

# 埕岛中东部潜山带古生界和太古界 储层裂缝分布评价

周文 刘家铎 胡文艳 孟万斌

(成都理工学院,成都 610059)

杜贤樾 郭汝泰 王允诗 林会喜

(胜利石油管理局地质科学研究所,东营 257092)

**【摘要】** 本文根据埕岛地区地质、测井、试井等资料,对研究区古生界及太古界地层中裂缝的参数进行了估算和评价。采用曲率法、应力场模拟技术及断裂因子等方法,对研究区风化期破裂缝及构造裂缝分布进行了预测评价。

**【关键词】** 埕岛中东部潜山带;裂缝参数;裂缝分布预测评价  
中图法分类号:P618.110.2<sup>5</sup> /文献标识码:A

## 0 引言

埕岛潜山带位于山东省东营市河口区东北部、渤海湾南部的浅海区。区域构造属于渤中坳陷与济阳坳陷交汇处的渤南低凸起的西部。到目前为止共钻探井约17口,其中有7口井在古生界及太古界地层中获得了工业性油气流。已有勘探和研究成果表明,该地区油气产出与地层中的裂缝发育情况有密切关系,因此,本文采用曲率法、应力场模拟技术及断裂因子等方法对研究区裂缝的分布进行预测评价。

## 1 裂缝特征参数的估算及储渗类型

### 1.1 测井资料估算裂缝宽度和孔隙度

裂缝参数的估算采用 Sibbit A M 和 Faivre Q (1980年)提出的方法<sup>[1]</sup>:

① 低角度缝( $\alpha < 60^\circ$ )

$$b = \frac{C_{\text{fld}} - C_h}{1.2C_m} \times 10^6 \quad (1)$$

② 高角度缝( $\alpha > 75^\circ$ )

$$b = \frac{C_{\text{fss}} - C_{\text{fld}}}{4C_m} \times 10^7 \quad (2)$$

由于研究区内裂缝的产状主要以高角度斜交缝及垂直缝为主,即使网状缝及风化破裂带,其单条裂缝的产状也以高角度缝为主(有少量低角度缝切割形成网状),所以均用公式(2)进行裂缝宽度估算。

两式中,  $C_{ls}$  为浅侧向电导率,  $C_{ld}$  为深侧向电导率,  $C_m$  为泥浆(或滤液)电导率,  $C_b$  为岩石基块电导率(根据不同的岩性选择)。

裂缝孔隙度采用下式估算<sup>[1]</sup>:

$$\Phi_f = \frac{mf}{\sqrt{R_m \left( \frac{K_r}{R_{ls}} - \frac{1}{R_b} \right)}} \quad (3)$$

式中:  $mf$  裂缝孔隙度指数,取 1.5;  $R_m$  泥浆(或滤液)电阻率/ $\Omega \cdot m$ ;  $R_{ls}$  浅侧向电阻率/ $\Omega \cdot m$ ;  $K_r$  双侧向畸变系数,低角缝取 1.2,斜交缝 1.1,垂直缝 1.0。

从所得结果看(图 1),裂缝宽度以小于 0.02 mm 的微裂缝为主占约 26.9%,而宽度大于 1 mm 的相对较大的裂缝约占 11.54%,最大宽值为 2.342 mm。利用双侧向测井资料估算的裂缝宽度主要反映的是裂缝的有效宽度,因此对于 0.01 mm 甚至更窄的裂缝来讲对油气的渗流均是有效的。

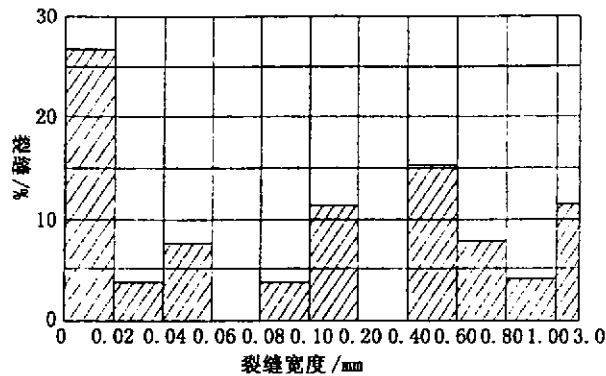


图 1 研究区测井解释裂缝宽度分布直方图  
Fig.1 Histogram of distribution of fracture width from log interpretation

裂缝孔隙度的估计值在 0.3%~5.4%之间,主要分布在 0.3%~2%之间,部分层点偏大,主要原因可能是因溶蚀孔洞发育而影响到计算值。即大的裂缝孔隙度值可能包含了部分溶蚀孔洞的空间体积<sup>[2]</sup>。一般来讲对于碳酸盐岩溶蚀孔洞型裂缝性储层,其裂缝孔隙一般小于 2%,最大也不超过 3%,这是前苏联许多研究者的看法<sup>[1]</sup>。

因此使用上述结果时应有选择性,对于溶蚀孔洞发育层段,则应选择偏小的值。

1.2 试井资料解释及储渗类型

研究区共有三口产油井进行了压力恢复测试,

并进行了现代试井处理。三口井的试井曲线均反映出古生界及太古界地层为裂缝-孔洞型双重介质的储渗类型,裂缝在油气渗流中起了重要作用。

例如埕北古 1 井古生界奥陶系马家沟组上段 2 544.92 m~2 627.25 m 的试井压力恢复曲线图(图 2),赫诺曲线呈近似“厂”字型,双对数图上导数曲线前后期波动大,这些特征反映出地层中裂缝十分发育,估算的地层渗透率为  $984 \times 10^{-3} \mu m^2$ ,也说明了地层中渗流通道为裂缝。静态资料反映出该测试井段正好是古生界风化壳的风化期破裂缝发育带,在钻井中使用比重 1.14 的泥浆于井深 2 547.45 m 和 2 627.25 m 处,发生严重井漏 4 次,共漏失泥浆 44.5 m<sup>3</sup>,测井解释地层孔隙度平均为 10%左右。因此储层的储渗类型可判断为裂缝-溶蚀孔洞类型。

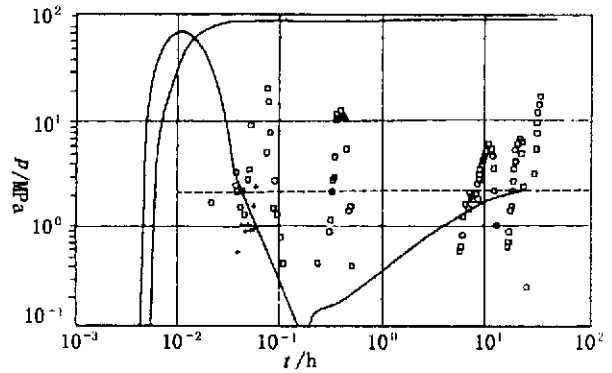


图 2 埕北古 1 井古生界压力恢复工线双对数拟合图  
Fig.2 Pressure build-up curve of chengbeigu 1 well in Palaeozoic

2 裂缝分布评价

2.1 风化期破裂缝的分布评价

风化期破裂的分布评价采用地质分析方法,评价中考虑了如下方面:

1) 风化壳的岩性:对灰岩、白云岩作为风化破裂层对待,太古界花岗片麻岩也作为破裂层,而认为泥岩及砂岩层风化破裂不发育。泥灰岩相对于灰岩及白云岩破裂要次一级。

2) 风化时的地貌条件:对于不同的地貌单元,风化破裂缝发育的情况及厚度(破裂层)是不同的,一般认为残丘及各种溶蚀陡带风化破裂发育且破裂带厚度较大,而平台及缓坡地区则风化破裂缝发育程度变差且厚度减薄(表 1)。统计结果反映出残丘风化带的破裂层厚度最大平均为 56.0 m 和 30.5 m,残丘+断层陡带则为 24.0 m 和 93.0 m 相对也厚。斜坡带则较薄为 14.0 m 和 9.0 m,平台区则也在

12.0 m 左右,对于 C-P 系砂泥岩地层复盖区则风化破裂缝不发育。

3)考虑已完钻井的录井资料和测井资料反映出的实际风化破裂带的发育情况。

根据上述因素和资料对研究区二个风化面下风化破裂缝的发育程度进行评价。

① 太古界顶面的风化破裂缝相对发育区为埕北古 5 井区,而次级裂缝带发育区很多,多数位于断块的高部位,例如胜海古 2 井区、胜海古 3 井区及埕北 30、CFD30-1-1、埕北 303 井一线等。风化破裂缝发育一般区块也较多,而低部和大多数平台地区处于发育较差区。

表 1 不同地貌单元风化破裂带厚度统计

Table 1 Statistics of fracture thickness in difference geomorphology unit

地貌单元	岩 性	厚度/m	井 号
残 丘	灰岩、云岩	45~62 56	CB30, CFD30-1-1, SHG2
	花岗片麻岩	26~35 30.5	CB30, CFD30-1-1
残丘+断层陡带	云 岩	23~35 29.0	SHG1, CB271
	花岗片麻岩	93.0	CBG5
斜 坡	灰 岩	14.0	CBG301
	花岗片麻岩	9.0	CBG301
平 台	灰质云岩	12.0	CB251
断层附近	C-P 砂泥岩	≈0	CBG4

注:据实钻井资料按其所在地貌单元统计出,分子为厚度变化,分母为平均值

② 古生界顶面的风化破裂缝主要发育区块有五个小块,即埕北 30、埕北 303 及埕北 303 南部断高区块、胜海古 2 区块及埕北 25 以北断高区块。风化破裂缝较发育区则主要分布于上述区块外围及埕北古 5 到埕北 23 井环带状区块等。风化破裂缝发育一般区为上述区块外围。而风化破裂缝发育较差区则位于 C-P 复盖区及低的构造部位区块。

## 2.2 构造裂缝的分布评价

研究区构造裂缝的分布评价主要采用了曲率法和构造应力场模拟技术和断裂因子方法<sup>[1]</sup>。分别计算了研究区 Tg 构造面的曲率值、构造应力场和研究区各断层的平面断裂因子用于评价裂缝分布情况。

2.2.1 曲率分布与裂缝评价 从编制 Tg 构造面曲率等值图来看,高曲率区( $1/R > 0.11/\text{km}$ )主要分布于各断块的高点部位及 CH8 井以东南区块,这些区块是构造裂缝较发育区;次高曲率区( $1/R \pm 0.2 \sim 0.11/\text{km}$ )则分布于上述高曲率区外围,是构造裂缝发育一般区;曲率值小于  $0.11/\text{km}$  的区域为构造裂缝发育较差区。

2.2.2 构造应力场的分布与裂缝评价 根据埕北 20 和 30 断块区的应力场模拟结果编制出应力分区图用于对构造裂缝分布的评价。

### ① 埕北 30 断块区模拟结果解释

从该区最大主应力( $\sigma_1$ )分区评价图 3 可知, $\sigma_1 > 100 \text{ MPa}$  的区域有两小块。其中埕北 30、301 和 CFD30-1-1 井一带为最好区块,构造裂缝相对发育。 $\sigma_1$  在  $50 \text{ MPa} \sim 100 \text{ MPa}$  区域位于上述两区块外围,其中埕北 303 井位于这一次高应力区,构造裂缝发育次之。

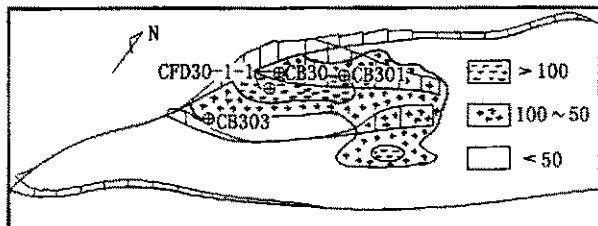


图 3 埕北 30 断块最大主应力分区图及断裂因子  $K_1$  分布图

Fig. 3 Map of maximum principal stress and fault factor  $K_1$  in Chengbei 30 fault block

### ② 埕北 20 断块区模拟结果解释

从该区的模拟结果可知,最大主应力( $\sigma_1$ )高值分布区( $\sigma_1 > 100 \text{ MPa}$ )主要分布于断块的东翼埕北古 4 井至南部一带(图 4)、埕北古 5 井区及埕北 7 井一带。主应力中高值区则分布于上述区块外围,胜海古 3 井断块胜海古 2 井断块及埕北 271 井断块高部分有零星分布,这些区块是构造裂缝次发育区。

2.2.3 断裂带裂缝分布评价 断层带一般来讲是一个破裂带,但不同的断层其形成时应力状态有区别,即使是同一条断层,其不同部位的应力状态也有区别,因此断裂带的裂缝发育程度对于不同的断层或同条断层不同的部位均不甚一致。为了定量评价断裂带破裂,特别是张破裂发育程度,作者计算了断裂带应力场强度因子。由强度因子分布来评价断裂带的破裂发育情况。

对于断层上的断裂因子计算,采用下列方法:

$$\left(\frac{K_1}{K_2}\right) = \frac{1}{\sqrt{\pi a}} \int_{-a}^a \sqrt{\frac{a \pm x}{a \mp x}} \left(\frac{p(x)}{q(x)}\right) dx \quad (4)$$

式中: $K_1$  断裂带张应力强度因子,  $\text{m} \sqrt{\text{MPa}}$ ;  $K_2$  断裂带剪应力强度因子,  $\text{m} \sqrt{\text{MPa}}$ ;  $a$  计算单元的裂缝半长/m;  $p(x)$  断裂带的正应力分量/MPa;  $q(x)$  断裂带的剪应力分量/MPa。

一般来讲,主要计算  $K_1$  值。 $K_1$  越大,说明断裂

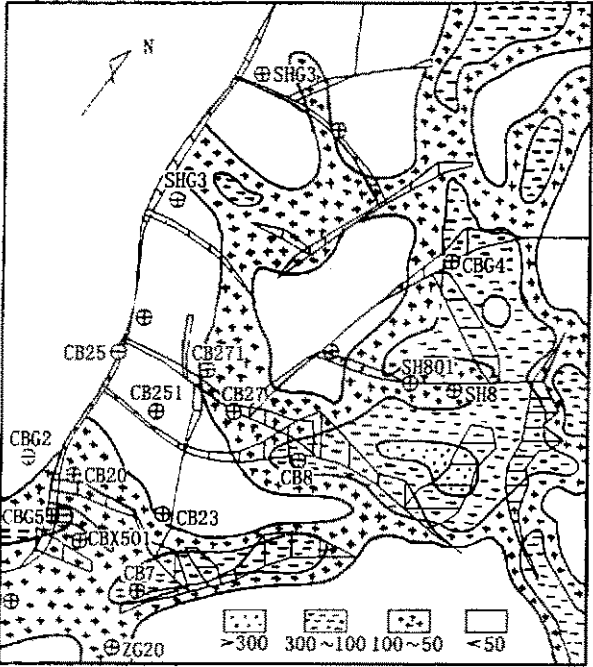


图 4 埕北 20 断块最大主应力分区图及断裂因子  $K_1$  分布图

Fig. 4 Map of maximum principal stress and fault factor  $K_1$  in Chengbei 20 fault block

带张裂缝越发育,当  $K_1 < 0$  时,说明断层裂缝受压闭合,张破裂不发育。

采用上述方法对研究区埕北 20 和 30 两个断块的断层应力场强度因子进行了计算,并输出了沿各条断层分布的  $K_1$  强度因子(图 3,4)。

从两图中  $K_1$  值分布图可以看出,部分断层或一条断层的某一段  $K_1$  值大,说明区域断裂带的裂缝发育。而  $K_1$  值小(负值以零值绘出)区,断裂带的裂缝不发育。

3 裂缝分布的综合评价

根据上述分类的裂缝分布评价结果,将资料进行综合,按照下述原则对研究区裂缝分布进行综合评价。

I 级裂缝发育带:风化期破裂缝发育,且构造裂缝发育或较发育(即  $\sigma_1 - \sigma_3 > 50$  或  $\sigma_1 > 50, \tau_{max} > 50$  区域),也可以是风化期破裂缝发育而且断裂带裂缝也发育的区域(即  $K_1$  高值区)。

II 级裂缝较发育带:风化期破裂缝发育,但其他裂缝均不发育区,或风化期破裂缝较发育,而且其他裂缝也较发育区,再者为风化期破裂缝不发育,但构造裂缝或断层裂缝带发育区域。

III 级裂缝发育一般带:风化期破裂缝、构造缝、断层破裂带发育一般区。

IV 级裂缝不发育区:上述三个方面破裂均不发育区。

按照上述原则,将前述结果重叠进行分区块的评价,编制出研究区古生界和太古生界两层的裂缝分布综合评价图(图 5,6)。由图件分析有以下看法:

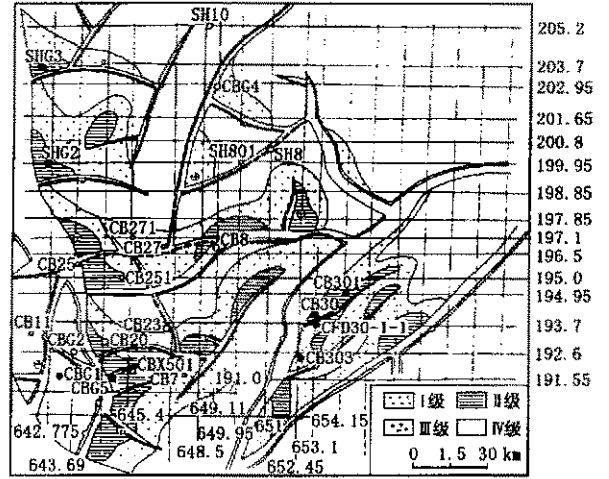


图 5 埕岛地区太古界裂缝分布综合评价图  
Fig. 5 Evaluation of fracture distribution in Archeozoic strata of Chengdao area

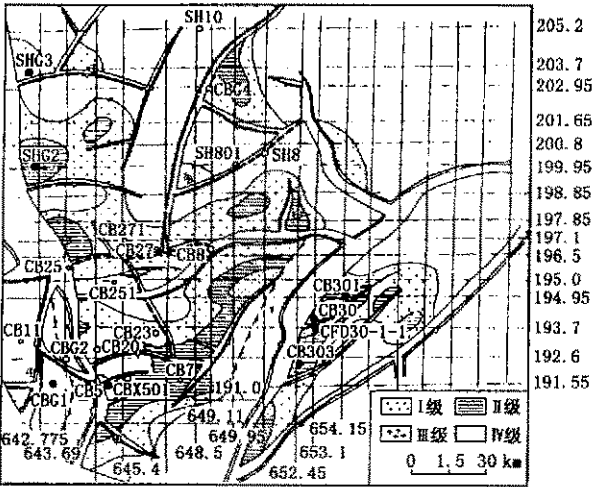


图 6 埕岛地区古生界裂缝分布综合评价图  
Fig. 6 Evaluation of fracture distribution in Palaeozoic strata of Chengdao area

①古生界裂缝最发育区(I 级)有三个区块,其中两个主要区块为埕北 30、CFD30-1-1 井区和埕北古 5 井区;裂缝发育区(II 级)块较多,除上述三个最发育区块外围以外,还有埕北 251 区块、胜海古 2 区块等;裂缝发育一般区则较多,胜海古 3 井区属于该类。

②太古界裂缝最发育区(Ⅰ级)也有三个区块,即埕北30井到埕北303井区块、埕北古5到埕北X501井区块和埕北30断块最南端区块;裂缝发育区块也较多,其中胜海古2井区、胜海古3井区、埕北251井区等均为Ⅰ级裂缝发育区;Ⅱ级裂缝区分布于上述区块外围及东北部的断高带。

上述裂缝发育区(Ⅰ+Ⅱ级)如果其他地质条件较好时应做为下一步勘探的优选目标区块。

## 4 结束语

该研究成果已用于埕岛地区的油气勘探和开发。整个研究工作得到了胜利石油管理局地质科学研究院许多同仁的支持和帮助,特别是沾车海室的许多同志提供了大量的实际资料和对研究工作提出了许多宝贵意见,在此深表谢意。

## 参考文献

- 1 周文编著. 裂缝性油气储集层评价方法[M]. 四川:四川科学技术出版社,1998.
- 2 潘三林主编. 油气地质地球物理综合勘探技术[M]. 北京:地质出版社,1998.

# EVALUATION ON DISTRIBUTION OF FRACTURE FROM RESERVOIR OF PALAEZOIC AND ARCHEOZOIC IN THE EAST CHENGDAO BURIED HILL

ZHOU Wen LIU Jia-duo HU Wen-yan MENG Wan-bin  
(Chengdu University of Technology, Chengdu 610059)  
DU Xian-yue GUO Ru-tai WANG Yong-shi LIN Hui-xi  
(Shengli Petroleum Administration, Dongying 257092)

**Abstract** Based on the surface geology, drilling, well test and log data of Chengdao buried hill, the parameters of fracture in the strata of Palaeozoic and Archeozoic have been calculated and evaluated. At the same time, the distribution fractures in the strata have been predicted and evaluated by means of analysis of curvature, simulation of stress field and fault factors et.

**Key words** Chengdao buried hill; fracture member evaluation of the distribution of fracture