

# 柴达木盆地资源环境科学钻探工程实践与认识

任维焕

(中国建材地勘中心宁夏总队,宁夏 银川 750021)

**摘要:**为应对柴达木盆地资源环境科学钻探工程项目施工地区岩层中固结程度松软、碎脆、富水、易变形、怕冲刷及易溶蚀等特点,钻进中不易采取岩矿心,钻进粘土及淤泥时缩径严重,孔壁不稳定及地层内广泛分布着层间高承压卤水和天然气,极易发生涌水或井喷的问题,机械岩心深孔钻进施工中合理解决岩心采取率低,护孔压井防喷,是确保科学钻探工程顺利实施的关键点。本项目采用专为资源环境科学钻探设计的隔水单动三重管取心钻具,常规钻杆取心;适宜的钻进方法;借鉴石油钻井泥浆压喷护壁工艺和压喷设施及措施。保证了环境科学钻探工程的施工要求和实验要求。

**关键词:**柴达木盆地;资源环境科学钻探;井控压喷;护壁;三重管取心

**中图分类号:**P634 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2009)06-0001-05

**Practice and Theory of Resources and Environmental Scientific Drilling in Chaidamu Basin/REN Wei-huan**(Ningxia Branch, China National Geological Exploration Center of Building Materials Industry, Yinchuan Ningxia 750021, China)

**Abstract:** Because of the characteristics of low consolidation degree, fracture, water-bearing, deformation and dissolution; according to the difficult coring, serious diameter reducing, borehole wall unconsolidation, interlayer high confined brine and natural gas in resources and environmental scientific drilling in Chaidamu Basin, it is important to improve coring efficiency and protect borehole wall. The special designed water-sealing single action triple pipe coring tools and traditional pipe coring technology were adopted, and petroleum drilling technology and equipment, such as pressure grouting for blow-out, were learnt to ensure the construction and experiment requirements of environmental scientific drilling.

**Key words:** Chaidamu Basin; resources and environmental scientific drilling; blowout prevention by hole pressure control; borehole wall protection; triple pipe coring

科学钻探是解决人类所面临的环境、资源和灾害三大课题的重要手段之一,也是人类“认识地球,和谐发展”的重大举措。而青藏高原是新生代构造活动区,以往青藏高原研究历程,缺乏以连续系统长湖心为基础的序列环境和成矿研究,缺乏精确年代学和古环境数据。《中国柴达木盆地资源环境科学钻探工程》是多领域融合,在通过沉积学、地球化学等6项多学科、多指标综合分析基础上,重建柴达木盆地环境资源演变的过程和机制以及研究生物气资源、钾(硼锂镁)矿产形成分布规律的一项重要工程。整个工程分3个阶段,我队承担此项工程第一阶段盐参1号先导孔和2个配合浅孔施工,先揭露1.2 Ma BP以来事件和生物气及钾盐主要层位。

## 1 工作区概况

工作区位置在距西宁市约933 km的青海格尔木市察尔汗盐湖沉积平原中心,距察尔汗镇以西60

km,海拔2678 m,属典型的高原大陆性气候,昼夜温差大,最大日温差为30.6℃。地表层无任何植被,由全新统石盐组成,风蚀盐壳地貌。该区常年干旱少雨、无淡水,施工用水运距达10 km,饮用水需从格尔木市拉运。工作区的后勤补给主要依靠格尔木市和西宁市,格尔木市距工作区166 km。工作区处于西风急流带,8级以上大风多、持续时间长,4~9月盛行西风,可出现沙暴。察尔汗历史上曾多次出现风灾,钻孔施工期间特别采取了防风措施。钻孔位置见图1。

## 2 施工目的及施工技术要求

通过盐参1号钻探施工,进行系统取心,一孔多用,了解深部湖相沉积地层岩性特征、卤水分布及埋藏深度、富水性及钾盐含量以及地层压力梯度分布和相应的水文地质参数。进行沉积学、地球化学等6项多学科、多指标综合分析,确定中深科学钻探孔

收稿日期:2009-04-14; 改回日期:2009-05-04

基金项目:中国地质调查局重大地质基础项目(编号:1212010818057)

作者简介:任维焕(1957-),男(汉族),宁夏银川人,中国建材地勘中心宁夏总队党委书记、副总队长、高级工程师,探矿工程专业,从事企业管理工作,宁夏银川市西夏区怀远西路644号,renweihuan@sinoma.cn。

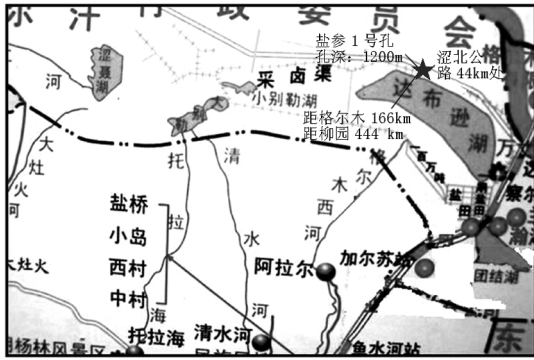


图1 钻孔位置示意图

选址依据,探索柴达木盆地环境资源演变的过程和机制以及研究生物气资源、钾(硼锂镁)矿产形成分布规律。

本项目工程技术要求参考《岩心钻探规程》,以合同中的规定为准。具体内容如下:

(1)设计顶角 $0^\circ$ ,允许顶角误差 $\leq 1^\circ/100\text{ m}$ ,孔深1200 m时 $\leq 12^\circ$ 。

(2)对岩心采取率的特殊要求:全孔取心率 $\geq 90\%$ 。粘土及泥岩段:岩心采取率 $90\% \sim 95\%$ ,任何连续两回次取心率 $< 80\%$ ,任何连续三回次取心率 $< 75\%$ 。砂砾岩段:砂砾含量 $< 50\%$ 时,岩心采取率 $\geq 80\%$ ;砂砾含量 $\geq 50\%$ 时,岩心采取率 $\geq 65\%$ 。卡簧至钻头底部采空段不计入岩心采取率。岩心直

径: $\varnothing 80 \sim 60\text{ mm}$ 。

(3)水文观测:要及时观测水位及其他应测项目;水位观测的基准点必须一致,读数要准确;钻进过程中还要观测并记录涌水、漏失、塌孔、缩径、逸气、涌砂、掉块等现象发生的地层层位和钻孔深度。

(4)对钻孔测斜的特殊要求:0~50 m孔段:每10 m测斜1次;50~100 m孔段:每20 m测斜1次;100~300 m孔段:每50 m测斜1次;300~800 m孔段:每100 m测斜1次;800~1500 m孔段:每200 m测斜1次;终孔前测斜1次。测斜记录应交发包方技术人员签字确认。下套管之前应精确测定钻孔顶角,当孔斜 $\geq 1^\circ$ 时,应重新开孔,以确保钻孔垂直。

(5)孔深误差的测量与校正:每钻进100 m及下套管前和终孔后应校正孔深;

(6)封孔:按照发包方要求进行。

(7)原始班报表:由记录员在现场用钢笔填写,要求真实、齐全、准确、整洁。

### 3 地质条件及影响钻探施工的因素

#### 3.1 地层地质情况

工作区位于柴达木盆地的中部,达布逊湖西北岸,地表为风蚀盐壳覆盖。表层由全新统石盐组成,厚度约70 m。下部为第四系湖底沉积物。地层情况见表1。

表1 钻孔钻遇地层及岩石的主要物理机械特性

深度/m	岩石名称	岩层倾角	胶结程度	研磨性	破碎程度	含水、涌水、漏水	钻进注意事项
0~70	黄、褐、灰色含粉砂石盐	水平	结晶或盐胶结	弱	较破碎	含卤水,漏水	注意防漏、防盐溶塌孔
70~127	灰黄色含粉砂粘土夹粘土粉砂、青灰色粉砂	平缓	泥质粘土质胶结	弱	完整	涌水	注意压井并保证岩心采取率
127~716	绿灰、青灰、灰色含粘土粉砂及粘土粉砂	平缓	粘土质胶结、弱胶结	弱	完整	涌水、含天然气	注意压井并保证岩心采取率
716~1200	灰、深灰色含粉砂粘土夹粘土粉砂	平缓	粘土质胶结、弱胶结	弱	完整	涌水、含天然气	注意压井并保证岩心采取率

#### 3.2 岩石硬度及对岩心采取率的影响

地层中岩石硬度不大,一般为2~5级,以3级为主,可钻性为4级,岩层中固结程度一般,具有松软、酥脆、富水、易变形、怕冲蚀及易溶蚀等特点,钻进中不易采取岩矿心,钻进粘土及淤泥时缩径严重,孔壁不稳定。

#### 3.3 高压卤水及其对钻探的影响

地层内广泛分布着层间高压卤水,已有地质资料显示,钻孔周围洼地就有高压含水层组,高压含水层组具有埋深浅、涌水量大(有的涌水量达38 L/min)、地层压力梯度(个别钻孔大于0.019 MPa)等特点,极易发生涌水或井喷。

鉴于上述原因,钻进施工中应妥善解决泥浆压喷及护壁工艺,要有完善的压喷措施及设施,合理解决岩心采取率低等问题,确保钻探工程的顺利实施。

### 4 钻探施工技术措施

#### 4.1 钻探设备的选择

根据钻孔设计深度、钻孔设计顶角、岩层条件、钻进方法以及钻孔设计结构选择设备如下。

钻探设备:XY-6型钻机1台,NBB250/6型泥浆泵1台,23 m钻塔1副,50NL型立式泥浆污水泵3台,NY-3型控管机2台,1 m<sup>3</sup>立式泥浆搅拌机2台,QSH15-25型潜水泵4台,规格为6 m×6 m×

1.6 m的桁架式高架钻机底座1套,振动筛1台,旋流除砂器1台。

发电设备:GF180型发电机组1台,功率为3 kW的小型发电机1台。

#### 4.2 钻孔结构

设计孔数1个,钻孔顶角0°,钻孔深度1200 m,总工作量1300 m。钻孔结构及设计如图2。

#### 4.3 钻进方法

采用隔水单动三重管取心钻具,钻头切削具分为硬质合金和金刚石复合片2种。钻头、钻进工艺参数选择见表2。

以上钻进参数在钻进中应根据实际情况加以调整并随时总结改善,下钻完毕应先冲孔5~15 min。

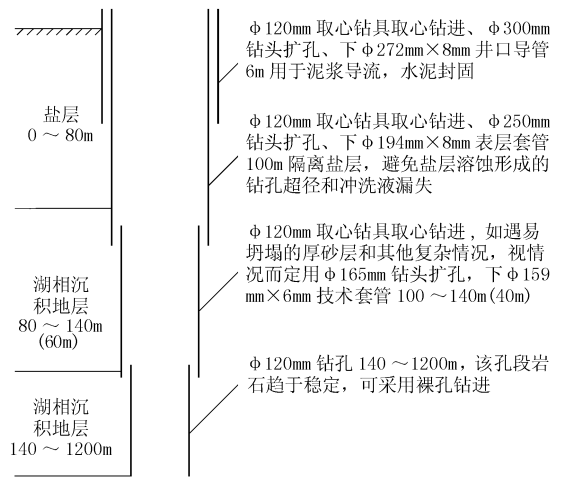


图2 钻孔结构及设计依据

表2 柴达木盆地资源环境科学钻探钻头、钻进工艺参数

岩 石	钻 头 类 型	钻 进 工 艺 参 数		
		钻压/kN	转速/(r·min <sup>-1</sup> )	泵量/(L·min <sup>-1</sup> )
黄、褐、灰色含粉砂石盐	三层管取心钻具,肋骨式硬质合金钻头	2~3	150~200	40~80
灰黄色含粉砂粘土夹粘土粉砂、青灰色粉砂	三层管取心钻具,金刚石复合片钻头	3~4	300~400	80~150
绿灰、青灰、灰色含粘土粉砂及粘土粉砂	三层管取心钻具,金刚石复合片钻头	4~5	300~400	80~150
灰、深灰色含粉砂粘土夹粘土粉砂	三层管取心钻具,硬质合金或金刚石复合片钻头	4~5	300~500	80~150

#### 4.4 取心技术措施

钻进中为保持岩心的原状结构和采取率,采用专为资源环境科学钻探设计的隔水单动三重管取心钻具,常规钻杆取心,塑料衬管护心。该钻具是在“射流反循环取心钻具”原理的基础上,根据地层变化调整内外钻头超前尺寸,加长内、外管钻头刃口,以增强隔水效果;改进棘状卡心器,保证岩心采取和防堵心;用孔底局部反循环,增强反循环效果,降低岩心顶部压力;采用隔水岩心保护活塞,下钻前将该活塞装在内管钻头底部,钻进时随岩心一同进入内管,将岩心与管内冲洗液隔开,所有岩心在钻进过程中直接进入塑料衬管,避免钻具对岩心的切削扰动以及冲洗液对岩心的冲蚀污染。

取心钻进中要注意以下几点:

(1)专用取心工具必须妥善保管,使用前要认真检查,每次用后要清洗检查、注润滑油。

(2)取心时要掌握合适的干钻时间及长度。投入锥形阀后应开泵将阀送到位。采心时,不得频繁提动钻具。

(3)取心困难时,应限制转速、压力和泵量,适当减少回次进尺长度和时间。

(4)钻进中要保持压力均匀,不得无故提动钻具或变更钻进参数。倒杆后开车时,应降低孔底压力。发现孔内有异状,如糊钻、憋水或岩心堵塞时,

应立即提钻。

(5)钻进时回次进尺不得超过岩心管内管长度。

(6)不准使用旷动的立轴(导管)。

(7)岩心没有采取上来时,须专程捞取,不应继续钻进,必需钻进时不得超过0.5 m。捞取岩心时应尽量采用干钻等有效方法。

(8)退取塑料岩心管时要细心,避免人为破碎、污染,并严格防止岩心上、下顺序颠倒。

图3为取出的岩心照片。



图3 岩心照片

#### 4.5 冲洗液与护壁堵漏方法选择

##### 4.5.1 钻孔钻遇地层及冲洗液与护壁堵漏的选择

钻孔处在湖积、化学沉积地层,岩石多为石盐、芒硝、粉砂、淤泥及泥岩等,具用松软、酥脆、富水、易缩径现象,而且层间还富含高承压卤水。选用的冲洗液类型为:抗盐聚合物饱和卤水泥浆和优质高粘分散性水基泥浆。钻孔冲洗液与护壁堵漏方法选择见表3。

表3 钻孔钻遇地层及冲洗液与护壁堵漏的选择

深度/m	破碎程度	含水、涌水、漏水	注 意 事 项	设计采用泥浆种类	护 壁 堵 漏
0~70	较破碎	含卤水、漏水	注意防漏、防盐溶塌孔	饱和卤水泥浆	顶漏钻进、套管护壁
70~1200	完整	涌水、含天然气	注意压井并保证岩心采取率	优质高粘分散性水基泥浆	随钻堵漏重晶石粉压井

#### 4.5.2 冲洗液配方及性能

抗盐聚合物饱和卤水冲洗液是由膨润土基浆 + 抗盐聚合物 + 重晶石粉组成。上段盐层钻进抗盐聚合物饱和卤水冲洗液膨润土加量  $50 \sim 60 \text{ kg/m}^3$ , 抗

盐聚合物  $1.2\% \sim 1.5\%$  视需加入, 重晶石粉按计算的冲洗液密度视需加入; 现场事先通过室内实验确定最终配方。

冲洗液的配方及性能分别见表4、5。

表4 冲洗液的配方

冲洗液类型	膨润土 $/( \text{kg} \cdot \text{m}^{-3} )$	抗盐聚合物 /%	聚阴离子纤维素 $/( \text{kg} \cdot \text{m}^{-3} )$	铁铬盐 $/( \text{kg} \cdot \text{m}^{-3} )$	高粘 CMC $/( \text{kg} \cdot \text{m}^{-3} )$	钠褐煤 $/( \text{kg} \cdot \text{m}^{-3} )$	改性 沥青	重晶石
饱和卤水泥浆	50~60	1.2~1.5						视需要
优质高粘分散性水基泥浆	40~50		4~6	30~40	1~3	15~20	视需要	视需要

表5 冲洗液性能

冲洗液类型	密度 $/( \text{g} \cdot \text{cm}^{-3} )$	塑性粘度 $/( \text{mPa} \cdot \text{s} )$	失水量/ $( \text{mL} \cdot 30 \text{ min}^{-1} )$	泥饼厚度/mm	pH 值	静动力/Pa		漏斗 粘度/s	动切力 /Pa	流性 指数 $n$
						10 s	10 min			
饱和卤水泥浆	1.3~1.5	40~50	20	$\leq 1.0$	8~9	1~1.5	1~3	30~45	10~15	
优质高粘分散性水基泥浆	1.15~1.2	25~30	15~20		9.5~10.5			20~50	7.2~9.6	0.6

#### 4.5.3 钻孔冲洗液配制及使用

##### 4.5.3.1 钻孔冲洗液配制加料顺序

第一步: 首先, 在  $1 \text{ m}^3$  泥浆搅拌机中加入  $0.3 \text{ m}^3$  水, 再加入适量烧碱和纯碱使 pH 值达到  $9.5 \sim 10.5$ , 加入膨润土, 搅拌  $30 \text{ min}$ , 使膨润土预水化。

第二步: 继续加水至  $1 \text{ m}^3$  边搅拌边加入铁铬盐,  $15 \text{ min}$  后加入纤维素等其他材料(事先用水泡开并搅拌), 继续搅拌  $15 \text{ min}$ 。

第三步: 测试新泥浆的性能, 并记入班报表。

##### 4.5.3.2 钻孔冲洗液维护与使用

(1) 要根据地层条件和钻进方法, 确定冲洗液的类型, 并且在泥浆实验室优选出合适的配方。

(2) 在搅拌新泥浆前, 必须对孔口返出的泥浆进行测试。并根据孔内情况及时调整新泥浆的材料加量以调整泥浆性能。

(3) 必须测试新泥浆的性能指标。

(4) 泥浆固控设备必须运转正常。

(5) 施工现场备有粘度计、密度计、含砂量计、失水量仪以及 pH 值试纸等。正常情况下每班至少测定一次冲洗液性能。

(6) 所有泥浆性能测试及泥浆容量变化必须计入班报表。

(7) 不准向冲洗液中任意添加清水, 不要让污水、山水、雨水流进冲洗液中。

(8) 使用化学处理剂时, 要了解其性能, 注意防毒、防腐蚀, 机场和试验室应配备必要的劳动保护用品。

(9) 交接班时, 必须测量计算泥浆容量的变化。当泥浆非正常减少时, 说明钻孔冲洗液漏失, 应及时采取防漏措施, 如: 添加钻孔防漏剂, 减低泥浆密度等。其中: 孔壁轻微坍塌, 冲洗液不断消耗, 但尚可维持钻进时可在泥浆中加入堵漏防塌剂进行处理; 孔壁坍塌, 冲洗液消耗量较大, 用泥浆不能正常钻进时, 需要向泥浆中添加惰性堵漏材料, 或利用高分子絮凝剂进行全絮凝堵漏; 孔壁严重坍塌, 冲洗液全部漏失, 不作处理无法钻进时, 可灌注速凝地勘水泥或化学浆液处理, 或下入套管(包括暗管); 孔内只漏不塌, 在水源充足情况下可“顶漏”钻进。

(10) 当泥浆非正常增加或逸气时, 说明钻孔存在涌水、喷天然气的现象。应及时采取压井防喷措施。如迅速在泥浆中添加重晶石粉增加泥浆密度压井。增加泥浆密度按下式计算:

$$\rho = K(L+h)/L$$

式中:  $\rho$ ——泥浆密度,  $\text{g/cm}^3$ ;  $L$ ——孔深,  $\text{m}$ ;  $h$ ——喷出油、气、水的相当水头高,  $\text{m}$ ;  $K$ ——系数, 取  $1.01 \sim 1.10$ 。

#### 4.6 钻孔压力控制

##### 4.6.1 井控要求

(1) 钻孔机场设备的布局符合防火要求, 发电机放置在季节风的上风方向, 距孔口  $30 \text{ m}$  以远。

(2) 配备压井用泥浆泵一台和压井管汇连接, 泵的规格和型号与钻井用泥浆泵相同。

(3) 确保消防设备、控制设施、电路系统运转正常。

(4) 预计钻开溢气层前, 机场严禁动用明火, 不准在机场附近从事电、气焊作业。

(5) 钻进中遇到钻速突然加快、放空、孔漏、蹩钻、油气水显示等情况, 应立即停钻循环观察或关井观察, 待搞清楚孔内情况后方可继续钻进。

(6) 提下钻速度要慢, 防止因抽吸或压力激动而致的井喷、井漏。在整个钻进作业中, 提钻后, 必须及时向孔内回灌钻井液。

(7) 发生溢流显示或者井喷迹象时, 应立即按正确的关井程序(软关井)关井后通过立管压力和套管压力的显示, 计算压井泥浆密度, 迅速压井, 建立井内的压力平衡。

(8) 当冲洗液出口密度比入口密度下降  $0.1 \sim 0.15 \text{ g/cm}^3$  时, 应停止钻进, 一边加大冲洗液密度, 一边大泵量循环, 直至进出口冲洗液密度基本平衡, 或者是井喷包括溢流迹象消失为止。

(9) 溢流关井法, 其关井压力不得超过井控装备的额定工作压力、套管的抗内压强度的 80%、地层破裂压力三者中的最小值。

(10) 机场应储备密度超过正常用冲洗液  $0.3 \text{ g/cm}^3$  以上的超过钻孔容积  $1.5 \sim 2.5$  倍的加重冲洗液, 同时应配齐足够的重晶石粉和泥浆处理剂。

#### 4.6.2 压井措施

##### 4.6.2.1 压井程序

在钻进时发生溢流: 发出信号, 通知钻台和泵房停钻, 上提主动钻杆, 调整好钻杆包封位置, 避开接头; 停泵, 观察记录立轴压力、套管压力和钻井液池钻井液增量。向有关人员汇报, 研究压井措施。

在提下钻杆时发生溢流: 发出信号, 通知钻台抢接带有止回阀的短钻杆, 如果条件允许时, 不管是提钻过程还是下钻过程都应立即强行下钻, 下入的钻具越多越好; 如果条件不允许应立即停止下钻作业, 观察记录套管压力、钻井液池钻井液增量。向有关人员汇报, 研究压井措施。

在提下钻铤时发生溢流: 发出信号, 通知钻台抢接带回压阀的短钻杆, 在有可能下钻时, 应立即强行下钻, 争取多下; 如无可能下钻时, 应立即停止作业, 同时观察记录套管压力和钻井液增量。向有关人员汇报, 研究压井措施。

在空井发生溢流: 发出信号, 通知当班人员, 在有条件下钻时, 应立即组织强行下钻, 但不要下钻头和钻铤, 争取多下。向有关人员汇报, 研究压井措施。

##### 4.6.2.2 压井方法

发现溢流关井后若立管压力和套管压力均为

零, 说明井内液柱压力能够平衡地层压力, 钻井液受油气水污染不严重, 采用开井循环、除气撇油的方法或者放走部分被污染钻井液的方法, 即可消除溢流。

若立管压力为零而套管压力不为零, 说明钻井液液柱压力能够平衡地层压力, 只是环空的钻井液受污染比较严重。这时必须关防喷器, 通过节流阀循环, 控制立管压力不为零, 排除环空受污染的钻井液, 但不能把受污染的钻井液再泵入井内。循环一周后, 停泵、关井, 立管压力和套管压力应均为零。

关井时立管压力和套管压力均不为零, 说明地层压力大于井内的钻井液液柱压力。在这种情况下, 必须提高钻井液密度, 视孔内情况, 计算压井数据后, 按常规压井法进行压井。

#### 4.7 固井措施

盐参 1 号孔, 孔内上部地层皆是盐类沉淀地层, 实验表明, 水泥在盐类地层的凝固和胶结效果是非常差的, 因此, 该孔孔口管、表层套管和技术套管下入孔内均应座放在较厚的粘土层上, 套管和孔壁之间的环状间隙内, 在套管座放在粘土层之前, 利用钻杆和套管底部托盘法注满高粘度的(605)重晶石粉和粘土的混合浆进行固井。

### 5 钻探技术成果

按科学钻探要求, 本次所施工的盐参 1 号钻孔针对钻进地层特点, 在采取上述护壁、压喷井控及三重管取心等钻探技术措施后顺利终孔; 完成钻进深度 1201.63 m, 台月数 2.76 个, 台月效率 435 m, 时效 2.78 m, 岩心平均采取率 96.97%, 满足了科学钻探工程中的各项实验和对岩心采取率要求高, 岩心采取保持岩心的原状结构、无扰动、无污染的要求, 很好的达到了盐参 1 号钻孔科学钻探的施工目的。

### 6 结语

通过本次科学钻探工程实践启示, 在湖相沉积、化学沉积地层, 岩石多为石盐、砂粉、淤泥及泥岩等, 具用松软、碎脆、富水、易缩径、富含高压卤水、气地层进行深孔系统取心钻进, 选用、调整好冲洗液和适宜的钻进方法是顺利实施钻进的有力措施; 采用专为资源环境科学钻探取心设计的隔水单动三重管取心钻具, 是满足科学钻进系统取心的有力保证; 借鉴石油钻井技术中钻井液固控方法、固井工艺、压井防喷工艺等设施及措施是完成承压地层机械岩心环境科学钻探工程试验要求的重要环节; 也对今后此区域的科学钻探工程具有广泛的指导意义。