

# 南坪矿区复杂地层深孔钻进技术研究

李振学

(武警黄金第六支队,河南三门峡472000)

**摘要:**针对南坪矿区复杂地层深孔钻进中出现的护壁堵漏难、“打滑”地层钻进效率提高难、复杂孔段采心难等问题进行了探索和研究,通过开发适合该复杂地层特点的优质系列冲洗液、引进国内先进取心钻具、选择特制孕表镶钻头等手段,有效解决了制约生产效率的难题。

**关键词:**复杂地层;“打滑”地层;深孔钻进;南坪矿区

**中图分类号:**P634.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2010)11-0012-04

**Study on Deep Hole Drilling Technology in Complex Formation of Nanping Mining Area/Li Zhen-xue** (No. 6 Detachment of the Gold Army, CAPF, Sanmenxia Henan 472000, China)

**Abstract:** According to the difficulties of deep hole drilling in Nanping mining area, study was made on the wall protection and leakage stoppage, improving drilling efficiency in sliding formation and coring in complex formation. Development of quality series of flushing liquid, fetching in advanced coring tool in China and purpose making set & impregnated diamond bits were adopted for improving the construction efficiency.

**Key words:** complex formation; sliding formation; deep hole drilling; Nanping mining area

## 1 概述

### 1.1 基本概况

南坪矿区主要岩层为安山岩、蚀变安山岩、砂砾岩、泥岩、碎裂蚀变岩等,主要蚀变为硅化、绢云母化、绿泥石化、绿帘石化,其次为碳酸盐化、高岭土化、钾化等。随着找矿认识上的突破,钻孔逐年加深,大多钻孔在1000 m左右,最深的达到1500 m,开展复杂地层条件下的深孔钻进技术研究显得尤为重要。

### 1.2 钻进技术难点

(1) 卵砾石、砂砾岩及碎裂蚀变厚度大,钻进中这类地层中的角砾及大颗粒不易排出,上返时“群体封堵”易造成憋水、夹钻,无法通过。

(2) 坍塌后造成钻孔超径严重,断钻事故易发,由于“陷塘”较大,丝锥易与事故钻杆“插肩”对接难,增加了事故处理的难度。

(3) 矿区断裂纵贯全区,地层裂隙、次裂隙发育,钻孔漏失层重复出现,治理难度大。

(4) 钻遇泥层、蚀变破碎带时,受冲洗液冲切易在孔内形成岩粉,随冲洗液返出孔外,采取困难。

(5) 矿区硅化强烈的英安岩研磨性弱,可钻性等等级高,达到10~11级,钻进效率极低。

## 2 主要钻探设备、钻孔结构及钻进参数

### 2.1 主要钻探设备

使用连云港黄海机械厂生产的HXY-6型深孔钻机施工1500 m孔,用XY-5型钻机施工1000 m以上孔,其他钻孔使用XY-44型钻机施工,形成了梯次合理、性能优势互补的设备多样化格局。泥浆泵选用BW250型泥浆泵,流量可调范围大、能适应泥浆性能变化较大的要求,易损件易更换、易维修。

### 2.2 钻孔结构

由于该矿区地层十分复杂,表层卵砾石层夹角砾、绿泥石化蚀变地层易水敏坍塌地层较深,有的深达400 m以上,往往每级套管都不可能下到位,必须预留较宽的换径余地。因此,采用“四级套管五级成孔”钻孔结构才能达到顺利施工要求。即 $\varnothing 150$  mm— $\varnothing 130$  mm— $\varnothing 110$  mm— $\varnothing 95$  mm四级钻进后,换 $\varnothing 75$  mm口径终孔。留 $\varnothing 60$  mm口径做为储备。

### 2.3 钻进参数选择

为适应不同孔深、不同地层对钻进参数的需求,通过多次反复调试、对比,筛选出钻压、转速和泵量的配比关系,见表1。

## 3 复杂地层钻进的技术工艺措施

### 3.1 配制适合不同孔段钻进的冲洗液

收稿日期:2010-03-30

作者简介:李振学(1968-),男(汉族),陕西合阳人,武警黄金第六支队工程师,钻探工程专业,从事施工技术与管理工,河南省三门峡市崤山西路,hjzdlzx@126.com。

表1 不同孔深不同地层钻进参数选择参考表

| 孔深/m    | 钻压/kN |       | 转速/(r·min <sup>-1</sup> ) |     | 泵量/(L·min <sup>-1</sup> ) |     |
|---------|-------|-------|---------------------------|-----|---------------------------|-----|
|         | 软地层   | 硬地层   | 软地层                       | 硬地层 | 软地层                       | 硬地层 |
| 0~10    | 5     | 10    | 80                        | 80  | 50                        | 50  |
| 10~80   | 5     | 20    | 150                       | 200 | 50                        | 50  |
| 80~130  | 15    | 20    | 250                       | 300 | 50                        | 50  |
| 130~280 | 10    | 15    | 250                       | 300 | 50                        | 50  |
| 280~350 | 5     | 10    | 460                       | 460 | 50                        | 50  |
| 350~500 | 减压 15 | 减压 10 | 460                       | 460 | 50                        | 50  |
| 500~600 | 减压 25 | 减压 10 | 460                       | 460 | 50                        | 50  |
| 600~800 | 减压 35 | 减压 20 | 300                       | 300 | 50                        | 50  |
| >800    | 减压 45 | 减压 30 | 200                       | 250 | 50                        | 50  |

注:表中参数仅作参考;钻进中应保持钻机的压力表、液压操纵阀状况良好;保证水泵的性能良好;孔身结构:0~80 m为 $\varnothing 146$  mm套管;80~160 m为 $\varnothing 127$  mm套管,160~280 m为 $\varnothing 108$  mm套管,280~400 m为 $\varnothing 89$  mm套管,400~750 m为 $\varnothing 73$  mm套管, $\varnothing 60$  mm钻具施工至终孔。

### 3.1.1 矿区地层对冲洗液性能要求

(1) 碎裂蚀变岩、砂砾岩可钻性弱,孔内岩粉产生量大,要求冲洗液具有良好的携粉能力;

(2) 高岭石化、绿泥石化、钾化等泥岩地层造浆能力强,冲洗液应有良好的选择絮凝作用;

(3) 为防止水敏地层遇水膨胀,冲洗液应有较低的失水量;

(4) 由于碎裂蚀变岩、砂砾岩厚度大,裸孔钻进时间长,为确保每级套管下到预定位置,冲洗液应具有有良好的胶结护壁和防坍性能;

(5) 因钻孔深复杂地层互层多,坍塌和漏失时有发生,因此,要求冲洗液具备较好的可调制性,可实现随钻堵漏性能;

(6) 孔深阻力大,要求冲洗液要有一定的润滑减阻作用。

### 3.1.2 冲洗液配方

根据矿区地层特点,在实验室设计配方的基础上,结合生产试验,针对开孔护壁防坍、随钻堵漏等开发出系列冲洗液,满足不同地层需要。

#### 3.1.2.1 上部砂砾岩地层使用的冲洗液

南坪-I号配方:膨润土5%~8%、纯碱0.25%、磺化沥青0.3%、钠基纤维素0.3%、聚丙烯酰胺钾盐0.016%。如果漏失可加入锯末 $5 \text{ kg/m}^3$ 。冲洗液性能:密度 $1.02 \sim 1.03 \text{ kg/L}$ ,粘度 $30 \sim 33 \text{ s}$ ,失水量 $10 \sim 12 \text{ mL/30 min}$ ,pH值 $8.5 \sim 9$ 。

#### 3.1.2.2 蚀变安山岩及各种泥质化地层使用的冲洗液

(1) 南坪-II号配方:钠基纤维素0.3%、聚丙烯酰胺钾盐0.13%、磺化沥青0.08%、皂化油1%(体积比)。冲洗液性能:粘度 $20 \sim 25 \text{ s}$ ,失水量 $9.5$

$\sim 10 \text{ mL/30 min}$ ,pH值 $7 \sim 8$ 。

(2) PAB无固相冲洗液配方:PA粉1%~1.2%、PB粉0.24%。冲洗液性能:粘度 $22 \sim 24 \text{ s}$ ,失水量 $6.6 \sim 8 \text{ mL/30 min}$ ,pH值 $7.5$ 。蚀变层岩样浸泡久泡不散。

该冲洗液适用于钻进高岭石化、绿泥石化等蚀变带、断层泥与角砾、粉碎状破碎带、泥质和碳质页岩层、流砂和风化岩层等复杂地层,效果很好。

#### 3.1.2.3 漏失地层的随钻堵漏冲洗液

(1) 小裂隙( $0.1 \sim 1.5 \text{ mm}$ )漏失地层使用南坪-III号配方:钠基纤维素0.3%、聚丙烯酰胺钾盐0.13%、磺化沥青0.08%、801堵漏剂0.17%、皂化油1%(体积比)。

(2) 中裂隙( $1.5 \sim 3 \text{ mm}$ )地层的漏失,采用聚丙烯酰胺钾盐溶液和惰性材料(纤维状锯末)的混合物充填堵漏。配方:钾盐浓度为1%左右,锯末浓度 $5 \text{ kg/m}^3$ 。

#### 3.1.3 冲洗液配制应注意的问题

(1) 对选材进行实验室品质鉴定。矿区建立简易泥浆实验室后,对所有泥浆材料进行了性能检测,发现市场上采购的部分材料达不到规定性能。比如有的PHP大部分含食盐成分,分子量低,纤维素粘度不够等,导致按配方但使用效果不理想。

(2) 必须预制浸泡。粘土和高分子链溶解和无机物溶解过程原理不尽相同。比如市场上购买的粘土大多数为钙土,预浸泡8 h以上是在纯碱作用下完成钠化过程;而高分子只有长时间浸泡,其大分子长链才能充分展开,在冲洗液中发挥吸附和交联作用等。如PA、PB预浸泡时间必须大于20 h,钠羧基纤维素浸泡时间至少8 h等。

(3) 要特别注意添加顺序。为避免因添加剂之间阻溶和不理想交联而导致絮凝等现象,必须按先无机后有机,分子量由小到大等顺序添加。

(4) 搅拌要充分。各种添加剂之间的交联和作用必须具备充分的接触条件,每一种添加剂加入后至少要保持 $10 \sim 15 \text{ min}$ 搅拌。

#### 3.1.4 聚合物-磺化沥青冲洗液护壁作用机理

矿区使用的冲洗液是以无固相聚合物冲洗液为主,冲洗液中的聚合物有聚丙烯酰胺钾盐和PAB等。冲洗液中另一有护壁作用的添加剂是磺化沥青。这些处理剂在冲洗液中对孔壁保护的作用机理简述如下。

(1) PAM-K盐是一种链状聚合物,其链节上带有亲水性弱的酰胺基( $-\text{CONH}_2$ )和亲水性强的

羧酸钾基(-COOK),在静止状态下,这类链状大分子在溶液中呈无规的线团状,但当冲洗液沿孔壁间隙以1~3 m/s的速度上返时,在液流不同流速层的拉动下,呈线团状的大分子被拉伸成线状,并按流向而取向,这些伸展的线形大分子,在憎水效应、范德华力和氢键力作用下,吸附到孔壁的岩土颗粒表面,或进入岩土的孔和缝从而进入孔壁内部并吸附在其表面上,或填充于其中。又由于聚合物在固液界面上的吸附具有不可逆性,即吸附上去的分子不再脱附。因此,孔壁表面会很快形成聚合物的吸附网和膜,对孔壁的不稳定的岩土颗粒给予胶结。这就是聚合物分子的吸附胶结作用,保护孔壁。

(2)PAB 冲洗液中的聚合物分子具有网状结构特征,这样结构大分子吸附成网和膜的速度更快,护壁性能更好。

(3)沥青团是组分复杂的聚合体,在发烟硫酸作用下,沥青团粒表层被分解,生成了石油磺酸、碳氢分子的聚合物和未被分解的沥青核等不同大小的产物,在碱作用下有石油磺酸钠这一乳化剂出现,并对其它不溶的成分进行乳化,而分散于水中。被乳化的沥青成分,同样会吸附于孔壁和钻杆表面,在钻杆回转时,与孔壁产生摩擦的同时,会将吸附于钻杆与孔壁上的沥青乳化球碾压摊平并贴附于孔壁上,形成沥青质膜。该膜具有粘结孔壁和隔水的作用,使孔壁得以保护。

(4)冲洗液中的 Na-CMC 能有效地提高泥浆粘度,降低失水量,增加胶体率和稳定率,增大悬浮力;能促进保护松散地层孔壁的稳定,有效地清除孔内岩粉,防止孔内事故。

### 3.2 选用先进的“Q”系列钻具

选用了无锡钻探工具厂生产的 S95 绳索取心全套钻具,采用底喷钻头。

#### 3.2.1 钻具性能特点

(1)结构简单,配件少(一般其他国产钻具 60 件,该钻具 40 件),故障概率小;

(2)设计合理,无复杂配件,通畅性好,易打捞;

(3)材质好(合金钢),强度、耐磨性、柔性好,事故率低;

(4)弹卡钳用弹卡销替代了张簧(国产钻具多为张簧),耐用,而张簧在钻进振动过程中易串位,造成回收不自如,影响打捞成功率;

(5)卡簧带防滑槽,增加了与岩心摩擦力,易于抱紧岩心,不易脱落;

(6)悬挂环、座环进行氮化处理,耐磨。

#### 3.2.2 实验效果

试验前各项调试均正常,但钻具下入孔底后,内管很难正常投到位,多次反复研究认为,该钻具设计科学、加工精度高、间隙配合紧密,受孔内水浮力的影响,内管投放过程中无法顺利排开钻具内冲洗液,使内管下到一定位置后,处于“悬浮”状态无法到位。建议生产厂家对悬挂环进行改进,内侧轴向对称设计 10 个排水孔,这一建议得到厂家技术专家认可。在 ZK5105 孔试验中,一次性投放到位,复杂孔段取心效率及打捞成功率由 11% 提高到 85% 以上。

#### 3.3 使用特制孕表镶金刚石钻头,提高“打滑”地层岩心采取率

##### 3.3.1 钻头设计原理

吉林省勘探技术研究所设计开发出复合烧结“孕表镶”金刚石钻头,改变胎体成分,加入能使金刚石较快出刃的元素,钻头下孔后,其表镶特殊层很快磨损,使孕镶金刚石能很好地出露破岩。

##### 3.3.2 使用效果

分别在 ZK498 和 ZK5110 孔进行试验,效果十分明显。

ZK498 孔 968.42~1000.25 m 段,岩石主要为灰绿~浅灰色,斑晶以斜长石为主,主要蚀变为硅化,岩石硬度 9 级,研磨性弱,可钻性达到 10 级。使用胎体硬度为 HRC25 试验钻头,进尺 31.83 m 后终孔,钻头消耗正常,还可在硬地层继续使用,小时效率同比提高 3~4 倍。

ZK5110 孔 640~701 m 段为英安岩,黑褐色,局部浅红、灰白色,斑状结构、块状构造,基质为隐晶质,主要矿物成分为斜长石、角闪石、石英等,主要蚀变为硅化,石英细脉发育,局部相互切割、穿插,宽度为 0.1~0.5 cm,最宽达到 2 cm,局部可见石英晶簇,硬度 10~11 级,可钻性 11 级。使用硬度 HRC28~30 的试验钻头,小时效率同比提高 3~4 倍,钻头使用成本降低 8~10 元/m。特殊孕表镶金刚石钻头与常规钻头使用效果对比见表 2。

### 4 取得的经济技术效果

通过对近年来施工钻孔主要经济技术指标的对比分析,可以明显地看到综合治理带来生产效率的提高。具体情况见表 3。单从数字上看,成本下降不明显,但考虑到孔深与成本的关系等因素,生产成本管控成效明显。

表 2 特殊孕表镶金刚石钻头与常规钻头使用情况对比表

| 孔号     | 孔段<br>/m       | 钻头 | 使用情况 | 平均回次进尺<br>/m | 平均时效<br>/m | 平均寿命<br>/m | 单价<br>/元 | 胎体硬度<br>HRC | 单位平均成本<br>/(元·m <sup>-1</sup> ) |
|--------|----------------|----|------|--------------|------------|------------|----------|-------------|---------------------------------|
| ZK498  | 946.96~968.42  | 普通 | 磨钻头  | 0.54         | 0.46       | 21.46      | 450      | 29          | 18.40                           |
|        | 968.42~1000.25 | 孕表 | 正常   | 2.63         | 1.97       | 31.83      | 360      | 25          | 11.31                           |
| ZK5110 | 640.13~657.45  | 普通 | 磨钻头  | 0.45         | 0.36       | 17.32      | 450      | 29          | 26.00                           |
|        | 657.45~682.10  | 孕表 | 正常   | 2.04         | 1.46       | 24.65      | 360      | 28~30       | 18.60                           |

表 3 近 3 年来取得的主要经济技术指标

| 年度   | 完成工<br>作量<br>/m | 台月实<br>进尺<br>/m | 台年实<br>进尺<br>/m | 平均台<br>月效率<br>/m | 小时<br>效率<br>/m | 单位成本<br>/(元·<br>m <sup>-1</sup> ) | 平均<br>孔深<br>/m |
|------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|----------------|-----------------------------------|----------------|
| 2007 | 5158.82         | 186             | 1289            | 352.87           | 0.64           | 495.41                            | 452.63         |
| 2008 | 4669.73         | 189             | 1334            | 325.16           | 0.59           | 485.98                            | 724.63         |
| 2009 | 10655.86        | 323             | 2131            | 467.26           | 1.12           | 469.02                            | 934.29         |

## 5 结语

(1) 冲洗液性能是解决复杂地层钻进的关键因素。性能优良的冲洗液能在较长时间内保持孔内稳定,给诸如套管、灌注水泥护孔创造有利条件。

(2) 综合治理是解决复杂地层钻进的有效手段。复杂地层的表现形式多种多样,不可能是单一因素,因此它对治理方法也不能千篇一律。

(3) 按规程操作是预防事故的捷径。比如冲洗液回灌、提下钻速度不能过快、不能长时间憋泵钻进、软地层要控制回次进尺等都是常讲常提的很重要的操作规程。

(4) 特制孕表镶金刚石钻头对提高“打滑”地层较有效,但其外径消耗较快,保径效果不十分理想。

(5) “Q”系列钻具配备底喷式金刚石钻头使用,特别是弹卡销代替了张簧机构和卡簧加长并设计防滑槽等设计,复杂地层打捞成功率和取心效率大大

提高。

(6) 新开发的南坪 I ~ III 号系列冲洗液适应范围大,基本能解决南坪矿区护壁及中小裂隙的随钻堵漏等问题。但钻遇贯通式大裂隙地层时堵漏效果不理想。

(7) PAB 无固相冲洗液初次使用,特别是钻遇蚀变的泥质地层时因吸附速度快有效成分消耗快,这是正常现象。据现场测试,这类地层每钻进 30 m,其粘度下降 2~3 s。因此,对该冲洗液的测定和调试是发挥其护壁优越性的前提和保证。考虑到节约成本和使用效率,最好是用污水泵将循环池内粘度降低的冲洗液抽回搅拌机内进行调制,循环使用。

(8) 南坪矿区因地层复杂钻孔结构较复杂,套管级数多数量大,开孔难、成孔难,施工效率提高困难。

## 参考文献:

- [1] 王文臣. 钻孔冲洗与注浆[M]. 北京:冶金工业出版社,1996.
- [2] 汤凤林,等. 岩心钻探学[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1997.

致谢:本文在编撰过程中得到了长春工程学院王文臣教授的悉心指导,并提出了宝贵的意见,在此深表感谢!

## 中国岩金勘查第一深钻在山东莱州开钻

**本刊讯** 中国岩金勘查第一深钻项目于 2010 年 11 月 9 日在地处胶东半岛的山东莱州市开钻。这一项目位于莱州市三山岛西岭矿区,钻孔设计孔深 4000 m,为目前国内金矿勘探第一深钻。承担钻探施工任务的是山东省地矿局第三地质勘查院。

莱州位于郯庐断裂以东隆起区,是一个主要由前寒武纪基底岩石为主、中生代构造与岩浆强烈发育的内生热液金矿成矿集中区。区域内金矿资源丰富,是我国重要的黄金生产基地,在世界范围内也是罕见的金矿富集区。由于各种原因,我国以前的金矿勘探和开采深度相对较浅,超深部勘探及相应科研工作一致处于空白状态。

深部找矿必须由深部钻探技术作为支撑。山东地矿局

第三地质勘查院固体矿产小口径岩心钻探施工技术与工艺一直居国内领先水平。近年来,已在辽宁本溪,山东兖州、苍山、招远等金、铁矿勘探区,多次创造国内小口径金刚石绳索取心钻探孔深纪录。这次施工的 4000 m 超深孔,质量要求高,施工难度更大。该院探矿工程技术人员在认真总结以往施工经验的基础上,针对该项目地层情况和地质要求,优化施工设计方案,制定各种技术措施,来确保项目的顺利实施。

“中国岩金勘查第一深钻”的开钻,将开创我国固体矿产勘查小口径岩心深部钻探的先河,不仅对我国金矿深部成矿预测研究具有重大理论和现实意义,而且也是对目前我国岩心钻探设备、机具及施工技术、工艺发展的一次有效检验。

(张敏、李国宏 供稿)