

# 四川盆地元坝中部地区须家河组储层 裂缝发育特征及控制因素

范存辉<sup>1,2</sup>, 郭彤楼<sup>3</sup>, 王本强<sup>2</sup>, 周坤<sup>2</sup>, 秦启荣<sup>2</sup>

(1.成都理工大学 能源学院, 四川 成都 610059; 2.西南石油大学 资源与环境学院,  
四川 成都 610500; 3.中国石化勘探南方分公司, 四川 成都 610041)

**摘要:**四川盆地元坝中部地区须家河组储层属于低孔、低渗透储层,裂缝对其天然气的富集及产量具有重要影响。根据岩心观测、野外露头调查及测井解释等研究成果,综合区域构造演化分析,对元坝中部地区须家河组储层裂缝的发育特征及控制因素进行了系统研究,结果表明,研究区以发育构造成因的低角度剪切裂缝和高角度剪切裂缝为主。裂缝的走向主要为北西西和北东东向,充填程度较低,有效性较好。裂缝的发育受构造应力、构造位置、岩性和岩层厚度等因素控制。随着与断层距离的增大,裂缝密度呈逐渐递减的趋势;中、细砂岩裂缝最为发育,粉砂岩、粗砂岩、砾岩及泥质岩类裂缝发育程度相对较差;随着岩层厚度的增大,裂缝间距变大,发育程度明显降低。研究区裂缝发育区的预测结果表明,裂缝发育区主要位于近南北、北西向展布的大型断裂带附近,主要包括中部元陆1—元陆2井区(不包括元陆2井位置)、元坝5—元陆5—元坝9井区和东部元坝4—花52井区、元陆3井区。

**关键词:**储层 裂缝 控制因素 须家河组 元坝中部地区

**中图分类号:**TE112.2

**文献标识码:**A

**文章编号:**1009-9603(2013)05-0052-03

元坝地区位于四川盆地东北部,区域构造位于龙门山北段前缘,米苍山—大巴山前陆构造带南部。自印支运动开始,研究区受到多期构造运动的复合叠加和改造;在燕山期—喜马拉雅期,其与南秦岭受到自北向南的强烈挤压作用,喜马拉雅运动继承了燕山运动的构造活动方式,继续向南逆冲推覆,最终定型于喜马拉雅运动晚期。

2000年以来,元坝中部地区上三叠统须家河组成为四川盆地天然气勘探的有利目标,多口探井均获得良好的油气显示,展示出巨大的勘探潜力。研究区主要发育近南北向逆断层、北北西向压扭性断层以及与断层伴生的褶皱,断层的规模和延伸范围较小,大部分仅断穿须家河组,向上停止于自流井组珍珠冲段,向下停止于雷口坡组。研究区须家河组储层主要为中、细粒岩屑砂岩、石英砂岩及粉砂岩,以湖泊—三角洲沉积为主,厚度为270~700 m;储集空间以残余粒间孔、粒间溶孔、粒内溶孔及裂缝等为主,孔隙度为0.61%~6.88%,平均为2.46%,渗透率为 $0.0012 \times 10^{-3} \sim 26.0086 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,平均为

$0.2944 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,属于典型的低孔、低渗透致密砂岩储层<sup>[1]</sup>。由于其岩性致密,受后期强烈构造运动影响,裂缝较为发育;裂缝成为研究区的有效储集空间和主要渗流通道,对天然气的富集与产量具有控制作用<sup>[2]</sup>。因此,对元坝中部地区须家河组储层的裂缝发育特征及控制因素进行研究,以期为研究区今后的天然气勘探开发提供有效的借鉴和指导。

## 1 裂缝类型及发育特征

### 1.1 裂缝类型及走向

根据对元陆1、元陆3和元陆5等16口探井的岩心观察及川东北地区旺苍立溪崖、南江流坝剖面须家河组露头裂缝的观测和统计表明,研究区须家河组低孔、低渗透致密砂岩储层中的裂缝可分为构造裂缝、成岩裂缝及钻井诱导裂缝3种类型,以构造裂缝最为发育。构造裂缝以剪切裂缝为主,在各种岩性中均广泛发育,具有成组出现、产状稳定、缝面光滑、擦痕(或阶步)明显等特征。成岩裂缝是在岩石

收稿日期:2013-07-12。

作者简介:范存辉,男,在读博士研究生,从事储层评价、构造地质及裂缝预测等方面的教学与科研工作。联系电话:13438486406, E-mail:fanchswpi@163.com。

基金项目:国家油气重大专项“特低渗透油藏有效开发技术”(2011ZX05013-006),四川省重点学科建设项目“矿产普查与勘探”(SZD0414)。

成岩过程中收缩所形成的裂缝,主要发育于岩性界面,尤其是泥质岩类界面,通常顺层面发育,产状不稳定,呈网状分布并具有弯曲、尖灭和分枝等特征,多被泥质和炭质充填,对油气的控制作用较小。成像测井、岩心古地磁定向实验及野外相似露头资料分析表明,研究区须家河组储层裂缝发育的走向有4组,以北西西向、北东东向最发育,其次为北西向和北东向,其他走向裂缝发育程度相对较差(图1)。

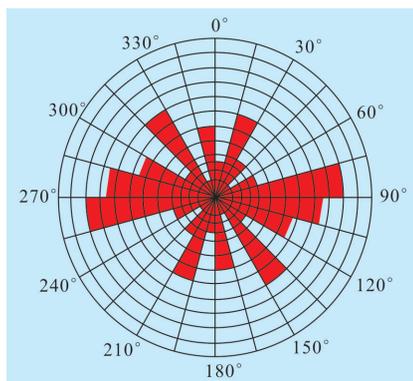


图1 元坝中部地区须家河组储层裂缝走向

## 1.2 裂缝发育特征

研究区须家河组岩心裂缝、成像测井及相似露头区的研究结果表明,储层中的裂缝约有40%被完全充填,未充填和半充填裂缝约占60%。裂缝的充填物包括方解石、泥质和炭质等,但充填程度较低,因此,多数裂缝应为有效裂缝。倾角为 $15^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 的低角度裂缝约占裂缝总数的45%,倾角为 $45^{\circ} \sim 75^{\circ}$ 的高角度裂缝约占裂缝总数的35%。若不考虑区域隆升卸载或岩性因素造成的差异剪切形成的近水平的成岩裂缝,研究区的构造裂缝主要为高角度剪切裂缝,主要以相互交织的2组共轭剪切裂缝的形式出现,形成了连通性较好的裂缝网络系统,对研究区天然气的富集和运移具有重要的控制作用。

研究区发育的构造裂缝宽度为 $0.1 \sim 1 \text{ mm}$ ,局部岩心中发现裂缝宽度大于 $1 \text{ mm}$ 的张开缝。裂缝切深变化范围较大,其中切深为 $10 \sim 20 \text{ cm}$ 的裂缝占裂缝总数的70%以上,最大切深可达 $30 \text{ cm}$ 。野外裂缝观察及裂缝间距的空间几何关系修正结果表明,研究区裂缝的间距为 $0.75 \sim 1.2 \text{ m}$ ,平均为 $0.9 \text{ m}$ ,主要分布于岩层内部。根据裂缝延伸规模与其间距的关系,估算出裂缝平面延伸距离为 $3 \sim 10 \text{ m}$ 。特征各异的裂缝相互穿插构成裂缝网络系统。

## 2 裂缝发育的控制因素

储层构造裂缝的发育程度与构造应力、构造位

置、岩性和岩层厚度有关,构造应力和构造位置是外因,储层岩性和岩层厚度是内因<sup>[3-4]</sup>。

### 2.1 构造应力和构造位置

裂缝的发育与构造应力和构造位置密切相关。构造应力是构造裂缝形成的力源之一,构造应力对区域构造形迹(背斜、断层)的产生和改造作用也较为显著,通过控制不同构造位置的局部应力场来影响裂缝的发育程度<sup>[5-6]</sup>。

研究区须家河组受构造活动的影响相对较弱,主要发育近南北向逆断层和北北西向压扭性断层,构造幅度较小,整体表现为低缓构造。构造位置对裂缝的发育具有重要的控制作用,尤其是断层与裂缝的发育程度密切相关<sup>[7]</sup>。野外地质调查、岩心裂缝观测和地震相干体分析结果表明,元陆2—元陆1—元陆5—元陆9井一带的逆断层最为发育,存在明显的应力集中区域,控制了裂缝密集带的分布;断裂的规模越大,其附近的裂缝越发育,且上升地层的裂缝密集程度明显高于下降盘。在逆断层上升盘,多数探井的油气显示点与断层的水平距离小于 $400 \text{ m}$ ,如元坝3井紧邻逆断层,成像测井及岩心观测均发现其钻遇须家河组的裂缝较发育,在 $4372 \text{ m}$ 处获得良好油气显示;而在逆断层下降盘,裂缝发育带与上升盘相比范围明显减小。研究区裂缝发育带主要沿南北和北北西向逆断层呈条带状展布,反映出构造位置对裂缝发育的控制作用。

### 2.2 岩性

沉积岩的裂缝发育程度与岩性密切相关<sup>[8-9]</sup>。岩性包括岩石组分、粒度和胶结状况等,这些因素决定着岩石的抗压、抗张和抗剪强度,进而影响地层受力时的岩石断裂破坏程度。不同岩性裂缝发育程度的统计结果表明,研究区中、细砂岩的裂缝最为发育,其次为粉砂岩,粗砂岩、砾岩及泥质岩类的裂缝发育程度则相对较差。薄片鉴定、岩心观察及力学实验结果表明:中、细砂岩的颗粒适中,抗压强度低,在挤压应力作用下更易发生破裂;而泥质岩类的塑性物质含量高,导致裂缝发育程度较低。对于裂缝最为发育的中、细砂岩,其岩石成分不同,裂缝发育程度也存在差异。石英砂岩比岩屑砂岩的裂缝发育程度更高,其原因为石英砂岩中石英等刚性矿物含量高,在构造应力作用下易于发生脆性破裂形成裂缝,而岩屑砂岩的岩屑为塑性组分,在相同的构造应力作用下以发生塑性变形为主,不易于形成裂缝。

### 2.3 岩层厚度

四川盆地东北部野外露头的裂缝调查结果显

示,厚度不同的2套岩层组合时,其裂缝发育程度存在明显差异;厚度大的岩层,裂缝间距明显较大,而厚度小的岩层的裂缝间距则较小。因此,研究区低渗透储层的裂缝发育程度明显受岩层厚度的控制,即岩层厚度越大,裂缝密度越小、间距越大;岩层厚度越小,裂缝密度越大、间距越小<sup>[10-11]</sup>。在一定的岩层厚度范围内,砂岩的裂缝间距与岩层厚度呈较明显的负相关。当岩层厚度为0~1 m时,裂缝的密度大、间距小,裂缝发育程度高;岩层厚度大于2 m时,裂缝的密度明显减小、间距增大,裂缝发育程度降低;岩层厚度为1~2 m时,裂缝发育程度中等。

### 3 裂缝发育区预测

根据岩心裂缝统计、地震多属性预测及古构造应力场数值模拟结果,综合裂缝发育程度和已发现工业油气流、油气显示探井的分布情况,对元坝中部地区须家河组的裂缝发育区进行预测。结果表明,裂缝发育区主要分布于研究区中部及东南部,位于近南北和北西向大规模断裂带附近,特别是多组断裂的交汇区,主要包括中部元陆1—元陆2井区(不包括元陆2井位置)、元坝5—元陆5—元坝9井区和东部元坝4—花52井区、元陆3井区(图2)。裂缝较发育区位于裂缝发育区的外围,主要分布于规模相对较小的断裂带两侧及局部构造高点。此外,裂缝发育程度对研究区天然气产量也具有影响。如位于裂缝发育区的元陆3、元坝3、元坝5和元陆4等井均于须家河组获得工业天然气流,其中元坝3井须家河组天然气产量达 $32.22 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,而位于裂缝较发育区的元坝4、元陆2和元坝16井的天然气产量则较低。



图2 元坝中部地区须家河组裂缝发育区预测

## 4 结论

元坝中部地区须家河组储层主要发育构造裂缝、成岩裂缝以及钻井诱导裂缝,以构造成因的低角度剪切裂缝和高角度剪切裂缝为主,主要走向为北西西向和北东东向。裂缝充填程度较低,有效性较好。裂缝发育程度与构造应力、构造位置、岩性和岩层厚度等因素密切相关。构造裂缝与构造位置(断层)的关系密切,与断层水平距离小于400 m,裂缝最为发育。中、细砂岩中裂缝最为发育,其次为粉砂岩,粗砂岩、砾岩及泥质岩类的裂缝发育程度相对较差。岩层厚度为0~2 m时,有利于裂缝发育。裂缝发育区主要位于研究区近南北和北西向大规模断裂带附近,主要包括元陆1—元陆2井区(不包括元陆2井位置)、元坝5—元陆5—元坝9井区以及东部元坝4—花52井区、元陆3井区,裂缝发育程度控制了研究区天然气的富集与产量。

### 参考文献:

- [1] 姜建伟,李红茹,李远光,等.安棚深层系裂缝特征重新认识与井网调整[J].油气地质与采收率,2012,19(2):26-28.
- [2] 周文,戴建文.四川盆地西部坳陷须家河组储层裂缝特征及分布评价[J].石油实验地质,2008,30(1):20-25.
- [3] 初宝杰,张莉,夏斌,等.松辽盆地三肇地区低渗透油田构造裂缝特征[J].地球化学,2003,31(3):36-37.
- [4] 聂永生,田景春,魏生祥,等.裂缝三维地质建模的难点与对策[J].油气地质与采收率,2013,20(2):39-41.
- [5] 张岚,霍春亮,赵春明,等.渤海湾盆地锦州南油田太古界变质岩潜山储层裂缝三维地质建模[J].油气地质与采收率,2011,18(2):12-15.
- [6] 范存辉,秦启荣,赵玲,等.大邑地区须家河组储层裂缝特征及主控因素[J].西南石油大学学报:自然科学版,2011,33(6):55-59.
- [7] 胡永章,王洪辉,周文,等.楚雄盆地北部T<sub>3</sub>-J致密储层裂缝分布规律[J].成都理工大学学报:自然科学版,2003,30(6):570-575.
- [8] 宋梅远,张善文,王永诗,等.沾化凹陷沙三段下亚段泥岩裂缝储层岩性分类及测井识别[J].油气地质与采收率,2011,18(6):18-22.
- [9] John C L, Jenny L S, David S S, et al. Natural fractures in the Spraberry Formation, Midland basin, Texas: The effects of mechanical stratigraphy on fracture variability and reservoir behavior [J]. AAPG Bulletin, 2002, 86(3): 505-524.
- [10] 宋惠珍,贾承造,欧阳健,等.裂缝性储集层研究理论与方法[M].北京:石油工业出版社,2001:78-82.
- [11] 刘树根,何鹏,邓荣贵,等.川西九龙山构造须二段岩石力学性质与裂缝发育规律研究[J].天然气工业,1996,16(2):1-4.