

# 无固相冲洗液在变质岩系复杂地层 绳索取心钻进中的应用

刘志峰

(东北煤田地质局155勘探队,辽宁锦州121000)

**摘要:**辽宁省北镇市杜屯地区超大型石墨矿处于变质岩系中,在勘查过程中分析了该区变质岩系复杂地层的成因及特点,采用了绳索取心与无固相冲洗液钻进工艺,并分析了冲洗液对石墨岩矿层稳定性的影响,对冲洗液体系进行了优化,分析了冲洗液的护壁作用机理。同时对钻进过程中的技术应对措施进行了优化,解决了绳索取心钻进过程中钻杆结泥皮及技术套管的使用等问题,顺利地完成了矿床的勘探工作,取得了良好的技术经济成果。

**关键词:**绳索取心;无固相冲洗液;变质岩系;石墨矿床;复杂地层

**中图分类号:**P634.6 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2017)04-0014-05

**Application of Solid-free Flushing Fluid for Wire-line Coring in Complex Metamorphic Rocks Formation/LIU Zhi-feng** (No. 155 Exploration Team of Northeast Coalfield Geology Bureau, Jinzhou Liaoning 121000, China)

**Abstract:** A super graphite deposit in Beizhen Dutun of Liaoning Province exists in metamorphic series. The genesis and characteristics of complex metamorphic formation were analyzed in this regional exploration and wire-line coring drilling and solid-free flushing fluid drilling technologies were used. By the analysis on the effect of flushing fluid on the stability of graphite rock seams, the flushing fluid system is optimized; the wall protection mechanism of flushing fluid is also analyzed and the technical countermeasures in drilling process is optimized to solve the problems of slurry cake and intermediate casing application. The deposit exploration is successfully completed with good technical and economic results obtained.

**Key words:** wire-line coring; solid-free flushing fluid; metamorphic series; graphite deposit; complex formation

## 0 引言

在固体钻探中,因所寻找矿种的不同,其所钻遇的各种深度的地层也不尽相同。由于受到地质构造运动、外界环境的物理化学作用及水文地质条件等因素的影响,地层的差异性比较大,且多属于复杂地层,给钻探施工带来了诸多困难。通常,在煤田、油、气井田钻探施工中会经常遭遇到多为沉积岩地层,经常出现钻孔坍塌、漏失、涌水(有时涌、漏水同时出现)、钻孔缩径等问题,导致被迫停钻,甚至钻孔报废。由此带来钻孔质量差,不能达到或满足地质质量要求,影响工程进度,造成经济损失,增大了钻探工程施工的风险性。

在变质岩系地层中,非金属矿种的勘探相对于沉积岩地层来说,复杂地层给钻探带来的危害及影响更大,体现出较大的代表性与特殊性。针对辽宁省北镇市杜屯地区超大型石墨矿床的特点,研究在变质岩系复杂地层中采用绳索取心钻进工艺与无固

相冲洗液技术是十分必要的。

## 1 应用地质背景

本区大地构造位于中朝准地台北缘(I),燕山台褶带中部(II),辽西台陷(III)东缘,闾山隆起带(IV)东翼的丘陵地带,东与下辽河西部斜坡带接壤。区域内地质构造复杂,岩浆活动频繁,出露地层主要为太古界变质岩系地层。

本区石墨矿成矿条件:(1)早期的区域构造行迹广泛发育,形成北东向的构造格局,是本区成矿的动力来源;(2)本区太古界的大营子组、瓦子峪组,长城系的大虹峪组、高于庄组地层广泛发育,为本区成矿作用提供了物质保障;(3)多期的火山和岩浆热液活动,为本区成矿变质作用提供了适宜的温度、压力及其物质运移富集条件。

### 1.1 施工区地质概况

#### 1.1.1 地层条件

收稿日期:2017-01-22; 修回日期:2017-03-15

作者简介:刘志峰,男,汉族,1962年生,高级工程师,钻探工程专业,长期从事地质钻探工程技术及管理工作,辽宁省锦州市凌河区石桥子小区文兴里38号,155wanglijun@163.com。

施工区地层主要由太古界建平群大营子组、瓦子峪组;中元古界长城系大虹峪组、高于庄组;新生界第四系地层组成。由老至新分述如下。

(1)太古界建平群大营子组(Ard)。主要有黑云斜长片麻岩,角闪黑云斜长片麻岩,浅粒岩,夹斜长角闪岩,角闪斜长片麻岩、角闪变粒岩、大理岩及磁铁石英岩。地层厚度>1174 m。

(2)太古界建平群瓦子峪组(Arw)。主要有黑云石英片岩、绢云绿泥片岩、黑云绿泥片岩、黑云角闪石英片岩夹磁铁石英岩、大理岩等。地层厚度>1379 m。

(3)中元古界长城系大虹峪组(Chd)。以灰白、灰、暗灰色石英砂岩、含长石石英砂岩、长石砂岩、钙质砂岩为主,夹钙质粉砂岩及白云岩。地层厚度>300 m。

(4)中元古界长城系高于庄组(Chg)。依据岩石组合特征划分为上、下两岩段:上部碳酸盐岩段(Chg<sup>2</sup>)和下部变质岩含矿段(Chg<sup>1</sup>)。

上部碳酸盐岩段(Chg<sup>2</sup>):上部为浅灰—灰色薄板状及中厚层含燧石结核白云岩,夹硅化白云岩及薄层石英砂岩,厚度>200 m;下部为灰黑色薄层、中厚层含燧石结核含锰白云岩、燧石条带含锰白云岩、灰质白云岩,夹钙质粉砂岩、粉砂质白云岩,厚度>500 m。

下部变质岩含矿段(Chg<sup>1</sup>):为浅灰—灰黑色且具有片状特征的岩石组成,主要有千糜岩、千枚岩、石英片岩、云母片岩、变粒岩、糜棱岩等。以含有石墨矿和有白色红柱石斑晶为特征,是本区石墨矿的产出部位,厚度>1000 m。

(5)新生界第四系(Q):主要由砾石、砂、粉砂和黄土组成。广泛分布于沟谷、平地及低缓的坡地,厚度0.5~50 m。

### 1.1.2 构造条件

该区断裂构造发育,地层倾角变化大。同时次生裂隙发育,且多被石英脉充填,被钻探控制的断层有19条。

### 1.1.3 岩浆岩赋存条件

主要为已经变质的太古代岩浆岩,变质成黑云母斜长花岗岩、混合花岗岩等,多呈岩墙或岩床产出。

## 1.2 施工区岩层可钻性

本区钻探工作层段重点位于长城系高于庄组下

部变质岩含矿段(Chg<sup>1</sup>),依据岩矿层的赋存位置自下而上依次划分为:下段(Chg<sup>1</sup>)、中段(Chg<sup>2</sup>)、上段(Chg<sup>3</sup>)。

下段(Chg<sup>1</sup>):主要由灰白—浅灰色、灰绿色石英岩、长英岩、变粒岩、大理岩及糜棱岩等组成,岩石可钻性8~10级。

中段(Chg<sup>2</sup>):本段地层为本区的含矿段。灰—灰黑色为主,夹浅灰色,含有石墨矿,具有粒状、鳞片状,变晶结构,千糜构造和含有红柱石结晶为特征,并且岩石具有不同程度的绿泥石化、绢云母化及高岭土化。由片岩、云母片岩、石英片岩、千糜岩及变粒岩等组成。本段地层岩石硬度特点呈跳跃式起伏变化,岩石可钻性5~8级。

上段(Chg<sup>3</sup>):本段地层为浅灰—灰色为主,由一套陆源沉积碎屑物和中酸性火山碎屑物生成的沉积岩,经变质作用,演变成千糜岩、糜棱岩及变粒岩等,岩石强烈高岭土化、糜棱岩化、伴随绿泥石化。岩石硬度呈跳跃式起伏变化,岩石可钻性8~10级。

## 1.3 施工区地层漏失性

本区地质构造复杂,地层裂隙发育,破碎带多,其中有19条断层与施工钻孔产生了交织切割关系,而且水文地质条件极为复杂,造成冲洗液漏失严重,钻孔漏失渗透系数 $K > 13$ ,为最高等级。施工钻孔极易发生严重的涌、漏水事故,给施工造成了很大困难,影响工期。

## 2 变质岩系复杂地层钻进技术难题及形成机理与特点分析

### 2.1 变质岩系复杂地层钻进技术难题

本区石墨矿钻探施工分为普查和详查两个阶段,普查又分为普查第一阶段和普查第二阶段。普查第一阶段钻探施工自2012年3月1日开始,至2012年10月30日结束,投入绳索取心钻进的钻机2台,共完成钻孔19个,钻探进尺3620.90 m,历时7个月整。普查第一阶段钻探施工暴露出亟待解决的问题。

#### 2.1.1 石墨矿层的取心问题严重

本区石墨矿体厚度较大,一般从几米至几十米不等,有些厚达百米。特别是矿体表层呈风化状。开孔过表土后,即为矿体,厚达几十米,且为粉状,部分为碎块状。由于矿体本身的物理特性,遇水后具有一定的润滑性,易冲蚀滑脱,造成矿层取心非常困

难,满足不了地质设计、采样化验的需求,经常造成钻孔报废,需要进行补孔,个别地段需补孔四、五次之多。在普查第一阶段,因取心、缩径而报废工程量达2000余米,占整个工程量的55%。

### 2.1.2 变质岩系复杂地层冲洗液的应用问题

参与施工的2个井队使用的冲洗液虽然也是低固相和无固相冲洗液,但由于缺乏预研,开钻后难以适应并克服本地区变质岩系的复杂地层,给正常的钻进施工带来很多麻烦和困扰。

(1) 钻杆结泥皮严重,造成取心内管不能正常打捞或投入内管不到位,造成打单管现象,丢失岩矿心。导致无用提钻次数增加,甚至每个回次后都要提钻,并且把每个钻杆都要卸开进行疏通,钻进不能开高速,严重影响了钻进效率。

(2) 钻孔经常发生因孔壁掉块夹卡钻具,并发生钻具折断事故,导致辅助时间过长,孔内事故率大幅增高。

(3) 裸眼时间过长,浸泡时间长,而引起孔壁的大段坍塌、掉块、缩径等现象,且处理时间长,需要经常反复处理,有个别钻孔钻进了500多米因此报废而移孔。

(4) 地质条件因素导致钻孔经常发生涌、漏水等现象,影响正常钻进。

(5) 机械设备始终处于运转负荷状态,提高了机械设备的故障率,如停钻时间过长而导致的大型设备(钻机柴油机、发电机组等)的损坏,有时因此停钻长达7 d。

## 2.2 本区变质岩系复杂地层的成因特点与冲洗液对岩矿层产生影响的机理分析

### 2.2.1 本区变质岩系复杂地层的成因特点

本区的复杂地层高于庄组(Chg)贯穿于整个钻探工程的始末。由于其形成于元古代,属于较老地层,变质程度受区域内深度变质作用、动力变质作用影响剧烈,在成矿期的热液蚀变产生矿物的同时,也发生了强烈的围岩蚀变,致使一套由陆源碎屑物和中酸性的火山碎屑物生成的沉积岩,经过变质作用演变形成了千糜岩、糜棱岩等岩石形成,并伴强烈的硅化、绿泥石化、高岭土化、绢云母化、糜棱岩化等现象。

本区地质构造复杂,地层倾角变化大,断裂构造和次生裂隙发育。比较大的断裂有19条,都对原有地层产生了切割作用,这种作用由所取出的岩心可

见,如图1、图2所示。在破碎带中,多伴有揉碎物充填破裂的岩层碎块间隙中。

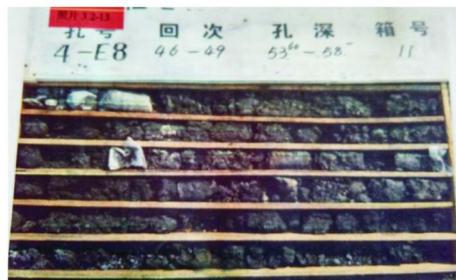


图1 辽宁省北镇市杜屯地区石墨矿普查4-E8号孔岩心

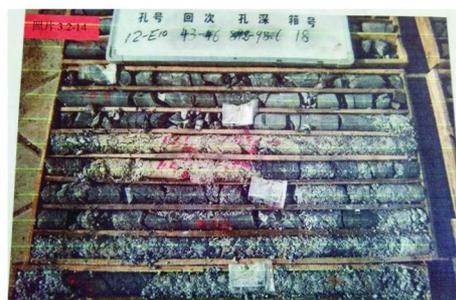


图2 辽宁省北镇市杜屯地区石墨矿普查12-E10号孔岩心

可以看出,由于受地质成因和构造运动产生多向挤压作用,使地层内部受力不平衡,一旦被钻穿后,就破坏了原来处于相对原始平衡的状态,加之受重力的作用使孔壁产生不稳定的坍塌、掉块发生,属典型的力学不稳定地层;由于岩矿层伴随有强烈的硅化、糜棱岩化、高岭土化、绿泥石化、绢云母化和大段的断层泥,呈松散碎屑状、泥土状,冲洗液浸入易产生水解、水化作用,使孔壁岩层发生松散、松软,遇水膨胀,为强水敏性地层,造成钻孔缩径的发生。

### 2.2.2 冲洗液对石墨岩矿层稳定性影响分析

石墨岩矿层裂隙发育,其比表面积巨大,并含有较多亲水表面,对液体的吸附能力强。同时,冲洗液向石墨岩矿层的滤失不可避免,当滤液为水时,进入石墨矿体及围岩影响有以下几方面的作用。

(1) 虹吸毛吸管效应。矿体节理、裂隙及孔洞极其发育,石墨呈显微粒状、鳞片状,变晶结构,微晶片状构造,呈定向、半定向排列,具有大的比表面积,虹吸、毛吸管效应显著,深入孔隙,削弱和破坏了石墨矿体及围岩分子间的氢键和固有引力,并润滑了裂隙,使岩矿体的内聚力和本身结构强度受到破坏。

(2) 水化膨胀作用。石墨矿体和围岩吸水后产生膨胀,分子间的抗拉强度降低和破坏,弹性模量小,非均质性强,水化膨胀导致局部应力集中,引起

剥落、掉块,在分裂面上引起更大的分裂,进而产生膨胀缩径。

(3)胶结物的溶解。本区石墨矿体中含有少量的粘土类矿物和无机盐,主要以胶结物和充填物存在于裂隙和孔隙中,矿体和围岩吸水后引起粘土矿物的水化膨胀和无机盐胶结物的溶解,裂隙胶结被破坏,使矿体间的自身强度受到破坏和下降。

(4)冲洗液的密度。本区石墨矿体的稳定性与冲洗液的密度有着直接的关系。若冲洗液的密度过低,石墨岩矿体抗拉强度和弹性模量小,引起岩矿体内的应力释放,沿节理和裂隙崩裂和坍塌;若冲洗液的密度过高,岩矿层在高的静液柱压力作用下破裂,水极易嵌入岩矿体内部使其坍塌。

### 3 钻进施工的技术优化措施与效果

根据普查第一阶段钻进施工所出现的各类问题,对北镇杜屯石墨矿变质岩复杂地层、岩矿特性进行了深入研究。在冲洗液配方使用上确定了无固相原则,对于5组配方进行了近30次的岩矿样浸泡对比试验,选择最优配方为下阶段使用。与此同时,还对钻杆结泥皮问题、影响钻进效率、石墨矿心的采取问题、套管护壁等问题进行了优化设计。

#### 3.1 钻进工艺的优化

由于本区石墨矿层的表层风化石具有埋深浅、厚度大的特点,第一阶段施工的钻孔废孔率在很大程度上都与表层风化石采取率低(矿心采取率80%)有直接关系。为此,有必要打破常规与固有习惯,因地制宜对钻进施工进行优化,体现一切从快的原则,尽可能降低复杂地层对钻进工作的影响,做到早有预判,早有预案。

##### 3.1.1 优化钻进工艺与技术套管的程序

开口用大径取心短管( $\varnothing 89$  mm),钻过表土层后,钻遇石墨风化石,即采用轻压慢转小泵量钻进工艺采取矿心,回次进尺控制在0.50 m,以避免矿心的冲刷来保证矿心的采取率。待到孔深能下入S75绳索钻具的取心外管,即下入S75绳索取心钻具进行矿心的采取,表层风化石的矿心采完后,且钻进到相对稳定完整的岩层,再用 $\varnothing 110$  mm钻头进行扩孔,下入 $\varnothing 108$  mm的表层技术套管。

以往在沉积岩地层施工下套管,采用的都是金属 $\varnothing 108$  mm $\times$ 6.5 mm的厚壁地质钢管,其特点为重量大,需要加工丝扣和接箍,工人劳动强度大,采购、

加工、运输成本高,下入孔内后,易发生套管脱、跑事故。在第一阶段施工的19个钻孔,每个钻孔至少有2次套管脱、跑事故,多者4次,而且重新下套管都要延长一定深度,由于离队部路程较远,延长了机加工待料时间。

在吸取了以上教训的基础上,采用了农用灌溉用重体PVC塑料管作为钻孔技术套管。其最大的特点:不仅采购运输方便,而且质量轻,强度刚好,柔韧度好,耐腐蚀,易加工。选用的外径110 mm $\times$ 10 mm重体PVC塑料管,它的长度一般200 m一根,可以盘卷,不能折叠,能轻压,根据下入套管的深度选取长度,钢锯可锯断。整根送入孔内,头部固定于孔口,而且可以重复使用。由于质量轻,避免了金属套管对岩盘接触的磨损破坏及套管跑管的发生。在以后套管使用中并没有发生一起套管的跑、脱事故,同时还避免了金属套管的起拔困难的问题,在第二阶段的施工中推广了此项技术,取得了良好的效果。

##### 3.1.2 钻杆去泥皮

本区地层的最大特点是变质岩系岩矿层的高度绿泥石化、高岭土化、糜棱岩化及硅化等,岩石硬度大,必须适用高速700~1200 r/min,经钻头破碎状态下形成更碎的微小颗粒,因大量粘土类颗粒混入冲洗液后,在钻具的高速旋转离心力作用下,甩向钻杆内壁,形成粘土质涂层,进而形成较为厚韧的泥皮。

对于钻杆内泥皮去除方法,文献上鲜有报导。依据多年的实践经验,提出了破除泥皮配方:2 m<sup>3</sup>清水+0.1%~0.5% Na<sub>4</sub>PO<sub>7</sub>(焦磷酸钠)+3% NaOH+0.5%洗衣粉。用法:将配好的水溶液在岩心打捞前,用水桶将溶液缓慢倒入钻杆内,然后再打捞取心器内管总成,经过8个井队使用抑制了该区钻进时严重的钻杆结泥皮现象。

#### 3.2 冲洗液的优化

##### 3.2.1 优化后的冲洗液体系及配方

针对第一阶段施工的技术难点,确定了水玻璃、植物胶无固相防塌冲洗液体系,配方为:2%水玻璃+0.2%羧甲基纤维素(CMC)+0.2%火碱+0.5%部分水解聚丙烯酰胺(PHP)+0.3%植物胶+2%~5%氯化钾。其性能指标为:漏斗粘度16.5~21 s,表观粘度3.2~6.5 mPa·s,塑性粘度2~4 mPa·s,动切力0.5~1 Pa,密度1.02 g/cm<sup>3</sup>,失水量8~12 mL/30 min,pH值8~9,体系不分散不变形。

### 3.2.2 护壁作用的机理分析

水玻璃和植物胶对岩石具有胶结作用和吸附作用,具体为水玻璃的  $\text{SiO}_2$  凝胶与岩石表面产生物理与化学吸附作用,快速在岩石表面形成吸附膜,阻断了冲洗液中自由水的进入。植物胶属于非离子型聚合物,分子中的羟基与孔壁的吸附能力强,可在岩石表面快速形成吸附网膜,对孔壁和岩心起到保护作用。另外,水玻璃和植物胶它们的作用会相互补充,当水玻璃的 pH 值降低后,发生缩合作用生成具有三维结构的结构网,这种结构的形成可在一定程度上抑制自由水的渗透。而氯化钾的加入,可对以上二者有加强和补充作用。因石墨岩矿段具有亲水的粘土质团块,易受水化作用影响,  $\text{K}^+$  不仅能起压缩粘土颗粒双电层的作用,而且  $\text{K}^+$  进入粘土颗粒硅氧四面体六角环后,使上下两晶胞连结很紧,水分子不能再进入晶胞层间,抑制了粘土颗粒的水化与分

散,使之聚结沉淀。大分子量聚合物、水玻璃、植物胶、聚丙烯酰胺使岩屑“桥联”在一起絮凝沉淀,从而起到防止和抑制钻孔缩径和坍塌的发生。

### 3.2.3 漏失的处理

本区岩矿段的水文地质条件极其复杂,涌水、漏水频发,施工中采取了小漏顶水钻进,大的漏失则采用水泥添加速凝剂封闭漏失段。

### 3.3 取得的成果

通过以上钻进施工措施的优化,不仅保证了钻孔孔壁的稳定性,还大幅度地提高了钻进速度与钻孔质量。普查第一阶段钻探施工出现的技术难题全部予以克服和得到解决,整个北镇杜屯地区石墨矿普查、详查项目钻探施工全部得以按时保质保量完成,为详查地质报告的提交赢得了时间。完成的钻探工作量见表 1。

表 1 辽宁省北镇市杜屯地区石墨矿勘查钻探工程质量一览表

项目名称	施工日期	完成工程量/ (m/孔数)	施工 井队/ 个数	钻进 时效/ m	台月 效率/ m	一次 成孔 率/%	孔内 事故 率/%	纯钻时 间利用 率/%	岩矿心 采取 率/%	钻孔 质量	钻探效果
普 第一阶段	2012-03-01—2012-10-30	3620.90/19	2	1.45	500	30	26	30	70~80	合格	提高了钻进效率,降
查 第二阶段	2013-06-03—2013-12-30	19079.02/57	8	2.50	800	90	6	44	95~100	优质	低了孔内事故率,提
详查	2014-07-24—2014-11-30	35731.96/109	8	2.90	900	97.5	4	52	95~100	优质	高了钻孔质量,达到
合计		58431.88/185									了地质设计要求

## 4 结论

(1)北镇杜屯石墨矿床赋存地质条件复杂,构造发育,地层为变质岩系强水敏性复杂地层,孔壁稳定性极差。本次施工采用了绳索取心钻进工艺与优化后的无固相冲洗液体系,解决了钻进中出现的严重缩径、孔壁坍塌及钻孔漏失等问题;解决了绳钻钻杆结泥皮及技术套管的使用问题;解决了石墨矿心的采取问题。使用效果证明,该冲洗液体系具有很好的适用性。

(2)该无固相冲洗液防塌效果明显,对泥页岩的水化作用抑制性强,对绳索金刚石钻进润滑效果好,符合绳索金刚石钻进高速的需求,钻进效率高,钻孔质量好。

(3)该无固相冲洗液成本较低,综合效益显著,现场使用配制简便,维护方便,只需做好除泥去砂工作。施工现场最好配备小型振动筛和旋流除砂器。

## 参考文献:

- [1] 张春波,等. 绳索取心金刚石钻进技术[M]. 北京:地质出版社,1988.
- [2] 赵运兴,等. 煤田钻探技术手册[M]. 煤炭工业出版社,1986.
- [3] 武汉地质学院,等. 钻探工艺学(中)[M]. 北京:地质出版社,1981.
- [4] 李世忠,主编. 钻探工艺学(中)[M]. 北京:地质出版社,1989.
- [5] 郝瑞,等. 钻探工程(中)[M]. 北京:石油工业出版社,1980.
- [6] 东北煤田地质局 155 勘探队. 辽宁省北镇市杜屯地区石墨矿普查报告[R]. 2012.
- [7] 东北煤田地质局 155 勘探队. 辽宁省北镇市杜屯地区石墨矿详查报告[R]. 2016.
- [8] 刘志峰. 辽西杨家杖子煤田绳钻应用小泵量解析[J]. 中国煤田地质,2011,23(5):62.
- [9] 黄卫东. 无固相钻井液在沉积岩复杂地层钻探中的应用研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(12):11-12,17.
- [10] 柯学,李继营,池崇荣,等. 苏 77-5-8H 井大斜度穿煤层安全钻井技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(12):13-17.
- [11] 田明锦,孙平贺,曹函,等. 固结钻井液对湘西北页岩气储层的护壁机理研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(10):193-196.