

文章编号: 1000-0550(2010)04-0798-10

鄂尔多斯盆地中生界油气成藏与构造运动的关系^①

李士祥^{1,2} 邓秀芹^{1,2} 庞锦莲^{1,2} 吕剑文^{1,2} 刘鑫^{1,2}

(1. 中国石油长庆油田公司勘探开发研究院 西安 710018; 2. 低渗透油气田勘探开发国家工程实验室 西安 710018)

摘要 鄂尔多斯盆地是中国著名的大型中生代含油气盆地,上三叠统延长组和侏罗系延安组为盆地主要含油层系,该含油层系经历了印支、燕山和喜山三期大的构造运动。通过中、新生代不同地质历史时期应力场分析以及构造热事件研究,结合裂缝性质、裂缝方位及裂缝中包裹体特征等,讨论了中生界油气成藏与构造运动的关系。研究认为盆地主要发育E—W向、NNE向和NE向三组区域性裂缝。其中,弱充填的NE向剪裂缝为印支期S—N向挤压环境下形成的剪裂缝,或基底断裂形成的诱导张裂缝;近E—W向展布的弱充填裂缝为燕山期NW—SE挤压环境下形成的剪切裂缝;强烈充填的NNE向张裂缝形成于喜山期NNW—SSE拉张环境。盆地中、新生代地层所经历的每一期构造运动都对盆内油气的运移和聚集起控制作用。印支运动使得盆地沉积了中生界最为重要的一套烃源岩;燕山运动产生的构造热事件使烃源岩达到了生排烃高峰期,使得油气成藏大多定型于燕山期;喜山运动使油气进行大规模的运移和调整,从而使中生界上部油气的分布与基底断裂带走向相吻合。中、新生代这三期构造运动对鄂尔多斯盆地发展和油气成藏产生了重要影响。

关键词 鄂尔多斯盆地 印支运动 燕山运动 喜山运动 构造应力场 裂缝 油气成藏 中、新生代

第一作者简介 李士祥 男 1981年出生 硕士 工程师 沉积相及油气地质 E-mail: sxlee1981@tom.com

中图分类号 TE122.3 **文献标识码** A

0 前言

鄂尔多斯盆地是中、新生代盆地叠加在华北古生代克拉通浅海台地基础上发育起来的大型陆内叠合盆地^[1,2]。现今表现为构造残余盆地。盆内蕴藏着丰富的石油、天然气、煤和砂岩型可地浸铀矿,是中国重要的多种能源矿产基地^[3]。由于盆地处于稳定的克拉通内,对其研究主要集中在基底^[4]、沉积和演化^[1,2,5-8]等方面,对盆地构造的研究则多集中在周缘及盆地内不整合等^[9-11]。随着盆地油气勘探不断获得新进展,前人对盆地中、新生代构造应力场分布及其演化^[12-14]、构造流体及热事件^[15-17]、储层裂缝分布特征及其参数描述^[18-20]等方面开展过大量的研究。笔者在综合前人研究成果的基础上,通过野外地质观察、岩心观察和各种分析化验资料,对盆地中生界油气成藏与中、新生代构造运动的关系进行了进一步研究。

鄂尔多斯地块在古生代和中生代早期的构造性质没有发生根本的改变,其本身并未构成独立的沉积盆地,而是华北克拉通盆地的一部分^[21]。所谓鄂尔多斯盆地,是印支运动后,中国大陆进入板内构造体

制阶段,其主体座落于鄂尔多斯地块之上的中、新生代沉积盆地。鄂尔多斯盆地中、新生代地层经历了印支、燕山和喜山等三期大的构造运动(表1)^[3,12,13,17,21,22]。

1 构造裂缝发育期次

在不同构造应力场作用下,延长组形成了纵横交错的裂缝体系,在岩心和野外地质剖面中均可见到广泛发育的裂缝系统。它们以高角度缝和垂直缝为主,有一组或多组平行的裂缝,还有的是不同方向的多组裂缝相互切割(图1)。鄂尔多斯盆地作为我国主要的特低渗透砂岩储层分布区域,裂缝的存在对盆地内储层的产能起关键作用,因此前人^[18-20]对特低渗透砂岩储层裂缝特征及成因等方面进行了许多研究。曾联波等^[18,19]通过对靖安、安塞和固城川地区的岩心裂缝古地磁定向及露头区研究,认为延长组分布有E—W向、NW向、S—N向和NE向4组区域性裂缝。张莉^[20]通过对延河剖面野外露头裂缝的实测和延长川口油田、长庆安塞油田岩心裂缝方位古地磁定向,认为盆地E—W向和S—N向裂缝广泛存在且发育范围广泛,局部区域内还存在NE向和NW向

^① 中国石油天然气股份有限公司科技管理部项目(编号:06-01A-01-01(B))与国家示范工程(编号:2008ZX05044)资助。
收稿日期:2009-04-25; 收修改稿日期:2009-09-15

表 1 鄂尔多斯盆地中、新生代地层及构造演化特征表(据文献 [3 12 13 17 21 22] 修改)
 Table 1 Tectonic evolution characteristics and strata of Mesozoic and Cenozoic in Ordos Basin
 (modified from reference [3 12 13 17 21 22])

地质时代			年龄 Ma	地 层	主要沉积相	构造运动	构造层序	盆地原型	主应力方向	热事件						
代	纪	世														
新 生 代	第四纪	全新世	0.01	第四系	风 成	喜山运动 III 喜山运动 II 喜山运动 I 燕山运动 IV 燕山运动 III 燕山运动 II 燕山运动 I 印支运动 II 印支运动 I	喜马拉雅构造层	周缘断陷盆地	最大主压应力(σ_1)方位30~210°, 倾角1~2°; 最小主压应力(σ_3)方位121~301°, 倾角近水平; 中间主压应力(σ_2)大都近于直立或略有偏斜, 倾角大于80°以上。	区域性热事件, 集中于72Ma						
		晚更新世	0.12													
		中更新世	0.73													
		早更新世	1.75													
	第三纪	上新世	5.30	保德组	河流-湖泊											
		中新世	23.5	清水营组	河流-湖泊											
		渐新世	33.7													
	中 生 代	白垩纪	晚白垩世	65	志丹群						河流、湖泊	燕山运动 IV 燕山运动 III 燕山运动 II	燕山构造层	冲断山前坳陷	最大主压应力(σ_1)方位130~310°, 倾角2~4°; 最小主压应力(σ_3)方位40~220°, 倾角近水平; 中间主压应力(σ_2)略有偏斜, 平均倾角80°以上。	全区性热事件, 集中于124~153Ma
			中白垩世	88												
			早白垩世	113												
侏罗纪		晚侏罗世	135	安边组		冲积扇										
		中侏罗世	154	直罗组		河流-湖泊										
		早侏罗世	175	延安组		河流、湖泊										
			203	富县组		河 流										
三 叠 纪		晚三叠世	230	延长组		湖 泊										
			240	铜川组		河 流										
		中三叠世	240	纸坊组		河流、三角洲										
	早三叠世		250	和尚沟组	湖 泊											
			250	刘家沟组	河 流											

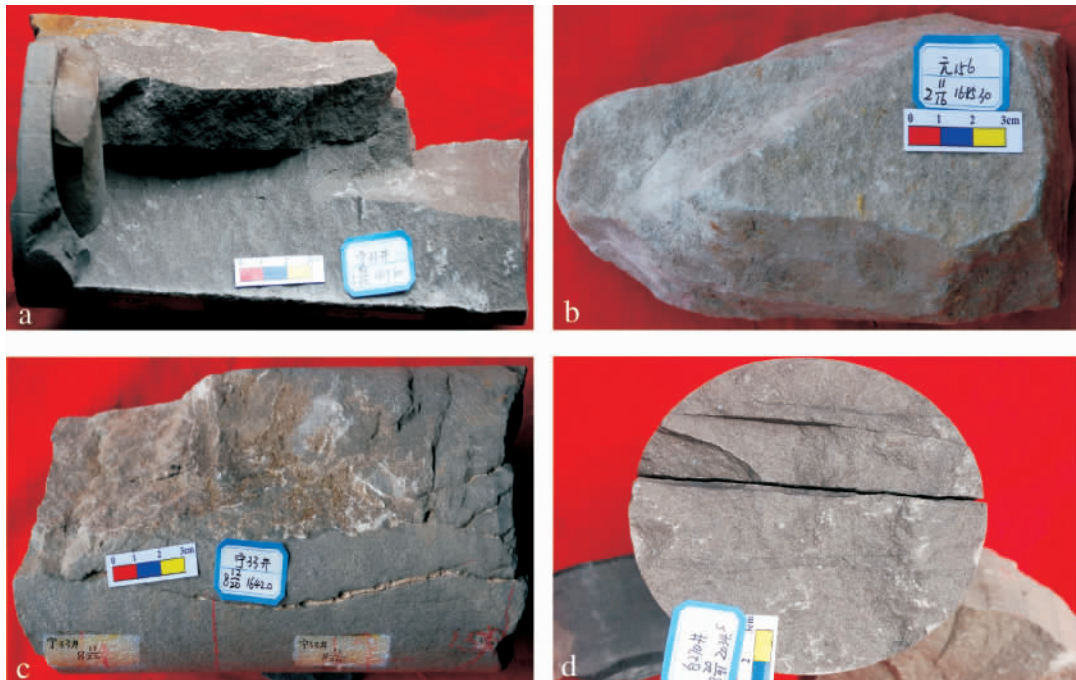


图 1 延长组不同期次裂缝特征

a, b. 多期不同的裂缝相互切割; c, d. 多组裂缝相互平行 部分可见方解石充填

Fig. 1 The character of fractures with different stages of Yanchang Formation

裂缝,但数量、发育程度和规模较小。本研究通过对岩心观察、岩心裂缝方位古地磁定向和包裹体研究,结合前人研究成果,对构造裂缝发育期次进行分析。

1.1 通过岩心观察结合岩心裂缝方位古地磁定向划分裂缝期次

岩心观察裂缝的方法是研究不同期次裂缝特征的最直接、最真实的一种方法,通过对裂缝之间的限制、切割关系可以分析裂缝形成的期次^[23]。本研究在盆地内选取了分布均匀且有代表性的19口取心较全的井进行了岩心观察,对407.63 m的岩心进行了裂缝的详细描述和分析,其中裂缝累计长度60.37 m。在岩心观察中,对裂缝的层位、产状及间距等参数进行描述,将钙质充填厚度超过0.5 mm的裂缝称为强烈充填型裂缝,将无钙质充填的裂缝称为未充填型裂缝,而将介于二者之间的裂缝称为弱充填型裂缝。

为了弄清裂缝方位以及裂缝形成期次,系统的采集了120块裂缝样品,样品由西北大学国家重点实验室制备并分析,共制备了120块2 cm³立方体样品,在每块样品上均标明了一条与裂缝平行的线并在一端标上箭头,进行了剩磁和退磁的测量。其中剩磁测量使用捷克制造的JR-6旋转岩石磁力仪,退磁使用美国制造的DSM-2热退磁炉。样品共进行了常温、50℃、75℃、100℃、125℃、150℃、175℃、200℃、250℃和300℃共10个温度档的退磁测量,每个温度档退磁后进行了剩磁测量,对最后期低温粘滞剩磁进行了矢量分析,获得岩心记录到的现代地磁场磁化的粘滞剩磁VRM,由于VRM方向与现代地磁场方向一致,即与地理坐标一致,因此参照岩心裂缝样品所标记的标志线可以得到岩心裂缝的方向。本次实验中共有106块样品取得了良好的实验效果,另外14块样品由于在沉积成岩阶段没有获得良好的沉积剩磁,因此无法得到有效的数据。对有效测试的裂缝方向进行分析,得出研究区主要发育E—W向、NNE向和NE向三个方向的裂缝,局部区域还存在NNW向裂缝(图2)。

对实测的不同充填性质裂缝的古地磁定向进行分析,总结出各类型裂缝发育期次及特征。强烈充填型裂缝的钙质充填物厚度一般大于0.5 mm,主要是一组张裂缝,裂缝面上残留着油气运移痕迹,古地磁测试方向以NNE向为主,并见少量NE、NNW、NEE向裂缝(图3a)。喜山期鄂尔多斯盆地处于NW—SE向的拉张应力作用下产生了NNE向的张裂缝和

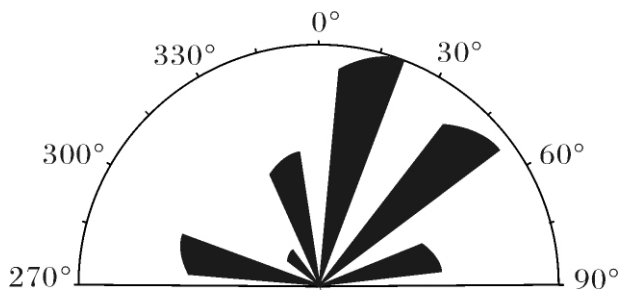


图2 裂缝走向玫瑰花图

Fig. 2 The rose diagram of the fracture strikes

NNW向的剪裂缝,其中主要表现在NNE向的张裂缝发育^[22],因此强烈充填型裂缝为喜山期的张裂缝。

弱充填型裂缝的钙质充填物厚度一般小于0.5 mm,既有张裂缝,又有剪切裂缝,裂缝面上具有油气运移的痕迹,裂缝方向测试以近E—W向为主,其次为NNE、NE向,还见少量NW向(图3b)。燕山期鄂尔多斯盆地在NW—SE向挤压应力体制下,盆地内部产生了区域性的E—W向和S—N向剪裂缝^[22]。在这种区域挤压应力作用下产生的裂缝,可能表现为一组发育而另一组不发育,鄂尔多斯盆地范围内则表现为E—W向这一组剪裂缝发育,因此弱充填型裂缝为燕山期的剪裂缝。

未充填型裂缝的裂缝面上未见充填物,主要为一组剪切性质的裂缝,有些裂缝面上见油气运移的痕迹,古地磁测试裂缝近S—N向展布,为燕山期的剪裂缝或喜山期的张裂缝(图3c)。

1.2 利用包裹体分析裂缝形成期次

流体包裹体技术也是近年来裂缝期次研究的一种新技术,通过测定与裂缝充填物同时形成的原生包裹体温度,可推断裂缝形成的时期^[24]。

鄂尔多斯盆地三叠系储集层中的流体包裹体非常丰富,其中与油气地质研究有关的主要是沉积盆地充填埋藏过程中形成的流体包裹体,只有这类包裹体才含有成岩、成矿流体信息。因此,本次研究立足于成岩、成藏地质实际分析,对鄂尔多斯盆地三叠系沉积盆地的流体包裹体特征与构造裂缝形成间的关系进行了探讨。

本研究在岩心采样和包裹体薄片的制样过程中,除考虑选取有代表性的裂缝中最主要的充填矿物外,还注重了与古地磁测试的相互结合,所采集的60块包裹体样品中,有48块为古地磁测试所采样品一分为二所得。通过对60块包裹体样品,共213个包裹体测温得出,延长组主要发育四种类型的包裹体:石

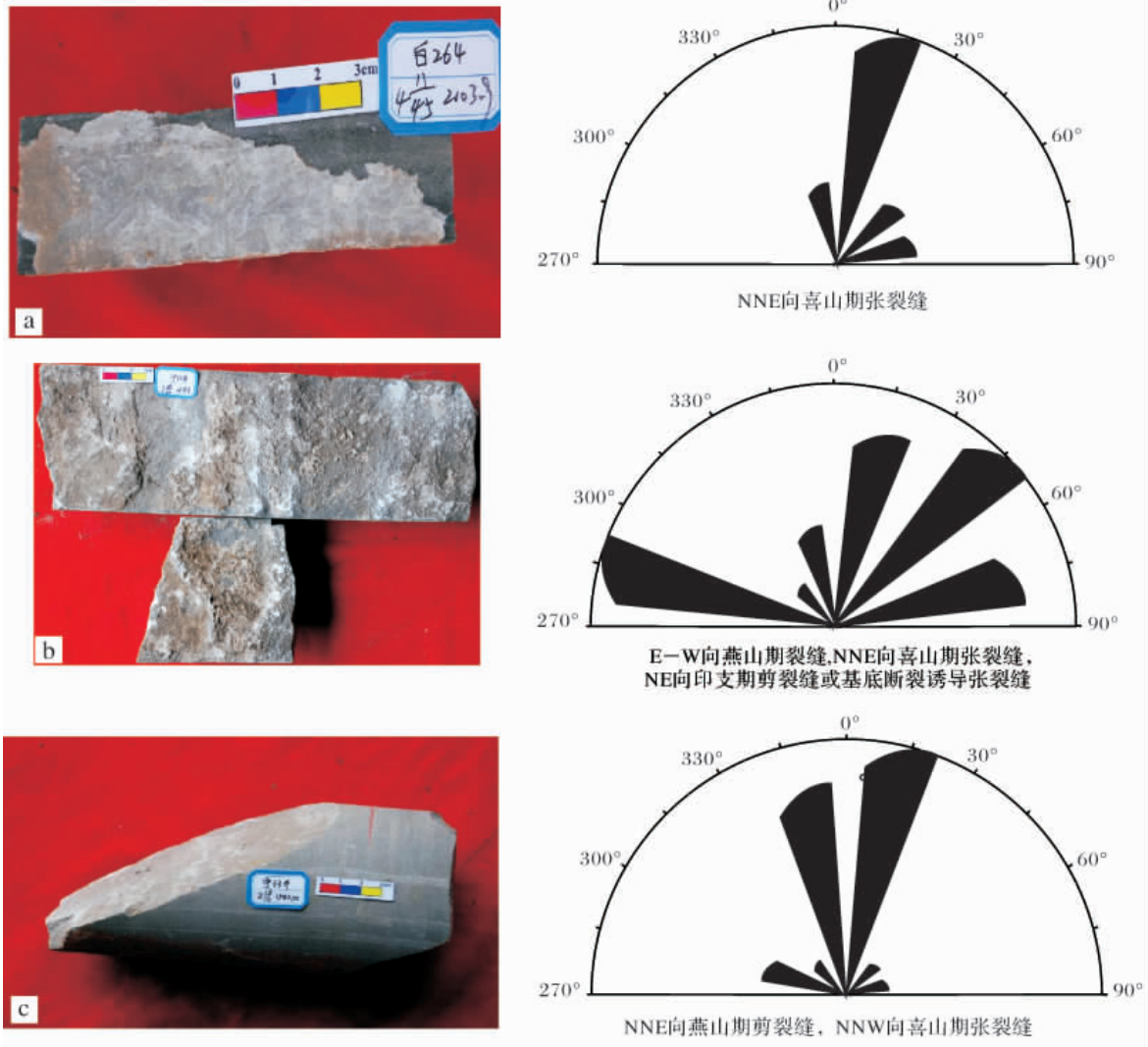


图 3 裂缝发育特征及方位图

a. 白 264 井, 长₆, 强烈充填型; b. 宁 33 井, 长₆, 弱充填型; c. 宁 33 井, 长₆, 未充填型

Fig. 3 Development characteristics and azimuth of the fracture

英裂隙和溶孔中的包裹体、石英胶结物和加大边中的包裹体、钙质胶结物中的包裹体和钠长石中的包裹体。包裹体的颜色主要为无色、灰褐色和浅黄色, 均一温度存在 2 个峰值, 分别为 80 ~ 100℃ 和 120 ~ 130℃ (图 4)。

石英裂隙和溶孔中的包裹体大量的均一温度为 120 ~ 125℃, 甚至有很多包裹体均一温度超过 150℃, 包裹体成串珠状或孤立状产出, 一般不发荧光。由于石英裂隙和溶孔中的包裹体是在成岩作用和生排烃之前, 碎屑岩在蚀源区就已形成的继承性包裹体, 对构造裂缝形成期次的划分不具任何意义。因此从宿主矿物成岩作用的角度, 综合烃类包裹体的排烃及包裹体宿主矿物的形成序列(表 2), 对早期充注


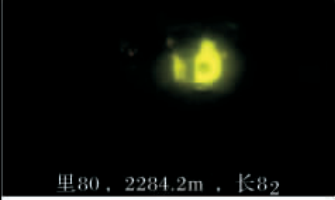
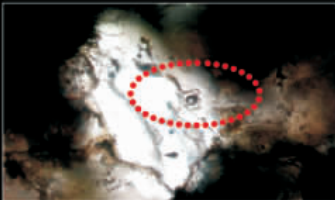
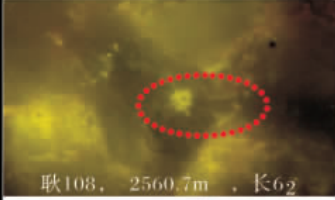
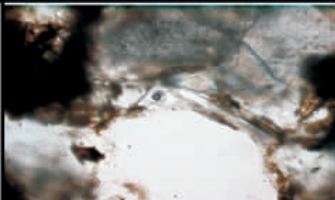
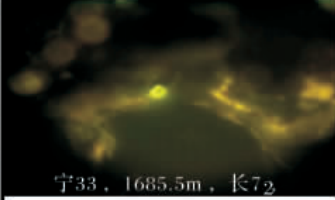
的钠长石胶结物中的包裹体、最大埋深期石英加大边中的包裹体以及晚期抬升剥蚀过程中形成的含铁碳酸盐包裹体进行分析。

钠长石中的包裹体均一温度平均 94℃, 形成于早成岩期或中成岩作用阶段, 包裹体均一温度在三种烃类包裹体中最低, 这与自生长石形成的必要条件是中等的地温梯度相一致, 也即此期裂缝形成时不存在较强的热事件。该期裂缝中的包裹体含烃, 发荧光, 为晚侏罗世至早白垩世早期燕山构造运动的产物。

石英胶结物和加大边中的包裹体, 主要为烃类包裹体, 形成于中成岩阶段酸性介质条件下, 均一温度平均 104℃, 呈串珠状或孤立状产出, 既有盐水包裹体, 又有烃类包裹体, 常常发荧光。表明在加大边中

表2 包裹体宿主矿物(成岩矿物)的形成环境及阶段

Table 2 Formation environment and stages of inclusion dependent mineral (diagenetic mineral)

包裹体宿主矿物	长石溶蚀、胶结	硅质胶结	含铁碳酸盐胶结
成岩阶段	中成岩阶段	中成岩阶段	铁方解石—中成岩阶段 铁白云石—中晚成岩阶段
含量	0~0.3%	0.6%~2.2%	4.4%~6.1%
包裹体均一温度	94℃	104℃	98℃
介质条件	酸性		弱碱性
成藏阶段	晚侏罗世或早白垩世 早期充注	早白垩世末 生排烃高峰期	白垩纪末 抬升早期
包裹体照片	  里80, 2284.2m, 长82	  耿108, 2560.7m, 长62	  宁33, 1685.5m, 长72
形成阶段	早 → 晚		

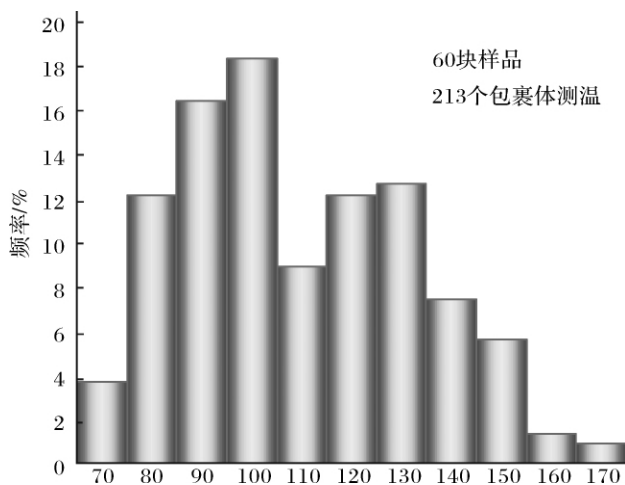


图4 鄂尔多斯盆地延长组包裹体均一温度直方图

Fig. 4 The histogram of inclusion homogenization temperature of Yanchang Formation in Ordos Basin

包裹体形成时已有大规模的油气运移。该期裂缝中的充填物捕获了大量的油气包裹体,且均一温度较高^[25],此期裂缝为早白垩世末燕山构造运动第IV幕的产物。

钙质胶结物中的包裹体为烃类包裹体,均一温度91~117℃,平均98.1℃,包裹体发强荧光,形成于中成岩阶段中—晚期。包裹体均一温度比石英加大边中的稍低,因此应为构造抬升降温过程中形成的包裹体。由于温度差异不大,所以判断该期裂缝中的包裹体形成于抬升早期,为白垩纪末喜山运动的产物。

1.3 裂缝形成时代

明确裂缝形成的时代,对研究裂缝与油藏形成的关系具有重要的意义。通过对不同地质历史时期应力场分析,结合裂缝性质、裂缝方位以及裂缝充填物中包裹体特征等,综合推断出裂缝形成的地质时代。

理论上不同方向的应力场会产生不同方向、不同性质的裂缝。在印支期S—N压性环境下,最可能产生一组S—N向张裂缝及NW—SE、NE—SW向两组剪切裂缝;在燕山期S—N、NW—SE为主的挤压环境下,最易产生一组NNW—SSE向张裂缝及两组S—N、E—W向剪切裂缝;在喜山期NNW—SSE的拉张环境下,可能产生NNE的张裂缝和NNW—SSE、SWW—NEE向剪切裂缝。

用实测不同充填性质的裂缝方向与不同应力场

下的理论裂缝方向相对应,结果表明,强烈充填的NNE向张裂缝形成于喜山期NNW—SSE拉张环境下;近E—W向展布的弱充填裂缝应为燕山期NW—SE挤压环境下形成的剪切裂缝;弱充填的NE向剪裂缝应为印支期S—N向挤压环境下形成的剪裂缝,或基底断裂形成的诱导张裂缝。此外弱充填裂缝还有一组NNE向裂缝,可能为喜山期形成的一组张裂缝;未充填的S—N向裂缝(或称NNE和NNW),可能以喜山期和燕山期形成的剪切裂缝为主(图3)。

2 构造运动与油气成藏的关系

油气是赋存于沉积地层中的流体矿产,油气所赋存的地层所经历的每一期构造运动,都对油气的生成、运移、聚集和成藏具有重要的影响。鄂尔多斯盆地是我国著名的大型中生代含油气盆地,上三叠统延长组和侏罗系延安组为盆地主要含油层系^[1],该含油层系经历了印支、燕山和喜山三期大的构造运动,各期构造运动对油气的运移和聚集起控制作用。

2.1 印支运动与油气成藏

印支运动在盆地的主要表现时代为晚三叠世到早侏罗世。印支期开始形成的秦岭造山带是由扬子和华北两个强烈变形的古大陆边缘及古秦岭洋中的地块拼合而成的复杂结构,主缝合带位于商丹断裂附近^[26],拼接会聚后由于两大块体长期处于挤压状态,并具有周期性强化过程。因此,印支期鄂尔多斯盆地处于挤压的应力环境下,为一压性盆地,最大主应力方向为S—N向。

早印支运动主要发生于延长组,控制了延长组的沉积和演化。由于延长组发育了盆地主要的一套烃源岩以及含油目的层系,前人对印支期构造运动对延长组沉积演化的影响作了大量的研究^[6, 8, 27, 28],主要表现在:一是延长组沉积前的构造活动对盆地格架、基底地形、边界性质进行控制,进而影响沉积物的搬运沉积方式、沉积环境体系类型及古地理特征;二是延长组沉积和演化过程中的同生构造活动通过改变沉积盆地的边界性质、沉积物沉降速度影响延长组发育厚度、盆地内不同区带之间的沉积环境条件及层序上的相序变化规律。

根据鄂尔多斯盆地腹部和周缘地区的沉积演化规律分析,长8沉积末期在盆地西缘、西南缘存在一次显著的构造事件,为印支运动第I幕的重要表现形式^[6]。该事件对鄂尔多斯盆地中生代内陆湖盆的演化产生了重要的影响。由于华北板块的向南俯冲使

盆地拗陷幅度急剧增大,半深湖—深湖沉积覆盖范围迅速达到 $10 \times 10^4 \text{ km}^2$ 以上,沉积了盆地中生界中最为重要的一套烃源岩^[29],为中、新生代油藏的形成提供了丰富的资源基础。

印支运动第I幕表现形式之后,湖盆基底开始抬升回返,周缘碎屑物大量进积式充填,湖区逐渐缩小,到达延长组长1沉积期时,印支构造活动趋于减弱,三叠纪湖盆进入了萎缩消亡期。根据鄂尔多斯盆地腹部及周缘地区延长组剥蚀情况可知,在早侏罗世早期,盆地发生一次明显的构造抬升事件,此为印支运动第II幕的重要表现形式。印支运动第II幕的最大主压应力仍为S—N向,此次构造事件在延长组地层中已有裂缝记录,产生了弱充填性质的NE向剪裂缝。此期裂缝并未见到烃类包裹体,说明此时并未有油气的生成及运移。

2.2 燕山运动与油气成藏

燕山运动发育于中侏罗世到早白垩世晚期,有四幕构造表现形式,其中最为重要的是晚侏罗世与早白垩世之间的燕山运动第III幕,此幕运动发生时,延长组地层处于最大埋深期^[25],并在盆地内发育了全区性的构造热事件作用^[15-17],延长组的烃源岩此时已达到生排烃高峰期^[29]。因此控制油气分布的最重要的构造运动及油气运移高峰期的指向构造大多定型于燕山期,燕山期鄂尔多斯盆地及邻区古构造格局对油气勘探具有重要的指向意义。

早侏罗世鄂尔多斯盆地与晋西北就开始了有限统一的沉积历史,即开始了印支构造运动后的第一次沉降,此为燕山构造第I幕的表现形式。富县组和邻区的永定庄组均为三叠世末的剥蚀高地和分隔的大小不等的洼地或凹陷沉积^[30]。中侏罗世主要为一套河流—湖泊三角洲沉积体系沉积的含煤系地层^[22],三角洲平原分流河道沉积构成了侏罗系油田的主要储层。此时期盆地中稳定的延安组煤层和各段继承性沉积变化趋势说明该时期湖盆基底相对稳定,此时期的挤压应力主要来自于西北部^[12],其次为南西—北东向和南北向的挤压应力。

晚侏罗世盆地整体处于隆升剥蚀环境,此时期是盆地西部逆冲推覆的主要形成期,此为燕山运动第II幕的表现形式,盆地西南的东折连褶皱逆冲带向阿拉善和鄂尔多斯盆地西南缘呈弧形楔入^[31]。强烈的逆冲作用致使中、下侏罗统卷入变形或被推覆体覆盖,逆冲作用呈遇到东边盆地内部阻力现象,但总体上仍向东扩展迁移,形成反“S”型近南北向延伸的铁克苏

庙、横山堡褶皱逆冲带。它与北祁连造山带真正的造山作用和基本格局的形成几乎同步^[1],随后鄂尔多斯盆地及晋西地区大部分抬升。

早白垩世时期,鄂尔多斯盆地延长组处于最大埋深期,延长组长7烃源岩埋深主要在2 700~3 000 m之间。此时期盆地存在一次地温急剧升高的热事件^[15-17],古地温梯度可达3.3~4.5℃/100m,大地热流值85~105 mW/m²(现今热流值为60.54 mW/m²)。这次热事件的发生时限大约为124~153 Ma,对应于晚侏罗世到早白垩世之间,为盆地延长组所经历的最为重要的一次热事件,由于此次热事件以及延长组埋深较大的作用,延长组烃源岩已达到生排烃高峰期^[29]。

早白垩世末期,燕山运动再次强烈活动,这次活动使早期褶皱进一步加强而定型,部分断层还切割了白垩系并使其变形,此为燕山运动第IV幕的表现形式。此时期盆地仍然处于以挤压为主的环境下,最大主压应力为NW—SE向,由此产生了NNE向和E—W向燕山期剪裂缝。其中E—W向裂缝较NNE向裂缝发育,并见钙质充填,裂缝充填物中可见捕获的大量烃类包裹体,说明此时期生产的油气沿裂缝向上大量运移,从而形成了延长组上部长3、长2构造—岩性复合油藏组合和延安组构造油藏组合^[32]。

2.3 喜山运动与油气成藏

印度板块与欧亚板块的碰撞引发的喜马拉雅构造运动,在地质演化史上是一次有着重大意义的地质事件,它不仅影响着中国中西部盆地、山川的发生和发展,而且还影响着古老断裂的重新活动。喜山运动主要发育于新生代,新生代地表构造的形成和活动都与喜马拉雅构造活动有着密切的关系。油气运移与聚集处于永恒的动、静平衡过程中,是一种旧平衡条件被打破,新的平衡系统随之建立的完整过程。老盆地中的油气大都有多次聚散成藏的历史。一般说来,油气在成藏过程中的最终定格都与最新一期的构造活动有关。

喜山期盆地的力学性质发生变化,由印支、燕山期的挤压环境改变为喜山期的拉张环境,最大主应力方向为NNE—SSW向。受来自西南方向青藏高原隆升的侧向水平挤压作用,鄂尔多斯盆地内部的喜山运动主要表现为差异升降,伴随有走滑及掀斜运动,由此派生的裂隙、节理广泛发育。在盆地钻井岩心裂缝方位的测试中可见到大量的NNE向的强烈充填和弱充填的喜山期张裂缝(图3),并可见到NNE向未充

填的燕山期剪裂缝。裂隙在盆地内有明显的不均一性,差异性较强,最为明显的是盆地南北构造活动强烈及地貌上的差异。微裂隙分布的差异性和不均一性是造成盆地致密油气储层特低渗透中有相对高渗的主要原因。沿基底主干断裂带分布的油气藏即是这一构造作用的直接结果^[33]。

喜马拉雅构造运动使鄂尔多斯盆地大幅度的抬升,使油气进行大规模的运移、成藏和成藏后的调整。随着喜山期构造幕式活动的加剧,盆地不断的抬升遭受剥蚀,由此造成的降温、释压、岩石孔缝的扩容及岩石的差异回弹,使烃类物质向砂岩储层中大面积分散式充注。这种大面积、分散的、没有有效聚集和圈闭的满盆含油气现象是鄂尔多斯盆地低压、低产、低丰度的主要原因。鄂尔多斯盆地发现的侏罗系油藏明显受基底断裂带的影响^[47],这些油藏的分布轨迹与基底断裂带的走向十分吻合。

3 结论

(1) 鄂尔多斯盆地三叠系延长组由于受到水平挤压和隆起等造成的多期应力作用,形成了E—W向、NNE向和NE向三组区域性裂缝。实测不同充填性质的裂缝方向与不同应力场下的理论裂缝方向相对比,弱充填的NE向剪裂缝为印支期S—N向挤压环境下形成的剪裂缝,或为基底断裂形成的诱导张裂缝;近E—W向展布的弱充填裂缝为燕山期NW—SE向挤压环境下形成的剪切裂缝;强烈充填的NNE向张裂缝形成于喜山期NNW—SSE向的拉张环境。

(2) 流体包裹体分析裂缝期次得出,钠长石中的包裹体形成于早成岩期或中成岩作用阶段,该期裂缝为晚侏罗世至早白垩世燕山构造运动的产物;石英胶结物和加大边中的包裹体形成于中成岩阶段酸性介质条件,此期裂缝中的包裹体既有盐水包裹体,又有烃类包裹体,表明在加大边中包裹体形成时已有大规模油气运移,为早白垩世末燕山构造运动第IV幕的产物;钙质胶结物中的包裹体形成于中成岩阶段中—晚期,为构造抬升降温过程中形成的包裹体,为白垩纪末喜山运动的产物。

(3) 盆地中、新生代地层所经历的每一期构造运动都对油气的生成、运移、聚集和成藏起控制性作用。印支运动控制了延长组的沉积和演化,沉积了盆地中生代地层中最为重要的一套烃源岩;燕山运动高峰期,盆地内发生了全区性的构造热事件作用,烃源岩达到了生排烃高峰期,使得油气成藏大多定型于燕山

期;喜山运动使鄂尔多斯盆地大幅度的抬升,油气进行大规模运移、成藏和成藏后调整,鄂尔多斯盆地已发现的侏罗系油藏明显受基底断裂带的影响,分布轨迹与基底断裂带走向十分吻合。

参考文献(References)

- 孙肇才,谢秋元. 叠合盆地的发展特征及其含油气性—以鄂尔多斯盆地为例[J]. 石油实验地质, 1980, 2(1): 13-21 [Sun Zhaocai, Xie Qiuyuan. Evolution characteristics of superposed basin and its petroleum significance: example for Ordos Basin [J]. Experimental Petroleum Geology, 1980, 2(1): 13-21]
- 长庆油田石油地质志编写组. 中国石油地质志: 卷十二, 长庆油田[M]. 北京: 石油工业出版社, 1992: 1-103 [Compilation Group of Petroleum Geology of Changqing Oilfield. Petroleum Geology of China: Vol. 12, Changqing Oilfield [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1992: 1-103]
- 张岳桥, 廖昌珍. 晚中生代—新生代构造体制转换与鄂尔多斯盆地改造[J]. 中国地质, 2006, 33(1): 28-40 [Zhang Yueqiao, Liao Changzhen. Transition of the late Mesozoic-Cenozoic tectonic regimes and modification of the Ordos Basin [J]. Geology in China, 2006, 33(1): 28-40]
- 江为为, 郝天珧, 宋海斌. 鄂尔多斯盆地地质地球物理场特征与地壳结构[J]. 地球物理学进展, 2000, 15(3): 45-53 [Jiang Weiwei, Hao Tianyao, Song Haibin. Crustal structure and geological and geophysical features of Ordos Basin [J]. Progress in Geophysics, 2000, 15(3): 45-53]
- 宋凯, 吕剑文, 杜金良, 等. 鄂尔多斯盆地中部上三叠统延长组物源方向研究与三角洲沉积体系[J]. 古地理学报, 2002, 4(3): 59-66 [Song Kai, Lu Jianwen, Du Jinliang, et al. Source direction analysis and delta depositional system of Yanchang Formation of the Upper Triassic in the central Ordos Basin [J]. Journal of Palaeogeography, 2002, (3): 59-66]
- 邓秀芹, 蔺昉晓, 刘显阳, 等. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组沉积演化及其与早印支运动关系的探讨[J]. 古地理学报, 2008, 10(2): 159-166 [Deng Xiuqin, Lin Fangxiao, Liu Xianyang, et al. Discussion on the relationship between deposition of Triassic Yanchang Formation and early Indosinia movement in Ordos basin [J]. Journal of Palaeogeography, 2008, 10(2): 159-166]
- 付金华, 郭正权, 邓秀芹. 鄂尔多斯盆地西南地区上三叠统延长组沉积相及石油地质意义[J]. 古地理学报, 2005, 7(1): 34-44 [Fu Jinhua, Guo Zhengquan, Deng Xiuqin. Sedimentary facies of the Yanchang Formation of Upper Triassic and petroleum geological implication in the southwestern Ordos Basin [J]. Journal of Palaeogeography, 2005, 7(1): 34-44]
- 刘化清, 袁剑英, 李相博, 等. 鄂尔多斯盆地延长期湖盆演化及其成因分析[J]. 岩性油气藏, 2007, 19(1): 52-56 [Liu Huaqing, Yuan Jianying, Li Xiangbo, et al. Lake basin evolution of Ordos Basin during Middle-Late Triassic and its origin analysis [J]. Lithologic Reservoirs, 2007, 19(1): 52-56]
- 赵重远. 鄂尔多斯地块西缘演化及其板块应力机制初探[M]//赵重远著. 华北克拉通沉积盆地形成与演化及其油气赋存. 西安: 西北大学出版社, 1990: 107-114 [Zhao Zhongyuan. Plate Tectonic Evolution and Its Mechanism in the Western Border of the Ordos Block [M]//Zhao Zhongyuan et al. The Formation and Evolution of the Sedimentary Basins and Their Hydrocarbon Occurrence in the North China Carton. Xi'an: Northwest University Press, 1990: 107-114]
- 张进, 马宗晋, 任文军. 鄂尔多斯盆地西缘逆冲带南北差异的形成机制[J]. 大地构造与成矿学, 2000, 24(2): 124-133 [Zhang Jin, Ma Zongjin, Ren Wenjun. The mechanism of the difference between the northern part and the southern part of the fold and thrust belt on the western edge of the Ordos Basin, China [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2000, 24(2): 124-133]
- 刘孝汉, 秦伯平, 刘显阳, 等. 陕甘宁盆地不整合侵蚀面对油气聚集与分布的控制作用[J]. 华北地质矿产杂志, 1995, 10(3): 415-421 [Liu Xiaohan, Qin Boping, Liu Xianyang, et al. The controlling effect of nonconformable erosion surface on oil-gas accumulation and distribution in Shaananning Basin [J]. Journal of Geology & Mineral Research North China, 1995, 10(3): 415-421]
- 张泓, 白清照, 张笑薇, 等. 鄂尔多斯聚煤盆地的形成及构造环境[J]. 煤田地质与勘探, 1995, 23(3): 1-9 [Zhang Hong, Bai Qingzhao, Zhang Xiaowei, et al. Formation of the Ordos Basin and its coal-forming tectonic environment [J]. Coal Geology and Exploration, 1995, 23(3): 1-9]
- 张泓. 鄂尔多斯盆地中、新生代构造应力场[J]. 华北地质矿产, 1996, 11(1): 87-92 [Zhang Hong. Mesozoic and Cenozoic palaeotectono-stress field of Ordos Basin [J]. Journal of Geology & Mineral Research in North China, 1996, 11(1): 87-92]
- 王守则, 郑孟林, 张发, 等. 鄂尔多斯盆地中、新生代后期改造[J]. 世界地质, 2005, 24(4): 356-362 [Wang Shouze, Zheng Menglin, Zhang Fa, et al. Late reformation of Ordos Basin in Mesozoic and Cenozoic [J]. Global Geology, 2005, 24(4): 356-362]
- 任战利, 赵重远, 张军, 等. 鄂尔多斯盆地古地温研究[J]. 沉积学报, 1994, 12(1): 56-65 [Ren Zhanli, Zhao Zhongyuan, Zhang Jun, et al. Research on palaeotemperature in the Ordos Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1994, 12(1): 56-65]
- 任战利. 鄂尔多斯盆地热演化史与油气关系的研究[J]. 石油学报, 1996, 17(1): 17-24 [Ren Zhanli. Research on the relations between geothermal history and oil-gas accumulation in the Ordos Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 1996, 17(1): 17-24]
- 孙少华, 李小明, 龚革联. 鄂尔多斯盆地构造热事件研究[J]. 科学通报, 1997, 42(3): 306-309 [Sun Shaohua, Li Xiaoming, Gong Gelian. Tectono-thermal events in Ordos Basin, China [J]. Chinese Science Bulletin, 1997, 42(3): 306-309]
- 曾联波, 郑聪斌. 陕甘宁盆地延长统区域裂缝的形成及其油气地质意义[J]. 中国区域地质, 1999, 18(4): 391-396 [Zeng Lianbo, Zheng Congbin. Origin of the regional fracturing in Yanchang epoch, Shaananning Basin, significance for oil and gas geology [J]. Regional Geology of China, 1999, 18(4): 391-396]
- 曾联波, 李忠兴, 史成恩, 等. 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[J]. 地质学报, 2007, 81(2): 174-180 [Zeng Lianbo, Li Zhongxing, Shi Chengen, et al. Character-

- istics and origin of fractures in the extra low-permeability sandstone reservoirs of the upper Triassic Yanchang Formation in the Ordos Basin [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2007, 81(2): 174-180]
- 20 张莉. 陕甘宁盆地储层裂缝特征及形成的构造应力场分析 [J]. 地质科技情报, 2003, 22(2): 21-24 [Zhang Li. Characteristics of reservoir fracture and the analysis of stress field in Shaanxi-Gansu-Ningxia Basin [J]. *Geological Science and Technology Information*, 2003, 22(2): 21-24]
- 21 杨俊杰. 鄂尔多斯盆地构造演化与油气分布规律 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2002 [Yang Junjie. *Tectonic Evolution and Oil-gas Reservoirs Distribution of the Ordos Basin* [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002]
- 22 高山林, 韩庆军, 杨华, 等. 鄂尔多斯盆地燕山运动及其与油气关系 [J]. 长春科技大学学报, 2000, 30(4): 353-358 [Gao Shanlin, Han Qingjun, Yang Hua, et al. Yanshanian movement in Ordos Basin and its relationship with distribution of oil and gas [J]. *Journal of Changchun University of Science and Technology*, 2000, 30(4): 353-358]
- 23 任丽华, 林承焰. 构造裂缝发育期次划分方法研究与应用——以海拉尔盆地布达特群为例 [J]. 沉积学报, 2007, 25(2): 253-260 [Ren Lihua, Lin Chengyan. Classification methods for development period of fractures and its application: a case study from Budate group of Hailaer Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2007, 25(2): 253-260]
- 24 张文淮, 陈紫英. 流体包裹体地质学 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1993: 199-202 [Zhang Wenhui, Chen Ziyang. *Geology of Fluid Inclusion* [M]. Wuhan: Publishing House of Chinese Geological University, 1993: 199-202]
- 25 陈瑞银, 罗晓容, 陈占坤, 等. 鄂尔多斯盆地埋藏演化史恢复 [J]. 石油学报, 2006, 27(2): 43-47 [Chen Ruiyin, Luo Xiaorong, Chen Zhankun, et al. Restoration of burial history of four periods in Ordos Basin [J]. *Acta Petroli Sinica*, 2006, 27(2): 43-47]
- 26 张国伟. 秦岭造山带的形成及其演化 [M]. 西安: 西北大学出版社, 1988 [Zhang Guowei. *Formation and Evolution of Qinling Orogenic Belt* [M]. Xi'an: Northwest University Press, 1988]
- 27 刘少峰, 柯爱蓉, 吴丽云, 等. 鄂尔多斯西南缘前陆盆地沉积物物源分析及其构造意义 [J]. 沉积学报, 1997, 15(1): 157-160 [Liu Shaofeng, Ke Airong, Wu Liyun, et al. Sediment provenance analysis and its tectonic significance in the foreland basin of the Ordos southwestern margin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1997, 15(1): 157-160]
- 28 徐黎明, 周立发, 张义楷, 等. 鄂尔多斯盆地构造应力场特征及其构造背景 [J]. 大地构造与成矿学, 2006, 30(4): 455-462 [Xu Liming, Zhou Lifa, Zhang Yikai, et al. Characteristics and tectonic setting of tectono-stress field of Ordos Basin [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2006, 30(4): 455-462]
- 29 张文正, 杨华, 李剑锋, 等. 论鄂尔多斯盆地长7段优质油源岩在低渗透油气成藏富集中的主导作用——强生排烃特征及机理分析 [J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(3): 289-293 [Zhang Wenzheng, Yang Hua, Li Jianfeng, et al. Leading effect of high class source rock of Chang 7 in Ordos Basin on enrichment of low permeability oil-gas accumulation: Hydrocarbon generation and expulsion mechanism [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2006, 33(3): 289-293]
- 30 Cheng Shoulian, Huang Yangiu. Reconstruction and Early-Middle Jurassic Ordos basin and its tectonic setting [C]//30th IGC Abstract. Beijing, 1996, 3(2): 170
- 31 冯益民. 祁连山大地构造与造山作用 [M]. 北京: 地质出版社, 1996: 98-101 [Feng Yimin. *Tectonic and Orogeny of the Qilian Mountains* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996: 98-101]
- 32 武富礼, 王变阳, 赵靖舟, 等. 鄂尔多斯盆地油藏序列特征及成因 [J]. 石油学报, 2008, 29(5): 639-642 [Wu Fuli, Wang Bianyang, Zhao Jingzhou, et al. Origin and characteristics of oil pool sequence in Ordos Basin [J]. *Acta Petroli Sinica*, 2008, 29(5): 639-642]
- 33 邱领军, 张东阳, 王宏科. 鄂尔多斯盆地喜山期构造运动与油气成藏 [J]. 石油学报, 2003, 24(2): 34-37 [Di Lingjun, Zhang Dongyang, Wang Hongke. Primary discussion on Himalayan tectonic movement and petroleum reservoir in Ordos Basin [J]. *Acta Petroli Sinica*, 2003, 24(2): 34-37]

Relationship Between Petroleum Accumulation of Mesozoic and Tectonic Movement in Ordos Basin

LI Shi-xiang^{1,2} DENG Xiu-qin^{1,2} PANG Jin-lian^{1,2} LV Jian-wen^{1,2} LIU Xin^{1,2}

(1. Research Institute of Exploration and Development, PetroChina Changqing Oilfield Company, Xi'an 710018;

2. National Engineering Laboratory for Exploration and Development of Low Permeability Oil & Gas Fields, Xi'an 710018)

Abstract Ordos Basin is the famous petroliferous basin of Mesozoic in China. Yanchang Formation of Upper Triassic and Yan'an Formation of Jurassic are the main oil-bearing strata. The oil-bearing strata got through Indo-China movement, Yanshanian movement and Himalayan movement. Based on the analyses of the tectonic stress field of Mesozoic and Cenozoic and the research of the tectonic heat events, combined with fracture property, fracture azimuth and char-

acteristic of inclusion in fracture ,the relationship between the petroleum accumulation of Mesozoic and tectonic movement was discussed. It is suggested that E-W , NNE and NE striking fractures were developed in the basin. Among them ,the NE striking shear fractures with thin filled were developed in the S-N compression environment in Indo-China period ,or the NE striking fractures induced tensional fracture formed by basement fault. The E-W shear striking fractures with thin filled were developed in the NW-SE compression environment in Yanshanian period. The NNE tensional striking fractures with strong filled were developed in the NNW-SSE extensional environment in Himalayan period. Each tectonic movements occurred in Mesozoic and Cenozoic controlled the migration and accumulation of the petroleum. Because of the Indo-China movement ,Ordos Basin deposited the important hydrocarbon source rock in Mesozoic. The hydrocarbon source rock reached the peak of hydrocarbon generation and expulsion because of the tectonic heat event which was produced by Yanshanian movement ,resulting in the petroleum accumulation during Yanshanian period. The petroleum undergone large-scale migration and adjustment because of the Himalayan movement led to the petroleum distribution of upper Mesozoic consistent with the trend of basement fracture belt. These three Mesozoic and Cenozoic tectonic movements have significantly influenced the development of Ordos Basin and hydrocarbon accumulation within it.

Key words Ordos Basin; Indo-China movement; Yanshanian movement; Himalayan movement; tectonic stress field; fracture; petroleum accumulation; Mesozoic and Cenozoic