

# 库车坳陷大北地区砂岩储层裂缝主控因素的模糊评判

张 博,袁文芳,曹少芳,秦 红,魏燕萍,赵新艳,王忠武

(中国石油塔里木油田公司勘探开发研究院,新疆 库尔勒 841000)

**摘 要:**储层裂缝的发育特征、规模在油气藏勘探、开发中意义重大。塔里木盆地库车坳陷大北地区天然气储层具有目的层段埋深大,岩性致密,基质孔隙不发育,裂缝发育的特征,属于致密—裂缝性储层。裂缝的形成受多种因素影响,且各因素所起作用不同,在论述了各种影响裂缝形成的众多因素的基础之上,引入了模糊评判方法,对控制裂缝特征的众多因素进行了评判,确定了大北地区砂岩储层裂缝的主控因素。

**关键词:**大北地区;致密砂岩—裂缝性储层;裂缝控制因素;模糊综合评判

**中图分类号:**TE122.2

**文献标识码:**A

**文章编号:**1672-1926(2011)02-0250-04

**引用格式:**张博,袁文芳,曹少芳,等.库车坳陷大北地区砂岩储层裂缝主控因素的模糊评判[J].

天然气地球科学,2011,22(2):250-253.

大北地区位于塔里木盆地库车坳陷克拉苏构造带西端,近年该地区探井均获得了高产油气流,已成为中国石油塔里木油田公司目前及将来重要的勘探区域。该地区主要含油气储集层——白垩系埋藏深,岩性致密,裂缝发育,储层总体渗流性较好。而类似此种深埋藏的裂缝—孔隙性储层在国内少见,通过对裂缝主控因素的研究,既可以对大北地区后期的油气藏勘探、开发起到指导作用,又可以对我国同类储层的研究提供借鉴。

模糊数学是一门新的数学分支,从1965年提出之后,发展迅速,并且在不同的领域均得到了广泛的应用。在石油地质勘探、开发方面也取得了许多成果,其理论、方法的重要性越来越受重视。应用该方法可对一些问题进行定量解释,以减小主观因素造成的误差,在裂缝性储层研究中能客观地反映储层本来特征及分布规律,克服了过多的人为因素影响,提高了工作的准确性。本文将针对大北地区砂岩储层裂缝受多因素控制的实际情况,应用模糊综合评判法对主控因素进行综合评价。

## 1 区域地质背景

大北地区位于新疆维吾尔自治区阿克苏地区拜

城县境内,构造上位于塔里木盆地库车坳陷克拉苏构造带。

大北地区自上而下发育有第四系、新近系、古近系及白垩系。气层分布在白垩系巴什基奇克组砂岩中。沉积环境属于扇(或辫状)三角洲前缘沉积<sup>[1]</sup>。岩性主要为褐色、褐灰色细砂岩和粉砂岩夹薄层泥岩。储层埋藏深,一般在6 000 m左右,物性差,渗透率为 $(0.1 \sim 1) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,属于低孔低渗及特低孔特低渗储层<sup>[2]</sup>,基质致密,裂缝发育,储集空间类型主要为裂缝和残余粒间孔、少量粒间溶孔<sup>[3]</sup>。

库车坳陷在白垩系沉积成岩后,发生了多期构造运动<sup>[4]</sup>,断层发育,且露头见变质核杂岩分布<sup>[5]</sup>。表明该区经受了强烈的构造活动,奠定了裂缝形成的动力学基础。

## 2 裂缝特征

大北地区发育2~3期裂缝,多为高角度缝—高角度斜交缝、网状缝,其次为平行缝、直立缝,以中缝、微细缝为主,半充填—未充填,充填物多为泥质、石膏、方解石及白云石。

裂缝组合形式有4种:共轭缝组合、平行单斜状组合、高角度缝主导的网缝带和小断层型组合。走

向以近东西向(包括北东东向—南西西向和南东东向—北西西向)为主,其次为北西向—南东向,倾角为 $50^{\circ}\sim 80^{\circ}$ ,为高角度构造缝和斜交构造缝。平面上裂缝分布总体上遵循由北往南随着构造应力场减弱,裂缝分形维数降低的特征,但局部裂缝分布分形维数亦见异常<sup>[6]</sup>。

### 3 砂岩裂缝形成影响因素

砂岩裂缝发育与否受控于多种因素,主要包括:岩性、地层厚度、沉积微相、局部构造位置和构造应力场以及成岩作用。

#### 3.1 岩性

岩性为影响裂缝发育程度的最基本因素,岩石成分、颗粒结构对裂缝的形成、分布都有影响。例如岩石成分中钙质含量的高低,决定了岩石的脆性程度,钙质含量越高则裂缝发育程度越高。颗粒越细裂缝相对要发育,颗粒越粗裂缝发育程度相对较弱。

#### 3.2 地层厚度

裂缝的发育程度受岩层厚度控制,裂缝通常发育在力学性质相同的岩层内部,岩性界面可作为不同裂缝发育程度的界面。裂缝发育程度与岩石厚度之间存在一定的关系,具体表现为:随着岩石单层厚度增大,裂缝发育程度减弱。

#### 3.3 沉积微相

由于岩石特征、厚度及组合受控于沉积微相,故而不同的沉积微相裂缝发育程度也有所差异。

#### 3.4 局部构造位置

由于局部构造位置的应力分布与区域构造应力场有所差异,所以裂缝特征也有所不同。例如,在断层附近,由于应力场沿断裂带集中,一般发育有与断层平行的1组张裂缝和与断层斜交的2组剪切裂缝;同时,由于在断层的两端也是应力集中区,裂缝也相对发育。

#### 3.5 区域应力场

裂缝的发育程度与构造应力场关系密切,包括最大有效古构造应力场及现今有效应力场;裂缝能否形成、裂缝形成的规模直接取决于区域最大有效古构造应力场值。古构造应力场应力值大,则裂缝规模就大,反之则相反。裂缝一旦形成,作用在裂缝面上的垂直应力——现今有效应力场的大小则直接决定了裂缝的物性。

#### 3.6 成岩作用

针对大北地区目的层段,虽然整体上成岩作用阶段属于晚成岩“A”期,但由于不同探井目的层段

埋深差异较大,成岩作用也有所差异,并直接影响了储层裂缝的发育。

因此,在致密砂岩类储层中,裂缝的发育规模、程度、类型受多种因素影响。具体到不同地区、油气田,主控因素也有所差异。在生产实际中,确定裂缝主控因素十分重要,但对裂缝主控因素的判断一直是一个难题,并直接影响到了油气的勘探生产。

针对上述问题,通过引进模糊数学方法,在大北地区对裂缝的主控因素进行了综合判定,对裂缝的主控因素进行了初步探讨。

### 4 大北地区砂岩裂缝主控因素分析

大北地区目的层段储层裂缝渗透率受上述多种因素控制,各种因素对裂缝渗透率的贡献程度有所不同。因而在考虑不同井区裂缝渗透时,既要考虑各种因素的综合作用,但同时也要突出重点,才能相对真实地描述裂缝实际渗透率的大小。

在综合考虑各种因素对裂缝渗透率的影响程度时,对各个因素采用模糊数学中的模糊评判方法进行了定量判定<sup>[7]</sup>。

#### 4.1 模糊综合评判的方法及步骤

##### 4.1.1 模糊评判的方法

设有2个有限论域 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ ,  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ 。 $U$ 为综合评判的多种因素所组成的集合, $V$ 为评语所组成的几何,作模糊变换

$$\tilde{A} \cdot \tilde{R} = \tilde{B}$$

为综合评判的数学模型。其中 $\tilde{R}$ 是一个 $m \times n$ 阶模糊矩阵, $\tilde{A}$ 是论域 $U$ 上的模糊子集, $\tilde{B}$ 为各评判因素的权重所构成的集合,为评判结果,是论域 $V$ 上的一个模糊子集,即模糊向量。

如果一个事物是由一种因素确定,则很容易对之加以评判。但当一个事物涉及了多种因素,从不同的因素出发可以得出不同种类的评判。因此必须综合各方面的因素,做出一个更接近实际的评判。

##### 4.1.2 综合评判的步骤

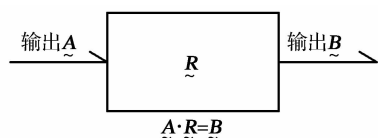
(1) 对因素集合 $U$ 中的各种因素,结合问题实际,利用各种可行的方法分别做出对评语集合 $V$ 中各个评语的单因素评判。从而可以得到一个表示 $U$ 和 $V$ 之间模糊关系的模糊矩阵。

(2) 对因素集合中的各个因素,确定在被评判事物中的重要程度(权重),并且各权重之和等于1。

(3) 做模糊变换

$$\tilde{A} \cdot \tilde{R} = \tilde{B}$$

其中: $\tilde{B}$ 表示了被评判事物在评语集合 $V$ 上的综合评判结果。综合评判结果图示如下:



#### 4.1.3 模糊评判中算子的确定

综合评判结果 $\tilde{B}$ 中的元素 $b_j$ 是通过 $\tilde{A}$ 和 $\tilde{R}$ 的模糊矩阵运算求得,根据实际问题,一般存在4种运算模型。

##### (1) $M(\wedge, \vee)$ 模型

$\tilde{B}$ 中任一元素 $b_j$ 的运算公式为:

$$b_j = \bigvee_{i=1}^m (a_i \wedge r_{ij})$$

即为取小( $\wedge$ )取大( $\vee$ )运算。该类型运算属于“主因素决定类型”。其结果只是受控于指标最大者,其余指标在一定变化范围内不影响评判结果。该模型中不具有权向量的含义。

##### (2) $M(\cdot, \vee)$

$\tilde{B}$ 中任一元素 $b_j$ 的运算公式为:

$$b_j = \bigvee_{i=1}^m (a_i \cdot r_{ij})$$

该模型与 $M(\wedge, \vee)$ 模型近似,同属于“主因素决定类型”。但更为“精细”,反应了非主要指标的影响。当 $M(\wedge, \vee)$ 模型的判别失效时,可用该模型。

##### (3) $M(g, \oplus)$ 模型

$$b_j = \sum_{i=1}^m (a_i \cdot r_{ij})$$

该模型为“加权平均型”,该模型均衡兼顾了各因素在综合评定因素中所起的作用,考虑了所有因素的影响,各 $a_i$ 具有代表各因素 $U_i$ 重要性的权系数的含义,因而满足 $\sum_{i=1}^m a_i = 1$ 的要求。

##### (4) $M(\wedge, \oplus)$ 模型

$$b_j = \sum_{i=1}^m a_i \wedge r_{ij}$$

该模型属于“主因素突出型”,相对于 $M(\wedge, \vee)$ 模型二者类似,当更为精细。

上述各种模型各有不同特点,应根据实际问题选用。根据应验,在石油地质有关问题研究中经常应用模型(3),在本文计算中也选用该模型。

## 4.2 大北地区裂缝渗透率主控因素综合评判

在大北气田,由于岩性、沉积微相、地层单层岩性厚度近乎一致,对裂缝特征影响效果一致,因而不考虑。在评判裂缝控制因素时,仅考虑最大有效古

构造应力,现今有效构造应力,成岩作用,单井所处局部构造位置几个因素。

$\tilde{A} = \{\text{最大有效古构造应力, 现今有效构造应力, 成岩作用, 单井所处局部构造位置}\}$

$\tilde{V} = \{\text{有利, 较为有利, 不太有利, 不利}\}$

根据4种因素对大北地区目的层段裂缝渗透率主控因素进行综合评判。

首先,就最大有效古构造应力考虑,通过综合评判,其有利,较为有利,不太有利,不利的评价为:

$$\{0.8, 0.2, 0, 0\}$$

对现今有效构造应力的评价为:

$$\{0, 0.1, 0.2, 0.7\}$$

对成岩作用的评价为:

$$\{0, 0, 0.3, 0.7\}$$

对单井所处局部构造位置的评价为:

$$\{0.4, 0.15, 0.15, 0.3\}$$

则得到一个模糊矩阵:

$$\tilde{R} = \begin{bmatrix} 0.8 & 0.2 & 0 & 0 \\ 0 & 0.1 & 0.2 & 0.7 \\ 0 & 0 & 0.3 & 0.7 \\ 0.4 & 0.15 & 0.15 & 0.3 \end{bmatrix}$$

其次,通过专家对最大有效古构造应力,现今有效构造应力,成岩作用,单井所处局部构造位置4个因素所给予的权重分别为0.45, 0.35, 0.05, 0.15。则可以得到 $\tilde{U}$ 上的一个模糊向量。

$$\tilde{A} = (0.45, 0.35, 0.05, 0.15)$$

则根据  $\tilde{B} = \tilde{A} \cdot \tilde{R}$

$$\tilde{B} = (0.45, 0.35, 0.05, 0.15) \cdot$$

$$\begin{bmatrix} 0.8 & 0.2 & 0 & 0 \\ 0 & 0.1 & 0.2 & 0.7 \\ 0 & 0 & 0.3 & 0.7 \\ 0.4 & 0.15 & 0.15 & 0.3 \end{bmatrix} =$$

$$(0.42, 0.1475, 0.11, 0.339)$$

$\tilde{B}$ 中的0.42表示最大有效古构造应力对裂缝渗透率影响大的隶属度,0.1475是现今有效应力的隶属度,0.11为成岩作用的隶属度,0.339为探井所处局部构造位置的隶属度。

从以上计算结论可知,在大北地区白垩系目的层段裂缝渗透率主要受控于最大有效古构造应力,局部构造位置对裂缝渗透率也有较大影响。

在大北地区,古构造应力场方向由北往南,裂缝发育规模表现为由北往南逐渐减小。而现今应力场继承了古构造应力场的方向特征,由于北部现今应力

值大,造成了北部地区裂缝现今物性较差。南部地区由于有效古构造应力值较小,裂缝不发育,虽然现今应力场值小但二者的综合作用使得裂缝物性变差。因而在有效古构造应力场、现今有效应力场的共同作用下,总体上在大北地区形成了裂缝物性中部好,往南北两侧依次变差的特征。同时,由于局部构造位置的影响,在裂缝物性整体发育较差的区域下,位于构造转折端的探井也可能发育好的裂缝物性,圆满地解释个别探井裂缝物性的异常。所以在多种因素条件下对大北地区裂缝渗透率进行评估时,可以根据上述结论确定各个控制因素的影响程度。

根据上述分析,通过分析大北地区的构造应力场、单井构造位置图等相关基础图件,就可得出裂缝性储层的分布特征。

## 5 结论

作为一种研究复杂问题的方法,模糊综合评价法在油气地质勘探、开发方面得到了大量应用,成功地克服了分析中一些人为因素的影响。应用模糊综合评价法对大北地区砂岩储层裂缝分析表明,大北地区白垩系砂岩储层裂缝的渗透率主要受控于最大有效古构造主力,局部构造位置对裂缝渗透率也有较大影响。在有效古构造应力场、现今有效应力场共同作用下,总体上在大北地区形成了裂缝物性中部的往南北两侧可逆的特征。

### 参考文献:

[1] Zhang Ronghu, Zhang Huiliang, Shou Jianfeng, *et al.* Geological analysis on reservoir mechanism of the lower Cretaceous Bashijiqike Formation in Dabai area of the Kuqa depression[J].

Chinese Journal of Geology, 2008, 43(3): 507-518. [张荣虎, 张惠良, 寿建峰, 等. 库车坳陷大北地区白垩系巴什基奇克组储层成因地质分析[J]. 地质科学, 2008, 43(3): 507-518.]

[2] Zeng Lianbo. The Formation and Distribution of the Fracture in Low Permeability Sand Reservoir [M]. Beijing: Science Press, 2008: 5. [曾联波. 低渗透砂岩储层裂缝的形成与分布[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 5.]

[3] Zhang Ronghu, Zhang Huiliang, Ma Yujie, *et al.* Origin of extra low porosity and permeability high production reservoirs: A case from Bashijiqike reservoir of Dabai 1 oil field, Kuqa depression [J]. Natural Gas Geoscience, 2008, 19(1): 75-82. [张荣虎, 张惠良, 马玉杰, 等. 特低孔特低渗高产储层成因机制[J]. 天然气地球科学, 2008, 19(1): 75-82.]

[4] Zeng Lianbo, Tan Chengxuan, Zhang Mingli. An analysis of the Mesozoic-Cenozoic tectonic stress field and the effect of hydrocarbon accumulation in Kuqa depression, Tarim basin [J]. Science in China: Series D, Earth Sciences, 2004, 34(supplement I) 98-106. [曾联波, 谭成轩, 张明利. 塔里木盆地库车坳陷中新生代构造应力场及其油气聚集效应[J]. 中国科学: D辑, 地球科学, 2004, 34(增刊 I): 98-106.]

[5] Zhang bo, Zhao Libin, Tang Yangang, *et al.* The preliminary discussion on the metamorphic core complex and the hydrocarbon geological distribution characters [J]. Natural Gas Geoscience, 2007, 18(2): 200-203. [张博, 赵力彬, 唐雁刚, 等. 塔库车坳陷变质核杂岩与油气相态分布格局成因初探[J]. 天然气地球科学, 2007, 18(2): 200-203.]

[6] Zhangbo, Li Jianghai, Wu Shiping, *et al.* The quantitative description about the fissures of tight sand reservoir in Dabai gas field [J]. Natural Gas Geoscience, 2010, 21(1): 42-46. [张博, 李江海, 吴世萍, 等. 大北气田储层裂缝定量描述[J]. 天然气地球科学, 2010, 21(1): 42-46.]

[7] Liu Yuji, Geng Xinyu, Xiao Ciyuan. The Fuzzy Mathematics of Oil Projects [M]. Chengdu: Chengdu University of Science and Technology Publishing House, 1994. [刘育骥, 耿新宇, 肖辞源. 石油工程模糊数学 [M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1994.]

## Fuzzy-synthetical Evaluation of Main Factors of Formation Fracture in Dabai Gas Field

ZHANG Bo, YUAN Wen-fang, CAO Shao-fang, QING Hong,

WEI Yan-ping, ZHAO Xin-yan, WANG Zhong-wu

(Research Institute of Exploration & Development, Tarim Oilfield Company, PetroChina, Korla 841000, China)

**Abstract:** The subject reservoir of Dabai gas field in Kuqa depression of Tarim basin is a tight-fractured reservoir with the features of great depth, compact rock, extra-poor matrix porosity and developed fractures. The fracture characteristics and scale are very important in the reservoir exploration and development. The factors to form fracture are various and play different roles. On the basis of the analysis of the various factors, using the method of fuzzy-synthetical evaluation, all the factors controlling the formation of fractures are evaluated, and the main factors controlling the formation of fractures in Dabai gas field are conformed.

**Key words:** Dabai gas field; Tight sand-fracture reservoir; Control-fracture factor; Fuzzy-synthetical evaluation.