钻杆升降井下测量设备。主要技术人员必须熟练和平稳地操作钻机,安全、准确地把测量和监测仪器放置到

要求的深度,配合甲方工作时服从甲方安排。

(2) 开孔采用  $\text{Ø}152/200\text{ mm}$  空气潜孔锤跟  $\text{Ø}183\text{ mm}$  的套管钻进, $\text{Ø}183\text{ mm}$  套管作为永久留在孔内的套管不再起出,用于地应力监测。

(3) 终孔后,开展水压致裂原地应力测量,同时以钻机进行现场试验配合工作。

(4) 水压致裂地应力测量完成后,再采用  $\text{Ø}130\text{ mm}$  钻具扩孔,扩孔深度范围大约在孔深  $350\sim 420\text{ m}$  之间,用于地应力监测仪器安装(具体扩孔钻探深度在工程施工过程中根据甲方技术要求可能有所调整)。

(5) 按相关技术标准存放岩心并做相应的记录(如岩性鉴定、RQD 值详细统计等),为地应力测量和监测选择深度提供可靠资料。

## 4 压裂实验

### 4.1 压裂工艺

利用一对可膨胀的封隔器在选定的测量深度封隔一段钻孔,然后通过泵入流体对该试验段增压,同时利用数据采集器记录压力随时间的变化。对实测记录曲线进行分析,得到特征压力参数,再根据相应的理论计算公式,就可得到测点处的最大和最小水平主应力的量值以及岩石的水压致裂抗张强度等岩石力学参数。

### 4.2 实验过程

水压致裂地应力测量的现场测试包括以下 8 个步骤:(1) 选择试验段;(2) 检验测量系统;(3) 安装井下测量设备;(4) 座封;(5) 压裂;(6) 关泵;(7) 卸压;(8) 印模。

### 4.3 监测仪器安装

$\text{Ø}130\text{ mm}$  扩孔至  $425.42\text{ m}$  后,下入地应力监测仪器(四分量探头)并锁定。地应力监测仪器通过线缆与孔侧监测站内的计算机终端相连接,对数据进行分析处理后采用无线网络传输技术将数据即时传送至指定服务器,供研究人员实施远程遥控监测。

## 5 后续监测及维护

### 5.1 监测站建设

按照甲方要求,地应力测量与监测探头现场安装工作结束后,于钻孔位置建设 1 个监测站,监测房尺寸要求:长  $5.00\text{ m}$ ,宽  $4.00\text{ m}$ ,檐高  $3.00\text{ m}$ ,檐宽

$0.30\text{ m}$ ,室外散水  $0.50\text{ m}$ ,装饰要求:室内立面白水泥抹面,地面铺白色地板砖,外墙立面贴白色瓷砖,并于监测房周围设置必要的防护设施(如围墙及防护栏等),监测站建设的详细要求参见图 3~7。监测台站场地平整、通电等工作均由乙方负责完成,必要时,甲方可对相关工作进行协助。

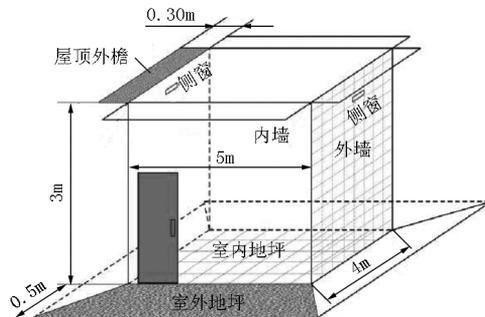


图3 监测台站外观设计图

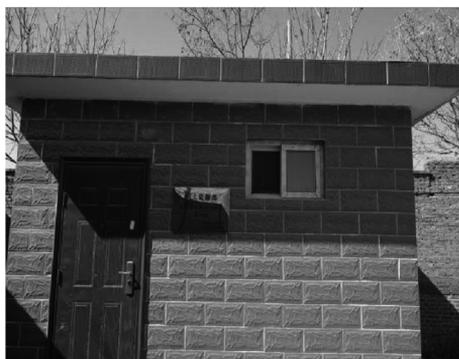


图4 监测台站外观实际效果



图5 监测台站室内说明图片

### 5.2 监测及维护

由委托专人对监测仪器需定期或发现数据中断、异常情况时进行维护,保证监测工作的正常进行。

## 6 工程质量

### 6.1 钻探工程质量

按照岩心钻探规程,质量指标均符合要求。



图6 监测台站室内监测仪器图片



图7 监测台站室内实时传输仪器图片

选择的要求比较高。应尽量使用绳索取心钻具,预防孔斜。

(2)地应力孔对钻孔质量有较特殊的要求,如钻孔孔壁要平直光滑,孔径要均匀,这就对钻头及工艺的选取提出了较高的要求。应使用孕镶金刚石钻具,保证孔壁光滑。

(3)由于地应力监测孔需要进行一系列实验和监测,因此对冲洗液护壁要求高。应尽量使用清水或成分简单的无固相冲洗液。

(4)本孔施工采用了多种钻探方法:Ø152/200 mm 空气潜孔锤跟 Ø183 mm 的套管钻进、Ø150 mm 金刚石单管钻进、Ø130 mm 金刚石普双钻进、S96 金刚石绳索取心钻进、Ø130 mm 扩孔钻具扩孔。这些钻探方法的综合使用,保证了钻孔的顺利实施。

## 7.2 建议

(1)加强选址工作。由于地应力监测孔目的是有效监测地层中的应力变化,因此,必须选择完整的基岩体,地层要完整致密坚硬,便于开展地应力监测;同时,为便于后期建站进行长期监测,施工场地必须保障建站要求。

(2)针对地应力监测孔的施工特点,增加相应的记录。由于地应力监测孔施工工序多、施工周期长、实验测试过程复杂、设备仪器安装要求高、后期实验及监测过程长,因此,做好工程施工整个过程详细记录对今后工程修复等尤为重要。

## 参考文献:

- [1] 北京市地质工程设计研究院. 北京地区(密云)地应力监测钻孔竣工报告[R].
- [2] 郭绍什. 钻探手册[M]. 湖北武汉:中国地质大学出版社, 1993.
- [3] DZ/T 0227—2010, 地质岩心钻探规程[S].
- [4] 刘广志. 金刚石钻探手册[M]. 北京:地质出版社, 1991.
- [5] 张延新, 宋常胜, 蔡美峰, 等. 深孔水压致裂地应力测量及应力场反演分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2010, 29(4): 778 - 786.
- [6] 彭华, 马秀敏, 姜景捷, 等. 赵楼煤矿 1000 m 深孔水压致裂地应力测量及其应力场研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2011, 30(8): 1638 - 1645.
- [7] 胡浦元. 深孔超深孔岩心钻探的若干问题[J]. 探矿工程, 1984, (3): 5 - 12.
- [8] 张成德, 李三军, 汤志吉, 等. 钻探深孔钻进技术与经验[J]. 黄金科学技术, 2006, 14(2): 57 - 61.
- [9] 严一华, 汪拾金. 基岩标的施工技术探讨与实践[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2012, 39(3): 55 - 58, 64.

主要指标(岩心采取率、孔斜)如下。

(1)岩心采取率。经终孔后统计,设计孔深 1000.00 m,实际孔深 1003.42 m。设计取心孔段长度 965.69 m,实际取心长度 930.01 m。岩心采取率 96.3%。

(2)孔斜。钻孔孔斜(垂直)度详见表 2。由于钻孔倾角基本在 89°~90°之间(即顶角在 0°~1°<5°),因此,钻孔方位幅度大,无法测定。

表2 钻孔孔斜

孔深/m	倾角/(°)	孔深/m	倾角/(°)	孔深/m	倾角/(°)
100	90	500	90	850	89
200	89	550	90	950	89
300	89	650	90	1000	88
400	90	750	89		

## 6.2 整体工程质量

经甲方组织验收,认为该施工工程质量达到优良。

## 7 结论及建议

### 7.1 结论

(1)地应力孔施工技术要求高,特别是对岩心采取率、孔斜控制、钻具选择、钻具配合及工艺参数