

doi: 10. 11720/wtyht. 2020. 1378

陈志刚, 马文杰, 赵宏忠, 等. 利用曲率类属性预测储层裂缝的流程及应用实例[J]. 物探与化探, 2020, 44(5): 1201–1207. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2020.1378>

Chen Z G, Ma W J, Zhao H Z, et al. A technical workflow of fracture prediction with curvature-related attributes and its applications[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2020, 44(5): 1201–1207. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2020.1378>

利用曲率类属性预测储层裂缝的流程及应用实例

陈志刚¹, 马文杰², 赵宏忠¹, 许凤¹, 崔全章¹, 马辉¹, 孙星¹

(1. 东方地球物理公司研究院地质研究中心, 河北 涿州 072751; 2. 中国石油国际勘探开发有限公司, 北京 100034)

摘 要: 基于曲率类属性, 本文提出预测“裂缝发育带—裂缝发育方向—开启裂缝”的一套流程, 首先对地震数据体进行曲率运算预测裂缝型储层发育带; 然后对曲率数据体计算玫瑰图属性, 用成像测井的玫瑰图与曲率体计算的玫瑰图进行比对, 从而确定裂缝的发育方向; 根据裂缝发育方向优选 2 个主要裂缝发育的主方向, 然后根据裂缝发育的主方向对曲率数据体计算 2 个主方向方位强度属性; 将 2 个方位强度属性分别与产能交会, 其中相关性较好的方位为裂缝的开启方位。上述方法在哈萨克 K 油田应用, 预测了 K 油田区东部地区为缝洞型储层发育带, 西部地区为裂缝型储层发育带; 主要发育 NE 向和 NW 向两组裂缝, 其中 NE 向裂缝北部地区开启性好, NW 向裂缝南部地区开启性好; 根据预测结果, 提出的 2 口钻井获得了商业油流。

关键词: 裂缝型储层; 各向异性; 曲率; 方位强度; 玫瑰图

中图分类号: P631.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2020)05-1201-07

0 引言

研究区位于哈萨克 N 盆地的 K 油田, 潜山碳酸盐岩是主要目的层之一, 储层类型为裂缝和溶洞型储层, 非均质性强。钻井揭示, 储层物性与油气产量呈明显的正相关性。溶洞型储层地球物理响应明显, 储层与围岩波阻抗具有明显差异, 因此前期利用波阻抗反演较好地预测了溶洞型储层的分布, 但裂缝储层地球物理响应不突出, 常规地震属性和波阻抗反演不能预测裂缝的平面展布, 裂缝储层预测成为当务之急。

虽然裂缝和曲率的关系比较复杂, 但很多研究已经表明了开放的裂缝与强烈的构造变形相关, 其中包括: 致密砂岩中开放裂缝与挠曲相关^[1]; 曲率与天然裂缝有直接的关系^[2]; 阿卡玛盆地 Woodford 页岩中高产的钻井与最负主曲率表现出构造低相关^[3]; 北落基山露头的 Frontier 组地层测量的天然

裂缝与古应力(通过古构造重构估算)和现今的曲率具有高度相关性^[4]。自 2009 年开始, 地球物理学家开始研究流体和地震体曲率之间的关系。在美国堪萨斯州 Dickman 油田的研究中发现, 流体与钻井到曲率图上最近的裂缝异常的距离有很近的相关性, 即随着到最近的 NW 向裂缝距离的增加, 水产量下降, 表明 NW 向裂缝是开放的, 油气产量随着到 NE 向裂缝距离的增加而增加, 表明这些裂缝是封闭的, 这些都被附近水平井所证明^[5]。基于上述研究, 近年来利用曲率属性预测裂缝开始逐渐兴起^[6-18], 但目前多数应用局限在裂缝发育带的预测, 而随着曲率属性衍生出多种与曲率相关的属性(曲率类属性), 本文提出“裂缝发育带—裂缝发育方向—开启裂缝”一整套研究流程。

1 曲率类属性预测裂缝流程

总体上, 本文将利用地震资料进行裂缝预测划

收稿日期: 2019-08-12; 修回日期: 2020-05-20

基金项目: 国家科技重大专项(2016ZX05029005); 中石油集团重大科技专项(2019D-4307)

作者简介: 陈志刚(1978-), 男, 河北沧州人, 2000 年毕业于石油大学(华东)应用地球物理专业, 2017 年毕业于中国地质大学(北京), 获博士学位, 高级工程师, 从事地震地质综合研究工作。Email: chenzhigang@cnpc.com.cn

分为 3 个步骤,即利用常规曲率体属性预测裂缝发育带、利用曲率体属性生成的玫瑰图预测裂缝发育方向、利用曲率衍生的方位强度属性预测开启裂缝。流程图如图 1 所示,输入数据为叠后地震数据,工具采用中石油东方物探的 GeoEast 软件,具体步骤如下:

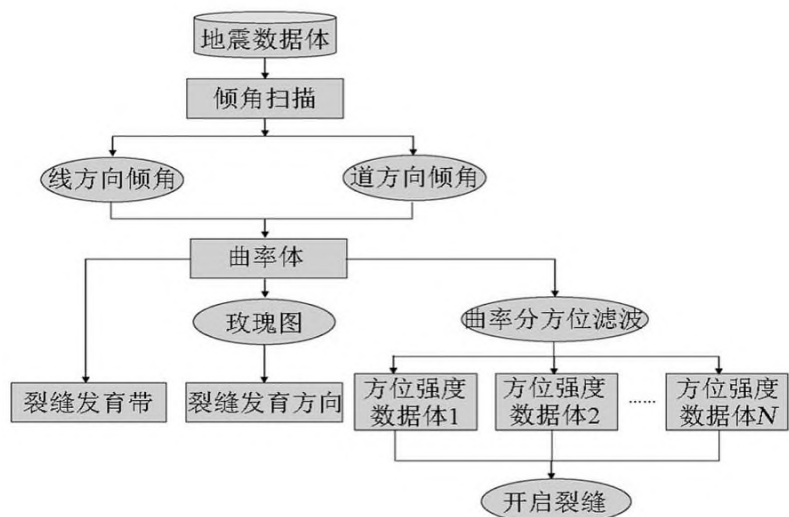
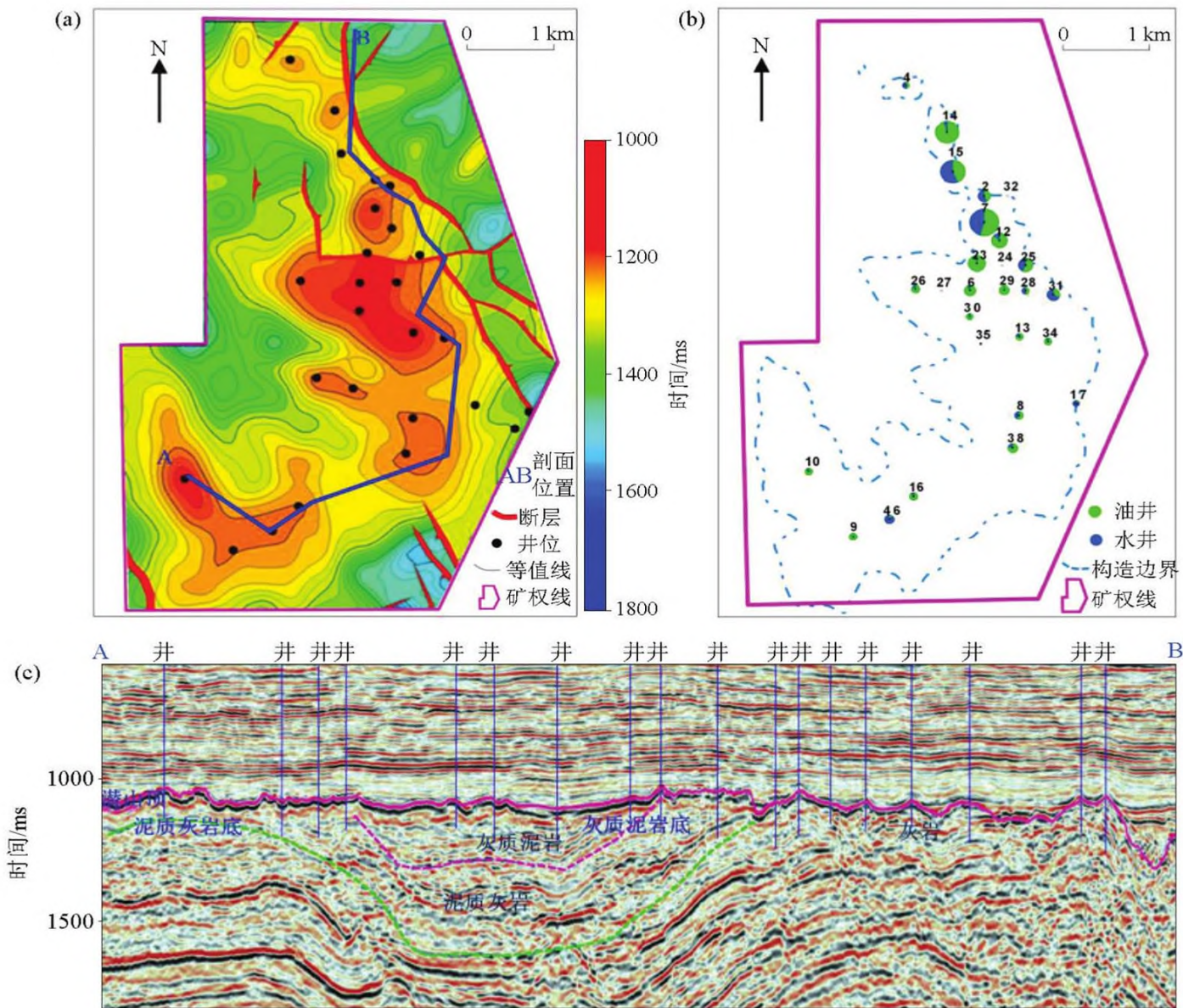


图 1 裂缝预测流程

Fig. 1 Workflow of the fracture prediction technique

1) 常规曲率体属性预测裂缝发育带。利用基于倾角扫描的体曲率提取技术计算曲率,首先进行多时窗倾角扫描,计算线方向和道方向的倾角,主要参数扫描时窗选择 12 ms,扫描窗口选择 9 个,最大扫描倾角为 40°,倾角扫描增量为 5°,然后计算曲率,包括最大曲率、最小曲率、最正曲率、最负曲率等^[19-27]。

2) 计算玫瑰图确定裂缝方位。玫瑰图通常应用于成像测井,可以反映裂缝的方位,将正北的矢量方向定义为 0°,裂缝上某点的走向与正北方向的夹角定义为裂缝的方位角^[28]。在利用曲率预测玫瑰图之前,首先要利用曲率对裂缝方向进行判别,判别方法是利用最大正曲率 k_1 、最大负曲率 k_2 、最大曲率及最小曲率进行判别^[29],即当 $|k_2| > |k_1|$ 时,裂缝方向取最大曲率的方位角,反之,裂缝方向取最小曲率的方位角。方位角确定后,采用玫瑰图(图 2b)表示,即将统计出来的不同方位上的裂缝出现频率进行归一化处理,再分别刻画到玫瑰图表盘上,目标地



a—研究区构造图;b—研究区产液量分布;c—图 a 蓝色线所示地震剖面

a—structure map of study area;b—production distribution;c—seismic section marked with a black line in figure a

图 2 工区构造图、产液量分布图及地震剖面

Fig. 2 Structure map, production distribution map and corresponding seismic section

区的裂缝分布就形成了一个玫瑰图^[30]。主要参数有玫瑰图直径和玫瑰花瓣的个数,直径根据工区大小确定,与工区大小呈正相关;花瓣个数一般选取 1~15 之间。

3) 方位强度属性预测开启裂缝。Nissen 等在北美堪萨斯州 Dickman 油田的研究中,试图寻找流体与体曲率之间的关系^[5],通过对裂缝方位角与水或油的产量交会,认为井点处的流体与距离井点最近的裂缝相关联,并且关联较好的裂缝方位角为裂缝开启方位。Guo^[29]认为 Nissen 的研究有两个陷阱,一是 Nissen 的研究中一些数据是人工拾取出来的,从而产生误差,二是只统计了距离井点最近的流体数据。因此,Guo 基于 Nissen 的概念,提出两点假设,一是流体与裂缝所有的点相关联,而不是仅局限在距离井点最近的裂缝,二是裂缝密度与曲率数值呈正比例。基于上述两点假设,Guo 提出了方位强度属性,其主要原理为,首先对曲率分方位滤波,得到不同方位的曲率,然后将不同方位角的子体与 $1/r$ 褶积,这里 r 是任一点到附近裂缝距离。这种方式是基于 Nissen 等 2009 年提出的统计相关,即在平层中直井或断面内外流体流的格林函数可以简单地看作 $1/r$,这里 r 是径向的距离 $r = (x^2 + y^2)^{1/2}$, $1/r$ 可以看作如图 2d 所示的脉冲响应。由于流体与裂缝开启性呈正相关,因此可以用方位强度属性预测开启裂缝。

2 预测效果实例

K 油田构造形态为近 SN 走向的长轴背斜(图 2a),储层为碳酸盐岩潜山,发育裂缝型储层、溶蚀溶洞型储层,储层非均质性强^[31]。岩性对储层的分布控制明显,潜山地层下段主要发育较纯的灰岩地层,上段泥质含量明显增多,发育泥质灰岩或灰质泥岩,而由于早期东北部地区地形高于中部和西南部,因此东北部地区明显抬升,上段泥质含量较高的岩性段被明显剥蚀,因此储层以溶洞为主,裂缝次之;而中部及西南部保存了较多的泥质含量高的灰岩,因此储层以裂缝为主,溶洞次之(图 2b)。储层物性与油气产量具有明显的相关性,东北部地区储层物性更好,油气产量明显比其他地区更高(图 2c)。根据前期测井曲线交会,波阻抗能够将溶洞储层与围岩进行区分,可以用波阻抗反演进行预测,而裂缝储层与围岩在岩石物理特性上差别不大,不能很好区分,地震反演不能较好地预测裂缝,因此通过曲率类属性进行裂缝预测。

2.1 曲率预测裂缝发育带效果

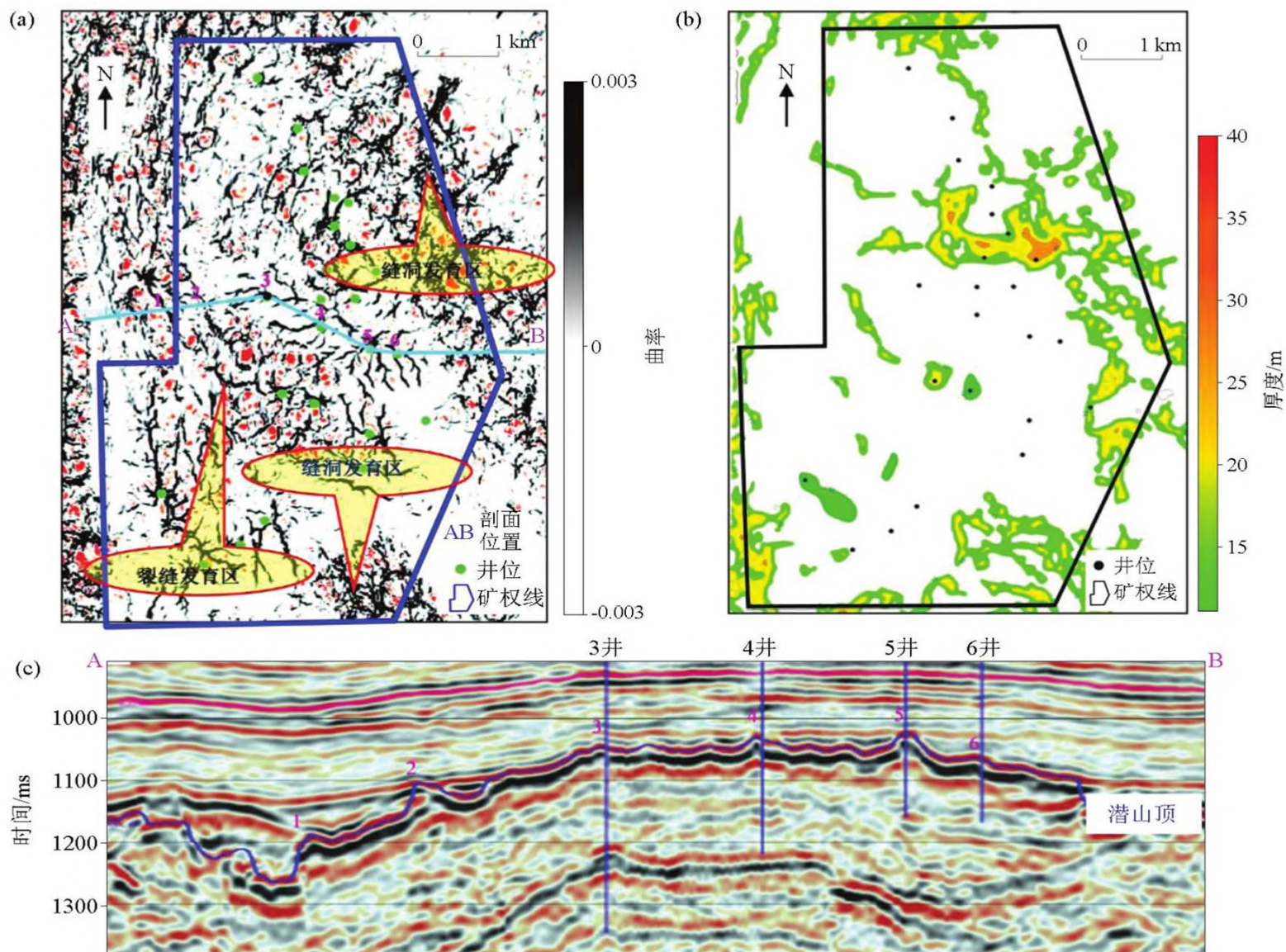
目前钻井很多钻遇了裂缝储层,主要油层位于潜山顶面。从图 2c 看,在潜山顶面具有明显的剑突状高低起伏,钻井钻遇的位置呈背斜剑突,因此可用最大正曲率预测裂缝。图 3 为预测结果,其中图 3a 为曲率切片,属性中黑色部分为裂缝或缝洞发育带,在工区大部分地区发育稀疏黑色属性,为裂缝的响应,已经被钻井所证实(图中绿点为钻井),工区东北部发育密集黑色属性,主要为缝洞发育带。前面提及,缝洞发育带由于具有低阻抗属性,因此可以用波阻抗反演预测,图 3b 为用波阻抗反演预测的缝洞储层厚度,可以看出,东北部发育大量的缝洞,与曲率属性相符合,表明曲率属性不但可以预测裂缝,也可以预测缝洞。另外,工区东南角也发育少量缝洞。图 3c 为图 3a 中浅蓝色线条所示的地震剖面,两张图的数字所示的位置一一对应,可以看出,曲率中的黑色属性与地震剖面的向上剑突一一对应,其中 3、4、5、6 已经有钻井证实裂缝比较发育。根据钻井凸起,曲率预测的符合率在本区可以达到 90% 以上。

2.2 玫瑰图预测裂缝方向效果

图 4a 为地震预测的玫瑰图,每个正方形为一个单元格,在一个单元格内,裂缝方向一致,在多个单元格交点处,表示受多个单元格影响,即受多个方向的裂缝影响。总体上,裂缝主要为 NE 向和 NW 向两组方向。图 4b 为成像测井的玫瑰图,与图 4a 中的钻井一一对应,通过两图对比,预测符合率可以达到 80% 以上。

2.3 方位强度属性预测开启裂缝结果

方位强度属性可以分解成多个方向,根据图 4 预测结果,本区裂缝方向为 NE 向和 NW 向两组共轭方向,因此,对方位强度属性分解了 NE 向(图 5a)和 NW 向(图 5b)两组方向,根据原理可知,方位强度高值代表开启性好的裂缝,因此,图 5a 表明工区东北部地区北东向裂缝开启性较好,图 5b 表明工区中部和南部地区 NW 向裂缝开启程度高。图 5c 为图 5a 和图 5b 的融合属性,可以表明裂缝的综合开启程度,红黄色地区代表优质裂缝储层发育区,优质储层东北部地区最好,与图 2b 的趋势相一致。将图 5c 中的井点属性值与井点处的产液量进行交会(图 5d),具有明显的正相关,表明裂缝的开启程度与产液量呈正比例关系。根据裂缝预测结果结合构造图,提出了 53、54 两口新的钻井(图 5e 所示剖面,位置为图 5c 所示),获得了较好的效果,其中 53 井 7 mm 油嘴试油,日产油 326 m³,54 井等待测试。



a—潜山顶面曲率体沿层切片;b—波阻抗属性预测缝洞储层厚度;c—图 a 蓝色线所示地震剖面
a—curvature slice along top buried hill;b—isopach map of the fracture-cave reservoirs;c—seismic section marked with a black line in figure a

图 3 裂缝预测结果

Fig. 3 The pridiction result of fracture

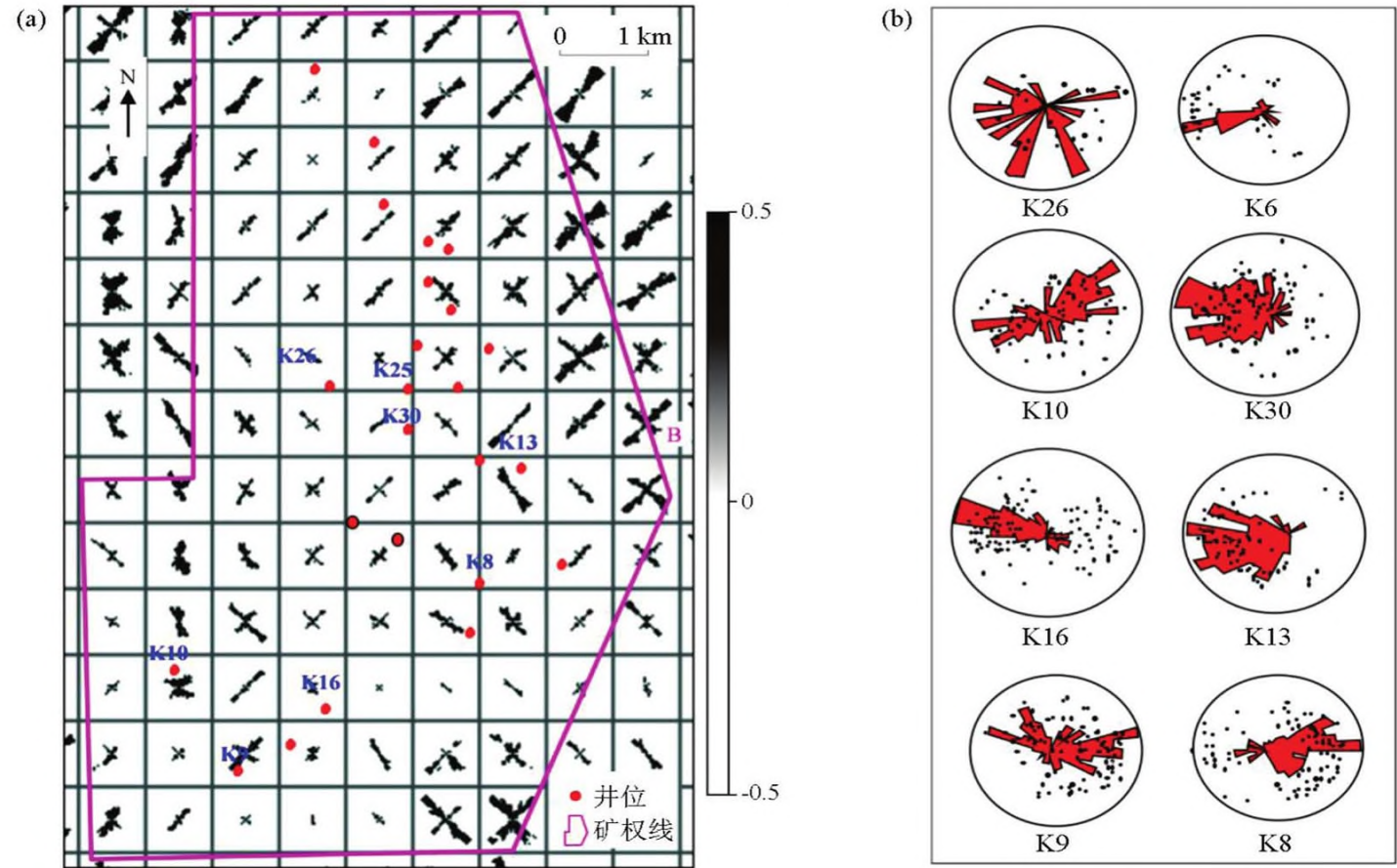
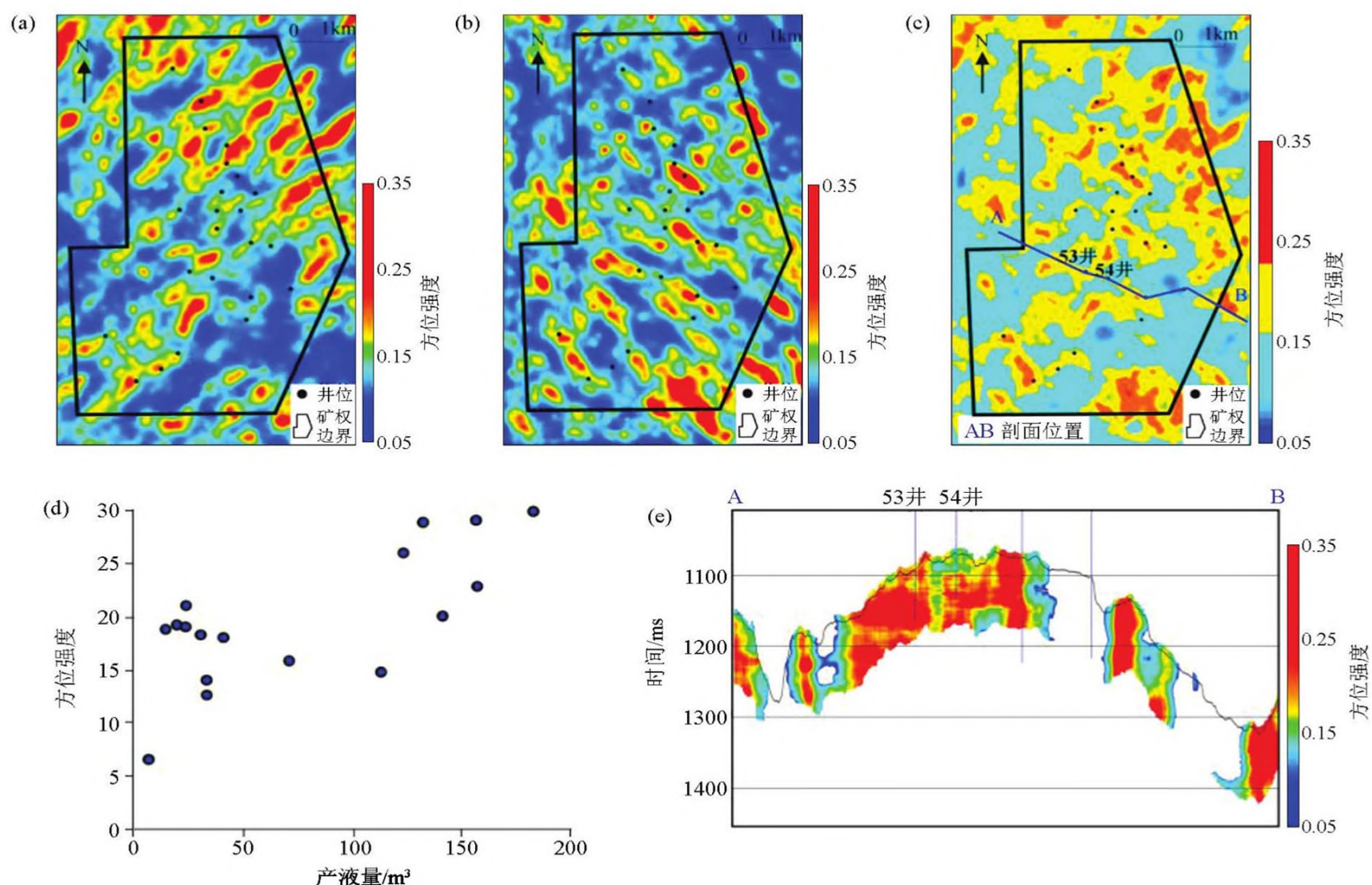


图 4 地震预测玫瑰图 (a) 及成像测井玫瑰图 (b)

Fig. 4 Rose map predicted with seismic data (a) and derived from FMI remark (b)



a—NE 向方位强度属性;b—NW 向方位强度属性;c—NE 向和 NW 向方位强度融合属性;d—融合方位强度属性与产液量交会;e—融合方位强度属性剖面

a—azimuthal intensity in northeast trend;b—azimuthal intensity in northwest trend;c—combination of azimuthal intensity;d—azimuthal intensity versus production;e—section of combination of azimuthal intensity

图 5 方位强度属性预测裂缝开启性结果

Fig. 5 The prediction result of the fracture opening with azimuthal intensity

3 结论

1) 提出了预测“裂缝发育带—裂缝发育方向—开启裂缝”的一套流程,首先对地震数据体进行曲率运算预测裂缝型储层发育带;然后对曲率数据体计算玫瑰图属性,确定裂缝的发育方向;最后利用方位强度属性预测裂缝的开启方位。

2) 利用曲率类属性预测了 K 油田区西部地区为裂缝型储层发育带;发育 NE 向和 NW 向两组裂缝,其中 NE 向裂缝北部地区开启性好,NW 向裂缝南部地区开启性好;预测符合率达到 80% 以上,提出的 2 口钻井获得了商业油流。

参考文献 (References):

[1] Hart B S, Pearson R A, Rawling G C. 3D seismic horizon-based approaches to fractures warm sweet spot definition in tight-gas reservoirs[J]. The Leading Edge, 2002, 21: 28 - 35.

[2] Narhari S R, Al-Kandari A L, Kidambi V K, et al. Understanding fractures through seismic data: North Kuwait case study[C]//Expanded Abstracts of the 79th Annual SEG Meeting, Society of Exploration Geophysicists, 2009: 547 - 550.

[3] Guo Y, Zhang K, Marfurt K J. Seismic attribute illumination of Woodford Shale faults and fractures, Arkoma Basin[C]//Expanded Abstracts of the 80th Annual SEG Meeting, Society of Exploration Geophysicists, 2010: 1372 - 1376.

[4] Hennings P H, Olson J E, et al. Combining outcrop data and three-dimensional structural models to characterize fractured reservoirs: A example from Wyoming[J]. AAPG Bulletin, 2000, 84: 830 - 849.

[5] Nissen Carr, Marfurt K J, et al. Using 3D seismic volumetric curvature attributes to identify fracture trends in a depleted Mississippian carbonate reservoir: Implications for assessing candidates for CO₂ sequestration[J]. AAPG Studies in Geology, 2009, 59: 297 - 319.

[6] 崔立杰, 何幼斌, 王锦喜, 等. 基于层面的地震曲率属性在碳酸盐岩断裂预测中的应用[J]. 岩性油气藏, 2012, 24(1): 92 - 96.

Cui L J, He Y B, Wang J X, et al. Application of seismic curvature based on horizon to carbonate fault prediction: An example of an

- area in Tabei, Tarim Basin [J]. *Lithologic Reservoirs*, 2012, 24 (1): 92–96.
- [7] 王后金,王嘹亮,万晓明,等. 黄海盆地中生界低渗储集层裂缝预测[J]. *新疆石油地质*, 2014, 35(3): 268–272.
- Wang H J, Wang L L, Wan X M, et al. Fracture prediction of low permeability reservoirs of the Mesozoic in North Yellow Sea Basin [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2014, 35(3): 268–272.
- [8] 盛新丽. 基于三维地震曲率的小断裂识别方法[J]. *中国煤炭地质*, 2018, 30(S1): 109–117.
- Sheng X L. Minor fault identification based on 3D seismic curvature [J]. *Coal Geology of China*, 2018, 30(S1): 109–117.
- [9] 王丹,贾跃玮,魏水建,等. 新场须四段叠后裂缝综合预测[J]. *物探与化探*, 2014, 38(5): 1038–1044.
- Wang D, Jia Y W, Wei S J, et al. The integrated poststack fracture prediction of Xusi formation in Xinchang survey [J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 2014, 38(5): 1038–1044.
- [10] 曹润荣,刘宗彦. 面曲率法—趋势面拟合法在裂缝预测中的应用[J]. *石油计算机应用*, 2008, 16(3): 12–14.
- Cao R R, Liu Z Y. Application of curvature of face-trend surface fitting method in fracture prediction [J]. *Computer Applications of Petroleum*, 2008, 16(3): 12–14.
- [11] 刘德生,冯小东,马庆林,等. 断层识别技术在福山凹陷朝阳地区的应用[J]. *石油地球物理勘探*, 2017, 52(s1): 156–161.
- Liu D S, Feng X D, Ma Q L, et al. Fault identification in the Chaoyang area, Fushan sag [J]. *OGP*, 2017, 52(s1): 156–161.
- [12] 李勇,朱江梅,张文璨,等. 基于相干算法的多尺度体曲率裂缝检测方法研究[J]. *矿物岩石*, 2015, 35(2): 107–112.
- Li Y, Zhu J M, Zhang W C, et al. Study of detection method for multi-scale curvature fractures based on coherence algorithm [J]. *Mineral Petrol*, 2015, 35(2): 107–112.
- [13] 易院平,桂志先,冯舸,等. 利用曲率属性进行小微断裂系统研究[J]. *科学技术与工程*, 2017, 17(11): 175–182.
- Yi Y P, Gui Z X, Feng G, et al. The application of curvature properties in micro fracture system researching [J]. *Science Technology and Engineering*, 2017, 17(11): 175–182.
- [14] 刘昊娟,张一陶,朱峰. 裂缝储层地震预测技术在南川页岩气工区的应用[J]. *石化技术*, 2018(3): 150–151.
- Liu H J, Zhang Y T, Zhu F. Anticorrosion measures of fractured reservoir seismic prediction technique applied in Nanchuan shale gas area [J]. *Petrochemical Industry Technology*, 2018(3): 150–151.
- [15] 刘松鸣,武刚,文晓涛,等. 曲率方位加强技术在识别低序级断层中的应用[J]. *断块油气田*, 2019, 26(1): 37–41.
- Liu S M, Wu G, Wen X T, et al. Application of curvature azimuth strengthening technology to low-level fault identification [J]. *Fault-Block Oil & Gas Field*, 2019, 26(1): 37–41.
- [16] 孔选林,唐建明,徐天吉. 曲率属性在川西新场地区裂缝预测中的应用[J]. *石油物探*, 2011, 50(5): 517–520.
- Kong X L, Tang J M, Xu T J. Application of seismic curvature attribute to fracture prediction in Xinchang area, western Sichuan Depression [J]. *Geophysical Prospecting for Petroleum*, 2011, 50(5): 517–520.
- [17] 欧守波,陈胜,佟恺林,等. 碳酸盐岩裂缝储层地震预测技术——以 JLS 地区茅口组为例[J]. *科技创新与应用*, 2016, 24: 93–94.
- Ou S B, Chen S, Tong K L, et al. Fracture prediction technique of Carbonate based on seismic data-Maokou Formation of JLS block as a case [J]. *Technology Innovation and Application*, 2016, 24: 93–94.
- [18] 杨平,李海银,胡蕾,等. 提高裂缝预测精度的解释性处理技术及其应用[J]. *石油物探*, 2015, 54(6): 681–689.
- Yang P, Li H Y, Hu L, et al. Interpretative processing techniques and their application in improving fracture prediction accuracy [J]. *Geophysical Prospecting for Petroleum*, 2015, 54(6): 681–689.
- [19] Roberts A. Curvature attributes and their application to interpreted horizons [J]. *First Break*, 2001, 19: 85–99.
- [20] Bergbauer S T, Hennings M P. Improving curvature analyses of deformed horizons using scale-dependent filtering techniques [J]. *AAPG Bulletin*, 2003, 87: 1255–1272.
- [21] Al-Dossary K J, Marfurt. 3-D volumetric multispectral estimates of reflector curvature and rotation [J]. *Geophysics*, 2006, 71: 41–51.
- [22] Rich J. Expanding the applicability of curvature attributes through clarification of ambiguities in derivation and terminology [C]//Expanded Abstracts of the 78th Annual SEG Meeting, Society of Exploration Geophysicists, 2008: 884–888.
- [23] 聂妍. 潜山微小断层的表征方法[J]. *中国科技论文*, 2019, 14(1): 28–32.
- Nie Y. Research on small faults description of buried hill [J]. *China Sciencepaper*, 2019, 14(1): 28–32.
- [24] 胡滨. 基于曲率属性的复杂断层精细解释技术及其应用[J]. *海洋石油*, 2018, 38(1): 22–27.
- Hu B. Application of curvature-based fine interpretation technique in complex fault area [J]. *Offshore Oil*, 2018, 38(1): 22–27.
- [25] 严帝,严海滔,邬蒙蒙,等. 基于改进广义 S 变换分频曲率属性研究[J]. *油气地球物理*, 2019, 17(1): 68–70.
- Yan D, Yan H T, Wu M M, et al. Study on frequency division curvature attribute based on improved generalized S transform [J]. *Petroleum Geophysics*, 2019, 17(1): 68–70.
- [26] 刘振峰,曲寿利,孙建国. 地震裂缝预测技术研究进展[J]. *石油物探*, 2012, 51(2): 191–198.
- Liu Z F, Qu S L, Sun J G, et al. Progress of seismic fracture characterization technology [J]. *Geophysical Prospecting for Petroleum*, 2012, 51(2): 191–198.
- [27] 仇念广. 叠后地震多属性分析在煤层裂缝识别中的应用[J]. *能源与环保*, 2019, 41(7): 111–115.
- Qiu N G. Application of post-stack seismic multi-attributes analysis in coalbed fracture identification [J]. *China Energy and Environmental Protection*, 2019, 41(7): 111–115.
- [28] 张薇,阎建国,周洪生. 地震玫瑰图分析在裂缝预测中的应用[J]. *长江大学学报: 自然科学版·理工*, 2012, 9(12): 61–63.
- Zhang W, Yan J G, Zhou H S. The application of seismic rose in the analysis of fracture [J]. *Journal of Yangtze University (Nat. Sci. Edit) Sci. & Eng.*, 2012, 9(12): 61–63.
- [29] Guo Y X, Zhang K, Kurt J. Marfurt. Quantitative correlation of fluid flow to curvature lineaments [C]//Expanded Abstracts of the 82nd Annual SEG Meeting. Las Vegas: Society of Exploration Geo-

physicists, 2012; 501 – 506.

- [30] 张薇. 利用地震玫瑰图进行裂缝识别和应力场分析技术研究 [D]. 成都: 成都理工大学, 2013.

Zhang W. Seismic rose diagrams analysis for fracture prediction and tectonic stress [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2013.

- [31] 孔祥宇, 殷进垠, 张发强. 哈萨克斯坦南图尔盖盆地油气地质特征及勘探潜力分析[J]. 岩性油气藏, 2007, 9(3): 48 – 54.

Kong X Y, Yin J Y, Zhang F Q. Oil gas geological features and its exploration potential in South Turgay Basin, Kazakhstan [J]. Lithologic Reservoirs, 2007, 9(3): 48 – 54.

A technical workflow of fracture prediction with curvature-related attributes and its applications

CHEN Zhi-Gang¹, MA Wen-Jie², ZHAO Hong-Zhong¹, XU Feng¹, CUI Quan-Zhang¹, MA Hui¹, SUN Xing¹

(1. BGP Geological Research Center, Zhuozhou 072751, China; 2. China National Oil and Gas Exploration and Development Corporation (CNODC), Beijing 100034, China)

Abstract: Based on the curvature attribute, this paper proposes for the first time a set of processes for predicting "fracture zones-fracture development direction-fracture initiation". Firstly, the curvature calculation of the seismic data is carried out to predict the developing area of the fractured reservoir; then, the rose diagrams of the curvature data are calculated and compared with the rose diagrams from the log data to determine the direction of fracture; two dominant directions of fracture development are selected according to the directions of fracture development, and then the intensity properties of the two dominant directions of the curvature volume are calculated according to the main directions of fracture development; finally, the two azimuth intensity attributes are intersected with productivity respectively, and the one with the better correlation is the opening azimuth of the fractures. The above method was applied to K oilfield in Kazakh. The authors made the prediction that the fracture-vug reservoir is mainly developed in the eastern part of K oilfield, while the fracture reservoir is mainly developed in the western part, and that there are mainly two groups of fractures developed in the NW and the NW direction, of which the opening property of the NE trend fractures is good in the north part, while the opening property of the NW trend fractures is good in the south part. According to the prediction results, commercial oil flow was detected in the two proposed wells.

Key words: fractured reservoir; anisotropy; curvature; azimuth intensity; rose diagram

(本文编辑: 叶佩)