水平井卡钻事故处理实践及预防措施探讨

耿书肖，张永青，奚国银，彭艳香
(中国石油渤海钻探工程有限公司第六钻井工程分公司，河北 晋州 052260)

摘　要：冀中地区第三系地层以紫红泥岩、灰色细砂岩为主，泥岩造浆能力较强，有些地区地层很不稳定，给钻井施工带来难度，特别是水平井施工工艺复杂，极易发生卡钻事故，一旦发生卡钻事故，处理不当，损失巨大。通过一口水平井事故的发生、事故成功解除为例，总结出水平井施工过程中的复杂事故预防措施，对该地区及其它地区水平井施工提供一些借鉴。

关键词：华北油田；水平井；LWD；卡钻；解卡
中图分类号：TE28　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1672－7428(2010)02－0009－05

Treatment Practice for Sticking Failure in Horizontal Well and Discussion on the Prevention Measures/*GENG Shu-xiao*, *ZHANG Yong-qing*, *XI Guo-yin*, *PENG Yan-xiang* (No. 6 Drilling Engineering Company, CNPC Bohai Drilling Engineering Co., Ltd., Jinzhou Hebei 052260, China)

Abstract: Teriary strutum in Central Hebei is mainly of purplish-red mudstone and fine grey sandstone with strong mudstone mud making, some formations are very unstable, which make drilling construction difficult with drill bolcking. The paper summed up the prevention measures for complicated accident in horizontal well construction with a successful treatment case, which could be the reference to horizontal well construction in Central Hebei district and other places.

Key words: North-China oil field; horizontal well; LWD; sticking failure; jam release

水平井因为井眼贯穿油层段长，单井产量是普通直井产量的几倍到数倍，从而受到各油田企业的广泛重视。同时水平井因施工作业工序繁复，仪器昂贵，泥浆材料费用高，属高难度、高成本定向井，施工作业中稍有不慎将会损失惨重。西柳 10 平 1 井是一口设计垂深 3145.17 m、斜深 3665.20 m 的中曲率水平井，完钻层位 Es_3，实钻垂深 3146.04 m。当二开钻至 3321.65 m 测斜时发生井塌卡钻事故，后经过注入解卡剂浸泡钻具、调整钻井液密度、重晶石加重、清除井内石灰石及劣土含量、充分循环、震击等措施成功解卡。本文结合西柳 10 平 1 井事故分析查找原因，总结处理经验，探讨事故的预防措施，对于水平井安全施工具有非常重要的意义。

1　地质情况

1.1　构造特征

西柳 10 平 1 井位于河北省高阳县小王果乡，冀中坳陷饶阳凹陷蠡县斜坡西柳 10 断块。西柳 10 断块沙一下段和沙三段的构造形态具有较好的继承性，北高南低，轴部分布平缓，倾角 4°～5°。自上而下钻遇第四系平原组和上第三系明化镇组、馆陶组以及下第三系的东营组、沙河街组。明化镇组地层以砂泥岩互层为主，稳定性差，渗透性好，易造成缩径、井壁垮塌。东营组地层以紫红色泥岩为主，其造浆能力较强，个别地区地层含有油页岩，油页岩极不稳定。

1.2　地质分层(见表 1)

表 1　地质分层情况表

地层	底界深 /m	厚度/m	岩性	复杂情况预测
平原组	350	350	粘土及未成岩流砂	防垮、防斜
明化镇组	1675	1325	棕红色泥岩与黄色粗粉砂岩互层，下部砂层较上部少	泥岩易吸水膨胀，造浆性强，砂岩及含砾砂岩泥质胶结防垮、防斜、防卡
馆陶组	2105	430	杂色砾岩为主夹棕红色、紫红色泥岩，底部为杂色砾岩，泥岩	泥岩易吸水膨胀，防斜、防卡、防掉牙轮
东营组	2745	640	紫红色、灰绿色泥岩，浅灰白色砂岩与灰白色细砂岩为主	防卡、防漏
沙　沙一街	3015	270	灰色、紫灰色泥岩与浅灰色含钙细砂岩，灰褐色油页岩，浅灰色质细砂岩，油斑生物灰岩	
河　沙二、三	3145	130	深灰色和暗灰色泥岩与灰色含钙细砂岩，棕褐色细砂岩	

收稿日期：2009－11－20；**修回日期**：2010－01－06

作者简介：耿书肖(1965－)，男(汉族)，河北栾城人，中国石油渤海钻探工程有限公司第六钻井工程分公司工程师，钻井专业，从事钻井现场管理工作，河北省晋州市渤海钻探第六钻井工程分公司，hbygsx@163.com；张永青(1966－)，男(汉族)，河北衡水人，中国石油渤海钻探工程有限公司第六钻井工程分公司工程技术服务中心主任，钻井专业，从事钻井技术管理工作。

万方数据

2 工程设计

2.1 井身结构(见图 1)

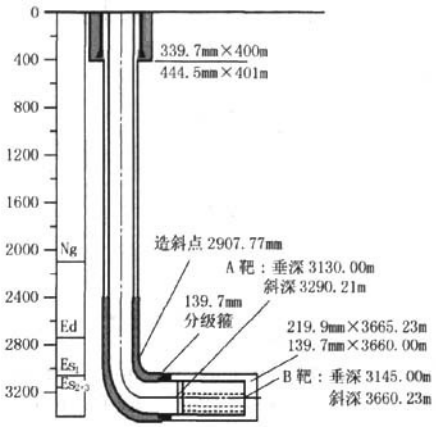

图 1 井身结构示意图

2.2 井身轨迹设计(见表 2、表 3、图 2)

3 施工情况

西柳 10 平 1 井 2006 年 2 月 28 日一开,3 月 3 日二开。2881 m 井深处开始造斜,钻至井深 3160 m 井斜 60°时,中途电测后下入 LWD 继续造斜至 3276.01 m 入窗,4 月 1 日钻至 3321.65 m(水平段 45.64 m),测斜时发生卡钻。浸泡解卡剂后于 4 月 7 日 9:30 循环震击解卡。解卡后起出 LWD,下钻头加 1 根钻铤通井,下钻顺利一次到底。短起时基本顺利,但下钻至 3060 m 遇阻,2680 ~ 3010 m 处的灰色泥岩、油页岩地层垮塌,划眼非常困难,返出大量岩屑,划眼多次才到底。经请示甲方提高泥浆密度至 1.30 g/cm^3,同时加入大量防塌剂后井下方趋于正常。恢复生产后泥浆密度一直维持在 1.30 g/cm^3,将原钻具组合中的 LWD 改为 MWD 加伽玛顺利地钻至 3505 m 完钻。

实际井身轨迹如图 3 所示。

表 2 水平井剖面设计

井底设计垂深/m	井底闭合距/m	井底闭合方位角/(°)	造斜点井深/m	最大井斜角/(°)	A 靶垂深/m	靶点闭合距/m	靶半高/m	靶半宽/m	B 靶垂深/m	靶点闭合距/m	靶半高/m	靶半宽/m
3145.17	640.92	252.15	2907.77	87.68	3131.00	266.23	0.50	5.00	3145.00	635.92	0.50	5.00

表 3 水平井轨迹设计明细表

井深/m	井段		造斜率/[(°)·(30 m)$^{-1}$]	井斜角/(°)	方位角/(°)	垂深/m	水平位移/m	南北/m	东西/m
2907.77	上直段		0.0	0.00	252.15	2909.77	0.00	0.00	0.00
3107.77	第一造斜段		9.0	60.00	252.15	3073.17	95.49	-29.27	-90.90
3178.44	第二造斜段		1.8	64.24	252.15	3106.21	157.94	-48.41	-150.34
3260.20	第三造斜段		7.5	84.68	252.15	3127.99	236.30	-72.43	-224.92
3290.20	调整段(A 靶点)		3.0	87.68	252.15	3129.99	266.23	-81.61	-253.41
3660.20	水平段	B 靶点	0.0	87.68	252.15	3144.97	635.92	-194.93	-605.31
3665.20		井底	0.0	87.68	252.15	3145.17	640.92	-196.46	-610.07

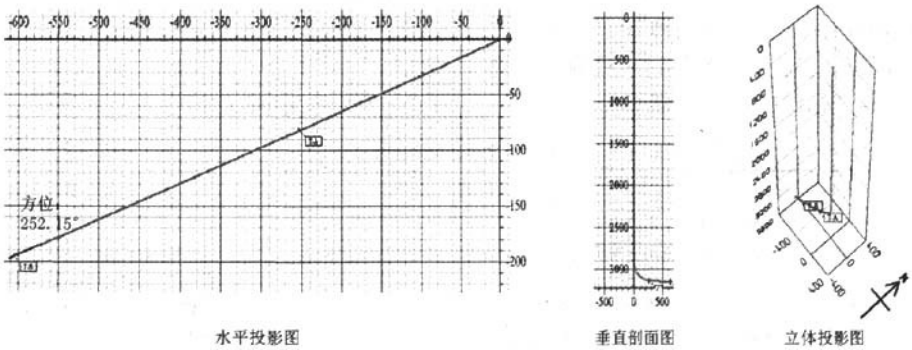

图 2 西柳 10 平 1 水平井井眼轨迹设计图

4 事故发生经过

2006 年 4 月 1 日 13:20 下钻到底,15:20 循环测后效,钻进至 17:00 井深 3302.54 m 时,根据甲方现场指令补测 3275 ~ 3286.43 m LWD 曲线。20:10 ~ 21:00 钻进至 3307.98 m,22:00 循环测斜。22:40 钻进至 3312.12 m,4 月 2 日 4:45 反复循环测斜(期间间断钻进 3 m)。5:18 钻进至 3321.65 m 打完

万方数据

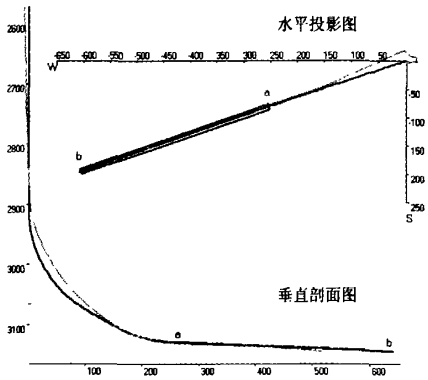

图 3　西柳 10 平 1 井设计与实钻水平投影图和垂直剖面图

方入,5:28 循环划眼(工程要求),5:31 测斜未成,5:35 循环活动,5:40 离井底 1.64 m 重测井斜,方位测不出。之后即上提钻具遇卡,下放到 600 kN 方余放完,转动无效。6:00 提高排量至 35 L/s 循环,最大上提 1600 kN,钻具卡。

钻具组合:Ø216 mm PDC + Ø172 mm × 1.25°单弯单扶螺杆 + Ø172 mm LWD 组合(13.58 m) + Ø127 mm NWDP × 2 根 + Ø127 mm DP × 69 根 + Ø127 mm WDP × 20 根 + Ø159 mm 震击器 + Ø127 mm WDP × 9 根 + Ø127 mm DP。

泥浆性能:密度 1.25 g/cm^3,粘度 52 s,中压失水 3.2 mL,泥饼厚 0.5 mm,初切力 4 Pa,终切力 7 Pa,含砂量 0.2%,pH 值 8.5,高温高压失水 9.5 mL,45 min 摩阻系数 0.04,墩土含量 64 g/L。

5　事故处理过程

卡钻发生后,活动钻具,间断开泵循环保持水眼畅通,等解卡剂。

4 月 3 日 6:40 注解卡剂 19.5 m^3,浸泡井段 2835 ~ 3321.65 m。到 4 月 6 日 8:00 浸泡、活动、下击无效,测卡点 3085 m。

4 月 6 日 11:30 研究决定再打解卡剂浸泡。用重晶石加重原浆密度,调整泥浆性能,控制中压失水量 < 3 mL,高温高压失水量 < 7.5 mL,替出井内的解卡剂,准备第二次注入 30 m^{3}解卡剂浸泡。

6 日 14:00 开始处理泥浆,除去有害固相及石灰石,补充满所有循环罐及 40 m^{3}储备罐(新上 40 m^{3}罐),总泥浆量达到 150 m^3,保证一次连续将井内泥浆替出。用重晶石加重,加入 0.5% 防塌剂 FT103 及乳化沥青,0.5% SMP,密度 1.25 g/cm^3,充分地面循环,使性能达到要求。

7 日 1:05 替解卡剂,缓慢开泵逐渐增大替浆排量至 33 L/s,2:05 解卡剂返出地面,8:00 循环处理泥浆,循环过程中有大量的大块地层掉块返出。测卡点 3019 m,9:30 循环、震击解卡。

6　卡钻的性质及分析

分析认为,该井卡钻是砂桥卡钻或以岩屑床卡钻为主,可能也有粘卡的成份。而岩屑床的形成不是水平段的岩屑,是井壁大量掉块下沉至大井斜段下井壁未及时带出所形成,理由有以下几点:

(1)卡钻前 4 m 岩屑录井发现异常,3318 ~ 3320 m 岩屑中发现大量泥饼,这是井壁垮塌的前兆。而 3321.56 m 岩屑中有近 20% 的剥落掉块的片状岩屑,这是以前未有的。

(2)卡钻后循环过程中高架槽发现大量的垮塌岩屑。

(3)在打解卡剂过程中,当解卡剂进入环空后泵压由 17 MPa 升高至 21 MPa 后降为 19 MPa,这应该是解卡剂推动岩屑运移所至。

(4)替出解卡剂过程中返出大量的井壁垮塌砂样,掉块很大。经地质技术人员确认,主要是 2954 ~ 3006 m 井段的岩屑。

(5)替出解卡剂后,循环 7.5 h 下击数次解卡,解卡瞬间泵压由 16 MPa 上升至 18 MPa,说明砂子活动后解卡。

(6)解卡后,有大量的大块岩屑返出,不敢停泵。

(7)解卡后起出 LWD,下钻头加 1 根钻铤通井,下钻很顺利,一次到底,短起时基本顺利,但下钻至 3060 m 遇阻,划眼非常困难,返出大量岩屑,经地质确认是 2680 ~ 3010 m 处的灰色泥岩及油页岩。划眼多次才到底,分析井下仍在垮塌,请示甲方将泥浆密度提高至 1.30 g/cm^3,又加入大量防塌剂,井下方趋于正常。之后一直采用密度 1.30 g/cm^{3}的泥浆钻进,井下施工都比较正常,直到完钻。

7　卡钻原因分析

7.1　砂桥形成的最主要原因是井壁不稳

首先浸泡时间过长是造成井壁不稳定的原因。邻井均已证实,该区块地层油页岩及其以下地层的泥岩极不稳定,浸泡一定时间,一般是 5 天左右,将发生垮塌,而且垮塌是周期性的。本井定向施工以后,由于 MWD、LWD 仪器信号不稳定的原因反复测斜,反复扭方位造成钻井速度慢,从 2881 m 开始定向,到 3276.81 m 着陆,后钻至卡钻时的井深

万方数据

3321.65 m,进尺仅440.65 m,却耗时21.53天。其中在卡钻前有长达6 h 5 min的时间进尺只有3 m,时间主要用在了反复测斜上。

其次是泥浆密度偏低造成井壁不稳定。邻井施工时使用的泥浆密度都在1.28 g/cm^{3}以上,而本井设计泥浆密度最高为1.25 g/cm^3。设计用石灰石加重泥浆密度的极限为1.25 g/cm^3。

7.2 大量剥落掉块甚至垮塌岩屑未及时带离大井斜段是造成砂卡的直接原因

首先是大井眼的存在造成大块岩屑携带困难,电测证实2954~3006 m油页岩井段平均井径30.5 cm,井径扩大率41%,钻进过程中排量33 L/s,返速0.55 m/s。

其次是反复测斜,间断开泵停泵,岩屑运移效果大受影响。

7.3 不排除粘卡的可能性

用石灰石加重(石灰石用量过大,卡钻前已使用130 t)泥浆中固相含量过高(实测已达18%),造成泥饼质量差,实测其它性能均达设计要求,摩阻系数45 min仅0.04(设计<0.08),高温高压失水量9.5 mL(设计<10 mL)。

其次是测斜要求每打完一个单根,循环划眼到底后,上提钻具1~1.5 m,停泵1 min后再开泵4 min左右读数据,并且测斜期间钻具不能活动,钻具共静止时间5 min以上。

8 水平井事故复杂预防措施

针对西柳10平1井的卡钻事故,结合近几年来水平井施工的经验,提出水平井的事故复杂预防措施。

(1)加强井眼的净化。由于水平井井斜大、位移大,钻屑受自身重力的作用向下运动,如果没有外力的作用,在井眼下井壁越积越多,从而形成钻屑沉积床,使问题复杂化。为了保证井眼的净化,可采用以下一些措施。

①保证足够的泵排量,即保证足够的环空返速,以破坏岩屑床的形成,从而达到清洗井壁的效果。国外大量研究表明,在各种井斜角下,无论使用层流还是紊流,提高泥浆的环空流速都能提高清岩效果,随着排量的提高,钻屑沉积床的厚度迅速减少,当排量高于"临界"值后,钻屑沉积床的厚度基本为零。为此在大斜度井中应保持尽量高的环空流速。

②井斜超过55°以后采用紊流的清除效果更好。研究表明,在井斜角<45°的井中,层流能产生最佳的井眼清洁效果,增加泥浆屈服值将提高清井效果。而在井斜>55°井中紊流的清除效果更好。紊流只取决于流体的动量特征,而与泥浆的流变性无关,所以在大斜度井(55°以上),增加泥浆屈服值和泥浆塑性粘度不能改善井眼净化效果。

③提高钻井液粘度可增加钻井液对钻屑的粘附力,减小钻屑在流动钻井液中滑脱速度,便于随钻井液带出井筒。

④在允许的情况下加大泥浆密度,好比降低了重钻井液中钻屑的密度或增加了钻屑在泥浆中的浮力。

⑤增加泥浆的屈服值(层流)、降低泥浆静切力可以改善环空的净化效果。当泥浆紊流时,环空的净化效果与泥浆的流变性无关。当泥浆层流时,增加泥浆的屈服值可以大幅度改善环空的净化效果,当井斜角增加到70°以上时,屈服值对井眼净化的影响下降。

⑥在大斜度、水平井段有计划地进行短起下作业,以起到破坏岩屑床、清洗井壁的效果。在大井斜井眼里,钻杆紧贴下井壁,钻具上下活动时,钻杆接头部分能刮开已形成的岩屑沉积床,使岩屑沉积床散开到环空泥浆中,便于泥浆带出井口,从而有助于井眼净化。

⑦在滑动钻进中经常性地旋转钻柱可以搅动钻屑,从而产生更好的净化效果。旋转的钻具可以搅动泥浆,同时带动泥浆里的岩屑,阻止它滑脱下沉。钻柱的旋转有助于流动的泥浆中产生紊流,用较高粘度的流体时钻柱旋转可大幅度提高清洁效果。

⑧在钻速较快的井段要有意识地控制钻速。随着钻速增加,单位时间内产生的钻屑量增加,从而增大了岩屑堆在一起的机会,因此在快钻时要有意识地控制钻速,以便更好地清除岩屑。

⑨尽量减少钻进过程中泥浆静止的时间。接单根和其它不能正常循环泥浆的情况下,泥浆岩屑量很容易下沉到下井壁,停的时间越长,沉积越彻底,因此应该尽量避免这种情况的发生。

⑩科学有效地运用好地面固控设备,减少钻屑第二次入井。一般水平井要求振动筛≮120目,同时要求用好除砂器、离心机等固控设备。

(2)保持井壁稳定是钻井是否安全的一个重要环节,井壁失稳,更容易造成水平井发生事故。

①要有足够的泥浆密度,以满足稳定井壁所需要的足够支撑力。

②高质量的泥饼薄、韧而有弹性,能阻止泥浆进

万方数据

一步失水。高质量的泥饼能牢牢地吸附在井壁上,不会掉下来而引起近井壁地层的第二次吸水,当然高质量的泥饼还有好的润滑性能。

③降低泥浆失水,特别是高温高压失水,最低限度地减少滤液的侵入。控制滤失量以使因化学或物理作用而造成的地层损害程度降到最小。

④加快钻井速度,缩短钻井周期,以减少井壁的浸泡时间。

(3)防止粘吸卡钻,改善泥饼质量,防止虚泥饼的形成,降低泥饼的附着力,且泥饼的润滑性能要好。

(4)钻柱在造斜井段会产生较大的弯曲应力,易造成钻具的疲劳破坏,特别在钻柱旋转时弯曲井段的钻柱受交变应力作用,钻柱极易发生疲劳破坏,因此结构的选择以顺利通过大曲率段井眼为原则。钻具组合尽量减少过多的转换配合,尽量减少造斜井段钻柱刚性,从而防止断钻具事故的发生。

(5)优选钻头,杜绝钻头事故的发生。在斜井段使用 PDC 钻头时,应选用短保径、便于造斜的高效的钻头,牙轮钻头应选用适用于高转速、带金属密封的牙轮钻头。该类型钻头使用寿命长,以减少钻头发生的事故。

(6)采用高效螺杆,螺杆使用寿命要长,强度要高。螺杆是水平钻井必不可少的重要设备,同时也是最易损坏的设备,水平井中如果发生断螺杆掉井事故,打捞非常困难,该井眼很有可能因为无法打捞而报废,因此,必须选好、选准螺杆。

(7)施工中每钻进 1 ~ 2 趟钻倒换弯曲井段的钻柱位置,避免钻柱长时间受交变应力的作用、钻柱的疲劳失稳破坏。

(8)造斜段和水平段全部使用斜坡钻杆,加重钻杆放在直井段,减小钻柱摩阻,增加钻柱的抗压失稳能力。由于钻具在斜井段是贴下井壁的,直角钻杆会增加下放阻力,同时还会刮坏井壁泥饼。加重钻杆刚性大,在大曲率井眼中对加重钻杆损坏严重,同时增加摩阻,因此应该将加重钻杆放在直井段。

(9)滑动钻进时,一个单根最后 2 ~ 3 m 可尽可能采用复合钻进的方式钻进,钻完一个单根应进行一二次划眼,然后下放到底,再接上单根后测斜。这样能有利于携带岩屑。

(10)在造斜率允许的条件下尽量多采用复合钻井的方式钻进,这样既可改善井眼的平滑性,又可促进钻屑的返出。

(11)加强协调工作,加快施工进度,缩短浸泡时间,避免垮塌卡钻。

(12)加强井身轨迹的控制,提高井眼轨迹与设计轨迹的符合率,尽量减少曲率的忽增忽降,尽量减少局部井眼曲率的过大。

(13)使用带有顶驱装备的钻机施工水平井,可以倒划眼起钻,能有效地破坏已形成的岩屑床。

(14)加强设备的维修和保养,保证钻井的连续性。

9 结语

在西柳 10 平 1 井之后 2 年多的时间里,公司很好地吸取西柳 10 平 1 井的事故教训,在 10 个不同的区块相继施工了 35 口水平井,在每口井的技术交底时,工程技术部门都要详细阐述水平井的事故预防措施,让参与作业人员熟悉施工要领,对关键细节做到心中有数,提前预防合理安排生产,对照、落实技术措施,基本没有发生过复杂事故,全都安全顺利交井。同时对水平井复杂预防措施,在实践中不断地进行着总结、完善。

总之,水平井施工工艺复杂,工具昂贵,为了保证井下安全,必须确保井壁稳定,搞好井眼净化工作,改善泥饼质量,提高泥浆的润滑性能。

参考文献:

[1] 李东立. 水平井事故的预防措施[J],内蒙古石油化工,2007,33(9):57 - 58.

[2] 邓国岩,李松林. 冀东油田水平井钻井技术[A]. 中国石油天然气集团公司钻井承包商协会论文集(2007)[C]. 北京:石油工业出版社,2008.

[3] 蒋希文. 钻井事故与复杂问题(第二版)[M]. 北京:石油工业出版社,2009.

山西:2010 年将再新开工建设 1000 km 高速公路

中国公路网 2010 - 01 - 27 消息　山西省第十一届人民代表大会第三次会议上,省长王君代表山西省人民政府作政府工作报告。报告提出 2010 年山西省将再新开工 1000 km 高速公路。

报告指出,在公路建设方面山西省将继续抓好 2000 km 高速公路在建项目,再新开工 1000 km 高速公路,同时确保今年年底建成 1000 km 高速公路;完成国省干线公路改造 1000 km;新建农村公路 1 万 km。

万方数据