断控缝洞型油气藏储集体建模研究：以顺北 4 号断裂带为例

何云峰[1]，陈叔阳[1]，刘耀宇[1]，王立鑫[2]，丁旭东[1]，尚浩杰[2]，李文亮[1]，
刘杰[1]，肖红[1]，尹艳树[2*]

1. 中国石油化工股份有限公司西北油田分公司，乌鲁木齐 830000；
2. 长江大学油气资源与勘探技术教育部重点实验室，武汉 430100

第一作者，E-mail：heyunfeng2316697@163.com

* 通信作者，E-mail：yys@yangtzeu.edu.cn

2024-09-18 收稿；2024-11-24 修回；2025-02-11 接受

基金项目：国家自然科学基金项目(42372137)；油气资源与勘探技术教育部重点实验室(长江大学)开放基金项目(K2023-06)

中图分类号：P618.13　　文章编号：2096-8523(2025)03-0108-14　　doi: 10.19509/j.cnki.dzkq.tb20240535

摘　要：塔里木盆地顺北地区发育碳酸盐岩断控缝洞型油气藏储集体，现有建模算法难以精确表征其内部结构，亟需结合断控体内部构造特征开展储层建模算法研究，建立符合地质认知的精细三维地质模型，明确油气优势储集空间。以顺北 4 号断裂带为例，提出并应用了一种基于目标的建模方法，结合层次模拟的思想，定量表征了挤压段、拉分段与平移段的断裂面与类洞穴的发育规模。通过设计基于网格的储集体趋势线追踪算法，查找符合储集体发育走向的中心线，融合层次模拟的思想，逐层次刻画了断裂面与类洞穴内部栅状结构地质模型。在建立的地质模型的基础上，基于相控的方式建立物性模型，开展了储量计算与数值模拟，优选仅有断裂面的断控体模型，断裂面储量计算的结果与动态储量拟合率为 96%，对井底压力、实际生产数据进行拟合，误差均小于 10%。研究区主要可能储集类型为断裂面、类洞穴与杂乱体。对不同的地震属性体截断处理建立断控体轮廓模型。测井解释断裂面与类洞穴内部发育破碎带与基岩带有序排列的栅状结构，破碎带可进一步划分为角砾带与裂缝带。设计基于目标的建模方法，建立储集体内部栅状结构三维地质模型。优选仅有断裂面的断控体模型，该模型遵从钻测井条件数据，符合地质认知，对指导油气藏开发具有参考意义。

关键词：塔里木盆地；顺北油田；断控体；三维地质建模；栅状建模；断裂带；油气藏储集体

全球深层碳酸盐岩储层中蕴藏着丰富的油气资源，是未来油气勘探开发的重要领域。截止目前，在深层碳酸盐岩领域，已陆续发现塔河、普光、元坝、安岳等一系列大型油气田。近年来，在四川和塔里木盆地，相继在超过 7 000 m 的超深层领域发现优质碳酸盐岩储层，超深层碳酸盐岩储层受到广泛关注[1-4]。

位于塔里木盆地的塔河油田，埋藏深度超 6 000 m，作为我国首个大型古生界海相碳酸盐岩油田[5-7]，由于断裂带的构造破碎作用和大气淡水的溶蚀作用，形成了岩溶缝洞型储层，一些学者[8-10]将此类油气藏定义为“断溶体”，主要储集空间为溶蚀洞穴和溶蚀孔缝。这类储层具有埋藏深度大、非均质性强等特点[11-13]。随着油气勘探开发的深入，同样位于塔里木盆地的顺北油田埋藏深度超 7 000 m，受断裂带构造运动影响更加强烈，溶蚀作用较弱[14]，称为“断控体”，沿断裂带发育断裂面、类洞穴和杂乱体三大储集空间。断裂面与类洞穴内部，沿断裂带主应力方向，构造破碎区域被角砾充填，形成角砾带，与破

著录信息：何云峰，陈叔阳，刘耀宇，等. 断控缝洞型油气藏储集体建模研究：以顺北 4 号断裂带为例 [J]. 地质科技通报，2025，44(3)：108-121.
HE Yunfeng，CHEN Shuyang，LIU Yaoyu，et al. Reservoir modeling of fault-controlled fractured-cavity reservoirs：A case study of Shunbei fault zone No.4[J]. Bulletin of Geological Science and Technology，2025，44(3)：108-121.

© Editorial Office of Bulletin of Geological Science and Technology. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license.　https://dzkjtb.cug.edu.cn

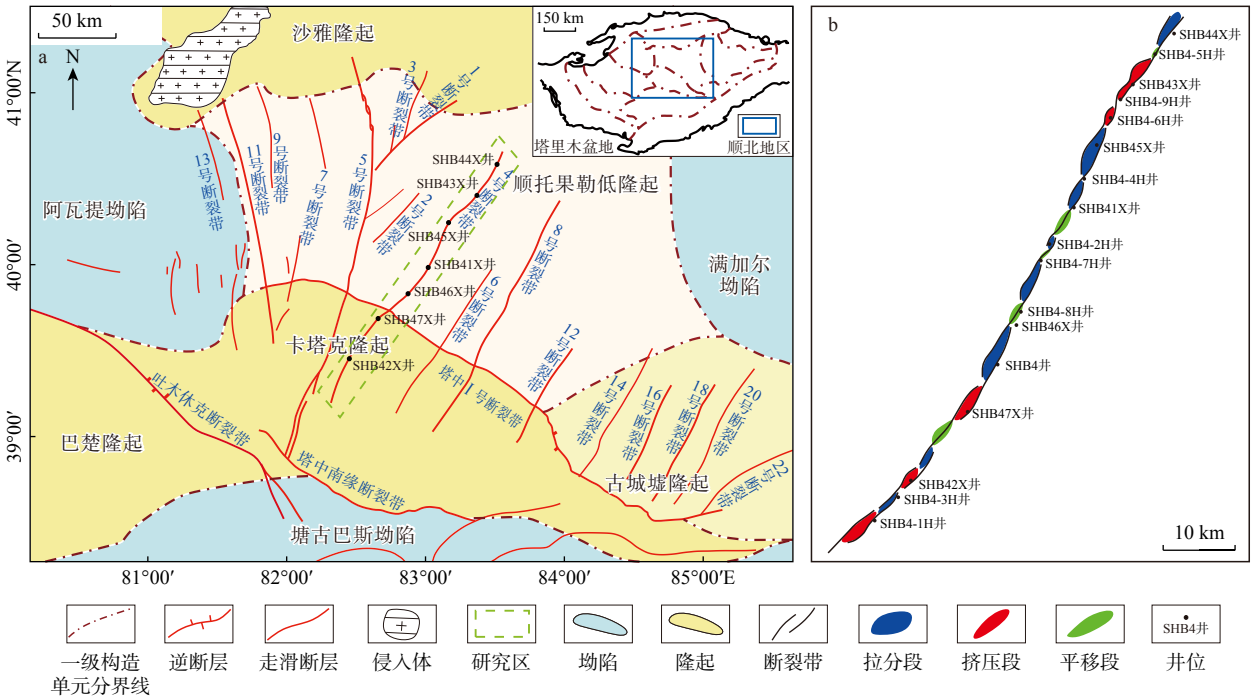
碎程度弱的基岩带交替发育，形成栅状充填结构特征[15-18]。为实现定量化表征油气储集体参数空间分布，建立定量化的三维油气藏地质模型成为重点研究方向之一[19]。

目前，通过地震反演的强能量串珠阈值截断，可以实现溶洞轮廓模型的雕刻[20-23]，但对溶洞内部的处理往往采用孔渗参数等效处理，忽视了内部的非均质性。基于对缝洞储集体的层级划分[24-28]，分层级建立溶洞模型，对于轮廓模型采取地震属性阈值截断的确定性建模方法[29]，对于内部采取序贯指示建模、多点地质建模等随机性建模方法，实现了溶洞内部充填的随机性分布。然而，随着地质资料的丰富，顺北断控缝洞型储集体内部的栅状结构表现出更强的非均质性，常规建模方法表现出的随机性与断控体特殊的构造特征不适应。陈叔阳等[17] 基于类洞穴轮廓模型的范围查找类洞穴的中线，向中线两侧随机投掷破碎带发育位置起始点，沿中线建立破碎带，初步实现了类洞穴内部栅状结构建模。但是仅在类洞穴内部刻画了破碎带，对所有类洞穴统一进行参数赋值，未考虑受类洞穴大小影响破碎带相对发育规模不同，且无法识别储集体走向，无法在断裂面内部开展栅状结构地质建模，未能达到精细化建模需求。相较于类洞穴，断裂面形态复杂多变，同一条断裂面不同区域的发育规模与发育方位均不相同，形态也随主应力的变化出现分叉与汇合，不能使用类洞穴查找中线的方式进行约束建模。

笔者在前人研究的基础上，根据地质资料将破碎带进一步划分为角砾带与裂缝带，针对断控缝洞型储集体，设计一种基于目标的建模方法[18]，通过网格模型查找储集体走向的趋势线，解决了使用中线无法模拟与储集体走向一致的栅状结构的问题。在建模的过程中引入层次模拟的思路，参考储集体的发育历程，将基岩带定义为第一层次，全局范围内开展模拟，破碎带作为第二层次，在基岩带的基础上开展模拟，角砾带作为第三层次，在破碎带的范围内开展模拟。在模拟的过程中使用趋势线进行约束，保证建立的栅状条带与储集体走向一致，最终建立符合地质认知的断控体栅状结构三维地质模型。

1　地质概况

研究区位于塔里木盆地西北部、沙雅隆起的西南端，构造平缓（图 1a）[30]。顺北地区发育多条走滑断裂带，研究区为顺北 4 号断裂带，全长约 60 km，目的层为奥陶系鹰山组和一间房组，岩性为碳酸盐岩，埋藏深度在 6 400 ~ 7 600 m，属于超深层油气藏。受大型走滑断裂带多期次构造运动，发育断控缝洞型储集体。目前顺北 4 号断裂带共有 20 口钻井，采集



a. 塔里木盆地断裂带分布；b. 顺北 4 号断裂带应力背景

图 1　顺北地区构造及研究区应力背景（据文献 [17] 修改）

Fig. 1　Structural and stress background of the study area

了多种动静态资料，分析显示部署在断裂带不同部位的采油井，产能以及压力存在较大差距，表明断控体内部非均质性强，亟需建立精细的断控体三维地质模型，明确井间连通关系，探明储量空间分布情况，指导井位部署。

2　断控体轮廓识别及内部结构定量表征

2.1　断控体轮廓识别

研究表明，顺北 4 号断裂带受走滑构造运动影响，发育多套断控缝洞型储集体（断控体）[31-32]。按照构造应力作用效果不同，整体划分为拉分段、平移段与挤压段（图 1b），拉分段发育多条断裂带，断裂带受到主应力方向的走滑应力与两侧的拉张应力，地层呈凹陷状态；平移段发育单条断裂带，断裂带仅受到主应力方向的走滑应力，地层无较大起伏；挤压段发育单条断裂带，断裂带受到主应力方向的走滑应力与两侧的挤压应力，地层呈隆起状态[18]（图 2）。

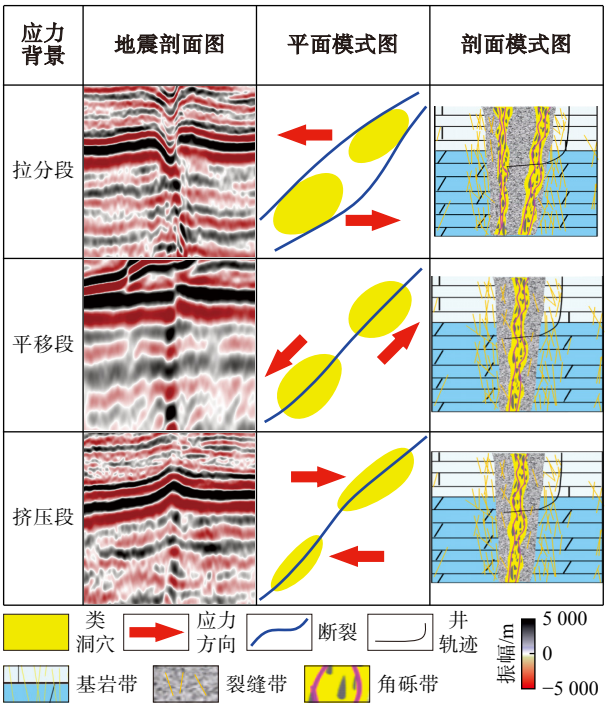


图 2　断控体应力构造特征[18]

Fig. 2　Characteristics of stress structure of fault-controlled bodies

断控体内部发育断裂面、类洞穴与杂乱体三类储集体[33-34]，在地震剖面上呈现不同的表现形式（图 3a）。断裂面是走滑断裂带直接作用的产物，呈窄条带状，沿主应力方向延伸数千米，随应力变化发育数量及形态均不同，地震剖面表现为线性弱反射，地震同相轴出现中小尺度褶曲，结构张量地震属性对其有很好的响应关系（图 3b）。类洞穴的形成与断裂带多期次走滑运动有关，形态为椭球体状，纵向上可达数百米，横向上可达几十米至百米。在地震剖面上表现为串珠状反射，地震同相轴出现中大尺度褶曲，相干能量梯度地震属性对其有很好的响应关系（图 3c）。杂乱体的形成与类洞穴类似，形态多样，地震剖面呈杂乱反射，地震同相轴出现大尺度褶曲或者错断，方差地震属性对其有很好的响应关系[18]（图 3d）。

钻井钻遇储集体常发生漏失、放空现象，统计所有钻井漏失、放空点地震属性值，综合选取地震属性截断阈值，完成储集体轮廓表征[35]。统计结果表明，当断控体结构张量≥−0.9 时为断裂面发育区域；当

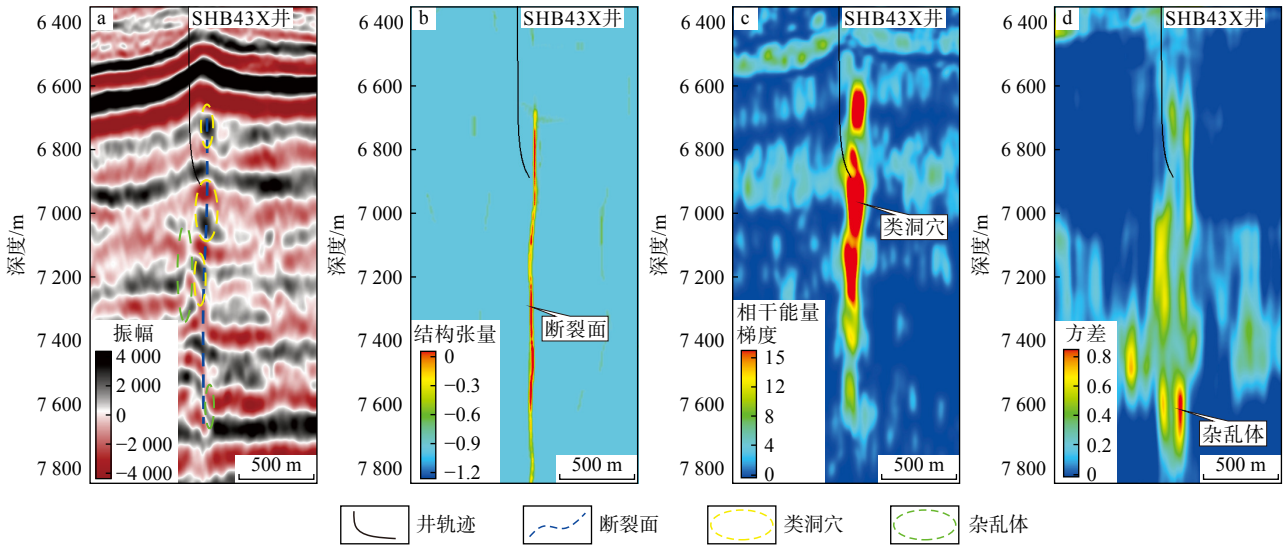


图 3　SHB43X 井断控体在地震剖面表现形式 (a) 及响应地震属性体 (b ~ c)[18]

Fig. 3　Fault-controlled body manifestations in seismic profiles (a) and corresponding seismic attribute volumes (b-c)

断控体相干能量梯度≥15 时为类洞穴的发育区域；当断控体方差≥0.63 时为杂乱体的发育区域。根据属性值区间对地震属性体进行截断，保留区间内数据体，与建立的三维网格模型进行布尔交集运算处理，得到断裂面、类洞穴与杂乱体轮廓模型，对 3 类储集体轮廓模型进行布尔并集运算处理，得到断控体轮廓模型[18]（图 4）。

2.2 断控体内部结构定量表征

结合钻测井资料研究表明顺北地区走滑断裂带经历多期次构造运动，在断裂面与类洞穴内部发育多条破碎带，被基岩带分隔，将这种破碎带与基岩带交替发育的储集体结构定义为栅状结构。进一步，将破碎程度最高、被角砾充填的区域定义为角砾带，将破碎程度较低、发育微裂缝的区域定义为裂缝带。测井曲线电阻率对栅状结构有很好的响应关系，角砾带电阻率最低，普遍低于 1 500 Ω·m，曲线形态呈尖峰状；裂缝带电阻率升高，普遍在 [1 500, 5 000]Ω·m，曲线形态呈锯齿状；基岩带电阻率最高，普遍大于 5 000 Ω·m，曲线形态无明显变化（图 5）。

对测井曲线电阻率进行解释，获取角砾带、裂缝带与基岩带发育信息，结合钻井钻遇储层总厚度，即可得到储集体内部破碎带与角砾带的相对发育频率以及规模。不同应力段受到作用力不同，破碎带发育规模也不同。对挤压段、拉分段与平移段分别统计断裂面与类洞穴钻井储层总厚度，以及角砾带、裂缝带、基岩带发育频率和发育规模，建立百米发育模式图[18]（图 6），定量表征断裂面与类洞穴内部结构，指导建立断裂面与类洞穴内部栅状结构地质模型。

3 断控体栅状结构地质模型建立

3.1 栅状结构地质模型建模

针对断裂面与类洞穴复杂的轮廓形态，为了建立走向与厚度变化均与轮廓模型保持一致的栅状条带，笔者设计一种基于目标的建模方法[36-38]，在储集体内部追踪与轮廓模型保持一致的趋势线。在建模的过程中引入层次模拟的思想，将储集体内部充填划分为多个层次，基岩带为第 1 层次，破碎带为第

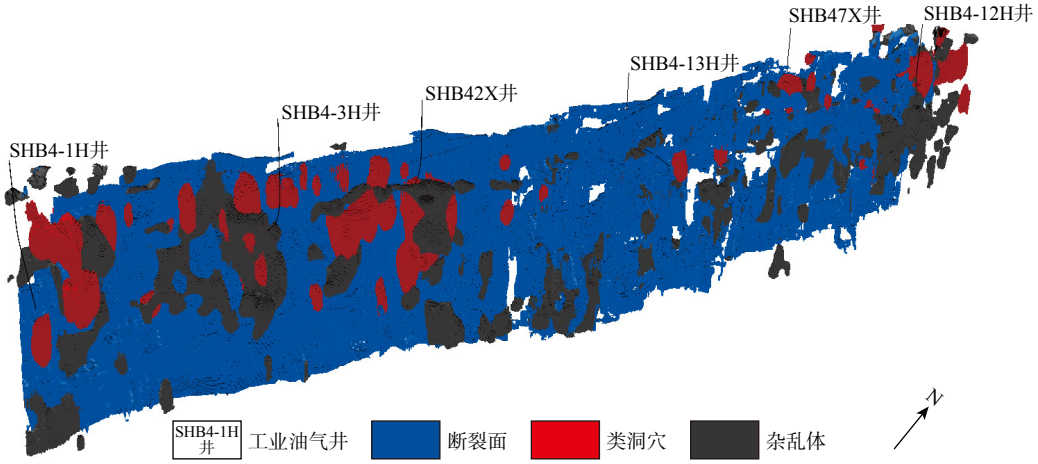


图 4 断控体轮廓模型[18]

Fig. 4 Contour model of fault-controlled body

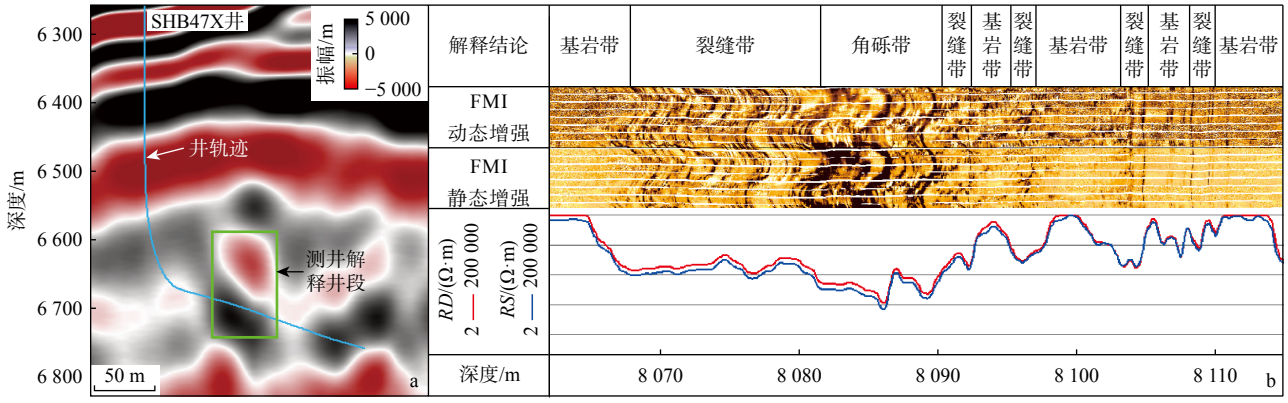


图 5 SHB47X 井储集体解释结论（a. 地震剖面；b. 成像测井及常规测井曲线解释）

Fig. 5 Interpretation conclusions for the reservoir in the SHB47X well

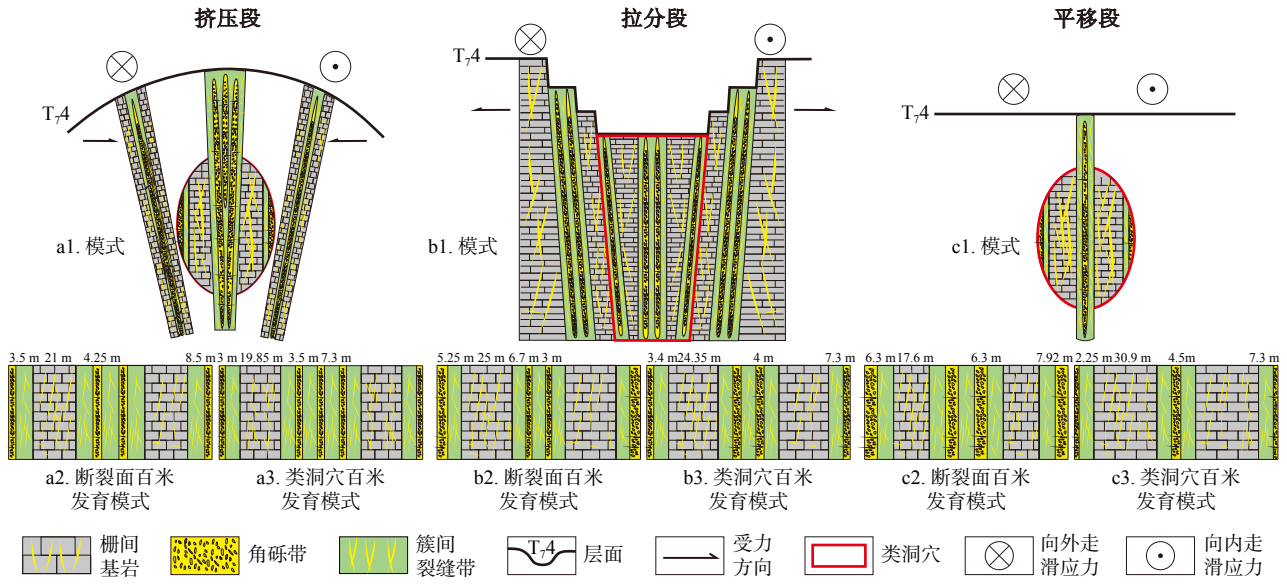


图 6　不同应力背景断裂面及类洞穴百米发育模式[18]

Fig. 6　Development patterns of fracture plane and cave-type reservoirs under different stress background

2 层次，角砾带为第 3 层次，以每一层次的目标体为模拟对象，将上一层次的目标体为范围约束开展模拟[18]。建模步骤如下：

（1）在储集体轮廓模型的约束下全局范围内开展第 1 层次基岩带的模拟，获取储集体基岩模型。

（2）设计追踪算法追踪储集体沿主应力方向的走向趋势线，确保建立的破碎带与储集体走向一致，算法[39-40]将储集体边部中心位置网格作为起始点，随后通过扫描左前方与右前方网格数量判断趋势线前行方向，当左侧有效连续网格数量大于右侧有效连续网格数量，表明储集体向左前行，趋势线则需要向左偏移（图 7c）；当右侧有效连续网格数量大于左侧有效连续网格数量，表明储集体向右前行，趋势线则需要向右偏移（图 7a）；当左右两侧有效连续网格数量相同时，表明储集体垂直向前运动，趋势线则需要保持现有方向不变（图 7b）。

（3）识别储集体厚度最大值，结合当前应力段储集体百米发育规模，保证单条破碎带规模不变的情况下确定破碎带发育条数，以及保证破碎带发育条数不变的情况下确定破碎带单条发育规模。通过

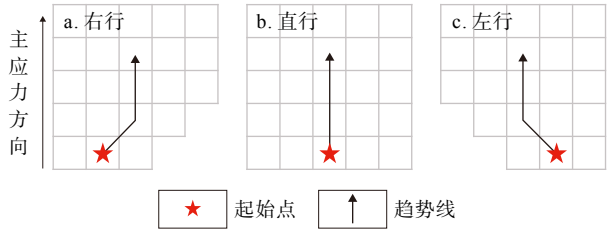


图 7　趋势线走向示意

Fig. 7　Trend line direction indicator

2 种方式确定破碎带发育条数区间内，计算每一种可能发育条数下单条破碎带发育规模，根据前期测井解释统计破碎带发育规模与数量对照表按照就近原则提取可能发育规模对应数量，建立累计概率抽样曲线，随机抽样确定储集体发育破碎带数量以及单条破碎带发育规模。

以百米发育 x_{std} 条，每条 y_{std} m 为例，实际储集体最大厚度为 $L_{\max}$ m，则按照发育条数不变的情况下，实际发育规模为每条 y_1 m；按照发育规模不变的情况下，实际发育条数为 x_1 条，详细计算见公式（1）：

$$y_1=\frac{L_{\max}\times y_{\mathrm{std}}}{100},\quad x_1=\frac{L_{\max}\times x_{\mathrm{std}}}{100}。\tag{1}$$

实际发育条数区间 x_{p} 以及实际发育规模区间 y_{p} 见公式（2）：

$$x_{\mathrm{p}}=[\mathrm{int}(\min(x_{\mathrm{std}},x_1)),\mathrm{int}(\max(x_{\mathrm{std}},x_1))],$$
$$y_{\mathrm{p}}=\left[\frac{L_{\max}\times x_{\mathrm{std}}\times y_{\mathrm{std}}}{100\times\mathrm{int}(\max(x_{\mathrm{std}},x_1))},\frac{L_{\max}\times x_{\mathrm{std}}\times y_{\mathrm{std}}}{100\times\mathrm{int}(\min(x_{\mathrm{std}},x_1))}\right]。\tag{2}$$

结合实际数据，若得到条数区间为 [2, 5] 条，厚度最大处百米总发育厚度为 20 m，则对应实际发育规模区间为 [4, 10]m/条。根据可能发育规模按照就近取值原则从测井数据统计表中选取发育规模对应的条数，建立可能发育规模与统计的频率柱状图，根据柱状图建立累计概率曲线（图 8），确定储集体最大厚度处实际发育条数 $x_{\max}$ 以及发育规模 $y_{\max}$，抽样结果保持 $x_{\max}\times y_{\max}==x_{\mathrm{std}}\times y_{\mathrm{std}}$ 的关系。

（4）在基岩带模型的基础上，保证破碎带优先发育在基岩模型边部的前提下，根据每一条破碎带发

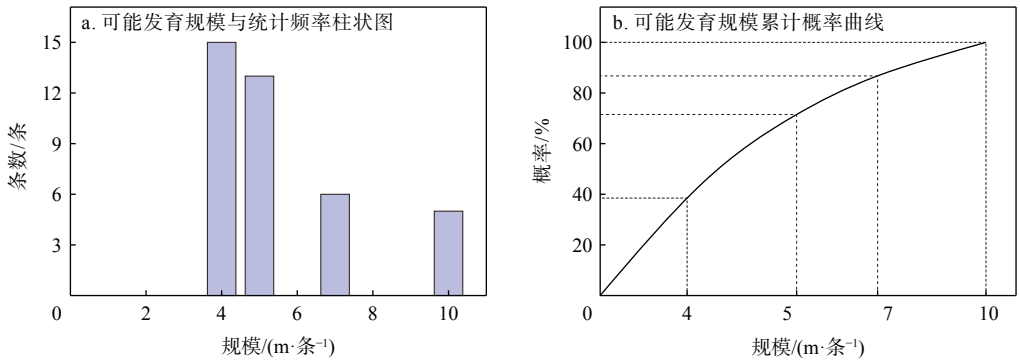


图 8　发育规模累计概率抽样

Fig. 8　Developmental scale cumulative probability sampling

育位置计算最大厚度处与趋势线的相对距离，约束建立的破碎带与趋势线走向一致。根据储集体任意位置处的厚度与最大厚度的比值，采取等比例变换的方式计算储集体任意位置处的破碎带发育厚度以及与趋势线的相对距离。建立第 2 层次破碎带，得到基岩带−破碎带模型。

若与趋势线最大相对距离为 D_{max}，储集体任意处实际厚度为 L_{real}，则破碎带任意处实际与趋势线相对距离 D_{real} 以及任意处实际发育规模 y_{real} 可根据公式(3)得出：

$$y_{real}=\frac{L_{real}}{L_{max}}\times y_{max},\quad D_{real}=\frac{L_{real}}{L_{max}}\times D_{max}。\qquad(3)$$

(5)创建破碎带的过程中，加入扰动函数[41]修改破碎带边界值，模拟断裂带受力非均匀性。左右边界坐标不变，受力较为均匀(图 9)。左右边界坐标同时向左或者同时向右偏移，破碎带宽度无明显变化，但是在局部范围内向左或者向右偏移趋势线前行，模拟断裂带局部受力位置偏主应力方向左侧或右侧区域(图 9b ~ i)。左右边界坐标同时向相同或相反方向偏移时，破碎带宽度变宽或变窄，甚至中断，走向与趋势线保持一致，模拟断裂带局部受力较强或者较弱区域(图 9f, h)。

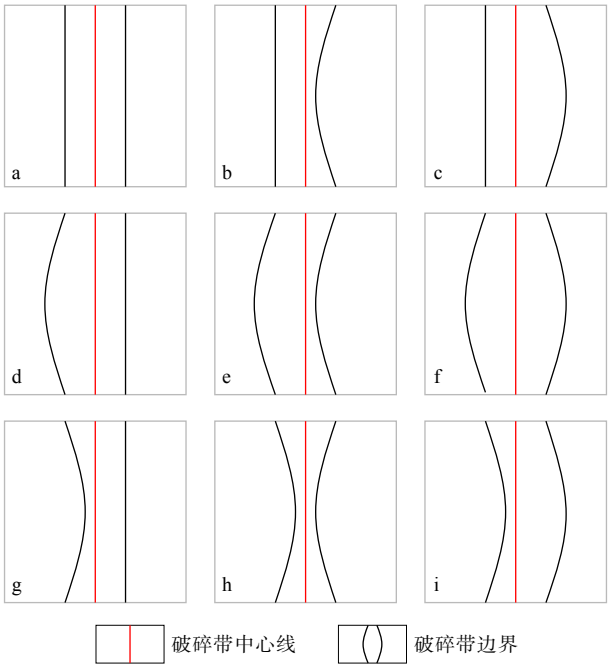
(6)在每一条破碎带范围内，随机抽样确定角砾带的发育数量以及规模。在破碎带内部均匀分布刻画角砾带，破碎带其余部位被重新定义为裂缝带，完成储集体内部栅状结构地质模型的建立。

3.2　断裂面建模

不同应力背景下断裂面数量和形态均不相同(图 10)，针对断裂面的结构特点，采取上述算法获取断裂面轮廓形态的趋势线，逐层建立断裂面栅状结构地质模型。

3.2.1　单断裂面建模

对于单条断裂面栅状结构地质模型建模，参照



a. 破碎带未受影响；b, g, h 受应力较弱；c, d, f 受应力较强；e. 应力偏向左侧；i. 应力偏向右侧

图 9　破碎带边界扰动示意图

Fig. 9　Crush belt boundary disturbance diagram

上述栅状结构地质模型建模步骤，首先在全局范围内建立基岩裂缝带−基岩模型(图 11a1 ~ a4, b1 ~ b4)；其次是获取断裂面走向的趋势线，使用累计概率抽样确定破碎带(裂缝带和角砾带)的发育数量及规模，根据实时厚度更新发育规模以及与趋势线的相对距离，建立裂缝带−基岩模型(图 11c1 ~ c4, d1 ~ d4)；最后，采取类似的方式在破碎带内建立角砾带，将破碎带划分为角砾带与裂缝带，建立断裂面栅状结构地质模型(图 11e1 ~ e4, f1 ~ f4)，结果显示采取层次模拟的方式可以较好地建立断裂面栅状结构，裂缝带与角砾带在趋势线的约束下与轮廓模型走向一致，与地质认识成果相符。

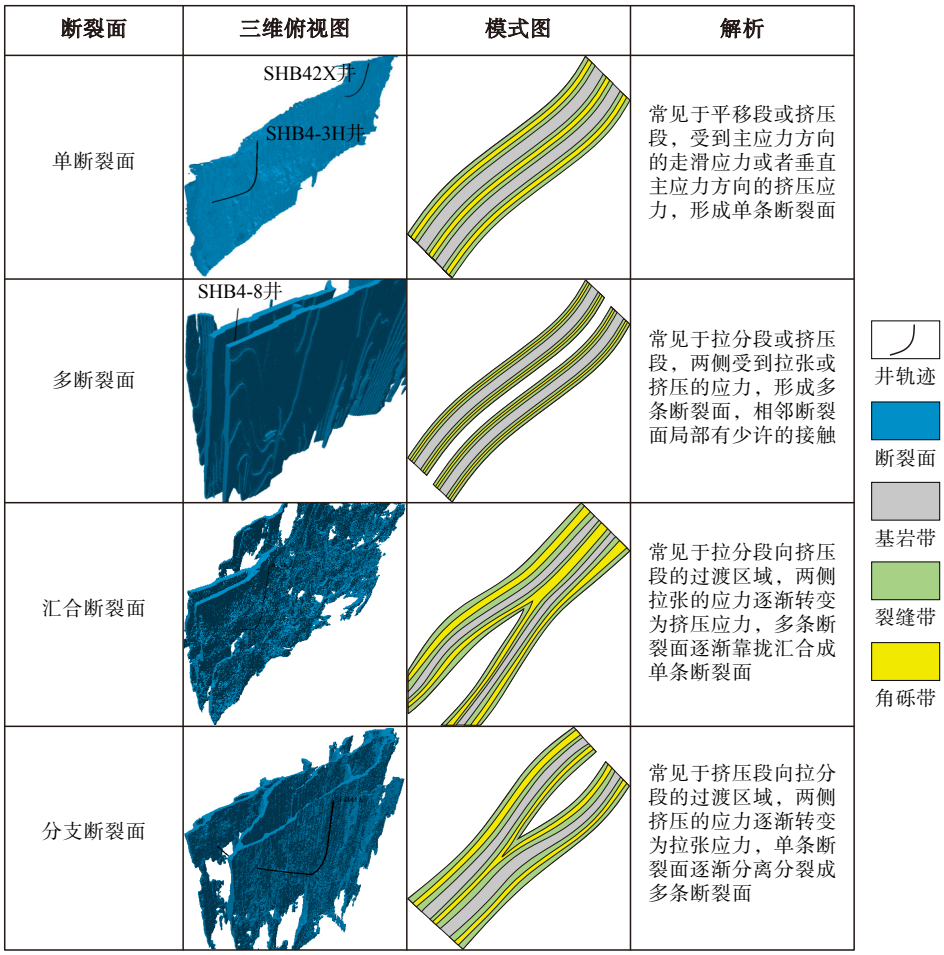


图 10　断裂面结构类型划分

Fig. 10　Classification of fracture plane structure types

3.2.2　多断裂面建模

在挤压段与拉分段，发育多条断裂面，多条断裂面之间相互独立，其趋势线并不相同。针对此类断裂面内部栅状结构刻画，关键在于对所有断裂面独立进行刻画。

在使用网格模型查找断裂面趋势线的过程中，当扫描到的左右网格为连续坐标值时，表明该网格属于同一条断裂面。当扫描到的左右网格坐标值发生中断，则表明当前网格不属于同一条断裂面，需要分别记录其中心点，沿主应力方向进行延续，查找每一条断裂面对应的趋势线。

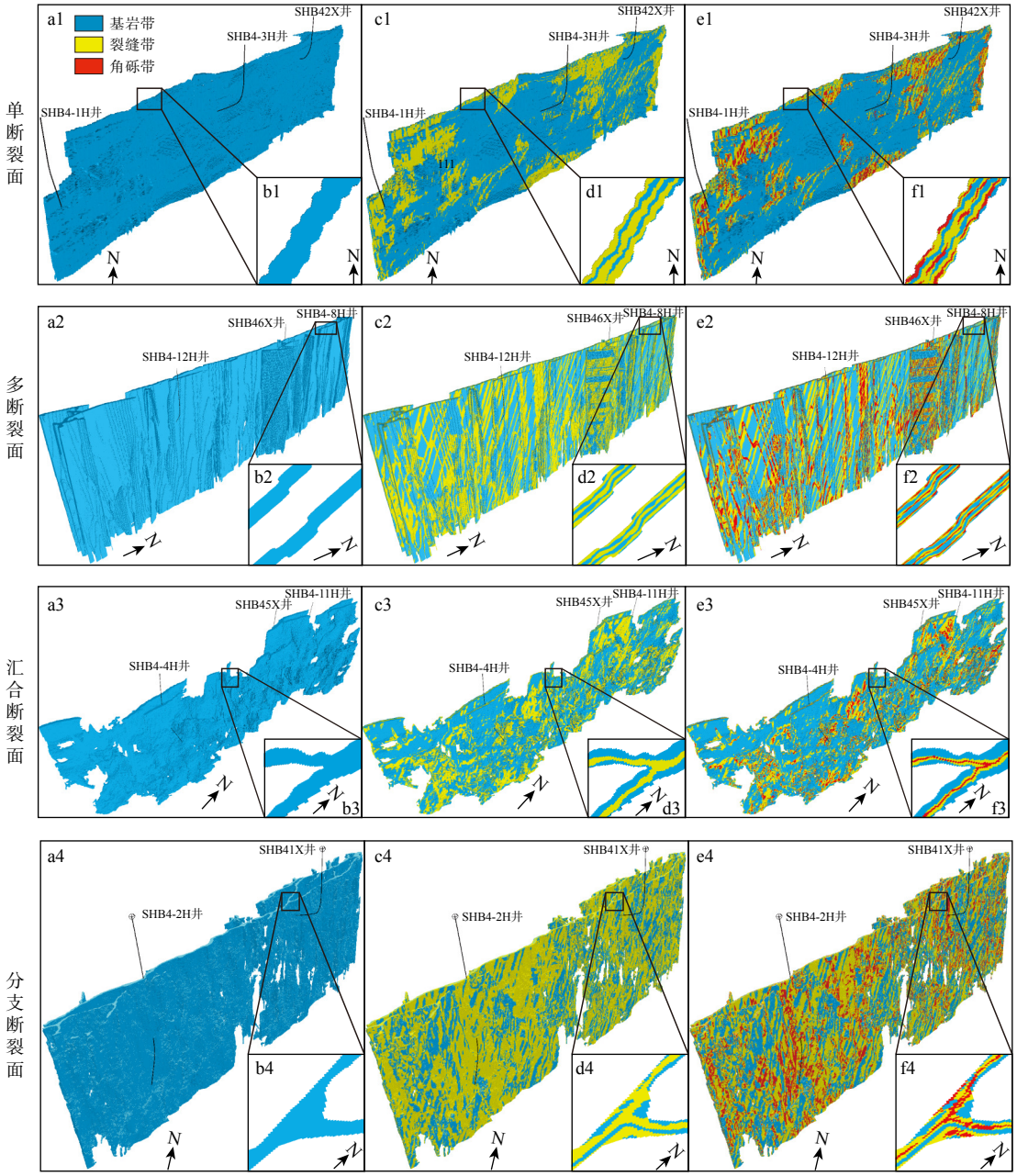
对多条断裂面进行编号，根据编号提取单条断裂面，逐条断裂面开展模拟，参考单条断裂面建模方法，逐层次刻画断裂面内部栅状结构。全部模拟完成后，即可得到多断裂面栅状结构地质模型(图 11a2 ~ f2)，结果显示对于多条断裂面，分别查找其趋势线，可以很好地建立断裂面内部栅状结构地质模型。

3.2.3　汇合断裂面建模

在拉分段向挤压段过渡的区域，走滑断裂带受到的拉张应力逐渐变为挤压应力，多条断裂面逐渐靠拢形成单条断裂面。对于汇合断裂面，需要建立汇合趋势线，约束内部栅状条带的发育，保证断裂面内部优势通道的连通。

在断裂面发生汇合之前，算法会由于查找到多段连续网格坐标值，而得到相应数量的趋势线。在发生汇合之后，由于仅能查找到单段连续网格坐标值，趋势线将发生跳跃情况。因此，需要对趋势线进行定义，在趋势线延伸的过程中，仅能基于上一网格中心点偏移单个网格，保证趋势线的连续性。并且在断裂面未发生终止之前，趋势线将持续向前延伸，避免发生中断，即可得到符合汇合断裂面轮廓形态的趋势线。

完成趋势线的查找之后，首先在全局范围内建立基岩带模型(图 11a3, b3)；其次是使用累计概率抽样的方式确定破碎带的发育数量及规模，计算每一条破碎带与趋势线的相对距离，完成破碎带的刻画(图 11c3, d3)；最后，采取类似方式在破碎带内部建立角砾带，将破碎带划分为角砾带与裂缝带，建立汇



a1 ~ a4. 断裂面轮廓模型; b1 ~ b4. 断裂面轮廓模型平面展示; c1 ~ c4. 断裂面裂缝带−基岩带模型; d1 ~ d4. 断裂面裂缝带−基岩带模型平面展示; e1 ~ e4. 断裂面栅状结构地质模型; f1 ~ f4. 断裂面栅状结构地质模型平面展示

图 11　各断裂面栅状结构层次模拟

Fig. 11　Different fracture plane grille model hierarchical simulation

合断裂面栅状结构地质模型(图 11e3, f3)。结果显示对于汇合断裂面, 算法可以查找到与轮廓模型保持一致的趋势线, 从而建立与轮廓模型走向一致的栅状结构地质模型。

3.2.4　分支断裂面建模

在挤压段向拉分段过渡的区域, 走滑断裂带受到的拉张应力逐渐变为挤压应力, 单条断裂面逐渐分裂形成多条断裂面。对于分支断裂面, 需要建立分支趋势线, 约束内部栅状条带的发育, 保证断裂面内部优势通道的连通。

在断裂面发生分叉之前, 算法由于查找到单段网格坐标值, 得到单条趋势线。断裂面发生分叉之后, 将会查找到多段连续网格坐标值, 由于仅有单条趋势线, 将会出现趋势线沿连续网格数较多的一侧偏移的情况, 而在另一侧将会从连续网格中心点位置新生成一条趋势线。现有算法将会导致新生成的趋势线与原有趋势线并不连续, 以此展开的栅状结构建模并不符合预期。判断趋势线的起点是否为断裂面的起始位置, 允许分支趋势线沿起点进行反方向查找, 直至与原有趋势线合并, 即可得到与分支断

裂面轮廓相符的分支趋势线。

完成趋势线查找之后，即可开展模拟，首先在全局范围内建立基岩模型(图 11a4, b4)；其次是使用累计概率抽样的方式确定破碎带的发育数量以及规模，计算每一条破碎带与趋势线的相对距离，完成破碎带的刻画(图 11c4, d4)；最后，采取类似方式在破碎带内部建立角砾带，将破碎带划分为角砾带与裂缝带，建立分支断裂面栅状结构地质模型(图 11e4, f4)。结果显示对于分支断裂面，算法可以查找到与轮廓模型保持一致的趋势线，从而建立与轮廓模型走向保持一致的栅状结构地质模型。

3.3　类洞穴建模

在挤压段、拉分段与平移段，均发育有数量和规模各异的类洞穴，形态为椭球状，规模从几十米到几百米不等，或分布于断裂面两侧，或受多条断裂面夹持，或横穿断裂面，受多期次走滑断裂带构造运动，内部发育与断裂面类似的栅状结构。针对类洞穴内部栅状结构的刻画，其关键在于，针对规模不一的独立个体，需要识别出类洞穴独立个体，针对每一个类洞穴，根据其规模大小进行参数设定，刻画内部栅状结构。主要实现步骤如下：

(1)对所有类洞穴设置为初始值，逐网格扫描，对扫描到的类洞穴修改初始值，使用外边界邻域搜索算法[42]查找相邻网格(图 12)，对查找到的有效网格修改初始值，重复搜索直至所有相邻网格改为统一值，完成一个类洞穴查找。

(2)扫描完整个网格模型，修改所有类洞穴初始值，完成对类洞穴编号(图 13)，根据编号选中单个类洞穴，逐个开展模拟。

(3)对于单个类洞穴，参考单断裂面模拟方法，

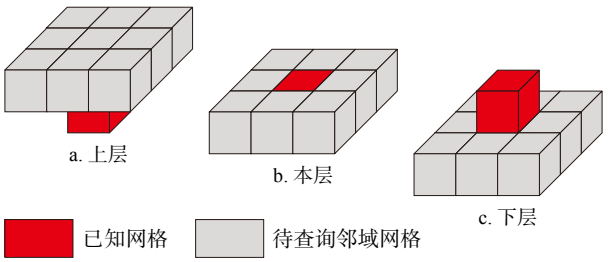


图 12　有效相邻网格查询

Fig. 12　Effective adjacent grid query

查找符合类洞穴走向的趋势线，采取层次模拟的思路，逐层次建立单个类洞穴内部栅状结构地质模型。遍历所有编号，完成所有类洞穴栅状结构地质模型的建立(图 14)。结果显示对于类洞穴，算法可以针对每一个类洞穴，查找到与轮廓模型保持一致的趋势线，从而建立与轮廓模型走向保持一致的栅状结构地质模型。

4　模型验证

基于建立的地质模型开展相控建模，对研究区所有测井数据开展统计，结果表明高孔高渗的角砾带，孔隙度范围在 4%～8%，渗透率范围在 2.5×10^{-2}～6.0×10^{-2} μm^2；裂缝带孔渗低于角砾带，孔隙度范围在 2%～5%，渗透率范围在 1.6×10^{-2}～3.0×10^{-2} μm^2；基岩带孔渗最低，孔隙度范围在 0～3%，渗透率范围在 0～2.0×10^{-2} μm^2。在建模的过程中，对基岩带、裂缝带以及角砾带赋予不同的孔渗范围，得到研究区孔隙度模型、渗透率模型以及含气饱和度模型，基于建立的物性模型，进行研究区储量的计算，对断裂面、类洞穴、杂乱体分别进行储量的计算，与生产预测的动态储量进行比较，选取更加符合生产动态的地质

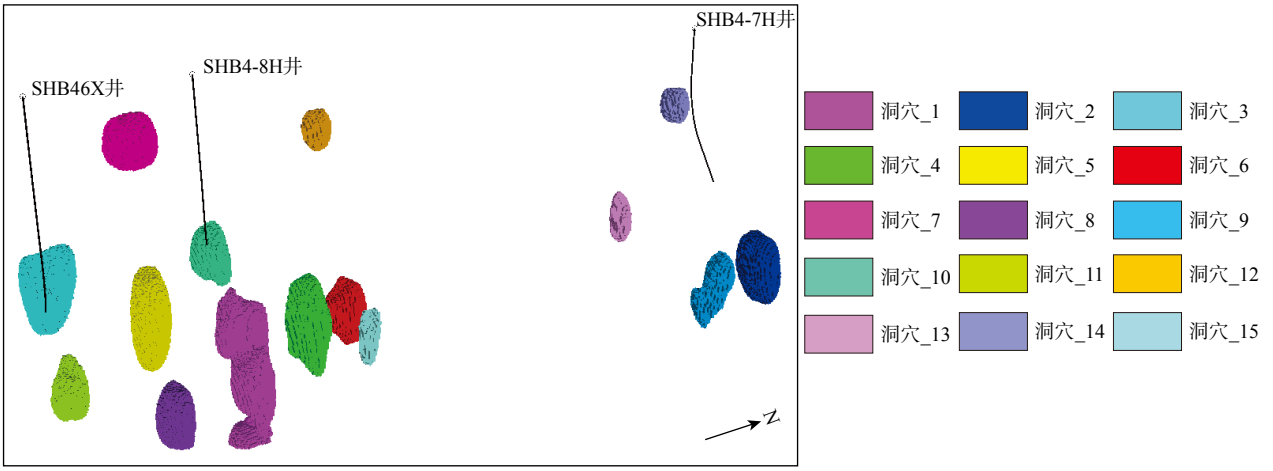
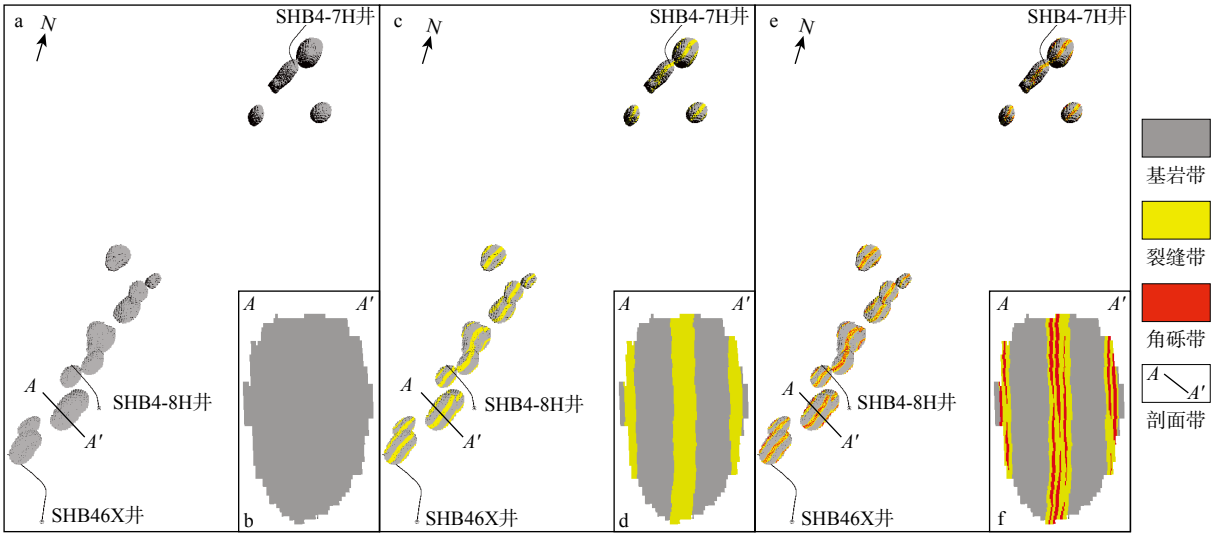


图 13　类洞穴编号

Fig. 13　Cave type number



a. 类洞穴轮廓模型；b. 类洞穴轮廓模型剖面展示；c. 裂缝带−基岩带模型；d. 裂缝带−基岩带模型剖面展示；e. 类洞穴栅状结构地质模型；f. 类洞穴栅状结构地质模型剖面展示

图 14　类洞穴栅状结构层次模拟

Fig. 14　Cave-type grille model hierarchical simulation

模型开展后续工作。研究区 43X 井组凝析气动态储量为 25 亿 m^3，计算结果显示断裂面凝析气储量为 26 亿 m^3，类洞穴凝析气储量为 15 亿 m^3，杂乱体凝析气储量为 9 亿 m^3，储量结果表明仅使用断裂面储集体指导油气田开发更符合实际生产数据。

选取仅有断裂面的断控体模型与包含断裂面、类洞穴、杂乱体的融合断控体模型开展进一步的检验，基于两种地质模型优选压力敏感影响较小的单元开展数值模拟。结果表明，在未进行修改，初始拟合情况下，SHB4-6 井实际地层压力为 48.75 MPa，仅有断裂面的断控体模型拟合结果为 49.85 MPa，一次吻合率达 97.74%(图 15a)，融合断控体模型拟合结果为 64.67 MPa，一次吻合率为 67.35%[18](图 15b)[18]。SHB4-9 井实际地层压力为 49.79 MPa，仅有断裂面的断控体模型拟合结果为 52.9 MPa，一次吻合率达 93.75%(图 15c)，融合断控体模型拟合结果为 74.29 MPa，一次吻合率为 50.79%[18](图 15d)。数值模拟历史拟合结果同样表明仅有断裂面的断控体模

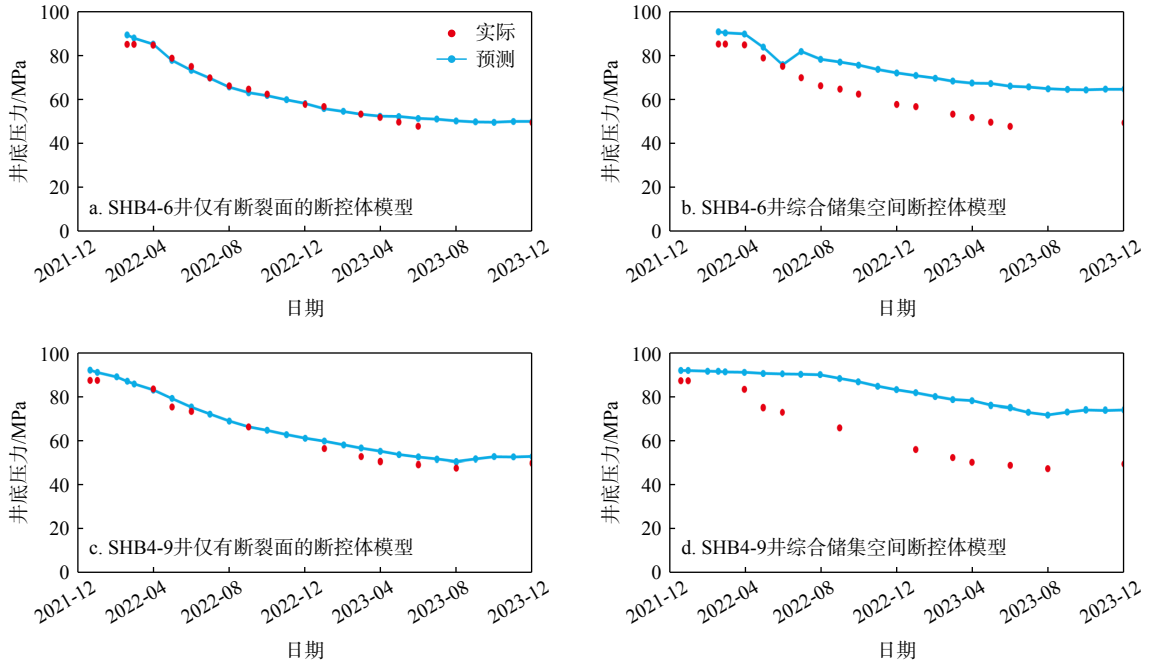


图 15　不同断控体模型压力拟合结果[18]

Fig. 15　Pressure fitting results for different fault-controlled body models

型更加符合实际生产数据，优选仅有断裂面的断控体模型指导油气田开发。

5 结 论

（1）顺北4号断裂带发育断控缝洞型储集体，主要储集空间为断裂面、类洞穴与杂乱体，分别使用结构张量、相干能量梯度与方差地震属性体可以对其进行表征。结合钻井漏失、放空数据确定地震属性体截断值，通过确定性建模方法建立断裂面、类洞穴与杂乱体轮廓模型，融合得到断控体轮廓模型。

（2）断裂面与类洞穴内部基岩带与破碎带交替发育构成栅状结构，破碎带按照破碎程度进一步划分为角砾带与裂缝带，断裂面按照形态划分为单断裂面、多断裂面、汇合断裂面与分支断裂面。针对断裂面与类洞穴特殊的构造特征，提出并应用了一种基于目标的建模方法，通过查找符合断裂面与类洞穴形态的趋势线，结合层次模拟思想，将储集体内部充填划分为多个层次，基岩带为第1层次，破碎带为第2层次，角砾带为第3层次。以趋势线为核心，随机抽样获取破碎带与角砾带的发育规模与发育频率，使用趋势线约束破碎带与角砾带发育位置，针对任意形态断裂面与类洞穴，根据其规模定义内部储层发育参数，建立断裂面与类洞穴内部栅状结构地质模型。

（3）基于笔者设计的建模方法，可以建立符合储集体走向的栅状结构地质模型，减少常规建模方法的随机性，满足测井条件数据。与传统的孔渗参数等效处理相比，笔者通过对储集体内部不同充填条带赋予不同的孔渗参数，详细表征了储集体内部的非均质性，显著提高了模型的精度和可靠性。优选断裂面、类洞穴、杂乱体融合的断控体模型与仅有断裂面的断控体模型开展油气储集空间预测研究，储量结果与数值模拟拟合结果均表明，单断裂面的断控体模型更加符合开发生产认知。本方法对于塔里木盆地顺北油气田其他断控缝洞型储集体精细地质模型建立以及油气储集空间预测具有一定的指导与借鉴意义。

所有作者声明不存在利益冲突。

The authors declare that no competing interests exist.

参考文献：

[1] 焦方正. 塔里木盆地顺北特深碳酸盐岩断溶体油气藏发现意义与前景 [J]. 石油与天然气地质, 2018, 39(2): 207-216.
JIAO F Z. Significance and prospect of ultra-deep carbonate fault-karst reservoirs in Shunbei area, Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2018, 39(2): 207-216. (in Chinese with English abstract)

[2] 王清华, 杨海军, 汪如军, 等. 塔里木盆地超深层走滑断裂断控大油气田的勘探发现与技术创新 [J]. 中国石油勘探, 2021, 26(4): 58-71.
WANG Q H, YANG H J, WANG R J, et al. Discovery and exploration technology of fault-controlled large oil and gas fields of ultra-deep formation in strike slip fault zone in Tarim Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2021, 26(4): 58-71. (in Chinese with English abstract)

[3] 曹自成, 唐大卿, 骆满嵩, 等. 塔里木盆地顺北地区中新生界断裂构造特征及演化 [J]. 地质科技通报, 2023, 42(1): 226-238.
CAO Z C, TANG D Q, LUO M S, et al. Structural characteristics and tectonic evolution of Mesozoic-Cenozoic faults in the Shunbei area, Tarim Basin[J]. Bulletin of Geological Science and Technology, 2023, 42(1): 226-238. (in Chinese with English abstract)

[4] 马永生, 蔡勋育, 李慧莉, 等. 深层-超深层碳酸盐岩储层发育机理新认识与特深层油气勘探方向 [J]. 地学前缘, 2023, 30(6): 1-13.
MA Y S, CAI X Y, LI H L, et al. New insights into the formation mechanism of deep-ultra-deep carbonate reservoirs and the direction of oil and gas exploration in extra-deep strata[J]. Earth Science Frontiers, 2023, 30(6): 1-13. (in Chinese with English abstract)

[5] 黄太柱, 蒋华山, 马庆佑. 塔里木盆地下古生界碳酸盐岩油气成藏特征 [J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(6): 780-787.
HUANG T Z, JIANG H S, MA Q Y. Hydrocarbon accumulation characteristics in Lower Paleozoic carbonate reservoirs of Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35(6): 780-787. (in Chinese with English abstract)

[6] 李源, 蔡忠贤, 张恒, 等. 塔河油田海西早期岩溶古水系识别方法及其特征 [J]. 地质科技情报, 2016, 35(4): 184-191.
LI Y, CAI Z X, ZHANG H, et al. Recognition methods and characteristics of karst drainage system in hercynian, Tahe Oilfield[J]. Geological Science and Technology Information, 2016, 35(4): 184-191. (in Chinese with English abstract)

[7] 马海陇, 杨德彬, 王震, 等. 塔河油田走滑断裂与古岩溶耦合关系研究及其对奥陶系储层发育的影响 [J]. 地学前缘, 2024, 31(5): 227-246.
MA H L, YANG D B, WANG Z, et al. Coupling relationship between strike-slip fault and paleokarst in Tahe Oilfield and its influence on the development of Ordovician reservoirs[J]. Earth Science Frontiers, 2024, 31(5): 227-246. (in Chinese with English abstract)

[8] 韩长城, 林承焰, 鲁新便, 等. 塔河油田奥陶系碳酸盐岩岩溶斜坡断控岩溶储层特征及形成机制 [J]. 石油与天然气地质, 2016, 37(5): 644-652.
HAN C C, LIN C Y, LU X B, et al. Characterization and genesis of fault-controlled karst reservoirs in Ordovician carbonate karst slope of Tahe Oilfield, Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2016, 37(5): 644-652. (in Chinese with English abstract)

[9] 鲁新便, 杨敏, 汪彦, 等. 塔里木盆地北部“层控”与“断控”型油藏特征：以塔河油田奥陶系油藏为例 [J]. 石油实验地质, 2018, 40(4): 461-469.
LU X B, YANG M, WANG Y, et al. Geological characteristics of

"strata-bound" and "fault-controlled" reservoirs in the northern Tarim Basin: Taking the Ordovician reservoirs in the Tahe Oilfield as an example[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2018, 40(4): 461-469. (in Chinese with English abstract)

[10] 李峰峰, 叶禹, 余义常, 等. 碳酸盐岩成岩作用研究进展 [J]. 地质科技通报, 2023, 42(1): 170-190.
LI F F, YE Y, YU Y C, et al. Research progress of carbonate rock diagenesis[J]. Bulletin of Geological Science and Technology, 2023, 42(1): 170-190. (in Chinese with English abstract)

[11] 鲁新便, 胡文革, 汪彦, 等. 塔河地区碳酸盐岩断溶体油藏特征与开发实践 [J]. 石油与天然气地质, 2015, 36(3): 347-355.
LU X B, HU W G, WANG Y, et al. Characteristics and development practice of fault-karst carbonate reservoirs in Tahe area, Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2015, 36(3): 347-355. (in Chinese with English abstract)

[12] LU X B, WANG Y, TIAN F, et al. New insights into the carbonate karstic fault system and reservoir formation in the southern Tahe area of the Tarim Basin[J]. Marine and Petroleum Geology, 2017, 86: 587-605.

[13] 李源, 蔡忠贤, 张恒, 等. 塔河油田 T738 井区顺层岩溶储层特征及成因 [J]. 地质科技情报, 2017, 36(2): 80-85.
LI Y, CAI Z X, ZHANG H, et al. Characteristics and genesis of bedded karstification in T738 region of Tahe Oilfield[J]. Geological Science and Technology Information, 2017, 36(2): 80-85. (in Chinese with English abstract)

[14] DENG S, ZHAO R, KONG Q F, et al. Two distinct strike-slip fault networks in the Shunbei area and its surroundings, Tarim Basin: Hydrocarbon accumulation, distribution, and controlling factors[J]. AAPG Bulletin, 2022, 106(1): 77-102.

[15] 张煜, 李海英, 陈修平, 等. 塔里木盆地顺北地区超深断控缝洞型油气藏地质−工程一体化实践与成效 [J]. 石油与天然气地质, 2022, 43(6): 1466-1480.
ZHANG Y, LI H Y, CHEN X P, et al. Practice and effect of geology-engineering integration in the development of ultra-deep fault-controlled fractured-vuggy oil/gas reservoirs, Shunbei area, Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2022, 43(6): 1466-1480. (in Chinese with English abstract)

[16] 张煜, 毛庆言, 李海英, 等. 顺北中部超深层断控缝洞型油气藏储集体特征与实践应用 [J]. 中国石油勘探, 2023, 28(1): 1-13.
ZHANG Y, MAO Q Y, LI H Y, et al. Characteristics and practical application of ultra-deep fault-controlled fracturedcavity type reservoir in central Shunbei area[J]. China Petroleum Exploration, 2023, 28(1): 1-13. (in Chinese with English abstract)

[17] 陈叔阳, 何云峰, 王立鑫, 等. 塔里木盆地顺北 1 号断裂带奥陶系碳酸盐岩储层结构表征及三维地质建模 [J]. 岩性油气藏, 2024, 36(2): 124-135.
CHEN S Y, HE Y F, WANG L X, et al. Architecture characterization and 3D geological modeling of Ordovician carbonate reservoirs in Shunbei No. 1 fault zone, Tarim Basin[J]. Lithologic Reservoirs, 2024, 36(2): 124-135. (in Chinese with English abstract)

[18] 尚浩杰, 陈叔阳, 何云峰, 等. 断控缝洞型碳酸盐岩储层结构表征与三维地质建模: 以顺北 4 号断裂带为例 [J]. 石油学报, 2024, 45(11): 1662-1679.
SHANG H J, CHEN S Y, HE Y F, et al. Structural characterization and 3D geological modeling of fault-controlled fracture-cavity carbonate reservoirs: A case study of Shunbei No. 4 fault zone[J]. Acta Petrolei Sinica, 2024, 45(11): 1662-1679. (in Chinese with English abstract)

[19] 张文彪, 段太忠, 刘彦锋, 等. 定量地质建模技术应用现状与发展趋势 [J]. 地质科技情报, 2019, 38(3): 264-275.
ZHANG W B, DUAN T Z, LIU Y F, et al. Application status and development trend of quantitative geological modeling[J]. Geological Science and Technology Information, 2019, 38(3): 264-275. (in Chinese with English abstract)

[20] LOUCKS R G, MESCHER P K, MCMECHAN G A. Three-dimensional architecture of a coalesced, collapsed-paleocave system in the Lower Ordovician Ellenburger Group, central Texas[J]. AAPG Bulletin, 2004, 88(5): 545-564.

[21] 李阳, 侯加根, 李永强. 碳酸盐岩缝洞型储集体特征及分类分级地质建模 [J]. 石油勘探与开发, 2016, 43(4): 600-606.
LI Y, HOU J G, LI Y Q. Features and hierarchical modeling of carbonate fracture-cavity reservoirs[J]. Petroleum Exploration and Development, 2016, 43(4): 600-606. (in Chinese with English abstract)

[22] LI J, CHEN G P, ZHANG B, et al. Structure and fracture-cavity identification of epimetamorphic volcanic-sedimentary rock basement reservoir: A case study from central Hailar Basin, China[J]. Arabian Journal of Geosciences, 2019, 12(2): 64.

[23] 宋志峰, 张建光. 缝洞型碳酸盐岩靶向酸压目标体分类与建模 [J]. 地质科技通报, 2021, 40(3): 78-84.
SONG Z F, ZHANG J G. Classification and modeling of targeted fracture-cave bodies in acid fracturing[J]. Bulletin of Geological Science and Technology, 2021, 40(3): 78-84. (in Chinese with English abstract)

[24] DUAN T Z, ZHANG W B, LU X B, et al. Architectural characterization of Ordovician fault-controlled paleokarst carbonate reservoirs, Tahe Oilfield, China[J]. Interpretation, 2020, 8(4): T953-T965.

[25] ZHANG W B, DUAN T Z, LI M, et al. Architecture characterization of Ordovician fault-controlled paleokarst carbonate reservoirs in Tuoputai, Tahe Oilfield, Tarim Basin, NW China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2021, 48(2): 367-380.

[26] 张文彪, 张亚雄, 段太忠, 等. 塔里木盆地塔河油田托甫台区奥陶系碳酸盐岩断溶体系层次建模方法 [J]. 石油与天然气地质, 2022, 43(1): 207-218.
ZHANG W B, ZHANG Y X, DUAN T Z, et al. Hierarchy modeling of the Ordovician fault-karst carbonate reservoir in Tuoputai area, Tahe Oilfield, Tarim Basin, NW China[J]. Oil & Gas Geology, 2022, 43(1): 207-218. (in Chinese with English abstract)

[27] 张文彪, 段太忠, 何治亮, 等. 碳酸盐岩古溶洞层级约束地质建模方法探讨: 以塔河油田奥陶系某缝洞单元为例 [J]. 地质科技通报, 2022, 41(3): 273-281.
ZHANG W B, DUAN T Z, HE Z L, et al. Hierarchical constraint geological modelling method for carbonate paleokarst caves: A case study of Ordovician fracture-cavern unit in Tahe Oilfield[J]. Bulletin of Geological Science and Technology, 2022, 41(3): 273-281. (in Chinese with English abstract)

[28] 谢鹏飞, 侯加根, 汪彦, 等. 碳酸盐岩缝洞型储层多元信息融合建模方法在塔河油田十二区奥陶系油藏的应用 [J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2023, 47(3): 1-14.
XIE P F, HOU J G, WANG Y, et al. Application multi-informa-

tion fusion modeling of fracture-vuggy reservoir in Ordovician reservoir of 12th block in Tahe Oilfield[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2023, 47(3): 1-14. (in Chinese with English abstract)

[29] 胡迅, 侯加根, 刘钰铭. 多源断控岩溶型溶洞训练数据集构建和生成对抗网络三维建模应用 [J]. 石油科学通报, 2024, 9(3): 422-433.
HU X, HOU J G, LIU Y M. Construction of a multi-source fault-controlled karst cave training dataset and application in three-dimensional modelling using generative adversarial networks[J]. Petroleum Science Bulletin, 2024, 9(3): 422-433. (in Chinese with English abstract)

[30] 姜忠正, 唐大卿, 沙旭光, 等. 塔里木盆地塔中隆起中北部地区断裂构造特征及演化 [J]. 地质科技通报, 2024, 43(3): 120-132.
JIANG Z Z, TANG D Q, SHA X G, et al. Structure and evolution of faults in central and northern parts of Tazhong Uplift, Tarim Basin[J]. Bulletin of Geological Science and Technology, 2024, 43(3): 120-132. (in Chinese with English abstract)

[31] 李映涛, 邓尚, 张继标, 等. 深层致密碳酸盐岩走滑断裂带核带结构与断控储集体簇状发育模式: 以塔里木盆地顺北4号断裂带为例 [J]. 地学前缘, 2023, 30(6): 80-94.
LI Y T, DENG S, ZHANG J B, et al. Fault zone architecture of strike-slip faults in deep, tight carbonates and development of reservoir clusters under fault control: A case study in Shunbei, Tarim Basin[J]. Earth Science Frontiers, 2023, 30(6): 80-94. (in Chinese with English abstract)

[32] 王来源, 龚伟, 李弘艳. 超深断控碳酸盐岩缝洞储集体地震预测与井轨迹设计: 以顺北油田4号断裂带中北部为例 [J]. 复杂油气藏, 2024, 17(3): 288-295.
WANG L Y, GONG W, LI H Y. Seismic prediction and well trajectory design for ultra-deep fault-controlled carbonate fractured cave reservoirs: Taking the north-central part of fault zone No. 4 in the Shunbei Oilfield as an example[J]. Complex Hydrocarbon Reservoirs, 2024, 17(3): 288-295. (in Chinese with English abstract)

[33] 刘军, 龚伟, 黄超, 等. 塔里木盆地顺北5号走滑断裂带北段超深层裂缝储层的地震属性表征方法研究及应用 [J]. 地质科技通报, 2022, 41(4): 1-11.
LIU J, GONG W, HUANG C, et al. Seismic attribute characteristics of an ultradeep fractured- reservoir in the northern section of Shunbei No. 5 strike-slip fault zone in Tarim Basin[J]. Bulletin of Geological Science and Technology, 2022, 41(4): 1-11. (in Chinese with English abstract)

[34] 文山师, 李海英, 洪才均, 等. 顺北油田断溶体储层地震响应特征及描述技术 [J]. 断块油气田, 2020, 27(1): 45-49.
WEN S S, LI H Y, HONG C J, et al. Technology of seismic response characteristics and description of fault-karst reservoir in Shunbei Oilfield[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2020, 27(1): 45-49. (in Chinese with English abstract)

[35] 刘宝增, 漆立新, 李宗杰, 等. 顺北地区超深层断溶体储层空间雕刻及量化描述技术 [J]. 石油学报, 2020, 41(4): 412-420.
LIU B Z, QI L X, LI Z J, et al. Spatial characterization and quantitative description technology for ultra-deep fault-karst reservoirs in the Shunbei area[J]. Acta Petrolei Sinica, 2020, 41(4): 412-420. (in Chinese with English abstract)

[36] DEUTSCH C V, WANG L B. Hierarchical object-based stochastic modeling of fluvial reservoirs[J]. Mathematical Geology, 1996, 28(7): 857-880.

[37] JONES T A. Using flowpaths and vector fields in object-based modeling[J]. Computers & Geosciences, 2001, 27(2): 133-138.

[38] DEUTSCH C V, TRAN T T. Fluvsim: A program for object-based stochastic modeling of fluvial depositional systems[J]. Computers & Geosciences, 2002, 28(4): 525-535.

[39] BECKER J K, BONS P D, JESSELL M W. A new front-tracking method to model anisotropic grain and phase boundary motion in rocks[J]. Computers & Geosciences, 2008, 34(3): 201-212.

[40] XU J, FENG D M, WU J, et al. Robust centerline extraction for tree-like blood vessels based on the region growing algorithm and level-set method[C]//Anon. 2009 Sixth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery. New York: IEEE, 2009: 586-591.

[41] KARGUPTA H, DATTA S, WANG Q, et al. On the privacy preserving properties of random data perturbation techniques[C]//Anon. Third IEEE International Conference on Data Mining. New York: IEEE, 2003: 99-106.

[42] KIRKPATRICK S, GELATT C D, VECCHI M P. Optimization by simulated annealing[J]. Readings in Computer Vision, 1987 : 606-615.

Summary for “断控缝洞型油气藏储集体建模研究：以顺北 4 号断裂带为例”

Reservoir modeling of fault-controlled fractured-cavity reservoirs: A case study of Shunbei fault zone No.4

HE Yunfeng[1]，CHEN Shuyang[1]，LIU Yaoyu[1]，WANG Lixin[2]，DING Xudong[1]，SHANG Haojie[2]，LI Wenliang[1]，LIU Jie[1]，XIAO Hong[1]，YIN Yanshu[2*]

1. SINOPEC Northwest Oilfield Company, Urumqi 830000, China；
2. Key Laboratory of Exploration Technologies for Oil and Gas Resources, Ministry of Education, Yangtze University, Wuhan 430100, China

First author，E-mail：heyunfeng2316697@163.com

* Corresponding author， E-mail：yys@yangtzeu.edu.cn

Abstract：[**Objective**] Carbonate fault-controlled fracture-cavity reservoirs are present in the Shunbei area of the Tarim Basin，NW China. Existing modeling algorithms struggle to accurately characterize the internal structure. Urgently needed is research on reservoir modeling algorithms that incorporate the internal structural characteristics of the fault-controlled body. This will establish a detailed three-dimensional geological model aligned with geological understanding and clarify the primary reservoir spaces for oil and gas. [**Methods and Results**] In this paper，taking the Shunbei fault zone No.4 as an example，an object-based modeling method is proposed and applied for the first time. Combined with the idea of hierarchical simulation，the fracture plane and the development scale of caves type in the extrusion，pull-apart and translation stress sections are quantitatively characterized. By designing a grille-based reservoir trend line tracking algorithm，the center line that conforms to the development trend of the reservoir is found，and the idea of hierarchical simulation is integrated to describe the fracture plane and the grille-like filling structure model inside the cave type layer by layer. Based on the established geological model，a property model is created using the phase-controlled method. This model is used for reserve calculation and numerical simulation. Preference is given to the fault-controlled body model with only fracture planes. The fit between the calculated fracture plane reserves and dynamic reserves is 96%. The model also fits bottom hole pressure and actual production data，with an error less than 10%. The main reservoir types in the study area include fracture planes，caves type，and disordered bodies. A fault-controlled body contour model is established for different seismic attribute bodies. Logging interpretation identifies fracture plane and cave type internal developments within the bedrock and crush belt，forming an ordered grille structure. Crush belt further divided into breccia belt and fracture belt. An object-based modeling method creates a three-dimensional geological model of the reservoir's grille structure. [**Conclusion**] The model optimized for fracture plane reservoirs，aligns with drilling and logging data and geological understanding. It provides a reference for guiding oil and gas reservoir development.

Key words: Tarim Basin；Shunbei Oilfield；fault-controlled body；3D geological modeling；grille modeling；fault zone；reservoir

Received：2024-09-18；Revised：2024-11-24；Accepted：2025-02-11

doi: 10.19509/j.cnki.dzkq.tb20240535