油气资源

基于流体包裹体的储层微裂缝研究
—以陕北斜坡上古生界为例

万永平[1,2]，　李园园[2]，　梁　晓[1]
(1. 中国地质大学(北京),北京　100083;2. 陕西延长石油(集团)有限责任公司研究院,西安　710075)

[摘　要]储层裂缝研究是低渗致密岩性油气藏研究的关键。低孔低渗储层中裂缝的发育不仅成为油气运移通道,更是储存空间,为研究研究区储层裂缝在天然气成藏过程中的作用及意义,文章从鄂尔多斯盆地构造背景出发,通过显微构造研究、成岩作用研究及储层微裂缝中的流体包裹体测温研究,认为研究区上古生界储层微裂缝发育时间晚于压溶作用发生时间,而早于储层最大埋深时间即排烃高峰期。储层微裂缝的发育为上古生界气藏的成藏提供了必要的运移通道。

[关键词]陕北斜坡　上古生界　微裂缝　流体包裹体　储层
[中图分类号]P618.130.2+5　[文献标识码]A　[文章编号]0495-5331(2010)04-0711-05

Wan Yong-ping,Li Yuan-yuan,Liang Xiao. Fractures of reservoirs inferred from fluid inclusions: a case study of the upper Paleozoic of Northern shaanxi Slope[J]. Geology and Exploration,2010,46(4):0711-0715.

鄂尔多斯盆地东缘陕北斜坡上古生界储层主要为石炭系本溪组及二叠系山西组、石盒子组,储层埋深在 2400 ~ 3200m 之间,盆地内部褶皱、断裂等构造不发育,为典型的低孔、低渗岩性气藏(付金华,2001;Fu,2004)。在低孔、低渗油气藏中,天然裂缝的发育成为油气运移通道及储存空间,同时,也是主导人工压裂规模的主要因素之一。裂缝发育特征的研究成为寻找油气富集区、井网优化、井位部署及提高单井产量的关键所在(Steve *et al.*, 2000;苏培东等,2005;王香增等,2008)。笔者从矿物颗粒尺度微裂缝的发育特征及其内部流体包裹体的形成条件、发育期次等角度出发,结合盆地构造热演化过程研究了储层微裂缝的形成过程及时限,为研究天然气运移及成藏提供了必要的基础。

1　区域构造背景

鄂尔多斯盆地自古生代以来是一个稳定的陆内克拉通盆地,进入中生代以来,特提斯构造域开合、古太平洋板块俯冲以及秦岭陆内造山等构造运动在大边的石英颗粒上,微裂缝同时切穿石英颗粒子矿盆地周缘形成了力学性质不同、形态复杂、具圈层分布特征的构造变形带,在盆地内部未形成断裂褶皱等大型构造(张泓,1996;张岳桥等,2006)。不同板缘动力作用产生的远程效应,在盆地内部古生界至中生界形成构造微裂缝,成为盆地油气运移及成藏的通道及场所,特别为研究区(图 1-a)上古生界气藏的垂向运移及形成"近源运聚"气藏提供了构造基础(张义楷等,2006)。

2　微裂缝发育特征

基于矿物颗粒尺度的微裂缝是宏观裂缝的微观表现,可以更准确地反映构造事件、异常高压事件以及成岩过程(潘雪峰等,2006;曾联波等,2007)。微裂缝的研究主要针对裂缝面形态、裂缝宽度、开启状态、充填物、裂缝发育期次及各期次发育的主要方向,为宏观构造提供微观佐证(Orlando *et al.*, 2006)。

研究区碎屑岩中微裂缝表面较平直,充填有流体包裹体(图 1-a,2-a,2-b),缝宽一般在 3 ~ 5um。裂缝一般切穿石英、长石等脆性矿物颗粒,在发育加物及加大边(图 2-c),在绿泥石等层状硅酸盐矿物

[收稿日期]2010-04-28;[修订日期]2010-06-17;[责任编辑]郑　杰。
[基金项目]科技部低(超低)渗透油田高效增产改造和提高采收率技术研究与产业规范化项目(编号:2007BAB17B00),延长探区上古生界储层裂缝预测及评价项目(编号:ycsy2009-A-08)资助。
[第一作者简介]万永平(1981 年-),男,在读博士,主要从事构造地质学及油气储层裂缝研究,E-mail:wanhunter@163.com。

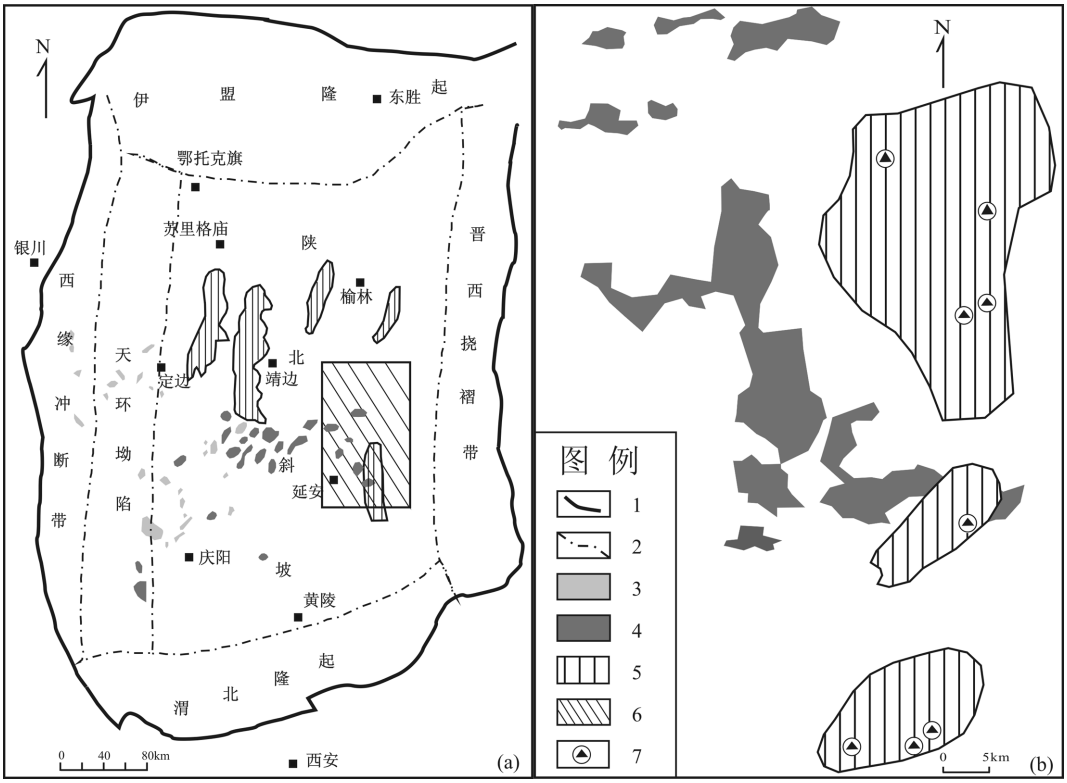


图 1 鄂尔多斯盆地构造单元划分及研究区位置

Fig. 1 Map showing division of structural units of the Ordos basin and location of the study area

1-盆地边界;2-构造单元边界;3-侏罗系油藏;4-三叠系油藏;5-古生界气藏;6-研究区范围;7-采样位置

1-basin boundary;2-structural units boundary;3-Jurassic reservoir;4-Triassic reservoir;5-Paleozoic gas reservoir;6-location of study area;7-sampling location

边缘终止或改变发育方向。微裂缝一般呈共轭形式产出,共轭角在 50°~70°之间(图 2-c,2-d, 为剪性破裂(朱志澄等,1990)。

3 包裹体产状

研究区上古生界砂岩储层成岩作用最高经历了晚成岩作用 B 期,在晚成岩作用 A1 亚期主要发育压溶作用,形成石英次生加大边,对储层渗透性造成破坏(Eadington,1991)。固结成岩作用后期,在区域应力场作用下,岩石发育微裂缝。在形成石英加大边及微裂缝过程中,地层中的流体相物质被捕获在生长矿物的晶体缺陷及微裂缝中形成流体包裹体,包裹体显微测温可以为储层演化研究过程中最关键的成岩温度条件提供直接证据(张文淮等,1993;刘斌等,1999;卢焕章等,2004)。

3.1 石英次生加大边中包裹体

形成于石英加大边中的流体包裹体一般沿加大边呈弧形状分布(图 2-e),包裹体胚腔形态受成岩作用的限制而呈不规则状发育,其内部包裹体一般呈近圆形(图 2-e,2-f),包裹体直径多在 3~7μm 之间,个别可达 6~8μm。多个包裹体呈"串珠状"成群展布,主要发育盐水包裹体及少量含液态烃盐水包裹体。前者在单偏光显微镜下无色透明;后者包裹体壁略厚,液态烃附着在包体内壁和气泡外缘,为浅褐色,在荧光显微镜下具微弱的黄绿色荧光(图 2-f)。

3.2 微裂缝中包裹体

岩层在固结成岩作用后期,在区域构造应力作用下发生应力-应变变形,当构造应力达到岩石破裂强度之后,岩石产生破裂作用形成微裂缝。研究区目的储层微裂缝中多发育流体包裹体,包裹体一般沿微裂缝呈雁列状-条带状分布,单个包裹体形态一般为长轴平行于微裂缝的椭圆状或不规则状(图 2-a,2-b,2-d),包裹体长短轴之比多在 2/1~3/1 之间,长轴一般在 3~5μm 之间。包裹体类型主要为盐水包裹体及含烃类盐水包裹体。

4 包裹体形成条件

流体包裹体是捕获在矿物晶体缺陷或微裂缝中的均一流体,经后期降温分异成固态、液态及气态等

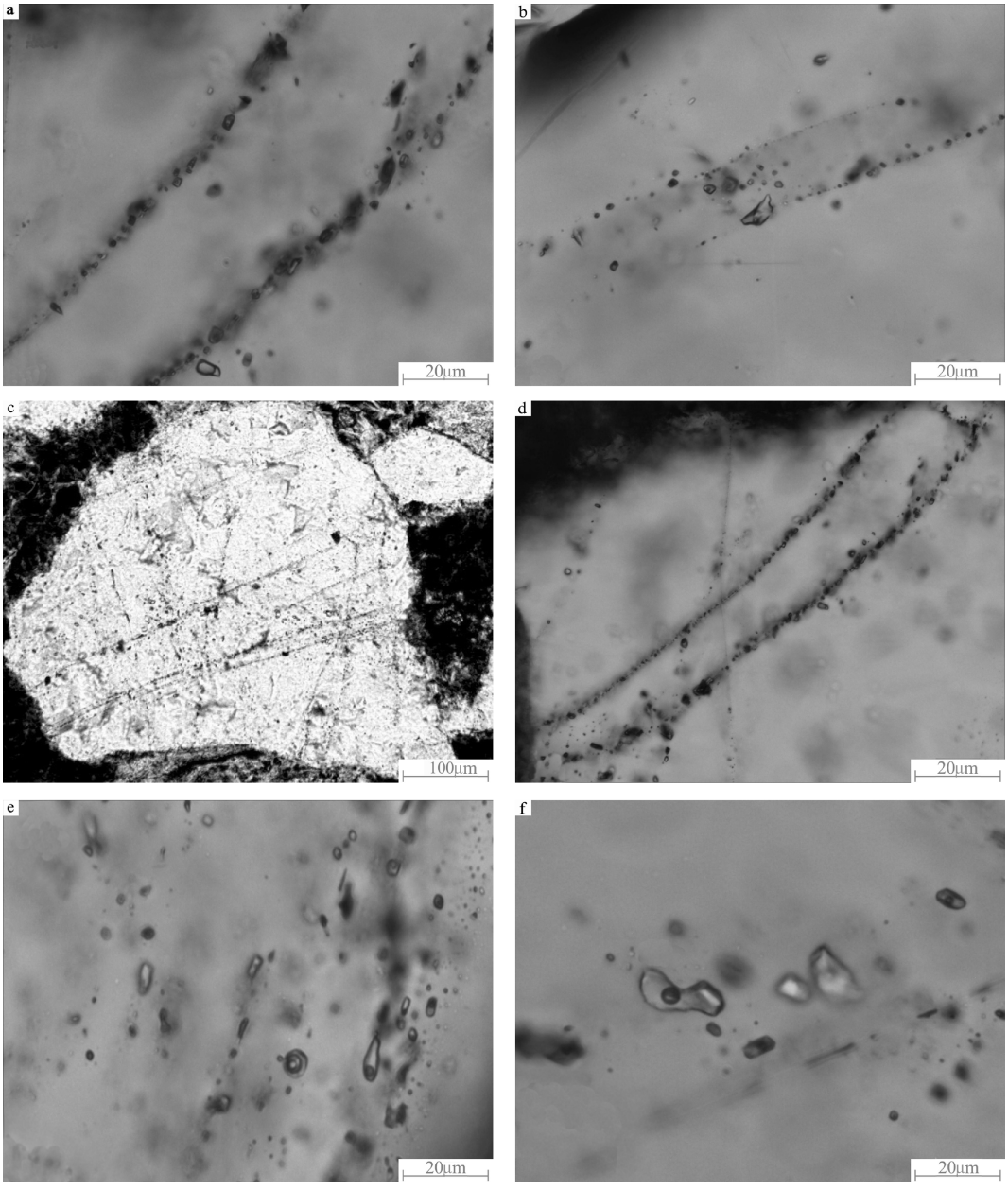


图 **2**　研究区储层裂缝及包裹体

Fig. 2　Reservoir fractures and inclusions in the study area

a–山西组石英颗粒中微裂缝及包裹体;b–石盒子组石英颗粒中微裂缝及流体包裹体;c–山西组石英颗粒中微裂缝交切关系;d–石盒子组石英颗粒中微裂缝交切关系;e–山西组石英加大边中流体包裹体;f–石盒子组石英加大边中流体包裹体

a–fracture & inclusion in quartz of Shanxi Formation;b–fracture & inclusion in quartz of Shihezi Formation;c–fractures intersection in Shanxi Formation;d–fractures intersection in Shihezi Formation;e–inclusions in quartz overgrowth in Shanxi Formation;f–inclusions in quartz overgrowth in Shihezi Formation

三种相态。能很好地记录成岩作用阶段的温度、盐度、压力等信息,并不受后期地质事件的影响及改造(张文淮等,1993;卢焕章等,2004),通过测试各个地质演化阶段的流体包裹体,可以获得对应各阶段的热演化温压条件(谢奕汉等,1999)。

研究的包裹体样品采集:自下而上分别对上古生界二叠系山西组山 2 段、山 1 段及石盒子组盒 8 段微裂缝及石英加大边中发育的流体包裹体图 1–b,进行均一测温,测试结果(表 1)显示,微裂缝中均一温度较高且自上而下温度逐渐升高,最高达到 140 ~ 150℃;

表 1 研究区上古生界二叠系流体包裹体分析结果表

Table 1 Analysis result of fluid inclusions in the study area

赋存状态	宿主矿物	层位	直径 μm	气液比	类型	均一相态	成因	均一温度,℃	冰点温度,℃	盐度(NaCl)%
微裂缝	石英	盒 8 段	4 ~ 8	3 ~ 8	盐水	液相	次生	120 ~ 140	-4.2 ~ -3.7	6.01 ~ 6.74
	石英		3 ~ 5	3 ~ 5	CO_2	液相	次生	32 ~ 35		
	石英	山 1 段	3 ~ 6	5 ~ 7	盐水	液相	次生	140 ~ 150	-4.2 ~ -3.7	6.2 ~ 6.8
	石英	山 2 段	3 ~ 5	5 ~ 7	盐水	液相	次生	140 ~ 150	-4.9 ~ -3.7	4.81 ~ 7.83
	石英		2 ~ 5	3 ~ 5	CO_2	液相	次生	30 ~ 34		
石英加大边	石英	山 1 段	3 ~ 7	3 ~ 8	盐水	液相	次生	110 ~ 120	-6.9 ~ -2.5	3.71 ~ 7.86
	石英	山 2 段	3 ~ 7	4 ~ 8	盐水	液相	次生	120 ~ 130	-4.8 ~ -3.7	6.34 ~ 10.36

注:数据由西安石油大学陕西省油气成藏地质学重点实验室测定,仪器型号:Linkam THM600 冷热台, 2007.4。

石英加大边中温度较低,但自上而下温度升高的趋势不变,最高温度为 120℃左右。

5 裂缝形成时限讨论及成藏意义

5.1 储层最大埋深时限

根据盆地古地温史及热演化温度,可以很好地推算盆地埋深及油气演化史(谢奕汉等,1998)。鄂尔多斯盆地自晚古生代以来是一个持续沉降、低热坳陷的内陆盆地,盆地中生代地温梯度为 3.3 ~ 4.5℃/100m(赵宏刚,2005),其中盆地东缘陕北斜坡地温梯度为 4.4℃/100m(任战利等,2007)。

据前人(杨华等,2002)研究成果,研究区目的储层镜质体反射率(R_0 值)在 1.80 ~ 1.86 之间,个别可达 1.93,建立了镜质体反射率与古地温的关系式(杨华等,2002):

$$R_0 = 0.0113 \times T - 0.233$$

式中:R_0 为镜质体反射率,T 为古地温(℃)

可得该区目的储层经历的最高热演化温度可达 185℃。前人研究认为研究区二叠系底部在晚侏罗世-早白垩世达到最大埋深(黄道军等,2003;赵宏刚,2005;任战利等,2007),最大深度达到 4300m,同时盆地热演化程度达到最高,为烃源岩的最大生排烃期(任战利等,2007)。

5.2 裂缝形成时限

研究区上古生界砂岩储层发育压溶作用,该过程形成的石英次生加大边发生在晚成岩作用阶段 A 期(Fu,2004),由前述石英颗粒中的微裂缝与石英加大边的交切关系(图 2c)及加大边与微裂缝中流体包裹体温度测试结果可知,微裂缝形成时期晚于石英次生加大边而早于目的储层最大埋深时期,即目的储层微裂缝形成于早白垩世之前。

5.3 微裂缝的成藏意义

研究区目的储层为典型的低渗致密的岩性气藏,盆地内部无断裂构造发育,储层裂缝的发育成为天然气运移及成藏提供了必要条件:① 晚成岩作用 A 期发育的压溶作用形成石英次生加大边,对储层渗透性造成进一步破坏,发育在其后的微裂缝起到了改善储层渗透性的作用;② 研究区上古生界储层低渗致密,储层与烃源岩之间发育 20 ~ 40m 厚的碳酸盐岩及 40 ~ 90m 厚的泥岩隔层,在盆地大规模排烃期之前形成的储层微裂缝的发育成为天然气垂向运移的构造基础。

6 结论

1) 研究区目的储层主要发育剪性微裂缝,微裂缝形成于早白垩世之前,即上古生界烃源岩排烃高峰期之前,而晚于石英次生加大边的形成时限。

2) 研究区目的储层经历了压溶成岩作用,形成的石英次生加大边对储层渗透性造成进一步破坏,形成于次生加大之后的微裂缝切穿了加大边,对储层渗透性有一定的改善作用。

3) 储层微裂缝的发育为天然气垂向运移提供了必要的运移通道,同时为天然气成藏提供了储存空间。

[References]

Eadington P J. 1991. Fluid history analysis: A new concept for prospect evaluation[J]. The APEA Journal,31:301-320

Fu Jin-hua, Xi Sheng-li, Liu Xin-she. 2004. Complex exploration techniques for the low-permeability lithologic gas pool in the Upper Paleozoic of Ordos Basin[J]. Petroleum science,1(2):111-118

Fu Jin-hua. 2001. The gas reservoir-forming conditions and accumulation results of upper Paleozoic in Ordos Basin[D]. Xi'an: Northwest university:50-52(in Chinese with English abstract)

Lu Huan-zhang, Fan Hong-rui. 2004. Fluid inclusion[M]. Beijing: Science press:232-240(in Chinese)

Liu Bin, Shen Kun. 1999. Fluid inclusion thermodynamics[M]. Beijing: Geological publishing house:44-49(in Chinese)

Orlando J. Ortega, Randall A. Marrett, Stephen E. Laubach. 2006. A scale-independent approach to fracture intensity and average spacing measurement[J]. AAPG Bulletin,90(2):193-208

Pan Xue-feng, Zeng Wei, Zhang Zhuang. 2006. The microscopic characteristic and meanings of fractured reservoir in Qingxi area[J]. Journal of southwest petroleum institute,28(5):36-39(in Chinese with

English abstract)
Ren Zhan-li, Zhang Sheng, Gao Sheng-li. 2007. Tectonic-thermal evolution and its reservoir significance in Ordos Basin[J]. Science in China, 23(supp.):23-32(in Chinese with English abstract)
Steve Laubach, Randy Marrett, Jon Olson. 2000. New directions in fracture characterization[J]. The Leading Edge, 7:704-711
Su Pei-dong, Qin Qi-rong, Huang Run-qiu. 2005. Prospects and status for the study on reservoir fractures[J]. Journal of southwest petroleum institute, 27(5):14-17(in Chinese with English abstract)
Wang Xiang-zeng, Wan Yong-ping. 2008. Quantitative characterization of fracture in reservoir and its geological significance[J]. Geological bulletin of China, 27(11):1939-1942(in Chinese with English abstract)
Xie Yi-han, Fan Hong-rui, Wang Ying-lan. 1999. Fluid inclusion with petroleum maturity and its evolution[J]. Marine origin petroleum geology, 4(3):32-35(in Chinese with English abstract)
Xie Yi-han, Fan Hong-rui, Wang Ying-lan. 1998. Fluid inclusions and their relation to the formation and evolution of oil-gas in a basin[J]. Geological science and technology information, 17(supp.):100-104(in Chinese with English abstract)
Xia Yu-liang, Lin Jing-rong, Liu Han-bin. 2003. Research on geochronology of sandstone-hosted uranium ore-formation in major urnnium-productive basins, northern China[J]. Uranium geology, 19(3):129-136(in Chinese with English abstract)
Yang Hua, Xi Sheng-li. 2002. Having made a breakthrough in natural gas exploration at Changqing[J]. Natural gas industry, 22(6):10-12(in Chinese with English abstract)
Zhang Hong. 1996. Mesozoic and Cenozoic palaeotectono-stress field of Ordos basin[J]. Jour Geol & Min Res North China, 11(1):87-92(in Chinese with English abstract)
Zhang Yue-qiao, Liao Chang-zhen, Shi Wei, Hu Bo. 2006. Neotectonic evolution of the peripheral zones of the Ordos basin and geodynamic setting[J]. Geological journal of China Universities, 12(3):285-297(in Chinese with English abstract)
Zhang Yi-kai, Zhou Li-fa. 2006. Relationship between the Mesozoic and Cenozoic tectonic stress fields and the hydrocarbon accumulation in the Ordos Basin[J]. Petroleum geology & experiment, 28(3):215-219(in Chinese with English abstract)
Zeng Lian-bo, Li Yue-gang, Wang Zheng-guo. 2007. Distribution of microfractures in ultralow permeability sandstone reservoir of the second member of Xujiahe formation in Qiongxi structure[J]. Natural Gas Industry, 17(6):45-48(in Chinese with English abstract)
Zhu Zhi-cheng, Song Hong-lin. 1990. Structural geology[M]. Wuhan: Publishing house of China University of Geosciences:50-56(in Chinese)
Zhang Wen-huai, Chen Zi-ying. 1993. Fluid inclusion geology[M]. Wuhan: Publishing house of China University of Geosciences:16-96(in Chinese)
Zhao Hong-gang. 2005. The relationship between tectonic-thermal evolution and sandstone-type uranium ore-formation in Ordos Basin[J]. Uranium Geology, 21(5):275-282(in Chinese with English abstract)

[附中文参考文献]

付金华. 2001. 鄂尔多斯盆地上古生界天然气成藏条件及富集规律[D]. 西安:西北大学:50-52
卢焕章,范宏瑞. 2004. 流体包裹体[M]. 北京:科学出版社:232-240
刘　斌,沈　昆. 1999. 流体包裹体热力学[M]. 北京:地质出版社:44-49
潘雪峰,曾　伟,张　庄. 2006. 青西区块裂缝型储层微观特征及意义[J]. 西南石油学院学报,28(5):36-39
任战利,张　盛,高胜利. 2007. 鄂尔多斯盆地构造热演化史及其成藏成矿意义[J]. 中国科学 D 辑,23(增 I):23-32
苏培东,秦启荣,黄润秋. 2005. 储层裂缝预测研究现状与展望[J]. 西南石油学院学报,27(5):14-17
王香增,万永平. 2008. 油气储层裂缝定量描述及其地质意义[J]. 地质通报,27(11):1939-1942
谢奕汉,范宏瑞,王英兰. 1999. 石油包裹体与石油成熟度及油气演化[J]. 海相油气地质,4(3):32-35
谢奕汉,范宏瑞,王英兰. 1998. 流体包裹体与盆地油气的生成和演化[J]. 地质科技情报,17(增刊):100-104
夏毓亮,林锦荣,刘汉彬. 2003. 中国北方主要产铀盆地砂岩型铀矿成矿年代学研究[J]. 铀矿地质,19(3):129-136
杨　华,席胜利. 2002. 长庆天然气勘探取得的突破地质勘探[J]. 天然气工业,22(6):10-12
张　泓. 1996. 鄂尔多斯盆地中新生代构造应力场[J]. 华北地质矿产杂志,11(1):87-92
张岳桥,廖昌珍,施　炜,胡　博. 2006. 鄂尔多斯盆地周边地带新构造演化及其区域动力学背景[J]. 高效地质学报,12(3):285-297
张义楷,周立发. 2006. 鄂尔多斯盆地中新生代构造应力场与油气聚集[J]. 石油试验地质,28(3):215-219
曾联波,李跃纲,王正国. 2007. 邛西构造须二段特低渗透砂岩储层微观裂缝的分布特征[J]. 天然气工业,17(6):45-48
朱志澄,宋鸿林. 1990. 构造地质学[M]. 武汉:中国地质大学出版社:50-56
张文淮,陈紫英. 1993. 流体包裹体地质学[M]. 武汉:中国地质大学出版社:16-96
赵宏刚. 2005. 鄂尔多斯盆地构造热演化与砂岩型铀成矿[J]. 铀矿地质,21(5):275-282

Fractures of Reservoirs Inferred From Fluid Inclusions: A Case Study On the Upper Paleozoic of Northern Shaanxi Slope

WAN Yong-ping[1,2], LI Yuan-yuan[2], LIANG Xiao[1]
(1. *China University Of Geosciences(Beijing), Beijing* 100083;
2. *Institute of Shaanxi Yanchang Petroleum(Group) Co. Ltd., Xi'an* 710075)

Abstract: Fracture is a vital issue in the research of low-permeability and tight sandstone reservoirs. These fractures can provide channels for oil and gas migration as well as space for storage. Based on the tectonic setting of the Ordos basin, this paper studies the micro-structure and fluid inclusions in fractures of reservoirs in northern Shaanxi slope. It is suggested that the time of fracture forming in the upper Paleozoic should be later than that of the pressure solution, and earlier than the peak stage of hydrocarbon expulsion during the deepest burial of the reservoirs. The fractures in reservoirs play an important role in the gas reservoir generation of the upper Paleozoic in the Ordos basin.

Key words: Northern shannxi slope, upper Paleozoic, fracture, fluid inclusion, reservoir