

文章编号: 1001-1749(2023)01-0074-10

基于井震结合的裂缝建模技术 在渤中 19—6 区域的应用

何坪易^{a,c}, 周怀来^{a,b,c}, 王元君^{a,b}, 吕 芬^{a,c}, 严 帝^{a,c}

(成都理工大学 a. 地球物理学院,

b. 油气藏地质及开发工程国家重点实验室,

c. 地球探测与信息技术教育部重点实验室, 成都 610059)

摘要: 渤中 19—6 古潜山构造带是一种典型的多层次储层, 自顶至底依次为孔隙带(砂砾岩) + 裂缝带(风化壳溶蚀 + 内幕破裂)。裂缝在油气运移和富集中起重要作用, 也是制约研究区油气勘探的关键。以古构造、古地貌背景为基础, 基于地震资料分析与建模, 探讨了裂缝的平面分布规律: 裂缝发育受古构造控制, 发育位置与构造位置重合, 构造变化大的区域裂缝发育程度高。通过渗透率模型与岩心实验渗透率、裂缝模型与属性裂缝预测对比验证了模型的可靠性, 精细刻画了地下实际裂缝发育情况, 为进一步的勘探开发提供借鉴。

关键词: 渤中 19—6; 井震结合; 裂缝建模; 裂缝预测; 模型验证

中图分类号: P 631.4 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-1749.2023.01.10

0 引言

渤海湾盆地是中国重要的含油气盆地, 资源丰度达到 3.31×10^5 t/km², 远超塔里木、鄂尔多斯盆地等^[1]。近年来我国加大对渤中凹陷的勘探力度, 经过众多地质工作者的不懈努力, 发现了中国东部首个亿吨级大型整装变质岩潜山凝析气田——渤中 19—6, 截至 2019 年年底累计探明三级地质储量 5×10^8 m³ 油当量^[2-3]。这发现说明了渤中凹陷深层油气勘探的巨大潜力, 对整个渤海湾地区油气开发具有深远意义^[4-5]。

太古界变质岩类潜山岩性纵横向变化复杂、受风化剥蚀作用强烈且持续时间长, 期间多次构造应力对其产生了叠合的、多层次的、不均一的影响, 使得太古界潜山储层结构复杂化、非均质化。自古潜

山型油气藏被发现以来, 对储集层的有效性评价一直以来都是有待攻克的难题^[6]。在油气勘探领域, 裂缝一直是备受关注的领域, 涉及到油气成藏与后期勘探开发。裂缝在地下介质中发育广泛, 是由成岩作用、构造应力作用等多因素共同控制形成的。裂缝既是储藏空间也是渗流通道, 其存在增强了油气储存空间和渗流条件, 所以裂缝的精准预测是油气勘探的重点, 它直接影响了油气的勘探效率和最终采收率。裂缝成因复杂, 其预测的精准性受多种因素影响^[7-9]。尽管已有大量学者对渤中 19—6 区域的成藏关系和储层发育进行了大量研究并取得了一定成果, 但其裂缝发育和建模的研究相较于成熟区块仍然处于起步阶段, 认识仍不够深入。

这里结合成像测井资料、地震资料以及前人对研究区的地质认识, 对多尺度裂缝发育特征进行探讨, 利用多属性分级约束、分尺度的方法构建 BZ19

收稿日期: 2022-10-09

第一作者: 何坪易(1966—), 男, 硕士, 主要研究方向为地质建模和裂缝预测, E-mail: zuimengrenh@foxmail.com。

通信作者: 周怀来(1978—), 男, 教授, 主要从事油气勘探教学与科研工作, E-mail: 271980681@qq.com。

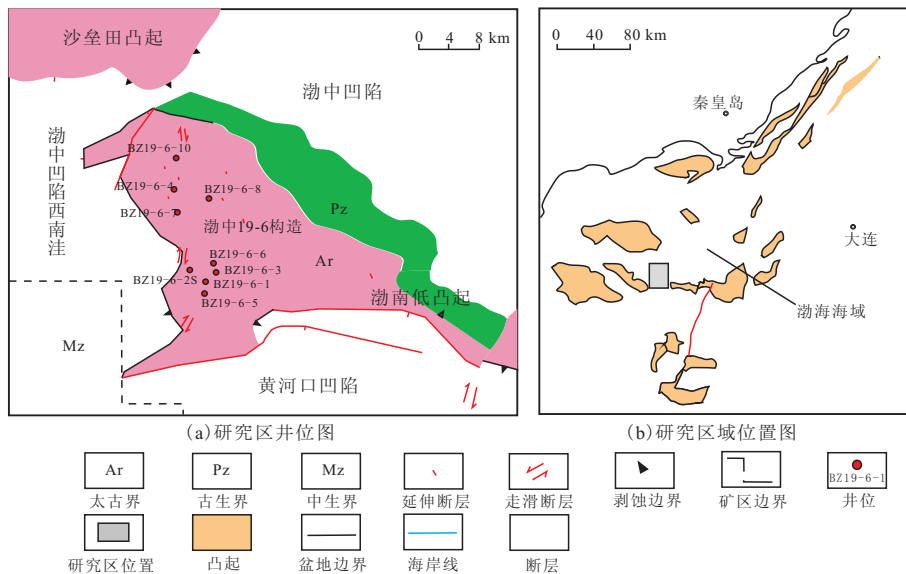
图 1 渤中 19-6 研究区位置图^[6]

Fig. 1 Location map of Bozhong 19-6 study area

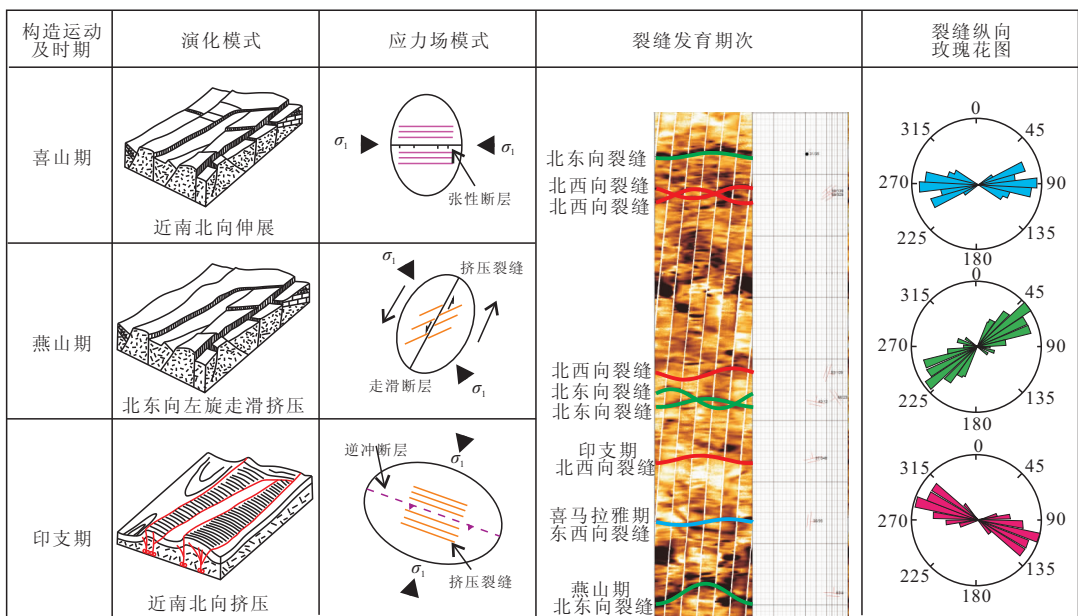
图 2 渤中 19-6 裂缝发育模式图(改编自薛永安等^[23])

Fig. 2 Pattern of fracture development in Bozhong 19-6

—6 地区裂缝三维地质模型,再采用 Oda Corrected 方法建立裂缝属性模型,并利用构造解释、地震属性等方法对研究区裂缝进行精细预测,结合动态资料校验裂缝模型,验证了模型的可靠性,对研究区的下一步勘探评价具有重要意义。

1 区域地质特征

渤中 19-6 构造位于渤中 19 构造脊,与其东西

两侧的构造脊共同构成大型低潜山群,圈闭类型及成因复杂,是在太古界基底上发育起来的横跨多个地层、多个构造的大型深埋低潜山复合圈闭^[10-12]。其东南与渤南低凸起相邻,西部与埕北低凸起相邻,南部与黄河口凹陷相接,北为渤中凹陷主洼,为渤中凹陷西南次洼和南次洼夹持的、具有洼中隆特征的背斜构造带^[13-15](图 1)。

渤中凹陷经历了印支、燕山、喜山等多期构造运动,具备高密度裂缝形成的条件。研究发现潜山内

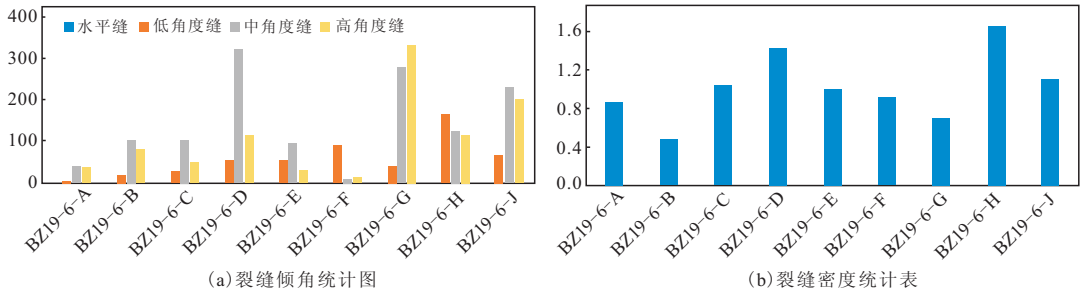


图3 全区裂缝发育特征统计

Fig. 3 Statistics of fracture development characteristics in whole area

幕高密度裂缝分布区与储层发育明显的一致性,内幕裂缝型或溶蚀孔隙—裂缝型储层的发育规模与分布受控于多期裂缝的叠加作用^[16-17]。研究区裂缝的形成经历了中生代三期构造运动(造山作用):印支期(208 Ma~250 Ma)、燕山期(65 Ma~208 Ma)、孔店期(50.5 Ma~65 Ma),不同期次构造运动控制了裂缝的类型、分布(图2)。结合裂缝切割关系研究表明,印支期发育大量近北西向挤压裂缝,主要是受扬子与华北板块碰撞影响发生近南北向挤压产生的;燕山期受太平洋板块沿北西向向东亚大陆俯冲,郯庐断裂发生北东向左旋挤压,派生大量北东向挤压裂缝;喜马拉雅早期受太平洋板块挤压方向变化以及地幔柱活动引起的岩石圈裂解塌陷,发生近南北向拉张,形成一系列近NEE向拉张型断层^[17-18]。

2 裂缝发育特征

成像测井对非均质地层(裂缝、溶蚀孔发育)的表征具有一定的优势,可通过该方法提取裂缝的产状和参数信息。成像测井中观测的主要是由构造作用和成岩作用产生的天然裂缝,其表现形式分别为开启高导缝和闭合高阻缝。开启缝次生矿物填充少,缝面不规则,开度变化较大,在测井图像上一般呈正(余)弦曲线的暗色高导缝。早期形成的裂缝,由于被方解石、石英等高阻矿物填充在测井图像上往往呈有正(余)弦曲线或抛物线的亮白色高阻缝。利用测井图像正(余)弦曲线既可以直观的观察统计裂缝并判断其开启性,还可以计算裂缝产状和方位。

裂缝表征参数是裂缝研究的基础也是裂缝建模工作的基础。通过10口井FMI成像测井结果统计表明,研究区裂缝密度基本大于0.5条/m,均值1.03条/m,其中以BZ19-6-D与BZ19-6-H井

裂缝密度最大、达1.4条/m以上,以BZ19-6-B与BZ19-6-G井裂缝密度最小,低于0.8条/m。裂缝以中角度裂缝($45^{\circ}\sim 75^{\circ}$)为主,占总裂缝总数的46.7%,其次是高角度缝($75^{\circ}\sim 90^{\circ}$),占裂缝总数的34.8%,低角度缝最少($15^{\circ}\sim 45^{\circ}$),占比为18.6%(图3)。

3 裂缝建模

由于BZ19-6地区规模大,经历印支—燕山—喜山等多期构造运动,断裂系统十分复杂,不同成因、不同规模、不同尺度的断裂相互交切,构成了网缝系统;且垂向储层段跨度大,给构造表征和裂缝建模带来了巨大挑战。需要通过多方法的交互,精细建立能真实反映区块复杂断裂关系的构造框架模型。

天然裂缝的发育具有多尺度性,不同尺度的裂缝物性特征差异大,因此对裂缝进行分尺度表征很重要。裂缝按尺度大小可分为大尺度裂缝和小尺度裂缝,大尺度裂缝即通过地震资料直接解释的断层,小尺度裂缝指通过测井资料能够识别、在地震资料上也可有响应的裂缝^[20]。而且不同尺度的裂缝在油气的运移、富集中的作用各不相同:大尺度裂缝的油气储集能力较差,但是大型的沟通烃源的大断裂对于油气运聚具有核心控制作用;小尺度裂缝能增加储集空间,形成裂缝网络,成为良好的油气储集体,配合烃源沟通断裂,往往形成油气富集区。基于上述不同尺度裂缝分布的规律认识,结合地震、成像测井等资料,综合研究裂缝分布,采用多属性分级约束、分尺度多层次的方法构建BZ19-6地区的立体裂缝模型。

3.1 裂缝模型建立

为了描绘裂缝在三维立体空间中的产状及连通性等参数及特征,兼顾考虑油、气、水等介质的流动

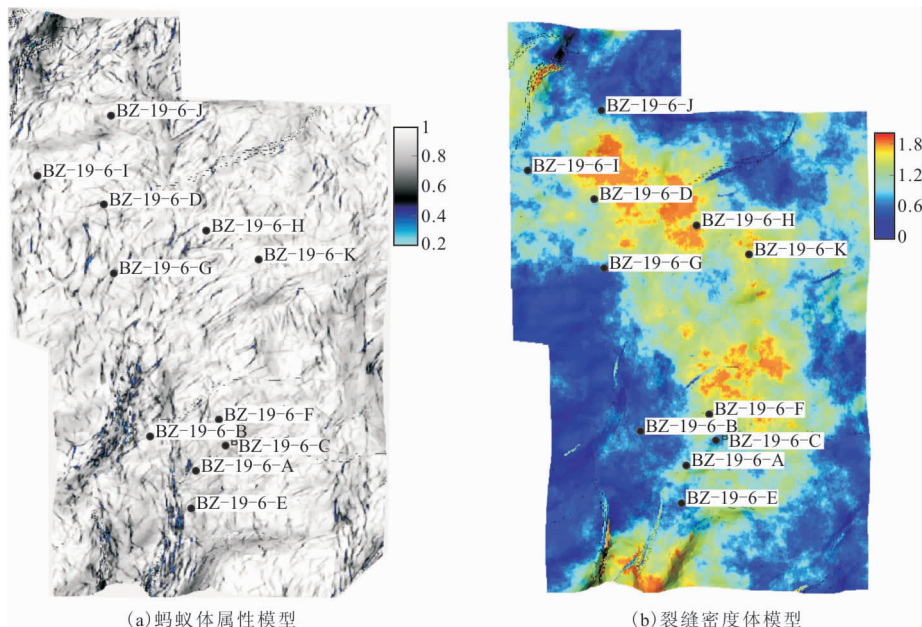


图 4 裂缝密度体与模型
Fig. 4 Fracture density body and model

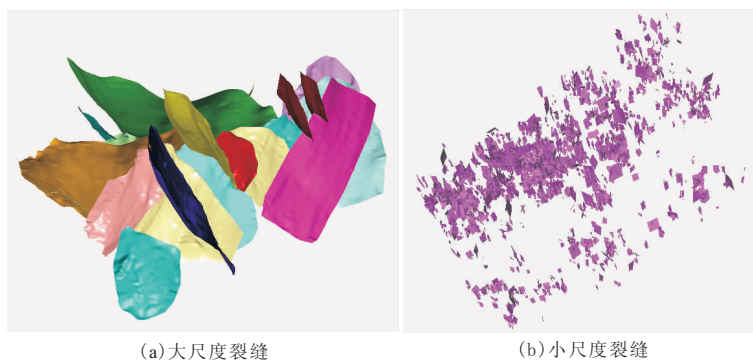


图 5 多尺度裂缝离散分布模型
Fig. 5 Multi-scale fracture discrete distribution mode

特性,需要对裂缝进行建模研究。通常利用多项地质及地球物理资料,将地下空间剖分成网格体,利用离散面元表征断裂的几何形态^[19]。离散裂缝网络模型(DFN, Discrete Fracture Network)是目前应用最广泛的裂缝型油气藏模型,通过成像测井获得每口井的裂缝几何参数,进而获得每口井的裂缝分布模型。但在无约束情况下,裂缝密度模型只适用于井点密集分布的区域,对无井区域裂缝发育无法刻画。如果将蚂蚁体属性采样进网格建立蚂蚁体属性模型(图 4)对其进行约束,利用随机性差值处理空白区域,获得裂缝插值数据,一方面可以与井数据的地质学意义和统计学意义相匹配,另一方面又能将地震资料中检测到的裂缝信息利用到无井控的区域中。具体过程如下:

首先将成像测井解释数据解释的裂缝蝌蚪图沿井轨迹计算产生裂缝累计曲线,再根据累计密度曲线得到裂缝密度曲线(式 1),每一深度点窗口 W 计算公式如下:

$$\text{Intensity}(m d) = [\text{cumulative}(m d + w/2) - \text{cumulative}(m d - w/2)]/w \quad (1)$$

其中: $\text{intensity}(m d)$ 表示每一个采样深度点的裂缝强度,条/m; cumulative 表示每一深度点的累计裂缝强度,条/m; w 表示窗口长度,m。

将反映裂缝在纵向上发育情况的裂缝强度曲线运用连续变量的数值模拟方法,算数平均粗化后离散到三维网格体上,以此为主要控制条件,以地震裂缝预测属性体(这里采用蚂蚁体)为次要条件,利用

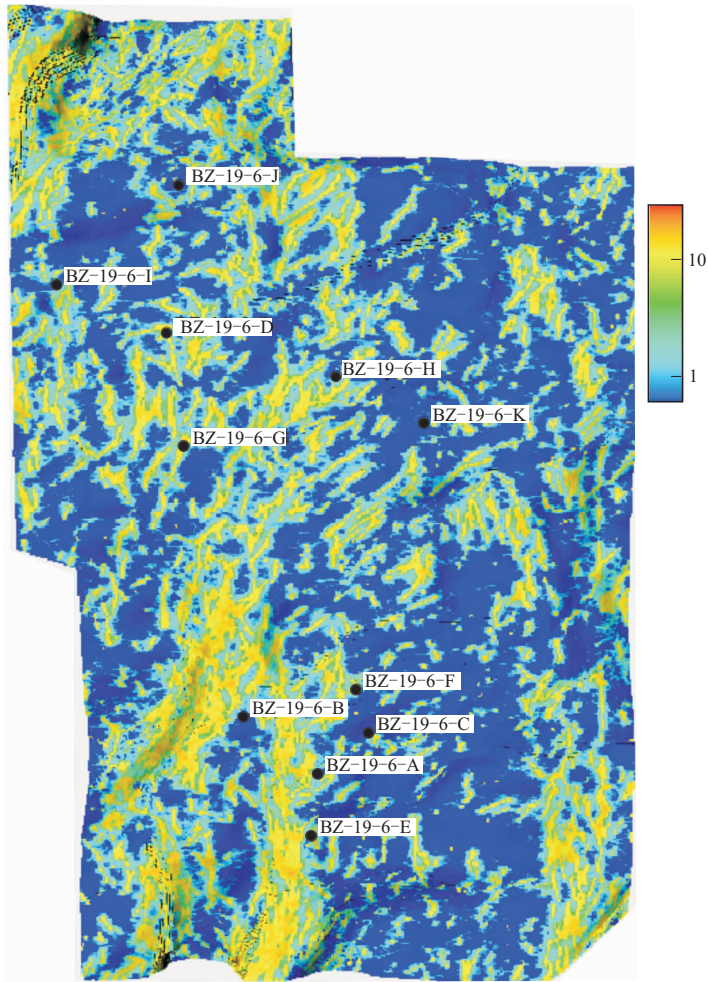


图 6 渗透率模型

Fig. 6 Permeability model

序贯高斯模拟算法(Gaussian simulation)对整个建模区域内所有网格进行裂缝强度属性赋值(图 4(b))。

储层中的裂缝具有明显的层次性,且小尺度裂缝的发育和分布受到大尺度裂缝的控制^[20-21]。因此,在建立裂缝模型时要按照由大尺度到小尺度的顺序依次建立离散化模型。以 petrel 软件为平台,确定性大尺度裂缝离散分布模型是基于断裂解释的确定性建模,而小尺度模型裂缝离散分布模型是基于裂缝产状统计,采用退火模拟和基于目标的示性点过程模拟方法的随机性建模。

地震资料中包含着大量的裂缝信息,利用多种特殊处理数据体属性提取方法(相干、振幅倾角变化率、地震纹理差异性、地震纹理熵),结合剖面断层解释结果与区域地质认识,开展研究区潜山断裂的拾取,再对拾取的断裂进行二次挑选和编辑,得到三维裂缝模型。然后使用确定性建模方法建立大尺度裂

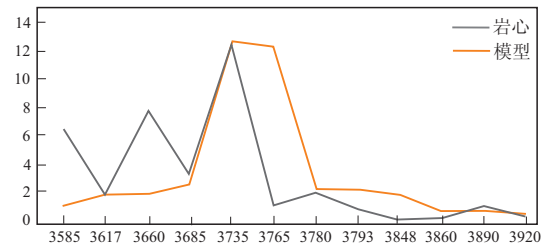


图 7 渗透率对比图

Fig. 7 Comparison of permeability

缝离散分布模型(图 5(a))。

成像测井是运用地球物理场对井壁及周围体进行成像的一种技术手段,对裂缝特征的刻画十分有用,能精确表征出裂缝的几何形态、发育程度等。通过成像测井等资料统计得到裂缝产状数据,同时结合裂缝的伴生性特征,将裂缝密度体模型作为控制条件,采用示性点过程随机建模方法,建立小尺度裂缝模型(图 5(b))。

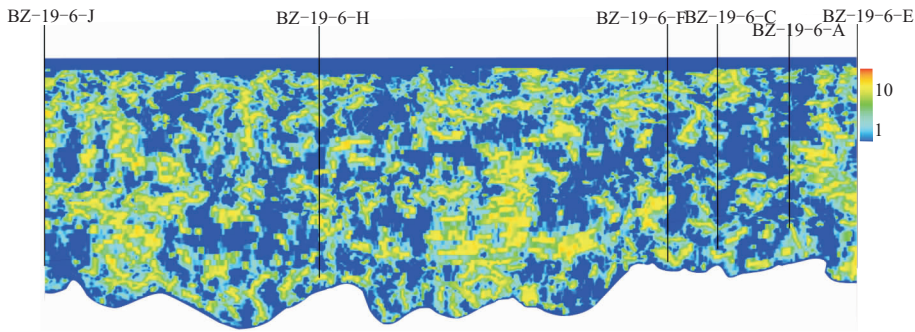


图 8 渗透率连井剖面图

Fig. 8 Cross-section of permeability wells

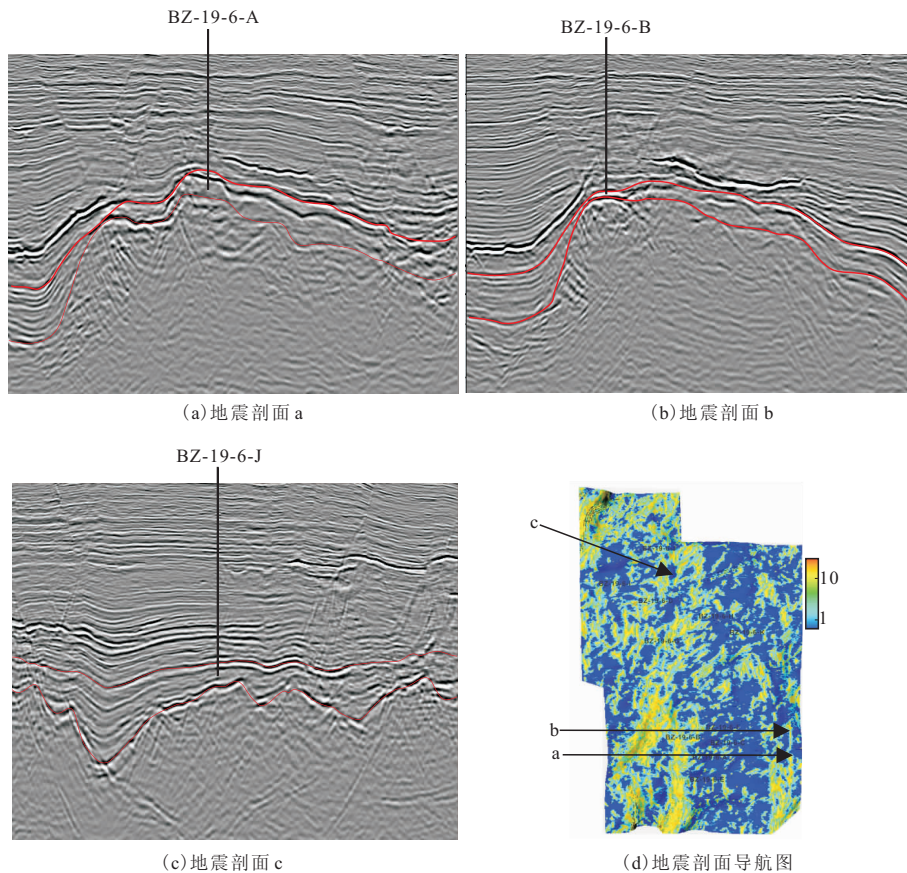


图 9 地震剖面验证图

Fig. 9 Seismic profile verification diagram

3.2 渗透率属性模型

Oda 法利用离散裂缝模型中每个单独网格内裂缝总面积,结合各种参数,利用统计算法计算渗透率以及其他参数,但因为该方法以每个网格为一个点独立运算,没有考虑到网格间裂缝的连通性,当研究区域裂缝相对不发育、等效裂缝渗透率主要受裂缝联通性控制时,Oda 法运算结果往往会小于真实的等效裂缝渗透率。而 Oda corrected method 法则对 Oda 法行了改进,具体操作步骤为:①通过 Oda 法

计算全部网格单元的等效裂缝渗透率,使用 Block K 法随机抽取部分网格单元计算等效裂缝渗透率;②对比 Oda 法与 Block K 法计算出的对应单元网格渗透率相关性;③将相关性作为修正因子,重新调整 Oda 法运算结果,最终得到裂缝等效渗透率。运用 Oda corrected method 方法弥补了单一 Oda 法没有考虑裂缝系统联通性的不足,同时也降低了使用 Block K 法的运算时间。鉴于该方法的优越性,本次属性建模采用该方法。

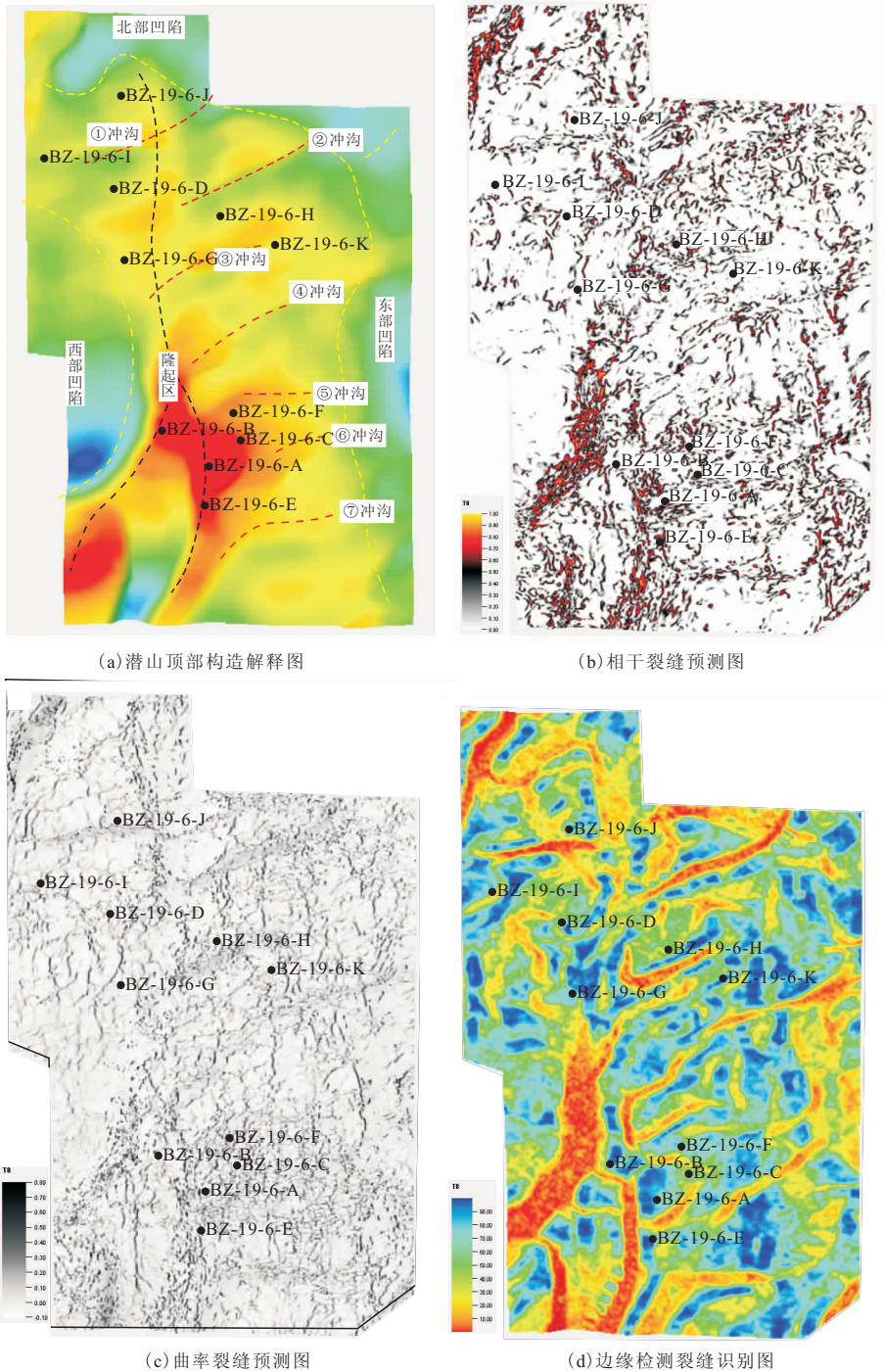


图 10 裂缝模型验证图

Fig. 10 Verification chart of multi-scale fracture model

由图 6 可知,东西向渗透率介于 $0.001 \text{ mD} \sim 15.82 \text{ mD}$ 之间均值为 4.68 mD ,南北向渗透率介于 $0.001 \text{ mD} \sim 3.4 \text{ mD}$ 之间均值为 0.11 mD ,纵向渗透率介于 $0.001 \text{ mD} \sim 8.46 \text{ mD}$ 之间均值为 0.68 mD 。其中东西向渗透率最大,说明该方向上裂缝非常发育且连通性良好。该方向上裂缝发育主要与印

支运动早期的构造活动有关,该时期扬子与华北两大板块剧烈碰撞,研究区受高强度 S-N 向应力场作用,发育大量逆冲断层,出现强烈的挤压破碎现象,进而伴生出大量 W-E 向小断裂。X 方向渗透率场显示出渗透率高值主要位于西部地区,东部局部地区呈现渗透率高值。

4 模型验证

为了保证本次裂缝建模的准确性,验证所建模型是否符合研究区实际地质情况。依据以下三方面来验证可靠性:①渗透率模型与岩心实验渗透率对比;②通过裂缝发育与渗透率属性的对比;③裂缝模型与地震裂缝预测对比。从实际的岩心资料来看,研究区的渗透率在 0.02 mD~14.5 mD 之间,平均值为 4.93 mD;模型的渗透率在 0.001 mD~15.82 mD 之间,平均值为 4.68 mD(图 7)。随深度变化,岩心实测渗透率变化与模型数据都呈现先增后减的趋势,岩心实测渗透率峰值与模型渗透率峰值大致一致,均在 3 735 m 左右,二者相关性较好,说明该模型体现的纵向渗透率属性与实际地下的真实渗透率情况符合,这说明所建基质及裂缝模型具有一定的合理性,对实际地下裂缝系统的描述比较准确,可用于指导实际生产。

综合图 6 及图 8 显示,BZ19-6-A 井西部区域平均渗透率达 7.12 mD、BZ19-6-B 井东部区域渗透率达 9.64 mD 都要高于其他区域,根据实际地震剖面显示渗透率高值裂缝发育程度较高,渗透率值与裂缝发育程度关系密切,二者变化趋势大体相似,说明该模型体现的横向渗透率属性与实际地下的真实渗透率情况符合。

利用相干等属性提取等方法,结合剖面断层解释结果,开展研究区潜山裂缝体系平面预测(图 10),并对以上建模结果进行验证。结合相干算法、曲率算法、边缘检测三种算法预测的裂缝,发现裂缝发育趋势大致相同,都显示出裂缝主要发育在 BZ19-6-A 及其西部的部分地区以及 BZ19-6-J 井附近,而根据实际地震剖面显示(图 9),这几个区域也是裂缝高度发育区域,这与建模结果显示效果一致,说明裂缝模型是符合地下实际裂缝发育的规模及范围的、是可靠的。同时,综合对比四张图,裂缝发育位置与构造位置重合,构造变化大的区域裂缝发育程度高,说明该区域裂缝发育主要受构造控制。

5 结论

笔者通过地震资料分析及多尺度建模,结合实际岩心实验渗透率等属性综合得出以下新认识。

1) 协同地震、测井等资料得到了准确的裂缝分布信息,研究区发育三组裂缝:有北东向裂缝、近东

西向裂缝、北西向剪切裂缝。研究区的裂缝较发育,裂缝密度基本大于 0.8 条/m;其中中角度缝占总裂缝数的一半以上,其次是高角度缝,低角度缝最少。

2) 由裂缝密度模型及地震预测,可以发现潜山顶裂缝主要发育在 BZ19-6-A 井及其西部的部分地区,BZ19-6-J 井附近裂缝也有发育,裂缝发育方向为南北向以及近北东向,裂缝带主要发育在构造突变区,判断研究区裂缝发育主要受构造应力影响。

3) 通过裂缝属性与相干属性叠加:在平面上显示 BZ19-6-A 井、BZ19-6-B 井、BZ19-6-J 井附近区域渗透率高于其他区域,说明裂缝对渗透率贡献大,且通过与井上实际的渗透率进行对比,模型所得的属性值均在合理的范围内,这验证了所建模型的准确性,可用于指导生产。

参考文献:

- [1] 薛永安,李慧勇.渤海海域深层太古界变质岩潜山大型凝析气田的发现及其地质意义[J].中国海上油气,2018,30(03):1-9.
XUE Y A, LI H Y. Discovery and geological significance of large condensate gas fields in deep Archean metamorphic buried hill in Bohai sea [J]. Offshore Oil and Gas in China, 2018,30(03):1-9. (In Chineses)
- [2] 刘合年,史卜庆,薛良清,等.中国石油海外“十三五”油气勘探重大成果与前景展望[J].中国石油勘探,2020,25(04):1-10.
LIU H N, SHI B Q, XUE L Q, et al. The major achievements and prospects of overseas oil and gas exploration of CNPC in the 13 th Five-Year Plan [J]. China Petroleum Exploration, 2020, 25 (04): 1 - 10. (In Chineses)
- [3] 谢玉洪.中国海油“十三五”油气勘探重大成果与“十四五”前景展望[J].中国石油勘探,2020,26(01):43-54.
XIE Y H. China offshore oil ' 13th five-year ' oil and gas exploration achievements and ' 14th Five-Year ' prospect [J]. China Petroleum Exploration, 2020, 26 (01):43-54. (In Chineses)
- [4] 谢玉洪,罗小平,王德英,等.渤海湾盆地渤中凹陷西次洼中生界古潜山油气成藏过程[J].天然气工业,2019,39(05):15-24.
XIE Y H, LUO X P, WANG D Y, et al. The hydrocarbon accumulation process of Mesozoic buried hill in the west subsag of Bozhong sag, Bohai bay basin [J]. Natural gas industry, 2019,39(05):15-24. (In Chineses)

- [5] 徐长贵,彭靖淞,吴庆勋,等.渤海湾凹陷区复杂断裂带垂向优势运移通道及油气运移模拟[J].石油勘探与开发,2019,46(04):684-692.
XU C G, PENG J S, WU Q X, et al. Vertical dominant migration pathways and hydrocarbon migration simulation of complex fault zones in Bohai bay depression [J]. Petroleum Exploration and Development, 2019,46(04):684-692. (In Chinses)
- [6] 徐长贵,杜晓峰,刘晓健,等.渤海海域太古界深埋变质岩潜山优质储集层形成机制与油气勘探意义[J].石油与天然气地质,2020,41(02):235-247+294.
XU C G, DU X F, LIU X J, et al. The formation mechanism and oil and gas exploration significance of high-quality buried hill reservoirs of Archean metamorphic rocks in Bohai Sea [J]. Petroleum and Natural Gas Geology, 2020,41(02):235-247+294. (In Chinses)
- [7] 于海波,王德英,牛成民,等.渤海海域渤南低凸起碳酸盐岩潜山储层特征及形成机制[J].石油实验地质,2015,37(02):150-156+163.
YU H B, WANG D Y, NIU C M, et al. Characteristics and formation mechanism of carbonate buried hill reservoirs in Bonan low uplift in Bohai Sea [J]. Petroleum Experimental Geology, 2015,37(02):150-156+163. (In Chinses)
- [8] 李威,窦立荣,文志刚,等.乍得 Bongor 盆地潜山油气成因和成藏过程[J].石油学报,2017,38(11):1253-1262.
LI W, DOU L R, WEN Z G, et al. Genesis and accumulation process of buried hill oil and gas in Bongor Basin, Chad [J]. Petroleum Journal, 2017,38(11):1253-1262. (In Chinses)
- [9] 张兴勇.红山嘴油田石炭系火山岩储层裂缝发育特征及主控因素[J].特种油气藏,2021,28(03):25-32.
ZHANG X Y. Fracture development characteristics and main controlling factors of Carboniferous volcanic reservoirs in Hongshanzui Oilfield [J]. Special Reservoirs, 2021, 28(03):25-32. (In Chinses)
- [10] 夏庆龙.渤海海域构造形成演化与变形机制[M].北京:石油工业出版社,2012.
XIA Q L. The tectonic evolution and deformation mechanism of the Bohai Sea [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2012. (In Chinses)
- [11] 肖胜东.渤海湾盆地渤中凹陷凝析气藏相态识别及其成因机制[D].西安:西北大学,2019.
XIAO S D. Phase identification and genetic mechanism of condensate gas reservoirs in Bozhong Sag, Bohai Bay Basin [D]. Xi'an: Northwest University, 2019. (In Chinses)
- [12] 胡安文,王德英,于海波,等.渤海湾盆地渤中 19-6 凝析气田天然气成因及油气成因关系判识[J].石油与天然气地质,2020,41(05):903-912+984.
HU A W, WANG D Y, YU H B, et al. Discrimination of the origin of natural gas and hydrocarbon in Bozhong 19-6 condensate gas field in Bohai bay basin [J]. Petroleum and Natural Gas Geology, 2020, 41(05):903-912+984. (In Chinses)
- [13] 薛永安.渤海海域深层天然气勘探的突破与启示[J].天然气工业,2019,39(01):11-20.
XUE Y A. The breakthrough and enlightenment of deep natural gas exploration in Bohai sea [J]. Natural Gas Industry, 2019,39(01):11-20. (In Chinses)
- [14] 施和生,王清斌,王军,等.渤中凹陷深层渤中 19-6 构造大型凝析气田的发现及勘探意义[J].中国石油勘探,2019,24(01):36-45.
SHI H S, WANG Q B, WANG J, et al. Discovery and exploration significance of large condensate gas fields in deep Bozhong 19-6 structure [J]. China Petroleum Exploration, 2019,24(01):36-45. (In Chinses)
- [15] 刘彦鹏,侯明才,刘晓健,等.渤海湾盆地渤中凹陷潜山及上覆砂砾岩显微图像数据集[J].中国科学数据(中英文网络版),2020,5(03):226-235.
LIU Y P, HOU M C, LIU X J, et al. Micro-image dataset of buried hill and overlying glutenite in Bozhong sag of Bohai bay basin [J]. Chinese Scientific Data (Chinese and English network edition), 2020, 5(03):226-235. (In Chinses)
- [16] 陶圩,郭玲莉,刘永江,等.渤中凹陷深层储层裂隙发育程度实验研究[J].大地构造与成矿学,2021,45(01):229-241.
TAO W, G L L, LIU Y J, et al. Experimental study on fracture development of deep reservoir in Bozhong sag [J]. Geotectonics and Mineralization, 2021, 45(01):229-241. (In Chinses)
- [17] 侯明才,曹海洋,李慧勇,等.渤海海域渤中 19-6 构造带深层潜山储层特征及其控制因素[J].天然气工业,2019,39(01):33-44.
HOU M C, CAO H Y, LI H Y, et al., deep buried hill reservoir characteristics and control factors of Bozhong 19-6 structural belt in Bohai sea [J]. Natural Gas Industry, 2019,39(01):33-44. (In Chinses)
- [18] 牛成民,王昕,叶涛,等.渤中凹陷西南部大型变质岩潜山裂缝特征及预测方法[J].石油钻采工艺,2018,40(S1):66-69.
NIU C M, WANG X, YE T, et al., Fracture charac-

- teris-tics and prediction method of large metamorphic buried hill in southwestern Bozhong sag [J]. *Petroleum Drilling and Production Technology*, 2018, 40 (S1):66-69. (In Chinses)
- [19] 张亚春,尹太举,周文. 在蚂蚁属性体约束下的裂缝建模方法研究[J]. *长江大学学报(自科版)*, 2016, 13 (14):16-21+2-3.
ZHANG Y C, YIN T J, ZHOU W. Research on crack modeling method under ant attribute constraint [J]. *Journal of Yangtze University (self-edition)*, 2016, 13(14):16-21 + 2-3. (In Chinses)
- [20] 侯加根,马晓强,刘钰铭,等. 缝洞型碳酸盐岩储层多类多尺度建模方法研究:以塔河油田四区奥陶系油藏为例[J]. *地学前缘*, 2012, 19(02):59-66.
HOU J G, MA X Q, LIU Y M, et al. Study on multi-class and multi-scale modeling methods for fractured-vuggy carbonate reservoirs : taking Ordovician reservoirs in the fourth area of Tahe oilfield as an example [J]. *Geological Front*, 2012, 19(02):59 - 66. (In Chinses)
- [21] 梁宇涛,刘鹏程,冯高城. 基于蚂蚁追踪技术的裂缝型储层建模方法[J]. *复杂油气藏*, 2014, 7(03):11-15.
LIANG Y T, LIU C, FENG G C. Fracture reservoir modeling method based on ant tracking technology [J]. *Complex Reservoir*, 2014, 7(03): 11 - 15. (In Chinses)
- [22] ALESSANDRO GIUFFRIDA, FABRIZIO AGOSTA, ANDREA RUSTICHELLI, et al. Fracture stratigraphy and DFN modelling of tight carbonates, the case study of the Lower Cretaceous carbonates exposed at the Monte Alpi (Basilicata, Italy)[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2020, 112(01):104045-104045.
- [23] 薛永安,王德英. 渤海湾油型湖盆大型天然气藏形成条件与勘探方向[J]. *石油勘探与开发*, 2020, 47(02):260-271.
XUE Y A, WANG D Y. Formation conditions and exploration direction of large natural gas reservoirs in the oil-prone Bohai Bay Basin[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2020, 47(02): 260-271.

Application of fracture modeling technology based on well-seismic combination in Bozhong 19-6 area

HE Pingyi^{a,c}, ZHOU Huailai^{a,b,c}, WANG Yuanjun^{a,b}, LU Fen^{a,c}, YAN Di^c

(Chengdu University of Technology a. institute of geophysics,

b. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation,

c. Key Laboratory of Earth Exploration and Information Technology of Ministry of Education, Chengdu 610059, China)

Abstract: Bozhong 19-6 buried hill structural belt is a typical multi-layer reservoir. From top to bottom, it is the pore zone (glutenite) + fracture zone (weathering crust dissolution + inner rupture). Fractures play an important role in oil and gas migration and enrichment and are also the key to restricting oil and gas exploration in the study area. Based on the analysis and modeling of seismic data, the plane distribution of fractures is discussed based on the background of paleo-structure and paleogeomorphology. Faults and paleo-structure jointly control the fracture development, and the development position coincides with the structural position. Therefore, the fracture development degree is high in the region with large structural changes. The comparison between the permeability model and core experiment permeability, fracture model, and attribute fracture prediction verifies that the model is reliable. The underground actual fracture development description is acceptable and accurate, which can lay the foundation for further exploration and development.

Keywords: Bozhong 19-6; well seismic combination; fracture modeling; fracture prediction; model verification