

# 空气反循环连续取样施工中卡钻事故的预防与处理

李雪峰, 白玉鹏

(中国黄金集团内蒙古矿业有限公司, 内蒙古 满洲里 021400)

**摘要:**利用空气反循环连续取样钻进技术,在露天矿山进行生产勘探施工,对所遇到的卡钻问题进行原因分析,确定了相应的操作规程,以便预防卡钻事故的发生,并通过施工辅助孔和套铣技术,在处理卡钻事故方面取得了很好的效果。

**关键词:**空气反循环;连续取样;卡钻;喷反接头;辅助孔;套铣

**中图分类号:**P634.8      **文献标识码:**A      **文章编号:**1672-7428(2014)08-0040-06

**Prevention and Treatment of String Sticking Accidents in Air Reverse Circulation Continuous Sampling/LI Xue-feng, BAI Yu-peng** (China Gold Inner Mongolia Mining Co., Ltd., Manzhouli Inner Mongolia 021400, China)

**Abstract:** Air reverse circulation continuous sampling drilling technology is used for the exploration construction in open-pit mine. The causes of string sticking encountered in drilling is analyzed and the corresponding operation rules are determined in order to prevent sticking accident and by the constructed auxiliary holes and milling technology, good results are achieved in sticking accident treatment.

**Key words:** air reverse circulation; continuous sampling; string sticking; jet-type reverse circulation joint; auxiliary hole; milling

## 0 引言

空气反循环连续取样钻进技术,作为地质勘探的另一种手段,在找矿、露天矿山矿体的二次圈定、矿体品位控制等方面,发挥了极其重要的作用。由于该项技术是集潜孔锤冲击回转高速碎岩钻进、压缩空气全孔反循环、钻进过程中连续获取岩样,因此它具有钻进效率高、成本低、钻孔质量好、取样率高、利于穿越复杂地层等特点,现已在地质勘探施工中得到推广应用。

中国黄金集团内蒙古矿业有限公司利用空气反循环连续取样钻进技术,在露天矿山进行生产勘探工作(施工孔深均为50 m以浅的直孔),已历时3年,在此期间,总进尺13306 m,施工钻孔426个,取得粉状袋装样品8432袋(3~5 kg/袋),在钻进效率、成本、取样率等方面,与其它钻进工艺相比,有其独特的优势,但施工中暴露出诸如卡钻之类的问题。现就卡钻的原因、预防及处理措施,对几年来的生产实践进行分析与总结,在以后的生产实践中以更好地发挥此种技术的优越性,施工现场见图1。



图1 施工现场

压缩空气是从双壁钻杆内、外管环状间隙进入孔底,由于受到钻头上部导流装置的控制,在启动潜孔锤工作的同时,冲击破碎后的岩屑通过钻头、潜孔锤、双壁钻杆内管中心通道上返,并进入取样器进行收集,从而实现反循环连续取样。在此过程中,绝大部分压缩空气是以反循环方式上返,少量压缩空气携带岩粉,通过钻头和双壁钻杆外壁与孔壁的环状间隙以正循环方式流通。在钻进过程中如果不注意及时清孔,正循环环空中的岩屑就会形成“架桥”,并不断积存,易造成埋钻、卡钻等事故。

在生产实践中,要重视正循环环空中岩屑的存在,以预防卡埋钻事故的发生,并需要总结出一套相应的操作规程,方能克服。从而有效地发挥空气反

## 1 卡钻原因

根据空气反循环连续取样钻进工作原理分析,

收稿日期:2014-03-06; 修回日期:2014-06-17

作者简介:李雪峰(1968-),男(汉族),黑龙江齐齐哈尔人,中国黄金集团内蒙古矿业有限公司采矿厂副厂长、高级工程师,探矿工程专业,从事生产勘探的管理及技术工作,内蒙古满洲里一道街51号国际邮件交换站,lxf\_210604@163.com。

循环连续取样钻进技术的优势。正循环洗孔时钻孔周围排出的岩屑见图 2、图 3。



图 2 洗孔时钻孔周围排出的岩屑



图 3 岩屑颗粒大小

2 卡钻事故的预防

2.1 选择好开孔岩层

潜孔锤钻进,不适合在表土、泥层中开孔。因为这种地层非常软,在活塞的冲击下,钻头迅速钻入地层,泥土将会堵塞钻头的排渣口以及中心管路,造成无法正常钻进。因此,在这类地层开孔时,应采用常规钻进方法,并要下入孔口管,再进行空气反循环钻进。

2.2 确定钻进参数

(1) 钻压。目的是钻头压住岩石以克服潜孔锤冲击时的反弹力,钻压过小会影响钻进效率,甚至使潜孔锤不工作,钻压过大会增加钻头的磨损,扭矩也会随之增大。所以要根据地层岩石硬度、孔深以及进尺速度,及时进行调整,其原则是:岩石由软变硬,钻压应由小变大;孔深由浅变深,钻压应由大变小;当进尺速度快,排粉不及时,造成堵塞和卡钻,钻压也应减小。总之,应根据岩层及孔深情况,保持匀速进尺,并将钻压调整至较为理想的状态。

(2) 转速。转速过快,孔底会出现未被冲击破碎的岩石间隔,导致钻具运转不平稳,并加剧钻具的非正常磨损。转速过慢,会导致孔底岩石重复破碎,

影响钻进效率。因此,转速与所钻进的岩石硬度、潜孔锤冲击频率、钻头的外径尺寸有关。转速与岩石的硬度成反比;与潜孔锤冲击频率成正比;与钻头直径成反比。这方面国内一些业内人士也做过相关的研究。不同钻头尺寸相对应的转速范围(见表 1)。

表 1 钻头尺寸与转速对应表

钻头尺寸/mm	转速/(r·min <sup>-1</sup> )	钻头尺寸/mm	转速/(r·min <sup>-1</sup> )
95	70 ~ 80	140	40 ~ 50
110	60 ~ 70	152	35 ~ 45
115	50 ~ 60	165	30 ~ 40
127	45 ~ 55		

(3) 风压。风压的高低与潜孔锤的冲击频率成正比,就是说在一定范围内,风压越高钻进速度越快,但风压高也会带来增大钻头钻具的磨损、燃油消耗大等不利影响。理论上空气上返流速为 15 m/s 左右,即可实现正常排粉。在实践中发现,按照潜孔锤的使用要求,如果达到它的最低启动风压,使其正常工作(钻遇水孔时,需增加额外压力,以克服水的背压),就可以实现正常排粉。因此,在实际工作中,应从钻进效率、成本消耗、空压机的能力等方面考虑,并随着钻孔深度的增加,可逐步加大风压。

2.3 做好钻头与卡套(孔底导流装置)的尺寸配合

随着钻头底部边缘球齿的磨损,其外径会随之缩小,因此与卡套外径尺寸的配合,也是反循环取样中应注意的问题。在生产实践中取得以下几点经验。

(1) 使用新钻头时,通过实际测量得知,Ø140 mm 球齿钻头的扩孔率在 1.4% ~ 2%,因此可使用与钻头外径尺寸相同的卡套。

(2) 随着钻头外径的缩小,其扩孔率也随之缩小,卡套的外径尺寸也要缩小,并且与钻头外径的差值要不断增大。

(3) 卡套与钻头外径尺寸的差值不可大于 4 mm,否则会造成大量压缩空气从钻杆与孔壁间的环空排出,将直接影响反循环效果,甚至无法建立反循环。

(4) 尺寸的差值在 3 ~ 4 mm 时,虽能建立起反循环,但有部分破碎后的岩屑会进入到环空中。由于环空中的空气流量较小,因此在钻进中如果不注意及时清孔的话,这部分岩屑会形成“架桥”,极易造成卡钻。

(5) 尺寸差值 < 1 mm 时,因旧钻头的扩孔率小,卡套在孔内会受到阻卡,使回转扭矩增大,不仅影响钻进效率,而且极易造成卡钻。

为此,建议将卡套与钻头外径尺寸的差值上限定为 2.5 mm,下限定为 1.5 mm。

## 2.4 认真观察,精心操作

(1) 开孔施工前应送风检查潜孔锤是否能正常启动,并加注润滑油。如果钻探设备配有自动脉冲喷油润滑装置,可将一厚板放置在钻头前面观察,在短时间之后,板上若沾满油,说明冲击器润滑良好,否则应查明原因排除故障,方可开孔钻进。

(2) 调整好相应的推进压力、转速、风压,对好孔位,将集尘罩降至孔口,开孔。

(3) 观察孔口返渣情况,当钻头与导流装置未钻入岩层时,孔口会有大量岩屑返出,此时为正循环。当钻头与导流装置全部钻入地层后,孔口返渣量会明显减少,此时观察是否有岩屑从取样器的下料口落下,如有则说明已实现反循环,否则说明钻头堵塞,应立即提钻清理钻头。在实际生产中,为使球齿钻头及卡套能够迅速钻入岩石,可选用高冲击方式开孔。由于卡套所起的导流作用,当孔深达到 0.20~0.30 m 时,即可形成反循环,岩屑顺利进入取样器。

(4) 刚开孔时,无需经常提动钻具进行洗孔,否则会使孔口岩石不稳定,造成孔口坍塌。同时,一定要控制进尺速度,不可盲目钻进,待反循环正常后,洗孔、停风、提钻。由于我们施工的生产勘探钻孔较浅,为缩短工期,没有采用下入孔口管这一工序,因此须做好孔口的清理工作,以防孔口岩屑落入到钻杆与孔壁的环状间隙中。

(5) 正常钻进中,要时时升起集尘罩,以检查环空中的排粉情况。反循环正常时,孔口环空处会有少量的岩屑排出,如发现排出的岩屑明显减少,甚至没有,说明已经出现了卡钻前的征兆,应停止钻进,进行清孔。此外,还要注意观察扭矩表和钻杆的旋转情况。施工孔径 140 mm、孔深 50 m 以浅的钻孔,在正常情况下,扭矩表指针在 3~4 MPa 之间波动,钻杆会匀速旋转。如出现指针波动范围大、钻杆转速不均匀等现象,都是卡钻前的征兆,应立即清孔。清孔的方式可先采用将钻具突然提离孔底,此时钻头会从潜孔锤中伸出,加大了钻头周围压缩空气的过流断面,会使环空中的风量加大,从而增强了正循环排粉效果,然后再继续提钻,至钻机整个行程,如此往复清孔,还可应用喷反接头进行清孔(关于喷反接头见本文事故处理 3.2 一节),直至正常后,方可继续钻进。

(6) 遇风压突然降低,冲击器不响时,应查明原

因及时处理。

(7) 孔内潮湿时,岩粉逐渐粘滞、聚结在孔壁或钻杆外壁,易形成泥环。应避免强力起拔造成泥环挤压卡死钻具,尽量下放钻具,换上喷反接头正循环冲孔。

(8) 钻遇水孔时,在停钻再开钻前,应先开风,将存在于双壁钻杆内管中的水以反循环的方式排出,待水排净后,再进行钻进取样,防止因孔内涌水与样品混合,影响化验数据。钻进中,由于环空中有水的存在,同时受到正循环排粉能力的限制,存在于环空中的岩屑不容易被排出孔外,此时要格外关注扭矩表的读数与钻杆的旋转情况,发现异常,及时采用喷反接头进行正循环冲孔,同时还要考虑不能因过分冲刷孔壁,而造成孔壁的坍塌。

(9) 停钻加接钻杆时,切不可马上停风,一定要先洗孔,再停风。因为空气钻进的优势之一就是排粉能力强,缺陷是不具有悬浮能力,环空中的岩屑会伴随着风的停止,或落入孔底,或卡在钻具的突出部位造成卡钻。总之,开、停风的原则是:开钻前要先开风再开钻,停钻前要先停钻再停风。

## 3 卡钻事故的处理

### 3.1 常规处理

在施工中,如能按照前述的操作规程,认真细致地操作,发生卡钻的概率会大幅度降低。以我们 3 年来生产勘探施工为例,发生卡钻的频率是逐年降低,在 2013 年生产施工中,没有发生一起卡钻事故。

发生卡钻时,应根据具体情况进行处理,不得强行提升钻杆,否则会造成钻杆、钻具完全卡死无法旋转。可采用开大风量并小范围内上提、下放、回转钻杆,也可采用间歇性开、停风,如此反复多次,以活动卡钻岩屑,尽可能打通正循环通道。孔口如有岩屑上返,预示着处理卡钻事故即将成功,否则就要采取新的处理措施。

### 3.2 正循环洗孔

#### 3.2.1 喷反接头结构

常规处理卡钻事故的方法无效后,可采用喷反接头进行正循环洗孔的方法,进行处理。喷反接头的结构见图 4。

图中箭头方向为压缩空气流动方向。该接头由内、外两层管组成,内管坐落在接头内壁台阶上,由孔用弹性挡圈定位,一端封闭,并且在封闭一端有 6 个径向均布的通气孔。接头两端分别与双壁钻杆的内、外管相连。

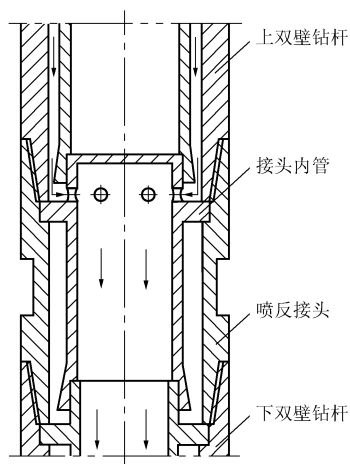


图 4 喷反接头结构示意图

### 3.2.2 原理与应用

原理:压缩空气经双壁钻杆内、外管的环状间隙,流至喷反接头内管,由 6 个通气孔进入双壁钻杆的内管,直至孔底,使压缩空气在喷反接头处改变了流动通道,从而实现了正循环。由于在反循环潜孔锤的适配管上安装有单向阀,此时该单向阀处于关闭状态,致使压缩空气、泥沙、岩屑无法反向进入潜孔锤内部(在实际工作中,经过正循环洗孔之后,对反循环潜孔锤进行检查,其内部没有发现任何泥沙和岩屑,这一点也证明了单向阀的可靠性),只能通过双壁钻杆与孔壁的环状间隙返到地表,从而达到洗孔解卡的目的。

应用喷反接头时,需注意应将钻杆从孔口以上有螺纹连接的地方卸开,并将喷反接头连接在该处,绝不能出现孔内钻杆卸扣现象,否则孔内卡钻岩屑很可能会从卸扣位置进入到双壁钻杆中,从而堵塞进气通道,给下部处理造成困难。具体处理过程与常规处理方法相同。

### 3.3 施工辅助孔

采用喷反接头进行正循环冲孔的方法,处理卡钻事故,一般情况下,均可获得成功。但在实际应用中,也曾出现了不成功的例子:2012 年在采矿场 795 平台,施工的 TK219 钻孔,在孔深 28.16 m 准备加接钻杆时,发生了卡钻事故。采用常规方法处理无效后,接上喷反接头进行正循环冲孔,这时,出现了孔口环空处不排粉,风压表读数很高的现象。经上下提动回转钻具、开停风等动作,均无效。分析认为:施工中不细致,没有注意到孔口环空处已不排岩屑。粒度较为细小的岩粉在已经形成“架桥”的岩屑处不断堆积,加之孔内潮湿,岩粉逐渐粘滞、聚结在孔壁与钻杆外壁,形成泥环,直至将环空间隙完全

封闭,造成正循环无法排粉的现象。为此,我们采用了施工辅助孔的方法进行处理,并取得成功。

具体方法就是在卡钻孔一侧紧贴卡钻钻杆,施工一个与其轴线平行的辅助孔,以此来打通卡钻孔的正循环排粉通道,再利用喷反接头,以正循环方式排出卡钻岩屑,达到排粉解卡的目的见图 5。

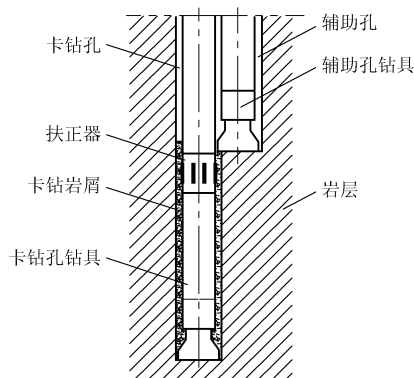


图 5 与其轴线平行的辅助孔示意

施工工艺如下。

(1) 记录好机上余尺,卸掉主动钻杆,将施工卡钻孔的钻机移走。在卸开主动钻杆过程中,同样是要保证孔内钻杆、钻具不能卸扣。若主动钻杆已进入孔内一部分,只能通过卸开回转头、卡盘的方法移走钻机。

(2) 孔内钻杆在孔口  $\leq 1$  m 出露。如果因机上余尺,钻杆达不到出露要求,应加接钻杆,以满足要求,同时要在出露的钻杆顶端加上防尘堵头,防止在施工辅助孔过程中,岩屑进入双壁钻杆。

(3) 施工辅助孔前要调整好钻具的垂直度,使其与出露地表的卡钻孔钻杆轴线保持平行,并要紧贴卡钻孔钻杆,并尽可能使用占用孔口空间较小的潜孔钻机施工辅助孔。

(4) 当钻进至卡钻钻具扶正器位置时,应换用小一级的潜孔锤及钻头。由于该处的径向尺寸比上部双壁钻杆大,且扶正器周围镶有条形合金,由此加大了该处的径向尺寸,若继续使用原级配的潜孔锤和钻头施工辅助孔,易造成球齿钻头底部边缘球齿的脱落,甚至卡钻。

(5) 整个钻进过程中,钻压不可过大,应控制好进尺速度,并且要经常提动钻具大风量冲孔,特别是在通过扶正器、钻头位置时,操作需更加注意。一方面确保辅助孔不能偏离卡钻孔,另一方面确保孔内干净,防止再次卡钻。

(6) 辅助孔深度超过卡钻孔钻头位置后,要不断上下提动钻具,并使用大风量进行冲孔,使孔内卡



钻岩屑尽可能多地返出地表,然后提钻。

(7)卸掉卡钻孔钻杆上方的防尘堵头,将钻机、主动杆以及喷反接头与其对接,同时保持好原孔的垂直度。开风上下活动并回转钻具。在施工辅助孔过程中,部分卡钻岩屑被冲出地表,打通了一部分正循环排粉通道,经过上、下回转钻具,加之正循环冲孔,就会使卡钻的岩屑全部返出地表,实现解卡。

在生产实践中,多次应用施工辅助孔的方法处理卡钻事故,均获得成功,可见在 50 m 以浅的直孔处理卡钻事故,施工辅助孔是一种行之有效的方法。

### 3.4 套铣工艺

利用施工辅助孔来处理孔深 50 m 以浅的直孔卡钻事故,已在生产实践中得到验证,但随着卡钻点的加深,该方法将无法保证辅助孔的轴线与卡钻孔的轴线保持一致,也就达不到打通卡钻孔正循环排粉通道的目的,为此需要采用石油钻井中的套铣工艺技术,来处理深孔卡钻事故。

采用套铣工艺进行打捞施工时,不需将未发生事故的钻杆返出,直接将打捞钻具套在钻杆外端,并下至孔内事故处,利用打捞钻头将事故处的钻屑等返出,以减少钻屑对事故钻具的包覆力和摩擦力,使其转动灵活,随后顺利提出打捞钻具和事故钻具,见图 6。

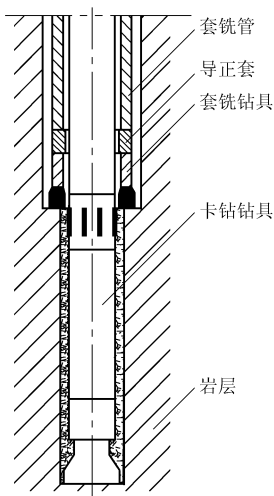


图6 套铣式工艺示意

#### 3.4.1 套铣工艺遵循的原则

(1)冲洗液有排粉、润滑、冷却钻头及护壁等功能。良好的润滑,可确保在套铣过程中,减少套铣管内外的回转阻力,从而降低事故风险,同时套铣孔壁的稳定是安全、快速处理卡钻事故的基本条件。

(2)依据泥浆泵的流量,合理设计套铣管和套铣钻具及钻头的内径与卡钻钻杆、扶正器、潜孔锤及

钻头的环状间隙。一方面保证冲洗液对卡钻岩屑进行有效地冲洗,另一方面还要保证卡钻钻具能从套铣钻具中顺利通过。

(3)用高强度厚壁套管做为套铣管,采用无内、外接箍的连接方式。一是保证套铣管强度,尤其是螺纹连接处的强度。二是保证套铣管内壁光滑无台阶,即降低了对卡钻钻杆磨损,又可以有效地利用有限的环形空间,便于卡钻钻具的顺利通过。

(4)确定单根套铣管长度。从减少事故处理时间和降低工人劳动强度的角度出发,原则上应使用单根长度较长的套铣管,但由于空气反循环连续取样钻进工艺,决定了套铣钻头不能从双壁钻杆与孔壁的环状间隙通过并到达卡钻位置,而是套住卡钻钻杆,从孔口开始进行的一个扩孔过程。因此单根套铣管长度由进行套铣施工的钻机立轴行程来决定。

(5)为确保套铣孔轴线与卡钻孔轴线保持一致,必须在套铣钻具与套铣管之间,连接导正套,以防止套铣孔打偏。由于卡钻钻杆、扶正器、钻头的外径尺寸不同,当套铣孔施工至这些部位时,应该考虑到换用内径尺寸不同的导正套,从而达到导正与钻具通过的目的。

#### 3.4.2 施工工艺

施工工艺总体上与岩心钻探类似,只是在钻进规程上有其特殊性。

(1)按照 3.3 中步骤(1)、(2)所述,移走钻机,并在钻杆顶端加上防尘堵头,由于受处理卡钻事故钻机机高的限制,卡钻孔内的钻杆不能露出孔口过多,但应尽可能与孔口平齐。

(2)根据钻孔结构与被卡钻具的尺寸和孔内情况,正确选择并准备好尺寸合适的套铣管、导正套、套铣钻头及与主动钻杆相连的异径接头。

(3)检查套铣钻机各部连接与运转情况,确保安全施工。

(4)调整好在相应岩层中进行扩孔钻进的冲洗液。

(5)组装好套铣钻具并与主动钻杆连接,调整垂直度,使其与卡钻孔内的钻杆轴线保持一致。

(6)套铣钻进规程:整个套铣过程均以低转速为宜。钻压要根据孔内情况及进尺速度随时调整。由于套铣管虽为厚壁套管,但其并非钻杆,因此不能以钻杆的承受能力为标准,使其连续不断地承受很大的扭矩和钻压。进尺速度快时,钻压要减小,进尺速度慢时,可适当加大钻压。在套铣扶正器、钻头

时,要特别注意,如果钻具跳动较大时,压力和转速都要相应地减少。冲洗液流量也要做适当控制,不可超过正常钻进时的泵量,即要满足对卡钻岩屑的冲洗上返效果,又要保证套铣孔壁的稳定,不能给孔壁造成冲刷破坏。

(7)套铣过程中,发生不正常情况时,应及时分析原因,不得盲目施工。如泵压突然升高或憋泵,要立即上提钻具,一直提到泵压恢复正常为止,发生这种现象是由井壁坍塌或环空钻屑太多造成,应立即停止套铣,待冲洗液清除岩屑循环正常后再继续套进。若查不出原因,应立即提钻。

(8)当套铣顺利通过卡钻钻头后,经冲洗液彻底循环排出岩屑,确认无包裹卡钻钻具后,先提卡钻钻具,再提套铣钻具。

#### 4 结语

几年来的生产实践证明,卡钻事故的处理固然重要,但在施工中,应将工作重点放到卡钻事故的预防上,严守操作规程,这样才能更大地发挥空气反循

环连续取样钻探工艺的技术优势,为生产勘探服务,使地质资源得到更加合理的开发和利用。

#### 参考文献:

- [1] 邓梦春,陆生林,殷琨,等.地质勘探空气反循环钻进技术找矿效果示范应用研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(3):1-6.
- [2] 李锋.空气反循环连续取样钻探技术在新疆乌什磷钒矿区的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(5):23-25.
- [3] 邓梦春,黄晟辉,殷琨,等.空气反循环取样钻探的岩样收集和缩分技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(7):73-76,80.
- [4] 田敏,赵志强,曾石友,等.小秦岭复杂地层潜孔锤反循环钻探技术试验研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(11):1-4.
- [5] DZ/T 0227-2012,地质岩心钻探规程[S].
- [6] 牟培英,董萌萌,许翠华,等.定向钻进套铣打捞钻杆的设计[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(8):64-66.
- [7] 张纯峰.套铣管技术在水文钻具事故处理中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(6):39-41,45.
- [8] 蒋希文.钻进事故与复杂问题[M].北京:石油工业出版社,2002:135-135.

(上接第 20 页)

空气锤、PDC+螺杆复合钻井方式,三开使用油基钻井液,综合应用干井筒固井、喷淋法气液转换、滤饼固化剂等配套工艺技术,有效地提高了钻井速度,保证了良好的井身质量。

(2)如何保证井壁稳定是页岩气水平井钻井的首要难题,本井主要采取 2 方面技术措施:一是使用油基钻井液,通过化学方法抑制页岩膨胀;二是采用 PDC+螺杆复合钻进,提高机械钻速,在坍塌周期内快速穿敏感地层。

(3)PDC+螺杆复合钻进过程中要注意螺杆动力不足、PDC 排屑槽泥包等问题,应合理选择钻井参数和钻井液性能。另外,由于水平段对钻头外径磨损严重,建议适当增加 PDC 保径齿的数量和硬度,以增加钻头寿命,减少起下钻次数。

#### 参考文献:

- [1] 孙坤忠,何吉标,曾鹏琨,等.滤饼固化剂在元页 HF-1 井的应用[J].石油钻探技术,2013,41(5):41-45.
- [2] 何振奎.泌页 HF1 井油基钻井液技术[J].石油钻探技术,2012,40(4):32-37.
- [3] 祁宏郡,闫振来,唐志军,等.金平 1 井长水平段水平井的设计与施工[J].中外能源,2010,15(2):56-57.
- [4] 马庆涛,葛鹏飞,王晓宇,等.涪页 HF-1 页岩气水平井钻井关键技术[J].石油机械,2013,41(8):107-110.
- [5] 唐志军,邵长明.钻井工程设计优化与应用[J].石油地质与工程,2007,21(3):75-78.
- [6] 葛鹏飞,马庆涛,郭敏.空气锤钻井技术在元坝区块陆相井的应用[J].石油机械,2013,41(8):9-12.
- [7] 董明键,肖新磊,边培明.复合钻井技术在元坝地区陆相地层中的应用[J].石油钻探技术,2010,38(4):38-40.
- [8] 张锦宏.彭水区块页岩气水平井钻井关键技术[J].石油钻探技术,2013,41(5):9-15.
- [9] 焦建芳,姚勇,舒秋贵,等.气体介质条件下固井技术在元陆 1 井的应用[J].钻井液与完井液,2012,29(4):59-62.
- [10] 马庆涛.气体钻井后气液转换新工艺[J].石油钻探技术,2013,41(5):67-70.
- [11] 周延军,陈明,于承朋.元坝区块提高钻井速度技术方案探析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(5):1-4.