

# 地应力类型影响定向井井壁稳定的规律

李玉飞<sup>1</sup> 付永强<sup>1</sup> 唐庚<sup>1</sup> 余朝毅<sup>1</sup> 张继尹<sup>2</sup>

1. 中国石油西南油气田公司采气工程研究院 2. 中国石化西南油气分公司工程技术研究院

李玉飞等. 地应力类型影响定向井井壁稳定的规律. 天然气工业, 2012, 32(3): 78-80.

**摘要** 定向井周应力状态和井壁稳定性规律与直井有着明显的差别, 开展地应力类型对定向井井壁稳定性的影响规律研究, 对定向井井眼轨迹设计具有一定的指导作用。为此, 根据正常、走滑和反转三种地应力类型, 深入分析了定向井井斜角和井眼方位对井壁坍塌破坏的影响规律。结果表明: ①随着井斜角的增加, 正常和反转地应力类型的井壁稳定性逐渐变差, 即直井比定向井或水平井井壁稳定性更好; ②随着井斜角的增加, 走滑地应力类型的井壁稳定性逐渐增强, 即水平井井壁稳定性最好; ③定向井钻井或完井过程中, 井壁稳定的最优钻井方位与最大水平地应力方向的夹角按正常地应力、走滑地应力和反转地应力类型依次为 90°、45°和 0°。

**关键词** 地应力类型 定向井 井壁稳定 井眼轨迹方位 正常地应力 走滑地应力 反转地应力

DOI: 10.3787/j.issn.1000-0976.2012.03.018

不同地应力分布条件下, 定向井的井斜角、井眼方位角和地层压力等参数对井壁稳定性影响的规律也有较大差别, 而井壁稳定性对定向井和水平井的安全快速钻进以及完井方式的选择都有很大的影响<sup>[1-3]</sup>, 因此, 开展地应力类型对定向井井壁稳定性的影响规律研究, 对井眼轨迹优化设计和完井方式优选都具有重要意义。

## 1 地应力类型的划分

地层岩石所处的地应力场一般由垂向应力( $\sigma_v$ )、最大水平地应力( $\sigma_{H1}$ )和最小水平地应力( $\sigma_{H2}$ )组成, 根据垂直主应力( $S_v$ )和两个水平主应力之间的关系, 可将地应力分为 3 种地应力类型(图 1), 即正常地应力类型( $S_v > S_{Hmax} > S_{Hmin}$ )、走滑地应力类型( $S_{Hmax} > S_v > S_{Hmin}$ )及反转地应力类型( $S_{Hmax} > S_{Hmin} > S_v$ )<sup>[4]</sup>。

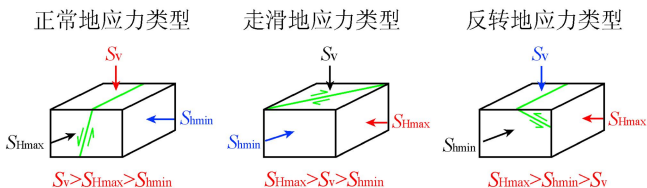


图 1 地应力类型的划分图

## 2 井壁岩石破坏准则

井壁不稳定分两种情况<sup>[5]</sup>: ①井筒压力过高, 使井壁岩石发生破裂; ②井筒压力过低, 使井壁岩石发生剪切破坏, 即井壁坍塌。通常井壁破裂压力取最小地应力值, 因此, 本文重点讨论地应力类型对井壁坍塌压力的影响规律。

目前, 岩石破坏准则较多, 而四川地区应用较多的是 Mohr-Coulomb 准则, 并且该准则计算结果与实际情况较为接近。根据 Mohr-Coulomb 准则:

$$\begin{cases} \tau_{\max} = 0.5(\sigma_1 - \sigma_3) \cos \varphi \\ \sigma_3 = 0.5[(\sigma_1 + \sigma_3) - (\sigma_1 - \sigma_3) \sin \varphi] \\ \sigma_1 = C_i + \sigma_3 \tan \varphi \end{cases}$$

式中  $\tau_{\max}$  为剪切面上的剪切应力, MPa;  $\sigma_3$  为剪切面上的法向应力, MPa;  $\sigma_1$  为岩石抗剪强度, MPa;  $C_i$  为岩石内聚力, MPa;  $\varphi$  为岩石内摩擦角, ( $^\circ$ );  $\sigma_1$  和  $\sigma_3$  分别为井壁周围最大和最小主应力, MPa; 可根据 3 个方向的地应力和地层孔隙压力变换得到。

若  $\tau_{\max} > \sigma_1$ , 则井眼将发生剪切破坏, 反之则不会发生剪切破坏。因此, 可根据  $\tau_{\max}$  的大小来判断井壁发生坍塌破坏的难易程度, 进而对井眼轨迹进行优选和推荐<sup>[6-7]</sup>。

### 3 地应力类型对井壁稳定性的影响

#### 3.1 正常地应力类型( $S_1 > S_{Hmax} > S_{Hmin}$ )

四川盆地 GA 气田即为正常地应力类型,根据 GA002-11-H2 井地应力实验结果,在井深为 2 010 m 处,垂向主应力为 43.62 MPa,水平最大主应力为 40.2 MPa,水平最小主应力为 30.15 MPa,孔隙压力为 22.1 MPa,泊松比为 0.204,岩石内聚力为 23 MPa,内摩擦角为 39°,孔隙度为 8%,有效应力系数为 0.85,渗透性系数为 1。假设井眼方位角为 0°(即井眼方位与最大水平地应力同向)或井斜角为 90°(即水平井),则井斜角和井眼方位角对井壁周围的最大剪应力影响规律分别如图 2 所示。

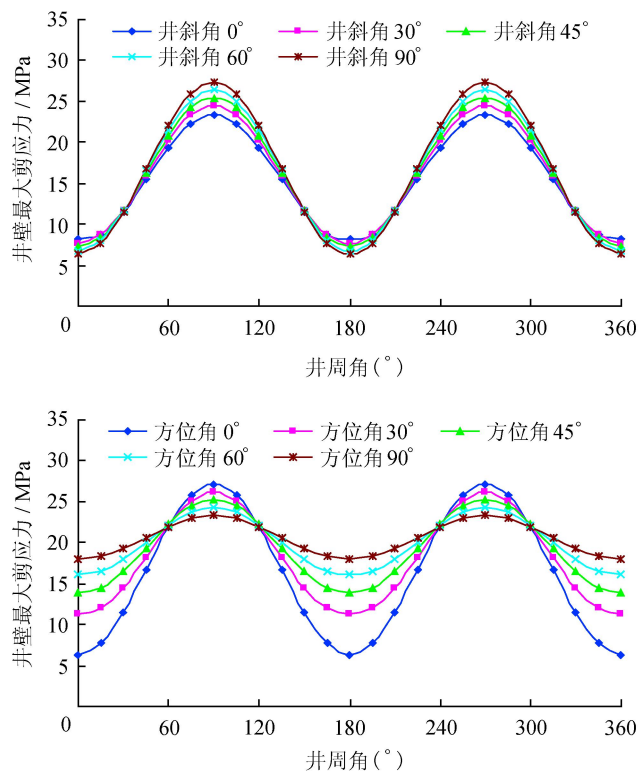


图 2 正常地应力类型的井斜和井眼方位对井壁坍塌的影响规律图

可以看出,在井眼方位角一定的条件下( $\beta=0^\circ$ ),井斜角由 0°增加到 90°过程中,井壁周围的最大剪应力不断增加,井壁稳定性逐步变差,因此,水平井比直井更容易发生井壁垮塌破坏;井斜角一定的条件下( $\alpha=90^\circ$ ),井眼方位角从 0°变化到 90°过程中,井壁上的最大剪应力不断减小且井周剪应力变化趋小,也就是说,在正常地应力类型时,大斜度井和水平井井眼方位沿最小主应力方向时,井壁稳定性最好。

#### 3.2 走滑地应力类型( $S_{Hmax} > S_1 > S_{Hmin}$ )

四川盆地 HC 气田即为走滑地应力类型,根据 HC001-6-H1 井地应力实验结果,在井深为 2 230 m 处,垂向主应力为 52.4 MPa,水平最大主应力为 58.0 MPa,水平最小主应力为 45.7 MPa,井底流压为 14 MPa,孔隙压力为 29 MPa,泊松比为 0.2,岩石内聚力为 32 MPa,内摩擦角为 35.2°,孔隙度为 10%,有效应力系数为 0.85,渗透性系数为 1。同样假设井眼方位角为 0°(即井眼方位与最大水平地应力同向)或井斜角为 90°(即水平井),则井斜角和井眼方位角对井壁周围的最大剪应力影响规律分别如图 3 所示。

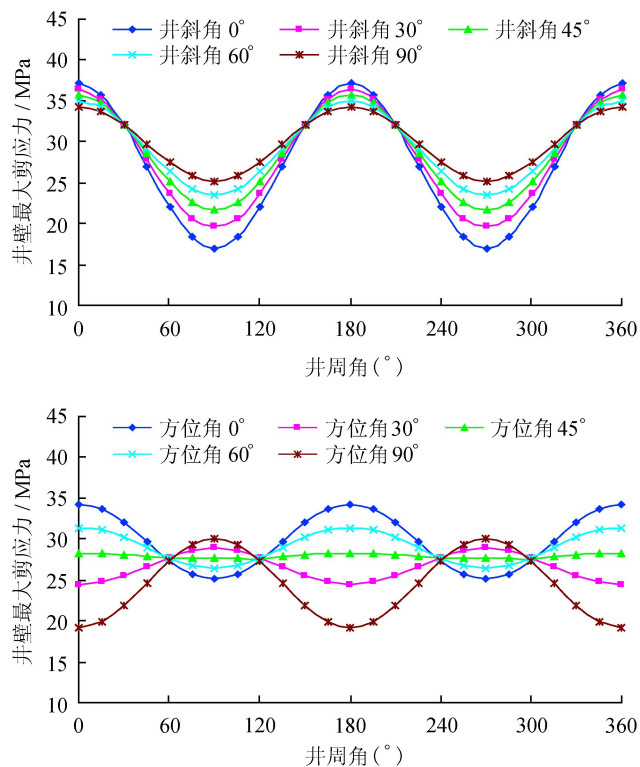


图 3 走滑地应力类型的井斜和井眼方位对井壁坍塌的影响规律图

可以看出,走滑地应力类型条件下,井眼方位一定时( $\beta=0^\circ$ ),随着井斜角的增加井壁周围的最大剪应力不断减小,井壁稳定性不断增强,也即是说,HC 气田水平井比直井井壁稳定性更好;井斜角一定时( $\alpha=90^\circ$ ),井眼方位角从 0°变化到 90°过程中,井壁上的最大剪应力先减小后增大,井眼方位角  $\beta=45^\circ$  时,井壁周围剪应力变化最小,井壁稳定性最好。

#### 3.3 反转地应力类型( $S_{Hmax} > S_{Hmin} > S_1$ )

反转地应力类型相对少见,与上述两种地应力类型相比,地应力对井壁坍塌压力的影响规律也存在一

定的差异。假设某井井深为 2 230 m 处,垂向主应力为 55.8 MPa,水平最大主应力为 68.6 MPa,水平最小主应力为 63.7 MPa,井底流压为 14 MPa,孔隙压力为 29 MPa,泊松比为 0.2,岩石内聚力为 32 MPa,内摩擦角为 35.2°,孔隙度为 10%,有效应力系数为 0.85,渗透性系数为 1。假设井眼方位角为 0°(即井眼方位与最大水平地应力同向)或井斜角为 90°(即水平井),则井斜角和井眼方位角对井壁周围的最大剪应力影响规律分别如图 4 所示。

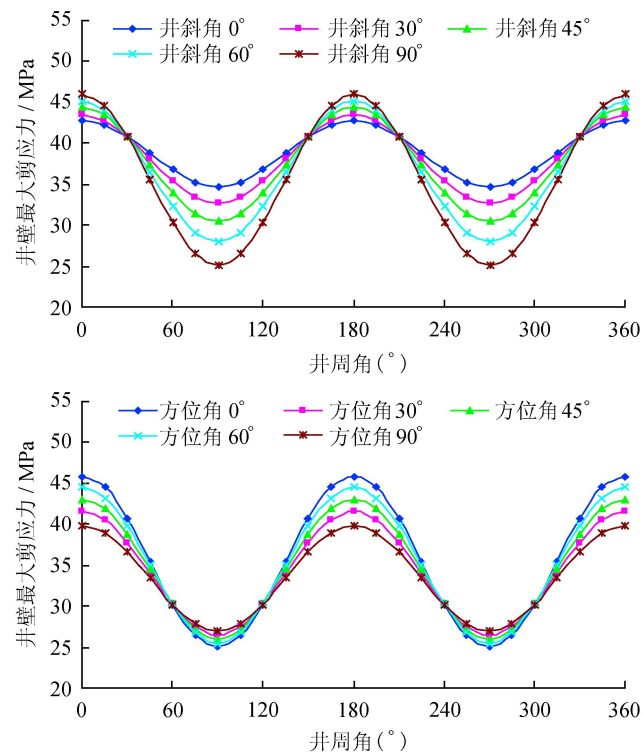


图 4 反转地应力类型的井斜和井眼方位对井壁坍塌的影响规律图

可以看出,反转地应力类型条件下,井眼方位一定( $\beta=0^\circ$ )时,随着井斜角的增加,井壁稳定性变差,即直井较大斜度井和水平井稳定性更好;井斜角为 90°(即水平井)时,眼方位角从 0°变化到 90°的过程中,井壁周围的剪应力逐渐增加,井壁稳定性不断变差,即大斜

度井或水平井井眼方位与水平最小地应力同向时井壁稳定性最差。

## 4 认识与结论

1)地应力类型和井眼轨迹对定向井井壁稳定性有较大的影响,地应力类型不同的条件下,井眼轨迹(井斜角和井眼方位角)对定向井井壁稳定性的影响规律也不相同。

2)正常和反转地应力类型条件下,随着井斜角的增加,井壁稳定性逐渐变差,即直井比定向井或水平井井壁稳定性更好;走滑地应力类型条件下,随着井斜角的增加,井壁稳定性逐渐增强,即水平井井壁稳定性最好。

3)从井壁稳定性方面考虑,钻井或完井过程中,为保持较好的井壁稳定性,定向井最优钻井方位与最大水平地应力方向的夹角按正常地应力、走滑地应力、反转地应力类型依次为 90°、45°和 0°。

## 参 考 文 献

- [1] 刘向君,罗平亚.岩石力学与石油工程[M].北京:石油工业出版社,2004.
- [2] 雷正义.砂泥岩地层井壁力学稳定性研究及软件编制[R].成都:西南石油学院,2004.
- [3] 刘向君,罗平亚,孟英峰.地应力场对井眼轨迹及稳定性的影响研究[J].天然气工业,2004,24(9):57-59.
- [4] FINKBEINER T, MOOS D, DEROSE W, et al. Wellbore stability evaluation for horizontal hole completion — A case study[C]// paper 64409-MS presented at the SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition, 16-18 October, 2000, Brisbane, Australia. New York: SPE, 2000.
- [5] 刘厚彬,孟英峰,李皋,等.超深井井壁稳定性分析[J].天然气工业,2008,28(4):67-69.
- [6] 刘向君,罗平亚.测井在井壁稳定性研究中的应用及发展[J].天然气工业,1999,19(6):33-35.
- [7] 周长江,刘向君,张卓,等.水平气井井壁稳定性研究[J].天然气工业,2006,26(8):81-82.

(修改回稿日期 2012-01-17 编辑 凌 忠)