

裂缝性潜山变质岩储层地质建模方法 ——以锦州 25-1S 潜山为例

吕坐彬, 赵春明, 霍春亮, 张丙亮, 曹树春, 杨庆红

中海石油(中国)有限公司天津分公司渤海油田勘探开发研究院, 天津 300452

摘要 针对裂缝性储层地质建模的难点和重点,在对渤海海域特殊变质岩潜山裂缝性油藏地质、物探、测井综合研究的基础上,针对国内外裂缝性储层地质建模的技术方法,提出了双重介质油藏储层的4步建模方法:①建立基质和裂缝共用的三维构造模型;②建立基质系统的属性参数模型;③建立裂缝网络几何模型,并将裂缝几何模型等效成裂缝参数定量模型;④动态校验模型。首次利用叠前地震反演资料做约束对裂缝发育的密度进行定量预测,并在此基础上根据成像测井解释的裂缝参数的统计规律对裂缝的三维分布进行预测,建立三维可视化的裂缝网络模型,将离散的裂缝网络转化为量化的三维参数模型。以锦州 25-1S 油田裂缝性潜山基岩油藏为例,对裂缝性油藏(尤其是潜山油藏)的储层地质建模技术进行探讨和尝试。在对太古界潜山油藏构造、岩性、裂缝等精细描述的基础上,利用 Fred 和 Petrel 等先进地质建模软件建立了油藏的三维构造模型、裂缝空间展布及储层属性模型,对该裂缝性油藏进行了三维储层定量化表征,为该油藏开发方案的优化及实施奠定了基础。

关键词 裂缝性储层;双重介质;构造建模;裂缝建模

中图分类号 TE19

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2010)13-0068-05

Geological Modeling of Fractured Buried Hill Mutation Reservoir: With JZ25-1S Buried Hill as an Example

LU Zuobin, ZHAO Chunming, HUO Chunliang, ZHANG Bingliang, CAO Shuchun, YANG Qinghong

Bohai Oilfield Exploration and Development Institute, Tianjin Branch of China National Offshore Oil Corporation Limited, Tianjin 300452, China

Abstract Considering the complexity of the fractured reservoir characterization, based on current geological modeling methods and technologies for fractured reservoirs at home and abroad, a four-step geological modeling method is proposed for dual medium reservoirs, that is, a structure model to be used by the matrix system and the fracture system in the first step, petro-physical parameter models for the matrix system in the second step, a geometrical model for the fracture net and then a 3D parameter model in the third step, and a model to be checked with dynamic data in the fourth step. The forecast fracture density is used as a constraint condition for the pre-superimposition seismic inversion, and then, based on the detailed logging data, the special fractured buried hill mutation reservoir of Bohai sea area is analyzed. The 3D distribution of the fractures is forecast according to the interpretation results of the imaging logging, the 3D fracture piece model is visualized, finally the discrete fracture pieces are transformed into 3D continuous quantificational property models. With Jinzhou25-1S oilfield fractured buried hill mutation reservoir as an example, based on the elaborate description of structure, lithology and fractures of the fractured reservoir, the reservoir 3D models of structure, fracture distribution and properties are established by means of such modeling softwares as Fred, Petrel etc and the quantificational characters of the fractured reservoir are described.

Keywords fractured reservoir; dual medium; structure modeling; fracture modeling

收稿日期: 2010-04-07

基金项目: 中国海洋石油总公司“十一五”重点科技攻关项目(2007CNB00415)

作者简介: 吕坐彬, 工程师, 研究方向油气田开发地质及地质建模, 电子信箱: lvzb@cnooc.com.cn

0 引言

裂缝在储层中发育极为普遍。在砂岩、泥页岩和碳酸盐岩甚至火成岩、变质岩等各类岩石的裂缝性储层中已获得大量的工业油气流。据统计,裂缝性油气田储量约为中国油气探明储量的 1/3。储层裂缝的精细描述和预测是石油地质界的一个世界性难题。

关于储集层裂缝的研究已形成一个庞大的研究体系。裂缝的研究方法很多,但在具体应用中,未得到有机结合、相互验证及补充。储集层裂缝评价研究思路可概括为:以目标区及其周围缘沉积和构造特征研究为基础,以露头、岩心裂缝观测描述、测井、地震裂缝探测识别、动态观测资料等为依据,用地质分析、概率统计、实例对比和数值模拟等方法进行综合研究,确定裂缝的成因机制和分布规律,建立三维储集层裂缝参数定量分布地质模型,达到描述和预测储集层裂缝分布的目的,最终确定储集层裂缝各个参数及其时空变化规律。

由于裂缝分布的复杂性,对裂缝型储层的研究难度很大,该领域的很多研究仍处于探索性阶段。尤其是裂缝性储层的三维地质建模技术,目前仍是一项困扰地质研究人员的前沿课题。本文以渤海油田锦州 25-1 南(JZ25-1S)太古界潜山油藏为例,探讨裂缝性潜山变质岩储层地质建模方法及应用。

1 研究区地质概况

JZ25-1S 太古界变质岩潜山油藏位于渤海海域辽西低凸起上(图 1),是目前国内发现的最大的变质岩潜山油藏,岩性以片麻岩及其形成的碎裂岩为主。该变质岩潜山油藏主要位于 JZ25-1 构造的东高点,上覆沙三段泥岩,属风化体块状储集层地貌潜山^[1]。潜山顶部高点埋深海拔高度为-1600m,构造幅度 400m,含油幅度大于 340m。用岩心锆石 2 铀铅同位素法测定的地层年龄约为 25.2 亿年,时代为晚太古宙。

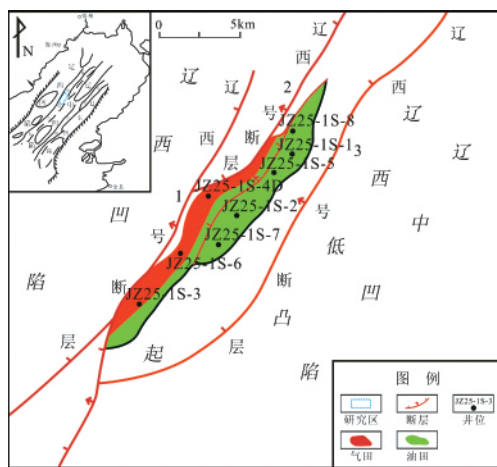


图 1 JZ25-1S 油田区域位置图

Fig. 1 The location of JZ25-1S oil and gas field

JZ25-1S 太古界潜山油藏储层具有孔缝并存、非均质程度较强的双重孔隙介质特征,储集空间为裂缝、溶蚀孔隙及

碎裂粒间孔隙,其中裂缝为最主要储集空间,分为构造裂缝和溶蚀构造缝。镜下观察裂缝多呈树枝状或网状,扩溶现象比较普遍,将周边溶蚀孔隙连通起来,形成有效渗流通道。

该潜山储层裂缝以构造裂缝为主,叠加构造溶蚀扩大缝。由于太古宇潜山基岩破碎严重,钻井取心收获率低,取心较为系统的 JZ25-1S-2 井收获率仅为 23%,所以宏观裂缝特征代表的是储集层质量相对较差的层段。根据岩心观察、描述,本区太古宇变质岩储集层宏观裂缝具有以下特征:① 宏观裂缝发育非均质性较强,裂缝线密度为 4~160 条/m;② 裂缝平均间距一般为 0.9~2.8cm;裂缝倾角为 15°~80°,其中以 45°~60°的高角度斜交缝为主;③ 发育两组以上裂缝,储集层段裂缝总体呈网状分布,依据成像测井和倾角测井研究结果,裂缝走向为北北西—南南东向和北东—南西向。

利用钻井取心与旋转井壁取心资料,分析了 6 口井 113 块小直径样品和 8 块全直径样品的孔隙度和渗透率。与胜利油田的王庄太古宇变质岩油藏和辽河油田的东胜堡太古宇变质岩油藏相比,本区潜山变质岩储集层整体物性更优,但非均质性十分明显。全直径样品统计结果:孔隙度为 1.0%~11.7%,平均为 6.9%;渗透率 $(0.074\sim 157)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$,平均 $21.4\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$,差异更为突出。小直径样品统计结果:孔隙度为 1.0%~28.8%,平均 12.2%;渗透率 $(0.093\sim 3745.5)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 。依据储集层物性频率分布特征,本区储集层孔隙度较高,小于 4.0%的样品仅占 18.6%,大于 7.0%的样品超过 60%;渗透率相对较低,集中分布于 $(0.1\sim 10)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$,大于 $100\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 的样品占 29.7%。但本区测试平均日产量高达 300m³,压降小于 5%,说明储层的实际渗透率比岩心分析渗透率要高。

2 双重介质系统地质建模

对于双重介质油藏而言,基质、裂缝是影响油藏开发水平的主要因素,基质和裂缝的定量描述同等重要。目前国内外还没有成熟的研究双重介质的定量方法和配套技术。在各类资料综合分析的基础上,提出双重介质油田(油藏)储层 4 步建模方法:① 建立基质和裂缝共用的三维构造模型;② 建立基质系统的属性参数模型;③ 建立裂缝网络几何模型,并将裂缝几何模型等效成裂缝参数定量模型;④ 动态校验模型。

该潜山油藏进行整体开发方案(ODP)设计时,使用 Petrel 软件进行了地质建模,但没有分基质和裂缝 2 个系统建立模型,更没有建立裂缝网络模型,仅是将基质系统与裂缝系统合并建立了总孔隙度模型和总的等效渗透率模型;该模型不能反映裂缝系统的渗流特征,预测的开发指标不合理。钻前根据新的地质认识,使用 Fred 软件与 Petrel 软件相结合,分基质系统和裂缝系统建立了双重介质系统的参数模型,该模型较好地反映了裂缝系统的渗流特征,数模预测指标比较合理,与实际钻井情况吻合较好。

2.1 三维构造建模

三维构造模型主要由三维断层模型和三维层面模型组成,建模步骤如下。

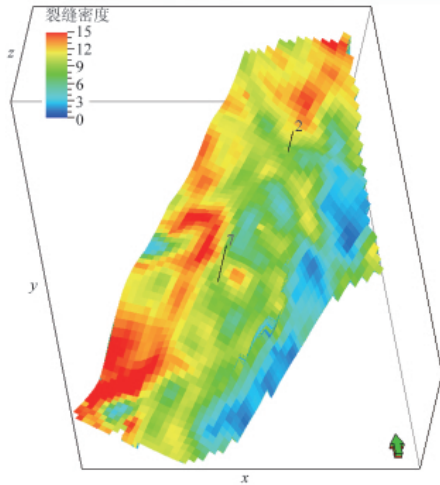


图 3 JZ25-1S 潜山裂缝密度三维模型
Fig. 3 3D fracture density model of JZ25-1S buried hill

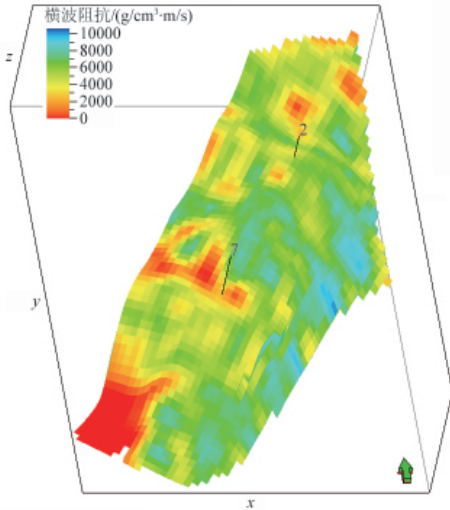


图 4 JZ25-1S 潜山横波阻抗数据体
Fig. 4 Shear wave impedance data volume of JZ25-1S buried hill

于不同的裂缝集团,每一集团具有一些共性的特点,并成批生成。在裂缝片的空间分布方式上,通常每一个裂缝片即是随机定位的,又要满足一定的集群特征。

在 DFN 裂缝建模的过程中,通常有以下步骤:

- 1) 大裂缝建模:通常都是由地震资料确定大的断层和裂缝,它们的位置和形态基本上是确定的,不需要随机生成。
- 2) 中等裂缝和小裂缝建模:这些裂缝形成了储层裂缝网络的主体部分,通常不可能具有每个裂缝片的详细信息,但可以获得关于它们的分布密度、方位密度、大小、开度等许多方面的统计信息和先验认识。利用这些信息,可用地质统计的方法随机生成由成千上万个这样的裂缝片组成的裂缝系统,使之满足各种先验统计和认识。

3) 加入地层顶、底界面对上述裂缝片进行切割,生成具有地层意义的裂缝网络模型。图 5 为 JZ25-1S 潜山裂缝密度数据体约束下生成的裂缝 DFN 模型。

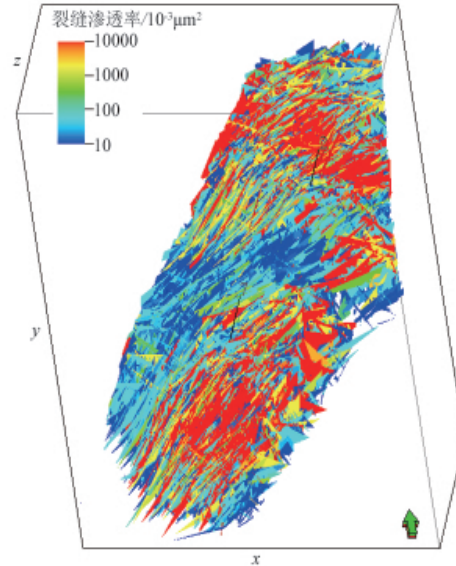


图 5 JZ25-1S 潜山裂缝 DFN 模型
Fig. 5 Fracture DFN model of JZ25-1S buried hill

2.3.3 裂缝属性参数建模

裂缝性储层裂缝系统地质建模的最终目的是建立裂缝系统的孔隙度、渗透率及表征裂缝系统与基质系统关系的 σ 因子。对于一个裂缝-基质双介质模型,根据裂缝的几何模型结合基质渗透率模型粗化得到其等效渗透率是一个非常复杂的过程^[6]。Fred 软件在处理这一过程时,直接根据基质渗透率和裂缝系统几何模型计算得到等效渗透率模型。处理步骤为:①对裂缝固有渗透率和传导率进行计算;②对裂缝等效渗透率进行计算^[7];③计算等效基质岩块尺寸;④最后得到等效渗透率模型。

利用以上方法与原理,结合数值模拟的需要,对裂缝几何模型进行裂缝等效渗透率(K_x, K_y, K_z)、等效裂缝孔隙度及 σ 因子计算,得到裂缝系统的三维属性参数模型。该模型与基质系统粗化后的模型共同作为双重介质油藏数值模型的初始地质模型。图 6 为 JZ25-1S 潜山裂缝系统垂向渗透率模型。

2.3.4 模型的动态校验

由于裂缝性变质岩储层具有极强的非均质性,成藏条件复杂,储层裂缝预测难度非常大。建立的裂缝模型能否真正反映地下的实际情况,需要通过动态的试井模拟与分析对模型进行动态校验,以得到符合地下流体流动特征的地质模型。

3 模型应用效果分析

锦州 25-1S 潜山模型已成功应用于钻前及随钻方案优化中,并取得了良好的效果。钻前根据新的地质认识对该潜山油藏地质模型进行了重建,将开发方案优化为以水平井

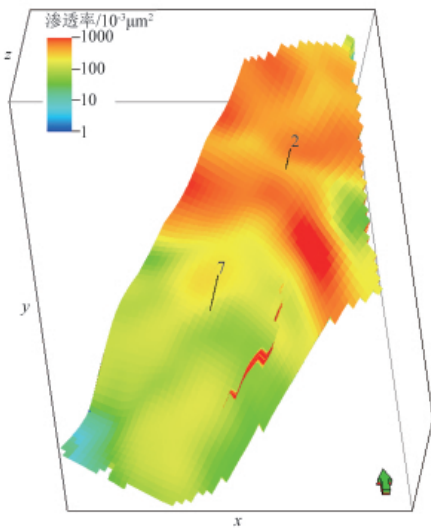


图 6 JZ25-1S 潜山垂向渗透率模型

Fig. 6 Vertical permeability model of JZ25-1S buried hill

为主的开发方案。从数模结果来看,以水平井为主的开发方案,其开发指标远远优于以常规定向井为主的开发方案(ODP)(图 7),最终随钻过程采用了以水平井为主的开发方案。目前该潜山已完钻的 6 口开发井 A18、A31、A35、A17、A25、A30 均获得了较高的产量,其中 A18、A17 井最高原油日产量均超过了 1000m³,A18 井最高日产量达到 1016m³,成为渤海油田第一口潜山日产千方井,A17 井最高日产量达到 1592m³,折合 10028 桶,成为渤海第一口日产万桶井。

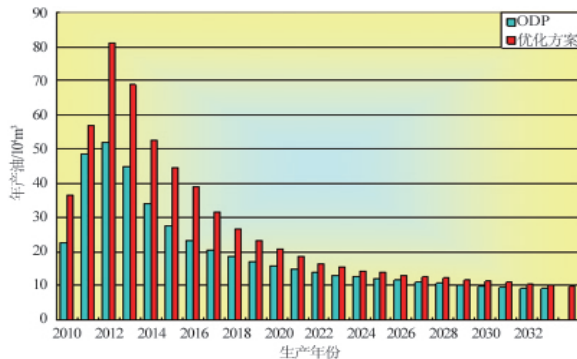


图 7 优化方案与 ODP 年产油对比图

Fig. 7 Comparison of annual oil yield between optimized plan and ODP

4 结论

1) Fred 软件与 Petrel 软件相结合,是较好的裂缝性储层地质建模方法。

2) 双重介质油田(油藏)储层建模可分 4 步进行:① 建立基质和裂缝共用的三维构造模型;② 建立基质系统的属性参数模型;③ 建立裂缝网络几何模型,并将裂缝几何模型等

效成裂缝参数定量模型;④ 动态校验模型。

3) 综合利用岩心分析、成像测井、地应力场模拟、地震叠前反演等资料建立裂缝几何模型,并将裂缝几何模型转化成渗流模型,可为油藏数值模型提供原始模型,为油藏方案设计与优化奠定坚实的地质基础。

4) 锦州 25-1S 潜山模型已成功应用于油田的开发随钻中。已钻开发井资料与模型吻合程度较高,验证了模型的可靠性。

参考文献 (References)

- [1] 柏松章,唐飞. 裂缝性潜山基岩油藏开发模式 [M]. 北京:石油工业出版社,1997.
Bai Songzhang, Tang Fei. The development models of buried hill fractured basement reservoirs [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997.
- [2] 王建华. DFN 模型裂缝建模新技术[J]. 断块油气田, 2008, 15(6): 55-58.
Wang Jianhua. Fault-Block Oil & Gas Field, 2008, 15(6): 55-58.
- [3] 董亨茂. 裂缝网络模型的建立及其在任丘潜山油藏中的应用[J]. 西安石油大学学报: 自然科学版, 2006, 21(3): 17-22.
Tong Hengmao. Journal of Xi'an Shiyou University: Natural Science Edition, 2006, 21(3): 17-22.
- [4] 刘建中,孙庆友,徐国明,等. 油气田储层裂缝研究 [M]. 北京:石油工业出版社,2008.
Liu Jianzhong, Sun Qingyou, Xu Guoming, et al. Study on fracture in oil-gas reservoirs[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2008.
- [5] Ouenes A, Zellou A M, Robinson G, et al. Seismically driven improved fractured reservoir characterization [DB/OL]. 2004. http://mnc2.geofisica.unam.mx/cursos/geost/Articulos/Reservoir%20Caracterization/00092031_Seismically%20Driven%20Improved%20Fractured%20Reservoir%20Characterization.pdf.
- [6] 刘建军,刘先贵,胡雅初,等. 裂缝性砂岩油藏渗流的等效连续介质模型[J]. 重庆大学学报: 自然科学版, 2000(S1): 23-25.
Liu Jianjun, Liu Xiangui, Hu Yareng, et al. Journal of Chongqing University: Natural Science Edition, 2000(S1): 23-25.
- [7] 孙致学,鲁洪江,孙治雷. 油藏精细地质模型网格粗化算法及其效果[J]. 地质力学学报, 2007, 13(4): 368-375.
Sun Zhixue, Lu Hongjiang, Sun Zhilei. Journal of Geomechanics, 2007, 13(4): 368-375.

(责任编辑 刘志远)

本期好玩的数学——乘除换数答案

$$168 \times 368 = 61824$$

$$102648 \div 188 = 546$$