

# 川西孝泉—新场地区须家河组四段裂缝分布特征

张克银

(中国石化西南油气分公司勘探开发研究院, 成都 610041)

**摘要:**通过电成像测井的手段,对研究区内19口重点井须家河组四段发育的天然裂缝资料进行了统计、分析,认为该层位裂缝主要有4组:印支晚期—燕山早期的NE-SW向裂缝,燕山中、晚期的近SN向裂缝,喜马拉雅晚期的NW-SE向裂缝和喜马拉雅期四幕的ESE-WNW至ENE-WSW向裂缝;孝泉—新场地区须家河组四段主要发育低角度斜交裂缝以及高角度斜交裂缝,水平缝发育较少,垂直缝基本不发育;背斜南、北两翼的裂缝线密度要大于轴部,背斜轴部总体上表现为距断裂系统越近、裂缝的线密度越大的特点;裂缝线密度的不均质性较强;中砂岩、细砂岩、砾岩、粗砂岩是裂缝的主要载体,裂缝在中砂岩、细砂岩、砾岩、粗砂岩中发育得更好,而页岩中的裂缝最不发育;页岩、泥质粉砂岩、粉砂岩中的裂缝线密度呈较清晰的随层厚增加而减小的趋势;粉砂质页岩、粗砂岩中裂缝线密度与层厚没有表现出明显的对应关系。

**关键词:**裂缝;成像测井;须家河组四段;孝泉—新场地区;川西

中图分类号:TE122.2<sup>+</sup>3

文献标识码:A

## Fracture distribution characteristics of 4th member of Xujiahe Formation in Xiaoquan-Xinchang area, western Sichuan

Zhang Keyin

(Exploration & Production Research Institute, SWPB of SINOPEC, Chengdu, Sichuan 610041, China)

**Abstract:** Electro-imaging logging was carried out in 19 key wells to study the natural fractures in the 4th member of the Xujiahe Formation in the western Sichuan Basin. There are 4 sets of fractures as followed: the NE-SW trended fractures from the late Indosinian to the early Yanshanian, the SN trended fractures during the middle and late Yanshanian, the NW-SE trended fractures during the late Himalayan, and the ESE-WNW to ENE-WSW trended fractures during the 4th phase of Himalayan. Low-angle and high-angle diagonal fractures account for a large proportion, while horizontal fractures less and vertical fractures seldom develop. The fractures in the southern and northern flanks have bigger linear densities than those in the hinge, where the linear densities of fractures increase as closing to fault system, showing obvious heterogeneity. Medium sandstones, fine sandstones, conglomerates and coarse sandstones are favorable carriers for fractures. In contrast, fractures are underdeveloped in shales. In shales, pelitic siltstones and siltstones, the linear density of fractures decreases obviously as formation thickness increases. As to silty shales and coarse sandstones, there is no apparent congruent relationship.

**Key words:** fracture; imaging logging; 4th member of Xujiahe Formation; Xiaoquan-Xinchang area; western Sichuan

孝泉—新场地区位于龙门山前缘的中段,中三叠世以来,经印支、燕山和喜马拉雅等多期次的大的构造运动的改造,沉积环境完成了由海→海陆过渡→陆相的变迁<sup>[1-3]</sup>,晚三叠世是川西盆地转型的关键时期<sup>[4]</sup>。该区上三叠统须家河组自下而上分为须一—须五段,与上覆的侏罗系白田坝组呈平行不整合接触关系,和下伏上三叠统的马鞍山组呈平行不整合接触关系。须四段是须家河组上、下2个“成盆期”分界的开始,以“安县运动”为显著标志,

须四段底部在川西坳陷范围内普遍发育有砾岩沉积<sup>[1]</sup>。须四段的岩性主要为砾岩、含砾砂岩、岩屑砂岩夹砂质泥岩和泥灰岩,偶见煤线,为冲积扇、河流等陆相沉积的产物,川西坳陷主体以辫状河三角洲前缘沉积为主<sup>[5-6]</sup>。须四段的平均孔隙度4.87%,平均渗透率 $0.315 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,属致密储层<sup>[7]</sup>。

前人研究表明,裂缝的发育可以改善渗流条件,往往成为高产的关键因素之一<sup>[8-10]</sup>。裂缝的分布具有非均质性强、规律复杂等特点。已有的研究成果

虽然对裂缝的特征和分布有一定的认识<sup>[11-12]</sup>,但对于裂缝的分布规律、成因、期次、受控因素等方面还需要进一步的研究。因此,认识、了解孝泉—新场地区须家河组四段天然裂缝的分布规律,对该层位的油气勘探、开发具有十分重要的意义。

## 1 方法与数据

研究区须家河组四段均深埋地下,缺少地表露头,故对须家河组四段裂缝的研究主要依赖于地震、测井资料及岩心的观察。电成像测井能够提供在实际温度、压力和流体环境下较为准确的裂缝二维空间信息,能够满足精细地描述岩性、裂缝、构造地应力方向等特性。通过对这些信息及特性的研究,可以更深入地对裂缝成因类型及形成期次进行综合分析、判断<sup>[13-16]</sup>。

利用电成像资料进行裂缝密度计算时,一般用线性密度表示为

$$F_d = \frac{1}{H} \sum_{i=1}^n L_i \quad (1)$$

式中, $F_d$ 为视裂缝密度,条/m; $H$ 为评价井段长度,m; $\sum_{i=1}^n L_i$ 为评价井段裂缝的总条数<sup>[17]</sup>。

按周文提出的裂缝类型的划分标准<sup>[18]</sup>,将裂缝分为水平缝、低角度斜交缝、高角度斜交裂缝、垂直裂缝等4类(表1)。

表1 以裂缝产状为标准的裂缝类型划分方案

Table 1 Fracture type classification scheme based on fracture attitudes

裂缝倾角	裂缝类型
<5°	水平缝
5°~45°	低角度斜交缝
45°~85°	高角度斜交裂缝
>85°	垂直裂缝

拟通过电成像测井的手段,对研究区内19口重点井须家河组四段发育的天然裂缝资料进行统计、分析。

## 2 裂缝分布特征

### 2.1 裂缝横向分布特征

#### 2.1.1 裂缝方向分布

将选取的19口井按所处构造部位的不同,划分为3类:背斜北翼、背斜轴部、背斜南翼,并分别对其裂缝发育的方向进行了统计分析。北翼裂缝主要集中在4个方向:ESE-WNW至ENE-WSW向、NW-

SE向、NE-SW向和近NS向(图1a);轴部裂缝主要集中在3个方向:ESE-WNW至ENE-WSW、NW-SE和NNW-SSE(图1b);南翼裂缝主要集中在3个方向:ESE-WNW至ENE-WSW、NE-SW和NNW-SSE(图1c)。

#### 2.1.2 裂缝倾角

对选取的19口井的裂缝倾角进行了统计分析,结果显示,这19口井主要发育低角度斜交裂缝以及高角度斜交裂缝,水平缝发育较少,垂直缝基本不发育(图1d)。其中,低角度斜交裂缝所占比例均超过了40%,大多数在80%以上,最高达到了91.7%(X206井);高角度斜交裂缝均在45%以下,大多数在20%以下,XC28和X501井不发育此种裂缝。水平缝均在16%以下,大多数在10%以下,X209、XC30、CL562井不发育此种裂缝。垂直缝仅见于X10、X2井,且均小于11%。

#### 2.1.3 裂缝线密度

对裂缝线密度进行了统计分析,结果显示,X206井的裂缝线密度最大,达到了0.3934条/m;XC13、XC29、X5、XC31、XC33、XC8井的裂缝线密度也都超过了0.1条/m;XC28、X209、X3井的裂缝线密度相对较低,均低于0.05条/m(图2)。

### 2.2 裂缝纵向分布特征

可以看到,纵向上,裂缝线密度都表现出较强的不均质性,其中XC13、XC29、X206、XC12井等较为突出,具有几个明显高值段且在顶部均有较多裂缝发育(图3)。

### 2.3 裂缝分布与岩性的关系

选取的19口井的岩性主要由砾岩、砂岩和页岩组成(图4),根据岩性的不同,分别考察其裂缝的发育情况。结果显示,中砂岩、细砂岩、砾岩、粗砂岩是裂缝的主要载体。其中,中砂岩中发育的裂缝占全部裂缝的比例大多数超过了20%,X209与X3井中的比例更是超过了50%,不过在X11井中却少于4%(图4)。细砂岩中,只有XC30井中的比例超过了50%,其余的介于2%与48%之间(图4)。砾岩中,XC8井中的比例超过了50%。粗砂岩中,X5井的比例最高,达到了35%(图4)。粉砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质页岩、页岩中的比例一般均小于20%(图4)。

我们用“ $E$ 指标”来进一步考察、评价裂缝在不同岩性中的发育情况:

$$E_{\text{岩}} = \frac{n_r/n_t - H_r/H_t}{H_r/H_t} \times 100\% \quad (2)$$

式中, $n_r$ 为某岩性中发育的裂缝条数; $n_t$ 为裂缝的

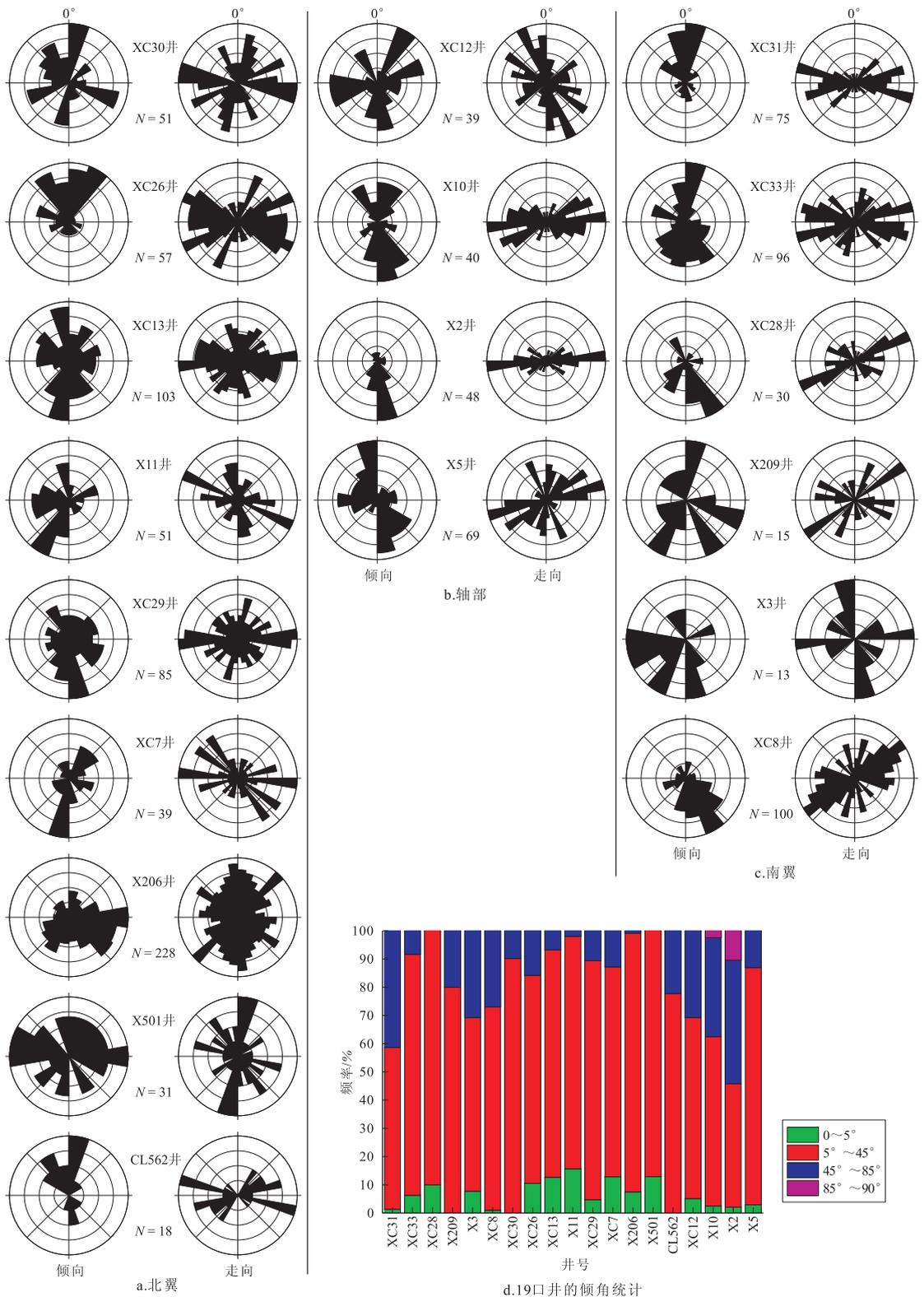


图1 川西孝泉—新场地区须家河组四段裂缝产状分析

Fig.1 Fracture attitudes of 4th member of Xujiahe Formation in Xiaquan-Xinchang area, western Sichuan

总条数;  $H_i$  为某岩性的总厚度;  $H_j$  为地层总厚度。 $E_{if}$  指标的意义在于可以表征裂缝在各岩性中的发育情况, 正值代表有利于裂缝发育; 负值代表不利于裂缝发育, 最小值为 -100%; 0 则代表没有影响。

分析结果显示, 砾岩、粗砂岩、中砂岩的值绝大

多数是正值, 平均值分别为 168.70%, 308.63%, 115.28%; 而粉砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质页岩的值绝大多数是负值; 页岩则均为负值(表 2)。其中, 砾岩中, XC12 井的值最高, 达到了 616.41%; 粗砂岩中, XC12 井的值最高, 达到了 974.62%; 中砂岩

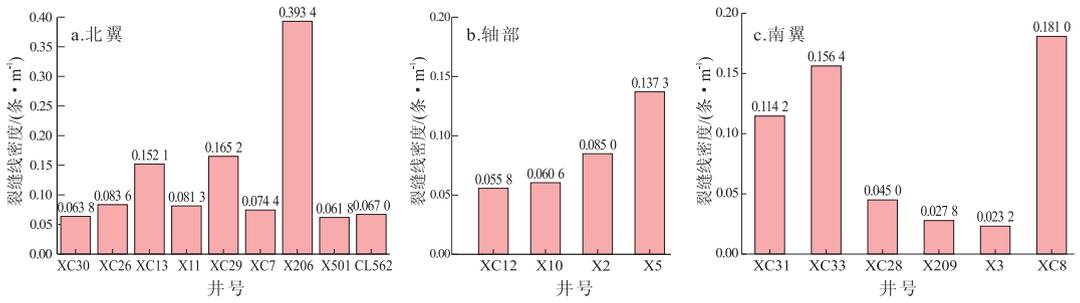


图2 川西孝泉—新场地区须家河组四段裂缝线密度分析

Fig.2 Linear density of fractures of 4th member of Xujiahe Formation in Xiaoquan–Xinchang area, western Sichuan

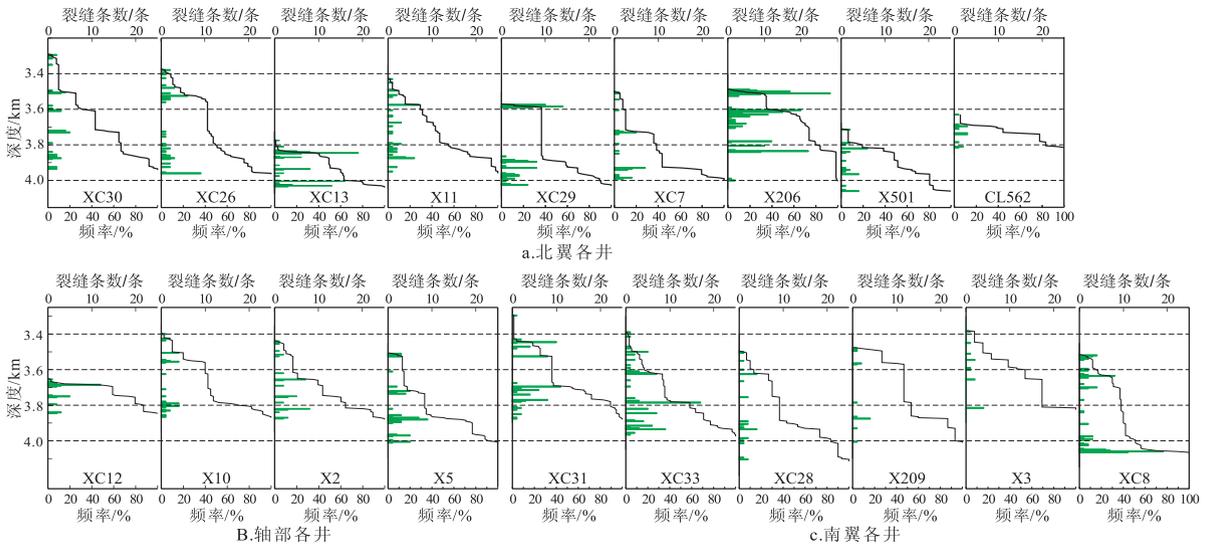


图3 川西孝泉—新场地区须家河组四段裂缝随深度变化分析

Fig.3 Fractures changing with depth of 4th member of Xujiahe Formation in Xiaoquan–Xinchang area, western Sichuan

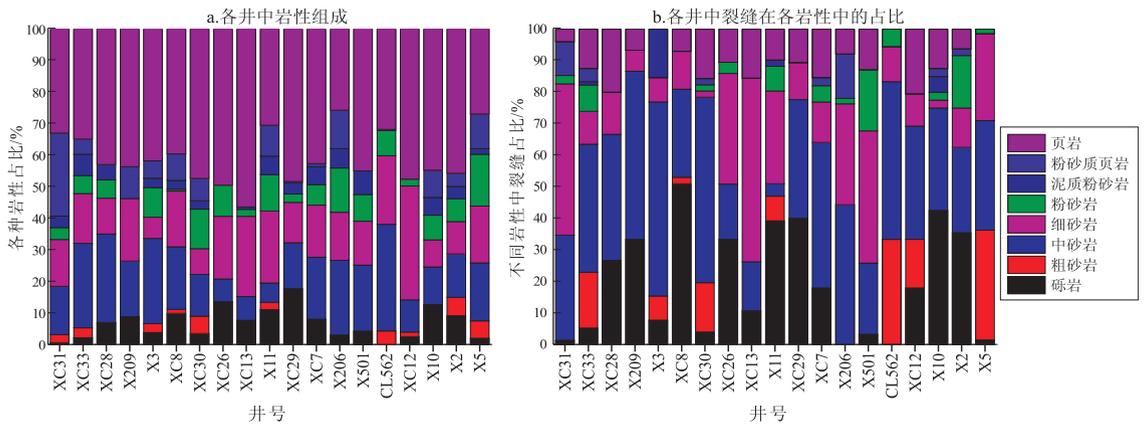


图4 川西孝泉—新场地区须家河组四段各井岩性组成及裂缝在不同岩性中的发育特征

Fig.4 Lithological composition of wells and fracture development characteristics in different lithologies in 4th member of Xujiahe Formation in Xiaoquan–Xinchang area, western Sichuan

中,XC30 井的值最高,达到了 345.92%;细砂岩中,XC31 井的值最高,达到了 222.12%。粉砂岩中,虽然绝大多数都为负值,但 X2 井的值也高达 129.47%;同样的,泥质粉砂岩中,X3 井的值高达 421.59%。

### 2.4 裂缝线密度与层厚的关系

通过裂缝线密度与层厚对应关系的回归分析

(图 5),大体上可以得出以下几点认识:

(1) 页岩、泥质粉砂岩、粉砂岩中的裂缝线密度呈较清晰的随层厚增加而减小的趋势,而且这种趋势,在裂缝线密度低于 0.5 条/m 时表现得最明显;细砂岩、砾岩在一定程度上也表现出这样的趋势。

(2) 中砂岩中,当裂缝线密度低于 1.5 条/m

表 2 川西孝泉—新场地区须家河组四段 E 指标统计

Table 2 Statistics of E of Xujiahe Formation in Xiaoquan—Xinchang area, western Sichuan

序号	井号	$E_f$ 指标/%							
		砾岩	粗砂岩	中砂岩	细砂岩	粉砂岩	泥质粉砂岩	粉砂质页岩	页岩
1	XC31	119.00	-100.00	117.91	222.12	-28.49	-100.00	-59.49	-87.86
2	XC33	145.99	457.59	51.82	-34.00	45.77	-84.63	-13.28	-64.15
3	XC28	281.94	缺失	42.46	17.62	-100.00	-100.00	缺失	-53.39
4	X209	278.25	缺失	202.60	-66.42	缺失	缺失	-100.00	-84.71
5	X3	103.94	168.94	127.68	14.75	-100.00	421.59	-100.00	-100.00
6	XC8	417.02	47.33	41.93	-32.35	-100.00	-100.00	-100.00	-82.30
7	XC30	11.90	184.85	345.92	-76.06	-84.33	-100.00	-72.27	-66.86
8	XC26	145.50	缺失	143.19	76.34	-64.28	缺失	缺失	-78.73
9	XC13	39.58	缺失	106.21	128.89	-100.00	-100.00	缺失	-72.43
10	X11	253.79	239.15	-35.88	28.82	-32.17	-66.32	-100.00	-67.82
11	XC29	126.15	缺失	158.26	-8.29	-100.00	-100.00	-100.00	-78.08
12	XC7	123.93	缺失	134.80	-22.34	-20.97	-100.00	168.72	-63.93
13	X206	-100.00	缺失	87.38	109.65	-87.53	-100.00	15.37	-69.30
14	X501	-24.08	缺失	8.01	201.18	128.30	-100.00	缺失	-71.30
15	CL562	缺失	678.26	47.85	-48.92	-30.62	-100.00	缺失	-100.00
16	XC12	616.41	974.62	252.17	-71.62	-100.00	缺失	缺失	-56.89
17	X10	236.18	缺失	171.72	-70.77	-68.25	-10.74	-71.03	-72.06
18	X2	288.21	-100.00	97.27	21.66	129.47	-100.00	-49.96	-86.33
19	X5	-27.17	535.57	88.95	52.73	-91.17	-100.00	-100.00	-100.00
平均值		168.70	308.63	115.28	23.32	-44.68	-58.76	-52.46	-76.64

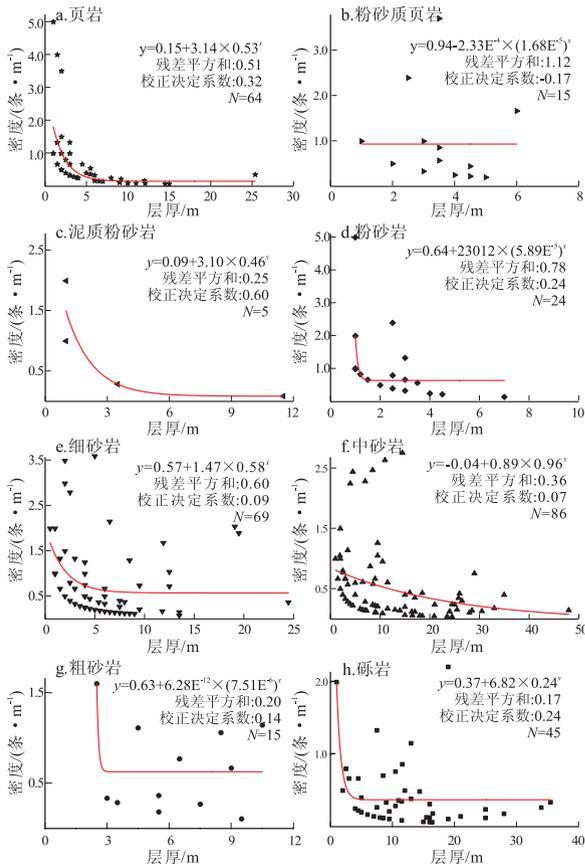


图 5 川西孝泉—新场地区须家河组四段层厚与裂缝线密度的回归分析

Fig.5 Regression analysis of thickness and fracture linear density of 4th member of Xujiahe Formation in Xiaoquan—Xinchang area, western Sichuan

时,表现出较清晰的随层厚增加而减小的趋势,而当裂缝线密度高于 1.5 条/m 时,却表现出较清晰的随层厚增加而增大的趋势。

(3) 粉砂质页岩、粗砂岩中裂缝线密度与层厚没有表现出明显的对应关系。

### 3 讨论

了解天然裂缝的分布规律不仅对正确认识裂缝成因非常关键,同时也具有非常重要的地质意义。沉积岩储层裂缝主要以构造活动形成的构造裂缝为主,构造裂缝的发育状况往往与构造样式、所处的构造位置和地层岩石力学特性密切相关<sup>[19]</sup>。

#### 3.1 裂缝与褶皱的关系

一般认为,在褶皱型局部构造上,岩石变形强度从构造翼部向顶部不断加强;在地台型局部隆起上,岩石变形强度则从构造顶部向翼部逐渐加强<sup>[19]</sup>。因此,褶皱的翼部和端部无疑是裂缝强烈发育带<sup>[20]</sup>。整体上看,在孝泉—新场 ENE 向背斜南、北两翼的裂缝线密度要大于轴部,符合孙焕泉等<sup>[20]</sup>提出的褶皱型局部构造岩石变形强度的变化规律。

#### 3.2 裂缝与断裂的关系

Peacock 认为,在同一应力环境下,与断层同时形成的裂缝在线密度上会有所体现,也就是说越靠近断层,裂缝的线密度越大<sup>[21]</sup>。龙泉山断裂系统位于孝泉—新场地区东部,构成了川西坳陷的东

部边界,总体走向为  $N20^{\circ} \sim 30^{\circ}$ ,在孝泉—丰谷地区走向近 SN。线密度分析数据显示,背斜轴部大致上表现出距断裂系统越近的位置裂缝的线密度越大的特点,而在南、北两翼这种规律并不明显。但在处于断裂附近的 X206、XC8、X5 三口井中裂缝线密度明显偏高(图 2)。

### 3.3 裂缝发育期次

前人已采用多种方法开展过这方面的研究<sup>[22]</sup>,认为孝泉—新场地区存在印支期、燕山期、喜马拉雅期裂缝。杨克明等<sup>[1]</sup>根据断层在空间的展布特点及相互切割关系认为:NE-SW 向裂缝发育于印支晚期—燕山早期;SN 向断裂系统主要形成于燕山中、晚期;NW 向裂缝发育于喜马拉雅晚期。马旭杰等根据岩石声发射、裂缝充填物碳氧稳定同位素分析和充填物内流体包裹体的测试分析结果认为,近 EW 向裂缝发育于喜马拉雅期四幕<sup>[22]</sup>。综合前人的研究成果认为,孝泉—新场地区须家河组四段 4 组裂缝与地质时期的对应关系为:NE-SW 向裂缝对应于印支晚期—燕山早期;近 SN 向裂缝对应于燕山中、晚期;NW-SE 向裂缝对应于喜马拉雅晚期;ESE-WNW 至 ENE-WSW 向裂缝对应于喜马拉雅期四幕。郭正吾等认为四川盆地的构造是多期次生成的,一个构造的形成往往是多期次、长期作用的结果<sup>[2]</sup>。各组裂缝也应该是多期次、长期作用的结果,要彻底识别、区分出各个期次的裂缝显然还需要做大量的细致工作。

现今构造应力场对裂缝的保存状况及渗流规律具有重要影响。根据汶川地震序列震源机制解沿龙门山断裂带的变化分析<sup>[23]</sup>、断裂面最新擦痕反演计算<sup>[24]</sup>和水压致裂地应力测量资料<sup>[25]</sup>,认为龙门山断裂带中、南段最大主压应力方向为 NW-WNW 向。研究区内,ESE-WNW 至 ENE-WSW 向裂缝与现今最大主应力方向相近。

## 4 结论

(1)孝泉—新场地区须家河组四段裂缝主要有 4 组:印支晚期—燕山早期的 NE-SW 向裂缝,燕山中、晚期的近 SN 向裂缝,喜马拉雅晚期的 NW-SE 向裂缝,喜马拉雅期四幕的 ESE-WNW 至 ENE-WSW 向裂缝。

(2)孝泉—新场地区须家河组四段主要发育低角度斜交裂缝以及高角度斜交裂缝,水平缝发育较少,垂直缝基本不发育。

(3)裂缝线密度具有较强的不均质性。X206 井的裂缝线密度最大,达到了 0.393 4 条/m。整体

上看,在孝泉—新场 ENE 向背斜南、北两翼的裂缝线密度要大于轴部,符合褶皱型局部构造岩石变形强度的变化规律。背斜轴部大致上表现出距断裂系统越近的位置裂缝的线密度越大的特点,而在南、北两翼这种规律并不明显,在处于断裂附近的 X206、XC8、X5 三口井中裂缝线密度明显偏高。

(4)中砂岩、细砂岩、砾岩、粗砂岩是裂缝的主要载体。裂缝在中砂岩、细砂岩、砾岩、粗砂岩中发育得更好,而页岩最不利于裂缝发育。

(5)裂缝线密度与层厚对应关系的回归分析显示:页岩、泥质粉砂岩、粉砂岩中的裂缝线密度呈较清晰的随层厚增加而减小的趋势,细砂岩、砾岩在一定程度上也表现出这样的趋势;中砂岩中,当裂缝线密度低于 1.5 条/m 时,表现出较清晰的随层厚增加而减小的趋势,而当裂缝线密度高于 1.5 条/m 时,却表现出较清晰的随层厚增加而增大的趋势;粉砂质页岩、粗砂岩中裂缝线密度与层厚没有表现出明显的对应关系。

### 参考文献:

- [1] 杨克明,朱宏权,叶军,等.川西致密砂岩气藏地质特征[M].北京:科学出版社,2012.  
Yang Keming, Zhu Hongquan, Ye Jun, et al. The geological characteristics of tight sandstone gas reservoirs in west Sichuan basin[M]. Beijing: Science Press, 2012.
- [2] 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.  
Guo Zhengwu, Deng Kangling, Han Yonghui, et al. The formation and development of Sichuan basin[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996.
- [3] 于福生,王彦华,李晓剑,等.川西拗陷孝泉—丰谷构造带变形特征及成因机制模拟[J].地球科学与环境学报,2011,33(1):45-53.  
Yu Fusheng, Wang Yanhua, Li Xiaojian, et al. Deformation Characteristics and Genetic Simulation of Xiaoquan-Fenggu Structural Belt in West Sichuan Depression[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2011, 33(1): 45-53.
- [4] 曾洪扬,陈洪德,林良彪,等.川西前陆盆地晚三叠世构造层序岩相古地理特征[J].石油实验地质,2009,31(1):46-49.  
Zeng Hongyang, Chen Hongde, Lin Liangbiao, et al. Tectonic and sequence-based lithofacies paleogeographic features of Late Triassic in Western Sichuan foreland basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2009, 31(1): 46-49.
- [5] 林良彪,陈洪德,胡晓强,等.四川盆地上三叠统构造层序划分及盆地演化[J].地层学杂志,2007,31(4):415-422.  
Lin Liangbiao, Chen Hongde, Hu Xiaoqiang, et al. Classification of tectonic sequence and basin evolution of the upper Triassic in the Sichuan basin[J]. Journal of Stratigraphy, 2007, 31(4): 415-422.
- [6] 孟万斌,吕正祥,刘家铎,等.川西拗陷孝泉—新场地区须家河组四段储层控制因素及预测地质模型[J].石油与天然气

- 地质, 2013, 34(4): 483-490.
- Meng Wanbin, Lü Zhengxiang, Liu Jiaduo, et al. Reservoir controlling factors and geological prediction models of the 4th member of the Xujiahe Formation in Xiaoquan-Xinchang area, the western Sichuan Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2013, 34(4): 483-490.
- [7] 杨克明. 川西坳陷须家河组天然气成藏模式探讨 [J]. *石油与天然气地质*, 2006, 27(6): 786-793.
- Yang Keming. Gas reservoiring mode in Xujiahe Formation of western Sichuan depression [J]. *Oil & Gas Geology*, 2006, 27(6): 786-793.
- [8] 葛祥, 张筠, 吴见萌. 川西须家河组致密碎屑岩裂缝与储层评价 [J]. *测井技术*, 2007, 31(3): 211-215.
- Ge Xiang, Zhang Yun, Wu Jianmeng. Fracture and reservoir evaluation for tight clastic rock of Xujiahe formation in west Sichuan [J]. *Well Logging Technology*, 2007, 31(3): 211-215.
- [9] 白玉彬, 赵靖舟, 陈孝平, 等. 蟠龙油田长2储层裂缝分布及油气地质意义 [J]. *断块油气田*, 2012, 19(1): 61-64.
- Bai Yubin, Zhao Jingzhou, Chen Xiaoping, et al. Fracture distribution and geological significance of Chang 2 reservoir in Panlong Oilfield [J]. *Fault-Block Oil and Gas Field*, 2012, 19(1): 61-64.
- [10] 李晓燕, 蒋有录, 陈涛. 古风化壳孔隙与裂缝发育特征及其油气地质意义 [J]. *地球科学与环境学报*, 2010, 32(1): 60-64.
- Li Xiaoyan, Jiang Youlu, Chen Tao. Characteristics and Petroleum Geological Significance of Pores and Fissures Developed in the Paleo Weathered Crust [J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 2010, 32(1): 60-64.
- [11] Nelson R A, Amoco B, Houston T. *Geologic analysis of naturally fractured reservoirs* [M]. Woburn: Gulf Professional Publishing, 2001.
- [12] 王志萍, 秦启荣, 王保全. 川西DY地区致密砂岩储层裂缝特征及其成藏意义 [J]. *断块油气田*, 2012, 19(5): 572-576.
- Wang Zhiping, Qin Qirong, Wang Baoquan. Fracture characteristics and its hydrocarbon accumulation significance of tight sandstone reservoir in DY Region of west Sichuan [J]. *Fault-Block Oil and Gas Field*, 2012, 19(5): 572-576.
- [13] 李阳兵, 张筠, 徐炳高, 等. 川西地区须家河组裂缝成因类型及形成期次的成像测井分析 [J]. *测井技术*, 2010, 32(4): 348-351.
- Li Yangbing, Zhang Jun, Xu Binggao, et al. On the origin types and formation periods of fractures in Xujiahe formation in west Sichuan region [J]. *Well Logging Technology*, 2010, 32(4): 348-351.
- [14] 张筠, 徐炳高. 成像测井在川西碎屑岩解释中的应用 [J]. *测井技术*, 2005, 29(2): 129-132.
- Zhang Jun, Xu Binggao. Application of imaging logging interpretation in west Sichuan detrital rock [J]. *Well Logging Technology*, 2005, 29(2): 129-132.
- [15] 李建良, 葛祥, 张筠. 成像测井新技术在川西须二段储层评价中的应用 [J]. *天然气工业*, 2006, 26(7): 49-51.
- Li Jianliang, Ge Xiang, Zhang Jun. Application of image logging technology to evaluation of reservoirs in the 2nd member of Xujiahe Fm in the Western Sichuan Basin [J]. *Natural Gas Industry*, 2006, 26(7): 49-51.
- [16] 陈迎宾, 郑冰, 袁东山, 等. 大邑构造须家河组气藏裂缝发育特征及主控因素 [J]. *石油实验地质*, 2013, 35(1): 29-35.
- Chen Yingbin, Zheng Bing, Yuan Dongshan, et al. Characteristics and main controlling factors of fractures in gas reservoir of Xujiahe Formation, Dayi Structure [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2013, 35(1): 29-35.
- [17] 黄继新, 彭仕宓, 王小军, 等. 成像测井资料在裂缝和地应力研究中的应用 [J]. *石油学报*, 2006, 27(6): 65-69.
- Huang Jixin, Peng Shimi, Wang Xiaojun, et al. Applications of imaging logging data in the research of fracture and ground stress [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2006, 27(6): 65-69.
- [18] 周文. 裂缝性油气储集层评价方法 [M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1998.
- Zhou Wen. Fractured oil and gas reservoir evaluation methodology [M]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 1998.
- [19] 周新桂, 操成杰, 袁嘉音, 等. 油气盆地储层构造裂缝定量预测研究方法及其应用 [J]. *吉林大学学报: 地球科学版*, 2004, 34(1): 79-84.
- Zhou Xingui, Cao Chengjie, Yuan Jiayin, et al. Methods and applications of quantitative prediction and evaluation of tectonic fracture in reservoir in petroliferous basin [J]. *Journal of Jilin University: Earth Science Edition*, 2004, 34(1): 79-84.
- [20] 孙焕泉, 王加滢. 地下构造裂缝分布规律及其预测 [J]. *大庆石油学院学报*, 2000, 24(3): 83-85.
- Sun Huanquan, Wang Jiaying. Distribution law of underground structural fissures and their forecasting [J]. *Journal of Daqing Petroleum Institute*, 2000, 24(3): 83-85.
- [21] Peacock D C P. The temporal relationship between joints and faults [J]. *Journal of Structural Geology*, 2001, 23: 329-341.
- [22] 马旭杰, 周文, 唐瑜, 等. 川西新场地区须家河组二段气藏天然裂缝形成期次的确定 [J]. *天然气工业*, 2013, 33(8): 15-19.
- Ma Xujie, Zhou Wen, Tang Yu, et al. Timing of natural fractures formed in the gas reservoirs of the 2nd member of Xujiahe Fm in the Xinchang area, western Sichuan Basin [J]. *Natural Gas Industry*, 2013, 33(8): 15-19.
- [23] 崔效锋, 胡幸平, 俞春泉, 等. 汶川地震序列震源机制解研究 [J]. *北京大学学报: 自然科学版*, 2011, 47(6): 1063-1072.
- Cui Xiaofeng, Hu Xingping, Yu Chunquan, et al. Research on focal mechanism solutions of Wenchuan earthquake sequence [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2011, 47(6): 1063-1072.
- [24] 刘健, 熊探宇, 赵越, 等. 龙门山活动断裂带运动学特征及其构造意义 [J]. *吉林大学学报: 地球科学版*, 2012, 42(S2): 320-330.
- Liu Jian, Xiong Tanyu, Zhao Yue, et al. Kinematic characteristics of Longmenshan active fault zone and its tectonic implication [J]. *Journal of Jilin University: Earth Science Edition*, 2012, 42(S2): 320-330.
- [25] 孟文, 陈群策, 吴满路, 等. 龙门山断裂带现今构造应力场特征及分段性研究 [J]. *地球物理学进展*, 2013, 28(3): 1150-1160.
- Meng Wen, Chen Qunce, Wu Manlu, et al. Research on segmentation and characteristic of tectonic stress field of Longmenshan fault zone [J]. *Progress in Geophys*, 2013, 28(3): 1150-1160.