

大斜度定向井的下套管技术

马宗金*

(四川石油管理局川西南矿区)

内容提要 本文根据大斜度定向井的特点,论述了大斜度定向井从套管设计、套管检查、准备下套管和下套管中的问题,并提出了解决这些问题的方法。

主题词 大斜度定向井 下套管技术 方法

大斜度定向井中,如何安全顺利地地下入各层套管,这应与大斜度定向井钻井工艺技术放在同等地位进行研究,否则一口井很难打下去后仍达不到钻井的目的。根据国外资料介绍,大斜度定向井下套管时中途被卡,或因其它原因下不到设计井深的现象确实存在。

隆丛 40—1 井的基本情况

隆丛 40—1 井是“七五”国家重点科研项

目,1987年4月20日开钻,1989年5月29日完成,全井除造斜井段使用动力钻具定向造斜外,其余斜井段全部使用转盘钻带扶正器增斜钻进至完钻。

该井完钻井深 3130m,垂深 2292m,最大井斜角 90°,闭合方位 343°,水平位移 1460m,完钻层位为二叠系阳新统阳三²B 层,66°30' 以上大斜度井段穿过阳新统产层 532m,相当于垂厚的 5 倍,80°以上井段长 150m,各层套管下入情况见表 1。

表 1 隆丛 40—1 井各层套管下入情况

井眼尺寸 (mm) 井段(m)	套管尺寸 (mm) 井段(m)	最大 井斜角 (度)	方位角 (度)	最大全角 变化率 (度/100m)	钻井液性能	下入套管串(钢级,尺寸,长度)
Ø660.4 0~59.80	Ø508 0~58.97	0	/	0	密度 1.23g/cm ³ 粘度 63s	引鞋+Ø508.0mmJ55套管 6 根×58.97m
Ø444.5 59.80 ~957.00	Ø339.7 0~956.46	0.5	/	/	密度 1.25g/cm ³ 粘度 50s	引鞋+Ø339.7mmAC95 套管 1 根+回压凡尔×0.35m+Ø339.7mmAC95 套管 92 根×936.01m+联入×9.84m
Ø311.1 957.00 ~2064.00	Ø244.5 0~2062.50	52	345	20.8 (1665.68 ~1701.50)	密度 1.50g/cm ³ 粘度 60s	引鞋+套管鞋×0.27m+Ø244.5mmNT-110HS 套管 1 根×9.68m+回压凡尔×0.30m+Ø244.5mmNT-110HS 套管 4 根×40.35m+回压凡尔×0.30m+Ø244.5mmNT-110HS 套管 126 根×1267.99m+Ø244.5SM-125G 套管 76 根×736.52m+联入 7.10m
Ø215.9 2064.00 ~2598.00	Ø177.8 0~2597.70	66.5	349	13.9 (2090.70 ~2112.65)	密度 1.60g/cm ³ 粘度 229s	引鞋+套管鞋×0.27m+Ø177.8mmT-110 套管 39.99m+回压凡尔×0.26m+Ø177.8mmT-110 套管 1 根 9.93m+回压凡尔×0.26m+Ø177.8mmT-110 套管 257 根×2539.19m+升高短节×0.81m+联入×7.04m
Ø152 2598.00 ~3130.00	Ø127 2566.38 ~3129.73	90	343	31.4 (2826.89 ~2849.14)	密度 1.34g/cm ³ 粘度 160s	引鞋(0.2m)+套管鞋×0.20m+Ø127.0mmSM-80S 短套管×3.16m+Ø127.0mm短节×0.70m+Ø127.0mmSM-80S 衬管 53 根×538.83m+SM-80S 套管 2 根×20.28m+衬管头×0.18m

* 643000,四川省自贡市。

大斜度定向井套管设计原则

大斜度定向井中,套管串能否设计好是套管安全下入的前提。由于大斜度定向井的实钻井眼轨迹比设计的井眼轨迹要复杂得多,再加上复杂的地质因素以及难以预料下一次开钻后可能遇到的复杂情况。因此,本井套管设计的原则:①采用了两层技术套管;②用等强度设计与最大载荷设计相结合,对从

各方面影响套管强度的外载负荷进行了验算校核。

1. 校核方法

(1)抗拉强度按单向拉伸和加大安全系数的方法校核;

(2)抗挤和抗内压强度按套管柱在井内处于三向应力条件下进行校核。具体设计校核由井下作业处负责,用套管柱设计程序在 IBM—PC/XT 型计算机上进行计算,计算结果见表 2、3、4、5。

表 2 Ø244.5mm 套管性能

钢 级	壁厚 (mm)	内径 (mm)	接箍外径 (mm)	名义重量 (kg/m)	管体屈服 强 度 (t)	抗内压强度 (MPa)	抗挤强度 (MPa)	丝扣抗拉 强 度 (t)
NT—110HG	9.19	220.5	269.86	69.94	572	66.3	50.2	550
SM—125G	9.19	220.5	269.86	69.94	650	75.43	39.57	622.8

表 3 Ø244.5mm 套管柱强度校核

井 段 (m)	钢 级	壁厚 (mm)	段长 (m)	单位重量 (kg/m)	段重 (t)	浮重 (t)	实际安全系数		
							抗拉	抗挤	抗内压
0~800	SM—125G	11.99	800	69.94	55.95	45.2	4.32		
800~2000	NT—110HS	11.99	1260	69.94	88.12	71.2		3.2	2.0

表 4 Ø177.8mm 套管性能

钢 级	壁厚 (mm)	内径 (mm)	接箍外径 (mm)	名义重量 (kg/m)	管体屈服 强 度 (t)	抗内压强度 (MPa)	抗挤强度 (MPa)	丝扣抗拉 强 度 (t)
T—110	10.36	157.1	194.46	43.15	421	78.87	79.96	361.4

表 5 Ø177.8mm 套管柱强度校核

井 段 (m)	钢 级	壁厚 (mm)	段长 (m)	单位重量 (kg/m)	段重 (t)	浮重 (t)	实际安全系数		
							抗拉	抗挤	抗内压
0~2600	T—110	10.36	2600	43.15	112.19	88.6	4.0	1.9	2.0

因Ø127mm 套管属衬管下入,因此未进行强度校核计算。

2. 复杂情况计算

计算公式:

$$R_j = 57.3 \frac{L}{\varphi}$$

$$R_G = \frac{E \cdot D}{2\sigma} \cdot K_1 \cdot K_2$$

式中: R_j —— 井眼全角变化最大处的最小曲率半径, m;

L —— 两测点间的井段长, m;

φ —— 全角变化率, 度/100m;

- R_G —— 套管、钻铤最小曲率半径, m;
 D —— 套管外径, cm;
 E —— 钢材弹性模量, $2.1 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$;
 σ —— 钢材屈服强度, kg/cm^2 ;
 K_1 —— 套管抗弯安全系数, 取 1.8;
 K_2 —— 丝扣应力集中系数, 取 1.75。

计算结果见表 6。

表 6 隆 40-1 井套管串与井眼曲率半径

斜井段 井眼尺寸 (mm)	套管尺寸 (mm)	R_j (m)	$R_{\text{套管}}$ (m)	$R_{\text{井眼}}$ (m)
311.1	244.47	275	98	104.5
215.9	177.8	412	81	76
152	127	182	61.5	74.5
曲率半径比较		$R_j > R_{\text{套管}}, R_{\text{井眼}}$		

下套管前的准备工作

1. 套管准备

在下套管前,管子站应将设计要求的套管,按钻井操作规程规定的 13 道工序,逐根严格检查,并附有每根套管检查的合格证与套管同时送往井场,井队按设计的入井顺序排列、编号、通径和配扣。

2. 地面设备及工具准备

在大斜度定向井中,下套管中途因设备和工具出现问题造成停工,则很可能就发生套管被卡,对此务必坚决避免。井队长或钻井技师应亲自督促检查,并将下套管中所用设备和工具备足。

3. 劳动组织

在大斜度井中,下套管劳动力的合理组织尤为重要,下套管作业是一项时间连续长、劳动强度大的作业,劳动力组织有序,则效率就高。

下套管工作

1. 下套管前的通井工作

隆丛 40-1 井大斜度井段套管程序为:

$\varnothing 244.5 \text{ mm} \times 2064 \text{ m} \times 52^\circ 30'$

$\varnothing 177.8 \text{ mm} \times 2598 \text{ m} \times 66^\circ 30'$

$\varnothing 127 \text{ mm} \times 3130 \text{ m} \times 90^\circ$

斜井中钻屑下滑方向,由直井中的轴向变为向轴向和径向的合成方向下滑,而且径向下滑速度随井斜角的增加而加快,最后超过轴向下滑速度。

所谓径向下滑力,实际上是在重力作用下把钻屑推向下方井壁的力,它使钻屑向下井壁沉积。特别是在井斜角 $40^\circ \sim 50^\circ$ 的井段内,因岩屑堆积成床层,靠重力下滑,当泥浆停止循环,堆积在环空下井壁的岩屑象雪崩一样下沉,形成岩屑垫床,阻塞环空下部井眼。如果在下套管前不把井眼内下井壁形成岩屑垫床的砂子循环出来,套管将很难下到设计井深,特别在井斜角 $> 40^\circ$ 的井段应加倍注意。

国外有人曾在 $60^\circ, 70^\circ, 80^\circ, 90^\circ$ 的倾角共做了 74 次实验,分别在这些倾角的情况下,几乎立即形成岩屑床。但这些岩屑床不向下方滑动,甚至停泵也不下滑,由于管子转动,岩屑床便沿切线方向摆动,使环形空间的一边岩屑堆积较高。

隆丛 40-1 井的实钻情况,对国外实验中所提出的问题给予证实,所以下套管前的第一次通井目的,就是处理下井壁岩屑沉垫床的问题,也避免了套管被埋在岩屑沉垫床中造成固井水泥浆窜槽的现象,甚至导致固井失败的后果。故大斜度定向井下套管前的通井工作至少应进行 2 次。

2. 清砂钻具组合

第一次通井清砂钻具组合:

- ①用相应钻铤直径尺寸的导向接头;
- ②连接与钻进中相当直径、长度的螺旋

钻挺;

③接 $\varnothing 127\text{mm}$ 加重钻杆;

④接钻井的 $\varnothing 127\text{mm}$ 普通钻杆。

清砂方法为:

①将清砂钻具下到井底,在略大于钻井排量下进行循环,首先将井底沉砂及下钻中推到井底的岩屑、泥饼充分循环至地面;

②对井斜角 $>40^\circ$ 的井段,每起2柱钻具充分循环一次。因在钻进中,曾在井斜角 $50^\circ\sim 60^\circ$ 的井段清砂,不论井眼继续钻至多深,总是在离井底100m内砂子最多,且细似河沙,这也证明了在 $40^\circ\sim 60^\circ$ 井段岩屑在重力作用下整体下滑现象的存在。

第二次通井的目的主要是给下套管提供可靠数据。这次通井使用钻进中的刚性满眼组合,主要收集钻具在井内的摩阻、阻卡点井深及下套管中套管下放的速度等。应派有经验的钻井工程师或钻井技师值班,观察和及时处理井下随时可能出现的各种情况,特别要防止钻具被卡死。

3. 下套管工作

下套管工作中,除严格执行直井下套管的各项规定外,还要严格控制套管的下放速度,在斜井裸眼段必须采用连续灌泥浆措施。

大斜度井中套管引鞋的质量比直井更为重要,该井3次在大斜度井段下套管都采用了铝制旋流引鞋,防止了下套管中途阻卡、损坏旋流引鞋以致套管下不去的事故。

大斜度井中,特别在钻进中,钻头和钻具始终紧贴下井壁。固井后在钻回压凡尔时,若钻速太慢、或定点旋转时间太长,很容易损坏套管。该井均采用了井下作业处研制的易钻回压凡尔保护套管,同时也减少了井底的金属碎块。

特殊情况的处理

1. 使用套管扶正器的问题

隆丛40-1井套管扶正器的设计为:

$\varnothing 244.5\text{mm}$ 套管在斜井裸眼段(960.00~2064.00m)段长1104.00m,共76个;
 $\varnothing 177.8\text{mm}$ 套管在斜井裸眼段(2062.00~2598.00m)段长534.00m,共15个。由于大斜度井中,上下井壁的键槽不可避免,下井壁凹凸不平的台阶必然存在。因此在裸眼段要连续通过这样大量的弹簧扶正器具有很大风险性:第一,造成井壁的破坏;第二,在井眼全角变化大的井段容易引起扶正器的损坏,造成套管不能下到设计井深。基于以上考虑,该井3次在大斜度井段下套管,只是在下 $\varnothing 177.8\text{mm}$ 套管中下入13只弹簧扶正器,在斜井裸眼段(2110.50~2070.35m)加了3只,其余10只均在 $\varnothing 244.5\text{mm}$ 与 $\varnothing 177.8\text{mm}$ 套管重合的井段,即(2064~0m)井段。

2. $\varnothing 177.8\text{mm}$ 套管鞋下入深度的处理

由于 $\varnothing 215.9\text{mm}$ 钻头钻过极易垮塌的乐平统(P_2)煤层,并以 $66^\circ 30'$ 的井斜角进入气层阳三⁵m,计算垂深仅2.39m,按直井要求垂深应进入阳三⁵m,则沿 $66^\circ 30'$ 的井斜角还要继续钻进6.50m。由于斜井段有乐平统(P_2)坍塌层,为防止该层坍塌,钻井液密度从 1.20g/cm^3 提高到 1.70g/cm^3 ,而气层压力梯度又小于当量密度 1.0g/cm^3 ,所以在气层钻进中,极易发生严重漏失,要继续钻进6.50m确实风险太大。因此,当钻至斜井深2598.00m,斜深进入阳三⁵m后决定停止钻进,下套管固井。但必须保证套管鞋封住乐平统(P_2),具体解决的办法为:

①尽量减少套管鞋以下口袋的长度;

②在大斜度井中不考虑套管的伸长因素;

③考虑套管在上扣过程中,每根套管平均缩短5mm。

根据以上分析,在下套管前准备一根有效方余1.10m的联顶节(因口袋设计为1.10m)。当套管下完后,用方钻杆开泵将井

内套管送到原设计方入(即方余 1.10m 处),如果不遇阻则继续下放 1.10m,将计算的口袋放完,这样套管长度加实际联入,套管鞋就到了井底 2598.00m。但联入增加后,联顶节与井内最后一根套管的连接扣已下到了圆井的下面,无法安装下次开钻的井口。为保证安装井口的高度,于是又将套管上提 0.4m,当开泵均匀下放最后 1.10m 过程中,指重表读数保持 320kN 不变。当上提 0.4m 过程中,最后指重表读数为 620kN,而整个管串在泥浆中的浮重为 886kN。上提 0.4m 的重量小于管串的浮重,因此套管鞋不会上移。经钻水泥塞证实,实际套管鞋井深为 2597.10m,这可能是:

- ①套管的实际上扣与计算的差值;
- ②下部套管串压缩造成。

这一实践可供大斜度定向井处理复杂地层套管鞋下入深度参考。它解决了防止同一裸眼段可能同时出现的坍塌、井漏等复杂情况的发生。

3. $\varnothing 127\text{mm}$ 衬管下入技术

为了该井的试采安全,决定完钻后立即下入 $\varnothing 127\text{mm}$ 衬管,但当时在 $\varnothing 152\text{mm}$ 井眼内下入 $\varnothing 127\text{mm}$ 衬管有 3 个技术难题。

(1)下衬管过程中途有可能因岩屑垫床和泥饼堆积,造成阻卡下不去。

(2)因 $\varnothing 127\text{mm}$ 衬管在 $\varnothing 152\text{mm}$ 井眼中间隙很小,而在井段 2826.89~2949.14m 有高达 $31.40^\circ/100\text{m}$ 的全角变化率,因此很有可能因套管刚性问题造成阻卡。

(3)在 $66^\circ 30'$ 的井斜角部位,要倒扣甩掉衬管还没有先例。

解决以上 3 个主要技术问题,分别采用了以下技术,使得下衬管和倒扣都获得了成功。

第一,针对下衬管中可能出现的岩屑垫床和泥饼堆积造成的阻卡,采用了川西南矿区研制的不钻水泥塞尾管固井工具。该工

具在下衬管过程中,若确实因岩屑垫床和泥饼堆积造成的阻卡,可接方钻杆开泵循环排除阻卡,继续作业,见图 1。

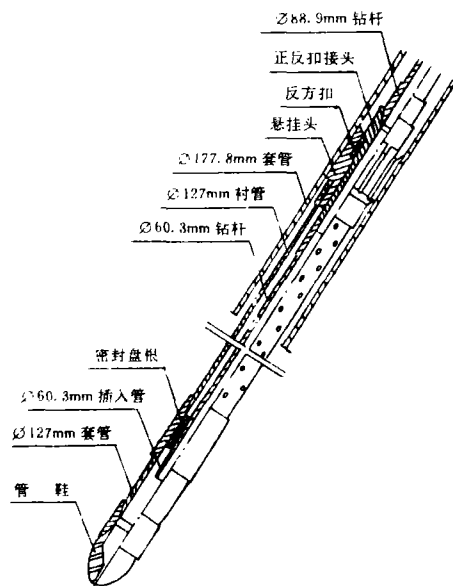


图 1 隆丛 40-1 井下 $\varnothing 127\text{mm}$ 衬管工具示意图

第二,针对由于间隙小、井眼全角变化大、套管刚性大所遇到的阻卡,在衬管头上加入一个 $\varnothing 120.6\text{mm}$ 的随钻震击器。

第三,倒扣问题。在井斜 $66^\circ 30'$ 的井段,因衬管接箍外径为 $\varnothing 141.3\text{mm}$,而送衬管 $\varnothing 88.9\text{mm}$ 的钻杆接头外径为 $\varnothing 120\text{mm}$,倒扣接头的反扣必然要受到上部钻具因自重形成的一个趋于下井壁的力矩,造成倒扣困难。于是在震击器的上部接头上加了一个 $\varnothing 152\text{mm}$ 的扶正器,将倒扣的反扣扶正,使其不受外力矩,再加上对送衬管钻具的准确称重,达到了预期的施工效果。

通过研究大斜度定向井下套管难的针对性技术,使隆丛 40-1 井将两层技术套管和一层衬管顺利地下至设计深度。

Subject Headings: Southwest Sichuan, strata deflecting rule, deflection drilling, determining well location.

Ma Zongjin; **Technique of Setting Casing in Deflection Well with High-Inclination**, NGI 13(3), 1993; 48~52

On the basis of characteristics of deflection well with high-inclination, a series of methods for solving the problems existing in designing, inspecting, preparing setting and setting casing are proposed out in this paper.

Subject Headings: deflection well with high-inclination, technique of setting casing, method.

Xu Huiqing; **Technology of Treating Exceptional Overflow in South Sichuan**, NGI 13(3), 1993; 53~56

This paper expounds the overflow happened in exceptional situation in South Sichuan, its treatment method and special wellhead mating equipments which are novel and practicable, and have reference significance to promptly resume or rebuild the borehole pressure balance and enhance the ability of treating emergency for drill crew.

Subject Headings: South Sichuan, drilling, technology and technique, wellhead equipment.

Ouyang Liangbiao and Kong Xiangyan; **Current Situation of Studying Gas Condensate Well Testing**, NGI 13(3), 1993; 57~60

In this paper, the experience method, gas phase pseudopressure method, B-W method, oil reservoir integration method and approximation method for analysing gas condensate well testing are emphatically described, and their characters, correctness and application scope are also compared.

Subject Headings: gas condensate well, well testing method, correction method, pseudopressure method, approximation method, study.

Li Bingyuan; **Transient Testing Analysis of Horizontal Well**, NGI 13(3), 1993; 61~64

Based on the transient vadose theory of the elastic fluid in mini-elastic strata, the flow state while testing horizontal well is divided into five stages in this paper. The testing curves of 200 wells are matched by using Laplace transform and inverse operation to determine the time-limit of each stage and the practical software is also edited.

Subject Headings: horizontal well, flow state analysis, interval partition, divided matching, testing analysis.

STORAGE/TRANSPORTATION/SURFACE CONSTRUCTION

Song Dongyu and Xiao Fangchun; **Multi-objective Reliability and Grey Optimal Design for Pipeline Structure**, NGI 13(3), 1993; 65~71

Combining optimum technique, the white, grey and random effective factors met in the course of optimally designing pipeline structure are considered by the use of reliability theory and grey system theory in this paper. The method of multi-objective reliability and grey optimal design for pipeline structure is presented and the calculation of living example shows it is more economic than routine design method.

Subject Headings: gathering pipeline, structure reliability rate, grey system, planning, optimal design.