

天然裂缝产状对水力压裂施工压力的影响

范立华¹, 杨玉才¹, 张海龙¹, 陈延祯², 雷 雲³

(1. 大庆油田有限责任公司井下作业分公司, 黑龙江 大庆 163000; 2. 大庆油田有限责任公司重庆分公司
地质工艺研究中心, 重庆 402660; 3. 成都理工大学能源学院, 成都 610059)

摘要:天然裂缝产状是影响裂缝壁面法向应力及切向应力的重要参数,而天然裂缝应力状态是决定地面施工压力大小的重要因素,准确计算、预测施工压力大小对水力压裂设计与施工有着重要的作用。根据天然裂缝产状和地层地应力状态,基于裂缝起裂与延伸准则,建立地面施工压力计算模型,并利用实际裂缝型储层进行计算分析。研究发现:正断层与走滑断层中,倾角越小施工压力越小,正断层中方位角越趋近于 0° 、 180° 、 360° 时施工压力越小;走滑断层中方位角越趋近于 90° 、 270° 时施工压力越小。逆断层中,当方位角为 $0^\circ\sim 45^\circ$ 、 $135^\circ\sim 225^\circ$ 、 $315^\circ\sim 360^\circ$ 时,倾角越大施工压力越大,当方位角为 $45^\circ\sim 135^\circ$ 、 $225^\circ\sim 315^\circ$ 时,倾角越大施工压力越小;同一倾角下,方位角在 $0^\circ\sim 90^\circ$ 、 $180^\circ\sim 270^\circ$ 范围内时,施工压力随方位角增大而减小,方位角在 $90^\circ\sim 180^\circ$ 、 $270^\circ\sim 360^\circ$ 范围内时,施工压力随方位角增大而增大。根据天然裂缝产状准确计算施工压力大小,可为现场压裂施工参数选择与优化提供理论依据。

关键词:产状;正应力;剪应力;破裂压力;施工压力

中图分类号: TE357 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2024)17-0323-06

天然裂缝性储层在中国具有相当比重的油气资源储量,此类储层的一大特点是天然裂缝大量发育,储层中天然裂缝的存在对储层的增产改造工艺有重要影响^[1]。一方面天然裂缝是储层流体流动的重要通道,储层改造施工过程中沟通天然裂缝,可显著提高增产效果;另一方面储层改造施工中沟通天然裂缝会增加液体滤失,降低主裂缝内的净压力,导致人工裂缝延伸范围受限。因此充分认识天然裂缝对储层增产改造的影响,对优化压裂施工参数、进一步提高裂缝性储层改造效果有重要意义。

大量工程研究与实践发现,天然裂缝的发育程度与是否激活是影响储层产量的重要因素^[1,3-9],天然裂缝的存在使得储层的应力状态十分复杂,对破裂压力的计算与分析带来了难度。Tong等^[10]定义了裂缝判断依据,建立了计算初始裂缝压力的有限元模型,研究了射孔方位角、密度、直径和深度的影响机理,为射孔工程的设计和优化提供了理论参考。金衍等^[11-12]针对垂直井与斜井在裂缝性储层中的起裂机理进行了研究,提出了3种起裂方式,并研究了不同起裂方式下的破裂压力计算模型。在

煤岩储层破裂压力的研究中,朱保存等^[13]运用有限元方法,针对不同地应力条件下的破裂压力进行了研究;赵金洲等^[14]、任岚等^[15]考虑了天然裂缝与孔眼相交的情况下,建立了不同破裂模式下的裂缝性地层射孔井的破裂压力计算模型,并分析3种破裂模式的下破裂压力的关系;赵腾等^[16]以径向井为研究对象,建立了径向井压裂激活天然裂缝的解析模型,分析了天然裂缝产状与储层地应力状态对裂缝起裂的影响规律。

天然裂缝的存在从本质上改变了储层的地应力状态以及油气渗流通道,尤其是天然裂缝大量发育的储层,岩石较为破碎,岩体的完整性较差,给常规的地应力分析提出了很大的难题。国内外学者已经探索了大量天然裂缝性储层的地应力解释方法,却少有直接探究裂缝产状与施工压力之间对应关系的内容。

本文在阅读大量国内外文献的基础上,总结天然裂缝产状与地应力的关系,并运用岩石力学相关知识,探究天然裂缝受力与施工压力的联系,再利用相关数据进行实例计算分析,建立天然裂缝产状

收稿日期: 2024-03-03

基金项目: 国家自然科学基金(U20A20265)

作者简介: 范立华(1982—),男,黑龙江绥化人,高级工程师,研究方向为采油气工程;杨玉才(1984—),男,山东无棣人,高级工程师,研究方向为采油气工程;张海龙(1972—),男,山东济南人,高级工程师,研究方向为采油气工程;陈延祯(1987—),男,江西南康人,高级工程师,研究方向为采油气工程;通信作者雷雲(1999—),男,四川渠县人,硕士研究生,研究方向为油气田开发工程。

对施工压力影响的关系模型,对天然裂缝性地层油气的勘探开发具有一定意义。

1 地层中天然裂缝受力状态

1.1 原始地应力状态

原始地应力场是指地层中未经任何开采扰动的天然应力状态(不考虑天然裂缝),是由地壳内部的重力作用、地壳构造运动以及多种因素综合作用引起的介质内部单位面积上的作用力^[17],可以分为垂向地应力和两个水平地应力。

根据已有的地应力计算模型可知,垂向应力可以假设等于上覆岩层的重量,即

$$\sigma_v = \int_0^H \rho(h) g dh \quad (1)$$

式中: σ_v 为垂向主应力,MPa; H 为储层埋藏深度,m; $\rho(h)$ 为地层岩石的密度 ρ 随深度 h 变化的函数,kg/m³; g 为重力加速度,m/s²。

实际地层岩石密度与埋深的变化并不是连续的函数关系,但是可以通过密度测井曲线求出各井段的平均密度。垂向地应力计算公式可以用分段函数求和的方法来表示,即

$$\sigma_v = \frac{\Delta D_i}{10} \sum_{i=0}^n P_i \quad (2)$$

式中: P_i 为密度测井曲线上第 i 段地层的平均体积密度,g/cm³; ΔD_i 为第 i 段地层厚度,m。

地层有岩石骨架和岩石孔隙中的流体共同组成,岩石骨架所受的构造应力和孔隙流体所产生的压力来自四面八方,水平方向上的两个地应力不相等,并假设地层和地层之间不发生相对位移,两水平方向的应变在所有地层中均为常数。通过组合弹簧模型来描述水平地应力^[18]为

$$\sigma_h = \frac{\nu}{1-\nu}(\sigma_v - \alpha P_p) + \frac{E\varepsilon_h}{1-\nu^2} + \frac{\nu E\varepsilon_H}{1-\nu^2} + \alpha P_p \quad (3)$$

$$\sigma_H = \frac{\nu}{1-\nu}(\sigma_v - \alpha P_p) + \frac{E\varepsilon_H}{1-\nu^2} + \frac{\nu E\varepsilon_h}{1-\nu^2} + \alpha P_p \quad (4)$$

式中: σ_h 、 σ_H 分别为最小水平主应力和最大水平主应力,MPa; ε_h 、 ε_H 分别为地层在最小、最大水平应力方向的构造应力系数; E 为岩石弹性模量,MPa; ν 为岩石泊松比; P_p 为地层孔隙压力,MPa; α 为 Biot 多孔弹性系数。

1.2 天然裂缝产状定义

天然裂缝的产状是指裂缝的倾角、倾向和走向这3方面的几何参数,其现场实际数据可以通过成像测井等方式进行获取^[19],其中在天然裂缝产状的

描述方面主要针对倾角和走向进行研究。倾角和走向是天然裂缝的主要几何属性参数,倾角是裂缝面与 X - Y 平面之间的夹角,范围为 $0^\circ \sim 90^\circ$ 。走向主要用来描述天然裂缝与 X - Y 平面所成的交线,它的方向和大小与方位角相同,方位角指的是 Y 轴方向与交线的夹角,范围为 $0^\circ \sim 360^\circ$ 。裂缝椭圆盘模型示意图如图1所示。

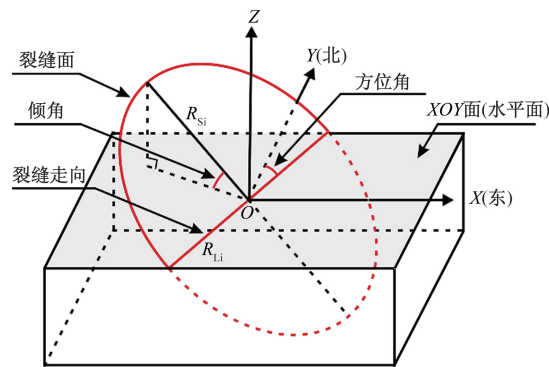


图1 裂缝椭圆盘模型示意图

1.3 天然裂缝应力状态分析

1.3.1 应力状态分析方法

在图2中,坐标轴 OX 、 OY 、 OZ 的方向分别与主应力 σ_1 、 σ_2 、 σ_3 的方向一致,且 $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ 。穿过裂缝所在平面的正应力 σ_n ^[20] 表示为

$$\sigma_n = l^2 \sigma_1 + m^2 \sigma_2 + n^2 \sigma_3 \quad (5)$$

剪切应力 τ_n 表示为

$$\tau_n = [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 l^2 m^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 m^2 n^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 n^2 l^2]^{1/2} \quad (6)$$

假设坐标轴 OX 水平指向东方, OY 轴水平指向北方, OZ 轴垂直向上。如图3所示,如果裂缝所在平面的轴线 OA 与 XOY 平面的夹角(垂直上升角)为 δ , OX 轴与 OA 在 XOY 平面上的投影线的夹角为 γ (逆时针),则可由如下余弦公式计算裂缝的方向:

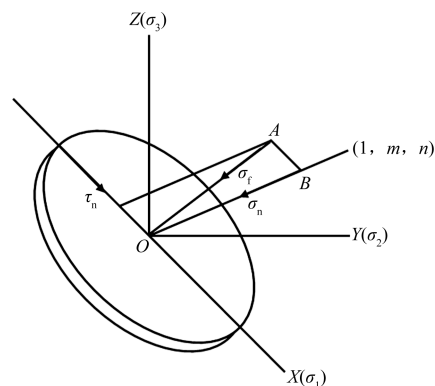


图2 裂缝正应力和剪切应力的计算原理

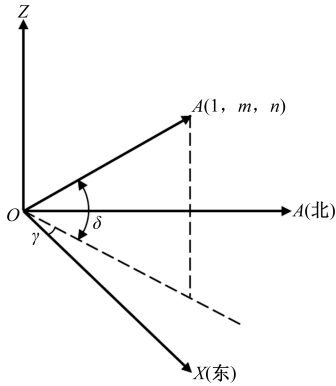


图3 余弦定理计算方位的原理

$$l = \cos\delta\cos\gamma, m = \cos\delta\sin\gamma, n = \sin\delta \quad (7)$$

垂直上升角 δ 和水平夹角 γ 可以用裂缝的倾角 (dip) 和方位角 (azimuth) 来表示, 如 $\delta = 90^\circ - \text{dip}$, $\gamma = 90^\circ - \text{azimuth}$ 。因此, 裂缝方向的余弦计算公式可以表示为

$$\begin{cases} l = \sin(\text{dip})\sin(\text{azimuth}) \\ m = \sin(\text{dip})\cos(\text{azimuth}) \\ n = \cos(\text{dip}) \end{cases} \quad (8)$$

1.3.2 模拟产状参数影响

为了研究天然裂缝产状与地应力的关系, 利用式(5)、式(6)分别计算不同裂缝倾角与方位角下正断层、逆断层、走滑断层的裂缝壁面正应力及剪应力大小。假设主应力 $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ 的方向与初始地应力的方向一致, 即在逆断层中为 $\sigma_1 = \sigma_H, \sigma_2 = \sigma_h, \sigma_3 = \sigma_v$; 在走向滑动断层中为 $\sigma_1 = \sigma_H, \sigma_2 = \sigma_v, \sigma_3 = \sigma_h$; 在正断层中为 $\sigma_1 = \sigma_v, \sigma_2 = \sigma_H, \sigma_3 = \sigma_h$ 。其中不同断层下各方向地应力大小见表1。

表1 不同断层各方向地应力大小

断层类型	σ_v/MPa	σ_H/MPa	σ_h/MPa
正断层	60	50	40
逆断层	40	60	50
走滑断层	50	60	40

1) 正应力

保持裂缝方位角为 30° , 计算不同倾角下天然裂缝缝面正应力的大小分布, 结果如图4所示; 保持裂缝倾角为 30° , 计算不同方位角下天然裂缝缝面正应力的大小分布, 结果如图5所示。

由图4可以看出, 天然裂缝缝面正应力大小随着倾角的增大而增大, 其中正断层裂缝缝面的正应力大小最小。在倾角小于 65° 时, 逆断层裂缝缝面的正应力大小最大; 在倾角大于 65° 时, 走滑断层裂缝缝面的正应力大小最大; 倾角为 0° 时裂缝易发生

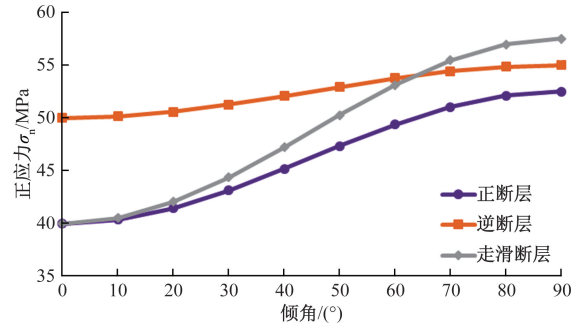


图4 天然裂缝缝面正应力值随裂缝倾角的变化规律

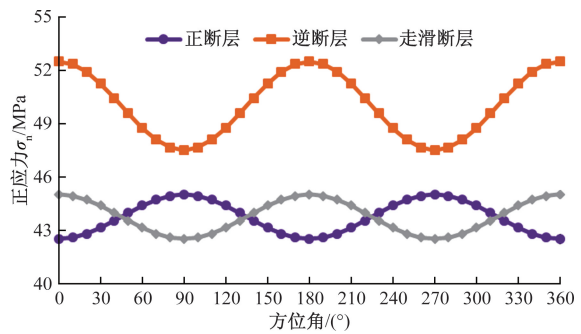


图5 天然裂缝缝面正应力值随裂缝走向的变化规律

张性破坏。

由图5可以看出, 天然裂缝缝面正应力大小随着方位角的增大呈周期性变化, 变化周期均为 π , 其中正断层在方位角为 $0^\circ, 180^\circ, 360^\circ$ 时取得最小值 42.5 MPa , 此时裂缝易发生张性破坏; 在 $90^\circ, 270^\circ$ 时取得最大值 45 MPa 。逆断层在方位角为 $90^\circ, 270^\circ$ 时取得最小值 47.5 MPa , 此时裂缝易发生张性破坏; 在 $0^\circ, 180^\circ, 360^\circ$ 时取得最大值 52.5 MPa 。走滑断层在方位角为 $90^\circ, 270^\circ$ 时取得最小值 42.5 MPa , 此时裂缝易发生张性破坏; 在 $0^\circ, 180^\circ, 360^\circ$ 时取得最大值 45 MPa 。

2) 剪应力

保持裂缝方位角为 30° , 计算不同倾角下天然裂缝缝面剪应力的大小分布, 结果如图6所示; 保持裂缝倾角为 30° , 计算不同方位角下天然裂缝缝面剪应力的大小分布, 结果如图7所示。

由图6可以看出, 逆断层天然裂缝缝面剪应力大小随着倾角的增大而增大, 正断层、走滑断层天然裂缝缝面剪应力大小随着倾角的增大先增大后减小, 且在倾角为 45° 时达到最大。倾角为 0° 时裂缝易发生剪性破坏。

由图7可以看出, 天然裂缝缝面剪应力大小随着方位角的增大呈周期性变化, 其中正断层变化周期为 π , 在方位角为 $0^\circ, 180^\circ, 360^\circ$ 时取得最小值

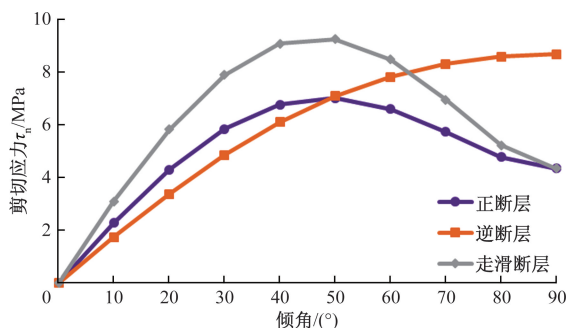


图6 天然裂缝面剪应力值随裂缝倾角的变化规律

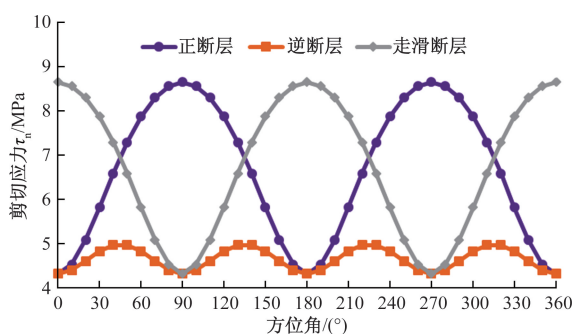


图7 天然裂缝面剪应力值随裂缝走向的变化规律

4.33 MPa,此时裂缝易发生剪性破坏;在 90° 、 270° 时取得最大值 8.66 MPa。逆断层变化周期为 $\pi/2$, 在方位角为 0° 、 90° 、 180° 、 270° 、 360° 时取得最小值 4.33 MPa,此时裂缝易发生张性破坏;在 45° 、 135° 、 225° 、 315° 时取得最大值约 5 MPa。走滑断层变化周期为 π , 在方位角为 90° 、 270° 时取得最小值 4.33 MPa,此时裂缝易发生张性破坏;在 0° 、 180° 、 360° 时取得最大值 8.66 MPa。

2 天然裂缝开启时施工压力计算

在实际储层中,裂缝的几何特征参数在总体上并没有遵循某些确定性的规律,但可以从测井资料和地震反演数据中观测到裂缝的几何特征,本章结合酸压施工压力进行分析,寻找天然裂缝受力与施工压力之间的关系。

2.1 施工压力的构成

施工压力由破裂压力、延伸压力以及闭合压力构成,其中破裂压力 > 延伸压力 > 闭合压力。其中破裂压力为使地层产生水力裂缝或张开原有裂缝时的井底流体压力^[21]。延伸压力为在压裂过程中,地层破裂后,使裂缝不断向前延伸所需要的井底压力,裂缝延伸压力与压裂液在缝中的流动阻力、岩石强度及地应力等因素有关。

2.2 裂缝破裂时施工压力计算模型

水力裂缝沿天然裂缝张性破裂的准

则^[11,14,22-23]为

$$p_F = p_{\text{perf}} \geq \sigma_n - \alpha p(r, t) \quad (10)$$

式中: p_{perf} 为孔眼流体压力, MPa; $p(r, t)$ 为地层孔隙压力, MPa; p_F 为破裂压力, MPa。

井口施工压力计算公式为

$$p = p_F - p_H + p_{\text{ft}} + p_{\text{fc}} + p_{\text{per}} \quad (11)$$

式中: p 为井口施工压力, MPa; p_H 为井筒液柱压力, MPa; p_{ft} 为压裂管柱中油管部分摩阻, MPa; p_{fc} 为压裂管柱中套管部分压裂液流动摩阻, MPa; p_{per} 为孔眼摩阻, MPa。

3 天然裂缝产状对施工压力的影响

现有某一裂缝性储层,其基本数据见表2。计算得到正断层、逆断层、走滑断层不同天然裂缝产状下的施工压力分布分别如图8~图10所示。

可以看出,正断层中,同一方位角下,倾角越小施工压力越小;同一倾角下,方位角为 0° 、 180° 、 360° 时施工压力较小,为 90° 、 270° 时施工压力较大。逆断层中,当方位角为 $0^\circ \sim 45^\circ$ 、 $135^\circ \sim 225^\circ$ 、 $315^\circ \sim 360^\circ$ 时,倾角越大施工压力越大,当方位角为 $45^\circ \sim 135^\circ$ 、 $225^\circ \sim 315^\circ$ 时,倾角越大施工压力越小;同一倾角下,方位角在 $0^\circ \sim 90^\circ$ 、 $180^\circ \sim 270^\circ$ 范围内时,施工压力随方位角增大而减小,方位角在 $90^\circ \sim 180^\circ$ 、 $270^\circ \sim 360^\circ$ 范围内时,施工压力随方位角增大而增大。走滑断层中,同一方位角下,倾角越小施工压力越小;同一倾角下,方位角为 90° 、 270° 时施工压力较小,为 0° 、 180° 、 360° 时施工压力较大。

表2 油田基本数据汇总

地层深度/m	有效应力系数	压裂液密度/($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	地层孔隙压力/MPa	井筒液柱压力/MPa	总摩阻/MPa
2 500	0.6	1.08	24.50	26.46	50.01

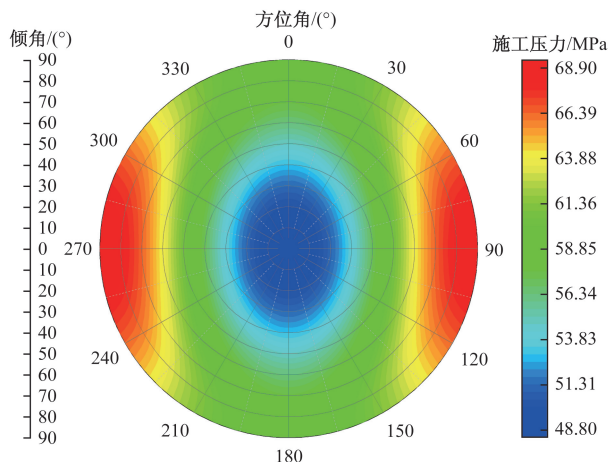


图8 正断层不同产状下施工压力分布

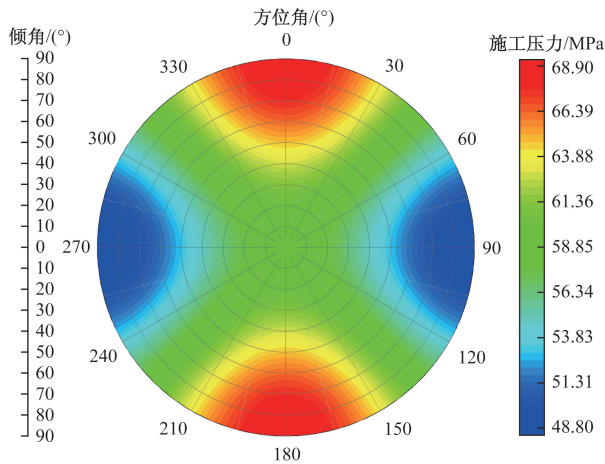


图9 逆断层不同产状下施工压力分布

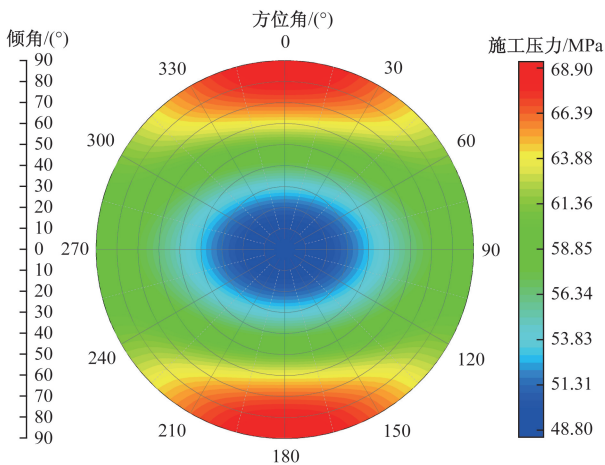


图10 走滑断层不同产状下施工压力分布

4 结论

分析了不同断层不同天然裂缝产状下的裂缝应力状态,建立了不同断层天然裂缝产状与水力压裂施工压力的关系模型,得到以下结论。

(1)裂缝面应力状态与天然裂缝产状关系密切,不同断层裂缝壁面正应力的大小随着倾角的增大而增大,随着方位角的增大呈现周期性变化;正断层、走滑断层剪应力随着倾角的增大先增大后减小,在倾角为 45° 时达到最大,逆断层随着倾角的增大而增大;不同断层裂缝壁面剪应力的大小随着方位角的增大呈现周期性变化。

(2)正断层与走滑断层中,倾角越小施工压力越小,正断层中方位角越趋近于 0° 、 180° 、 360° 时施工压力越小;走滑断层中方位角越趋近于 90° 、 270° 时施工压力越小。逆断层中,当方位角为 $0^\circ\sim 45^\circ$ 、 $135^\circ\sim 225^\circ$ 、 $315^\circ\sim 360^\circ$ 时,倾角越大施工压力越大,当方位角为 $45^\circ\sim 135^\circ$ 、 $225^\circ\sim 315^\circ$ 时,倾角越大施

工压力越小;同一倾角下,方位角在 $0^\circ\sim 90^\circ$ 、 $180^\circ\sim 270^\circ$ 范围内时,施工压力随方位角增大而减小,方位角在 $90^\circ\sim 180^\circ$ 、 $270^\circ\sim 360^\circ$ 范围内时,施工压力随方位角增大而增大。

参考文献

- [1] 卢军凯,姚丹丹,汪涛,等. 裂缝性致密储层待破裂区影响的压裂物模实验研究[J]. 科学技术与工程, 2021, 21(23): 9837-9842.
- [2] 王俊鹏,张惠良,张荣虎. 裂缝发育对超深层致密砂岩储层的改造作用:以塔里木盆地库车坳陷克深气田为例[J]. 石油与天然气地质, 2018, 39(1): 77-88.
- [3] 王凯. 致密砂岩气藏天然裂缝对渗流特性及产能影响规律研究[D]. 北京:中国石油大学(北京), 2018.
- [4] 王志民,张辉,徐珂,等. 超深裂缝性砂岩气藏增产地质工程一体化关键技术与实践[C]//第32届全国天然气学术年会(2020)论文集. 重庆:中国石油学会天然气专业委员会, 2020: 1-9.
- [5] 邸士莹. 致密油藏注水裂缝扩展机理及有效开发方式研究[D]. 北京:中国石油大学(北京), 2021.
- [6] 侯龙飞. 缝洞型碳酸盐岩定向压裂模拟试验研究[D]. 重庆:重庆大学, 2020.
- [7] GALE J F W, HOLDER J. Natural fractures in some US shales and their importance for gas production[C]//Petroleum Geology: From Mature Basins to New Frontiers-Proceedings of the 7th Petroleum Geology Conference, B. A. Vining, S. C. Pickering. London: Geological Society, 2010: 1131-1140.
- [8] 王颖骅. 基于相场法的人工裂缝转向扩展规律研究[D]. 大庆:东北石油大学, 2021.
- [9] ZHENG H, PU C S, WANG Y, et al. Experimental and numerical investigation on influence of pore-pressure distribution on multi-fractures propagation in tight sandstone[J]. Engineering Fracture Mechanics, 2020, 230: 106993.
- [10] TONG H, WANG N N, DONG L L, et al. Affection mechanism research of initiation crack pressure of perforation parameters of horizontal well[J]. Petroleum, 2016, 2(3): 282-288.
- [11] 金衍,张旭东,陈勉. 天然裂缝地层中垂直井水力裂缝起裂压力模型研究[J]. 石油学报, 2005(6): 113-114, 118.
- [12] 金衍,陈勉,张旭东. 天然裂缝地层斜井水力裂缝起裂压力模型研究[J]. 石油学报, 2006(5): 124-126.
- [13] 朱宝存,唐书恒,颜志丰. 地应力与天然裂缝对煤储层破裂压力的影响[J]. 煤炭学报, 2009, 34(9): 1199-1202.
- [14] 赵金洲,任岚,胡永全. 裂缝性地层水力裂缝张性起裂压力分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2013, 32(S1): 2855-2862.
- [15] 任岚,赵金洲,胡永全. 裂缝性储层射孔井水力裂缝张性起裂特征分析[J]. 中南大学学报(自然科学版),

- 2013, 44(2): 707-713.
- [16] 赵腾, 张绍哲, 邵春磊, 等. 径向井压裂激活天然裂缝模型研究[J]. 科技和产业, 2021, 21(8): 250-254.
- [17] 梁利喜, 高阳, 刘向君, 等. 砂砾岩地层三维地应力场研究[J]. 科学技术与工程, 2021, 21(6): 2194-2201.
- [18] 刘钰洋, 鞠玮, 熊伟, 等. 川南泸州区块五峰-龙马溪组现今地应力特征与页岩气开发[J]. 科学技术与工程, 2024, 24(8): 3200-3206.
- [19] 苏可嘉, 秦臻, 邓呈祥, 等. 致密砂岩裂缝填充识别及其测井响应特征: 以鄂尔多斯盆地镇泾油田延长组为例[J]. 科学技术与工程, 2022, 22(21): 9095-9104.
- [20] 郭天魁, 张士诚, 刘卫来. 页岩储层射孔水平井分段压裂的起裂压力[J]. 天然气工业, 2013, 33(12): 87-93.
- [21] 周拿云, 杨兆中. 地层破裂压力预测技术综述[J]. 重庆科技学院学报(自然科学版), 2011, 13(1): 36-39.
- [22] 丁乙, 刘向君, 罗平亚. 裂缝性储层射孔井起裂压力影响因素分析[J]. 应用数学和力学, 2018, 39(7): 811-820.
- [23] 赵金洲, 任岚, 胡永全. 裂缝性地层射孔井破裂压力计算模型[J]. 石油学报, 2012, 33(5): 841-845.

Influence of Natural Fracture Occurrence on Hydraulic Fracturing Construction Pressure

FAN Lihua¹, YANG Yucan¹, ZHANG Hailong¹, CHEN Yanzhen², LEI Yun³

(1. Daqing Oilfield Co., Ltd. Downhole Operation Branch, Daqing 163000, Heilongjiang, China;

2. Geological Process Research Centre, Chongqing Branch, Daqing Oilfield Co., Ltd., Chongqing 402660, China;

3. College of Energy, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: The occurrence of natural fractures is an important parameter affecting the normal stress and tangential stress of the fracture wall, and the stress state of natural fractures is an important factor determining the magnitude of the ground construction pressure. Accurate calculation and prediction of the construction pressure plays an important role in hydraulic fracturing design and construction. According to the natural fracture occurrence and formation stress state, based on the criterion for fracture initiation and extension, a calculation model of the ground construction pressure is established. Using the actual fractured reservoir for calculation and analysis, it is found that: in normal fault and strike-slip fault, the smaller the dip angle is, the smaller the construction pressure is, and the smaller the construction pressure is when the azimuth angle is closer to 0° , 180° , 360° in normal fault, and the smaller the construction pressure is when the azimuth angle is closer to 90° , 270° in strike-slip fault. In the reverse fault, when the azimuth angle is $0^\circ \sim 45^\circ$, $135^\circ \sim 225^\circ$, $315^\circ \sim 360^\circ$, the larger the inclination angle, the larger the construction pressure, when the azimuth angle is $45^\circ \sim 135^\circ$, $225^\circ \sim 315^\circ$, the larger the inclination angle, the smaller the construction pressure, under the same inclination angle, when the azimuth angle is in the range of $0^\circ \sim 90^\circ$, $180^\circ \sim 270^\circ$, the construction pressure is reduced with the increase of azimuth angle. For the same inclination angle, when the azimuth angle is within the range of $90^\circ \sim 180^\circ$ and $270^\circ \sim 360^\circ$, the construction pressure increases with the increase of azimuth angle. Accurate calculation of the construction pressure according to the occurrence of natural fractures can provide a theoretical basis for the selection and optimization of field fracturing parameters.

Keywords: occurrence; normal stress; shear stress; fracture pressure; construction pressure