

雷家油田下第三系低渗透储层裂缝特征

曾联波

(石油大学, 北京 102200)

雷家油田下第三系低渗透储层中的裂缝分为节理型裂缝和断层型裂缝2种类型, 其中断层型裂缝又可分为穿层、顺层裂缝。节理型裂缝垂直分布于岩层内, 裂缝面两侧无错动, 断层型裂缝面两侧有明显的错动, 其中穿层裂缝呈高角度切割岩层, 具有与区内正断层相一致的分布或组合样式, 而顺层裂缝与层面近平行分布在泥岩夹层中。它们主要在伸展构造作用下形成, 近东西向水平挤压作用也有重要的影响。裂缝的发育和分布受岩性、岩层厚度及断层等因素的控制。在低渗透储层的泥质夹层中, 由于穿层裂缝及顺层裂缝发育, 并相互连通组成三维裂缝网络系统, 对油气的储渗有重要意义。岩层中裂缝的平均间距与层厚呈线性相关关系。伸展断层附近裂缝的发育具有较好的分带性, 断层上盘的裂缝较下盘更发育。

关键词 构造裂缝 发育特征 低渗透储层 下第三系 雷家油田

作者简介 曾联波 男 31岁 讲师 构造地质

我国目前所发现的低渗透储层的地质储量约占全部探明地质储量的1/4, 其中下第三系的低渗透储层最多, 约占探明低渗透储层储量的1/3^[1], 如济阳坳陷的勃南油田和牛庄油田、黄骅坳陷的枣园油田、辽河坳陷的雷家油田和牛心坨油田等一大批大中型油藏, 它们广泛分布在东部新生代各含油气盆地中。在低渗透储层中, 由于岩石致密, 强度及脆性程度较大, 因而在构造应力场作用下容易产生脆性变形形成裂缝, 成为油气的主要渗流通道和重要的储集空间, 控制着油气的渗流与分布, 从而使低渗透储层的勘探和开发具有很大难度。因此, 研究低渗透储层中裂缝的分布及其发育特征, 对提高低渗透储层的勘探和开发水平, 扩大其动用储量, 不断改善开发效果, 提高采收率具有重要的意义。

1 分布型式

该区下第三系低渗透储层裂缝是以构造作用形成的构造裂缝为主, 它们广泛分布在各种岩性中, 具有方向性明显, 分布规则的特征, 可分为2种类型。

1.1 节理型裂缝

节理型裂缝是指以与裂缝面垂直的张开位移

为主的裂缝, 特点是裂缝两侧无明显的错动现象。裂缝的分布严格受岩性控制, 裂缝发育在岩层内, 垂直并终止于层面上, 主要为张性裂缝, 在缝面上常见有方解石、白云石及石英等矿物晶体垂直于裂缝壁生长, 但其充填程度极弱, 以局部充填为主。同一岩层内的节理裂缝还具有较好的等距性。节理裂缝的规模较小, 密度较大, 其高度受层厚控制, 平均间距为2 cm, 张开度大多数为60~100 μm , 平均孔隙度为1.5%, 平均渗透率 $783.3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 是该油田油气的重要储集空间和层内流体渗流的主要通道。

1.2 断层型裂缝

断层型裂缝是指与裂缝面平行的剪切位移的裂缝。裂缝面两侧有明显的错动现象, 具有与断层相似的分布特点。根据裂缝与层面的关系, 可进一步将断层型裂缝分为穿层裂缝和顺层裂缝2种。

1.2.1 穿层裂缝

穿层裂缝发育在包括泥岩在内的各种岩性中, 它不受岩性层面控制, 裂缝常切穿岩性层面, 并呈高角度与层面斜交。在剖面上, 它们常表现出呈“平直”式、“铲形”式和“(断)坡(断)坪”式、“(地)堑(地)垒”式、“多米诺”式等多种与正断层相同的分布或组合型式。这表明: (1) 穿层裂缝具有与区内正断层相一致的分布与成因, 它们是伸展构造体制下同一拉张构造应力场作用的产物, 是伸展构造样式的微观组成部分; (2) 根据自相似性原理, 可以根

据断层的分布来预测裂缝某些参数的分布及其发育规律。穿层裂缝规模相对较大,以张性裂缝为主,局部有方解石等矿物充填,裂缝的高度一般为 10~ 80 cm,最长可达到 1.65 m;其张开度大多数为 100~ 140 μm ,平均孔隙度为 0.4%,平均渗透率为 $846.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。裂缝的储集能力较小,它们主要是层与层之间流体渗流的通道,并使泥岩夹层具有较好的垂向渗透性。

1.2.2 顺层裂缝

顺层裂缝主要发育在泥质岩类中,尤其是在泥质岩的上下层面附近,其产状与层面产状大致相同。裂缝一般无矿物充填,缝面上常见有明显的擦痕,并具有镜面特征,主要为层间滑脱形成。从裂缝面上的擦痕分析,该区主要有两期,早期擦痕与裂缝面的倾向基本一致,晚期擦痕的侧状角明显变小,它们分别相当于早期伸展期和晚期挤压反转期,说明东营末期近 EW 向挤压作用在区内表现较强,对下第三系储层中裂缝的形成与分布有重要的影响。顺层裂缝的发育程度较差,分布不均匀,其地下围压状态下开度小,因而对储层的储渗作用较弱,比前面两类裂缝低一个数量级以上。

2 影响因素

2.1 岩性

岩性是影响低渗透储层裂缝发育的重要内部因素,根据统计,一般是含长石、石英及白云石等脆性成分高的岩石中裂缝密度大。在碳酸盐岩储层中原生脆性组分主要是白云石,因此,随着岩石中白云石含量的增加,裂缝的发育程度明显增强(图 1),它们储渗性能较好,是主要储集岩。

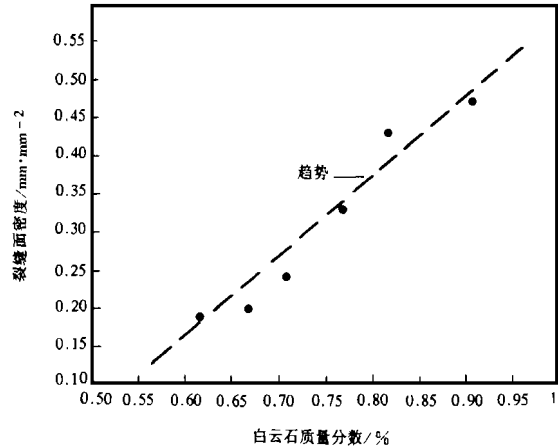


图 1 裂缝密度与白云石含量的关系

Fig. 1 Relation between fracture densities and dolomite contents

低渗透储层的泥岩夹层不纯,普遍含白云质、灰质及砂质等脆性成分,它们极大地提高了泥岩夹层的脆性程度,因而使泥岩夹层中裂缝亦较发育。该区泥岩夹层中主要发育断层型裂缝,在平面上和纵向上构成了裂缝的三维网络系统,极大地提高了渗透性能,使泥岩夹层的分隔作用明显变差。泥岩夹层中微裂缝的平均渗透率为 $39.2 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,宏观裂缝的平均渗透率为 $188.4 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。从岩芯、薄片及荧光分析表明,泥岩层中的裂缝还普遍具有明显的含油现象。泥岩层中裂缝的分布对油气的储渗有重要意义,它们使得泥岩夹层不能起真正的隔层作用,有时甚至使这类油气藏表现出块状型特征,具有统一的水动力系统和压力系统。因此,在低渗透油田的勘探和开发中,应特别注意其泥岩裂缝性储集体分布。

2.2 岩层厚度

岩层厚度是影响低渗透储层节理型裂缝发育的又一重要内部因素。油田资料统计表明,在一定的层厚范围内,储层构造裂缝的平均间距与控制其发育的岩层厚度呈正相关^[2,3,4,5]。该区岩芯的裂缝统计表明,其节理型裂缝间距的分布正是服从上述规律,即随着单层厚度的增加,裂缝的间距呈线性增大(图 2)。当岩层的单层厚度大于 30 cm 或小于 0.5 cm 值时,则其裂缝一般不发育。

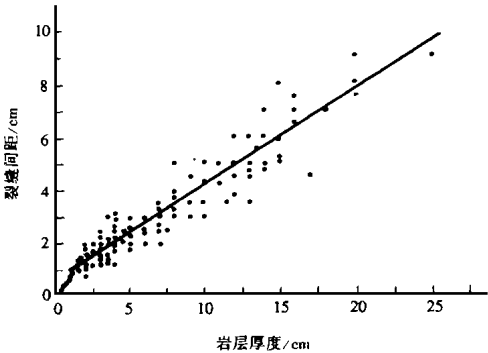


图 2 裂缝间距与岩层厚度关系图

Fig. 2 Relation between fracture spacing and rock thickness

2.3 断层

断层是控制局部构造应力分布及裂缝(尤其是断层型裂缝)发育的主要构造因素,如同伸展主断层控制次级断层一样,断层的活动同样控制着其附近应力和裂缝的分布。在伸展断层附近,构造应力的分布具有明显的分带性。在伸展断层两侧的损伤带,主要为断层活动所产生的应力扰动区,其宽度大致为断层断距的二分之一。在伸展断层上盘

一定距离的部位则为断层控制下的应力集中区,其分布范围与断层的几何形态及规模有关,一般是铲式正断层所控制的范围比平直式正断层宽。伸展断层附近构造应力的上述分带性决定了其裂缝的分布规律,即在损伤带内的应力扰动区和断层上盘的应力集中区,裂缝最发育。

该区裂缝的分布与区内正断层相一致,根据用古地磁法、地层倾角测井法和微层面法对岩芯裂缝定向,主要发育有 NE 向、NW 向和近 EW 向三组裂缝。用裂缝间距指数法分组对裂缝密度计算^[6],NE 向、NW 向和近 EW 向三组裂缝的发育程度依次由强变弱,其裂缝间距指数法 I 值依次为 0.44、0.42、0.39,表明其发育程度依次由强变弱。根据该区 9 口取芯井岩芯统计,断层上盘裂缝的平均面密度为 0.38 cm/cm²,断层下盘为 0.275 cm/cm²。若按断块进行统计,在由断层组成的各种类型的断块中,应是“地堑式”断块中裂缝最发育,其次是“多米诺式”断块,而“地垒式”断块中裂缝密度相对较小,这说明断层的分布对东部伸展构造区下第三系低渗透储层裂缝的发育至关重要。

3 结论

(1) 在雷家油田下第三系低渗透储层中,主要形成有节理型裂缝和断层型裂缝 2 种类型,断层型裂缝又可分为穿层裂缝和顺层裂缝,它们呈 NE 向、NW 向和近 EW 向,与区内断层的分布一致。

(2) 该区下第三系低渗透储层裂缝主要在伸展构造体制下 NE—SW 方向水平拉张构造应力场作用下形成。东营末期构造反转作用的近 EW 向水平挤压对下第三系储层中裂缝的分布有重要的影响,在区内可能局部形成有近 EW 向裂缝,并对 NW 向和 NE 向裂缝有改造作用,使 NW 向受挤压而闭合,而使 NE 向裂缝具有剪切的性质,它们的渗透性变差,不利于油气运移。

(3) 低渗透储层中裂缝分布和发育受岩性、层厚和断层的控制,它们通过影响局部构造应力分布来控制其裂缝发育。在低渗透储层的泥岩夹层中,由于含脆性成分较高,其裂缝较发育,可成为泥岩裂缝性储集体,对低渗透油田勘探和开发都有重要影响。

参 考 文 献

1 李道品,罗迪强,刘雨芬. 低渗透油田概念及我国储量分布状况. 见: 闵琪,金贵孝,荣春龙. 低渗透油气田研究与实践. 北京: 石油工业出版社, 1996. 1~ 10

2 纳尔逊 R A. 天然裂缝性储层的地质分析. 柳广第,朱筱敏,译. 北京: 石油工业出版社, 1985. 142~ 157

3 Qin Huang, Angelier J. Fracture spacing and its relation to bed thickness. Tectonophysis, 1989, 126(4): 355~ 362

4 Narr W, Suppe J. Joint spacing in sedimentary rocks. J Struct Geol, 1991, 13(9): 1037~ 1048

5 Rives T, Razaek M. Joint spacing: analogue and numerical simulations. J Struct Geol, 1992, 14(8/9): 925~ 937

6 Narr W. Fracture density in the deep subsurface: techniques with application to point Arguello oil field. AAPG Bulletin, 1991, 75: 1300~ 1323

FRACTURE CHARACTERISTICS OF EOGENE LOW-PERMEABLE RESERVOIRS IN LEIJIA OILFIELD

Zeng Lianbo
(Petrdeum University, Beijing)

Abstract

The fractures in Eogene low-permeable reservoirs of Leijia Oilfield could be divided into joint-type and fault-type fractures, within which the fault-type fractures could be subdivided into cross-bed and bedding fractures. The joint-type fractures are distributed vertically with no displacement on the two sides of the fractures, while those of fault-type have evident displacement. The cross-bed fractures cut rock layers at high angles and are similar in distribution and association pattern to that of normal faults in the study area; the bedding fractures are distributed in mud interlayers parallel to bedding plane. The development and distribution of the fractures are controlled by lithologic characteristics, rock thickness and faults. Well developed fractures in mud interlayers usually connect with each other and form 3-D fracture network. This is important for oil and gas reservoiring. The average space between fractures bear linear relation. Fractures developed near extensional fault show evident zonation, and the fractures developed well in the upper wall of the fault than that on the lower well.

Key words tectonic fracture development characteristics low-permeable reservoir Eogene System Leijia Oilfield