

# 绳索取心钻进技术在松散盐岩地层中的应用探讨

李金锁<sup>1</sup>, 张少林<sup>2</sup>, 刘江<sup>3</sup>, 张佳文<sup>1</sup>

(1. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 2. 青海煤炭地质 105 勘探队, 青海 西宁 810007; 3. 河北省地矿局第十一地质大队, 河北 邢台 054000)

**摘要:**地质岩心钻探中,岩心采取率一直是地质找矿、地学科研工作者重点关注的对象,也是岩心钻探重要的考核指标。传统的钻探取心方法在松散、软弱、含盐地层,特别是含易溶盐地层的取心质量不佳;绳索取心钻探在完整地层取心效果较为理想,同时可大大提高劳动生产率、降低劳动强度,而对于松散、软弱地层,其取心难度比起传统钻探有时更为复杂。通过柴达木盆地达布逊干盐湖科学钻探工程,对钻遇的地表层、松散地层如何采取技术方法提高岩心采取率进行了探索和研究。实践证明,通过改善冲洗液性能、改进取心卡簧特性及钻头出水方式 3 个方面技术措施,可大大提高绳索取心钻进在松散、软弱、弱固结、含盐地层的岩心采取率,由改进前的平均 30% 提高为平均 96%。

**关键词:**绳索取心钻进;松散地层;盐岩地层;岩心采取率;冲洗液

**中图分类号:** P634.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2015)07-0005-05

**Discussion on the Application of Wire-line Coring Drilling Technology in Unconsolidated Salt Strata/LI Jin-suo<sup>1</sup>, ZHANG Shao-lin<sup>2</sup>, LIU Jiang<sup>3</sup>, ZHANG Jia-wen<sup>1</sup>** (1. Institute of Mineral Deposits, CAGS, Beijing 100037, China; 2. Qinghai 105 Exploration Team of Coal Geology, Xining Qinghai 810007, China; 3. No. 11 Geological Brigade, Hebei Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Xingtai Hebei 054000, China)

**Abstract:** Core recovery has always been focused on in geological core drilling, which is also an important evaluation index for core drilling. It is difficult to have good core quality by traditional core drilling method in loose, soft and salt formations, especially in those formations containing soluble salt. By the use of wire-line coring drilling, ideal coring effect can be achieved in complete formation; at the same time, the labor productivity can be greatly improved with labor intensity reduction. For the loose and soft layers, coring drilling is sometimes more difficult than traditional drilling. Taking the case of scientific drilling project in Dabuxungan salt playa, exploration and research were made on how to improve core recovery in the drilled surface layer and loose layer. The practice proved that wire-line core recovery can be largely improved in loose, soft, unconsolidated and salt bearing formations by the improvement of flushing fluid performance, property of core lifter and bit water way. The average core recovery is raised from original 30% up to 96%.

**Key words:** wire-line coring drilling; loose strata; salt rock formation; core recovery; flushing fluid

## 1 项目概况

钻探施工区位于青海柴达木盆地的中部(见图 1),达布逊湖西北岸。施工区行政区划隶属于青海省海西州格尔木市,距格尔木市区近正北方向约 90 km。平均海拔为 2700 m,地表多以沙漠、戈壁、盐碱滩为主,无植被,气候干燥寒冷,少雨多风,冬季漫长,日温差变化大。该区交通条件尚好,东距 215 国道约 30 km,北距 315 国道约 15 km,均有便道与之相连,便道至井场的路段分布有季节性河流,路况条

件相对较差。夏季多雨季节,路面含盐易打滑,行车安全尤为重要。

在工区范围内,地表广布全新统石盐层,形成平坦宽广的盐滩,仅在偏西北部出露有上更新统盐层。工区周围分布有中、下更新统滨湖相泥岩、粉砂岩,上更新统和全新统洪积、冲积砂砾以及全新统的风积砂,冲积亚砂土、细砂、湖积粘土、粉细砂。另外,根据 2008 年在柴达木盆地三湖地区达布逊干盐湖开展的资源环境科学钻探地层揭露情况,施工区

收稿日期:2015-02-28; 修回日期:2015-05-19

**基金项目:**中国地质调查局国土资源大调查计划项目“我国油钾多能源资源综合调查评价”之工作项目“柴达木东部气钾兼探科学钻探工程项目”(编号:12120114048501)

**作者简介:**李金锁,男,汉族,1963年生,副研究员,博士,长期从事探矿工程、地质与勘探、矿床地质等生产与科研工作,北京市西城区百万庄大街 26 号,yhzz2007@163.com。

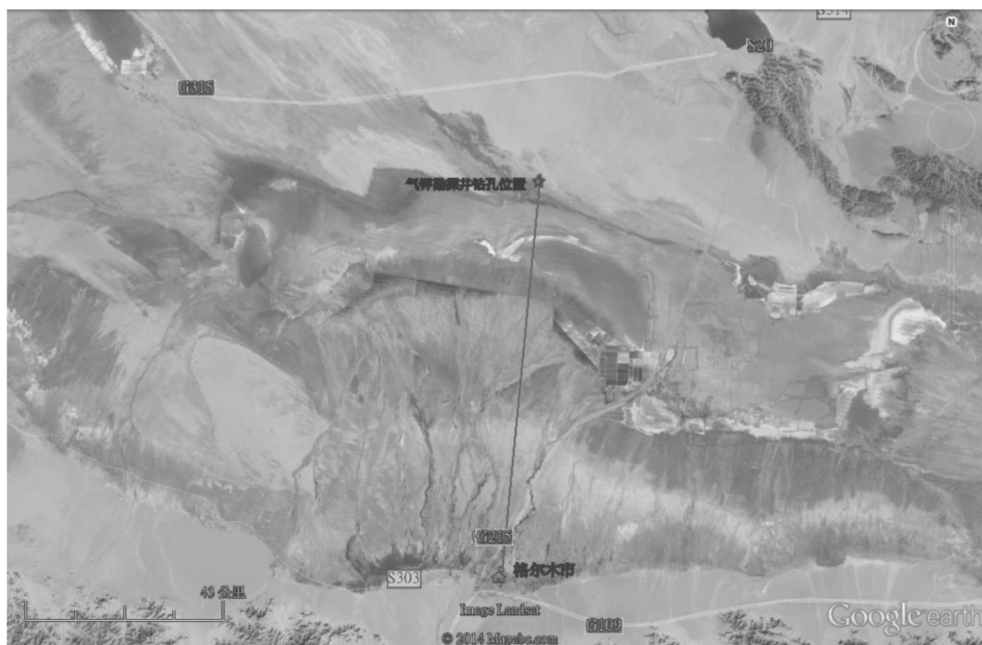


图1 气钾勘探钻孔交通位置图

岩层结构大致如下:地表为风蚀盐壳覆盖,表层由全新统石盐组成,下部为第四系湖底沉积物及新近系地层。0~70 m为黄、褐、灰色含粉砂石盐;70~127 m为灰黄色含粉砂粘土夹粘土质粉砂、青灰色粉砂;127~300 m为灰绿、青灰色粉砂岩、砂岩及泥岩。准备要施工的钻孔设计孔深300 m,全孔取心,用于资源环境、全球变化研究,故要求的岩心采取率比较高,必须达到95%以上。按照上述地层情况,施工地层大约在灰绿及青灰色粉砂岩、泥岩层位内终孔。钻遇地层岩石可钻性等级1~4级,属于松软地层。本浅孔钻是为了弥补3500 m深的气钾1井钻孔300 m以浅岩心而特别设计的补心孔,距主孔北西向90 m处,因此岩心采取率成为这次施工技术的主要攻克的目标。

## 2 钻探施工方案

### 2.1 钻孔结构

钻孔结构设计的原则是:在满足地质设计要求的前提下,尽可能采用较小口径;条件好的地层尽可能采用裸眼钻进,尽量简化钻孔结构、少换径、少使用套管护壁;要以解决上部不稳定地层(漏失、涌水、坍塌、缩径、溶解)施工难题为基础,为下部正常钻进创造条件为前提,以达到岩心直径100 mm为目的,下好各表层、技术套管是做好下部施工的关键。

根据施工区地质地层情况、要求的设计孔深以及钻孔和取心质量要求,确定本次钻探施工将采用如图2所示的钻孔结构。

### 2.2 设备选择

根据该项目钻探工作量、钻孔设计深度、终孔口径要求和该地区岩层条件、钻进方法及钻孔结构等选择钻探设备,主要设备配置及其性能参数见表1。

表1 主要钻探设备一览表

名称	型号	数量	主要性能	备注
钻机	XY-6B	1台	钻进深度 2000 m	
泥浆泵	BW-320	1台	流量320~ 60 L/min	
发电机组	康明斯	1台	(160 kW)	钻机泥浆泵动力源
钻塔	角钢	1副	17 m	
搅拌机		1台	1 m <sup>3</sup>	自制
绳索取心绞车	SJ-3000	1台	7.5 kW	张家口探矿机械厂
木马夹持器		1副	自重式	苏州探矿机械厂
泥浆测试仪器		1套		青岛石油仪器公司
液压钳	100型	1台		
振动筛	2S/1.15/3P	1台		

#### 2.2.1 钻机

根据钻进施工的地层、钻孔结构、钻进深度等情况,确定选用具有2000 m深度钻进能力的XY-6B型全液压机传动立轴式钻机,选择2000 m钻机主要考虑到后续一口600 m深度的全取心钻孔的施工。立轴通孔直径可以通过 $\varnothing 108$  mm主动钻杆。

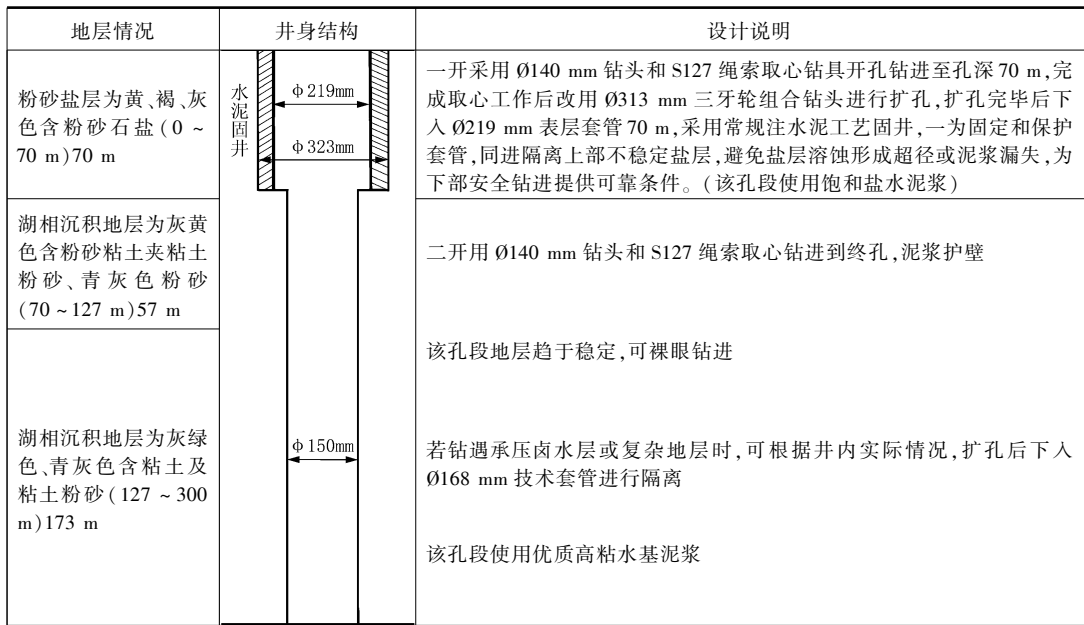


图 2 气钾勘探井补心孔 300 m 钻孔结构图

钻机性能参数: 钻进深度 2000 m; 钻孔倾角 90° ~ 80°; 立轴行程 600 mm; 钻机最大上顶力 200 kN; 卷筒最大提升力 60 kN; 立轴转速 80 ~ 1000 r/min (正转), 62 ~ 170 r/min (反转); 钻机质量 4200 kg。

2.2.2 动力设备

在动力配备方面, 选择电驱动方式, 考虑高海拔功率的衰减, 配备 160 kW 发电机机组, 同时作为钻机、泥浆泵动力源。

2.2.3 泥浆泵、钻塔

根据以往在该区施工经验及实际钻进能力, 选择 BW-320 型三缸单作用活塞变量泵, 该泵为卧式三缸单作用往复式活塞泵, 具有 2 个缸径和 4 个速度, 排量和孔深根据用途可随意调节。流量 320 ~ 60 L/min, 最大压力 10 MPa, 驱动功率 30 kW, 吸水管直径 75 mm, 排水管直径 50 mm。

选择 17 m 四角钻塔。

2.2.4 钻具及主要生产材料

钻具的规格、组合见表 2 及表 3。S127 绳索取心钻具在很多地质勘探施工单位及不少钻探项目使用, 实践证明效果好、实用性强, 可大大提高劳动生产率和经济效益, 采用本套钻具完全能满足本次施工的各项技术要求和指标。结合施工具体情况和施工经验, 可以确定出本次施工主要配备的生产材料规格和数量(见表 4)。

按该区地层可钻性级别和岩性特征, 以及钻孔结构要求, 根据具体施工情况分别选用以下钻头类型。

表 2 钻具组合一览表

钻具组合	钻进孔段/m	钻头直径/mm	钻具组合
取心钻具	0 ~ 300	140	Ø140 mm 钻头 + Ø140.5 mm 扩孔器 + S127 绳索取心钻杆 + 主动钻杆
扩孔钻具	0 ~ 70	313	Ø313 mm 三牙轮组合钻头 + Ø127 mm 钻杆 + 主动钻杆

表 3 绳索取心钻具钻杆规格及数量一览表

名称	型号	内径/mm	外径/mm	数量	备注
钻杆	S127	114	127	700 m	
钻杆接头	S127	114	130	120 个	
内管	半合管	104	110	2 套	
外管	S127	114	127	2 套	
钻头		100	140	14 个	胎体内径接近取心直径
PVC 衬管		100	103	700 m	

表 4 主要生产材料配备一览表

类别	名称	规格/mm	单位	数量	备注
金刚石钻头	齿轮钻头	Ø140	个	4	4 级岩层钻进
	尖环齿钻头	Ø140	个	4	3 级岩层钻进
	肋骨钻头	Ø140	个	4	石盐地层钻进
牙轮钻头	牙轮钻头	Ø313	个	2	扩孔阶段
	柴油		t	18	
油料	机油		t	0.3	
	液压油		t	0.3	
	齿轮油		t	0.3	
	汽油		t	0.6	
其它	岩心箱	S127	个	300	
	管钳	48#	把	18	
	内管自由钳	S127	把	4	
	套管	Ø219	m	160	

(1)可钻性在4级以内的岩层选用金刚石齿轮型取心钻头。

(2)可钻性在3级以内的岩层选用金刚石尖环齿取心钻头。

(3)表层石盐地层选用PDC高胎体肋骨取心钻头或复合片取心钻头。

(4)粘土及淤泥和可塑性高的地层选用高效尖齿复合片取心钻头。

## 2.3 施工工艺

鉴于该区地层复杂、地层稳定性差、设计终孔口径大和岩心直径较粗的情况,在汲取该区以往钻探施工经验教训的基础上,为保证本次施工获得真实完整的地层资料和原状岩心,取准取全地层资料,保证工程质量,钻探施工工艺采用了大口径绳索快速取心工艺和氯化钾饱和盐水泥浆钻进。

### 2.3.1 钻进参数

施工时结合钻遇地层可钻性、岩层性质、钻头类型、孔深、所用绳索取心钻具等合理选择钻进参数。

由于钻遇第四系松散层和新近系,可钻性较好,绳索取心钻进采用表5所示参数。

表5 钻进参数

孔段/m	钻头直径/ mm	钻压/ kN	转速/ ( $r \cdot \min^{-1}$ )	泵量/ ( $L \cdot \min^{-1}$ )
0~70	140	5~10	80~178	110~180
70~300	140	12~23	80~178	110~180

当牙轮钻头进行扩孔钻进作业时,钻压20~30 kN,转速60~100 r/min,泵量250~320 L/min为宜。

### 2.3.2 取心

钻进中为保持岩心的原状结构,保证岩心采取率和质量,取心钻具采用大口径三层衬管绳索取心钻具。岩心样品在钻进过程中直接进入PVC塑料衬管,避免钻具对岩心的磨削扰动以及泥浆对岩心的冲蚀污染。快速打捞内管后,从半合内管取出PVC塑料岩心衬管。

## 2.4 钻进冲洗液

### 2.4.1 冲洗液配方与性能指标

本次施工钻孔处于湖积沉积地层,岩层多为石盐、淤泥、粉砂岩、砂岩、泥岩等第四系和新近系,具有松散软弱、易坍塌、易溶蚀、酥脆、富水、易缩径现象,而且层间可能还富含高承压卤水。采用一般水基冲洗液,钻进过程中石盐会不断地溶于冲洗液中,

不仅影响冲洗液性能和孔壁稳定,还会出现岩心溶蚀现象,严重影响岩心采取率。因此,按照盐类矿物性质结合相关施工经验,施工采用了氯化钾饱和盐水冲洗液和优质高粘水基冲洗液。

表层石盐钻进阶段(0~70 m)选择氯化钾饱和盐水冲洗液,由氯化钾+膨润土基浆+重晶石粉等组成。膨润土加量10%~15%,重晶石粉按计算的泥浆密度视需加入,钻穿上部石盐地层下入表层套管固井二开后,根据地层实际情况逐步改用优质高粘水基冲洗液。现场事先通过室内试验确定最终配方,氯化钾饱和盐水冲洗液:10%~15%膨润土+15%KCl+1%高粘防塌剂+1%磺化褐煤树脂+0.5%火碱(NaOH)+2%广谱护壁剂+重晶石粉(根据具体情况酌量加入)+高粘堵漏剂(根据具体情况酌量加入);优质高粘水基冲洗液:8%~10%膨润土+1%高粘防塌剂+2%磺化褐煤树脂+1%高粘纤维素+0.5%火碱(NaOH)+2%广谱护壁剂+重晶石粉(根据具体情况酌量加入)。2种冲洗液性能参数见表6。

表6 气钾勘探钻孔冲洗液性能参数

泥浆类型	密度/ ( $g \cdot \text{cm}^{-3}$ )	漏斗 粘度/ s	滤失量/ [ $\text{mL} \cdot (30 \text{ min})^{-1}$ ]	泥皮 厚度/ mm	pH值	动切 力/ Pa
氯化钾饱和盐水泥浆	1.20~1.23	45~50	8~10	1	9~11	20~23
优质高粘水基泥浆	1.15~1.20	28~50	8~10	1~0.8	8~9	15~20

### 2.4.2 泥浆配制与使用

首先,在 $1 \text{ m}^3$ 泥浆搅拌机中加入 $0.3 \text{ m}^3$ 水,再加入适量火碱使pH值达到9~11,加入膨润土搅拌30 min,使膨润土预水化。然后继续加水至 $1 \text{ m}^3$ 边搅拌边加入广谱护壁剂、高粘防塌剂、磺化褐煤树脂,15 min后加入KCl,继续搅拌15 min。钻进过程中,要不断地调整泥浆性能,维护孔壁稳定。

泥浆循环净化系统长度应 $>20 \text{ m}$ ,泥浆沉淀池不得少于3个,沉淀池的大小可根据施工现场的地形条件而定,一般不能小于 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ (长×宽×高),循环槽长度 $\leq 15 \text{ m}$ ,宽为300 mm,高为200 mm,每隔1.5~2 m应设一块挡板,同时在地表配备使用好固控设备清除冲洗液中的有害固相。

根据本次钻探任务,初步估算配备泥浆使用材料数量见表7。

表7 配备泥浆使用材料数量一览表

序号	名称	数量/t	备注
1	膨润土	5	
2	广谱护壁剂	3	
3	KCl	3	
4	NaOH	0.1	
5	高粘纤维素	0.2	高粘
6	磺化褐煤树脂	3	降失水
7	重晶石粉	2	加重
8	高粘堵漏剂	1	堵漏
9	高粘防塌剂	2	防塌

### 3 存在问题及改进措施

生产实践证明上述设计的施工方案是有效可行的,但在孔深0~50 m岩心采取率仅为38%左右,50~300.67 m为92%,经过分析发现岩心采取率低的真正原因有3点:(1)冲洗液对表层地层仍有较强的冲刷作用,致使松散的地表取心困难;(2)取心过程中,打捞取心筒底部的卡簧存在问题,主要问题是卡簧的刚度及弹性较小及卡簧与钻头的配合精度不够,致使取心不理想;(3)钻头出水路径需要改进,直冲不利于保护岩心。

针对以上3方面问题,经过研究探讨做出相应的改进措施:(1)对冲洗液配比进行改进,具体改进配比为10%~15%膨润土+15%KCl+1%高粘防塌剂+1%磺化褐煤树脂+0.5%火碱(NaOH)+2%广谱护壁剂+重晶石粉(0%,不加重晶石粉)+高粘堵漏剂(根据具体情况酌量加入),以减小冲洗液的密度及动切力,实现饱和盐水冲洗液,这样对易溶、易坍塌的地表不稳定含盐地层尽量减小对其的冲刷力及溶蚀力,以确保岩心采取率的提高;(2)选用刚度大、弹性大的材料现场制作卡簧,即现场采用废弃的摆钟发条制作卡簧,现场收集的摆钟发条弹性远大于改进前的卡簧弹性,而且其刚度也大于原卡簧的刚度;(3)对取心钻头出水通道和出水口方向进行加工改进,使出水路径形成拐弯、出水口方向位于侧方以减缓冲洗液对岩心的冲、切力,同时严格控制最小泵量。经过调整后的方案,在原钻孔附近

距其1 m距离处钻取56.90 m深度孔,岩心采取率达到了100%,使得整个300 m钻孔平均岩心采取率达到了96%以上。

### 4 结语

(1)绳索取心钻进对于含盐地层、松软、破碎、复杂地层采取岩心的效果应根据具体地层情况加以进一步改进与探讨。

(2)针对具体松软、含盐的沉积地层,现场配制冲洗液、改进取心装置可以大大提高岩心采取的效果。

(3)在非找钾的含盐地层地质取心钻孔施工中,利用无固相、低密度的KCl饱和卤水冲洗液可以避免含盐地层的溶蚀和坍塌。

(4)地表地层松散、力学性质差,在钻取岩心时掌握好冲洗液配制、钻头出水口位置及出水量、卡取岩心的合理装置是获取高岩心采取率的有力保证。

### 参考文献:

- [1] 汤凤林. 岩心钻探学[M]. 湖北武汉:中国地质大学出版社, 1997.
- [2] 张春波. 绳索取心钻探技术[M]. 北京:地质出版社, 1985.
- [3] 武汉地质学院,等. 钻探工艺学(中)[M]. 北京:地质出版社, 1981.
- [4] 杨相茂,彭汉华,许华松,等. 破碎带取心钻进技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(3): 33-35.
- [5] 任维焕. 柴达木盆地资源环境科学钻探工程实践与认识[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 36(6): 1-5.
- [6] 刘翠娜,纪卫军,李晓玮,等. 盐水钻井液配制方法对其性能的影响[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2012, 39(1): 33-36.
- [7] 王达,何远信,等. 地质钻探手册[M]. 湖南长沙:中南大学出版社, 2014.
- [8] 靳红兵. 深部岩盐取心钻探技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, 38(10): 10-12.
- [9] 黄卫东,付帆,陶士先. 多功能抗污染剂在老挝农波矿区南部钾盐钻探中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(3): 21-24.
- [10] 王建华. 油田盐膏层钻井技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2005, 32(4): 47-49.