

伸展构造区低渗透储层构造裂缝的分布特征

曾联波 田崇鲁

(石油大学,北京 102200)

本文以辽河盆地雷家沙四段白云岩储层为例,研究了伸展构造区低渗透储层裂缝的分布特征,根据裂缝的分布形式,可将储层中的裂缝分为层间裂缝、穿层裂缝和顺层裂缝3种类型,其中层间裂缝的分布严格受白云岩控制,与层面垂直,并终止于层面上,而穿层裂缝呈高角度与层面斜交,在剖面上,单条裂缝呈现“平面”式、“铲形”式和“坡坪”式分布,多条裂缝呈“鲕垒”式和“多米诺”式等组合形式,即表现出与区内伸展正断层相一致的分布特征,它们和正断层一起构成了区内伸展构造从大到小、从宏观至微观的完整构造样式。

储层中裂缝的分布受岩性、层厚及断层等因素的控制。在白云岩储层的泥质夹层中,由于穿层裂缝及顺层裂缝发育,它们相互沟通,并和白云岩中的裂缝一起构成了储层中三维裂缝网络系统,使泥质夹层不起真正的隔层作用,可划分为准储层,从而使该白云岩油藏具块状特征。在伸展断层附近,断层上盘的裂缝较下盘更发育,并表现出较好的分带性。

关键词 构造裂缝 分布特征 低渗透储层 伸展构造区

第一作者简介 曾联波 男 30岁 讲师 石油地质

0 引言

在我国东部伸展盆地的含油气区,低渗透储层占相当大的比例。随着各盆地勘探程度的不断加深以及以中高渗透层为主的老油田逐渐进入中高含水期开采,低渗透储层的重要性还会日益提高。在低渗透储层中,由于岩石脆性增加,因而在构造应力作用下容易产生裂缝。它们是低渗透储层油气的主要渗流通道,甚至是重要的储集空间,控制着油气的渗流与分布,从而给这类储层勘探和开发带来特殊的难度。因此,研究东部伸展构造区低渗透储层中裂缝的分布规律,提高对低渗透储层地质特征的认识,对提高低渗透储层的整体勘探开发水平,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理论和现实意义,并对实现“稳定东部”具长远的战略意义。

雷家地区位于辽河裂陷盆地西部凹陷西北斜坡带上,为在寒武系古老结晶基底上发育起来的老第三纪断陷湖相白云岩沉积,它们在电性上表现为视电阻率和自然电位幅度高,时差较低的特征。研究区内以沙四—沙三期形成的正断层为主,中部发育一条规模较大、倾向为南东向的正断层贯穿全区,其两侧断裂系统分布有较大差异,西侧以一组近东西向正断层为主,并有少量北东向正断层,而东部主要为

一组长度和断距均较大的北东向正断层,它们控制了该区储层沉积及其裂缝的形成。

1 伸展构造区储层构造裂缝类型及特征

通过大量岩芯与薄片上裂缝面特征研究表明,该区白云岩储层中的裂缝是以构造作用形成的构造裂缝为主,它们具有分布规则的特点。此外,还伴有少量在沉积或成岩过程中产生的成岩裂缝,它们一般分布在泥质岩类中,顺层面具弯曲、断续、尖灭、分叉等特点。根据统计,成岩裂缝的面密度、孔隙度及渗透率均远远小于构造成因的裂缝,它们对储层的影响较小,故本文重点探讨储层中构造裂缝的分布。根据岩芯及薄片上裂缝的分布特征,该区储层构造裂缝可分为下列3种类型:

1.1 层内裂缝

此类裂缝发育在白云岩中,并严格受白云岩控制,裂缝垂直并终止于层面上。层内裂缝主要表现为张性裂缝,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。

层内裂缝的规模较小,其高度一般小于10cm。根据岩芯上裂缝的统计,层内裂缝间距呈对数正态分布特征(图1)。裂缝的间距还与控制其发育的白云岩厚度密切相关,在同一构造部位,若白云岩层厚

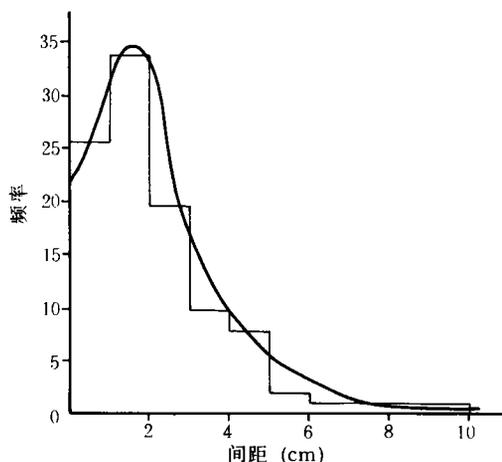


图1 层内构造裂缝间距分布频率图

增大,则裂缝的间距相应增大;反之,若白云岩厚度变小,则裂缝间距同样变小。

1.2 穿层裂缝

此类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。裂缝常常切穿岩层面,并呈高角度与层面斜交。在剖面上,单条穿层裂缝常表现为“平面”式、“铲形”式和“坡坪”式的分布形式,而同组多条裂缝常表现出“堡垒”式、“多米诺”式组合,即它们表现出与区内正断层相同的分布和组合特征,它们和正断层一起组成了本区伸展构造从大到小、从宏观至微观的完整构造样式。这反映了穿层裂缝具有与区内正断层相一致的分布与成因,它们是在同一拉张应力场作用下的产物,因此,可以根据断层的分布来预测裂缝的发育程度。穿层裂缝以张性裂缝为主,局部有方解石等矿物充填。穿层裂缝的规模相对较大,其高度一般为10~80cm,最长可达到1.65m。穿层裂缝的间距同样呈对数正态分布,其平均裂缝间距为10cm。

1.3 顺层裂缝

此类裂缝主要发育在泥质岩类中,其产状与层面产状大致相同。裂缝一般无矿物充填,缝面上常见擦痕,并具镜面特征。顺层裂缝的开度较小,其分布不均匀,它们主要表现为伸展体制下的层间滑脱裂缝。

在上述3类裂缝中,以第1、2类裂缝为主,其裂缝的平均孔隙度分别为0.414%和1.4%,平均渗透率为 $783.3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ~ $846.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,它们为该白云岩储层重要的储集空间和主要的渗流通道。由于第3类裂缝发育程度较差,地下围压状态下开

度小,因而所起作用较弱,其平均孔隙度和渗透率比上述两类裂缝要低1~2个数量级。

2 伸展构造区储层构造裂缝发育的影响因素

储层构造裂缝的形成与分布主要受古构造应力场和岩相(岩性与岩层厚度)等双重因素控制。其中,古构造应力场是储层裂缝形成与分布的外部条件,它主要控制了储层裂缝的空间分布(裂缝的组系与产状)和力学性质;储层岩相是控制储层裂缝发育的内部因素,它主要控制了储层裂缝的发育程度(密度)。

2.1 储层构造裂缝与岩性的关系

由于不同岩性的岩石力学性质不一致,因而在相同构造应力场作用下,不同岩性中构造裂缝的发育程度不同。影响储层构造裂缝发育的岩性因素包括岩石成分、粒度和孔隙度。大量研究表明,一般含高脆性成分的岩石比低脆性成分的岩石具有更高的裂缝密度。该区储层中原生脆性组分主要是白云石,因此,随着储层岩石中白云石含量的增加,岩石的脆性增大,则裂缝的发育程度明显增强。故该区的白云岩中裂缝最发育,为区内的主要储集层。

但是,由于该区泥质岩类中普遍含云质、灰质等组分,它们极大地提高了泥质岩类的强度及脆性程度,因而使该区白云岩储层泥质夹层中裂缝亦较发育。泥岩中不同组系不同产状的穿层裂缝、顺层裂缝及成岩裂缝与白云岩中的裂缝相互沟通,它们在平面上和纵向上构成了储层裂缝的三维网络系统,极大地提高了泥岩夹层的渗透性能,使泥岩的分隔性明显变差。用薄片面积法计算,泥岩中微裂缝的平均渗透率为 $36.4 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,而宏观裂缝的平均渗透率更大。该区白云岩储层中的泥岩夹层不能起真正的隔层作用,岩芯、薄片及荧光分析表明,泥岩的宏观裂缝和微观裂缝中具有明显的含油现象,因此,它们应划分为准储层(parareservoir),该油藏整体上表现出块状特征。泥岩中的裂缝同样是该区储集层的有效储集空间和渗流通道,这在油田储量计算和开发方案的编制中应特别注意。

对相同组分的岩石,随着其粒度和孔隙度减小变得致密,岩石的强度增加,岩石在经过弹性变形后,在较小的应变时表现出破裂变形的性质,使岩石中更易形成裂缝。因此,具有细粒度和低孔隙度的岩石中裂缝更发育,但具低孔隙度岩石的变形剪切破

裂隙不如同等高孔隙岩强烈(Nelson, 1985)。

2.2 储层构造裂隙与岩层厚度的关系

根据大量野外露头的岩芯研究表明,在一定的层厚范围内,储层构造裂隙的间距与控制其发育的岩层厚度呈正线性相关关系(Ladeira & Price, 1981; Huang & Angelier, 1989; Narr & Suppe, 1991)。这种线性关系在该区白云岩储层中表现尤为明显,随着白云岩厚度增加,构造裂隙间距呈线性增大(图2),即表明在其它条件相同情况下,薄岩层中裂隙更发育,具有更大的裂隙密度。

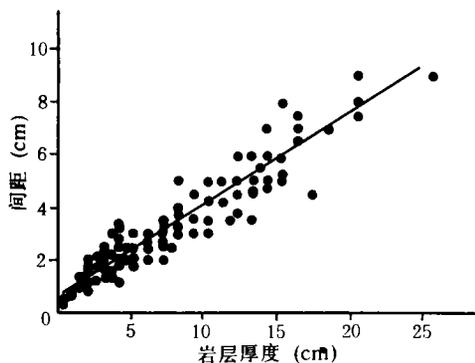


图2 白云岩中构造裂隙间距与层厚关系图

按照裂隙间距与岩层厚度的上述线性关系,可以用裂隙间距指数法对地下储层中各组裂隙密度进行计算和预测(Narr, 1991)。通过用古地磁法和地层倾角测井法对岩芯上裂隙定向,该区主要发育北东向、北西向和近东西向3组裂隙。用裂隙间距指数法计算,该区3组裂隙中,以北东向裂隙最发育,其裂隙间距指数 I 值为0.44;其次为北西向裂隙,其裂隙间距指数 I 值为0.42;而近东西向裂隙的裂隙间距指数 I 值为0.39,裂隙的上述分布规律与该区断层的分布大致相同。

2.3 储层构造裂隙与断层的关系

在伸展构造区,断层是控制裂隙形成的主要因素。在断层附近,构造应力的分布具有明显的分带性。在断层两侧,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1/2。而在断层上盘一定距离的部位则为断层控制下的应力集中区,在平面上,该区呈与断层平行的带状分布,在剖面上,呈正扇形分布。应力集中区的分布范围与断层的几何形态及规模有关,一般“铲式”正断层所控制的应力集中区比“平面式”正断层要宽。在应力扰动区与应力集中区之间通常为应力相对低值区。

断层附近应力的上述分带性决定了其裂隙的分布规律。在应力扰动区,通常在断层两侧产生派生的一组张裂隙和两组剪切裂隙;在应力集中区,一般形成3组张裂隙,且以与断层平行的一组裂隙最发育;两者之间常为裂隙相对不发育区。因此,在伸展构造区,一般是断层两侧1/2断距范围及断层上盘离断面一定距离部位裂隙最发育。整体上,断层上盘的裂隙比下盘更发育。在由断层组成的各种类型的断块中,通常是“地堑式”断块中裂隙最发育,其次是“多米诺式”断块,而“地垒式”断块中裂隙密度相对较小。

3 结论

(1) 在伸展构造体制的拉张应力场作用下,主要形成有与伸展方向正交、平行和斜交的3组张性裂隙,其中以与伸展方向正交的一组裂隙最发育。储层中3组裂隙相互连通,构成了裂隙的三维网络系统,控制了储层中油气的有效渗流体系。

(2) 在伸展构造区,储层裂隙在平面上和剖面上具有与正断层相似的分布特征。在剖面上,穿层裂隙表现出“平面式”、“铲形式”、“坡坪式”、“堑垒式”、“多米诺式”等分布形式,是区内伸展构造样式的重要组成部分。

(3) 由于储层的泥岩夹层中含较高的脆性成分,其穿层裂隙、顺层裂隙及成岩裂隙发育,它们是储层中有效的储集空间和渗流通道的组成部分,故泥岩夹层不具备真正的分隔性能,可划分为准储层,这类油藏具块状特征。

(4) 储层中裂隙的发育受岩性、层厚和伸展断层的控制。随着层厚的增加,裂隙间距呈线性增大,密度减小。在伸展断层附近,构造应力及裂隙的分布具分带性,一般与断层平行的一组裂隙最发育,断层上盘的裂隙密度比下盘更大。

参 考 文 献

- 1 纳尔逊 R A, 柳广第等译. 天然裂隙性储层的地质分析. 北京:石油工业出版社, 1985
- 2 Qin Huang & Angelier J. Fracture spacing and its relation to bed thickness. *Tectonophysic*, 1989, 126(4)
- 3 Narr W and Suppe J. Joint spacing in sedimentary rocks. *J. Struct. Geol.*, 1991, 13(9)
- 4 Rives T and Razack M. Joint spacing: analogue and numerical simulations. *J. Struct. Geol.*, 1992, 14(8~9)

(收稿日期:1996年9月26日)

DISTRIBUTION CHARACTERISTICS OF FRACTURES IN LOW PERMEABLE RESERVOIRS IN AN EXTENSIONAL STRUCTURAL REGION

Zeng Lianbo Tian Chonglu

(*Petroleum University, Beijing* 102200)

Abstract

The dolomite reservoir of Sha 4 Member in Leijia Formation, Liaohe basin is taken as an example to study the distribution characteristics of fractures in low permeable reservoirs of an extensional structural region. Three distributive types of fractures are identified, i. e. internal, transverse and bedding fractures, of which internal fracture is strictly controlled by dolomites, perpendicular to and terminated onto the bedding plane; whereas transverse fracture is in a high-angle oblique to bedding plane. On a section, a mono-fracture appears planar, listric and ramp-flat; and multi-fractures may be in a combined pattern of graben-horst or domino, showing a consistent distribution with the growth normal faults in the region. Fractures and normal faults will constitute a complete structural style of an extensional structure within the region, ranging from macroscope to microscope in scale.

The distribution of fractures in a reservoir is controlled by the factors of lithology, bed thickness and faults, etc. Transverse and bedding fractures are well developed in the argillaceous interlayers of dolomite reservoirs, and are interconnected; together with fractures in the dolomites, they make up a 3-D fracture network. As a result, the argillaceous interlayers can not be taken as impermeable layers but para-reservoirs instead, and thus the dolomite oil reservoirs are characteristic of block. Toward an extensional fault, the fractures in the hanging wall are more developed than those in the footwall with good zonation.