

文章编号: 1001-6112(2008)06-0585-06

四川盆地广安气田须家河组裂缝发育特征 及其与天然气成藏的关系

卞从胜, 王红军

(中国石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要: 裂缝在四川盆地须家河组致密砂岩气田的形成过程中起到重要的作用。裂缝的发育特征与力学形成过程决定了其与致密砂岩有效储层的形成和天然气运聚之间的关系。围绕该问题, 通过岩心观察与成像测井分析, 研究了广安地区须家河组须六与须四段储层裂缝的发育特征。根据构造背景和区域应力场的研究, 发现该区主要有两期构造裂缝, 分别为燕山晚期褶皱伴生张裂缝与喜山期断层伴生剪裂缝。第1期裂缝的形成与烃源岩的大量生排烃时间相吻合, 促进了该区有效储层的形成, 同时也是天然气运聚成藏的通道, 如广安5井区; 第2期裂缝形成时间晚, 储层已经致密化, 裂缝必须与有效储层相结合, 才能对气藏起到调整与定型的作用, 如广安124井区。

关键词: 构造裂缝; 形成期次; 天然气成藏; 广安气田; 须家河组; 四川盆地

中图分类号: TE122.3

文献标识码: A

DEVELOPMENTAL FEATURES AND THE RELATIONSHIP BETWEEN FRACTURES AND GAS ACCUMULATION IN THE XUJIAHE FORMATION OF GUANG'AN GASFIELD, THE SICHUAN BASIN

Bian Congsheng, Wang Hongjun

(Research Institute of Petroleum Exploration & Development, PetroChina, Beijing 100083, China)

Abstract: The fractures have a great effect on gas migration and accumulation in compacted sandstone of Xujiahe Formation, the Sichuan Basin. Developmental features and mechanical formation process of fractures determined the relationship of effective reservoirs and gas accumulation in compacted sandstone. Based on it, the fractures in sandstone reservoirs of T_3x^4 and T_3x^6 in the Sichuan Basin are discussed according to core observation and imaging logging analysis. According to researches of fractures character and regional stress fields indicated that there are two stages of fractures formation, which are tension fractures associated with folds in the late Yanshanian period, and shear ones associated with faults in the Himalayan period. In Well GAN5 area of T_3x^4 , the first stage of fractures is formed at the same time with peak hydrocarbon-generation period, therefore, the fractures can be favorable to the forming of effective reservoirs and the gas migration. However, in Well GAN124 area, the fractures are formed after the effective reservoirs occurrence, so the fractures must be combined with the effective reservoirs, and can adjust and reshape the gas reservoir which have already been formed.

Key words: structural fracture; forming period; gas accumulation; Guang'an Gasfield, Xujiahe Formation; the Sichuan Basin

四川盆地广安地区须家河组是一个在整体平缓背景下由多个局部高点所组成的构造群(图1), 须六段与须四段地层是其主要储层, 属三角洲水上分流河道沉积的低孔低渗碎屑岩地层^[1,2], 根据岩

心和测井资料分析发现该地区储层裂缝发育。同时, 统计资料分析认为裂缝发育段的储层具有气测显示活跃和较高的单井测试产量, 说明裂缝发育对该地区低孔低渗储层具有重要的意义。

收稿日期: 2008-07-13; 修订日期: 2008-10-15。

作者简介: 卞从胜(1981—), 男, 博士生, 主要从事油气成藏与含油气系统研究。E-mail: biancongsheng@126.com。

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973计划)项目(2007CB209504)。

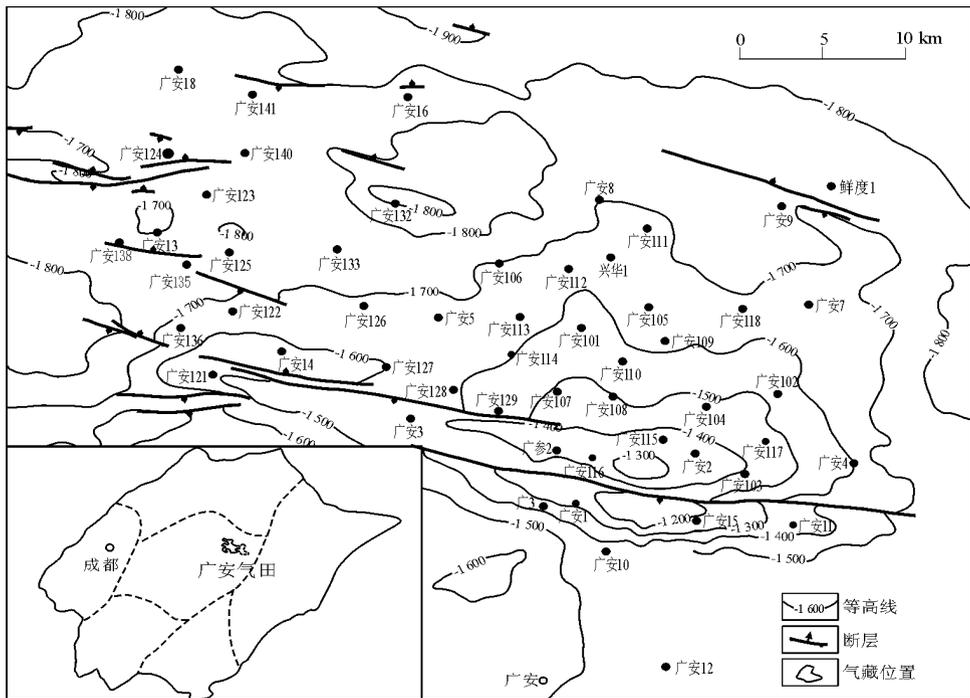


图 1 四川盆地广安地区须六段顶面构造

Fig. 1 The top structure characters of T₃x₆ in Guang'an Gasfield, the Sichuan Basin

1 裂缝发育特征

广安地区上三叠统须家河组地层平缓,断层数量较少。须四与须六段为大套的低孔低渗致密砂岩,有效储层主要以溶蚀孔隙为主,笔者通过岩心观察与成像测井分析对比发现储层段裂缝相对发育,裂缝对气层的含气饱和度以及气井的产能具有重要的贡献。

1.1 须六段裂缝特征

根据成像测井与岩心分析发现须六段裂缝比较发育,主要集中在西北部广安 124 井区以及中部的广安 5 井区,裂缝主要发育在砂岩层段,并以张开缝为主,具有集中发育的优势。由图 2 可以看出广安 124 井区以高角度缝为主,部分低角度裂缝有充填或半充填现象,充填物质在成像测井中主要以高阻亮色显示,岩心观察主要为自生石英与方解石;而广安 5 井区裂缝以中低角度为主,部分为高角度缝,裂缝主要发育在须六段中下部,基本为张开缝,但向背斜中部的广安 105 井区裂缝数量减少,基本不发育。

1.2 须四段裂缝特征

须四段裂缝的发育井位与须六段基本重合,裂缝特征也与须六段相似,同样分为广安 124 井区与广安 5 井区 2 个不同特征的部分。须四段的广安 124 井与广安 16 井和须六段裂缝走向与倾角基本

一致,主要发育在须四下亚段,与有效储层位置相一致,但广安 13 井以水平张开缝为主,延伸距离较短。广安 5 井区单井裂缝发育的数量要少于须六段,主要以 2 到 3 条张开缝为主,主要发育在须四段中部,裂缝宽度基本在 5 到 10 mm 左右,属于有效缝(图 3)。

2 裂缝成因类型

2.1 裂缝类型

根据地质特征,Nelson^[6]把天然裂缝划分为区域裂缝、构造裂缝、收缩裂缝以及与地表因素有关的天然缝共 4 种类型。

根据 Nelson 的定义,构造裂缝是指裂缝发育的特征可归因于局部构造事件或与之相伴生的裂缝。这类裂缝在岩心中多为垂直或高角度斜交产状,单条裂缝规模较大,缝面一般较直,尾端分叉现象少见。而成岩裂缝主要发育在泥质岩类中,通常顺层面发育,并具有断续、弯曲、尖灭与分叉等特点。由于其在泥岩中发育,有利于提高排烃效率,但其规模小,连通性差,对油气聚集与成藏作用较弱。影响致密储层的油气勘探与开发主要为构造裂缝^[7]。

构造裂缝按形成时的应力条件可分为张裂缝和剪切缝 2 种类型。张裂缝是各期构造运动中岩层褶皱变形阶段的产物,裂缝走向与褶皱轴部垂直或呈角度相交,缝面平直,常见方解石和石英矿物

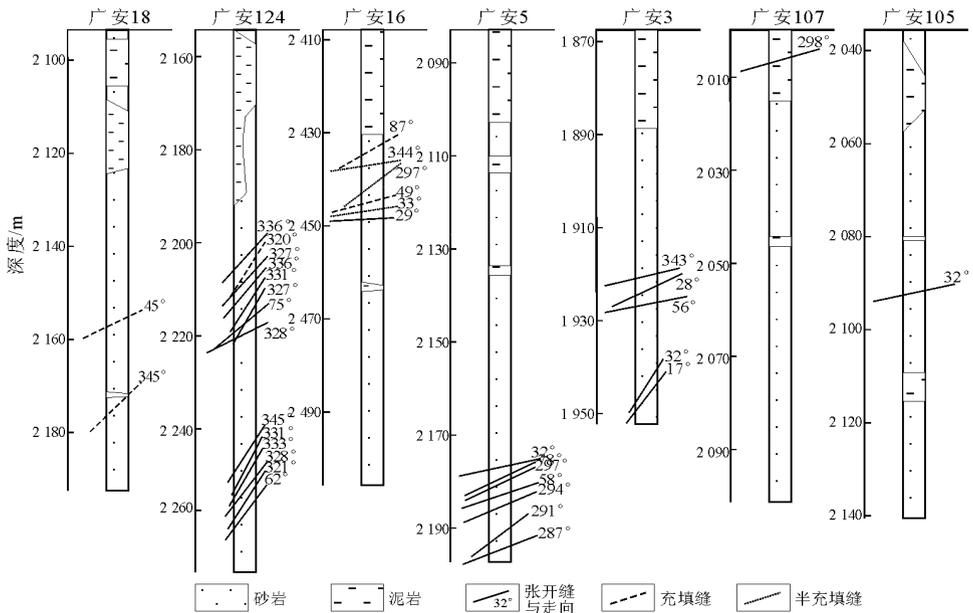


图 2 四川盆地广安地区须六段储层裂缝发育特征

Fig. 2 The fracture characters developing in T_3x^6 of Guang'an Gasfield, the Sichuan Basin

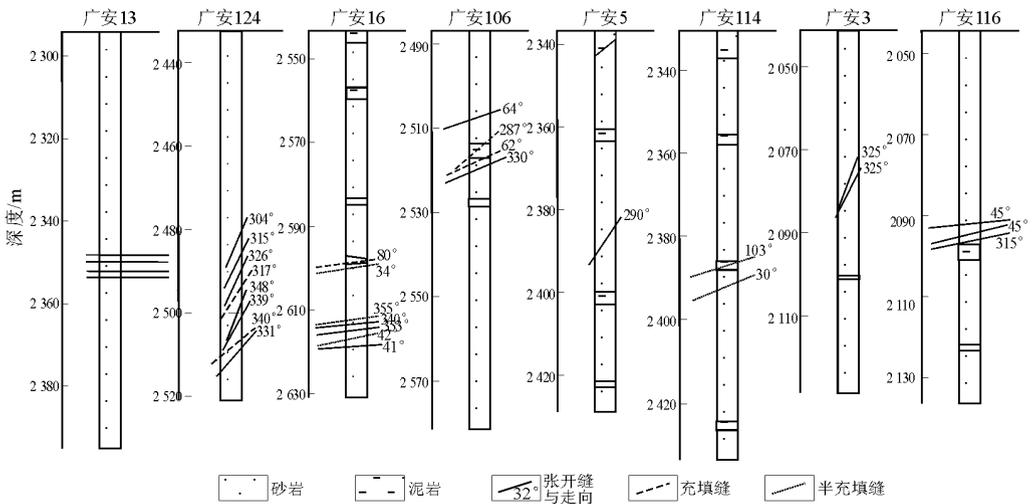


图 3 四川盆地广安地区须四段储层裂缝发育特征

Fig. 3 The fracture characters developing in T_3x^4 of Guang'an Gasfield, the Sichuan Basin

充填;剪切缝一般成对出现,裂缝走向与构造线呈一定角度相交,按其形成先后可分为早期平面“X”型剪切缝和晚期剖面“X”型剪切缝,两者均见有沿缝面错动的现象,区别之处在于前者产状一般为垂直缝或高角度缝,后者则为低角度斜交缝^[8~10]。由图 4 可以看出,广安地区的裂缝主要为中高角度裂缝,裂缝面平整,延伸距离较长,裂缝宽度较大,具有构造裂缝的特征。笔者根据成像测井结果和岩心裂缝观察,以及裂缝发育层段和组系方向的综合分析,结合广安地区构造发育史和现今构造特征,认为本区裂缝主要为构造裂缝,其它裂缝类型不发育。同时,广安 124 与广安 3 井等高角度张开缝

发育,裂缝面延伸规则、平整,判断为剪切缝;而广安 106、广安 113 等井裂缝倾角相对较低,裂缝面不太规则,部分有充填或溶蚀现象,判断为张裂缝。

2.2 裂缝成因分析

根据广安须六段顶面构造特征可以看出,广安地区主要发育高角度北西西向逆断层和以近北东向为主的褶皱构造。根据广安构造的发育史,普遍认为该地区首先在燕山晚期受到来自川西前陆盆地的龙门山北西向的推覆挤压作用,形成近北东向的雁列式褶皱;然后在喜山期受到来自大巴山的北北东向的逆冲推覆作用而形成北西西向的逆断层^[11~13]。由广安地区裂缝的走向与倾角特征,认

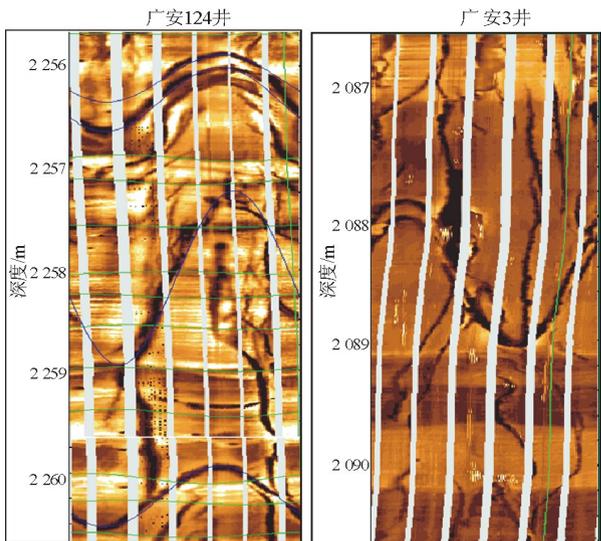


图4 四川盆地广安地区成像测井裂缝特征

Fig. 4 The fracture features of image logging in Guang'an Gasfield, the Sichuan Basin

为裂缝主要为与断层或褶皱相伴生而形成的。

2.2.1 与断层相伴生裂缝

由图5可以看出,广安124井区的裂缝主要为北东向剪裂缝,裂缝密度大,基本无填充,倾角基本在60°以上。根据该区北北西向断层形成时的应力分析,裂缝应该是与断层相伴生的共轭剪节理。由于来自大巴山的北东向挤压主应力远大于另一侧

的主应力,形成不对称的应力特征^[14],从而使北西西向节理在东北向逆冲挤压力的作用下发育成逆断层,那么北北西向的节理受到抑制形成剪裂缝。另外,广安124井区距离北西西向主断层相对较远,主断层在此处通过形成小断层来释放应力,因此裂缝在平面上发育的规模也相对比较集中,横向延伸的连续性相对较差,从而形成现今的裂缝格局。同理,广安5井区的北西西向裂缝也应该是与该区主断层平行的伴生剪裂缝,该裂缝同样具有发育集中、产状稳定、倾角较大和靠近主断层发育的特征,推断与主断层形成时间相同,但后期受到先形成的主断层的抑制,从而形成伴生剪裂缝。

2.2.2 与褶皱伴生裂缝

在图5中,广安5井区还有两组张裂缝,其走向分别是北北西与北北东向,这两组裂缝倾角相对较小(一般小于40°)、裂缝宽度较大、单井裂缝数量较少,且平面上分布较分散。仔细观察发现这两组裂缝发育的井位主要分布在广安主背斜的转折段,如广安106、广安113、广安114井等。褶皱转折端具有应力相对集中的特征^[15,16],由于该地区处于背斜的转折段,根据褶皱局部应力的发育模式,该处的应力状态应该与形成褶皱的区域应力方向相反,而形成褶皱的区域挤压主应力为北西向。因此,该区的局部挤压应力应该为北东向,形成的

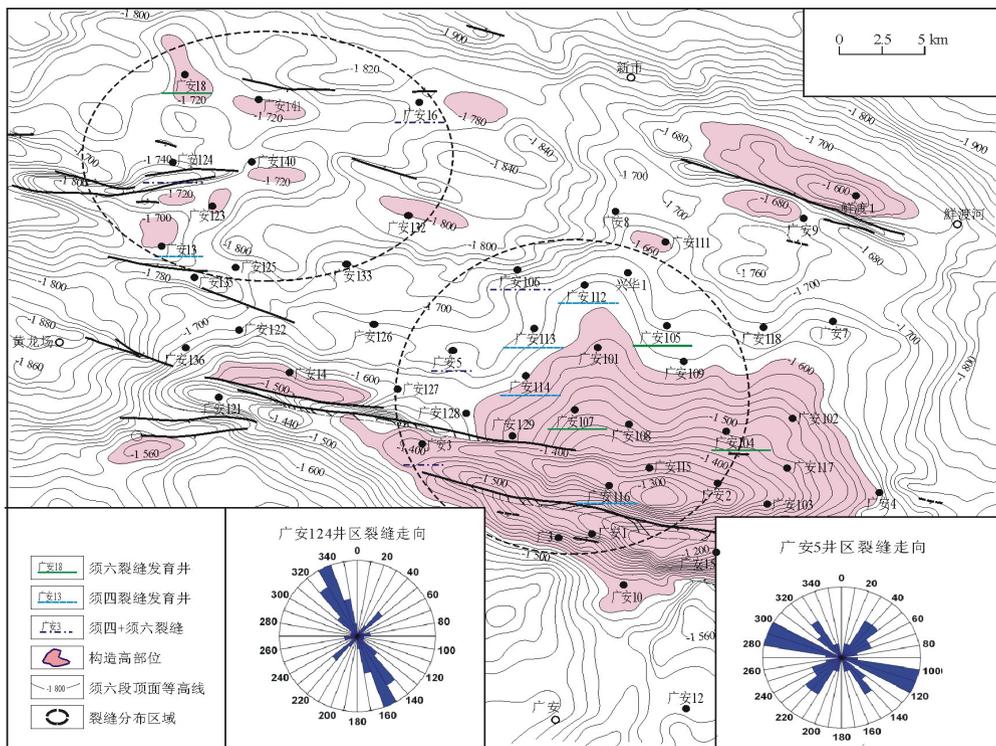


图5 四川盆地广安地区裂缝发育的方向与组系特征

Fig. 5 The fracture direction and series developing in Guang'an Gasfield, the Sichuan Basin

主要张节理方向应该与主应力方向平行,或者局部相垂直,这些特征基本与该区发育的两组裂缝走向特征相一致。因此,推断这两组裂缝的形成是与广安褶皱构造相伴生。

3 裂缝与天然气成藏的关系

根据上述分析的结果,可以认为广安地区裂缝的形成主要分为2期,第1期是广安5井区与褶皱相伴生的张裂缝,主要在燕山晚期龙门山逆冲推覆作用下形成;第2期裂缝为喜山期大巴山挤压作用下与区域主断层相伴生的裂缝。这2期裂缝对于广安地区天然气成藏具有积极的作用。

3.1 裂缝与有效储层发育的关系

须六段有效储层主要分布在广安主背斜,但裂缝主要分布在其西北部,气藏的分布范围内仅3口井有裂缝分布,分别为广安107、广安105和广安104,单井平均发育1~2条张开缝,且裂缝主要发育在中上亚段。该段有效储层不发育,因此须六段气藏的裂缝发育对气藏有效储层的形成贡献不大。

须四段有效储层主要位于广安主背斜的西北侧,集中分布在广安5井区与广安13井区,许多产气井都有裂缝发育。研究发现,须四段储层主要为次生溶蚀孔隙,而溶蚀孔隙最发育的广安5井区也正好是裂缝发育的部位。前文分析认为广安5井区裂缝主要为燕山晚期与褶皱伴生的张开缝,而研究表明,广安地区溶蚀孔隙的形成时间主要是在燕山晚期到喜山期^[17],该期须家河煤系源岩热演化形成的有机酸性水可以通过已经形成的裂缝和原生孔隙以及其它通道进入储层发生溶蚀作用,如广安5井有效储层发育段以中细砂岩和粉砂岩为主,原生孔隙不发育,但裂缝发育,因此广安5井区裂缝的形成成为有效储层发育的重要因素。但是广安124井区裂缝主要形成于喜山期,属于主断层伴生剪切缝。通过主断层两侧地层对比研究发现,主断层形成期应该为白垩纪末或更晚,而此时四川盆地除川西部分地区接受沉积外,盆地主要为构造抬升剥蚀阶段,因此广安地区须家河组成岩作用基本定型,有效储层已经形成,从而裂缝的发育不能促使溶蚀孔隙的发育。如广安124井,虽然须四段与须六段裂缝大量发育,但有效储层不发育。

3.2 裂缝与天然气成藏的关系

根据须家河组煤系源岩的有机热演化分析结果^[18~20],其源岩的初次大量生排烃期为燕山晚期或晚侏罗至早白垩期,该期正是广安北西西向构造和裂缝的大量形成期,同时须家河组储层的普遍致

密化使得油气在砂岩孔隙中运移难度加大。因此,广安5井区的早期裂缝可以作为沟通源岩与储层的气源通道,成为须六段西侧和须四段东侧的重要天然气运移通道,使得该区天然气大量富集。裂缝对于这些地区气藏的聚集具有重要的作用。

由表1与图6可以看出,早期发育的裂缝在须四段与有效储层相吻合,裂缝段钻井过程中气测显示明显,同时试气产量高,如裂缝发育的井——广安112,113井等都获得了良好的试气成果。同时,裂缝也可以作为后期地层抬升过程中油气运移的通道和提高产能的有利因素。例如广安106井上亚段有效储层不发育,但裂缝段钻井过程中出现气侵,测试获日产气7万多方,且不产水。但是,晚期形成的裂缝必须与有效储层相配合,主要起到提高有效储层的渗透性和单井产量的作用。如广安124井区,裂缝的发育使该区气层的连通性变好,气水关系正常,其对气层进行后期调整与定型。

4 结论

1)广安地区须家河组须六段与须四段储层裂缝发育,其裂缝特征相似,基本为构造裂缝,主要集中在广安124井区和广安5井区。前者主要为高角度剪切缝,呈北西向分布,裂缝产状稳定,密度大,连续性较好。后者裂缝分两组,一组为北西西向的高角度剪切缝,主要分布在主断层附近的广

表1 四川盆地广安气田须四段单井裂缝发育特征

Table 1 The fracture features of individual well developing in T₃x⁴ of Guang'an Gasfield, the Sichuan Basin

井号	深度/ m	倾角/ (°)	走向/ (°)	裂缝 性质	试气成果/ (10 ⁴ m ³ ·d ⁻¹)
广安3	2 088.4	82.20	325.00	张开缝	0.876 2
	2 088.5	78.50	325.00	张开缝	
广安5	2 387.4	66.44	290.00	张开缝	3.115 7
广安9	2 176.5	68.51	71.20	充填缝	
广安13	2 350.0	水平缝		张开缝	0.594 4
广安113	2 331.1	24.37	310.65	张开缝	4.350 0
	2 344.6	20.00	297.48	张开缝	
	2 479.3	75.00	303.89	张开缝	
广安124	2 482.3	76.23	315.00	张开缝	微气
	2 486.3	68.69	317.22	充填缝	
	2 491.2	79.92	348.33	张开缝	
	2 492.5	71.15	339.44	张开缝	
	2 497.2	52.38	340.55	充填缝	
	2 599.4	11.00	80.00	充填缝	
	2 600.0	12.74	33.73	半张开缝	
广安16	2 604.2	13.00	355.00	半张开缝	1.016 5
	2 604.7	8.00	340.00	张开缝	
	2 605.6	18.00	42.00	半张开缝	
广安106	2 508.8	28.00	64.00	张开缝	7.100 0
	2 514.5	54.00	287.00	充填缝	
	2 515.0	33.00	330.00	张开缝	

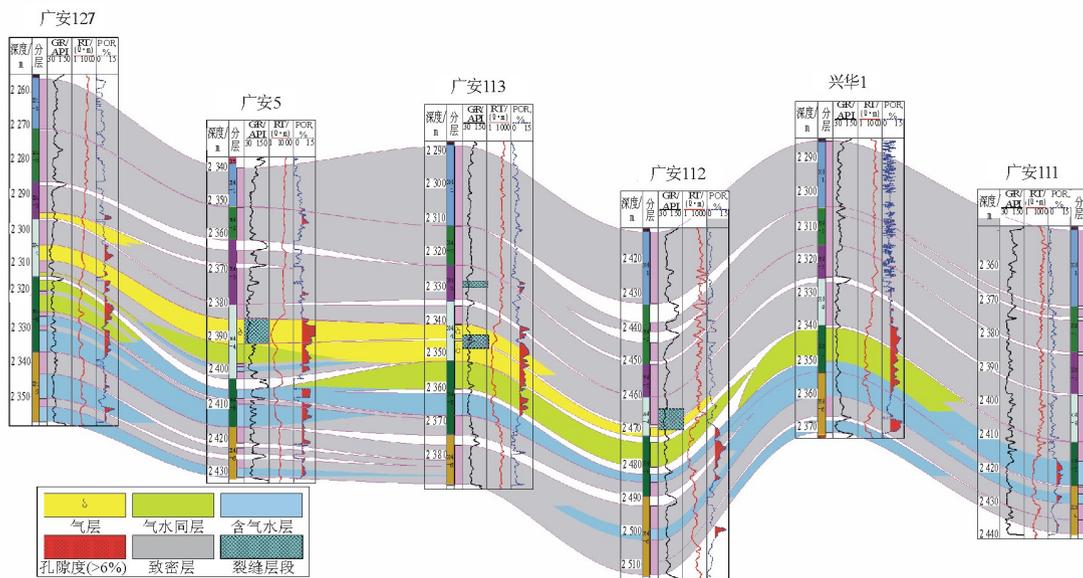


图 6 四川盆地广安地区须四段裂缝与气藏分布关系

Fig. 6 Relationship between fractures and gas accumulation of T₃x⁴ in Guang'an Gasfield, the Sichuan Basin

安 3 井与广安 5 井,与前者特征相似;另一组裂缝密度相对较小,呈北北西和北东向,裂缝面宽,具有溶蚀加大现象,属于张裂缝。

2)该区主要发育 2 期裂缝,第 1 期为高角度剪切缝,推断为燕山晚期褶皱伴生张裂缝,主要分布在褶皱应力较集中的转折段部位;第 2 期为喜山期断层伴生张裂缝,分为与断层共轭后期发展受到断层抑制的北西向裂缝和与断层平行的北西西向裂缝。

3)须六段裂缝发育区有效储层不发育,裂缝对气藏的有效储层形成贡献不大,但可以对气藏的形成和调整起到运移通道的作用。须四段广安 5 井区裂缝形成时间早,对于其后有效储层的形成具有重要的作用,同时也是天然气运移的通道;而广安 124 井区裂缝形成时间晚,必须与有效储层相结合,起到对气藏的调整与定型的作用。

参考文献:

- 1 翟光明. 中国石油地质志(卷十)[M]. 北京:石油工业出版社,1989
- 2 侯方浩,蒋裕强,方少仙等. 四川盆地上三叠统香溪组二段和四段砂岩沉积模式[J]. 石油学报,2005,26(2):30~37
- 3 杨晓萍,赵智智,邹才能等. 川中气田与苏里格气田“甜点”储层对比研究[J]. 天然气工业,2007,27(1):4~7
- 4 王洪辉,陆正元. 四川盆地上三叠统砂岩非构造裂缝储层[J]. 石油与天然气地质,1998,19(1):35~41
- 5 蒋裕强,郭贵安,陈 辉等. 川中地区上三叠统须家河组二段和四段砂岩优质储层成因探讨[J]. 油气地质与采收率,2007,14(1):18~22
- 6 Nelson R A. 天然裂缝储集层地质分析[M]. 柳广第译. 北京:石油工业出版社,1991.142~157

- 7 曾联波,李跃刚,王正国等. 邛西构造须二段特低渗透砂岩储层微观裂缝的分布特征[J]. 天然气工业,2007,27(6):45~47
- 8 于红枫,王英民,周 文. 川西坳陷松华镇—白马庙地区须二段储层裂缝特征及控制因素[J]. 中国石油大学学报(自然科学版),2006,30(3):17~22
- 9 周新桂,张林炎,范 昆. 含油气盆地低渗透储层构造裂缝定量预测方法和实例[J]. 天然气地球科学,2007,18(3):328~333
- 10 Lorenz J C, Sterling J L, Schechter D 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
- 11 郭正吾,邓康龄,韩永辉等. 四川盆地形成与演化[M]. 北京:地质出版社,1996
- 12 邓康龄. 四川盆地形成演化与油气勘探领域[J]. 天然气工业,1996,12(5):7~13
- 13 单业华,葛维萍. 储层天然裂缝形成机制的初步研究:以静北潜山油藏为例[J]. 石油实验地质,2001,23(4):457~463
- 14 余鸿年,卢华复. 构造地质学原理[M]. 南京:南京大学出版社,1998
- 15 周 文. 裂缝性油气储集层评价方法[M]. 成都:四川科技出版社,1998.25~128
- 16 Laubach S E. A method to detect natural fracture strike in sandstones[J]. AAPG Bulletin, 1997,81(4):604~623
- 17 杨晓萍,邹才能,李 伟. 四川盆地中部上三叠统香溪群岩性油气藏圈闭类型及其特征[J]. 中国石油勘探,2006,11(4):33~36
- 18 陈义才,蒋裕强,郭贵安等. 川中地区上三叠统天然气成藏机理[J]. 天然气工业,2007,27(6):27~30
- 19 车国琼,龚昌明,汪 楠等. 广安地区须家河组气藏成藏条件[J]. 天然气工业,2007,27(6):1~5
- 20 李宗银,李耀华,王翎人. 川中—川西地区上三叠统天然气成藏主控因素[J]. 天然气勘探与开发,2005,28(1):5~7