

# 牛 D1 井复杂构造带绳索取心钻探工艺技术研究

麻 坦<sup>1</sup>, 郜晓勇<sup>2</sup>

(1. 东北煤田地质局一二八勘探队, 辽宁 沈阳 110122; 2. 中国地质调查局沈阳地质调查中心, 辽宁 沈阳 110034)

**摘要:**复杂构造带的绳索取心钻探易发生井漏、井塌以及取心困难等难题, 处理不当甚至可导致井眼报废。结合牛 D1 井实例, 介绍了绳索取心钻探工艺在复杂地层所遇的施工难点, 并分析诱发井漏、井塌以及取心困难的原因, 指出常规防塌堵漏技术不能满足复杂构造带钻探施工原因, 提出优选钻井液、优化钻具组合以及改进堵漏工艺等现场可操作的具体改进措施。总结的施工经验可为今后复杂构造带绳索取心钻探施工提供宝贵经验。

**关键词:**复杂构造带; 绳索取心; 钻探工艺; 井漏; 井塌; 堵漏

中图分类号: P634 文献标识码: A 文章编号: 1672 - 7428(2017)04 - 0019 - 04

**Research on Wire-line Core Drilling Technology for Niu D1 Well in Complex Structural Belt/MA Tan<sup>1</sup>, GAO Xiaoyong<sup>2</sup>** (1. Exploration Team 128 of China Northeastern Coalfield Geological Bureau, Shenyang Liaoning 110122, China; 2. Shenyang Center of Geological Survey, China Geological Survey, Shenyang Liaoning 110034, China)

**Abstract:** Wire-line core drilling is prone to the problems such as lost circulation, borehole collapse and coring difficulty in complex structural belt, some improper handling or even leads to hole being abandoned. This paper introduces the construction difficulties of wire-line core drilling in complicated area with the example of Niu D1 well, and analyzes the inducing factors of lost circulation and borehole collapse, as well as the reasons for coring difficulties; then points out the reasons why the conventional anti-collapse and plugging technologies can not meet the needs of drilling construction in complex structural belt, and puts forward some operational specific improvement measures to optimize drilling fluid, optimize drilling assembly and improve plugging process. The experience summary of Niu D1 well construction could be the reference for the future construction of wire-line core drilling in complex structural belt.

**Key words:** complex structural belt; wire-line coring; drilling technology; well leakage; borehole collapse; plugging process

## 0 引言

牛 D1 井是东北煤田地质局一二八勘探队为中国地质调查局沈阳地质调查中心承钻的一口地质调查井, 位于辽宁省凌源市牛营子乡北部, 钻探目的是建立凌源盆地地层层序并查明烃源岩特征。该井完钻井深 500.25 m, 采用绳索取心钻探工艺施工, 全井段取心, 井身结构为: 一开  $\varnothing 108$  mm 表层套管下深 70.2 m, 建立井口; 二开  $\varnothing 79$  mm 取心钻头钻至 500.25 m, 裸眼完井。地层分布自上而下主要为第四系(0 ~ 6 m)、大红峪组(6 ~ 183 m)、髻髻山组(183 ~ 256 m)、海房沟组(256 ~ 340 m)、杨庄组(340 ~ 500.25 m)。第四系岩性以黄土为主, 大红峪组以白云岩为主, 髻髻山组以红色、灰绿色角砾以及粗砾岩夹粗砂岩为主, 海房沟组以灰色砂砾岩夹

泥岩、煤层为主, 杨庄组以灰质白云岩夹泥岩、砂岩薄层为主。

工作区地处复杂构造带, 井位位于推覆体之上(即逆断层上盘), 断裂发育, 且地处煤矿采空区, 所钻遇砂砾岩层段胶结差、泥页岩段水敏性强以及碳酸盐岩层段裂隙发育并有溶洞存在。施工过程中发生大小井漏 63 次, 井壁坍塌 1 次, 漏失钻井液 1031 m<sup>3</sup>, 损失台时 653 h。最终通过优选钻井液、优化钻具组合以及改进堵漏工艺, 得以顺利完钻, 可为今后复杂构造带绳索取心钻探施工提供宝贵经验。

## 1 牛 D1 井复杂构造带绳索取心钻探施工难点

牛 D1 井复杂构造带绳索取心钻探主要施工难点为井漏、井塌(井壁失稳)以及取心困难, 详见表 1。

收稿日期: 2016 - 10 - 18; 修回日期: 2017 - 02 - 09

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“松辽外围西部盆地群油气基础地质调查项目”之“牛营子地区地质调查井钻探和测井”(编号: 12120115001001 - 04)

作者简介: 麻坦, 男, 汉族, 1988 年生, 钻井副经理, 硕士, 从事非常规油气勘探开发工作, 辽宁省沈阳市大东区大古城街 11 号, iammatan@fox-mail.com。

表1 牛D1井复杂情况统计

复杂井段/m	地层压力梯度/(MPa·m <sup>-1</sup> )	钻井液密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	复杂情况	损失台时/h
17~59	0.01	1.06	井漏,损失钻井液 416 m <sup>3</sup>	145
209~253	0.01	1.08~1.11	井漏,损失钻井液 155 m <sup>3</sup> ; 井壁失稳以及取心困难	96
261~296	0.01	1.08~1.11	井塌以及取心困难	217
447~500.25	0.011	1.12~1.16	井漏,损失钻井液 460 m <sup>3</sup>	195

### 1.1 井漏及原因分析

牛D1井12~500.25 m井段基本均为漏失段,主要漏失井段为17~59 m、209~253 m以及447~500.25 m。其中17~59 m为碳酸盐岩溶洞井段,209~253 m为灰绿色胶结差粗砾岩井段,447~500.25 m为灰质白云岩裂缝极发育井段。

由于工作区地处复杂构造带,构造推覆作用致使地层中断层以及裂缝普遍存在,而且采空区上部地层自然塌陷的牵拉作用也会增加周围地层的裂隙,导致牛D1井全井段钻井液漏失量均高于正常滤失量。特别在碳酸盐岩井段(17~59 m)由于溶洞存在而发生失返性漏失,常规堵漏效果不明显。灰绿色粗砾岩井段(209~253 m)由于胶结差、渗透性好发生渗透型漏失,单纯通过降低钻井液密度可减缓或抑制漏失,但无法兼顾井壁稳定性问题。灰质白云岩井段(447~500.25 m)因为裂缝极发育发生裂缝型漏失,通过在钻井液中加入细粒度堵漏材料(如核桃壳、锯末)的常规桥塞堵漏方法效果差,后续施工中多次发生重复性漏失,且由于煤矿采空区积水层致使水泥浆堵漏效果差。

### 1.2 井塌及原因分析

牛D1井施工过程中发生过1次井壁坍塌,进而导致埋钻。井壁失稳主要为209~253 m和261~296 m井段。其中209~253 m为灰绿色粗砾岩井段,发生粗砾石掉块现象。261~296 m为水敏性泥页岩井段,终孔前该层段发生井壁坍塌而埋钻,最终导致井眼报废。

灰绿色粗砾岩井段(209~253 m)由于胶结差,不但发生渗透性漏失而且造成井壁失稳发生粗砾石掉块现象,初始施工阶段只单纯通过降低钻井液密度防止渗透性漏失,加剧了井壁失稳现象。水敏性泥页岩井段(261~296 m)中的水敏粘土矿物水化失稳是造成该井段井壁坍塌的主要因素<sup>[1]</sup>,而钻井液化学配方不合理是造成泥页岩段坍塌的主要原因;而且泥页岩段坍塌时间是相对滞后的(坍塌在若干天后才发生),原因是泥页岩水化失稳至围岩

压力达到临界坍塌压力是一个渐变过程,滞后时间段是该泥页岩的临界坍塌时间<sup>[2]</sup>。

### 1.3 取心困难及原因分析

全井段绳索取心钻进过程中取心故障时有发生,特别在209~296 m井段,出现岩心无法进入内管、上提内管时岩心滑脱以及无法上提内管现象,造成岩心采取率低、上提钻具频繁以及进尺缓慢,绳索取心钻进优势无法体现。

由于工作区地处复杂构造带,剧烈构造作用使地层裂隙增多且降低岩体强度,特别209~296 m井段处在断层面上,构造作用最为强烈,地层整体破碎,容易造成憋钻、岩心自卡或滑脱现象。而且该井段同时出现井漏、井塌现象,也增加了取心难度。

## 2 技术改进措施

### 2.1 优选钻井液

一开使用高膨润土钻井液,二开使用聚合物低固相钻井液,配方详见表2。

表2 优选钻井液基本配方

钻井开次	钻井液体系	钻井液配方
一开 (0~70.2 m)	高膨润土钻井液	1~3 kg/m <sup>3</sup> KPAM
		30~50 kg/m <sup>3</sup> 膨润土
		2~3 kg/m <sup>3</sup> Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
		1~2 kg/m <sup>3</sup> NaOH
二开 (70.2~500.25 m)	聚合物低固相钻井液	3~5 kg/m <sup>3</sup> NPAN
		0.4%~0.5% PHP
		3.0%~4.0% KCl
		2.0%~3.0% MMH
		2.0%~3.0% CFH
		2.0%~3.0% FTJN
		2.0%~3.0% SMP
		2.0%~3.0% PA-1

一开适当增加膨润土含量,保持钻井液粘度,增强钻井液护壁能力,尽快使新钻开井壁形成泥饼<sup>[3]</sup>。

二开采用低固相钻井液体系以配合复杂地层中绳索取心工艺,可降低绳索取心故障率。而聚合物钻井液具有优良的流变性、抑制性、稳定井壁能力等性能,因此二开以下复杂地层采用聚合物低固相钻

井液。

在复杂层段将钻井液粘度提高4 s左右,提高胶结差粗砾岩井段以及断层面周围破碎层井段的护壁能力。由于泥页岩井段水化失稳易导致井塌,采用低滤失、高滤液粘度、强抑制性、适当漏斗粘度的钻井液,可抑制钻井液中自由水向地层渗透<sup>[4]</sup>,因此钻井液配方中加入强抑制性KCl,通过KCl化学抑制剂和聚合物稳定泥页岩。聚合物钻井液中的降滤失剂(PHP等)能形成有效降低滤失的高质量泥饼<sup>[5]</sup>。此外,其他消耗材料包括纯碱、防塌堵漏剂、单项压力封闭剂以及润滑剂等。

## 2.2 优化钻具组合

采用多阶梯形金刚石取心钻头,可有效适应结构松散破碎、胶结性差的复杂构造带地层<sup>[6]</sup>。

采用增大口径的取心钻头,增大环状空间。标准规格S75绳索取心钻头,其钻头外径为 $\varnothing 75$  mm,扩孔器外径为 $\varnothing 75.5$  mm,外管为 $\varnothing 73$  mm,扩孔器与外管间的间隙只有1.25 mm,在复杂孔段易导致循环压耗过高,出现憋钻、岩心自卡现象<sup>[7]</sup>。牛D1井采用特制增大口径的 $\varnothing 79$  mm取心钻头,通过增大环状空间降低循环压耗,即可减轻井内正压差减少钻井液漏失,又利于提高岩心采取率。

## 2.3 改进堵漏工艺

本次施工过程中所钻遇的井漏大体分为孔洞型漏失(17~59 m)、渗透型漏失(209~253 m)以及裂缝型漏失(447~500.25 m)。针对3种不同的井漏,牛D1井分别针对性的采用不同堵漏措施。

碳酸盐岩孔洞型漏失,首先利用惰性堵漏材料(尼龙袋、稻草等)堵漏,不必试图将漏层完全堵好,至钻井液恢复循环后边漏边钻,迅速通过溶洞层段,然后下套管封隔漏层。

胶结差粗砾岩渗透型漏失,应利用减少井内正压差以及降低漏层渗透性的堵漏原理,即通过减小钻井液密度使钻井液液柱压力小于地层漏失压力以减缓或抑制漏失,并通过在钻井液中添加防塌堵漏剂以及单向压力封闭剂等措施降低漏层渗透性,同时通过采用聚合物钻井液有利于形成有效降低滤失的高质量泥饼,既能降低漏层渗透性,又可有效护壁防止井壁失稳。应注意的是,该特殊层段钻井液性能要保持低密度高粘高切性。

灰质白云岩裂缝型漏失,因裂隙极发育,采用常规高滤失量、高粘度、高切力的堵漏钻井液时,易发

生重复性漏失,且由于煤矿采空区积水原因亦会导致水泥浆堵漏效果差。牛D1井最后采用胶质水泥浆堵漏工艺,即将堵漏钻井液与水泥浆按一定比例调配成胶质水泥浆<sup>[8]</sup>(配方见表3),泵至漏层,候凝。胶质水泥浆可较好适应含水性的裂缝型地层漏失情况<sup>[9]</sup>。配置胶质水泥浆时加入氯化钙,以调节胶质水泥浆的稠化时间<sup>[10]</sup>。

表3 胶质水泥浆配方

水泥浆密度/ ( $g \cdot cm^{-3}$ )	堵漏钻井液配方	水泥浆与堵 漏钻井液配 比(体积比)	胶质水泥浆 密度/( $g \cdot$ $cm^{-3}$ )
	聚合物低固相钻井液		
	10% $CaCl_2$		
1.74	6% 复合堵漏剂	1:2	1.49
	6% 大颗粒果壳		
	6% 单向压力封闭剂		

采用胶质水泥浆堵漏一般要求确定漏失层位置,能否准确确定井漏层位是该工艺堵漏成功的关键之一<sup>[11]</sup>。可采用辅助方法判断井漏层位,比如现场采用示踪法<sup>[12]</sup>确定漏层深度,以及通过岩心录井观察碳酸盐岩井段裂隙发育情况来间接判断所钻地层的漏失可能性<sup>[13]</sup>。

此外,人工操作时要适当控制钻进速度并降低循环排量,严格控制提、下钻速度;并注意胶质水泥浆的稠化时间以确保施工安全。

## 3 应用效果

复杂构造带的井漏、井塌以及取心困难等钻探施工难点不是相互割裂的问题,通过综合采用以上技术措施,在有效防塌堵漏的同时,也可化解绳索取心钻具取心困难的难题。通过改进施工工艺,牛D1井重钻并顺利完钻,与采取改进措施前相比施工费用减少73%、工作效率提高84%(详见表4),复杂构造带岩心采取率达89.6%,全井段岩心采取率97.4%。

## 4 结论与建议

复杂构造带井漏应先判断其漏失类型,再针对不同的井漏方式采取有针对性的堵漏工艺。

浅层孔洞型漏失首先不必试图将漏层完全堵好,尽量控制漏失速度并维持连续施工,迅速钻过漏层并下套管封隔,为深部施工打好基础,是相对节约时间和费用的堵漏措施。

碳酸盐岩裂缝的张开度以及裂缝的延伸程度

表4 采取改进措施前后情况对比

复杂井段/m	复杂情况		损失台时/h	
	废弃井	重钻井	废弃井	重钻井
17~59	井漏,损失钻井液 416 m <sup>3</sup>	井漏,损失钻井液 152 m <sup>3</sup>	145	56
209~253	井漏,损失钻井液 155 m <sup>3</sup> ;井壁失稳以及取心困难	井漏,损失钻井液 18 m <sup>3</sup>	96	8
261~296	井塌以及取心困难	无	217	0
447~500	井漏,损失钻井液 460 m <sup>3</sup>	井漏,损失钻井液 73 m <sup>3</sup>	195	37

直接关系到裂缝型漏失堵漏的难易程度<sup>[14]</sup>,在桥塞堵漏方法以及水泥浆堵漏失败的情况下,再尝试使用胶质水泥浆堵漏。

井塌应分析导致泥页岩水化失稳的主因是钻井液密度过低还是钻井液配置不合理,并注意泥页岩临界坍塌时间对施工的影响。

取心困难是由于断层周围构造作用强烈致使地层破碎造成的,应通过优选钻井液以及优化钻具组合等综合措施解决。

复杂构造带与常规地层相比对井内压力波动更敏感,要求更精细的现场操作,更应该注意开泵方式、适当减缓钻速、降低循环排量并严格控制提、下钻速度,以避免造成过高的激动压力。

堵漏工作的成功不仅仅取决于堵漏技术,很大程度上取决于人对地层的了解程度、对漏层的准确判断以及对堵漏技术的准确应用<sup>[15]</sup>;应加强前期井漏诊断预测以及井漏层位的快速判断等工作,复杂构造带防塌堵漏应以预防为主,减少被动性防塌堵漏。

本文内容主要分析解决的是复杂构造带绳索取心钻探的客观问题,而其他诸如设计合理的井身结构、高效规范的现场操作等主观因素同样必不可少。

#### 参考文献:

[1] 姜桂春. 聚丙烯酰胺无固相冲洗液在复杂地层中的应用研究

[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(1):34-37.

- [2] 金衍,陈勉. 水敏性泥页岩地层临界坍塌时间的确定方法[J]. 石油钻探技术,2004,32(2):12-14.
- [3] 邓增库,解振宗,杨文权,等. 浅部砂层井漏现象的分析及预防措施[J]. 钻井液与完井液,2008,25(5):64-66,89.
- [4] 胡继良,陶士先,纪卫军. 破碎地层孔壁稳定技术的探讨与实践[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(9):30-31.
- [5] 陈军海,陈勉,金衍,等. 确定泥页岩粘土矿物组分的新方法及对钻井液性能的优化[J]. 中国石油大学学报(自然科学版),2008,32(5):58-62.
- [6] 姜亦军,王文龙,张辉. SY系列深孔硬岩孕镶金刚石钻头的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(6):80-84.
- [7] 齐森. 复杂地层金刚石绳索取芯钻进的应对技术措施[J]. 河北煤炭,2007,(6):31-32.
- [8] 陈明旺. 胶质水泥浆液堵漏浅析[J]. 徐煤科技,1994,(4):15-16.
- [9] 王方博,王兴忠,龚德章. 高效桥塞堵漏技术在川西马井构造的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(8):6-10.
- [10] 卓云,曾庆旭,刘德平,等. 碳酸盐岩裂缝溶洞层胶质水泥堵漏技术——以川东地区蒲005-2井为例[J]. 天然气工业,2010,30(5):84-86,145.
- [11] 王苍斌. 胜利油田处理井漏主要方法之见解[J]. 内蒙古石油化工,2010,36(8):73-74.
- [12] 李相方,车仕华,唐德钊,等. 示踪法井漏位置测定技术[J]. 石油钻探技术,2001,29(3):11-12.
- [13] 金衍,陈勉,郭凯俊,等. 复杂泥页岩地层地应力的确定方法研究[J]. 岩石力学与工程学报,2006,25(11):2287-2291.
- [14] 王贵,蒲晓林. 提高地层承压能力的钻井液堵漏作用机理[J]. 石油学报,2010,31(6):1009-1012.
- [15] 王战社,沈星,戚波. 小秦岭深孔岩心钻探水泥浆护壁堵漏技术研究与应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(8):19-23.

#### (上接第9页)

(3)建议在顺北地区简化井身结构的长裸眼井段中推广应用强抑制高封堵低摩阻钾胺基钻井液体系,并进一步完善和优化核心处理剂加量,以降低油田综合开发成本。

#### 参考文献:

- [1] 金军斌,宋明全,鲍洪志,等. 加蓬G4-188区块钻井液技术难点与对策[J]. 石油钻探技术,2010,38(5):101-105.
- [2] 孙清华,邓金根,闫传梁,等. 费尔干纳盆地井壁失稳机理研究[J]. 钻采工艺,2013,36(5):9-12.
- [3] 王贵,曹成,蒲晓林,等. 塔河油田桑塔木组钻井液优化与室内评价[J]. 钻采工艺,2015,38(5):73-77.

- [4] 魏殿举,金军斌,何青水. YD油田高渗灰岩储层水平井钻井液技术[J]. 石油钻探技术,2015,43(3):23-28.
- [5] 宋明全,金军斌,刘贵传,等. 塔河油田三叠系石炭系井眼失稳机理及控制技术[J]. 钻井液与完井液,2002,19(6):15-19.
- [6] 蔡利山,苏长明,刘金华. 易漏失地层承压能力分析[J]. 石油学报,2010,31(2):311-317.
- [7] 金军斌,徐江,张玉宁. 新型硅酸盐无渗透钻井液的研究与应用[J]. 石油钻探技术,2009,37(2):48-52.
- [8] 石秉忠,金军斌. 复合金属离子聚磺混油钻井液体系的研究与应用[J]. 石油钻探技术,2000,28(5):35-36.
- [9] 李大奇,康毅力,刘修善,等. 裂缝性地层钻井液漏失动力学模型研究进展[J]. 石油钻探技术,2013,41(4):42-47.
- [10] 任立伟,夏柏如,唐文泉,等. 伊朗Y油田深部复杂地层钻井液技术[J]. 石油钻探技术,2013,41(4):92-96.
- [11] 蓝强,李公让,张敬辉,等. 石蜡纳米乳液的性能影响因素及低能乳化法制备[J]. 石油钻探技术,2012,40(1):58-63.