

大邑构造须家河组气藏裂缝发育特征及主控因素

陈迎宾^{1,2}, 郑冰², 袁东山³, 胡焯², 王彦青²

(1. 同济大学海洋与地球科学学院, 上海 200092; 2. 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院无锡石油地质研究所, 江苏无锡 214126; 3. 中国石油化工股份有限公司西南油气分公司勘探开发研究院, 成都 610081)

摘要:大邑构造须家河组气藏为裂缝性气藏, 裂缝发育程度是天然气富集高产的关键因素。通过对14口钻井岩心、测井资料分析统计, 结合构造、沉积相分析及古构造应力场模拟认为, 大邑构造须家河组气藏发育构造缝、层理缝及异常高压泄压缝3种成因类型裂缝。构造缝和层理缝有效性相对较好, 但其总体具数量少、延伸短、宽度窄、充填程度相对较高、非均质性较强的发育特征。地层所受应力小、变形弱是构造缝发育程度相对较差的根本原因。喜马拉雅期派生羽状断裂控制了构造缝的形成和展布; 发育于三角洲平原、前缘分流河道的平行层理、斜层理是层理缝形成的主要层理构造。裂缝成因类型、充填特征、后期溶蚀作用及现今地应力场共同控制了裂缝的有效性。

关键词:裂缝; 主控因素; 气藏; 须家河组; 大邑构造; 川西

中图分类号: TE122.2⁺3

文献标识码: A

Characteristics and main controlling factors of fractures in gas reservoir of Xujiache Formation, Dayi Structure

Chen Yingbin^{1,2}, Zheng Bing², Yuan Dongshan³, Hu Ye², Wang Yanqing²

(1. School of Ocean and Earth Sciences, Tongji University, Shanghai 200092, China;

2. Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214126, China;

3. Exploration & Production Institute of SINOPEC Southwest Oil & Gas Company, Chengdu, Sichuan 61008, China)

Abstract: The gas reservoir of the Xujiache Formation in the Dayi Structure is a fractured reservoir. The generation degree of fracture is the key factor for natural gas enrichment and high productivity. According to the core and logging data from 14 wells, combined with structural and sedimentary facies analyses as well as ancient tectonic stress field simulation, it has been concluded that 3 genetic types of fractures exist in the study area, including structural fracture, stratification fracture and abnormal pressure blowdown fracture. Structural and stratification fractures are relatively more effective; however, they are usually in smaller amount, and extend for short distance and narrow width. They are filled for higher degree and have stronger heterogeneity. Small formation stress and weak deformation are the primary causes for the poor development of structural fractures. Induced feather fractures during the Himalayan period control the formation and distribution of structural fractures. Parallel beddings and inclined beddings which develop in the distributary channels of delta plains and delta fronts are the main bedding types for stratification fracture formation. The genetic types of fractures, filling characteristics, later denudation and current ground stress field control the effectiveness of fractures.

Key words: fracture; main controlling factor; gas reservoir; Xujiache Formation; Dayi Structure; western Sichuan

大邑构造是川西龙门山前缘隐伏构造带中一个重要的三级构造, 须二段、须三段已经被证实为裂缝性气藏。由于裂缝性储层分布规律复杂, 致使后续勘探效果不理想。因此, 在目前资料较为完善的基础上, 进一步开展裂缝发育特征及主控因素研究对于大邑构造须家河组气藏裂缝预测及勘探潜

力评价具有重要意义。

1 基本地质特征

大邑构造须二段、须三段整体为一个被 F_1 、 F_2 断裂所夹持的南西扬起、北东倾覆, 北西翼陡、南东翼缓的大型不对称鼻状构造(图1)。构造形成于

收稿日期: 2012-07-13; 修订日期: 2012-12-27。

作者简介: 陈迎宾(1975—), 男, 博士后, 工程师, 从事油气地质综合研究。E-mail: Chenyb.syky@sinopec.com。

基金项目: 国家科技重大专项“大型油气田及煤层气开发”之“中西部四大盆地构造演化对碎屑岩层系成藏富集的控制作用”专题(2011ZX05002-006-001)资助。

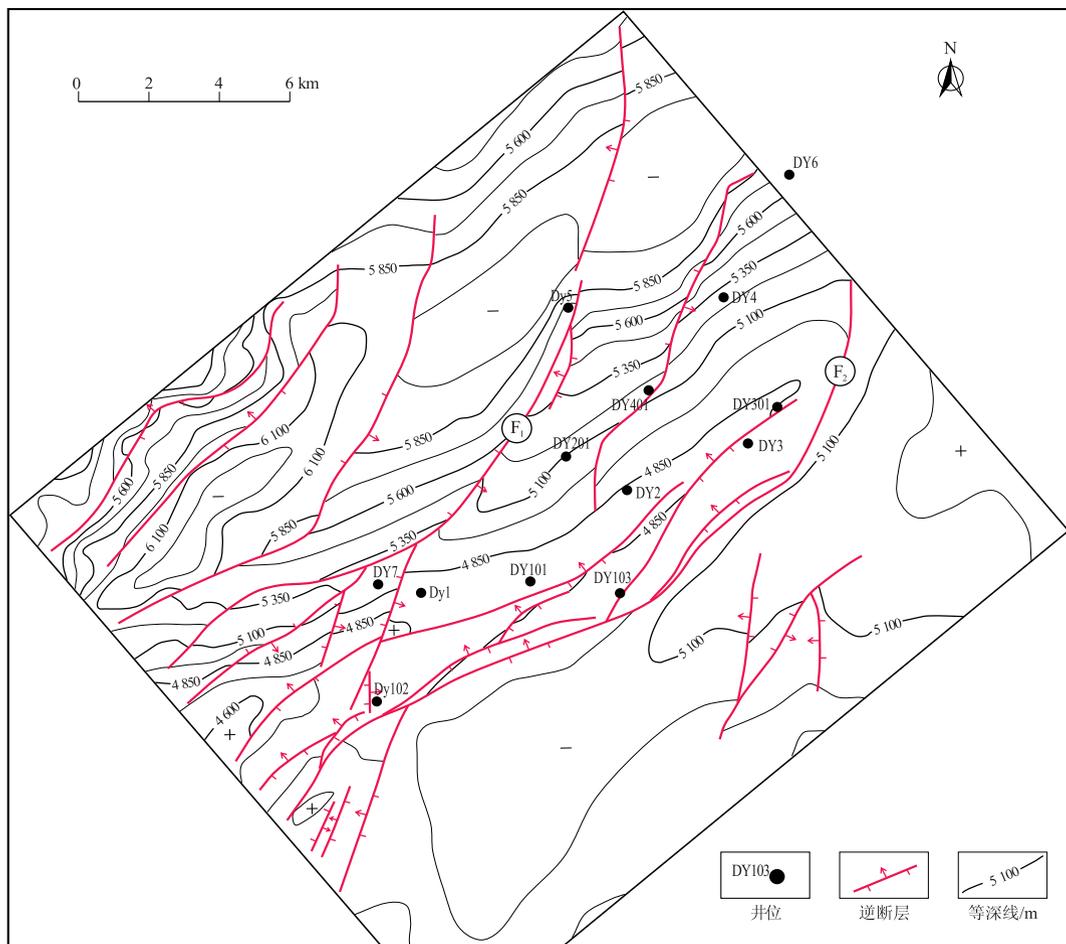


图1 川西大邑构造须三段底面构造

Fig. 1 Structural map of 3rd member of Xujiache Formation, Dayi Structure, western Sichuan

早白垩世晚期的燕山Ⅱ幕构造运动,经历了早喜马拉雅期构造运动的进一步加强和改造,于晚喜马拉雅期最终定型。

大邑地区须二段、须三段为辫状河—三角洲沉积体系,发育三角洲前缘和三角洲平原2大沉积亚相类型^[1-2]。

三角洲前缘发育于须二段中下部及须三段下部,储层主要以水下分流河道砂体为主,砂体厚度小,横向变化快。三角洲平原发育于须二段及须三段上部,储层以多期分支河道砂体为主,砂体纵向上叠置,横向上连片,厚度较大,是须家河组气藏的主要储集层段。

须二段、须三段砂岩类型主要为岩屑石英砂岩、长石岩屑石英砂岩及岩屑砂岩。须二段砂岩平均孔隙度2.86%,平均渗透率 $0.107 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;须三段砂岩平均孔隙度3.14%,平均渗透率 $0.119 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,均为低孔—低渗致密砂岩储层。砂岩原生孔隙已破坏殆尽,以粒间溶孔和裂缝为主,属裂缝—孔隙型和孔隙—裂缝型储层^[3]。

2 裂缝发育特征

2.1 裂缝成因类型

根据岩心裂缝观测及成像测井解释,大邑构造须二—须三段主要发育构造缝、层理缝及异常高压泄压缝3种成因类型的裂缝(图2)。

构造缝主要以断层附近派生羽状张扭、剪切裂缝为主。该类裂缝成组出现,切割深度大,有效性好,能够很大程度地改善储层物性,是最为重要的裂缝类型。受不同沉积微相和水动力条件控制,大邑构造须二—须三段砂岩中广泛发育层理构造。由于层理面是岩石中先存薄弱面,受力后易在层理面附近造成应力集中而沿着层理面发生破裂形成裂缝。据统计,层理缝占裂缝总数的45%左右,是大邑构造须家河组气藏裂缝中最为发育的一类。与异常高压有关的泄压缝在大邑构造须二—须三段也十分发育,可占裂缝总数的31%。该类裂缝表现为宽而短,无规律性,可能与断层带活动或频繁的地震活动有关。这类裂缝大多被脉体充填,对



图2 川西大邑构造须家河组气藏裂缝成因类型

Fig. 2 Genetic types of fractures in gas reservoirs of Xujiahe Formation, Dayi Structure, western Sichuan

改善储层性能的贡献小,且分布规律复杂,不易于预测。因此,以下重点对构造缝及层理缝发育特征及其主控因素进行论述。

2.2 裂缝发育特征

2.2.1 裂缝密度

须三段10口钻井岩心共统计裂缝1 090条,裂缝线密度平均为2.36条/m。须二段6口钻井岩心共统计裂缝626条,裂缝线密度平均1.83条/m。须三段裂缝发育程度高于须二段,但总体低于川西地区须家河组裂缝线密度平均值2.59条/m。同时,各井间及同一井中不同层段裂缝线密度变化很大,如大邑102井须三段裂缝平均线密度达4.8条/m,大邑101井须三段平均线密度只有0.33条/m;大邑1井须三段2个砂层组11个小层中,裂缝主要发育于I砂组的4小层、5小层(垂深井段:4 440~4 541 m)和II砂组7小层(垂深井段:4 746~4 800 m)中,其他小层则基本无裂缝发育。显示出裂缝非均质性很强,主要集中在发育在局部地区的局部层段。

2.2.2 裂缝长度及宽度

根据岩心及成像测井裂缝统计,须二段、须三段裂缝长度及宽度特征基本一致,整体具有延伸短、宽度窄的特征。裂缝延伸主要密集分布在5~10 cm范围,只有少数构造缝在20 cm以上或贯穿岩心。裂缝宽度主要以小于等于0.5 mm和0.5~1 mm为主,仅有少数贯穿岩心的构造裂缝宽度在10 mm或以上。

2.2.3 裂缝产状

须二段、须三段裂缝主要以水平缝、低角度缝(倾角 $0^{\circ}\sim 30^{\circ}$)及斜缝(倾角 $30^{\circ}\sim 60^{\circ}$)为主,高角度缝(倾角 $60^{\circ}\sim 90^{\circ}$)较少。在须三段10口钻井岩心统计的1 090条裂缝当中,水平缝746条,斜缝280条,高角度缝64条,分别为总数的68.44%,25.69%,5.87%。须二段6口钻井岩心统计的

626条裂缝中,水平缝439条,斜缝149条,高角度缝38条,分别为总数的70.13%,23.8%,6.07%。水平缝及部分斜缝主要为层理缝,高角度缝为构造裂缝。

综合大邑构造14口钻井裂缝走向,须二段和须三段裂缝走向基本一致,主要有4个优势方位:近东西向、北北向、北东向和近南北向。构造缝走向主要受晚期派生羽状断裂产状控制,层理缝走向则与古水流方向有关。

2.2.4 裂缝充填特征

须二段、须三段裂缝充填程度整体较高。须二段裂缝的充填程度比须三段稍弱,构造缝充填程度弱于层理缝。须三段全充填裂缝约占40%,半充填裂缝约占50%,未充填裂缝约占10%;须二段全充填裂缝约占30%,半充填裂缝约占50%,未充填裂缝约占20%。

裂缝内充填物主要为泥质、碳质、煤屑、方解石、次生石英及少量有机质。其中,泥质、碳质及煤屑充填约占70%以上,以全充填—半充填形式出现;方解石及次生石英充填约占20%左右,以全充填形式出现。

3 裂缝发育主控因素

3.1 应力大小和变形强弱

应力大小、变形强弱是控制构造缝发育程度的主要因素。通常认为,大邑构造位处川西龙门山前缘隐伏构造带,所受应力大、变形强,构造缝应充分发育。但从钻探结果及上述裂缝发育特征总结来看,大邑构造须家河组气藏构造缝发育程度并不高。

大邑钻井及周边露头定向样品声发射测试及岩石力学参数分析结果表明(表1,2),须二段平均地应力范围为112.44~185.89 MPa,岩石抗压强度范围为82.29~202.33 MPa;须三段平均地应力范围为38.5~83.85 MPa,岩石抗压强度为32.52~126.82 MPa。

表1 川西大邑周边地区野外露头须二—须三段定向样品声发射测试平均地应力

Table 1 Average ground stress of acoustic emission test of directional samples from 2nd-3rd members of Xujiahe Formation in areas surrounding Dayi Structure, western Sichuan

样品号	层位	岩性	方向	平均地应力/MPa
TXx2-1	须二段底部	灰色、灰黑色细—中粒岩屑石英砂岩	XY	185.89
GJBx2-2	须二段中部	灰白色、灰色中—细粒岩屑石英砂岩	XY	139.25
MHGx2-3	须二段上部	致密棕灰色长石岩屑砂岩	XY	112.44
MHGx3-1	须三段底部	灰白色致密粉砂岩	XY	72.96
LSCx3-2	须三段中上部	灰黄色、灰白色粉细砂岩	XY	66.48
LSCx3-3	须三段顶部	灰黄色、灰白色粉细砂岩	XY	83.85
LJPx3-4	须三段顶部	灰黑色粉砂岩	XY	38.50
TGMx3-5	须三段顶部	灰黄色岩屑中砂岩	XY	83.27

表2 川西大邑钻井岩心及周边露头须二—须三段岩石力学参数

Table 2 Rock mechanics parameters of 2nd-3rd members of Xujiahe Formation of Dayi drilling cores and surrounding outcrops in western Sichuan

样品号	层位	岩性	抗压强度/MPa	弹性模量/GPa	泊松比
DY102-19	须三段上部	灰白色中粒岩屑石英砂岩	120.45	13.39	0.103
DY1-2	须三段中部	灰白色中粗粒岩屑石英砂岩	92.09	25.23	0.174
DY5-25	须三段下部	灰白色中粒岩屑石英砂岩	75.16	8.71	0.110
DY4-13	须二段顶部	灰白色岩屑石英砂岩	116.76	17.50	0.128
DY2-28	须二段上部	灰白色中细粒岩屑石英砂岩	128.17	15.67	0.112
TXx2-1	须二段底部	灰色、灰黑色细—中粒岩屑石英砂岩	137.99	23.12	0.174
GJBx2-2	须二段中部	灰白色、灰色中—细粒岩屑石英砂岩	202.33	27.46	0.187
MHGx2-3	须二段上部	致密棕灰色长石岩屑砂岩	82.29	8.82	0.179
MHGx3-1	须三段底部	灰白色致密粉砂岩	126.82	36.41	0.117
LSCx3-2	须三段中上部	灰黄色、灰白色粉细砂岩	15.89	2.45	0.163
LSCx3-3	须三段顶部	灰黄色、灰白色粉细砂岩	55.68	8.67	0.130
LJPx3-4	须三段顶部	灰黑色粉砂岩	32.52	3.10	0.155
TGMx3-5	须三段顶部	灰黄色岩屑中砂岩	57.51	11.25	0.168

根据实测参数进行的有限元数值模拟结果也反映须二段—须三段以挤压应力为主,最大主应力分布均一,仅在断层周缘局部出现应力集中,最大主应力在 10~40 MPa 左右(图3);地层变形量及变形率计算结果表明(表3),大邑构造须二—须三段变形量很小,地层变形程度很弱,变形率只有 0.2%~0.6%。

可见,大邑构造虽处于川西龙门山前缘隐伏构造带,但应力场分布均一,地层所受应力小,整体变形弱。这也是导致大邑构造须家河组气藏构造缝发育程度差的根本原因。

3.2 构造演化及力学性质

构造演化及力学性质控制了构造缝的发育。大邑构造形成之前虽然经历了安县运动、早燕山期运动,但在大邑地区表现为整体的抬升和沉降,岩层基本未发生变形和位移^[4-6],不足以形成大规模区域性构造裂缝。钻探结果也表明,大邑地区构造



图3 川西大邑构造须二—须三段最大主应力

Fig. 3 Maximum principal stress of 2nd-3rd members of Xujiahe Formation, Dayi Structure, western Sichuan

缝不具有区域分布的特征,构造缝发育程度、产状受局部断层控制明显。如穿越羽状断层的大邑1井、

表3 川西大邑构造各层段变形量及变形率

Table 3 Deformation amount and rate of each layer of Dayi Structure, western Sichuan

层段	Inline 方向		Xline 方向	
	变形量/m	变形率	变形量/m	变形率
天马山组	159.10	0.025 3		
蓬莱镇组	26.43	0.004 2	10.19	0.001 3
遂宁组	18.55	0.002 9	3.22	0.000 4
沙溪庙组	26.32	0.004 1	5.03	0.000 6
千佛崖组	11.93	0.001 9	3.53	0.000 4
白田坝组	8.41	0.001 3	6.44	0.000 8
须五段	13.44	0.002 1	1.52	0.000 2
须四段	17.91	0.002 8	10.00	0.001 2
须三段	34.13	0.005 3	45.38	0.005 6
须二段	25.49	0.003 9	15.46	0.001 9

大邑3井构造缝最发育;而离断层较远的大邑2井和大邑101井构造缝则欠发育。

大邑构造早期是由 F_2 、 F_1 断裂共同控制形成的一个冲起构造,以水平挤压变形为主。前已述及,大邑构造所受应力小,整个地层变形程度弱,而且早期地层变形一方面被断层的位移所吸收,另一方面被褶皱变形所吸收。因此,构造变形早、中期不会有大量褶皱和断层伴生裂缝产生。

早喜马拉雅期,大邑地区经历了近东西向的挤压应力,使大邑构造顺时针扭动变形,造成了早期形成的北东向的 F_2 、 F_1 等断裂受局部构造应力差异影响进一步活动,并派生出一系列与之斜交的羽状派生断层和裂缝^[7]。晚喜马拉雅期,随着压扭应力的进一步增强,早喜马拉雅期形成的羽状派生断层和裂缝被进一步加强和改造,并最终形成了目前的断裂派生羽状裂缝系统。这种成因类型也决定了构造缝总体具有规模小、延伸短,以小角度与断面相交的一组较发育的总体特征^[8]。

3.3 沉积微相类型及水流方向

沉积微相类型及水流方向控制了层理缝的形成和发育。大邑构造须家河组气藏大规模发育的层理缝对于改善储层物性、提供油气运移通道具有重要作用。碎屑岩中的层理构造是层理缝形成的主要因素。通过岩心观察,大邑构造须二—须三段发育有水平层理、平行层理、斜层理(交错层理)、波状层理、粒序层理及韵律层理等多种层理构造。而发育于三角洲平原分支河道、三角洲前缘分流河道的平行层理、斜层理是大邑构造须家河组气藏层理缝形成的主要层理构造。

平行层理本身就具有沿层理面易于剥开的特

点,在一定应力条件下或流体泄压过程中,均可造成岩石沿层理面开裂形成裂缝。大邑构造须二段I砂组、须三段I砂组发育多期叠置的三角洲平原分支河道,平行层理十分发育,且河道砂体本身即具有较好的孔渗条件,加之层理缝的发育,可形成良好储集层段。如大邑3,4,6,7井等钻井岩心中沿平行层理面形成的层理缝使岩石呈“酥饼状”,具有良好的物性条件。

大邑构造须二段I砂组、须三段I砂组三角洲平原分支河道沉积中单向斜层理、板状交错层理及楔状交错层理也较发育。与平行层理类似,斜层理主要发育于中、细砂岩中,在构造应力作用下易造成岩石沿层理面开裂形成裂缝。许多划分为构造缝的低角度缝、斜缝均是在斜层理的层理缝基础上进一步发展形成的。

其他如水平层理、波状层理、韵律层理等虽然也有一定程度的发育,但由于这些层理构造主要发育于三角洲前缘、平原的分流河道间、河漫滩或岸后沼泽的粉细砂岩或页岩中,岩性相对较细,且整体致密,造缝能力差,对于形成裂缝性储层贡献不大^[9-10]。

平行层理、斜层理分布范围取决于河道的空间展布,延伸方向则与古水流方向一致。因此,与之相关的层理缝也受控于分流河道的平面展布及古水流方向。如大邑1,3,4井等须三段I砂组4小层、5小层层理缝走向与古水流方向均具有较好的一致性(图4)。

3.4 砂体厚度

砂体厚度一定程度上控制了裂缝的发育程度。根据对各井须二—须三段砂体厚度统计与裂缝发育程度对比发现,裂缝垂向上具有在厚砂体中发育程度好、薄砂体中发育程度相对较差的特点。如,须二段I砂组裂缝主要发育于砂体厚度较大的1、3小层,须三段I砂组裂缝主要发育于砂体厚度较大的4~6小层(图5)。主要有2个原因:(1)厚砂体主要发育于三角洲平原分支河道或三角洲前缘分流河道的主河道或心滩等沉积微相当中,这些砂体所处微相水动力条件相对较强,平行层理、斜层理等层理构造发育,从而层理缝也相对发育;(2)薄层的砂体往往位于较厚的泥岩夹持中,当构造应力作用于岩层时,应力作用大部分消失在上下两层泥岩层的塑性变形过程中,所以这些夹在厚层泥岩中的薄砂层受到应力作用小,裂缝就欠发育。

3.5 裂缝有效性的控制因素

裂缝成因类型、充填特征、后期溶蚀作用及现

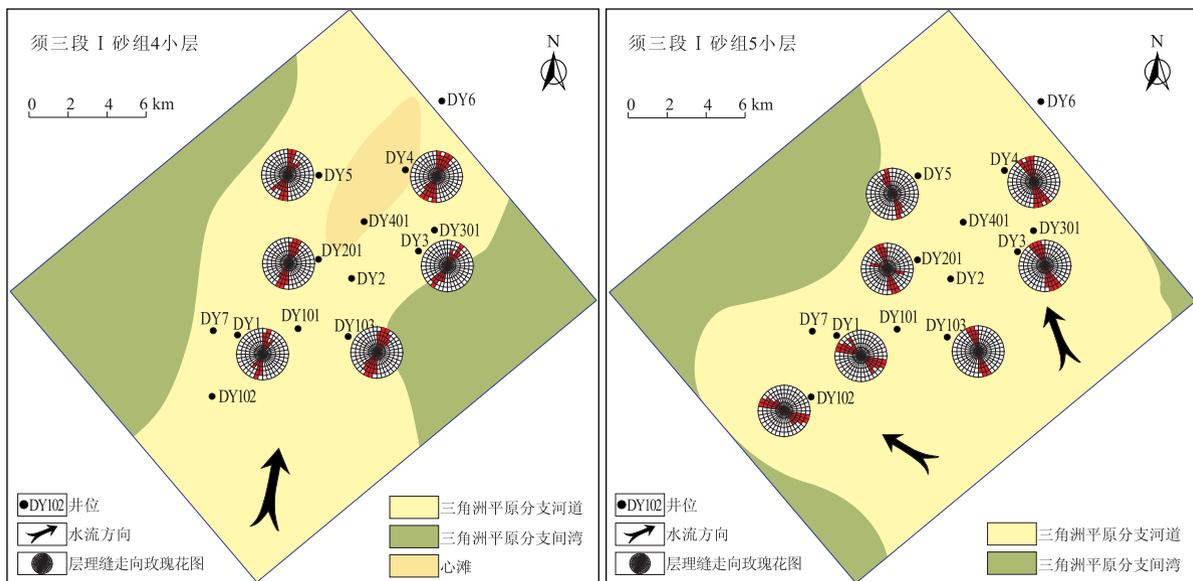


图4 川西大邑构造须三段 I 砂组部分钻井层理缝走向与古水流方向关系

Fig. 4 Relationship between stratification fractures and paleocurrent directions in sand group I, 3rd member of Xujiache Formation, Dayi Structure, western Sichuan

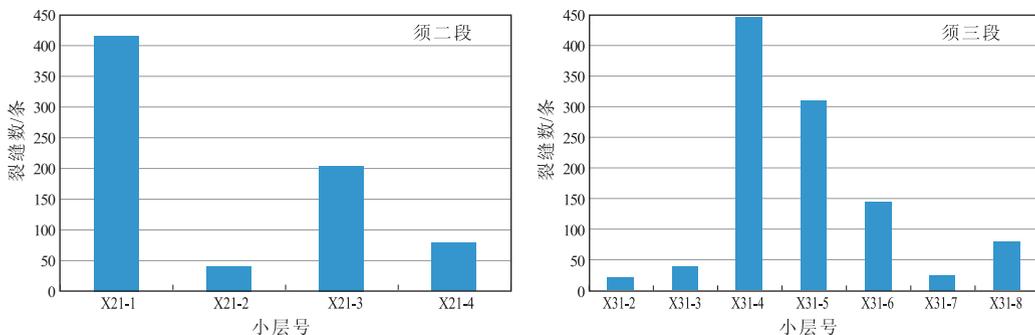


图5 川西大邑构造须二段、须三段 I 砂组各小层裂缝发育程度

Fig. 5 Fracture development degrees in each small layer of sand group I of 2nd-3rd members of Xujiache Formation, Dayi Structure, western Sichuan

今地应力场共同控制了裂缝的有效性。裂缝对储层的贡献取决于裂缝的渗滤能力,即裂缝的有效性。根据目前钻探揭示及测试情况来看,大邑构造须家河组气藏裂缝有效性总体较差。

裂缝的成因类型是控制大邑构造须家河组气藏裂缝有效性的最主要因素。层理缝开度小,且地层条件下大多是闭合状态,本身有效性就差。构造缝主要为断层压扭变形过程中的派生羽状张裂缝和剪切裂缝。这类裂缝延伸短、宽度窄的发育特征也影响了裂缝的有效性。

大邑地区裂缝充填程度普遍较高,是控制大邑构造须家河组气藏裂缝有效性的另一个主要因素。早期裂缝形成以后,如果裂缝开启,必然成为地下流体运移的输导通道,流体在通过其运移过程中,由于温度压力条件的改变,使其携带的大量成岩物质发生过饱和沉淀。最明显的 SiO₂ 迁移至浅处导

致石英的沉淀。再者是 CaCO₃ 迁移至深处形成的嵌晶状的方解石沉淀胶结。这些石英和方解石沉淀胶结堵塞了裂缝内的渗滤空间,使裂缝的有效性降低。另外,由于须家河组属于煤系地层,在上层围岩的压力下,煤质和泥质易被压入张开的裂缝中,堵塞了裂缝,降低了裂缝的有效性。如大邑 3 井所观察岩心中裂缝较发育,但多被方解石、泥质充填、半充填,使裂缝的有效性变差。

溶蚀作用是改善裂缝有效性的一种建设性成岩作用。早期裂缝由于后期的充填,有效性变差,但一旦裂缝充填物被溶蚀,裂缝的连通性增强,裂缝的有效性又会变好。大邑地区裂缝有一定的溶蚀作用,但分布范围局限,规模较小。在各钻井岩心中,只在大邑 102 井、大邑 7 井见到了溶蚀缝和溶蚀孔洞,其余钻井岩心中未见到溶蚀现象。这主要是因为工区南西端断裂发育、地层破碎,有利于

后期地下流体流动而发生溶蚀作用。

现今地应力场会影响目前天然裂缝在地下的赋存状态及有效性^[11]。当裂缝走向与现今地应力场最大水平主应力方向平行时,裂缝在地下的开度增大,连通性最好,裂缝对流体的导流能力也最强。当裂缝走向与最大主应力方向垂直时,裂缝开度最小,连通性最差,对流体的导流能力也最弱。天然裂缝走向与最大水平主应力方向有一定夹角时,裂缝开度、连通性及对流体的导流能力居中,且夹角越大,对流体的导流能力也越弱。

大邑构造须家河组气藏裂缝主要有近东西向、北西向、北东向和近南北向 4 个优势走向,而现今地应力场主要为北西及近东西向^[12]。因此,近东西向、北西向裂缝与现今地应力场最大水平主应力方向平行或小角度相交,有利于裂缝有效性的增强,如大邑 1 井北西向裂缝、大邑 3 井近东西向裂缝有效性相对较好。南北向及北东向裂缝与现今地应力场最大水平主应力大角度相交或垂直,不利于裂缝张开,有效性较差,如大邑 2 井须三段 I 砂组 4、6 小层北东向裂缝,大邑 103 井须二段近南北向裂缝,有效性均相对较差。

4 结论

1) 大邑构造须二—须三段发育构造缝、层理缝及异常高压泄压缝 3 种成因类型裂缝。构造缝及层理缝有效性相对较好,是天然气勘探寻找的主要裂缝类型。裂缝发育总体具有数量相对较少、延伸短、宽度窄、充填程度相对较高、非均质性较强的特征。

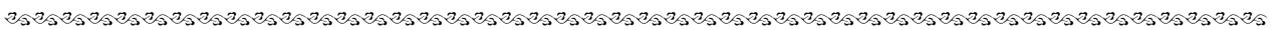
2) 地层所受应力小、变形弱是大邑构造须家河组气藏构造缝发育程度相对较差的根本原因。构造缝发育程度、产状受喜马拉雅期羽状派生断层控制,断层附近、断层交叉部位及断层末梢是构造缝发育的有利位置。发育于三角洲平原分支河道、

三角洲前缘分流河道的平行层理、斜层理是层理缝形成的主要层理构造。层理缝的分布及走向受分流河道空间展布及古水流方向控制。须二段 I 砂组、须三段 I 砂组三角洲平原分支河道厚大砂体中层理缝发育,且河道砂体本身具有较好的孔渗条件,是寻找优质储层的有利方向。

参考文献:

- [1] 赵爽,高倩,谯述容. 川西 DY 地区三叠系须家河组二段地震相分析与沉积相预测[J]. 石油地球物理勘探,2009,44(3): 341-346.
- [2] 胡明毅,李士祥,魏国齐,等. 川西前陆盆地上三叠统须家河组沉积体系及演化特征[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报),2008,30(5):5-10.
- [3] 熊亮,康保平,魏力民,等. 川西大邑构造须二、三段储层特征及控制因素[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报),2010,32(6):366-369.
- [4] 罗啸泉,李书兵,赵锡奎. 川西龙门山构造特征与油气关系[J]. 石油实验地质,2011,33(4):384-387.
- [5] 汤良杰,崔敏. 中上扬子区关键构造变革期、构造变形样式与油气保存[J]. 石油实验地质,2011,33(1):12-16.
- [6] 林良彪,陈洪德,姜平,等. 川西前陆盆地须家河组沉积相及岩相古地理演化[J]. 成都理工大学学报:自然科学版,2006,33(4):376-383.
- [7] 李智武,刘树根,陈洪德,等. 龙门山冲断带分段—分带性构造格局及其差异变形特征[J]. 成都理工大学学报:自然科学版,2008,35(4):440-453.
- [8] 秦启荣,苏培东. 构造裂缝类型划分与预测[J]. 天然气工业,2006,26(10):33-36.
- [9] 李嵘,张娜,朱丽霞. 四川盆地川西拗陷须家河组砂岩致密化研究[J]. 石油实验地质,2011,33(3):274-281.
- [10] 姚田万,吕萍,何云峰,等. 常规测井在孔—缝储层评价中的应用:以巴什托油田巴楚组油藏为例[J]. 石油实验地质,2012,34(S1):76-79.
- [11] 王二七,孟庆任. 对龙门山中生代和新生代构造演化的讨论[J]. 中国科学:D辑:地球科学,2008,38(10):1221-1233.
- [12] 董绍鹏,韩竹军,尹金辉,等. 龙门山山前大邑断裂活动时代与最新构造变形样式初步研究[J]. 地震地质,2008,30(4):996-1003.

(编辑 徐文明)



(上接第 28 页)

- [10] 王守德,郑冰. 中国南方古油藏与油气评价[J]. 海相油气地质,1997,2(1):44-50.
- [11] 卫平生,刘全新,张景廉,等. 再论生物礁与大油气田的关系[J]. 石油学报,2006,27(2):38-42.
- [12] 刘春燕,林畅松,吴茂炳,等. 中国生物礁时空分布特征及其地质意义[J]. 世界地质,2007,26(1):44-45.
- [13] 王生海,范嘉松,Keith Rigg J. 贵州紫云二叠纪生物礁基本特征及其发育规律[J]. 沉积学报,1996,14(2):66-74.
- [14] 张廷山,姜照勇,陈晓慧. 四川盆地古生代生物礁滩特征及发育控制因素[J]. 中国地质,2008,35(5):1017-1030.
- [15] 徐胜林,尚云志,陈安清. 黔南—桂中地区泥盆系沉积体系研究[J]. 四川地质学报,2007,27(1):7-11.
- [16] 王津义,彭金宁,刘光祥,等. 黔南拗陷区带评价与优选[R]. 无锡:中国石化无锡石油地质研究所,2011.
- [17] 周明辉,赵泽恒,吴正永,等. 黔中隆起及周缘老井复查研究报告[R]. 成都:中国石化南方勘探分公司,2004.

(编辑 徐文明)