

石油、天然气工业

径向井引导水力压裂裂缝定向扩展技术

田雨¹ 曲占庆¹ 郭天魁¹ 田洋阳² 李小龙¹ 张伟¹
(中国石油大学(华东)石油工程学院¹, 储运与建筑工程学院², 青岛 266580)

摘要 目前,利用径向井压裂改造技术开发低渗透油层、薄油层、裂缝性油气层、注水后“死油区”等受到越来越多地关注;但国内外尚未对此进行系统的研究。受地应力控制和储层非均质性影响,水力压裂裂缝很可能无法顺利沿径向井方向延伸沟通目标区域,导致储层增产效果不理想。基于多径向孔压裂裂缝起裂压力分析和塑性区理论,推导出多口径径向井在地应力条件下引导压裂裂缝定向扩展准则。满足该条件时,多径向井会在储层中产生连续塑性区,裂缝在塑性区内扩展不受地应力影响而保持定向扩展,保证了压裂施工时各径向井间裂缝相互贯通,形成沿径向井轴心面方向的主裂缝。兼顾经济性优化出了径向井间的最大间距,为径向井水力压裂技术的有效实施提供了可靠的科学依据。

关键词 径向井 水力压裂 裂缝起裂 裂缝导向

中图分类号 TE357.1; **文献标志码** A

径向井是指曲率半径远比常规钻井曲率半径更短的一种水平井^[1-3],通过高压水力喷射钻井,可实现井眼直径 30 ~ 50 mm,长度可达 80 ~ 150 m。单径向井钻孔的成本仅为 5 ~ 10 万元,如果连续作业,成本更低。适合于开发低渗透油层、薄油层、裂缝性油气层、注水后的“死油区”、岩性圈闭油藏以及压裂效果不好的探井或近井地带污染/堵塞严重的已开发井^[4,5]。

目前,单径向井引导水力压裂裂缝起裂的机理仍不明确。受水平地应力影响,水力压裂裂缝很可能无法顺利沿单径向井方向延伸沟通目标区域,中途偏向最大水平地应力方向。这就需要克服原地应力场,提高径向井的引导强度。基于孔间干扰的多孔压裂裂缝导向技术已在静态破碎剂破岩和煤层瓦斯抽采工程中得到应用^[6-8],通过多孔布置,在岩体中形成连续塑性区,使轴心面上的孔壁处的拉应力值最大,并最先达到被破碎体的抗拉强度而产生裂纹。基于该理论,提出了在垂向上沿井筒间隔一定距离布置径向井排,方向一致,共同指向目标区(如图 1),利用径向井孔间

干扰,一定地层条件下克服原地应力场的影响和非均质性的干扰,实现人工控制水力裂缝沿井排方向定向扩展^[9]。因此,需要确定一定地应力场和径向井方位角条件下,多径向井引导裂缝定向扩展的力学条件。

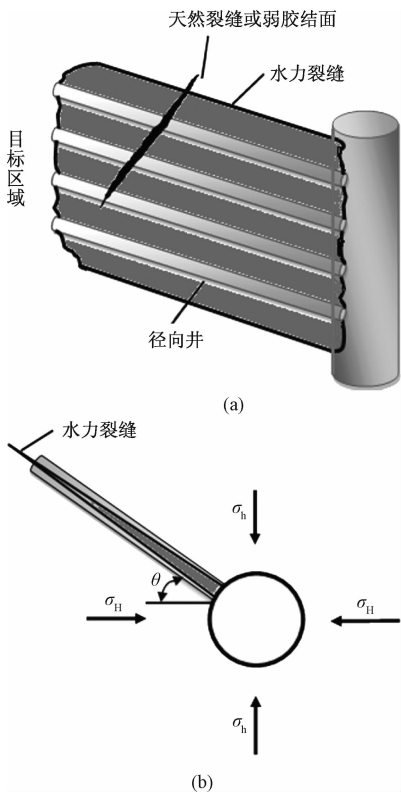


图1 多径向井引导裂缝扩展示意图
Fig. 1 A schematic diagram of multiple radial wells vectoring fracture propagation

2016年12月12日收到
中央高校基本科研业务费
专项资金(15CX06029A)资助

第一作者简介:田雨(1987—),男,博士研究生。研究方向:采油工程理论与技术。E-mail: tianyufifa@163.com。

引用格式:田雨,曲占庆,郭天魁,等. 径向井引导水力压裂裂缝定向扩展技术[J]. 科学技术与工程, 2017, 17(20): 154—159
Tian Yu, Qu Zhanqing, Guo Tiankui, et al. Theoretical research on radial wells orientating hydraulically created fracture directional extended [J]. Science Technology and Engineering, 2017, 17(20): 154—159

1 径向井压裂裂缝起裂机理

1.1 单井裂缝起裂

假设无限大地层中的一口径向井,半径为 R , 对其进行水力压裂时,施加随时间不断变化的井筒内压 $P_i(t)$, 距径向井中心距离 r 处的径向拉应力 σ_r 、切向拉应力 σ_θ 为^[10]

$$\begin{cases} \sigma_r = -\frac{R^2}{r^2}P_i(t) \\ \sigma_\theta = \frac{R^2}{r^2}P_i(t) \end{cases} \quad (1)$$

由式(1)可知,在径向井筒内压的作用下,井壁岩石的径向应力为压应力,切向应力为拉应力,且随井筒内压的增大而增大。当 $r=R$ 时, $\sigma_r = -P_i(t)$, $\sigma_\theta = P_i(t)$ 。 r 的最小值为 R , 因此最大主应力出现在径向井井壁上。

如图1,地层岩石受水平主应力的作用,径向井水力压裂产生垂直裂缝起裂时需克服岩石水平主应力,而径向井井轴与最大水平主应力之间的夹角也对裂缝的起裂压力有着重要影响^[11,12]。当井眼轴向与最大水平主应力平行时,裂缝起裂需克服最小水平主应力 σ_h ; 当井眼轴向与最大水平主应力垂直时,裂缝起裂需克服最大水平主应力 σ_H ; 当井眼轴向与最大水平主应力既不垂直也不平行,夹角为 θ ($0^\circ < \theta < 90^\circ$) 时,裂缝起裂需克服最大水平主应力与最小水平主应力在垂直于径向井井轴方向上的合力 ($\sigma_H \sin \theta + \sigma_h \cos \theta$), 井壁岩石受力情况如图2所示。当拉伸应力 σ_θ 超过井壁岩石的抗拉强度与水平主应力的合力时,井壁岩石将产生脆性破裂,在与切向拉应力垂直的方向上产生垂直裂缝。

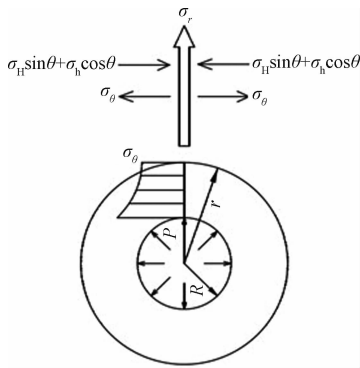


图2 单径向井压裂井壁受力示意图

Fig. 2 A schematic diagram of sidewall bearing in the process of single radial wells fracturing

1.2 双井裂缝起裂

岩石的抗拉强度一般为 $5 \sim 10$ MPa, 如果能够

合理的选择径向井钻井参数,就能较为容易的在两口径向井间产生定向裂缝。在垂向上沿井筒间隔一定距离 W , 钻两口方向一致的径向井,对两井空间受力情况进行理论分析:随着水力压裂的进行,两口井间某处的受力可以近似看作是各自作用效果的叠加,即:

$$\begin{cases} \sigma_r = \sigma_{r1} + \sigma_{r2} = -\left[\frac{r_1^2}{r^2}P_{i1}(t) + \frac{r_2^2}{(W-r)^2}P_{i2}(t)\right] \\ \sigma_\theta = \sigma_{\theta1} + \sigma_{\theta2} = \frac{r_1^2}{r^2}P_{i1}(t) + \frac{r_2^2}{(W-r)^2}P_{i2}(t) \end{cases} \quad (2)$$

对式(2)中 σ_θ 求 r 的导数,得:

$$\frac{d\sigma_\theta}{dr} = \frac{-2r_1^2P_{i1}(t)}{r^3} + \frac{2r_2^2P_{i2}(t)}{(W-r)^3} \quad (3)$$

在实际钻径向井过程中,为降低成本多采用相同的钻井工具,因此径向井各参数相同,令 $r_1 = r_2 = R$ 。对各径向井同步进行压裂施工,令 $P_{i1}(t) = P_{i2}(t) = P_i(t)$ 。式(3)可化简为

$$\frac{d\sigma_\theta}{dr} = \frac{-2R^2P_i(t)}{r^3} + \frac{2R^2P_i(t)}{(W-r)^3} \quad (4)$$

令 $\frac{d\sigma_\theta}{dr} = 0$, 解式(4)得 $r = \frac{W}{2}$, 该点为 σ_θ 的极值点。

$r = R$ 时:

$$\left.\frac{d\sigma_\theta}{dr}\right|_{r=R} = \frac{-2P_i(t)}{R} + \frac{2R^2P_i(t)}{(W-R)^3} < \frac{-2P_i(t)}{R} + \frac{2R^2P_i(t)}{R^3} = 0 \quad (5)$$

所以在 $R \leq r \leq \frac{W}{2}$ 的范围里,切向拉伸应力的合力 σ_θ 为单调递减,因此 σ_θ 的最大值出现在 R 处:

$$\sigma_{\theta\max} = \sigma_\theta|_{r=R} = P_i(t) + \frac{R^2P_i(t)}{(W-R)^2} \quad (6)$$

1.3 多井裂缝起裂

假设存在 n 口在垂直方向上相位角为 0 的径向井,选取其中第 A_{i-1} 、第 A_i 和第 A_{i+1} 三口井,井间距为 W 。根据应力场叠加原理, A_i 和 A_{i+1} 井轴心面 ($R \ll r \ll W - R$) 上拉应力为

$$\sigma_\theta = \frac{R^2}{r^2}P_i(t) + \sum_{n=1}^{i-1} \frac{R^2}{(nW+r)^2}P_i(t) + \sum_{n=i}^{N-i} \frac{R^2}{(nW-r)^2}P_i(t) \quad (7)$$

轴心面上井壁处的拉应力为

$$\sigma_{\theta\max} = \sigma_\theta|_{r=R} = P_i(t) + \sum_{n=1}^{i-1} \frac{R^2}{(nW+R)^2}P_i(t) + \sum_{n=i}^{N-i} \frac{R^2}{(nW-R)^2}P_i(t) \quad (8)$$

由于径向井径 R 远小于径向井间距 W , 可将式(8)中 R 略去, 简化为

$$\sigma_{\theta\max} = P_i(t) + \frac{R^2 P_i(t)}{W^2} \left(\sum_{n=1}^{i-1} \frac{1}{n^2} + \sum_{n=1}^{N-i} \frac{1}{n^2} \right) \quad (9)$$

当有多口径向井在垂直方向上以相同间距成排布设时, 井间地层岩石所受应力会得到加强, 在各径向井间会出现最大的切向拉伸应力和最大的径向拉伸应力。径向井井眼的轴心面为主应力面, 由于径向井井眼轴心面上切向拉伸应力的叠加, 导致径向井井壁处的切向拉伸应力值最大, 并最先达到井壁岩石的抗拉强度与水平主应力在垂直于裂缝方向上的合力之和, 在径向井井眼轴心面的井壁处最先产生径向裂缝, 随着压裂的进行, 径向井内压增大, 裂缝逐渐扩展延伸, 最后各径向裂缝在主应力面中央处贯通相遇, 形成连续的裂缝。

2 井眼间距确定

随着膨胀压力的不断增大, 岩石破碎的进程为裂缝发生、裂缝发展、裂缝张开幅度增大。对径向井进行压裂施工时, 如果优化出径向井的最大间距, 不仅可以对裂缝进行导向, 使裂缝朝着设计好的方向延伸, 还具有更好的经济性。

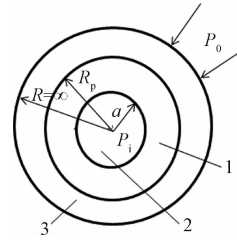
2.1 塑性区与弹性区

岩石的弹性是指将产生变形的载荷卸除后, 变形能够完全回复的性质。岩石的塑性是指将产生变形的载荷卸除后, 变形不能完全恢复的性质。在径向井形成的瞬间, 如果径向井周围的围岩应力小于岩体自身的屈服极限, 则围岩处于弹性状态, 径向井处于稳定状态。若围岩应力超过岩体的屈服极限, 围岩呈现塑性状态(包括破裂状态), 处于塑性状态的岩石称为塑性区。塑性区是从径向井周边开始的一个有限范围, 深处的岩体仍处于弹性状态, 处于弹性状态的岩体范围称为弹性区^[13]。

2.2 径向井围岩弹塑性力学模型

图 3 所示为径向井围岩应力状态分区图。设原岩应力为 P_0 , 井筒内压为 P_i , 径向井半径为 a , 塑性区半径为 R_p , 弹性区外径为无穷大。由弹塑性理论可知, 塑性区应符合应力平衡方程和塑性条件; 弹性区应满足应力平衡方程和弹性条件; 弹性区和塑性区交界处既满足塑性条件又满足弹性条件。

塑性区内岩体既应满足应力平衡方程, 也应满足塑性条件。所谓塑性条件, 就是岩体中应力满足此条件时, 岩体便呈现塑性状态, 塑性条件可以从强度理论得到。根据莫尔强度理论, 当强度曲线与莫尔圆相切时, 岩体进入塑性状态, 故塑性条件就是莫尔强度理论中的强度条件^[14]。



1 为塑性区; 2 为径向井; 3 为弹性区

图 3 径向井围岩应力状态

Fig. 3 The stress state of a radial well surrounding rock

运用应力平衡方程和弹塑性条件, 并根据在弹塑性区边界应力相等, 可以求出塑性区半径的公式:

$$R_p = R \left[\frac{(P_0 + c \cot \varphi)(1 - \sin \varphi)}{c \cot \varphi} \right]^{\frac{1 - \sin \varphi}{2 \sin \varphi}} \quad (10)$$

式(10)中, c 为内聚力, φ 为内摩擦角。

原岩应力是由自重应力和构造应力构成。自重应力随深度增加而增加, 从严格意义上, 径向井围岩的顶部与底部的原岩应力是不相等的, 但是当径向井深度大于径向井半径的 20 倍时, 这种自重应力的差别可以忽略, 此时可以把原岩应力看作外部载荷。

2.3 水力压裂裂缝在岩石塑性区中的定向扩展

在地层中, 水力压裂裂缝的延伸方向与井筒周围塑性区的影响范围的大小有关。在井筒周围所形成的塑性区内, 裂缝的延伸方向与起裂位置的延伸角度相同。因此, 在塑性区内, 裂缝的延伸方向将不受地层最大水平主应力与最小水平主应力的影响而在地层中保持定向扩展。如果要使水力压裂裂缝不出现转向或向临层扩展, 需保证裂缝始终在塑性区岩层中扩展延伸, 即要在地层中形成连续塑性区, 使每口井形成的塑性区相互连接^[10]。

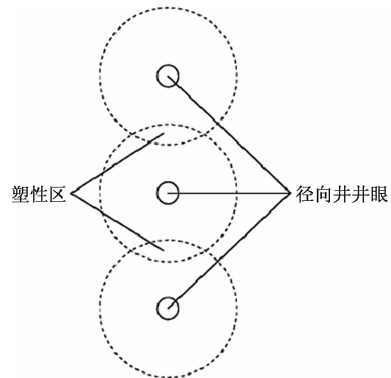


图 4 径向井空间布置示意图

Fig. 4 A schematic diagram of radial wells spatial arrangement

如图 4 所示, 若径向井的间距不大于 2 倍的塑性区半径, 即:

$$W \leq 2R_p \quad (11)$$

此时, 在径向井轴心面上产生裂缝时, 裂缝的延

伸将始终处于塑性区的范围内。由前文可知在塑性区内,裂缝的延伸不会受到水平主应力的影响而保持定向扩展,裂缝的延伸方向将与起裂位置的延伸角度相同。因此,进行压裂施工时,各径向井间的裂缝将沿径向井轴心面延伸,最终相互沟通,形成沿径向井方向的主裂缝。

2.4 井眼间距计算

在确定水力压裂裂缝在地层中定向扩展机理后,需选定合适的径向井间距,以保证在径向井间形成连续的塑性区。由式(9)可知,在保证各口井间形成连续塑性区的前提下,需增大径向井半径及缩小井间距。但缩小径向井间距势必会增加径向井钻井的数量,增加钻井成本,因此需优选井眼间距的最优值。

由上节知,径向井要在地层中沿轴心面的方向上起裂,不仅需克服岩石的抗拉强度,还需克服最大水平主应力和最小水平主应力在垂直于径向井轴心面方向上的合力。如图 5 所示,对最大水平主应力和最小水平主应力在垂直于裂缝的方向上进行受力分解,可得到径向井裂缝起裂的条件:

$\sigma_H \sin\theta + \sigma_h \cos\theta + [\sigma] \leq \sigma_{\theta\max}$ (12)

将式(9)代入式(12),得:

$$\sigma_H \sin\theta + \sigma_h \cos\theta + [\sigma] \leq P_i(t) + \frac{R^2 P_i(t)}{W^2} \left(\sum_{n=1}^{i-1} \frac{1}{n^2} + \sum_{n=1}^{N-i} \frac{1}{n^2} \right)$$
 (13)

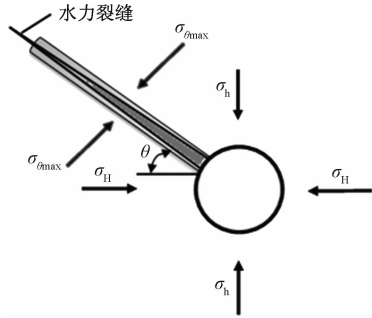


图 5 径向井裂缝水平受力示意图
Fig. 5 A schematic diagram of horizontal bearing of a radial well fracture

当 n 值固定时,式(12)右侧值随 i 的变化而变化。为保证式(12)一定成立,将不等式右侧取最小值。经计算验证得,当取 $i = n$ 时,式(12)取得最小值,式(13)可化简为

$$\sigma_H \sin\theta + \sigma_h \cos\theta + [\sigma] \leq P_i(t) + \frac{R^2 P_i(t)}{W^2} \sum_{n=1}^{N-1} \frac{1}{n^2}$$
 (14)

同时,已知径向井间塑性区连续的条件 $W \leq 2R_p$ 和径向井周围塑性区半径的公式,将式(10)、式

(11) 与式(14)联立:

$$\begin{cases} R_p = R \left[\frac{(P_0 + c \cot \varphi)(1 - \sin \varphi)}{c \cot \varphi} \right]^{\frac{1 - \sin \varphi}{2 \sin \varphi}} \\ W \leq 2R_p \\ \sigma_H \sin \theta + \sigma_h \cos \theta + [\sigma] \leq P_i(t) + \frac{R^2 P_i(t)}{W^2} \sum_{n=1}^{N-1} \frac{1}{n^2} \end{cases} \quad (15)$$

将方程组求解,得:

$$\begin{cases} W \leq 2R \left[\frac{(P_0 + c \cot \varphi)(1 - \sin \varphi)}{c \cot \varphi} \right]^{\frac{1 - \sin \varphi}{2 \sin \varphi}} \\ W \leq R \sqrt{\frac{P_i(t) \sum_{n=1}^{N-1} \frac{1}{n^2}}{\sigma_H \sin \theta + \sigma_h \cos \theta + [\sigma] - P_i(t)}} \end{cases} \quad (16)$$

式(16)中,除井间距 W 外,各参数均可通过实测获得,将各参数代入式(16),即可确定满足裂缝导向的径向井最大间距。

3 举例分析

以江苏油田 W 油区的 W_1 井为例验证上述结论,该井位于江苏省兴化市境内,区域构造属于高邮凹陷北斜坡四个构造带之一,该区在整体北抬的构造背景上发育一系列北掉的反向断层,形成一系列断鼻、断块圈闭。该油藏共发育了四套含油层系,自上而下分别为阜三段、阜二段、阜一段和泰一段,考虑到该区的实际开采情况,仅以阜一段为例进行计算分析。该油藏阜一段储层岩性以河湖相成因的砂泥岩、粉砂岩、不等粒砂岩为主,储层厚度薄(单层仅 0.7 ~ 5.9 m),属典型的低孔(平均孔隙度为 14.3%)、低渗(平均渗透率为 $37.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$)油藏。

根据研究区域的压裂井数据资料、测井资料及岩心取样试验等数据资料,确定 W_1 井的地应力值以及岩石力学参数(见表 1)。

为保证油井经济高效开发,需优化出最大径向井眼间距,现场压裂施工泵注压力最高可达 60 MPa,因而施工压力取 60 MPa。径向井与最大水

表 1 W_1 井底地应力及岩石力学参数 Table 1 Ground stress and rock mechanics parameters of W_1 well	
参数	取值
最大水平主应力 σ_H /MPa	46.925
最小水平主应力 σ_h /MPa	31.607
垂向应力 σ_z /MPa	50.069
内聚力 c /MPa	5
内摩擦角 $\varphi/(^\circ)$	20

平主应力的夹角 θ 取 45° , 岩石破裂压力取 5 MPa。将以上参数代入式(16), 计算得出:

$$\begin{cases} \frac{W}{R} \leq 8.15 \\ \frac{W}{R} \leq 12.78 \end{cases} \quad (17)$$

综合式(17)得 $W \leq 8.15R$, 通过油田径向钻井的设备可知径向井半径可达 30 ~ 50 mm, 即引导裂缝定向扩展的最大径向井间距为 407.5 mm。若目标油层厚 2 m, 仅需 4 口径向井为裂缝延伸做引导, 即可不受地应力影响, 通过水力压裂造出与最大水平主应力成一定角度的裂缝, 沟通目标产层。

4 结论

(1) 径向井技术工艺简单, 技术成熟且价格低廉, 可适用于各类非常规油气藏的开发。

(2) 沿井筒间隔一定距离的多口径向井压裂时, 各井眼应力作用叠加。径向井轴心面为主应力面, 在切向拉应力的作用下, 裂缝沿径向井轴心面起裂。裂缝起裂除克服地层岩石抗拉强度外, 还需克服最大、最小水平主应力在垂直于径向井轴心面方向上的合力。

(3) 为保证油井经济高效开发, 需优化最大径向井眼间距, 保证裂缝始终在塑性区内扩展延伸, 径向井间的裂缝就将以相互连接的方式相互沟通, 形成沿径向井方向的主裂缝, 起到裂缝导向的作用。

参 考 文 献

- 1 毕 刚, 李根生, 沈忠厚, 等. 超临界 CO_2 径向水平井钻井技术应用前景分析. 石油机械, 2013; 41(6): 14—19
Bi Gang, Li Gensheng, Shen Zhonghou, *et al.* Analysis of the application prospect of supercritical CO_2 radial horizontal drilling technology. China Petroleum Machinery, 2013; 41(6): 14—19
- 2 吴德元, 沈忠厚. 一种新型高压水力喷射径向水平钻井系统. 石油大学学报(自然科学版), 1994; 8(2): 128—130
Wu Deyuan, Shen Zhonghou. A new type of high pressure hydraulic jet radial horizontal drilling system. Journal of the University of Petroleum (Natural Science), 1994; 8(2): 128—130
- 3 崔龙连, 汪海阁, 葛云华, 等. 新型径向钻井技术. 石油钻采工艺, 2015; 30(6): 29—33
Cui Longlian, Wang Haige, Ge Yunhua, *et al.* New radial drilling technologies. Oil Drilling and Production Technology, 2015; 30(6): 29—33
- 4 Li Y H, Wang C J, Shi L H, *et al.* Application and development of drilling and completion of the ultrashort-radius radial well by high

pressure jet flow techniques. International Oil and Gas Conference and Exhibition in China. Beijing, Society of Petroleum Engineers, 2000

- 5 杨永印, 杨海滨, 王瑞和, 等. 超短半径辐射分支水平钻井技术在韦 5 井的应用. 石油钻采工艺, 2006; 28(2): 11—14
Yang Yongyin, Yang Haibin, Wang Ruihe, *et al.* Application of ultra-short radius radial wells drilling technology in wei-5 well. Oil Drilling and Production Technology, 2006; 28(2): 11—14
- 6 Bentley P, Jiang H, Megorden M. Improving hydraulic fracture geometry by directional drilling in a coal seam gas formation. SPE Unconventional Resources Conference and Exhibition—Asia Pacific. Richardson: Society of Petroleum Engineers, 2013
- 7 鲜保安, 夏柏如, 张 义, 等. 开发低煤阶煤层气的新型径向水平井技术. 煤田地质与勘探, 2010; 38(4): 25—29
Xian Baoan, Xia Bairu, Zhang Yi, *et al.* Technical analysis on radial horizontal well for development of coalbed methane of low coal rank. Coal Geology and Exploration, 2010; 38(4): 25—29
- 8 吴 刚. 径向井技术开发沁水盆地煤层气工艺研究. 中国煤炭, 2012; 38(1): 9—12
Wu Gang. Process study on radial drilling technology to exploit CBM in Qinshui basin. China Coal, 2012, 38(1): 9—12
- 9 夏彬伟, 胡 科, 卢义玉, 等. 井下煤层水力压裂裂缝导向机理及方法. 重庆大学学报, 2013; 36(9): 8—13
Xia Binwei, Hu Ke, Lu Yiyu, *et al.* Mechanism of crack-oriented of hydraulic fracture and its technique in mine. Journal of Chongqing University, 2013; 36(9): 8—13
- 10 桂良玉. 静态破碎剂破岩机理试验研究. 北京: 中国矿业大学, 2008
Gui Liangyu. Experiment research of the rock's fragmentation mechanism on the Soundless Cracking Agent. Beijing: China University of Mining and Technology, 2008
- 11 姜 浒, 刘书杰, 何保生, 等. 页岩气储层水力压裂机理研究. 科学技术与工程, 2014; 14(12): 23—25
Jiang Hu, Liu Shujie, He Baosheng, *et al.* Mechanism study of hydraulic fracturing of shale gas reservoir. Science Technology and Engineering, 2014; 14(12): 23—25
- 12 潘林华, 张士诚, 张 劲, 等. 缝洞型碳酸盐岩裂缝扩展分析. 科学技术与工程, 2012; 12(12): 2816—2819
Pan Linhua, Zhang Shicheng, Zhang Jin, *et al.* The analysis of hydraulic fracture propagation in fracture-cavity carbonate reservoirs. Science Technology and Engineering, 2012; 12(12): 2816—2819
- 13 耿大新. 巷道围岩变形规律及其应用研究. 泰安: 山东科技大学, 2001
Geng Daxin. Study on deformation law of surrounding rock and its application. Taian: Shandong University of Science and Technology, 2001
- 14 刘洪玉. 锚固巷道复合加固理论研究及数值模拟. 焦作: 河南理工大学, 2012
Liu Hongyu. Theoretical research and numerical simulation of anchor roadway based on composite reinforcement. Jiaozuo: Henan Polytechnic University, 2012

Theoretical Research on Radial Wells Orientating Hydraulically Created Fracture Directional Extended

TIAN Yu¹, QU Zhan-qing¹, GUO Tian-kui¹, TIAN Yang-yang², LI Xiao-long¹, ZHANG Wei¹

(School of Petroleum Engineering¹, College of Pipeline and Civil Engineering², China University of Petroleum
(East China), Qingdao 266580, P. R. China)

[**Abstract**] Hydraulic fracturing of radial wells have become new technologies to effectively develop low permeability reservoir, thin reservoir, fractured reservoir, “dead area” after water injection *etc.* Influenced by ground stress and reservoir heterogeneity, hydraulically created fracture will probably not extend smoothly to connect the target area along the direction of radial wells, the reservoir stimulation effect is not ideal. Based on the pressure analysis of fracturing initiation of multiple radial holes and the theory of plasticity district, criterion of multiple radial wells orientating directional fracture propagation in the condition of earth stress is derived. In this condition, multiple radial wells will produce a continuous plasticity district in the reservoirs, while maintaining the fracture extending in plastic zone directionally without the effect of ground stress, which guarantees that fracture is interconnected between the radial wells during fracturing operation, to form the main crack along the direction of radial wells’ axis plane. In consideration of economy, maximum spacing of radial wells are optimized, in order to provide a reliable scientific basis for effectively implementation of hydraulic fracturing technology in radial wells.

[**Key words**] radial well hydraulic fracture fracturing initiation fracture orientation