

# 一起地热井粘附卡钻事故的处理

刘东柱

(河北省煤田地质局燕太五处,河北 邢台 054022)

**摘要:**针对钻探工程施工中频繁发生的粘附卡钻事故,分析了发生粘卡事故的原因及相关因素,介绍了采用氢氧化钠水溶液作为解卡液的使用方法、措施和效果。

**关键词:**地热井;粘附卡钻;氢氧化钠;解卡液

**中图分类号:**TE28 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2011)08-0023-03

**Treatment of Sticking Accident in a Geothermal Well/LIU Dong-zhu** (Yantai 5th Department of Hebei Coalfield Geologic Bureau, Xingtai Hebei 054022, China)

**Abstract:** According to the frequent sticking accident in drilling construction, analysis was made on the causes and related factors. Sodium hydroxide solution was used as spotting fluid; the paper introduced the operation method and the effect.

**Key words:** geothermal well; sticking; sodium hydroxide; spotting fluid

近几年,我处在省内外施工了数十眼地热井和煤田地质孔,在钻探施工中,粘附卡钻是最常发生的卡钻类型之一。粘附卡钻是由于钻具在井内静止、设备事故、操作不当、钻具折断或脱扣等而造成的卡钻,直接威胁安全生产。

2010年我们在内蒙古某地施工一眼2500 m深的地热井,发生了粘附卡钻事故。以往我单位对发生粘卡事故的处理,均采用油浸泡的方法进行解卡,本井发生粘卡后,采用该方法处理无效。经认真分析和研究,大胆应用氢氧化钠溶液进行解卡并获得成功,为粘卡事故的处理开辟了一种既经济又高效的新方法。

## 1 事故概况

该井位于黄河北岸,距黄河约5 km,曾经属于黄河古道,所揭露的地层主要为巨厚第四系和第三系地层,其中0~820 m为第四系(Q),上部为黄色、灰色、黄灰色亚粘土、灰色淤泥以及亚粘土与中粗砂不等互层,中下部以灰色、灰黄色泥岩为主,且与粉细砂、中粗砂不等互层;820~2500 m为上第三系(R),中上部岩性以灰色泥岩、砂质泥岩、粉砂岩为主局部夹砾岩;下部为褐黄色、棕红色、灰黑色中细砂和砂质泥岩不等互层。

施工设备选用GZ-2600型钻机,钻塔选用T-27 m人字塔,选用TBW1200/7B和TBW850/5A型泥浆泵各一台,JSN-1型泥浆净化机一台,配备

Ø89 mm、Ø73 mm钻具等。

在钻进至2155 m时发生钻铤脱扣,采用公锥对接后,钻井液循环正常,在上提力达950 kN时,钻具仍一动不动。经分析确认发生了粘附卡钻事故。

事故发生时的井身结构为:0~400 m,井径450 mm,井管规格Ø339.7 mm×9.65 mm;400~1030 m,井径311 mm,井管规格Ø244.5 mm×10.03 mm;1030~2150 m,井径216 mm,裸眼。

孔内事故钻具:Ø178 mm钻铤,Ø159 mm钻铤,Ø146 mm钻铤及Ø216 mm牙轮钻头,共计46.5 m。

## 2 粘卡因素及原因分析

### 2.1 粘卡因素分析

粘附卡钻又称压差卡钻,所谓压差是指钻井液柱的压力与地层压力之差。假设钻井液柱的压力为 $P_m$ ,地层压力为 $P_p$ ,压差 $\Delta P = P_m - P_p$ ;钻具与井壁接触面积为 $A$ ;压差 $\Delta P$ 对钻具的总挤压力 $P = A \cdot \Delta P$ ,井内某一深度的静液柱压力 $P_m = 0.1\rho H$ ,根据摩擦作用的物理意义可知,摩擦阻力 $F = \mu P$ ,综上所述可得出钻具运动摩擦阻力的示意式:

$$F = \mu A(0.1\rho H - P_p)$$

式中: $F$ ——摩擦阻力或粘附力,kg; $\mu$ ——泥饼摩擦系数; $A$ ——钻具与井壁的接触面积, $\text{cm}^2$ ; $\rho$ ——钻井液密度, $\text{g}/\text{cm}^3$ ; $H$ ——卡点深度(或地层垂直深度),m; $P_p$ ——地层压力, $\text{kg}/\text{cm}^2$ 。

由上式可知,粘附卡钻是否会发生,主要取决于

收稿日期:2011-03-29;修回日期:2011-06-12

作者简介:刘东柱(1958-),男(汉族),河北邢台人,河北省煤田地质局燕太五处工程师,探矿工程专业,从事工程施工及管理工作,河北省邢台市中兴西大街199号,13603191963@139.com。

钻具与井壁间粘附力的大小。根据多年施工经验和研究分析,笔者认为,粘卡发生主要与粘卡面积(即钻具被卡段长度)和界面接触条件(即泥饼摩擦系数)有关,因此,分析影响泥饼摩擦系数的各因素,对避免发生粘卡事故十分重要。

(1)泥饼的摩擦系数越大,则粘附力越大,影响摩擦系数大小的主要因素有3点:第一,泥浆的成分和处理剂的含量不同,泥饼的摩擦系数也不同。因此施工中应采用润滑性能好的处理剂,如聚丙烯酰胺等。此外,必要时向泥浆中加入润滑剂,如石墨粉等。一般来讲,处理好的优质泥浆,泥饼的摩擦系数较小,有利于防止或解除粘卡事故。第二,泥浆含砂量越大,泥饼厚而粗糙,则摩擦系数越大,越易发生粘卡,俗话说“十口粘卡六口砂”就是这个道理。第三,当深度一定时,钻井液柱的压力是泥浆密度的函数,密度越大,则压差越大,在渗透性砂岩地层中所形成的泥饼就厚而疏松,则泥饼的摩擦系数也越大。因此,施工中一般要求使用低固相、低密度泥浆有很现实的意义,不但利于提高机械钻速,也有利于防止粘附卡钻。

(2)钻具与井壁的接触面积越大,则粘附力越大。钻具与井壁的接触面积与井身质量有直接关系,井斜大,钻具易贴井壁,极易引发粘附卡钻。因此,打直井眼也是防粘卡的重要条件之一。

目前广泛应用的定向井施工技术,由于对井斜角和方位角的特定要求,施工中更易发生粘卡事故。

泥饼质量差,泥皮厚而松软,易被压缩,也会增大钻具与井壁的接触面积。

(3)粘卡与静止时间的关系:一般来讲,是否发生粘卡和粘卡事故处理的难易程度是静止时间的函数,随着静止时间的增长,泥饼被压缩,钻具与井壁的接触面积逐渐增大,摩擦系数也逐渐增大。实践证明的“十口粘卡九口停”,就表明了静止时间与发生粘卡的直接关系。因此,钻具在井内因故静停时间不应超过3 min,长时间停等应必须把钻具提到安全的位置,一旦发生粘卡,要力争在最短的时间里注入泡液,同时,要按规定循环泥浆和活动钻具,在钻具提升能力和回转扭矩允许的条件下,要大量活动钻具,避免卡点上移。

## 2.2 本井事故原因分析

经分析,本井事故原因主要有3方面。

(1)在下钻时,钻具检查不到位,钻铤扣老化,没有及时发现和更换。钻进中,在回转扭矩的作用下,钻铤丝扣被甩开,发生钻铤脱扣,这是造成本次

事故的主要原因。

(2)泥浆性能不好。本井粘卡段的层位,是渗透性较强的中粗砂岩,在事故发生前,现场处理剂备用不足,主要以加膨润土来调整泥浆性能,而当地采购的膨润土质量差(造浆率只有4 m<sup>3</sup>/t),劣质土用量大,导致泥浆粘度高达35~45 s,密度达1.22 g/cm<sup>3</sup>,失水量为27 mL/30 min,造成压差过大,失水量高,泥皮厚,摩擦系数大。

(3)泥浆泵排量小。当时使用的是850/5A型泥浆泵,采用的是Ø110 mm缸套,虽然泵压上去了,但因排量小,对井壁的冲刷作用小,造成井壁泥皮厚而疏松并且沾污大量岩粉。当钻铤脱扣后,钻铤因重力作用靠在井壁上且压缩泥皮,使钻具与泥饼的接触面积增大。同时,在较大压差的作用下,钻铤又被紧紧地压在井壁上,进一步增大了泥饼和钻铤的粘附力,从而导致粘附卡钻。

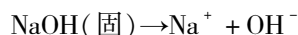
## 3 解卡剂的选择及解卡机理

发生粘卡事故后,首次采用柴油解卡,在注入柴油静停浸泡20多个小时后仍无效。经分析,本井粘卡位置较深,上下钻时间较长,使粘卡点逐步上移,粘卡面积增大,因此,造成粘卡严重且不易解卡;若采用其他方法处理,在财力和时间上会造成较大的浪费,处理不当,甚至会造成钻孔报废。经慎重研究决定,下一步的处理仍以解卡为第一方案,因此,二次浸泡采用氢氧化钠进行解卡。

氢氧化钠又名苛性钠、火碱、烧碱,分子式为NaOH,工业品为乳白色固体,密度在2.0~2.2 g/cm<sup>3</sup>之间,呈强碱性,pH值达14,具有很强的腐蚀性,易吸湿,从空气中吸收CO<sub>2</sub>变成NaCO<sub>3</sub>,在钻探施工中,一般作为泥浆pH值调节剂。

氢氧化钠用于解卡,在没有相关资料和使用经验的情况下,我们进行了大胆尝试。首先在现场作简单小样浸泡试验。把现场使用的膨润土做成粘土球,放入不同的玻璃容器中,分别加入不同浓度的氢氧化钠溶液,在静止放置一定时间后,容器内的粘土球变得很软,呈现为易分散的粘土颗粒集合体,一般静止6~8 h有此现象。从试样结果知,碱液浓度越高,其浸泡效果越好。

上述特征反应在泥浆体系中是基本的离子交换作用,氢氧化钠是一种强电解质,水中完全电离,可供高浓度Na<sup>+</sup>和OH<sup>-</sup>,即:



氢氧化钠在泥浆中作为一种分散和活化介质,

主要是  $\text{Na}^+$  离子与泥浆、粘土中的  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{Mg}^{2+}$  离子进行离子交换,使  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  离子形成低溶解度的氢氧化物, $\text{Na}^+$  离子吸附于粘土粒子上,使钙质粘土转变为钠质粘土;进而就有可能逐步地渗入泥皮,使聚结的泥皮润湿、乳化、软化和分散,从而达到拆散泥饼结构,降低摩擦系数的目的。

本井采用氢氧化钠进行解卡,在较高的井温和氢氧化钠溶解温度的双重作用下,使事故段的温度很高,这一高温作用会增大解卡液对泥饼的分散瓦解和破坏作用,这一高温条件下的解卡机理有待今后进一步探讨。

## 4 事故处理

### 4.1 采用浸泡液解卡的几个关键问题

首先要弄清卡点位置,在采用公式计算卡点深度时,要注意取值的准确性,必要时换新的拉力表;第二,计算解卡剂用量时,应根据粘卡长度、地层岩性及其缩(扩)径大小、以及地面损耗来取  $K$  (附加系数)值,一般取值范围为 1.1 ~ 1.5;第三,必须同时准确计算出替浆量(操控时,易小不易大);第四,浸泡液和替浆量若分次泵入时,必须准确计量。

### 4.2 卡点位置的确定

本井的卡点在钻铤脱扣的位置,即在 2155 - 46.5 = 2108.5 m 处,丢在孔内的 46.5 m 钻铤为粘卡长度。这样确定卡点,是因为脱扣后上部钻具及钻铤全部提出,丢在孔内的钻铤发生粘卡,这是本井粘卡的特点。一般情况下,计算卡点深度的经验公式为:

$$H = KL/P$$

式中: $H$ ——钻柱最上一个卡点深度, m;  $P$ ——钻杆未受卡部分连续上提的平均拉力,  $P = (P_1 - P_0) + (P_2 - P_0) + (P_3 - P_0) + (P_n - P_0)/n$ , t;  $L$ ——未被粘卡部分连续提升时的平均伸长, cm;  $K$ ——钻杆系数,不同尺寸和壁厚的钻具其  $K$  值不同,  $K = EF/10^6 = 21F$ ;  $E$ ——钢材弹性系数 =  $2.1 \times 10^6$  kg/cm<sup>2</sup>;  $F$ ——管体横截面积, cm<sup>2</sup>。

利用此公式取值计算时,上提拉力  $P_1$  应大于卡钻前的钻具悬重  $P_0$ ,且多次提拉时,  $P_n > P_{n-1} > P_{n-2}$ ,  $n > 2$ 。

### 4.3 计算解卡液用量

解卡液的用量,应根据井径、被卡段钻具规格、地层缩(扩)径大小以及地面损耗因素确定,根据解卡液用量计算式:

$$V = 0.785K(D_1^2 - D_2^2)H + 0.785d^2h$$

式中: $V$ ——解卡液总量, m<sup>3</sup>;  $K$ ——井径系数,一般  $K$  取值 1.1 ~ 1.4;  $D_1$ ——井径, m;  $D_2$ ——钻具外径, m;  $H$ ——钻具外解卡液浸泡高度, m;  $h$ ——钻具内解卡液高度, m。

按管外高于卡点 25 m,管内高于管外 50 m,  $K$  值取 1.3,下部被卡钻具均视为  $\varnothing 159$  mm 钻铤,上部钻具为  $\varnothing 89$  mm 钻杆,  $\varnothing 159$  mm 钻铤内径为 72 mm,  $\varnothing 89$  mm 钻杆内径为 70.2 mm,则:

$$\begin{aligned} V &= 0.758 \times 1.3 [(0.216^2 - 0.159^2) \times 46.5 \\ &\quad + (0.216^2 - 0.089^2) \times 25] + 0.785 \\ &\quad \times (0.072^2 \times 46.5 + 0.0702^2 \times 75) \\ &= 2.482 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

### 4.4 替浆量计算

在计算解卡液用量的同时,必须准确地计算出替浆量:

$$V_{\text{替}} = V_0 + V_{\text{地}}$$

式中: $V_{\text{替}}$ ——替浆液总量, m<sup>3</sup>;  $V_0$ ——钻具内替浆量, m<sup>3</sup>;  $V_{\text{地}}$ ——地面管路内的替浆量, m<sup>3</sup>。

采用  $\varnothing 73$  mm 钻杆和  $\varnothing 89$  mm 钻杆,长度分别为 1958.5 和 150 m。  $\varnothing 73$  mm 钻杆内径为 54.6 mm,方钻杆上余 8 m,内径为 71.7 mm,地面管路、立管和高压管内径均为 76 mm,总长 30 m,泥浆泵 6 in 吸浆管长 9 m,内径 152 mm。则:

$$\begin{aligned} V_0 &= 0.785 [0.0546^2 \times 1958.5 + 0.0702^2 (150 - 75)] \\ &= 4.8734 \text{ m}^3 \\ V_{\text{地}} &= 30 \times 0.785 \times 0.076^2 + 8 \times 0.785 \times 0.0717^2 \\ &\quad + 9 \times 0.785 \times 0.152^2 \\ &= 0.332 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$V_{\text{替}} = 5.205 \text{ m}^3$$

在 3 m<sup>3</sup> 容器内,先将 2.482 m<sup>3</sup> 解卡液泵入钻具内,随后泵入 5.205 m<sup>3</sup> 替浆液,将解卡液送到位。

### 4.5 事故处理新方法

在本次事故处理过程中,利用泵压,使事故段中的浸泡液上下串动,加快了泥饼的分解和破坏作用,具体操作如下。

通过小样分析,采用浓度为 25% 的氢氧化钠水溶液作为解卡液,用泵将其一次送入事故钻具段,在静止浸泡的时间内,分时段地打开泥浆泵阀水管的阀门,利用此时较高的泵压,使泥浆经阀水管往外喷出;而后关闭阀门,然后开泵往井内注入泥浆(喷出和顶入的量要相等)。在浸泡过程中,通过人为操作,给浸泡液施加这一外力的目的是要造成事故段

(下转第 28 页)

### 3.3.2 现场工艺技术操作

因为本井采用套管射孔完井,钻井施工过程中发现井壁不稳及时提高了钻井液密度,由  $1.15 \text{ g/cm}^3$  提至  $1.20 \text{ g/cm}^3$  再提至  $1.22 \text{ g/cm}^3$ ,失水量最低  $2.9 \text{ mL}$ ,有效预防了井壁坍塌造成井眼不规则和套管下入的困难。轨迹控制过程也尽量降低造斜率,使井眼轨迹平滑。从水泥返高反算井眼直径  $237.78 \text{ mm}$ ,平均井径扩大率  $10.14\%$ 。

套管在井内环空返速比钻杆钻进时高出  $9\%$ ,下完套管后控制洗井时间防止长时间洗井冲蚀井壁造成井壁坍塌。特别是停泵安装固井工具停止循环期间,易出现井下复杂,易在替量时造成环空不畅从而影响顶替效率。

固井替钻井液施工过程中,最大替速  $2.2 \text{ m}^3/\text{min}$ ,最大替压小于  $7 \text{ MPa}$ ,环空通畅,替压低,紊流顶替保证了固井质量。

2010年3月18日,固井质量变密度测井得出结论:固井质量优质。

## 4 结论与建议

(1)合理的井身结构设计和优质的实钻井眼质量是水平井固井成功的前提。

(2)提高水平井固井质量的关键是提高水泥浆顶替效率。翻156-平158井在合适的位置合理的选用了不同型号的扶正器,对保证固井质量起到了重要作用。

(3)优选水泥浆体系,要求具有高沉降稳定性、良好的流变性、零析水低失水、短稠化时间与短过渡时间,并具有一定的触变性。

(4)大庆油田的水平井固井技术以及采取的各种工艺措施,为今后各油田提高水平井固井质量提供了参考,建议各油田结合本油田特点,开发出适合本油田的水平井固井工艺技术。

### 参考文献:

- [1] 徐鑫,彭志刚,李文才,等.胜利油田水平井固井新技术[J].钻井液与完井液,2009,26(6):37-39.
- [2] 李正国,蒋新立,等.大牛地气田水平井固井技术应用分析[J].西部探矿工程,2008,(9):69-72.
- [3] 李建成,吴洪波,孙吉军,等.哈德油田水平井固井工艺技术[J].钻井液与完井液,2005,22(4):78-80.
- [4] 冯京海,郝新朝,白亮清,等.冀东油田水平井固井技术[J].石油钻采工艺,2007,29(S1):32-36.
- [5] 王合林,钟福海,等.华北油田水平井固井技术[J].石油钻采工艺,2009,31(4):113-115.
- [6] 韩烈祥,向兴华,等.水平井固井技术新进展[J].天然气工业,2007,27(12):86-88.

(上接第25页)

浸泡液体的上下运动,使其产生振荡,对井壁泥皮进行扰动,进而使早期受到破坏的泥皮脱落。其结果进一步增加了浸泡液对泥皮的渗透和破坏效果。

在浸泡的同时,不断的活动钻具,经过近  $20 \text{ h}$  的浸泡和处理,在粘卡事故经过长达  $142 \text{ h}$  后成功解卡,创造了事故钻具深、粘卡时间长并成功解卡的先例。

此时,钻具自重  $416 \text{ kN}$ ,解卡时的最大拉力达  $570 \text{ kN}$ 。

在配制和注入氢氧化钠浸泡液的过程中,工作人员须佩戴专用劳保用品。

为避免浸泡液对钻具的腐蚀,应在火碱液中加入  $0.8\% \sim 1.2\%$  的甲醛。

## 5 结语

通过本次事故的处理,我们认识到氢氧化钠水溶液有较好的渗透性,能破坏泥浆、泥皮的结构,降低泥皮的粘滞系数,从而使钻具解卡。实践证明,氢氧化钠用于处理粘卡事故,具有时间短、见效快、成本低、经济效益好、解卡能力强的特点。本次采用氢

氧化钠水溶液成功解卡,为今后处理粘附卡钻事故探索出了一种新方法、新措施。

通过本次事故教训,使我们认识到,为确保安全生产,防止粘附卡钻的发生,要不断地提高生产管理,施工中必须始终加强泥浆管理,使泥浆性能符合设计要求;加强对设备、钻具的检查和维修,保证在钻进过程中正常运转;合理组合钻具,选用适岩的钻进技术参数,保证井身质量;加强供电管理,停电时按规定时间活动钻具;深井施工中,泥浆中要加入润滑剂,以降低摩阻系数;使用好固控设备,使固相含量  $< 2\%$ 。一旦发生粘卡事故,要准确分析和判断,及时“对症下药”。

### 参考文献:

- [1] 张克勤,陈乐亮.钻井技术手册(二)钻井液[M].北京:石油工业出版社,1988.
- [2] 曾祥熹,等.钻孔护壁堵漏与减阻[M].北京:地质出版社,1981.
- [3] 编写组.钻井手册(甲方)[M].北京:石油工业出版社,1990.
- [4] 赵金州,张桂林.钻井工程技术手册[M].北京:中国石化出版社,2004.
- [5] 蒋希文.钻井事故与复杂问题[M].北京:石油工业出版社,2006.