

东濮凹陷户部寨地区致密砂岩储层裂缝发育规律

中原石油勘探局勘探开发研究院 杨依超 郭丽 时爱红 汪功怀

户部寨地区位于东濮凹陷中央隆起带北部文留和卫城构造之间,南北长 9 km,东西宽 2.5~4.0 km,面积约 32 km²。该区沙三—沙四段构造为卫西和卫东断层控制下形成的地垒带,呈北北东向展布,地层倾向 100°~120°,倾角 20°~40°,构造内部被两条北北东向贯穿整个构造的断层及一系列小断层分割成两个反向屋脊带和多个断块。主要含气层位为沙四段,地层厚度 300~350 m,砂岩层发育,砂岩含量百分比 60%~70%,储层致密,孔隙度 7%~12%,渗透率在 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 以下,孔喉半径小,排驱压力大,不经压裂很难获工业气流。

据岩心观察,储层中有裂缝发育,在东濮凹陷中深层有一定代表性。裂缝的存在不但使得储层易于被压裂改造,而且还可提高储层的渗流能力,获得稳定的高产能。这对于致密储层具有重要意义。

1. 裂缝发育特征

据 9 口井 320 m 岩心观察描述结果,户部寨地区裂缝发育。具有大多为高角度缝,以剪切缝为主,组系特征明显和与岩性关系密切等特点。

(1) 裂缝产状近于直立,主要为高角度缝

据岩心观察,大部分裂缝产状均较陡,倾角普遍大于 80°,低角度缝较少,水平缝不发育。只有当砂岩中的裂缝延伸入泥岩层,才相应发育一些小规模低角度缝。

(2) 以剪切缝为主,局部发育张性缝

户部寨地区沙四段裂缝类型多样,既有构造缝,也存在成岩缝(后者是成岩作用过程中所形成的各种裂缝,规模较小,无一定规律和产状,只在泥岩中发育)。构造缝发育普遍,按力学性质可分为剪切缝和张性缝,该区以剪切缝为主,张性缝较少。

1) 剪切缝。包括压剪缝和张剪缝。压剪缝缝面平整、光滑、规则,无充填物,成组性好,产状近直立。劈理缝常见,为地应力突然释放的产物。裂缝闭合,单条缝高 0.05~3.5 m,一般 0.2~1 m。张剪缝产状与压剪缝类似,缝面局部存在方解石膜,与压剪缝相伴生。

2) 张性缝。在岩心中常表现为缝面不规则,有方解石膜或被方解石充填,脉宽 1~5 mm,大部分完全将裂缝填满,无明显开启度,倾角常小于 60°,有时呈雁行式排列,单条缝较小,仅在沙四下亚段局部发育。

岩心中可见剪切缝切割张性缝的现象,说明剪切缝和张性缝形成于不同时期的构造活动,且剪切缝形成时期晚于张性缝。

(3) 具有明显组系特征

古地磁剩磁测试数据结合岩心观察分析统计结果表明,

裂缝具有清晰统计组系特征,存在 20°~40°、80°~90°、100°~110°和 130°~140° 共 4 组优势方位。张性缝集中在 80°~90°和 100°~110°,两组剪切缝走向为 20°~40°和 130°~140°。

(4) 裂缝发育程度与岩性有密切关系

由概率法求解裂缝指数所得到的裂缝间距表明:砂岩裂缝密度大于泥岩裂缝密度,同时,含钙质的岩石又比同类不含钙质的岩石裂缝密度大。这是由于含钙质的岩石性脆,在地层受力变形过程中易发生破裂的结果。

2. 裂缝成因分析

据裂缝特征分析,户部寨地区对储层有积极意义的为两组发育普遍的高角度未充填剪切缝。

盆地演化史研究认为,进入早第三纪始新世,由于印度板块和欧亚板块碰撞和太平洋板块运动方向的转变,中国东部由左旋挤压剪切运动转变为右旋拉张剪切作用,形成渤海湾大型内陆断陷盆地。在这一区域背景下,造就了东濮凹陷的形成及构造发育。因此,在之后的地层变形过程中,东濮凹陷受到统一的右旋拉张剪切应力场作用。

据剪切实验结果,在剪切应力作用下,可以形成两组共轭剪节理,这与户部寨地区存在的两组剪切缝十分吻合。因此,该区发育的剪切缝是区域右旋剪切应力作用的产物。

3. 裂缝综合识别

户部寨地区沙四段裂缝在地下基本处于闭合状态,且为直立缝,电测曲线上裂缝响应特征微弱,地震反射信息不明显,动态资料反应不典型,识别该类裂缝有很大难度。研究认为,以录井显示以及压裂施工参数来识别地下裂缝的存在、全面认识裂缝在地下的分布是一种有效的方法。

(1) 录井显示分析

地下裂缝的存在,使得地层在外力作用下,易于发生进一步破裂,在一定程度上改善了储层的渗流能力,使得钻井过程中地层易发生井漏。如部 1—2 井 3 371.0~3 396.96 m,钻井液密度 1.34 g/cm³,粘度 50 s,发生井漏,漏失泥浆 30 m³,这种现象对于东濮凹陷类似的致密气层来说是不常见的。岩心观察发现该井段发育裂缝 10 条,显然泥浆漏失与裂缝发育有直接关系。据此可以间接分析地下裂缝的发育情况。

户部寨地区沙四段钻井过程中有 4 口井发生井漏,漏失泥浆 13.5~70 m³,且主要集中在卫 79—9 块,显然预示着该块裂缝较发育。

(2) 破裂压力统计

据部 1—2 井和部 3 井取心资料统计,在压裂井段裂缝发育:部 1—2 井 3 348~3 396.96 m,发育裂缝 27 条,缝长 0.1~2.8 m,破裂压力梯度仅 0.0117 MPa/m,部 3 井破裂

川中华蓑西地区石炭系储层地球化学特征

西南石油学院 钟大康 王安平 陈世佳 吴亚红 吴 震

华蓑西地区位于四川盆地川中油气区的东南缘,东侧以华蓑山深大断裂为界与川东气区相邻,面积约 3 771 km²。该区目前已钻穿石炭系的井共有 6 口(水深 1、广参 2、广 3、华西 1、华西 2、涑 1 井)。据钻井资料,石炭系在该区厚 9~35.2 m,岩性为一套石灰岩和白云岩。钻井显示,涑 1 井产微量气,华西 1 和华西 2 井产少量气。然而,与华蓑西地区仅以深大断裂相隔的川东地区却发现了大量的石炭系气藏,在华蓑西地区是否也能找到如此规模的气藏是近年来人们一直关心的问题。据生物标志化合物对比、天然气碳同位素、有机包裹体、镜质体反射率、储层焦沥青、天然气干燥系数以及天然气非烃组分的研究结果,分析了该区石炭系储层的地球化学特征。

1. 石炭系气源分析

根据石炭系储层与志留系潜在烃源岩生物标志化合物(甾萜类)对比以及石炭系与二叠系天然气非烃组分对比发现,华蓑西地区石炭系天然气的气源为其下伏的志留系泥岩。有三方面的论据支持这一观点:首先,石炭系储层与志留系暗色泥岩抽提物生物标志化合物(甾萜类)对比发现,两者的正常甾烷都呈“V”字型分布,即 C₂₈明显低于 C₂₇和 C₂₉,重排甾烷也较丰富;萜烷中三萜烷和五环三萜的分布极为相

似。其次,石炭系天然气的非烃组分与二叠系明显不同,CO₂和 H₂S 含量明显低于二叠系(表 1),说明石炭系与二叠系

表 1 二叠系和石炭系天然气组分对比表

井号	层位	CH ₄ (%)	C ₂ H ₆ (%)	H ₂ S (%)	CO ₂ (%)	C ₁ /C ₁ +C ₂ ⁺
广参 2 井	二叠系	70.42~ 99.07	0.11~ 8.92	0.81~ 13.32	0.25~ 9.93	0.887 6~ 0.998 9
	石炭系	86.61~ 98.67	0.06~ 0.08		0.06~ 0.08	0.999 9
涑 1 井	二叠系	91.84	1.17	2.23	2.77	0.973 4
	石炭系	98.58	0.35		0.05	0.996 5
广 3 井	二叠系	98.01	0.39		4.55	0.997 5
	石炭系	96.86~ 97.95	0.03~ 0.14	0.34~ 0.46	1.35~ 2.44	0.997 7~ 0.998 5
水深 1 井	二叠系	82.72	10.1		6.37	0.891 4
华西 1 井	石炭系	91.17~ 98.27	0.02	0.55~ 1.36	0.39~ 0.65	0.999 8

天然气不同源,即石炭系天然气不是来自上覆二叠系泥岩。再者,石炭系本身的岩性为各类晶粒白云岩和石灰岩,沉积

压力梯度 0.012 4 MPa/m;而岩心中未见裂缝的文 177 井,破裂时破裂压力梯度达 0.013 7 MPa/m。

分析中原油田中深层 53 口压裂井的统计资料后认为,地层破裂压力梯度等于 0.013 MPa/m 可以作为裂缝是否发育的界限。统计了户部寨地区沙四段 12 口压裂井,有 6 口井小于上述界限值,尤其卫 79—9 块 3 口压裂井地层破裂压力梯度值平均不到 0.012 MPa/m,说明该块裂缝十分发育。

4. 地应力预测裂缝分布

户部寨地区裂缝是剪切应力条件下形成的高角度闭合裂缝,地震信息反映弱,上述预测方法均受到种种条件的限制,使用困难。结合具体资料,应用了地应力分析方法对裂缝分布进行预测。

(1) 预测原理

现今地应力是地层破裂变形后,相对剩余应力值的大小,地层破裂越严重(裂缝越发育),地应力释放就越多,剩余地应力值就越小;反之裂缝不发育时,剩余地应力相对较大。因此,利用现今地应力值的大小,可以预测裂缝的理论发育区。

(2) 地应力大小的计算方法

威廉斯 P. B. (1968) 在论述酸化压裂的过程中,将岩石应

力与地层破裂压力之间建立了一个简单近似关系式: $p_{\infty} = p_f - p$ (p_{∞} 表示岩石相对应力值, p_f 表示地层破裂压力, p 表示地层孔隙压力)。

当知道地层破裂压力及地层孔隙压力时,就可以估算出相对地应力值的大小(但无法确定方向)。

(3) 裂缝预测结果

根据地应力值计算结果,户部寨地区在部 5 井一文 90 井,大致呈北东向延伸的条带内,地应力值小于 5 MPa,卫 79—9 块部 1—2 井以南小于 2 MPa。结合岩心描述及裂缝识别综合分析认为,这些部位为裂缝主要发育区,其中卫 79—9 块南部裂缝最发育,其它部位裂缝相对较少。

据此研究成果,部署滚动开发井 2 口,其中一口对 3 454.1~3 588.9 m 进行压裂,地表破裂压力 30 MPa,折算地层破裂压力 38.36 MPa,破裂压力梯度 0.010 9 MPa/m。由此可见,该部位有裂缝发育。用 5 mm 气嘴测试产气 5.34 × 10⁴ m³/d,凝析油 1.28 m³/d,并发现沙四段下新含气层系。另一口井钻遇气层厚 87 m,仅对 3 479.8~3 487.7 m (5.9 m/2 层)进行测试,初期产气 (3~5) × 10⁴ m³/d,滚动勘探取得良好效果。

(编辑 居维清)