

川西坳陷须家河组致密砂岩储层裂缝特征

张贵生

(中国石化西南分公司勘探开发研究院)

张贵生.川西坳陷须家河组致密砂岩储层裂缝特征.天然气工业,2005;25(7):11~13

摘要 研究成果表明,川西坳陷上三叠统须家河组由于深埋、经历地史时期长、岩石成岩作用强烈,因而储层物性总体较差,尤其是须二段,孔隙度小于5%,渗透率一般小于 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,属于致密—超致密砂岩范畴。现今储层的基质孔、渗已不能满足天然气的规模运聚,天然气的富集、产出和高产强烈依赖于裂缝对储层储集条件的改善,因此,裂缝研究对油气勘探有着极为重要的意义。文章通过对野外露头、钻井岩心裂缝和岩石薄片微裂缝的观察描述、统计和分析,并采集裂缝充填矿物(方解石、石英)样品进行稳定同位素检测、包体测温检测和 ESR 测年实验分析,基本明确了裂缝的成因类型、裂缝特征、裂缝形成期次及其与天然气产能的关系。

主题词 川西坳陷 晚三叠世 致密砂岩 储集层 裂缝(岩石) 特征 天然气 产能

一、露头裂缝特征

野外地表露头所见到的裂缝可分为以下几类(图见内部参考资料^①p.87~89)。

(1)褶皱变形纵张裂缝:背斜岩层裂缝产生在中性面以上部位,向斜岩层裂缝产生在中性面以下部位。

(2)断层派生裂缝:裂缝与断层相伴生,且发育于断层面两侧及断层末梢附近。

(3)低角度剖面“X”型共轭剪切缝:区域应力和局部应力均可形成这类裂缝。

(4)平面“X”剪切缝:裂缝面与地层垂直。

(5)区域隆升卸载缝:地层在埋藏历史中隆升或遭受风化剥蚀后产生垂直方向的卸载裂缝。

(6)隆升卸载收缩缝:裂缝近水平或垂直于地层面,岩层隆升卸载、出露地表失水收缩形成。

二、岩心裂缝特征

本次研究对川西坳陷中段区内 16 口代表井约 800 m 长的岩心进行了详细描述。对储层渗透率起改善作用的主要是构造成因裂缝(图见内部参考资料^①p.90~92)。

(1)构造缝:①剖面“X”共轭剪切裂缝:为挤压环

境,形成低角度缝(图1),在拉张环境下,形成高角度缝。



图1 川合 127 井须四低角度剖面“X”剪切缝

②平面“X”共轭剪切裂缝:裂缝产状在剖面上为直立状,在岩心上表现为垂直缝或高角度斜交缝,平直缝面上常见擦痕和阶步,擦痕方向近于水平。

(2)沉积(层理)—构造缝:裂缝面平直,见位移擦痕,裂缝产状决与层理产状一致,这类裂缝不多见。

(3)岩性—构造缝:在构造应力作用下,岩石沿力学结构面破裂产生裂缝。

砾石缝的分布、规模、产状特征取决于炭砾(泥砾)的分布,裂缝分布于砾石内部、或沿砾石边缘、或贯穿砾石延入围岩。

* 本文系“川西上三叠统须家河组天然气成矿规律及富集带预测”中石化科学技术研究开发项目(编号:P01067)的部分研究内容。

作者简介:张贵生,1963年生,高级工程师;1999年毕业于原成都理工学院,获硕士学位,一直从事油气勘探综合研究工作。地址:(610081)四川省成都市青龙场。电话:(028)83526812。E-mail:zgsgy1963@sina.com

(4)饼裂缝:其形成与高异常地应力有关,裂缝产状水平,岩心呈酥饼状。

(5)诱导层理缝:裂缝面平直,裂缝产状与层理产状一致。

(6)取心卸载裂缝:由取心卸载而形成,裂缝一般为水平产状。

(7)失水收缩缝:指富含水分的岩石(泥岩、页岩等)失水收缩作用形成的裂缝。川西坳陷须家河组储层裂缝在不同地区、不同构造、或同一构造的不同部位发育程度有较大的差异(表见内部参考资料^①p.93)。

三、镜下微裂缝特征

此次对孝泉—新场、合兴场构造共7口井、235块薄片的裂隙进行了观察、描述和统计。

微裂缝多为近于平行的一组裂缝组系,部分为两组近于垂直相交的裂缝组系,少量为孤立状、杂乱。裂缝形态多为直线、曲线,部分为弧形弯曲、直线拐折、曲线分叉、不规则网状、树枝状分叉(图2),微裂缝宽度小于0.0007~0.141 mm,长度小于0.021~2 mm,少数大于2 mm。

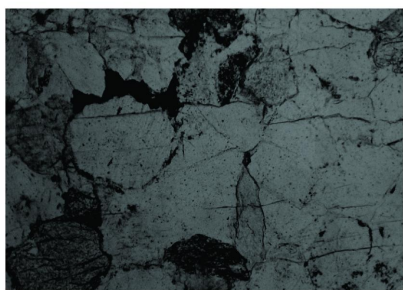


图2 薄片观察微裂缝特征

须家河组二段、四段储层中微裂缝普遍发育,但其分布极不均匀,不同的构造和不同部位其发育程度存在明显的差异,如合兴场须二、须四段储层中的微裂缝出现频率平均分别为26.5%和34.0%,总平均为30.2%,每张照片平均裂缝数分别为7.2和6.9条,总平均为7.04条(表见内部参考资料^①p.95),而孝泉—新场须二、须四段储层中的微裂缝照片出现频率平均分别为14.3%和24.3%,总平均为19.3%,每张照片平均裂缝数分别为5.0条和5.7条,总平均为5.35条。显然,合兴场构造须二、须四段储层中的微裂缝总体较孝泉—新场发育,但在局部地区如新851井区微裂缝也较发育,这与构造形变强度和断层发育密切相关。

四、裂缝的形成期次

在对岩心裂缝特征进行详细观察描述的基础上,采集裂缝次生充填矿物(方解石、石英)样品,进行了稳定同位素检测、包体测温检测实验和ESR测年分析,并根据实验检测成果对裂缝形成的期次进行了判定。

(1)稳定同位素检测判定裂缝形成期次

小塘子组、须家河组二段、四段砂岩储层裂缝充填方解石或石英碳氧同位素分布(图见内部参考资料^①p.99),按其分布特征可分为不同的类区,根据图中各同位素分布区的平均氧同位素($\delta^{18}\text{O}$)值,按Fritz和Smith(1972年)针对老地层(同位素偏轻)提出的测温方程:

$$t = 31.9 - 5.55(\delta^8\text{O} - \delta^8\text{O}_w) + 0.7(\delta^8\text{O} - \delta^8\text{O}_w)^2$$

计算出各区充填物的形成温度(表见内部参考资料^①p.99~100)。计算结果表明:小塘子组Ⅰ类区充填矿物形成时的温度为97.55℃,Ⅱ类区充填矿物形成时的温度为172.82℃,取古地表年平均温度为20℃,平均古地温梯度为3.3℃/100m,则得到两期裂缝形成时的埋深分别为2350m和4630m,与研究区的构造发展史对比,相当于研究区(川西地区)千佛崖组沉积末和蓬莱镇组沉积晚期,分别对应于早燕山构造形变世代末期和中燕山构造形变世代晚期。

同理可得:须家河组二段砂岩储层三期裂缝形成的时期,分别对应于中燕山构造形变世代的早、中期和晚期。须家河组四段砂岩储层两期裂缝形成的时期,分别对应于中燕山构造形变世代的晚期和末期。

(2)包体测温检测实验判定裂缝形成期次

小塘子组、须家河组二段、四段储层裂缝充填物包裹体测温值分布范围(图见内部参考资料^①p.102~103),利用古地温折算出不同类区裂缝充填物形成时的埋深,即可推算出裂缝的形成期次(表见内部参考资料^①p.103)。

分析结果表明:小塘子组储层裂缝形成期为中燕山构造形变世代早期、中燕山构造形变世代晚期。须家河组二段储层裂缝形成期为早燕山构造形变世代末期、中燕山构造形变世代中期、中燕山构造形变世代晚期、中燕山构造形变世代末期、晚燕山—四川构造形变世代末期、喜马拉雅构造形变世代。须四段储层裂缝形成期为中燕山构造形变世代晚期、晚燕山—四川构造形变世代末期、喜马拉雅构造形变

世代。

(3)ESR 测年分析判定裂缝形成期次

采集岩心裂缝充填矿物石英晶体,作电子自旋共振(ESR)年龄测定结果(表 1)表明,合兴场须家河组二段储层裂缝形成于印支晚幕构造运动,须四段裂缝形成于燕山晚幕和喜山早幕。

表 1 须家河组裂缝充填石英晶体 ESR 测年分析成果表

井号	层位	井深 (m)	单矿物 名称	年龄 (10 ⁸ a)	构造形变 世代
川合 138	T ₃ x ²	4596.81	SiO ₂	2.19	印支晚期
川合 127		4578.23	SiO ₂	2.17	印支晚期
川孝 94	T ₃ x ⁴	3353.85	重晶 SiO ₂	0.23	喜山早期
川鸭 95		3765.28	SiO ₂	1.69	燕山晚期

综合以上分析,川西上三叠统储层中。小塘子组储层裂缝形成于燕山早中期;须二段裂缝最早形成于印支晚期,在燕山构造运动期及喜山构造运动期均有裂缝形成,部分早期形成的裂缝被方解石或石英全充填;须四段裂缝最早形成于中燕山构造形变世代晚期,在晚燕山构造运动期及喜山构造运动期亦均有裂缝形成。印支期和燕山期形成的裂缝对早期油气的运聚成藏起到了促进作用。喜山期形成的裂缝多为未充填的有效缝,故对因储层致密化被“封冻”天然气的“复活”产出起着决定性的作用。

五、裂缝与储集岩储、渗性及产能的关系

从须家河组部分岩石单向渗透率与径向渗透率的差异结合岩心裂缝观察分析可知:当储层中不发育裂缝时,两种渗透率差异极小;当样品中发育裂缝时,单向、径向渗透率差异急剧增大;说明径向渗透率中有较多的裂缝作贡献,裂缝主要为平缝或低角度缝。

在须家河组储层中,孔、渗相关性较差,特别是一些高渗透段,相关性更差。结合岩心裂缝观察和岩石镜下孔喉特征分析可知,孔、渗相关性差的主要原因是储层中发育有裂缝。如孝泉地区须家河组孔—渗相关系数为 0.266,表明相关性极差。渗透率低的样品由于渗透性主要由基质提供,因此相关系数较高;随着储层裂缝发育程度的降低,孔、渗相关性变好(图见内部参考资料^①p.108)。由此同样可见,裂缝对提高须家河组致密储层渗透性有十分重要的作用。

勘探实践和研究成果表明:须家河组储层中发育的裂缝对储层储能贡献极小,但其对储层渗透性的改善作用十分明显,当储层中发育裂缝时,渗透率显著增加;如果没有裂缝对储层渗透性的有效改善,储层难以成为有效储层。储层渗流性的改善,使其中的烃类得以有效释放,裂缝系统规模越大,油气产能越高。钻探成果表明须家河组储层中裂缝发育程度一般与天然气产能成正相关(表见内部参考资料^①p.107)。

值得注意的是:早期裂缝更有可能被矿物充填而失去其有效性,而晚期裂缝往往未被充填使得较难识别和判定,但晚期形成的裂缝系统如不能与早期的油气聚集带(油气圈闭)叠加或连通,也不能作出其应有的贡献。因此,对川西须家河组致密砂岩气藏的勘探部署,应注意寻找与古油气聚集带(储层致密化以前—晚燕山期以前的圈闭)叠加的晚期裂缝系统发育带。

储层微裂缝的发育程度与天然气产能没有直接的关系。如合兴场川合 127、137 井微裂缝出现的频率和发育程度分别为 26.1%、36.0% 和 7.3 条/张、5.2 条/张,均高于新 851 井(14.3%、5.0 条/张),但其产能远不及新 851 井。

微裂缝孔隙度、渗透率计算结果[孔隙度为 0.0000055%~0.0087%、渗透率为(7.6~24000)×10⁻³ μm²]说明:微裂缝对储能的贡献极小。对微裂缝本身而言所计算的渗透率值较大,微裂缝所在部位渗透性能有较大的改善,但由于微裂缝延伸距离小、分布相对孤立、相互连通性差,不能形成有效的裂缝网络,其本身对产能的贡献较小,但当其与显裂缝叠加时,可极大地改善储层的渗透性。

六、结 论

(1)川西坳陷须家河组致密砂岩储层裂缝根据其特征和成因可分为两大类,即构造成因裂缝和非构造成因裂缝,对储层渗透率起改善作用的主要是构造成因裂缝。

(2)须家河组二段、四段储层中微裂缝普遍发育,但其分布极不均匀,不同的构造和不同部位其发育程度存在明显的差异,这与构造形变强度和断层发育密切相关。

(3)川西上三叠统储层发育有多期次裂缝。小塘子组储层裂缝形成于燕山早中期,须二段裂缝最早形成于印支晚期,须四段裂缝最早形成于中燕山构造形变世代晚期。印支期和燕山期形成的裂缝对

早期油气的运聚成藏起到了促进作用,喜山期形成的裂缝对因储层致密化被“封冻”天然气的“复活”产出起着决定性的作用。

(4)须家河组储层中发育的裂缝对储层储能贡献极小,对储层渗透性的改善作用十分明显,当储层中发育裂缝时,渗透率显著增加。钻探成果表明须家河组储层中裂缝发育程度一般与天然气产能成正比相关,裂缝系统规模越大,油气产能越高。储层微裂缝的发育程度与天然气产能没有直接的关系。

文中参考的内部资料:①张贵生等,《川西上三叠统须家河组天然气成矿规律及富集带预测》,中国石化西南分公司勘探开发研究院,2003。

参 考 文 献

1 王允诚等.裂缝性致密油气储集层.北京:地质出版社,

1992
2 周文.裂缝性油气储集层评价方法.四川成都:四川科学技术出版社,1998
3 戴弹申.裂缝圈闭及其勘探方法.天然气工业,1990;10(4):1~6
4 宋惠珍等.裂缝性储集层研究理论与方法.北京:石油工业出版社,2001
5 甘秀娥.低孔渗砂泥岩储层裂缝发育程度与产能关系.天然气工业,2003;23(5)

(收稿日期 2005-03-06 编辑 黄君权)