

靳加林,邓清海,张继标,等. 2022. 走滑断裂派生裂缝发育规律影响因素探讨[J]. 地震研究, 45(3): 452–459, doi:10.20015/j.cnki.ISSN1000-0666.2022.0045.

Jin J L, Deng Q H, Zhang J B, et al. 2022. Discussion on influencing factors of the development law of strike-slip-fault derived fractures [J]. *Journal of Seismological Research*, 45(3): 452–459, doi:10.20015/j.cnki.ISSN1000-0666.2022.0045.

走滑断裂派生裂缝发育规律影响因素探讨*

靳加林¹, 邓清海^{1*}, 张继标², 蒋爱萍¹, 万方¹

(1. 山东科技大学 地球科学与工程学院, 山东 青岛 266590; 2. 中国石化石油勘探开发研究院西北中心, 北京 100083)

摘要: 为探索走滑断裂派生裂缝体系发育的规模, 主要借助数值模拟的手段, 通过构建不同断裂带核部宽度、不同性质及不同组合的断裂模型, 开展走滑断裂派生裂缝发育范围的定量预测, 以明确不同断裂要素对裂缝发育的影响规律。结果表明: 随着走滑断裂带核部宽度逐步增大, 派生裂缝发育范围的最大值、均值以及最小值均无明显变化; 在同等条件下, 压扭断层派生裂缝带宽度明显高于纯走滑断层与逆冲断层; 当平行断层组合间距小于某一距离之后, 两条断裂派生裂缝发育相互叠加, 受两条断裂共同控制, 断裂之间派生裂缝发育强度明显变大。共轭断层交叉部位, 派生裂缝发育范围明显变大。

关键词: 走滑断裂; 派生裂缝; 发育范围; 数值模拟

中图分类号: P631.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2022)03-0452-08

doi:10.20015/j.cnki.ISSN1000-0666.2022.0045

0 引言

近年来, 随着塔里木盆地顺北地区走滑断裂油藏的重大勘探发现(漆立新, 2020), 走滑断裂及其派生裂缝体系成储的认识受到越来越多的关注(Caine *et al.*, 1996; Cowrie, Scholz, 1992; Choi *et al.*, 2015)。由此引发了国内外学者对走滑断裂内部结构的探索, 研究认为走滑断裂内部结构上一般划分为断层核以及断层核周围所产生的诱导裂缝带。断层核的形成经历了复杂的化学与力学过程, 在其内部聚集了大量的应变与位移量。破碎带位于断层核两侧且形变程度较低, 由较宽的分支构造或次级构造组成, 比如裂缝、小断层等(Odling *et al.*, 2014; Lyakhovsky *et al.*, 1997; 陈伟等, 2010; 吴智平等, 2010; 万效国等, 2016)。一般认为走滑断裂内部断层核的渗透率低, 诱导裂缝带渗透率较高, 可成为油气富集的有利部位。但目前对于不同性质、不同规模、不同组合样式的走滑断裂诱导裂缝带的发育范围及影响因素尚不明确, 制约了对于这一类型

油气藏的勘探开发。

前人对于走滑断裂派生裂缝的发育规律开展了一定程度的研究, 如童亨茂等(2006)、孙帅和侯贵廷(2020)通过对野外露头裂缝进行实测并结合室内试验, 认为岩层杨氏模量与张裂缝发育程度呈正相关, 即杨氏模量越大、张裂缝发育程度越高; 李乐等(2011)、孟庆峰等(2011)和张庆莲等(2012)从力学角度分析构造缝的分布规律, 探讨了走滑断裂对构造裂缝的控制因素, 并结合数值模拟, 认为走滑断裂所控制的裂缝密度和距断裂距离呈负相关, 且随断裂垂直距离增大, 裂缝面密度呈指数减少; 曾联波等(2012)利用测井成果资料以及力学实验分析非均质岩层中裂缝发育的影响因素, 认为地应力分布状态是影响裂缝发育的主控因素, 决定了裂缝的发育方向以及裂缝性质; 张继标等(2018)对顺南地区走滑断裂派生裂缝进行了定量预测, 认为走滑拉分段派生裂缝发育范围大于平移段。

目前对走滑断裂派生裂缝发育规律的研究主要通过野外、测井及数值模拟等方法, 但都存在一定的局限性。野外测量不能直观测量地层内部

* 收稿日期: 2021-05-15.

第一作者简介: 靳加林(1993-), 硕士研究生, 主要从事构造解释工作. E-mail: 1603966493@qq.com.

✉ 通讯作者简介: 邓清海(1976-), 博士, 副教授, 主要从事工程地质与水文地质研究. E-mail: dqh2004@163.com.

裂缝延伸长度，且典型露头选择存在一定困难，利用测井资料识别裂缝范围有限，而对走滑断裂解析普遍依靠的地震资料由于分辨率问题，不能准确识别裂缝发育带，因此目前对走滑断裂派生裂缝的发育范围及影响因素的研究还相对薄弱。鉴于此，本文借助数值模拟的方法，从控制裂缝发育的本质构造应力-应变出发，通过构建不同的地质模型，开展不同断层核宽度、不同性质、不同组合样式断裂派生裂缝发育强度及范围的数值模拟，探讨各种要素对派生裂缝发育的影响。

1 走滑断裂结构基本特征

走滑断裂多发育于早期的剪切裂缝（节理），平行于最大主应力方向的节理先于断层形成，并因节理间的应力作用在局部形成雁列节理，随着应力在雁列节理区域集中，和原生节理垂直的交错节理逐渐发育并破坏原生节理之间的岩桥，形成断层角砾岩，之后有更多的应变集中在节理带中，形成连续性的断层核。随着变形的持续，角砾岩带随着断层滑距的增大而逐渐变宽。根据这一机制，不同尺度的走滑断裂具有不同的内部结构，断裂发育早期应为剪切破裂带，破裂带内部均为裂缝密集发育区，发育成熟的断裂带可以划分为断层核与诱导裂缝带，诱导裂缝带具有良好的流体疏导性质，且随距断层核距离逐渐增大渗透性逐渐降低（图1）。近年来，随着人们对走滑断裂内部结构了解更加深入，认为断裂在发育过程中产生的诱导裂缝是良好的储集空间，随着对走滑断裂构造和演化模式的逐步

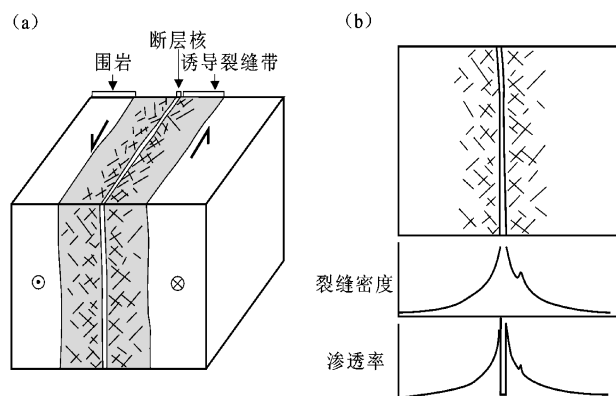


图1 走滑断裂内部结构与渗透率的关系

Fig.1 The relationship between the internal structure of the strike-slip fault and permeability

认识，以及断裂力学和断层力学的发展，走滑断裂的研究逐步有了系统性的理论基础。

2 应力场模拟及裂缝预测

控制裂缝发育的本质是构造应力，不同规模、不同性质及不同组合样式等的断裂在发育过程中派生局部应力场性质及强度有差异，因而可以通过构建不同的地质模型，模拟不同规模、不同性质及不同组合样式等的断裂在发育过程中派生局部应力场性质及强度，进一步以应力场模拟为手段、以应力与裂缝参数间定量模型为纽带开展裂缝预测，从而明确走滑断裂派生裂缝的发育强度、范围及其影响因素（张继标等，2018）。

2.1 构造应力与裂缝参数间定量模型

在地应力作用下岩体破裂产生裂缝，基于该理论，利用单元体构建模型来研究其微观原理，观察裂缝的空间形态。为满足研究要求将单元体进行简化并且做了如下假设：①存在有裂缝分布的足够小单元体；②单元体各向同性；③单元体为完整理想化块体，在没有力的作用之前阶段没有任何渗流裂缝存在；④单元体为平行六面体，如图2所示，边长分别为 L_1 、 L_2 、 L_3 ，主应力 σ_1 、 σ_2 和 σ_3 两两垂直；⑤裂缝在 σ_1 - σ_3 主平面内成平行等间距排列，裂缝走向与最大主应力 σ_1 之间的夹角为 θ （破裂角），裂缝面平行于中间主应力方向。

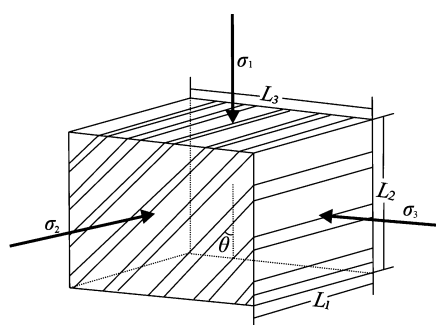


图2 表征单元体裂缝分布（季宗镇等，2010a, b）

Fig.2 Distribution of cracks in the representative elementary volume (Ji et al, 2010a, b)

在弹性力学中可以用应变能密度来衡量固体在变形时内部集聚的弹性应变能，由弹性力学脆性断裂力学相关理论（孙帅，侯贵廷，2020）可知，岩石受力时内部累计的弹性应变能主要以两种方式释放，用来满足产生单位面积裂缝体表面

所需能量或以弹性波的形式释放。就裂缝而言,弹性波几乎不传播能量,所以认为单元体所释放的能量都用于产生新增裂缝体表面积。则裂缝体积密度的计算公式为(季宗镇,2010a;冯建伟等,2011):

$$D_{vf} = \frac{S_f}{v} = \frac{\omega_f}{J} = \frac{\omega - \omega_e}{J_0 + \Delta J} = \frac{1}{2EJ} [\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - 2\mu(\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_1\sigma_3)] - \frac{\omega_e}{J} \quad (1)$$

式中: D_{vf} 表示单元体内裂缝的体积密度; S_f 表示新增加的裂缝表面积; v 表示单元体的体积; ω 表示应变能密度; J 表示产生单位面积裂缝所需能量; ω_f 为新增裂缝表面积所需的应变能密度; ω_e 为产生裂缝必须克服的弹性应变能密度,单位为 J/m^3 ; μ 为劲度系数,单位为 N/m ; E 表示弹性模量,单位是 MPa ; σ_1 、 σ_2 、 σ_3 为 3 个方向的主应力。

脆性岩石在挤压和拉伸应力环境下表现为不同的力学性质, ω_e 在不同应力环境下也存在差异,因此需要将岩体内真实存在的构造应力按照其性质进行分类,并且按照划分的构造类别建立与地裂缝参数之间的关系。实际上,大部分地区构造应力场是 2 个主应力方向近似水平 (σ_H 和 σ_h) 和 1 个近似铅直 (σ_v) 的三向不等压应力场,可分为 3 类: 第一类是地应力最大主应力铅直向, $\sigma_v > \sigma_H > \sigma_h$, 第一类又可划分为 a、b 两种类型, a 型为 $\sigma_v > \sigma_H > \sigma_h > 0$, b 型为 $\sigma_v > 0$; 第二类是地应力最小主应力铅直向, $\sigma_H > \sigma_h > \sigma_v$; 第三类是地应力中间主应力铅直向, $\sigma_H > \sigma_v > \sigma_h$ 。由于 σ_H 、 σ_h 中至少有一个小于 0, 因此, 第一类 a 型、第二类和第三类为挤压地应力状态, 而第一类 b 型为有张应力存在的构造应力状态。

2.2 应力场模拟

有限单元法为应力场模拟的主要方法, 主要思路是将一个不规则地质体离散成有限个互不重叠且相互连接的规则单元, 各单元之间通过节点连接, 承受一定荷载, 根据不同构造单元岩石及力学性质的差异分别赋予不同的弹性模量、密度、泊松比、内聚力, 摩擦角以及摩擦系数等力学参数。在构建地质模型及确定了各项岩石力学参数的基础上, 划分有限单元网格, 进一步根据边界条件、力的平衡条件及区域应力场特征, 对模型施加约束及加载, 分别计算每个单元内的应力和应变值。

2.3 裂缝预测

在应力场模拟的基础上, 本文根据岩石破裂准则及应变能守恒, 构建裂缝参数与地应力之间的定量模型, 开展派生裂缝发育范围定量预测(季宗镇, 2010b); 分别设计不同宽度、不同性质、不同间距及组合样式的地质模型, 开展应力场数值模拟, 并根据裂缝参数与地应力间的定量模型, 分析走滑断裂两侧派生裂缝发育规律的影响因素。

由于本文主要是针对单一控缝因素的理论探讨, 因而对地质模型的建立进行了适当的简化, 模型中考虑到断裂带与地层中岩石强度存在差异, 需要赋予不同的力学参数(表 1), 参数大小的确定参照顺南地区 7 口钻井实验测试数据(张继标等, 2018)。

表 1 构造应力场力学参数

Tab. 1 Mechanical parameters of the tectonic stress field

岩石来源	弹性模量/ GPa	泊松比	岩石密度/ ($g \cdot cm^{-3}$)	摩擦系数
地层	43	0.31	2.65	0.31
断层	40	0.36	2.52	0.21

3 走滑断裂与派生裂缝发育关系探讨

3.1 断层核宽度对派生裂缝的影响

为探讨断层核宽度与派生裂缝发育范围之间的定量关系, 分别构建不同断层核宽度地质模型(图 3), 对不同模型施加统一的约束及加载条件, 即在断裂两盘分别施加平行于断裂的差异推挤力, 模拟纯走滑断裂发育时期应力状态, 进一步通过应力场数值模拟及裂缝参数定量计算, 模拟不同断层核宽度断裂附近派生裂缝发育规律(表 2、图 4)。

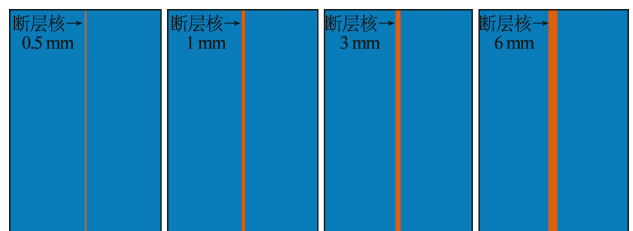


图 3 不同断层核宽度断裂地质模型示意图

Fig. 3 Schematic diagram of geological models of the faults with different core-widths

表2 不同断层核宽度断裂派生裂缝带宽度

Tab. 2 Statistics of the width of the derived fractures of faults with different core-widths

断层核宽度/ mm	派生裂缝带宽度/mm			裂缝带宽度/断层核宽度		
	最大值	均值	最小值	最大值	均值	最小值
0.5	14.3	4.73	4.44	28.6	9.46	8.88
1	17.9	4.61	4.49	17.9	4.61	4.49
3	11.78	5.04	4.87	3.9	1.68	1.62
6	14.65	4.41	4.11	2.44	0.74	0.69

由表2可见，不同断层核宽度对应的派生裂缝宽度均值无明显变化规律。结合以上模拟

结果认为，当断层核设为空白，即模拟断裂破裂初期，破裂面无断层泥、角砾岩等充填，派生裂缝仅在断裂端部发育，主破裂面附近无派生裂缝发育。当将断层核设定为能干性较低材料，即模拟断裂带内部存在断层泥、角砾岩等条件下，断层两侧派生裂缝发育，但断层核内部无派生裂缝发育（图4），推测可能由于核部材料能干性低、受力易于发生形变产生应力卸载，因此不利于裂缝发育。随着断层核部宽度逐渐增大，断层派生裂缝发育范围最大值、均值及最小值均无明显变化特征，但派生裂缝带与断层核的宽度比有逐渐减小趋势，与断层核宽度存在负相关关系（图5）。

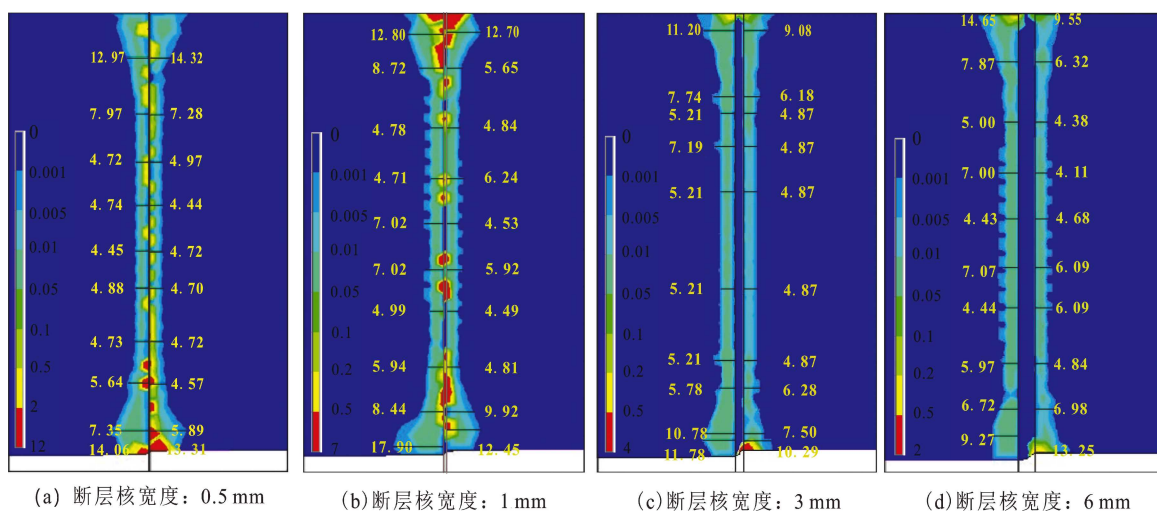


图4 不同断层核宽度断层派生裂缝密度分布预测图

Fig. 4 Prediction of the density distribution of the derived fractures of faults with different core - widths

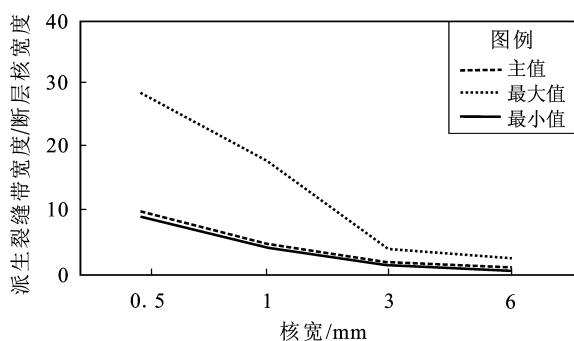


图5 派生裂缝带与断层核宽度比与断层核宽度的关系

Fig. 5 The relationship between the width of the derived fractures and the width of the fault core

3.2 断层性质对派生裂缝发育范围影响

为探讨断层性质与派生裂缝发育范围之间的

定量关系，给定统一的断层核宽度为 0.5 mm，通过改变断层走向与挤压方向夹角，模拟不同性质断裂发育时期的应力状态（图6a）：当区域挤压方向平行于断裂走向时，断裂性质为纯走滑断裂；当挤压方向与断裂走向呈一定角度相交时（本次设定夹角为 30°），断裂性质为压扭断层；当挤压方向垂直于断层走向时，等同于模拟逆冲断层的局部应力状态，进一步通过应力场数值模拟及裂缝参数定量计算，模拟不同性质断裂附近派生裂缝的发育规律（表3、图6）。

由表3可知，当断层走向与应力夹角为 0°时，诱导裂缝的宽度范围为 4.44 ~ 14.3 mm，均值为 4.73 mm；夹角为 30°时，诱导裂缝宽度范围为 9.53 ~ 10.4 mm，均值为 10.05 mm；当夹角为 90°

时,诱导裂缝带宽度范围为 4.57 ~ 15.05 mm,均值为 4.82 mm。对比断层走向与应力夹角分别为 0°、30°和 90°时对应的诱导裂缝宽度均值发现,夹角为 30°时诱导裂缝宽度均值远大于夹角为 0°和 90°时的诱导裂缝均值。结合表 3 以及图 6 认为,纯走滑断层核部无裂缝发育,压扭断层核部局部

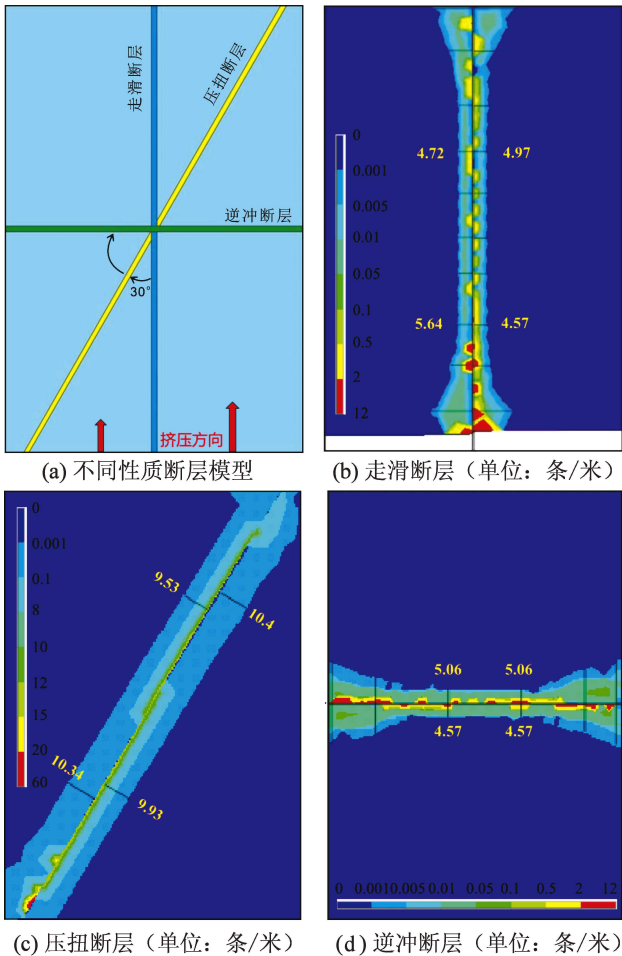


图 6 压扭与逆冲断层派生裂缝密度分布预测图

Fig. 6 Prediction of the distribution of the density of fractures derived from compression-torsion and thrust faults

表 3 不同断层走向与应力夹角派生裂缝带宽度

Tab. 3 Statistics of width derived fractures with different intersection angles

断层走向与 应力夹角/(°)	诱导裂缝带宽度/mm			断层核宽度/裂缝带宽度		
	最大值	均值	最小值	最大值	均值	最小值
0	14.3	4.73	4.44	28.6	9.46	8.88
30	10.4	10.05	9.53	20.8	20.1	19.06
90	15.05	4.82	4.57	30.1	9.64	9.14

裂缝发育,逆冲断层核部裂缝发育。不考虑纯走滑与逆冲应力条件下断层端部边界力影响,压扭断层派生裂缝带宽度明显高于纯走滑断层与逆冲断层(图 6)。

3.3 断层组合对派生裂缝发育范围影响

为探讨不同断层组合对派生裂缝发育的影响,分别构建不同断层组合地质模型(图 7),断层核部宽度统一为 0.5 mm,平行断层模型间距分别为 33、10 与 5 mm,共轭断层模型夹角 60°,对不同平行断层组合模型施加统一的约束及加载条件,即在各盘分别施加平行于断裂的差异推挤力,模拟纯走滑断裂发育时期的应力状态,对于共轭断层模型,则在两断裂锐夹角方向施加挤压力,进一步通过应力场数值模拟及裂缝参数定量计算,模拟不同断层核宽度断裂附近派生裂缝发育规律。图 8 显示,当平行断层组合间距小于某一距离之后,两条断裂派生裂缝发育相互叠加,受两条断裂共同控制,断裂之间派生裂缝发育强度明显变大。共轭断层交叉部位,派生裂缝发育范围明显变大。

3.4 走滑断裂派生裂缝影响因素及机理

综合前述模拟结果,走滑断裂派生裂缝的发育强度、范围与走滑断裂规模、性质和组合样式有关。当走滑断裂规模比较小、演化程度比较低时,断裂以剪切破碎带的形式呈现,派生裂缝主要沿主破裂带发育,且由于断裂不断沿走向扩展,在尖端应力集中,因而在断裂两段裂缝发育强度大。当走滑断裂发育到一定规模时,呈现断层核与破碎带两元结构时,由于断层核内部地层已经完全破碎,且有可能叠加流体改造充填断层泥等,内部岩石以塑性变形为主,因而难以产生新的裂缝,派生裂缝主要在两侧破碎带发育。随着断裂规模进一步扩大,在纯走滑运动状态下,由于构造变形主要以走向滑动为主,因而两侧破碎带的范围难以持续增大。但当在走滑+挤压复合应力状态下,断裂除沿走向滑动之外,还存在倾向滑动,从而导致在断裂两侧派生裂缝发育的范围较纯走滑运动更大。而当存在两条或多条断裂交切时,在断裂结合部位,由于受到多条断裂活动的叠加,派生裂缝发育的强度和范围明显增大。

走滑断裂派生裂缝的发育除受断裂本身性质、

规模等影响外，还受岩石能干性、岩层厚度、岩性组合及温度等因素控制，此方面国内外学者已经进行了相对成熟的研究（张兴勇，2021；Hu *et al.*, 2021），本文不做过多论述。

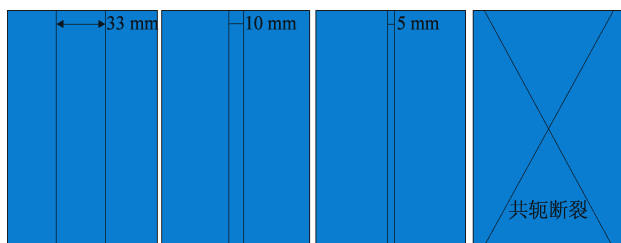


图7 不同断层组合地质模型示意图

Fig. 7 Schematic diagram of the geological models of the faults with different combinations

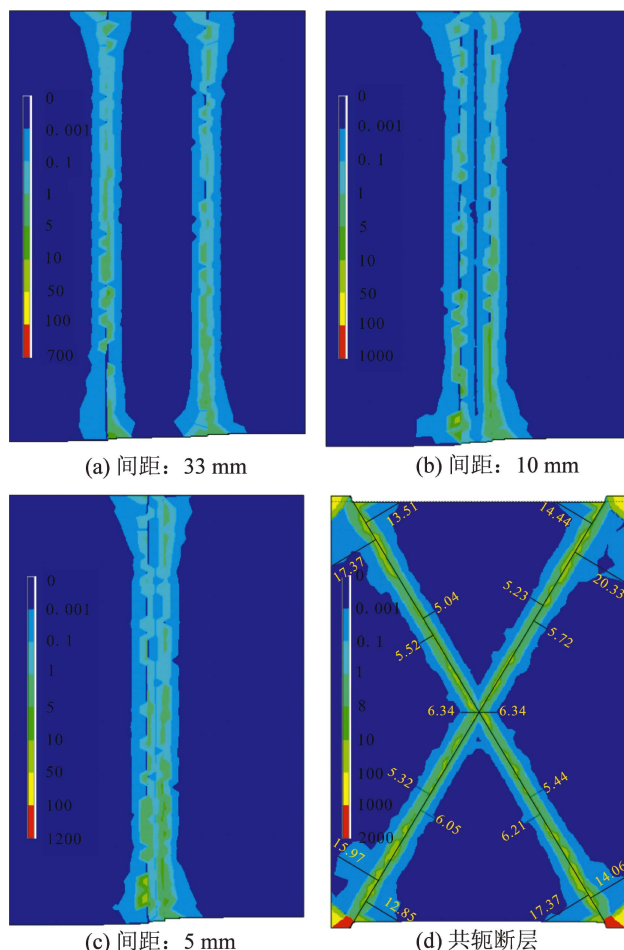


图8 平行断层与共轭断层派生裂缝密度（单位：条/米）分布预测图

Fig. 8 Prediction of the distribution of the density of the derived fracture of the parallel-fault systems and conjugate-fault systems

3.5 真实性验证

由于现场第一手资料尚不齐全，地震资料分辨率较大，不能很好地识别裂缝，不便于裂缝发育密度的统计工作，且国内外对派生裂缝发育研究手段尚不成熟，许多问题只能借助于数值模拟的手段，故本文不对所有的数值模拟结果进行验证，仅借助于塔里本顺南地区走滑断裂派生裂缝统计结果对压扭断层派生裂缝发育程度明显大于纯走滑断裂这一数值模拟结果进行验证。塔里木盆地顺南地区主要发育NE向走滑断裂，且分段性明显，对顺南地区不同构造位置的岩心裂缝密度进行统计，结果如图9所示。由图可见，顺南401井、4井以及7井所处分段为拉分段，其岩心裂缝密度分别为15.2、10.0和6.0条/m。顺南2井、1井所处分段为压隆段，其岩心裂缝密度分别为5.5和8.0条/m，顺南3井和5井所处分段为平移段，其岩心裂缝密度分别为0.5和0.6条/m，由以上统计结果可得出，同一走滑断裂拉分段和压隆段发育程度明显要高于纯剪切走滑（平移段）。

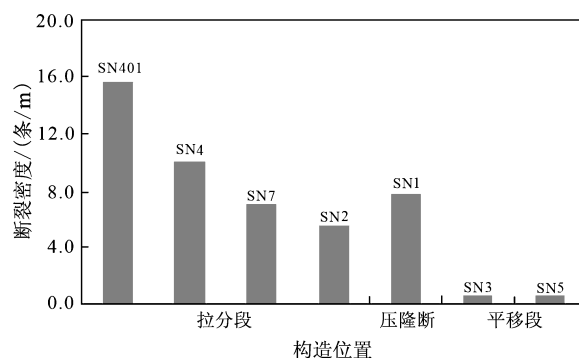


图9 顺南地区不同构造位置裂缝密度分布

Fig. 9 Distribution of the fracture density in different structural locations in Shunnan area

4 结论

在油气勘探过程中走滑断裂派生裂缝是一种重要的储集空间，为探索走滑断控裂缝体系发育的规模，本文主要借助数值模拟的手段，通过构建不同断裂带核部宽度、不同性质及不同组合样式的断裂模型，开展走滑断裂派生裂缝发育范围的定量预测，以明确不同断裂要素对裂缝发育的影响规律，主要得出以下结论：

(1) 走滑断裂演化程度控制裂缝发育部位。断裂破裂初期, 派生裂缝仅在断裂端部发育, 主破裂面附近几乎不发育派生裂缝。断裂演化后期, 派生裂缝在断层核两侧发育, 随着断层核部宽度不断增大, 断层派生裂缝发育范围无明显变化特征。

(2) 走滑断裂性质控制裂缝发育强度。不考虑纯走滑与逆冲应力条件下断层端部边界力的影响, 压扭断层派生裂缝带宽度明显高于纯走滑断层与逆冲断层。

(3) 走滑断裂组合控制裂缝发育强度。当平行断层组合间距较大时, 对两条派生裂缝发育几乎没有影响, 但是当平行断层组合间距小于某一距离之后, 两条断裂派生裂缝发育相互叠加, 受两条断裂共同控制, 断裂之间派生裂缝发育强度明显变大。共轭断层交叉部位, 派生裂缝发育范围明显变大。

参考文献:

- 陈伟, 吴智平, 侯峰, 等. 2010. 断裂带内部结构特征及其与油气运聚的关系[J]. 石油学报, 31(5): 774-780.
- 冯建伟, 戴俊生, 马占荣, 等. 2011. 低渗透砂岩裂缝参数与应力场关系理论模型[J]. 石油学报, 32(4): 664-671.
- 季宗镇, 戴俊生, 汪必峰, 等. 2010a. 地应力与构造裂缝参数间的定量关系[J]. 石油学报, 31(1): 68-72.
- 季宗镇, 戴俊生, 汪必峰, 等. 2010b. 构造裂缝多参数定量计算模型[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 34(1): 24-29.
- 李乐, 侯贵廷, 潘文庆, 等. 2011. 逆断层对致密岩石构造裂缝发育的约束控制[J]. 地球物理学报, 54(2): 466-473.
- 孟庆峰, 侯贵廷, 潘文庆, 等. 2011. 岩层厚度对碳酸盐岩构造裂缝面密度和分形分布的影响[J]. 高校地质学报, 17(3): 462-468.
- 漆立新. 2020. 塔里木盆地顺北超深断溶体油藏特征与启示[J]. 中国石油勘探, 25(1): 102-111.
- 孙帅, 侯贵廷. 2020. 岩石力学参数影响断背斜内张裂缝发育带的概念模型[J]. 石油与天然气地质, 41(3): 455-462.
- 童亨茂. 2006. 成像测井资料在构造裂缝预测和评价中的应用[J]. 天然气工业, (9): 58-61, 166.
- 万效国, 郭光辉, 谢恩, 等. 2016. 塔里木盆地哈拉哈塘地区碳酸盐岩断层破碎带地震预测[J]. 石油与天然气地质, 37(5): 786-791.
- 吴智平, 陈伟, 薛雁, 等. 2010. 断裂带的结构特征及其对油气的输导和封堵性[J]. 地质学报, 84(4): 570-578.
- 曾联波, 巩磊, 祖克威, 等. 2012. 柴达木盆地西部古近系储层裂缝有放性的影响因素[J]. 地质学报, 86(11): 1809-1814.
- 张继标, 张仲培, 汪必峰, 等. 2018. 塔里木盆地顺南地区走滑断裂派生裂缝发育规律及预测[J]. 石油与天然气地质, 39(5): 956-963.
- 张庆莲, 侯贵廷, 潘文庆, 等. 2012. 皮羌走滑断裂控制构造裂缝发育的力学机制模拟[J]. 地质力学学报, 18(2): 110-119.
- 张兴勇. 2021. 红山嘴油田石炭系火山岩储层裂缝发育特征及主控因素[J]. 特种油气藏, 28(3): 25-32.
- Caine J S, Evans J P, Forster C B. 1996. Fault zone architecture and permeability tructure[J]. Geology of Society of America, 18(11): 1025-1028.
- Choi J H, Edwards P, Ko K, et al. 2015. Definition and classification of fault damage zones: A review and a new methodological approach[J]. Earth - Science Reviews, 152: 70-87.
- Cowie P A, Scholz C H. 1992. Growth of faults by accumulation of seismic slip[J]. Journal of Geophysical Research, 97(B7): 11085-11095.
- Hu D, Fu Q G, Zhou L, et al. 2021. Crack development behavior in thermally sprayed anti oxidation coating under repeated thermal-oxygen coupling environment[J]. Ceramics International, 47(11): 15328-15336.
- Lyakhovsky V, Ben-Zion Y, Agnon A. 1997. Distributed damage, faulting, and friction[J]. Journal of Geophysical Research, 102(B12): 27635-27650.
- Odling N E, Harris S D, Knipe R J. 2004. Permeability scaling properties of fault damage zones in siliclastic rocks[J]. Journal of Structural Geology, 26(9): 1727-1747.

Discussion on Influencing Factors of the Development Law of Strike-slip-fault Derived Fractures

JIN Jialin¹, DENG Qinghai¹, ZHANG Jibiao², JIANG Aiping¹, WAN Fang¹

(1. *Faculty of Earth Science and Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, Shandong, China*)

(2. *SINOPEC Petroleum Exploration and Production Research Institute, Beijing 100083, China*)

Abstract

Fractures derived from strike-slip faults in carbonate formations are an important storage space. However, due to the limitation of data and the unclear understanding of its control mechanism, the scope and scale of fracture's development are still unclear. In order to explore the scale of the fracture system controlled by the strike-slip faults, by numerical simulation we conduct a quantitative prediction of the range of the fractures derived from strike-slip faults by constructing fault models with different fracture elements such as widths, properties and combinations, to find out the regularity of how different fracture elements influence the fracture's development. The results show that when the width of strike-slip faults increases gradually, the maximum value, the average value, and the minimum value of the degree of the derived fractures do not change obviously. Under the same conditions, the width of the derived fractures of the compression-torsion fault is significantly higher than that of the pure strike-slip fault and the thrust faults; When spacing between the parallel fault is less than a certain distance, the derived fractures of the two faults would superimpose. Under the control of the two faults, the degree of the fracture development of the derived fractures between the faults become significantly larger. At the intersection of the conjugate faults, the range of the derived fractures has become significantly larger.

Keywords: strike-slip faults; derived fracture; development range; numerical simulation