

# 鄂尔多斯盆地上三叠统延长组特低渗透砂岩储层裂缝特征及成因

曾联波<sup>1,2)</sup>, 李忠兴<sup>3)</sup>, 史成恩<sup>3)</sup>, 王正国<sup>2)</sup>, 赵继勇<sup>3)</sup>, 王永康<sup>3)</sup>

1) 中国石油大学石油天然气成藏机理教育部重点实验室, 北京, 102249; 2) 中国石油大学资源与信息学院, 北京, 102249; 3) 中国石油长庆油田分公司, 西安, 710021

**内容提要:**根据地表露头、岩心、薄片和实验等资料,对鄂尔多斯盆地上三叠统延长组裂缝的分布特征及其成因进行了分析。鄂尔多斯盆地延长组为一西倾的平缓单斜构造,其上发育两组正交型式的构造裂缝系统,在盆地中部的靖安—安塞地区主要为东西向和南北向两组正向正交裂缝,而在盆地西南部的陇东地区主要为北西—南东向和北东—南西向两组斜向正交裂缝,它们主要在侏罗纪末期和白垩纪末期—古近纪形成。侏罗纪末期,在北西—南东方向水平构造挤压为主的应力作用下,可以形成东西向和北西—南东向共轭剪切裂缝;白垩纪末期—古近纪,在北东—南西方向水平挤压应力场作用下,可以形成南北向和北东—南西向共轭剪切裂缝。但由于受沉积和成岩作用造成的岩层强烈非均质性的影响,同一时期的两组共轭剪切裂缝的发育程度在不同沉积体系不一致,其中一组裂缝受到抑制,发育程度较差。因此,在每个构造时期主要发育有一组单剪裂缝,在两期构造作用下,主要表现为两组正交的裂缝系统。

**关键词:**裂缝;分布特征;成因;延长组;鄂尔多斯盆地

上三叠统延长组是鄂尔多斯盆地的主要含油层位,目前投入开发的安塞油田、靖安油田、延长油矿以及西峰油田都是开采该主力油层,它们主要分布于盆地的中部和盆地的西南部。其岩石的孔隙度一般为10%左右,渗透率一般小于 $10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,属于典型的低孔特低渗透砂岩储层(李凤杰等,2005)。由于沉积、成岩和后期构造作用的影响,使得特低渗透储层非均质性严重,受岩性、层厚、构造及应力等因素影响的天然裂缝发育,它们控制了特低渗透储层的渗流系统,从而影响特低渗透油田开发方案的部署及其开发效果(Wu et al., 1995; Finkbeiner et al., 1997; Ji et al., 1998; Peter et al., 1999; 曾联波等, 1998; Bai et al., 2000; John et al., 2002; Chad et al., 2003; Tuckwell et al., 2003; 曾联波, 2004; 蒋凌志等, 2004; 曾大乾等, 2003)。因此,储层裂缝的分布特征及其发育规律研究对特低渗透油田的合理开发具有十分重要的理论和实际意义。

鄂尔多斯盆地作为我国主要的特低渗透砂岩储层的分布区域之一,在盆地中新世代构造应力场分

布及其演化以及影响盆地应力状态的构造流体与热事件等方面进行了许多研究(任战利等, 1994, 2006; 孙少华等, 1997; 吴冲龙等, 1997; 王双明等, 1999; 张泓等, 2000)。并从特低渗透油田生产需要出发,对已投入开发的多个特低渗透油田的储层裂缝分布特征及其参数描述方面开展过大量的基础工作(曾联波等, 1999; 张莉, 2003)。但从全盆地的角度对特低渗透砂岩裂缝的分布特征、裂缝发育的差异性及其成因机制等方面缺少深入的研究,这是深入认识该区特低渗透砂岩储层裂缝的分布规律并对裂缝进行定量预测的基础,对解决该盆地基础地质问题以及油气资源勘探与开发中遇到的实际问题至关重要。本文在分析不同地区延长组特低渗透砂岩储层裂缝分布特征的基础上,对裂缝的成因类型、形成时期及其成因机理进行了深入的探讨,提出了岩层非均质性影响不同方向裂缝发育的新认识。

## 1 基本地质概况

鄂尔多斯盆地是一个在华北克拉通地块之上经

注:本文为国家自然科学基金项目(编号40572080)和石油科技中青年创新基金项目(编号05E7026)资助成果。

收稿日期:2006-11-15; 改回日期:2007-01-02; 责任编辑:周健。

作者简介:曾联波,男,1967年生,博士,教授。主要从事储层裂缝形成、分布及预测等方面的研究。通讯地址:102249,北京市昌平区中国石油大学资源与信息学院; Email: lbzeng@sina.com。

过长期演化叠加形成的中生代沉积盆地。早古生代为陆缘海盆地,晚古生代早期为滨浅海盆地,晚古生代晚期—三叠纪为内陆盆地,至侏罗纪末燕山中期以后才逐渐形成残延内克拉通盆地(何自新,2002)。在印支期以前,盆地的基底自西向东倾斜;印支期在构造挤压作用下东部开始缓慢地隆起;燕山期强烈的构造挤压使盆地东部大幅度抬升,从而使盆地的大部分地区开始变成一个西倾的单斜。根据鄂尔多斯盆地东缘出露的地层推断,盆地东缘抬升幅度至少在3 km以上(何自新,2002)。喜马拉雅期盆地进一步抬升,鄂尔多斯盆地最终定型成为目前平缓西倾的单斜构造,地层倾角小于 $1^\circ$ ,坡降 $6\sim 8\text{ m/km}$ ,其上发育一系列近东西向或北东向的鼻状构造带。

鄂尔多斯盆地具有古生代、中生代和新生代3套沉积盖层及古生代海相与中生代陆相含油气层系。古生代地层是鄂尔多斯盆地大型气田的主要层位,中生代地层是盆地重要的陆相生油层和低渗透砂岩储集层发育层位,尤其在内陆淡水至微咸水湖泊三角洲沉积体系的上三叠统延长组具有丰富的石油资源,其地层厚度 $1000\sim 1500\text{ m}$ ,储集层主要为河控三角洲高建设期形成的厚层状细砂岩,储层孔隙主要为受沉积微相和成岩作用控制的原生和次生溶蚀孔隙,其岩石致密,非均质性强,物性较差,裂缝发育(罗静兰等,2006)。裂缝是该区油气的有效储集空间和主要运移通道,是影响特低渗透砂岩油田开发方案部署的重要地质依据。

## 2 裂缝的分布特征

根据鄂尔多斯盆地中部靖安—安塞地区和西南部陇东地区的地磁定向岩心、薄片及成像测井分析,并结合延河、铜川和平凉等地表露头资料统计,鄂尔多斯盆地上三叠统延长组特低渗透砂岩储层分布有东西向、北西—南东向、南北向和北东—西南向4组裂缝。但在某一部位,主要表现为两组近正交的裂缝分布型式,它们在不同的地区明显不同(图1)。

在鄂尔多斯盆地中部的靖安—安塞地区,以与地层走向和倾向平行的东西向和南北向两组正交裂缝为主,而北东—南西向和北西—南东向两组裂缝的发育程度明显变差,与延河剖面的裂缝分布型式相一致。根据不同组系裂缝的饱和度计算(Wu et al., 1995),东西向和南北向裂缝的饱和度值分别为0.365和0.369,而北西—南东向和北东—南西向裂缝的饱和度值分别为0.508和0.516(曾联波等,1999),反映该区东西向和南北向裂缝型式发育

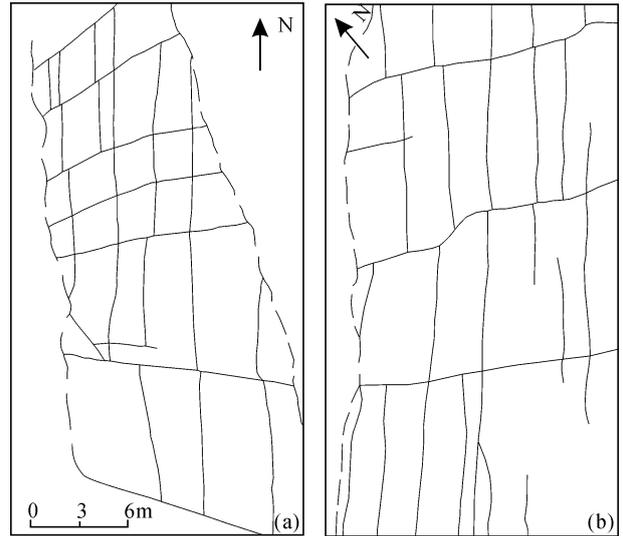


图1 鄂尔多斯盆地延长组地表露头裂缝分布型式  
Fig.1 The distribution types of fractures at the outcrops of Yanchang Formation in Ordos Basin  
(a)—盆地中部;(b)—盆地西南部;实线表现裂缝,虚线表示出露边界  
(a)—At the central Ordos Basin; (b)—at the southwest of Ordos Basin. The real lines are fractures, the broken lines are the boundary of outcrop

完好,基本达到饱和状态,而北西—南东向和北东—南西向裂缝型式发育较差,尚未达到饱和状态。

在鄂尔多斯盆地西南部的陇东地区,以与地层走向和倾向斜交的北西—南东向和北东—南西向两组斜向正交裂缝为主,而东西向和南北向裂缝的发育程度相对较差。根据裂缝间距指数计算(Narr, 1991),北东—南西向和北西—南东向裂缝的间距指数 $I$ 值分别为1.21和1.14,而东西向和南北向裂缝的间距指数 $I$ 值分别为0.95和0.68,反映该区北东—南西向和北西—南东向裂缝较发育,而东西向和南北向裂缝的发育程度较差。

裂缝的发育范围较广,分布比较规则,产状较稳定,规模较大,间距较宽,延伸较远。根据分形几何方法计算(Barton, 1995),裂缝的平均分数维 $D$ 值为1.37,大于1.34,表明不同组系的裂缝具有较好的连通性,它们可以构成良好的裂缝渗流网络系统。裂缝的发育程度受岩性控制,随着岩石中石英和长石矿物含量的增加,裂缝密度相应增大。在砂岩中,随着岩石颗粒变粗,裂缝的密度相应减小。裂缝的分布受岩层控制,裂缝主要在岩层内发育,垂直并终止于层面上,并在同一岩层内表现出较好的等距性。在一定层厚范围内,裂缝的平均间距与岩层厚度之间呈较好的

线性关系(Wu et al., 1995; Ji et al., 1998; Bai et al., 2000; 曾联波, 2004), 随着岩层厚度增大, 裂缝间距相应增大, 裂缝密度减小。当岩层的单层厚度大于 3 m 时, 裂缝一般不发育。裂缝间距与层厚之间这种线性关系, 是利用裂缝间距指数法评价不同组系裂缝发育程度的地质基础(Narr, 1991)。

### 3 裂缝的成因类型

根据控制天然裂缝形成的地质因素, 在地质成因上通常可以将天然裂缝分为构造裂缝、区域裂缝、成岩裂缝、收缩裂缝以及与表面有关的裂缝 5 种类型(Nelson, 1985)。所谓区域裂缝是指在相对未变形的地层中广泛发育、方位变化相对较小、破裂面两侧无明显水平错动且垂直于岩层面的裂缝系统(Lorenz et al., 1991a), 它们具有分布规则、规模大、间距宽、发育范围广、产状相对稳定以及延伸较远等特征。沉积盆地中的区域性裂缝通常以两组正交的形式出现, 两组正交裂缝的走向分别与盆地长轴和短轴相一致(Nelson, 1985)。根据鄂尔多斯盆地延长组的地质条件及其裂缝分布特点, 它们具有区域裂缝的特点(曾联波等, 1999)。

根据岩心和露头区的裂缝分布特征, 鄂尔多斯盆地延长组的裂缝产状稳定, 裂缝面平直光滑, 并常见擦痕甚至阶步; 裂缝多呈雁行式排列, 可见羽蚀构造; 在砾岩或含砾砂岩中, 还具有裂缝切穿砾石而过的现象; 裂缝的尾端具有折尾、菱形结环和菱形分叉等现象(图 2d); 并常见追踪东西向和北西—南东向裂缝以及追踪南北向和北东—南西向裂缝呈追踪张裂缝的现象(图 2e、f)。裂缝的上述特征表明该区裂缝主要为水平构造挤压应力作用下形成的剪切裂缝, 而且被追踪的两组裂缝为同一构造时期形成的一对共轭剪切裂缝。因此, 在地质成因类型上, 鄂尔多斯盆地延长组特低渗透砂岩储层裂缝应该属于在弱构造变形区发育的构造裂缝。Nelson (1985) 和 Lorenz 等(1991a, 1991b)定义的区域裂缝实际上是属于构造裂缝的一种类型, 即构造裂缝除了与褶皱构造有关的裂缝、与断层构造有关的裂缝、与刺穿等其他局部构造事件有关的裂缝以外, 还有一类在弱构造变形区形成的构造裂缝, 它们都与后期的构造应力作用有关。而成岩裂缝、收缩裂缝以及与表面有关的裂缝都是与构造作用无关的非构造成因裂缝。因此, 在地质成因上, 可以将天然裂缝分为构造裂缝和非构造裂缝两大类, 这种裂缝的成因分类更明确。

## 4 裂缝的形成时期

从裂缝的切割关系看, 鄂尔多斯盆地发育的 4 组裂缝主要在两期形成。在地表露头和岩心上, 可见东西向和北西—南东向裂缝限制南北向和北东—南西向裂缝(图 2a), 以及北东—南西向和南北向裂缝切割北西—南东向裂缝和东西向裂缝等现象(图 2b)。并根据东西向和北西—南东向裂缝以及南北向和北东—南西向裂缝呈追踪张裂缝的特点(图 2e、f), 反映该区裂缝主要在两期形成, 其中, 东西向裂缝和北西向裂缝为早期形成的一对共轭剪切裂缝, 而南北向裂缝和北东—南西向裂缝为晚期形成的一对共轭剪切裂缝。根据共轭剪切裂缝的野外切错关系以及追踪张裂缝的展布方向, 早期裂缝主要在北西—南东方向的水平挤压应力作用下形成, 而晚期裂缝主要在北东—南西向水平挤压应力场作用下形成。上述两期构造应力场的方向分别与该区侏罗纪末期和白垩纪末期—古近纪的构造应力场分布完全一致, 说明侏罗纪末期和白垩纪末期—古近纪是该区裂缝的主要形成时期, 与裂缝充填物的包裹体分析得到的结果相同, 也与地表露头裂缝的统计结果相同。在铜川剖面, 根据上三叠统延长组、侏罗系和白垩系 1280 条裂缝统计结果看, 延长组和侏罗系裂缝的分布完全一致, 它们和白垩系裂缝的分布明显不同, 同样反映侏罗纪末期和白垩纪末期—古近纪是该区裂缝的两个主要形成时期。

## 5 裂缝的成因

平缓地层正交裂缝的成因解释有岩石圈板块平缓挠曲、地潮疲劳、结晶基底断裂重新活动和构造挤压等(Nelson, 1985; Lorenz et al., 1991a, 1991b; Gross, 1993), 但都缺少有力的证据, 也不适合鄂尔多斯盆地的地质条件。根据鄂尔多斯盆地正交裂缝的分布特征以及实际的地质条件, 并结合大量岩石力学试验结果的综合分析, 其裂缝的形成主要与非均质性岩层的水平构造挤压、埋藏和隆起剥蚀等造成的多期应力作用有关。水平构造挤压应力是形成裂缝的主要力源, 而由于沉积和成岩作用造成的岩层力学性质非均质性是造成该区不同时期不同方向裂缝发育程度差异并表现为正交裂缝的主导因素。在同一构造应力作用下, 沿岩石强度最弱的方向最容易发生破裂形成裂缝。限于篇幅, 岩层力学性质的非均质性控制不同组系裂缝发育的证据将在另外的论文中专门论述。

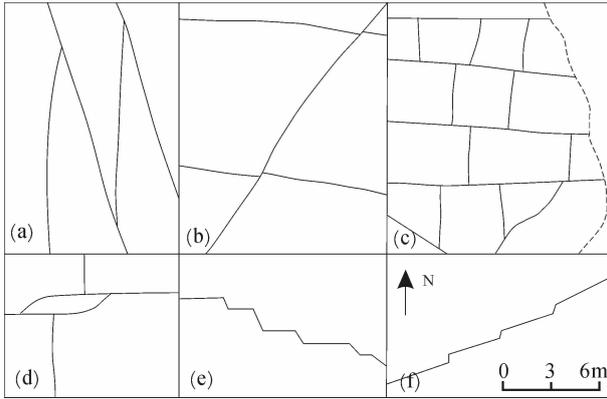


图 2 鄂尔多斯盆地延长组不同组系裂缝相互关系图

Fig. 2 The correlation of different sets of fractures in Yanchang Formation, Ordos Basin

(a) — 北西—南东向裂缝限制南北向裂缝; (b) — 北东—南西向裂缝切割东西向裂缝; (c) — 东西向裂缝限制南北向裂缝; (d) — 东西向裂缝的尾端; (e) — 东西向裂缝和北西—南东向裂缝呈追踪张裂缝; (f) — 南北向裂缝和北东—南西向裂缝呈追踪张裂缝  
 (a) — NW—SE fractures restrict S—N fractures; (b) — NE—SW fractures incise E—W fractures; (c) — E—W fractures restrict S—N fractures; (d) — The trail end of E—W fracture; (e) — E—W fractures and NW—SE fractures are tracing tension fractures; (f) — S—N fractures and NE—SW fractures are tracing tension fractures

侏罗纪末期,鄂尔多斯盆地受到北西西—南东东向水平构造挤压和第二次构造热事件(任战利等, 1994, 2006; 孙少华等, 1997; 吴冲龙等, 1997; 王双明等, 1999; 张泓等, 2000; 陈瑞银等, 2006)。此时,上三叠统延长组达到最大埋藏深度(图 3), 具有较高的古地温(古地温梯度为 3.5~4.7°C/100m)和地层流体压力。在构造挤压和深埋藏作用引起的应力作用下,形成了延长组早期的东西向和北西—南东向两组共轭剪切裂缝,但在盆地西南部陇东地区的沉积体系,由于沉积和成岩作用造成的不同方向的岩石力学性质非均质性(图 4),使两组共轭剪切裂缝的发育程度不一致,它抑制了共轭剪切裂缝系中东西向裂缝的发育程度,使北西—南东向裂缝发育。而在盆地中部靖安—安塞地区的沉积体系,岩层强烈非均质性抑制了两组共轭剪切裂缝系中的北西—南东向裂缝的发育程度,使东西向裂缝发育(图 5)。

白垩纪末期—古近纪,鄂尔多斯盆地受到北北东—南南西向水平构造挤压和第三次构造热事件(任战利等, 1994, 2006; 孙少华等, 1997; 吴冲龙等, 1997; 王双明等, 1999; 张泓等, 2000; 陈瑞银等, 2006),并造成了 600~3200 m 厚度的地层剥蚀(图

3)。在构造挤压和抬升剥蚀作用引起的应力作用下,形成了延长组晚期的南北向和北东—南西向两组共轭剪切裂缝,但在盆地中部的靖安—安塞地区,沉积和成岩作用造成的岩层强烈的非均质性抑制了两组共轭剪切裂缝系中的北东—南西向裂缝的发育程度,使南北向裂缝发育(图 5);而在盆地西南部的陇东地区,强烈的岩层非均质性抑制了两组共轭剪切裂缝系中的南北向裂缝的发育程度,使北东—南西向裂缝发育。因此,在盆地中部的靖安—安塞地区,主要表现为东西向和南北向两组正交裂缝系统,而其他两组裂缝相对不发育;而在盆地西南部的陇东地区,主要表现为北西—南东向和北东—南西向两组正交裂缝系统,而其他两组裂缝的发育程度相

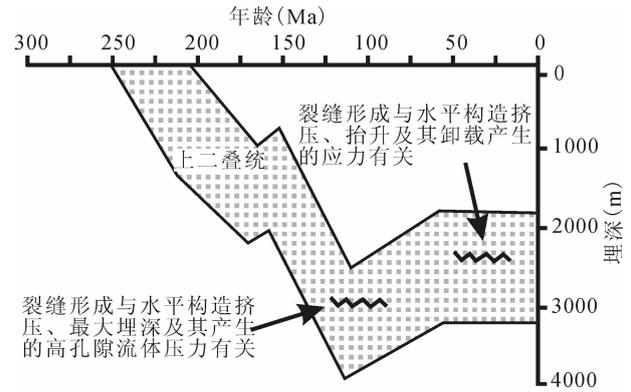


图 3 鄂尔多斯盆地上三叠统埋藏曲线与裂缝形成关系图

Fig. 3 The relationship between fracture formation and the burial curve of the Upper Triassic stratum in Ordos Basin

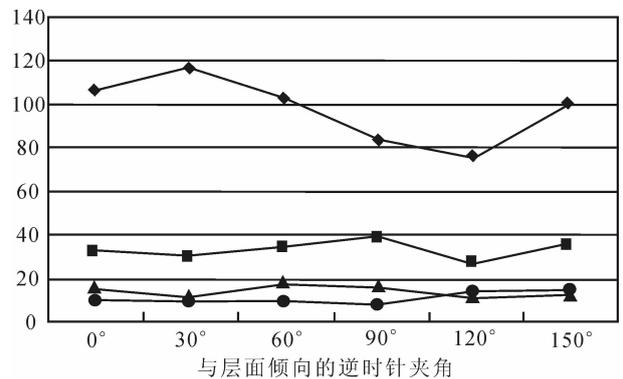


图 4 陇东地区不同方向岩石力学性质各向异性分布图  
Fig. 4 The anisotropy of rocky mechanics property in different orientation at Longdong area

◆—抗压强度(MPa); ■—弹性模量(GPa);  
 ▲—泊松比( $\times 10^{-2}$ ); ●—抗拉强度(MPa)  
 ◆—Compression strength(MPa); ■—elastic modulus(GPa);  
 ▲—Poisson' ratio( $\times 10^{-2}$ ); ●—tensile strength(MPa)

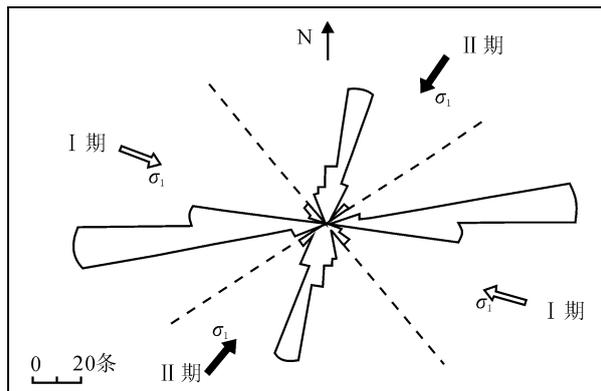


图5 鄂尔多斯盆地中部靖安—安塞地区裂缝走向与主应力方位关系图

Fig. 5 The relationship between the principal stress and fracture strike in Jing'an—Ansai area, central Ordos Basin

I期—侏罗纪末期；II期—白垩纪末期—古近纪

I—The end of Jurassic；II—the end of Cretaceous—Paleogene

对较差。现今应力场主要是影响不同组系裂缝的地下张开度、连通性和渗透性，从而影响特低渗透砂岩油田的井网部署和注水开发效果。

## 6 结论

鄂尔多斯盆地上三叠统延长组特低渗透砂岩储层分布有东西向、北西—南东向、南北向和北东—西南向4组裂缝，在盆地的某一部位，主要表现为正交裂缝的分布型式。裂缝的发育范围广，分布规则，产状稳定，属于在弱构造变形区发育的构造裂缝。裂缝主要在两期形成，侏罗纪末期，在北西—南东方向水平构造挤压以及深埋藏造成的应力作用下，形成了东西向和北西—南东向共轭剪切裂缝，但由于沉积和成岩作用造成的岩层强烈非均质性影响，在靖安—安塞地区使东西向裂缝较北西—南东向裂缝发育，在陇东地区使北西—南东向裂缝较东西向裂缝发育。白垩纪末期—古近纪，在北东—南西方向水平构造挤压以及抬升剥蚀造成的应力作用下，形成了南北向和北东—南西向共轭剪切裂缝，但受岩层强烈非均质性影响，在靖安—安塞地区使南北向裂缝较北东—南西向裂缝发育，而在陇东地区北东—南西向裂缝较南北向裂缝发育。因此，在靖安—安塞地区主要表现为东西向和南北向两组正交裂缝系统，而在陇东地区主要表现为北西—南东向和北东—南西向两组正交裂缝系统。

## 参考文献

- 陈瑞银, 罗晓容, 陈占坤, 等. 2006. 鄂尔多斯盆地中生代地层剥蚀量估算及其地质意义. 地质学报, 80(5): 685~693.
- 何自新. 2002. 鄂尔多斯盆地构造演化与油气. 北京: 石油工业出版社.
- 蒋凌志, 顾家裕, 郭彬程. 2004. 中国含油气盆地碎屑岩低渗透储层的特征及形成机理. 沉积学报, 22(1): 13~17.
- 李凤杰, 王多云, 徐旭辉. 2005. 鄂尔多斯盆地陇东地区三叠系延长组储层特征及影响因素分析. 石油实验地质, 27(4): 365~370.
- 罗静兰, 刘小洪, 林潼, 等. 2006. 成岩作用与油气侵位对鄂尔多斯盆地延长组砂岩储层物性的影响. 地质学报, 80(5): 664~673.
- 任战利, 赵重远, 张军, 等. 1994. 鄂尔多斯盆地古地温研究. 沉积学报, 12(1): 56~65.
- 任战利, 张盛, 高胜利, 等. 2006. 鄂尔多斯盆地热演化程度异常分布区及形成时期探讨. 地质学报, 80(5): 674~684.
- 孙少华, 李小明, 龚草联, 等. 1997. 鄂尔多斯盆地构造热事件研究. 科学通报, 42(3): 306~309.
- 王双明, 张玉平. 1999. 鄂尔多斯侏罗纪盆地形成演化和聚煤规律. 地质前缘, 6(增刊): 147~154.
- 吴冲龙, 周江羽, 王根发, 等. 1997. 陕甘宁盆地古构造应力场与中部大气田的联系. 石油与天然气地质, 18(4): 267~274.
- 张泓, 孟召平, 何宗莲. 2000. 鄂尔多斯煤盆地构造应力场研究. 煤炭学报, 25(增刊): 1~5.
- 张莉. 2003. 陕甘宁盆地储层裂缝特征及形成构造应力场分析. 地质科技情报, 22(2): 21~24.
- 曾大乾, 张世民, 卢立泽. 2003. 低渗透致密砂岩气藏裂缝类型及特征. 石油学报, 24(4): 36~39.
- 曾联波, 田崇鲁. 1998. 构造应力场与低渗透油田开发. 石油勘探与开发, 25(3): 91~93.
- 曾联波, 郑聪斌. 1999. 陕甘宁盆地区域裂缝成因及其地质意义. 中国区域地质, 18(4): 391~396.
- 曾联波. 2004. 低渗透砂岩油气储层裂缝及其渗流特征. 地质科学, 39(1): 11~17.
- Bai T, Pollard D D, David D. 2000. Fracture spacing in layered rocks: a new explanation based on the stress transition. Journal of Structural Geology, 22(1): 43~57.
- Barton C C. 1995. Fractals in the Earth Sciences. New York: Plenum Press.
- Chad A, Underwood M L, Cooke J A, et al. 2003. Stratigraphic controls on vertical fracture patterns in Silurian dolomite, northeastern Wisconsin. AAPG Bulletin, 87(1): 121~142.
- Chen Ruiyin, Luo Xiaorong, Chen Zhankun, et al. 2006. Estimation of denudation thickness of Mesozoic strata in the Ordos Basin and its geological significance. Acta Geologica Sinica, 80(5): 685~693 (in Chinese with English abstract).
- Finkbeiner T, Barton C A, Zoback M D. 1997. Relationships among in-situ stress, fractures and faults, and fluid flow: Monterey formation, Santa Maria basin, California. AAPG Bulletin, 81(12): 1975~1999.
- Gross M R. 1993. The origin and spacing of cross joints: examples from the Monterey Formation, Santa Barbara Coastline,

- California. *J. Struct. Geol.*, 15(6):737~751.
- He Zixin. 2002. The tectonic evolution and petroleum in Ordos basin. Beijing: Petroleum Industry Press (in Chinese).
- Li Fengjie, Wang Duoyun, Xu Xuhui. 2005. The influential factors and characteristics of Triassic Yanchang Formation reservoir in Longdong area, Ordos basin. *Petroleum Geology & Experiment*, 27(4): 365~370 (in Chinese with English abstract).
- Ji S, Zhu Z, Wang Z. 1998. Relationship between joint spacing and bed thickness in sedimentary rocks; effect of interbed slip. *Geol. Mag.*, 135(5):637~655.
- Jiang Lingzhi, Gu Jiayu, Guo Bincheng. 2004. Characteristics and Mechanism of Low Permeability Clastic Reservoir in Chinese Petroliferous Basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 22(1):13~17 (in Chinese with English abstract).
- John C L, Jenny L S, David S S, et al. 2002. Natural fractures in the Spraberry Formation, Midland basin, Texas; The effects of mechanical stratigraphy on fracture variability and reservoir behavior. *AAPG Bulletin*, 86(3):505~524.
- Lorenz J C, Teufel L W, Warpinski N R. 1991a. Regional fractures I: a mechanism for the formation of regional fractures at depth in flat-lying reservoirs. *AAPG Bulletin*, 75(11): 1714~1737.
- Lorenz J C, Finley S J. 1991b. Regional fractures II: Fracturing of Mesaverde Reservoirs in the Piceance basin, Colorado. *AAPG Bulletin*, 75(11):1738~1757.
- Luo Jinglan, Liu Xiaohong, Lin Tong, et al. 2006. Impact of diagenesis and hydrocarbon emplacement on sandstone reservoir quality of the Yanchang Formation (Upper Triassic) in the Ordos Basin. *Acta Geologica Sinica*, 80(5):664~673 (in Chinese with English abstract).
- Narr W. 1991. Fracture density in the deep subsurface: Techniques with application to Point Arguello oil field. *AAPG Bulletin*, 75(8):1300~1323.
- Nelson R A. 1985. Geologic analysis of naturally reservoirs. Houston, Gulf Publishing company.
- Peter C, John C. 1999. Prediction of fracture-induced permeability and fluid flow in the crust using experimental stress data. *AAPG Bulletin*, 83(5):757~777.
- Ren Zhanli, Zhao Zhongyuan, Zhang Jun, et al. 1994. Research on paleotemperature in the Ordos basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 12(1):56~65 (in Chinese with English abstract).
- Ren Zhanli, Zhang Sheng, Gao Shengli. 2006. Research on region of maturation anomaly and formation time in Ordos basin. *Acta Geologica Sinica*, 80(5):674~684 (in Chinese with English abstract).
- Sun Shaohua, Li Xiaoming, Gong Gelian, et al. 1997. The study of tectonic thermal event in Ordos basin. *Chinese Science Bulletin*, 42(3):306~309 (in Chinese with English abstract).
- Tuckwell G W, Lonergan L, Jolly R J H. 2003. The control of stress history and flaw distribution on the evolution of polygonal fracture networks. *Journal of Structural Geology*, 25(8): 1241~1250.
- Wang Shuangming, Zhang Yuping. 1999. Study on the formation, evolution and coal-accumulating regularity of the Jurassic Ordos basin. *Earth Science Frontiers*, 6(Supple):147~154 (in Chinese with English abstract).
- Wu H, Pollard D D. 1995. An experimental study of the relationship between joint spacing and layer thickness. *J. Struct. Geol.*, 17(6):887~905.
- Wu Chonglong, Zhou Jiangyu, Wang Genfa, et al. 1997. Relationship between paleotectonic stress fields and major gas fields in Ordos basin. *Oil & Gas Geology*, 18(4):267~274 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Hong, Meng Zhaoping, He Zonglian. 2000. Study on the tectonic stress fields in the Ordos Coal Basin. *Journal of China Coal Society*, 25(Supple): 1~5 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Li. 2003. Characteristics of reservoir fracture and the analysis of stress field in Shanxi-Gansu-Ningxia basin. *Geological Science and Technology Information*, 22(2): 21~24 (in Chinese with English abstract).
- Zeng Daqian, Zhang Shiming, Lu Lize. 2003. Types and characteristics of fractures in tight sandstone gas reservoirs with low permeability. *Acta Petrolei Sinica*, 24(4):36~39 (in Chinese with English abstract).
- Zeng Lianbo, Tian Chonglu. 1998. Tectonic stress field and the development of low permeability oil fields. *Petroleum Exploration and Development*, 25(3):91~93 (in Chinese with English abstract).
- Zeng Lianbo, Zheng Congbin. 1999. The regional fracturing in Shanganning basin: Origin and its geological significance for oil and gas. *Regional Geology of China*, 18(4):391~396 (in Chinese with English abstract).
- Zeng Lianbo. 2004. Fissure and its seepage characteristics in low-permeability sandstone reservoir. *Chinese Journal of Geology*, 39(1):11~17 (in Chinese with English abstract).

# Characteristics and Origin of Fractures in the Extra Low-Permeability Sandstone Reservoirs of the Upper Triassic Yanchang Formation in the Ordos Basin

ZENG Lianbo<sup>1,2)</sup>, LI Zhongxing<sup>3)</sup>, SHI Chengen<sup>3)</sup>, WANG Zhengguo<sup>2)</sup>,  
ZHAO Jiyong<sup>3)</sup>, WANG Yongkang<sup>3)</sup>

1) *Key Laboratory for Hydrocarbon Accumulation, Ministry of Education, Beijing, 102249*

2) *China Petroleum University, Beijing, 102249*; 3) *Petro China Changqing Oilfield Company, Xian, Shaanxi, 710021*

## Abstract

According to outcrops, cores, slices and experiment data, the distribution and origin of fractures in the extra low-permeability sandstone reservoir of the Upper Triassic Yangchang Formation in the Ordos Basin are analyzed. The Yanchang Formation in the Ordos Basin is a gently monocline structure inclining to the west, where developed two sets of systemically orthogonal tectonic fractures. In the Jingan—Ansai area of the central Ordos Basin, there mainly are E—W and S—N orthogonal fractures, and NE—SW and NW—SE orthogonal fractures in the Longdong area in the southwestern Ordos Basin. Fractures formed at the end of the Jurassic and the end of Cretaceous-Early Tertiary. At the end of the Jurassic, the E—W and NW—SE conjugate shear fractures would be formed by the horizontal compression stress of WNW—ESE orientation. At the end of Cretaceous—Early Tertiary, the S—N and NE—SW conjugate shear fractures would be formed by the horizontal compression stress of NNE—SSW orientation. But by the influences of the strong terrane anisotropism made by sedimentary and diagenesis, the development of two sets of conjugate shear fractures at the same time was different in the dissimilar sedimentary system, and one set of conjugate shear fractures would develop well and the other was restrained. Therefore, the conjugate shear fractures generally showed one set in every tectonic period, and the fractures formed in two tectonic periods are two sets of orthogonal fractures.

**Key words:** fracture; characteristic; origin; Yanchang Formation; Ordos Basin