

裂缝三维地质建模的难点与对策

聂永生^{1,2}, 田景春^{1,2}, 魏生祥³, 孙利^{1,2}

(1.成都理工大学 沉积地质研究院, 四川 成都 610059; 2.成都理工大学 油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 四川 成都 610059; 3.中国石化中原油田分公司 物探研究院, 河南 濮阳 457001)

摘要: 裂缝三维地质建模通常包括裂缝强度建模、离散裂缝网络建模和裂缝属性建模3个主要步骤,在这3个步骤中面临着如何将裂缝信息和成果归一化以及如何三维量化描述裂缝开度和渗透率属性参数等诸多难点。对上述问题进行了初步探讨,并总结出具体解决方法。首先,利用成像测井或常规测井裂缝解释的数据作为基本数据点,以动态分析及地震检测等资料为约束条件,选用合适的地质统计学方法建立裂缝强度模型;其次,综合利用岩心、测井及动态监测等研究成果,建立离散裂缝网络模型;最后,运用岩心裂缝分析和经验公式相结合的方式获得初步的裂缝属性模型,并根据试井分析等方法获得的裂缝渗透率等参数进行调整,得到最终的裂缝属性模型。运用上述方法结合国际主流的裂缝研究与建模软件,可定量描述裂缝的三维分布,为油藏数值模拟及油藏研究提供更好的支持。

关键词: 裂缝 蚂蚁体 裂缝强度模型 离散裂缝网络模型 裂缝属性模型

中图分类号: TE112.3

文献标识码: A

文章编号: 1009-9603(2013)02-0039-03

随着中国的裂缝性油藏和受裂缝影响的油藏在已发现油气藏中所占比例逐渐增大,其储量和产量所占比例也逐渐上升,针对储层裂缝的研究日益受到重视^[1-2]。由于裂缝成因的复杂性和发育的多阶段性,致使对储层裂缝的预测及评价仍处于探索阶段;虽然中外目前已形成很多研究方法,但尚缺乏一种完善的、能全面解决裂缝定量预测问题的数值模拟方法^[3-4]。如何综合运用岩心观测、测井识别^[5-7]、地震检测^[8-10]、动态监测^[11]、物理模拟及数值模拟等各项裂缝研究成果建立合理的裂缝三维地质模型成为油藏描述的关键。目前主流的裂缝三维地质建模软件有Petrel软件的裂缝建模模块,其主要包括建立裂缝强度模型、离散裂缝网络模型和裂缝属性模型等3个步骤;Fracac软件则加强了断层分析和利用试井资料进行反演的功能。但如何根据诸多的裂缝观测、检测以及预测成果构建裂缝强度模型,如何确定裂缝长度、宽度及开度等几何特征,如何定量描述裂缝渗透率等属性则成为裂缝三维地质建模的主要难点,而这些难点恰好出现于主流裂缝三维地质建模软件的3个步骤中。为此,笔者结合大庆油区某区块的实际资料,对各个难点进行深入探讨,并提出针对性的解决方案,以期对裂缝性油藏数值模拟和油藏分析提供更加可靠和精

确的地质模型。

1 裂缝强度模型的构建

裂缝强度模型的构建是整个裂缝三维地质建模的基础和核心,其难点在于如何将不同方法获得的裂缝信息进行整合。针对不同研究成果的特点,通常采取3种不同的方法来进行处理。

第一,将成像测井、岩心观察及常规测井解释的裂缝数据作为裂缝强度模拟的基础数据点,并运用合适的算法进行模拟。单井纵向上连续的裂缝数据是建立裂缝强度模型的基础数据,岩心观察、成像测井和常规测井^[5-7]均可提供该类数据,其中岩心观察和成像测井资料是裂缝三维地质建模较为理想的数据,但很多油田的岩心及成像测井数据有限,因此,在实际工作中仍须利用常规测井资料进行裂缝解释。

第二,将油田动态资料中的裂缝分析结果等确定性的数据直接生成裂缝强度或者留作校验数据。根据油田动态资料进行裂缝分析主要是确定有效裂缝的方位以及推算裂缝的渗透率等^[1]。该类资料一方面可作为已知条件嵌入模型,另一方面可检验其他各项裂缝研究结果是否准确。裂缝强度

收稿日期:2013-01-15。

作者简介:聂永生,男,在读博士研究生,从事沉积学和石油地质学等方面的研究。联系电话:15801329061, E-mail:29317983@qq.com。

的赋值主要是根据单井裂缝解释的成果,一般情况下可等于测井解释的最大值;与单井裂缝解释成果一样,裂缝强度的具体值须根据裂缝渗透率等属性数据进行调整。

第三,将地震检测^[12]、地质分析及数值模拟等研究成果作为裂缝强度模型的约束条件。地震检测、地质分析及数值模拟等研究成果可构建为趋势面或趋势体对裂缝强度模型进行约束,在实际的建模工作中常利用加权的方式将不同性质的成果进行归一化。首先,对各项参数与裂缝发育的关系进行评估,将与裂缝发育相关的参数纳入约束体中;其次,权值主要取决于该参数与裂缝发育程度的相关程度。在大庆油区某区块的裂缝三维地质建模过程中,主要运用挠曲度、蚂蚁体自动追踪及距断层水平距离等成果来构建约束体。研究表明,研究区葡一段顶面的挠曲度与动态分析的裂缝发育区具有较好的相关性,即裂缝沟通区域多位于高

挠曲度的位置。蚂蚁体自动追踪成果对断层、大尺度裂缝以及裂缝发育带具有一定的响应,可利用该成果直接生成裂缝离散网络模型所需的裂缝片,也可作为约束条件(图1a);研究区蚂蚁体自动追踪成果与常规测井解释的裂缝砂岩厚度之间具有相关性,但如果运用地震体属性进行约束则需精度较高的速度场对其进行精确的时深转换。此外,从统计结果来看,井点的裂缝砂岩厚度与距断层的水平距离之间的关系不明确,但表现出一定的负相关,即裂缝发育程度高的井多位于断层附近。因此,将挠曲度、蚂蚁体自动追踪成果和距断层的水平距离按照不同的权重相加,得到作为裂缝强度模拟的约束体(图1b)。以测井裂缝解释数据作为基础数据点,在约束体的控制下,选用合适的模拟算法,建立裂缝强度模型(图1c)。约束体的控制程度是可选的,其强弱主要取决于各项成果与裂缝发育的相关程度。

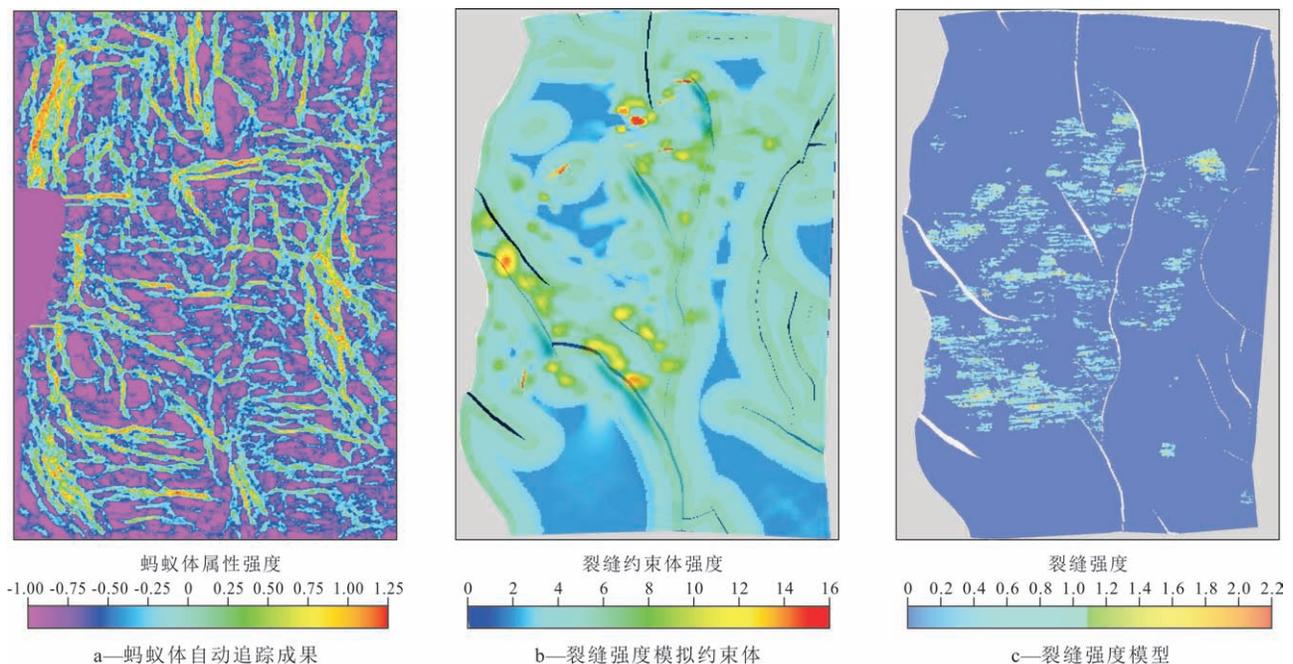


图1 大庆油区某区块葡一段裂缝属性

2 离散裂缝网络模型的建立

不同成因和性质的裂缝须单独建立离散裂缝网络(DFN)模型,理论上须对每一类裂缝分别构建裂缝强度模型。利用测井、地震及动态监测等研究方法提供不同类别裂缝的分布特征,模型建立的难度因裂缝期次和种类的不同而有所差异。在建立DFN模型的过程中,需要裂缝的形状、延伸距离、倾角和方位角等参数^[13],主要依据动态分析、监测及

成像测井等资料获得,其中根据前期成果可得到相对准确的倾角和方位角;裂缝的形状则采用简单的矩形,其纵向切深可根据岩心和成像测井资料界定;延伸距离较难精确确定,一般根据经验给出裂缝长度和高度的比值,再根据裂缝属性模型的数值分布进行调整。岩心观察及无源微震检测等成果^[14]表明,大庆油区某区块影响开发的裂缝主要为东西走向,此外还发育1组南北走向的裂缝,因此,重点建立东西走向DFN模型。根据裂缝强度模型及上述裂缝参数建立了2组DFN模型。

裂缝建模的实质主要是根据已有的裂缝研究成果和认识量化描述裂缝的三维空间分布。在岩性、成岩作用和构造演化等条件较为复杂的区块,其裂缝的类别较多,分别建立各组裂缝的DFN模型的难度较大,并且难以依据建模方法来解决该难题,而建立的DFN模型是否合理则主要取决于对裂缝研究的深入程度。

3 裂缝属性模型的建立

裂缝属性模型的建立通常包括2个步骤,首先计算出裂缝的开度,然后对DFN模型粗化得到裂缝属性模型。

裂缝的开度可通过直接测量岩心裂缝获取,也可通过测井资料计算得出;例如斯伦贝谢公司Sibbit等提出利用双侧向差异来估算裂缝的开度^[15],此外还可以使用经验公式计算裂缝开度,常用的有裂缝开度与裂缝面积经验关系式等。目前利用岩心观测和经验关系式相结合的方法是比较合理且便于运用的,而如何将测井解释获得的裂缝开度甚至是裂缝的孔隙度和渗透率运用于生产性的裂缝属性建模中是亟需解决的问题。

根据裂缝的DFN模型粗化得到双孔或双渗介质油藏数值模拟所需要的裂缝属性模型是比较复杂的过程,商业化裂缝建模软件均提供了不同的统计算法来完成该项工作。笔者主要运用Oda算法建立了包含裂缝孔隙度和渗透率等参数的初步裂缝属性模型。在油田动态分析中具有大量的通过试井和岩心裂缝实验等方法获得的裂缝渗透率资料,须根据这些资料对裂缝的强度、裂缝片的几何形状以及开度等参数进行反复调整,进而得到最终的裂缝属性模型。

4 结束语

裂缝三维地质建模的难点是其研究目标的复杂性和研究方法的多元性造成的。笔者提出的裂缝三维地质建模难点的解决方案是限于当前裂缝研究技术水平的暂时策略,加强对裂缝的基础研究仍是解决裂缝性油藏建模及其研究工作的根本。裂缝三维地质建模中最基础和繁琐的工作是构建裂缝强度模型,其难点在于如何综合并合理地利用不同裂缝研究方法提供的成果,笔者提出运用加权的方式将不同成果进行归一化,目的是更加突出各

种方法预测结果一致的区域。针对离散裂缝网络和裂缝属性模型建立过程中难以界定的裂缝长度、开度等几何参数,提出利用岩心、测井及动态分析等资料获得观测或计算数据,或由经验关系式给出初次数值,然后根据裂缝属性与已知资料的吻合程度,不断对方法进行调整。基于当前裂缝研究的技术水平,运用上述方法建立的裂缝三维地质模型一方面能较好地反映裂缝的空间分布,另一方面基本可以满足油藏数值模拟和油藏分析的要求。为进一步提高裂缝三维地质建模的精度,须不断加强对裂缝预测技术、模拟方法及粗化算法等方面的基础研究。

参考文献:

- [1] 童亨茂.储层裂缝描述与预测研究进展[J].新疆石油学院学报,2004,16(2):9-14.
- [2] 何雨丹,魏春光.裂缝型油气藏勘探评价面临的挑战及发展方向[J].地球物理学进展,2007,22(2):537-543.
- [3] 周新桂,张林炎,范昆.油气盆地低渗透储层裂缝预测研究现状及进展[J].地质论评,2006,52(6):777-782.
- [4] 谢风猛.东营凹陷平方王—平南潜山油藏裂缝性储层描述[J].油气地质与采收率,2010,17(3):42-44.
- [5] 李军,郝天珧,赵百民.地震与测井数据综合预测裂缝发育带[J].地球物理学进展,2006,21(1):179-183.
- [6] 宋梅远,张善文,王永诗,等.沾化凹陷沙三段下亚段泥岩裂缝储层岩性分类及测井识别[J].油气地质与采收率,2011,18(6):18-22.
- [7] 尹志军,黄述旺,陈崇河.用三维地震资料预测裂缝[J].石油勘探与开发,1999,26(1):78-80.
- [8] 张丽艳,赵国欣,乌洪翠,等.裂缝性碳酸盐岩储层裂缝网络测井响应特征——以沾化凹陷富台潜山为例[J].油气地质与采收率,2011,18(5):34-36.
- [9] 巫芙蓉,李亚林,王玉雪,等.储层裂缝发育带的地震综合预测[J].天然气工业,2006,26(11):49-51.
- [10] 王永刚,李振春,刘礼农,等.利用地震信息预测储层裂缝发育带[J].石油物探,2000,39(4):57-63.
- [11] 李民河,康健德,赵增义,等.微地震波裂缝监测技术在油田裂缝研究中的应用——以克拉玛依八区下乌尔禾组油藏为例[J].油气地质与采收率,2004,11(3):16-18.
- [12] 张淑娟,王延斌,梁星如,等.蚂蚁体技术在潜山油藏裂缝预测中的应用[J].断块油气田,2011,18(1):51-54.
- [13] 杨坚,吕心瑞,李江龙,等.裂缝性油藏离散裂缝网络随机生成及数值模拟[J].油气地质与采收率,2011,18(6):74-77.
- [14] 王秀娟,杨学保,迟博.大庆外围低渗透储层裂缝与地应力研究[J].大庆石油地质与开发,2004,23(5):88-90.
- [15] 张兴刚,张旭.测井裂缝参数估算方法研究[J].天然气工业,2003,23(4):31-34.

编辑 邹滢滢

Abstract: Exploration in the area between Dingjiawuzi and Bamianhe tectonic zones has achieved a breakthrough in the east part of South Slope of Dongying sag. The E_{s4} oil and gas reservoir was found in Block Wang146. The reservoir has a burial depth of 1 462.9– 1 748.5 m, but the physical properties of crude oil shows the characteristic of high density, high viscosity and low freezing point, that is, a typical deep viscous oil reservoir. The formation mechanism of the reservoir is worth discussing. Based on the analysis of the information regarding the single well hydrocarbon and characteristics of the remarkable composition in the crude oil, it is clarified that the main source of hydrocarbon is generated in source rocks of E_{s4} ; during the process of migrating hydrocarbon outward from the oil-bearing depression, the degradation occurred; It is determined further that this area has 2 dominant hydrocarbon migration directions according to the differences in the degree of degradation of crude oil. The main migration path is along Dingjiawuzi structural trend, and another is along Bamianhe tectonic zones trend, and the degradation in the migration path of Dingjiawuzi structural trend is the strongest, therefore, it has caused the formation of the E_{s4} deep viscous oil reservoir in the Wang146 area. It is still of broad exploration prospects along the dominant hydrocarbon migration path.

Key words: hydrocarbon migration; physical properties of crude oil; E_{s4} ; Dingjiawuzi tectonic zone; Dongying sag

Xu Wei, Department of Exploration Management Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying City, Shangdong Province, 257022, China

Sun Minghe, Cheng Lu, Tian Jijun. Sedimentary micro-facies in H₃IV of block Bi123–124, Gucheng oilfield, Henan. *PGRE*, 2013,20(2):34–38.

Abstract: The structure is complicated in the block Bi123–124 of the Guchen oilfield, and the reservoir is controlled by the lithology and structure. The crossflow is very serious in the study area, and the adjustment of the injection and production is difficult. On the basis of the data of core, well log, grain size, we identify the signs of sedimentary facies, and study the micro-facies of the reservoir sedimentary facies. The result shows that the IV sandstone layer of the second member of He Formation has developed delta front subfacies deposit, which can be divided into six types of sedimentary microfacies and creeping turbidite sandbody. The sedimentary microfacies include subsea distributary channel, river flank, mouth bar, distal bar, front sheet sand and distributary inter channel. The shape and distribution and superposition of the reservoirs sand are analyzed, so we can find that the subsea distributary channel and mouth bar are the favorable facies belts of the study area. All of above proofs that the oilfield in the studied is controlled by the structure and lithology. The result of the study can provide geological basis for the next step of the adjustment of the exploration.

Key words: sedimentary micro-facies; single well facies; logging facies; block Bi123–124; Gucheng oilfield

Sun Minghe, College of Geological Exploration and Engineering, Xinjiang University, Urumqi, Xinjiang, 830046, China

Nie Yongsheng, Tian Jingchun, Wei Shengxiang et al. Difficulties and treatments in three-dimensional geological modeling of fractural reservoirs. *PGRE*, 2013,20(2):39–41.

Abstract: Three-dimensional quantitative analysis of fracture is not only the comprehensive embodiment of fracture research results, but also the objective need of fractural reservoirs study and numerical reservoir simulation. With the advance of logging recognition, seismic detecting, dynamic monitoring, physical modeling and numerical simulation methods, we can get more valuable materials than before which bring even higher challenges in fracture three-dimensional modeling. Three main steps included in the fracture three-dimensional quantitative analysis, i.e., fracture intensity modeling, DFN modeling and fracture network properties modeling. It is the most important and the most difficult thing that how to unify the fracture information and research results, how to calculate fracture attributes such as aperture and permeability. This paper has proposed the related solutions and discussions, introduced a method which uses imaging or conventional logging data, dynamic analysis results, seismic detecting data and other data to build fracture intensity model, and uses core fracture data in combination with empirical formulas to build fracture properties models. Combining this method with international fracture modeling software, we can quantitatively describe the three-dimensional distribution of fracture and provide solid support for reservoir study and numerical simulation.

Key words: fracture; ant-track attribute volume; fracture density properties; discrete fracture network model; fracture network properties

Nie Yongsheng, Depositional Geology Research Institute, Chengdu University of Technology, Chengdu City, Sichuan Province, 610059, China

Li Youqiang, Li Ke. Study on sedimentary facies of down-Cretaceous formation of Zuunbyan 3D area in Mongolia. *PGRE*, 2013,20(2):42–44.

Abstract: Due to lack of sufficient data previous research mostly studied the petroleum geology character with limited 2D seismic data and logging data, so, the understanding is limited. On the basis of former understanding, and combined the 3D seismic data with core, well logging and logging data of new wells, we deeply studied the sedimentary facies and rules of distribution of down-Cretaceous in Zuunbyan sub-basin 3D work area, the author thought that, in the period of down-Cretaceous deposition, under the control of adjacent