

文章编号:1001-6112(2012)S1-0091-03

# 塔里木盆地顺托2号构造顺9井区井壁稳定性研究

王沫,方建波,李双贵

(中国石化西北油田分公司,乌鲁木齐 830011)

**摘要:**塔里木盆地顺9井区储层特低渗,深度5 650 m,钻井成本高,单井产量不超过10 t/d。采用先进的井壁稳定分析软件 Drillworks 对顺9井区井壁稳定性进行分析,对现有钻井方案进行优化,以提高顺9井区开发效益。直井采用二级结构;水平井和分支井采用三级结构,二开加深至泥盆系顶部;鱼骨井采用三级结构,二开加深至志留系顶部;考虑井壁稳定和酸压裂缝延伸,推荐轨迹延伸方位是127.5°和307.5°。目前顺9井区正按水平井方案实施。

**关键词:**地应力;井壁稳定;井身结构;钻井方位;顺9井区;塔里木盆地

中图分类号:TE35

文献标识码:A

## Analysis of wellbore stability in block Shun9, structure Shuntuo2, Tarim Basin

Wang Mo, Fang Jianbo, Li Shuanggui

(SINOPEC Northwest Company, Urumqi, Xinjiang 830011, China)

**Abstract:** In block Shun9 of the Tarim Basin, reservoir permeability is extra-low. The drilling costs are very high as the present drilling depth is 5 650 m; however, the single-well product is less than 10 t/d. An advanced wellbore stability analysis software, Drillworks, has been applied in block Shun9 so as to optimize the existing drilling programs and to improve production efficiency. Secondary structures are chosen to deal with vertical wells. In horizontal and multilateral wells, tertiary structures are applied and the second opening deepens to the top of Devonian. In fishbone wells, tertiary structures are also applied, but the second opening deepens to the top of Silurian. Taking into consideration the wall stability and the acid fracturing extension, the recommended track azimuths are 127.5° and 307.5°. Horizontal well program is now carried out in block Shun9.

**Key words:** geostress; wellbore stability; well structure; drilling azimuth; block Shun9; Tarim Basin

在塔里木盆地顺托2号构造的顺9井志留系柯坪塔格组取心收获含油岩心16.33 m,其中油迹3.34 m,油斑3.84 m,油浸9.15 m;岩性主要为细粒岩屑石英砂岩,取心显示平均孔隙度7.1%,含油饱和度40.6%。试井解释地层系数为 $1.98 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2 \cdot \text{m}$ ,渗透率为 $0.158 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,储层为特低渗地层。由于储层深度5 650 m,钻井成本高,单井产量不超过10 t/d,常规的直井开发方式已不具有开发经济效益。本文采用先进的井壁稳定分析软件 Drillworks 对顺9井区井壁稳定分析,对现有钻井方案进行优化,以降低单井钻井成本,提高单井产能。

## 1 三压力剖面

### 1.1 孔隙压力求取

自从20世纪60年代后期地层压力预测被提出以后,已经发展为许多预测方法,其中应用最广

泛的方法是基于正常压实趋势的伊顿(Eaton)法。如法国 Elf Aquitaine 公司所发表的压力预测手册即采用伊顿法,美国德州农工大学(Texas A&M university)的压力预测课程只教授伊顿法。多年的经验证实,伊顿法适用于所有沉积地层,它已在世界范围内得到广泛的应用。

伊顿法首先是利用泥岩点的声波时差、电阻率或地层密度建立正常压实趋势线,然后利用伊顿公式求取泥岩地层压力。再利用泥岩地层压力代表临近砂岩点孔隙压力有压力圈闭时需考虑浮力对地层压力的影响。泥岩点的选取需遵循“三取三不取”的原则<sup>[1]</sup>,即:①取泥页岩而不取其它岩性,主要是根据GR曲线和SP曲线及CAL曲线区分泥页岩和砂岩地层;②取井径正常井段而不取缩径和扩径井段,根据井径曲线剔除与标准井径相差18%的部分,例如选取高GR(用NGS测井中的Th

收稿日期:2011-11-25;修订日期:2012-02-09。

作者简介:王沫(1984—),男,硕士,助理工程师,从事钻井工程设计与研究。E-mail:swpuwangmo@163.com。

曲线鉴别泥岩层最好)、低电阻率、扩径小于6 cm、厚度大于2 m的泥岩层段;③每个泥岩层取曲线上的平均特征值而不取尖峰值和“周波跳跃”值。

### 1.2 坍塌压力求取

井壁岩石的破坏,对于软而塑性大的岩石表现为塑性变形而缩径;对于硬脆性的岩石一般表现为剪切破坏而坍塌扩径。根据库仑—摩尔的研究,岩石破坏时剪切面上的剪应力必须克服岩石的固有剪切强度值加上作用于剪切面上的摩擦阻力。库仑—摩尔准则没有考虑中间主应力的影响,如果要考虑其影响,在工程上一般采用德鲁克—普拉格准则<sup>[1]</sup>。

### 1.3 破裂压力求取

在地层某深度处,当井内的钻井液柱所产生的压力升高足以压裂地层,使其原有的裂隙张开延伸或形成新的裂隙。地层的破裂压力的大小和地应力的方向密切相关。从力学上说,地层破裂是由于井内钻井液密度过大使岩石所受的周向应力达到岩石的抗拉强度而造成的,即岩石所受周向应力由压缩应力变为拉伸应力,当拉伸应力大到足以克服岩石的抗拉强度时,地层则产生破裂造成井漏。

## 2 地应力大小及方位求取

### 2.1 垂直主应力大小求取

垂直主应力(也称为上覆岩层压力)是岩石与孔隙流体总重量产生的压力。垂直主应力主要取决于岩石体密度随井深的变化,不同的地区垂直主应力不同。如果有密度测井资料,平均体积密度就可以计算出来。否则,可从声波测井曲线上计算岩石体密度。

### 2.2 水平主应力大小求取

同时考虑到上覆岩层压力 $\sigma_v$ 和构造运动的作用效应,得出最大和最小水平主地应力 $\sigma_H$ 和 $\sigma_h$ 的数学模型如下:

$$\sigma_H = \left[ \frac{\mu}{1-\mu} + AE/(1+\mu) \right] (\sigma_v - \Phi PP) + \Phi PP$$

$$\sigma_h = \left[ \frac{\mu}{1-\mu} + BE/(1+\mu) \right] (\sigma_v - \Phi PP) + \Phi PP$$

式中: $A$ 、 $B$ 为地质构造应力系数; $PP$ 为地层孔隙压力; $\Phi$ 为地层孔隙压力贡献系数; $\mu$ 、 $E$ 分别为岩石泊松比和弹性模量。

### 2.3 地应力方位求取

利用双井径结合一号极板方位曲线,可得到测量井段崩落椭圆长轴方向,最大水平主应力方向垂直于长轴方向,从而可得到现今最大主应力的方向

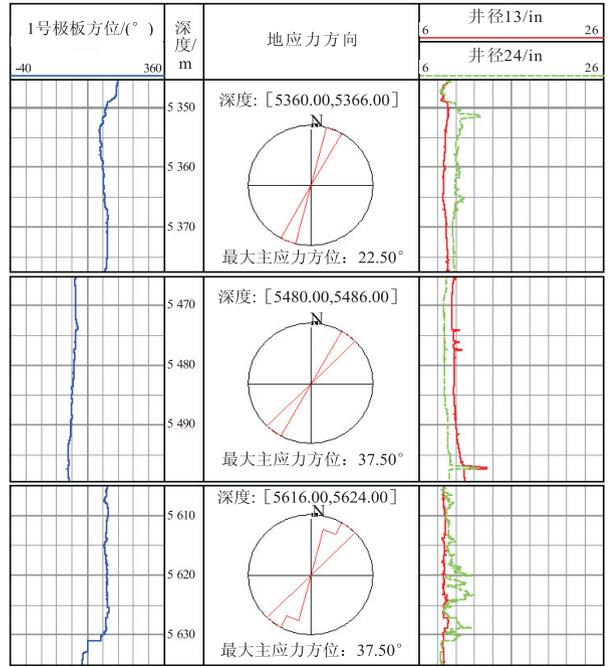


图1 塔里木盆地顺托2号构造顺9井最大主应力方位  
Fig. 1 Maximum principal stress azimuth of block Shun9, structure Shuntuo2, Tarim Basin

表1 塔里木盆地顺托2号构造顺9井最大主应力方向  
Table 1 Maximum principal stress orientation of block Shun9, structure Shuntuo2, Tarim Basin

井段/m	扩径	1号极板方位/(°)	最大水平主应力方向/(°)
5 360 ~ 5 366	2-4 极板扩径	202.5	22.5
5 480 ~ 5 486	1-3 极板扩径	127.5	37.5
5 616 ~ 5 624	2-4 极板扩径	217.5	37.5

(图1,表1)。为了保证得到的扩径是由于地应力作用引起的扩径,形成以下判别准则<sup>[2]</sup>:1)井眼崩落井段必须超过一定长度;2)两条(三条)井径中,其中较小的井径数值必须接近钻井的钻头尺寸;3)倾角仪器向上测量时,仪器没有旋转;4)明显的电阻率变化应在4个(或6个)极板上均有显示。

## 3 顺9井区钻井方案优化

### 3.1 计算结果分析

从三压力剖面以及顺字号井的实钻来看,二叠系和其他地层稳定性好,坍塌压力低,破裂压力高(表2)。直井可以采用二级结构,水平井和分支井可以采用三级结构,二开加深至泥盆系顶部。鱼骨井采用三级结构,二开加深至志留系顶部。

### 3.2 井身结构优化

#### 3.2.1 直井身结构

二级结构,二开施工时间长,为保证井壁的稳定,推荐直井使用。考虑后期侧钻的需要,油层

表 2 塔里木盆地顺托 2 号构造顺 9 井预测地层压力

Table 2 Predicted formation pressure of block Shun9, structure Shuntuo2, Tarim Basin

地层	底界深度/m	孔隙压力当量密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	坍塌压力当量密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	破裂压力当量密度/(g·cm <sup>-3</sup> )
Q-K	地面~2792	1.07~1.17	0.95~1.13	1.5~1.7
T	~3 516	1.10~1.24	1.00~1.28	1.68~1.76
P	~4 099.5	1.16~1.24	1.00~1.28	1.71~1.78
C	~4 676.5	1.21~1.32	0.98~1.26	1.73~1.81
D	~4 772.5	1.30~1.35	1.08~1.19	1.81~1.91
S	~5 618	1.30~1.34	1.04~1.15	1.85~1.88

套管尺寸选择 177.8 mm。

一开采用 346.1 mm 钻头,钻至井深 2 000 m,采用 273.1 mm 技术套管封固上部岩层,水泥返至地面。二开采用 241.3 mm 钻头,钻至目的井深,下 177.8 mm 油层套管,采用双级固井方式。

### 3.2.2 水平井井身结构

水平井定向短施工时间长,为减小裸眼的浸泡时间,考虑采用三级结构,深下二开套管。

一开采用 444.5 mm 钻头,钻深 1 500 m,下 339.7 mm 表层套管下深 1 498 m,固井水泥浆返至地面,建立二开井口。二开采用 311.2 mm 钻头,钻深 4 700 m,即泥盆系顶部以上 10 m 结束二开,下入 244.5 mm 技术套管,设计采用双级固井方式。三开采用 215.9 mm 钻头,定向钻进至目的井深,下入 177.8 mm+139.7 mm 复合套管射孔完井。

### 3.2.3 分支井井身结构

分支井适合于纵向分布 2 套或 2 套以上、地层压力相差不大的储层。考虑上分枝的钻完井需要,可将 244.5 mm 套管深下至泥盆系顶部。

一开采用 444.5 mm 钻头,钻至井深 1 500 m,339.7 mm 技术套管封固上部岩层,水泥返至地面。二开采用 311.2 mm 钻头,钻深 4 700 m,即泥盆系顶部以上 10 m 结束二开,下入 244.5 mm 技术套管,设计采用双级固井方式。三开采用 215.9 mm 钻头,钻进至下分枝完钻井深,下入 177.8 mm+139.7 mm 套管。四开采用可回收式斜向器从 244.5 mm 套管开窗侧钻,采用 215.9 mm 钻头定向钻进至上分枝完钻井深,下入 177.8 mm+139.7 mm 套管。

### 3.2.4 鱼骨井井身结构

鱼骨井主要用于低渗透、小断块裂缝性油藏开发,储层改造难以达到预期效果。鱼骨状分枝井主井眼采用 165.1 mm 钻头钻进,分枝井眼采用 149.2 mm 钻头钻进。

一开采用 346.1 mm 钻头,钻至井深 2 000 m,采用 273.1 mm 技术套管封固上部岩层,水泥返至

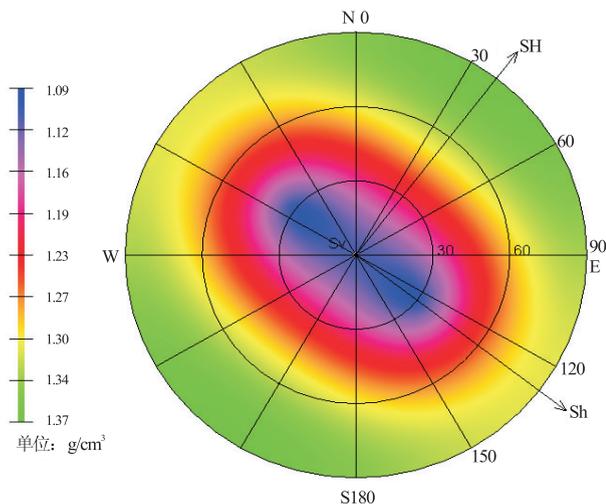


图 2 塔里木盆地顺托 2 号构造顺 9 井目的层地层稳定性  
Fig. 2 Stability of target formation of block Shun9, structure Shuntuo2, Tarim Basin

地面。二开采用 250.88 mm 钻头,钻至志留系顶部 5 100 m,下 193.7 mm 油层套管,采用双级固井方式。三开主井眼采用 165.1 mm 钻头钻进,分枝井眼采用 149.2 mm 钻头钻进。主井眼采用 127 mm 筛管半程固井完井。

### 3.3 钻井方位优化

沿最大主应力方向钻进,水平段的坍塌压力是 1.37 g/cm<sup>3</sup>,沿着最小主应力方向钻进,水平段的坍塌压力是 1.31 g/cm<sup>3</sup>,轨迹设计的最佳方位是最小水平主应力方向。

顺 9 井区上覆岩层压力最大,因此地层破裂面垂直最小主应力(图 2)。为保证压裂最大程度揭开储层,增大泻油面积,井眼应沿最小水平主应力延伸。综合坍塌压力和裂缝延伸方向分析,顺 9 井区水平井最佳钻井方位是 127.5°和 307.5°。

## 4 结论与建议

1)应用 Drillworks 求取三压力剖面 and 地应力,利用双井径测井,找到了最大水平主应力的方向 37.5°。

(下转第 98 页)



图7 库东3井油管头与压井和节流管汇连接

Fig.7 Connection of tubing head with pressuring and throttling pipelines in well KD3

### 3.2 库东3井安装使用情况

库东3井该井使用70 MPa 油管头<sup>[3]</sup>。

(1)油管头压井、节流管汇连接情况见图7。

(2)左右翼双载丝两通( $H = 150\text{ mm}$ )垂直安装,以调节高度方向尺寸差异,通过转换法兰连接

到钻井队内防喷管线上( $4-1/16'' \times 70\text{ MPa BX155}$ )。

(3)安装后左右两翼分别试压70 MPa 和2 MPa,试压合格、满足要求。

## 4 结论

高压油气井测试内防喷管线依据相关的标准设计和加工,满足了高压油气井测试内防喷管线安装的相关标准要求,通过现场安装使用证明,很好的解决了油管头与压井、节流管汇连接的问题,保证了高压油气井测试的井控安全。在高压油气井测试作业时可以推广使用。

### 参考文献:

[1] 张斌,文志雄. SY/T5127-2002 井口装置和采油树规范[S]. 北京:石油工业出版社,2002.

[2] 王乐闻,陈慧琴. SY/T 5964-2006 钻井井控装置组装配套安装调试与维护[S]. 北京:石油工业出版社,2006.

[3] 中国石化西北油田分公司工程技术研究院. S1072-2 常规完井工程设计、库东3井完井工程设计[R]. 乌鲁木齐:编者,2011.

(编辑 徐文明)

(上接第93页)

2) 基于三压力剖面的计算结果,推荐顺9井区直井采用二级结构;水平井和分支井采用三级结构,二开套管深下至泥盆系顶部;鱼骨井采用三级结构,二开套管深下至志留系顶部。

3) 考虑井壁稳定和酸压裂缝延伸,推荐轨迹延伸方位是 $127.5^\circ$ 和 $307.5^\circ$ 。

### 参考文献:

[1] 刘向君,罗平亚. 石油测井与井壁稳定[M]. 北京:石油工业出版社,1999.

[2] 梁利喜. 深部应力场系统评价与油气井井壁稳定性分析研究;以塔河油田为例[D]. 成都:成都理工大学,2008.

(编辑 徐文明)