

文章编号:1001-6112(2012)S1-0128-05

# 超深斜井无塞固井工艺探讨

王永洪,贾晓斌,刘云

(中国石化西北油田分公司工程技术研究院,乌鲁木齐 830011)

**摘要:**因塔河油田目的层埋藏深,斜井多,目前常用的无塞固井工艺无法满足现状要求。针对塔河油田固井地质特点和无塞固井要求,该文提出了以带顶部封隔器的悬挂器和带旋转装置的中心管为主要设备的无塞固井工艺。并结合玉北地质情况,进行固井工艺模拟。由模拟数据可知,采用低密度水泥浆和无塞固井工艺,井底循环压力低,能有效避免漏失,油管内循环压力明显低于注替水泥浆施工压力,可以成功实现超深斜井无塞固井完井工艺。

**关键词:**低密度;无塞固井;水泥浆;超深井;塔河油田

**中图分类号:**TE256

**文献标识码:**A

## Discussion of non-plug cementing technique in ultra-deep inclined well

Wang Yonghong, Jia Xiaobin, Liu Yun

(Research Institute of Engineering Technology, SINOPEC Northwest Company, Urumqi, Xinjiang 830011, China)

**Abstract:** The target formations in the Tahe Oil Field are usually deep buried. Inclined wells are common. But the current non-plug cementing technique still has many shortcomings. It was proposed in this paper a new technique combining hanging device (with top sealing) and central pipe (with slewing device). The new technique was practiced in Yubei area according to the regional geologic conditions. It has been proved that the technique can reduce pump pressure, protect formation, and decrease circulating pressure about 2 MPa in tube comparing to cement injection.

**Key words:** low-density; non-plug cementing; cement slurry; ultra-deep well; Tahe Oil Field

### 1 塔河超深斜井固井概况

随着勘探开发的深入、超深钻井技术的发展,钻井越来越深,并向小尺寸钻井方向发展。同时,因受地表条件影响,或为了提高碳酸盐岩缝洞型油气钻遇率,或为了提高油气井开发效率和提高采收率,超深斜井、超深水平井部署越来越多。受上部地层必封点的影响,目的层常采用小尺寸钻头钻进,而小尺寸套管固井难度大,主要技术难点为:

(1)井深、井斜角大,扩孔难度大,无法扩孔便不能下入常规套管。

(2)小尺寸套管固井因套管内容积小,顶替量又无法精确控制,易造成“高塞”或“替空套管鞋”事故。

(3)水泥塞因无匹配的小尺寸钻头和小尺寸钻杆刚度低,无法有效传递钻压,造成水泥塞无法成功钻除。

针对碳酸盐岩缝洞型储层上下发育不均匀,先期裸眼完井分段措施改造难度大,或井壁稳定性

差,开发需要套管支撑,地质上需要下套管固井完井的情况,通过设计带顶部封隔器的悬挂器和带旋转装置的中心管,实施超深斜井小尺寸井眼无塞固井完井工艺。

普通的尾管固井方法是在计算的理论替浆量到达后,倒开悬挂器上提,循环出悬挂器以上水泥浆,而尾管内水泥浆则无法循环出来,需要钻除。无塞固井主要指在尾管固井替浆到量后,关闭尾管与环空的通道,形成尾管内与上层套管间的循环通道,再由中心管下带的小尺寸油管将尾管内的水泥浆循环出来,从而达到尾管内无水泥塞的目的。

### 2 塔河无塞固井工艺探讨

因塔河目的层埋藏深,斜井多,目前已用的内管柱双向阻流固尾管工艺<sup>[1]</sup>和尾管插管固井工艺<sup>[2]</sup>等无塞固井工艺无法满足塔河现状要求,为了达到小尺寸套管无塞固井完井,需要对尾管与环空通道的封堵和管内油管与上层套管间通道的建立进行重新设计调整。

收稿日期:2011-12-28;修订日期:2012-03-29。

作者简介:王永洪(1983—),男,助理工程师,从事油气井固井技术研究以及研究成果的现场应用工作。E-mail:hello3161163@sina.com。

## 2.1 塔河无塞固井工艺设计

塔河无塞固井工艺设计主要要求有:(1)满足井深,斜井大,下入管串长,封固段长的固井要求;(2)设计尾管无塞固井工艺需简单,可操作性强;(3)应降低固井施工风险,避免发生“套管鞋替空”或“固送入管串”等事故;(4)要既能有效封堵尾管与环空的通道,又能迅速建立尾管内与上层套管环空的通道,及时循环出尾管和上层套管内的水泥浆。

针对塔河固井地质特点和无塞固井要求,设计出以带顶部封隔器的悬挂器和带旋转装置的中心管为主要设备的无塞固井工艺。

塔河无塞固井工艺主要为管串下到位后正常座挂悬挂器,倒扣(中心管与油管之间连接“旋转装置”,以确保下部油管不转动成功倒扣),注替水泥浆,替浆到量后,上提中心管,然后下压坐封悬挂器顶部封隔器,关闭尾管与环空通道,同时建立尾管内循环通道,再循环出油管内和悬挂器上部剩余水泥浆,充分循环后取出送入管串,从而达到无塞固井完井的目的。主要施工步骤如下:

(1)组下套管串。管串组合为:①套管串组合:浮鞋+1根套管+浮箍+1根套管+球座+套管串+悬挂器;②送入钻具组合:油管+“旋转装置”+中心管+送入钻杆(图1)。

(2)管串下到位后,试循环,检验管串是否堵塞,正常后投球憋压坐挂悬挂器,倒扣,注替水泥浆固井。

(3)为了避免“套管鞋替空”事故,油管内可设计多剩余水泥浆。水泥浆替浆到量后,上提中心管,将涨封挡块提出回接筒后,涨封挡块在弹簧作用下涨开,下放钻具,涨封挡块压在回接筒上面,下压坐封封隔器,关闭尾管与环空通道,同时建立尾管内循环通道。

(4)循环钻井液,将尾管内和悬挂器上部多余

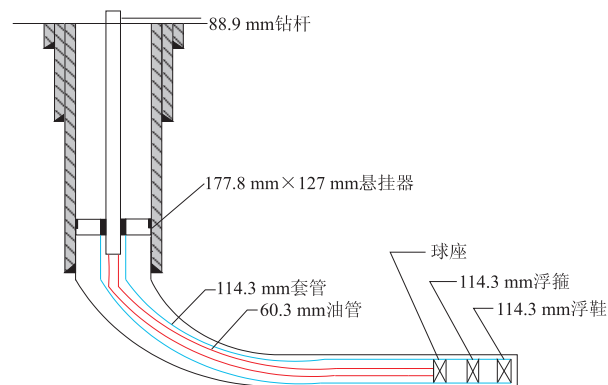


图1 塔河油田无塞固井管串组合示意

Fig. 1 Pipe string of non-plug cementing in Tahe Oil Field

水泥浆循环出井。循环压力应小于固井时泵压。

(5)充分循环后,提出送入管串,候凝。

(6)达到候凝时间后,采用小尺寸油管通井。从而达到深井无塞固井完井的目的。

## 2.2 塔河深井、斜井无塞固井相关固井附件

### 2.2.1 带顶部封隔器的悬挂器

带顶部封隔器的悬挂器是成熟固井附件<sup>[3]</sup>,中海油、四川、克拉玛依等油田应用普遍。主要结构包含悬挂器总成、封隔器总成、送入工具、密封总成和回接筒、胶塞、球座等。其中悬挂器本体总成由锥体、液缸、活塞、卡瓦、变径接头等件组成;封隔器总成由本体、胶筒、锁紧机构等件组成;送入工具可重复使用,由防砂罩、提升短节、座封挡块、倒扣总成及中心管组成。

### 2.2.2 旋转装置设计

管串下到位,悬挂器座挂后,需要累计有效倒扣不少于 20 圈,因井深,封固段长,井斜角大(斜井、水平井),尾管内油管下部贴在尾管上,倒扣时油管上部随中心管转动,下部因贴壁,摩阻大而静止不动,容易造成油管扭断,从而造成断钻具事故。为了确保下部油管静止不动成功倒扣,特设计出中心管旋转装置(图2)。旋转装置主要靠橡胶过盈密封,两套方向相反的轴承连接,从而确保有效承受下部油管拉力,固井施工过程中具有良好密封特性和成功实现油管静止条件下倒扣作业。旋转装置是深井、斜井无塞固井成功实施的关键设备之一。

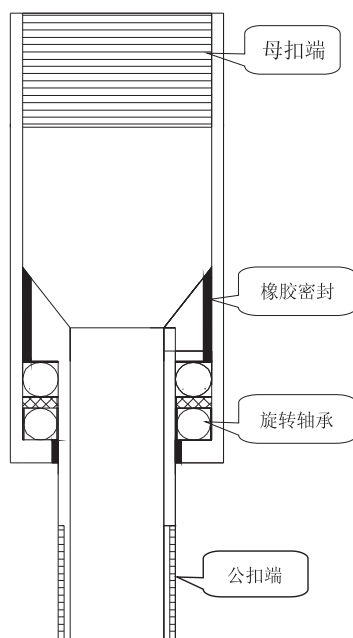


图2 旋转装置示意

Fig. 2 Rotating assembly

### 3 无塞固井模拟分析

西北油田分公司玉北地区奥陶系储层发育多段溶蚀孔洞及裂缝型储集体,均属低渗储层。为沟通井筒周围的储集体,达到认识与评价储层的目的,需进行分段储层改造作业。为此,针对玉北储集层特征,进行玉北地区奥陶系固井工艺探讨。

玉北地区奥陶系通常采用 149.2 mm 钻头钻进,若采用常规固井工艺需要对裸眼段进行扩孔,从而增加钻井液与储集层接触时间,若部署斜井,斜井段扩孔难度较大。因此,为了满足玉北地区储集层保护和完井要求,探讨玉北地区斜井钻井后,不扩孔下入 114.3 mm 小尺寸套管实施无塞固井完井工艺,本文以玉北 X 井为例进行探讨分析。

#### 3.1 井身结构

为了有效模拟玉北地区奥陶系斜井无塞固井工艺,以玉北 X 原设计为例,进行深井斜井无塞固井工艺模拟分析(表 1)。

#### 3.2 井眼轨迹

剖面类型为:直—增—稳。剖面数据见表 2。

#### 3.3 钻井液性能

玉北 X 井奥陶系采用欠平衡钻井,实钻钻井液性能如表 3。

#### 3.4 水泥浆性能

因玉北地区储集层为奥陶系碳酸盐裂缝缝洞型储层,且属于低渗、缝洞发育程度低、不均匀等特征,为了防止固井漏失,污染储层,采用颗粒级配,紧密堆积原理<sup>[4]</sup>,优化出 1.25 g/cm<sup>3</sup> 的低密度水泥浆体系,性能如表 4。

#### 3.5 施工步骤

(1) 组下套管串和送入钻具组合。套管串组合:114.3 mm 浮鞋+1 根 114.3 mm 套管+114.3 mm 浮箍+1 根 114.3 mm 套管+114.3 mm 球座+114.3 mm 套管串+114.3 mm×127 mm 变径短节+127 mm×177.8 mm 带顶部封隔器的悬挂器(每根套管加一根旋流刚性扶正器);送入钻具组合:60.3 mm 油管+“旋转装置”+中心管总成+88.9 mm 钻杆+127 mm 钻杆。

(2) 套管到位后小排量循环,检测套管串是否封堵,正常后投球憋压坐挂封隔器,坐挂成功后憋压憋掉球座,建立尾管与环空通道。

(3) 憋掉球座,建立循环后,倒扣。

(4) 成功倒扣后,小排量循环钻井液,将井底钻井液循环至悬挂器顶 500 m 以上后,接管线,注替水泥浆,进行固井作业。具体注替流程图 5。

(5) 替浆到量后,上提中心管,使涨封挡块提

表 1 玉北 X 井井身结构

Table 1 Casing program of well YubeiX

序号	钻头尺寸/mm	井深/m	套管尺寸/mm	下深/m	水泥返深/m	备注
导管	660.4	100	508	100	地面	导管
一开	444.5	1 000	339.7	998	地面	双塞固井
二开	311.2	3 439	244.5	3 437	地面	单级固井
三开	215.9	5 543.01	177.8	5 541	3 237	177.8 mm 尾管顶深 3 337 m±
四开	149.2	5 896.87	114.3	5 894	5 391	悬挂器位置 5 491 m

表 2 玉北 X 井井身剖面设计

Table 2 Wellbore trajectory of well YubeiX

井段	井深/m	井斜/°	方位/°	垂深/m	南北坐标/m	东西坐标/m	水平位移/m	造斜率/[°·(30m) <sup>-1</sup> ]	备注
直井段	5 480	0	0	5 480	0	0	0	0	
增斜段	5 766.23	81.1	226.25	5 679.78	-118.2	-123.47	170.93	8.5	
稳斜段	5 896.87	81.1	226.25	5 700	-207.45	-216.71	300	0	B

表 3 玉北 X 井实钻水泥浆性能

Table 3 Behavior of cement slurry of well YubeiX

密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	粘度/s	初切/Pa	终切/Pa	动切力/Pa	塑粘/(Pa·s <sup>-1</sup> )	失水/[mL·(30 min) <sup>-1</sup> ]
1.03	42	1	3	3	12	4
泥饼/mm	含砂/%	固含/%	坂含/(kg·m <sup>-3</sup> )	HTHP 失水/mL	k <sub>f</sub>	pH
0.5	0.1	3	28	12	0.061 2	9

表 4 1.25 g/cm<sup>3</sup> 水泥浆综合性能Table 4 Comprehensive behavior of cement slurry of 1.20 g/cm<sup>3</sup>

配方		180 gAG+52% 3M 漂珠+40% 粉煤灰+40% 超细水泥+6.96% 防窜剂增稠剂+14.3% 降失水剂+1.67% 缓凝剂+9.56% 分散剂+62% W/S								
养护条件	密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	剪切应力读数	n 值	K 值	流动度/cm	API 失水 (静态/动态) /mL	自由液 (垂直/45°) /mL	沉降稳定性/ (g·cm <sup>-3</sup> )	抗压强度/MPa	
常温	1.25	>300/295/216/127/15/10	0.76	1.27	16	42/44	0.2/0.4	0	15.7	
93 ℃	1.25	>300/265/200/121/16/11	0.71	1.59	16					
稠化试验										
试验条件			稠度/Bc		30	40	70	100	初始稠度 8.9	
115 ℃×70 MPa×60 min			时间/min		230	232	233	234		

表 5 固井注替水泥浆工艺流程

Table 5 Schedule of cementing

顺序	操作内容	工作量/m <sup>3</sup>	密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	排量/(L·s <sup>-1</sup> )	施工时间/min	累计时间/min	累计注替量/m <sup>3</sup>
1	管汇试压						
2	注冲洗液	2.0	1.05	8	4	8	2
3	注隔离液	4.0	1.20	8	8	12	6
4	注水泥浆	5.0	1.25	8	10	22	11
5	注隔离液	1.5	1.20	8	3	25	12.5
6	替原井浆	38.5	1.03	8	81	106	51

注:替浆设计时,为防止“套管鞋替空”事故,设计油管内剩余水泥浆 500 m。

出回接筒,涨封挡块在弹簧作用下涨开,再下放钻具,涨封挡块压在回接筒上面,下压坐封悬挂器顶部封隔器,关闭尾管与裸眼环空通道,同时打开尾管送入钻具与上层套管循环通道。

(6)循环钻井液,将尾管内和悬挂器以上多余水泥浆循环出井。

(7)充分循环干净水泥浆后,起钻至井口关井候凝 48 h。

(8)达到候凝时间后,下入 88.9 mm 钻杆+60.3 mm 油管进行通井作业。

### 3.6 顶替排量分析

排量设计原则:固井质量好坏直接受水泥浆顶替效率影响,而水泥浆层流顶替时,因层流断面流速呈尖峰状态,靠壁处泥浆滞留严重,造成顶替效率低,滞留泥浆与水泥浆混浆后影响水泥石胶接强度,使固井质量不理想甚至固井不合格,因此为了提高顶替效率,排量设计为紊流最佳,塞流次之,层流最差<sup>[5]</sup>。

因小尺寸套管间隙窄,水泥浆量少,井深(5 894 m),循环摩阻大,若采用紊流顶替,施工排量大,将造成泵压高,易压漏地层,钻井设备无法满足,且水泥浆与井壁和套管壁紊流接触时间短,顶替效率仍难以保证,固井质量不理想。故小尺寸套管固井设计为塞流顶替。

优化的 1.25 g/cm<sup>3</sup> 水泥浆具较稠特征,利于塞流排量设计。设定井眼 149.2 mm,井径扩大率

为 5%,由水泥浆六速流变性(表 4)可知,该井塞流顶替排量不大于 8.3 L/s。设计排量为 8 L/s,在此排量下,水泥浆呈塞流顶替,冲洗液呈紊流顶替,实现紊流—塞流复合顶替工艺,提高顶替效率和固井质量。

### 3.7 循环摩阻分析

根据上述浆柱结构模拟分析,在 0.48 m<sup>3</sup>/min 排量下,井口施工最高泵压在 15.7 MPa 左右,井底最大静液柱压力当量密度为 1.05 g/cm<sup>3</sup>,井底最高循环压力在 67 MPa,当量密度为 1.20 g/cm<sup>3</sup>,能确保井底安全,施工工艺可行。施工压力曲线变化如图 3。

注替完水泥浆后,上提中心管,坐封顶部封隔器,封堵尾管与环空通道,同时建立 2 3/8"油管与井口的循环通道,缓慢开泵,循环出尾管内和悬挂器上多余水泥浆,通过模拟计算,同样在 0.48 m<sup>3</sup>/min 的排量下,井口循环压力为 6.85 MPa,比固井施工低 8.8 MPa,容易判断循环通道路径,施工工艺可行(图 4)。

## 4 结论

1)设计出中心管旋冲装置,可实现悬挂器中心管与油管密封连接和悬挂器倒扣时油管不转动。

2)该种无塞固井工艺施工连续,油管和钻杆与水泥浆接触时间短,注替完水泥浆、坐挂顶部封



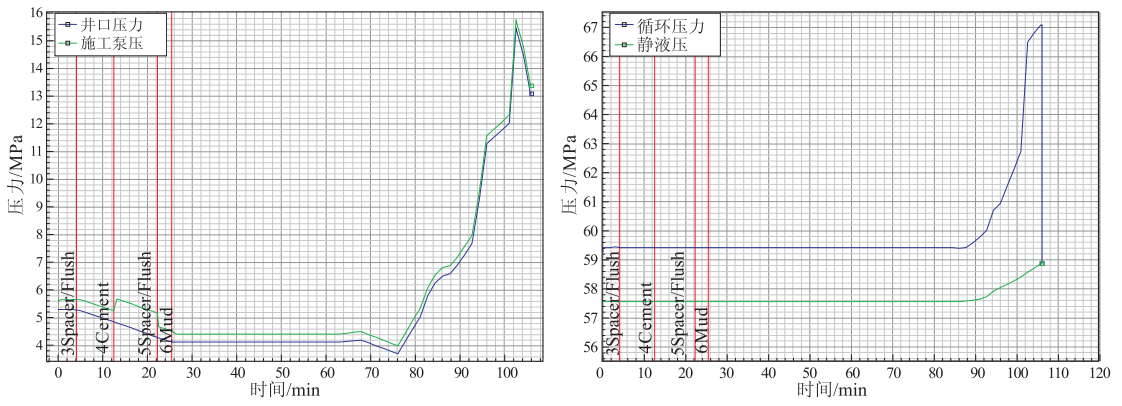


图3 固井注替水泥浆施工压力曲线变化

Fig. 3 Applied pressure curve of cementing

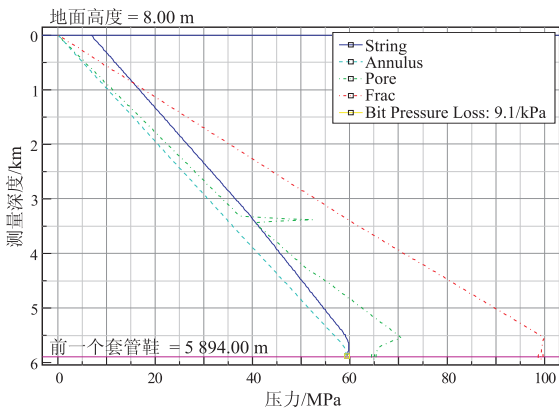


图4 内管循环当量密度与井深关系

Fig. 4 Equivalent density in inner tube vs. well depth

隔器后便直接将尾管和悬挂器处多余水泥浆循环出来,确保了施工安全性。

3) 该种无塞固井工艺操作简单,所用工具附件均为成熟、常用件,设计的“旋转装置”加工难度低,现场施工可行性强。

4) 针对奥陶系缝洞型储层低压易漏的地质特

征,优化出  $1.25 \text{ g/cm}^3$  低密度水泥浆,通过软件模拟,采用无塞固井工艺,施工泵压低,井底承受压力低,能有效避免漏失;油管内循环压力明显低于比注替水泥浆施工压力,可以成功实施超深斜井无塞固井完井工艺。

5) 通过浆体优化,设备配套,工艺配套,探讨出适合塔河深井斜井的小尺寸无塞固井完井配套工艺,为奥陶系储集层提供了一种新型的完井方式技术储备。

参考文献:

- [1] 孙相宏,王治山,王阳亮. 内管柱双向阻流固尾管工艺[J]. 西部探矿工程,1998,10(3):32-33.
- [2] 王合林,陈星元,薛有堂,等. 尾管插管固井工艺[J]. 石油钻采工艺,1996,18(4):28-29.
- [3] 马开华,朱德武,马兰荣,等. 国外深井尾管悬挂器技术研究新进展[J]. 石油钻探技术,2005,33(5):52-55.
- [4] 李坤,徐孝思,黄柏宗,等. 紧密堆积优化水泥浆体系的优势与应用[J]. 钻井液与完井液,2002,19(1):1-6,9.
- [5] 陈平. 钻井与完井工程[J]. 北京:石油工业出版社,2005:336-338.

(编辑 黄娟)