

文章编号: 1000-0550(2013)04-0693-06

利用天然气包裹体方法划分天然气成藏期次 ——以鄂尔多斯盆地东南部上古生界储层为例

翁凯^{1,2} 张雪¹ 李荣西¹ 李继宏³

(1. 长安大学地球科学与资源学院 西安 710055; 2. 国土资源部岩浆作用成矿与找矿重点实验室 西安地质调查中心 西安 710054;
3. 中国石油长庆油田勘探开发研究院 西安 710021)

摘要 鄂尔多斯盆地东南部上古生界天然气储层主要为太原组、山西组、下石盒子组和上石盒子组,岩性以石英砂岩为主。储层的主要成岩作用有压实和压溶作用、胶结和交代作用、裂隙和溶蚀作用等,依据显微镜下岩相学研究,在研究区可以识别出四个大的成岩阶段,分别对应早成岩阶段的早期和晚期、晚成岩阶段的早期和晚期。识别出两期天然气包裹体,第一期天然气包裹体形成于早成岩阶段的晚期,分布在早期裂隙及与其相关的溶蚀孔隙中,形态不规则,气/液比较高,偶尔可见包裹体发荧光。第二期天然气包裹体形成于晚成岩阶段晚期,分布在晚期裂隙中和晚期亮晶方解石和石英胶结物中,包裹体气/液比小,大部分为有机气态和盐水组成的气液两相有机包裹体,包裹体壁薄而色浅。研究认为第一期代表了早期天然气初次运移和注入储层事件,而第二期代表了天然气大规模二次运移聚集成藏事件。

关键词 鄂尔多斯盆地 包裹体 上古生界 成藏期次

第一作者简介 翁凯 男 1985年出生 博士 矿物学、岩石学、矿床学 E-mail: kaikaino1@qq.com

中图分类号 TE122.1 **文献标志码** A

储层天然气包裹体是在储集岩裂缝、孔、洞充填物和胶结物等结晶生长过程中捕获储层中天然气而形成的包裹体^[1-3]。天然气包裹体是天然气运移和聚集成藏过程中保存在成岩矿物中的遗迹和记录,能够很好的反映天然气成藏期次,是天然气勘探中的一种重要研究手段^[4-8]。

鄂尔多斯盆地上古生界有着丰富的天然气资源,经过多年的努力,先后发现了榆林、苏里格、乌审旗及米脂等大型天然气田^[9-12]。这些天然气田多集中在盆地的中北部地区,为了寻找新的天然气接替区,人们开始对勘探程度较低的盆地东南部上古生界进行研究。多年的勘探成果表明鄂尔多斯盆地东南部有着巨大的天然气开发潜力^[13-16]。前人曾利用流体包裹体手段对盆地上古生界天然气成藏期次进行过划分。刘建章等在盆地东部划分出6期天然气成藏,南部和中部划分出5期,西部只划分出3期^[17];樊爱萍等在盆地上古生界储层中划分出两期天然气成藏^[18];薛会等在杭锦旗地区划分出两期天然气成藏^[19]。以上研究主要依据流体包裹体测温结果,缺少对储层岩相学和成岩作用的研究。本文以鄂尔多斯盆地东南部上古生界天然气藏为例,在对其储层岩

相学和成岩作用研究的基础上,结合储层天然气包裹体技术,分析该区上古生界天然气藏的天然气运移与成藏期次。

1 样品的地质特征

鄂尔多斯盆地是华北板块内一个大型的残延克拉通盆地,是一个经历了多次构造变动、经过长期地质构造演化而成的一个大型叠合盆地。盆地基底为太古界、古元古界的一套古老的变质结晶岩系,盖层由陆内裂谷型的新元古界、下古生界海相地层、上古生界海陆过渡相地层和中生界陆相沉积地层组成,沉积岩厚度5 000~7 000 m。盆地东南部上古生界砂岩储层主要为太原组、山西组、下石盒子组和上石盒子组,岩性以石英砂岩为主。本次研究采集了鄂尔多斯盆地东南部10口钻井的岩芯样品,在对岩芯观察描述的基础上,有代表性的采集了上古生界天然气储层样品24块进行包裹体薄片的磨制。在显微镜下首先观察包裹体薄片,其中一些样品中没有见到任何包裹体,在挑选过程中被剔除,最终选择了19个砂岩样品进行系统的分析研究。首先在显微镜下通过岩石薄片和包裹体薄片观察研究,在岩相学研究基础上

①中国地质调查局《鄂尔多斯盆地与周缘构造盆地关系研究》(编号:121201121095) 西北基础地质调查成果集成与综合研究(编号:1212011220649) 资助
收稿日期:2012-07-18; 收修改稿日期:2012-10-24

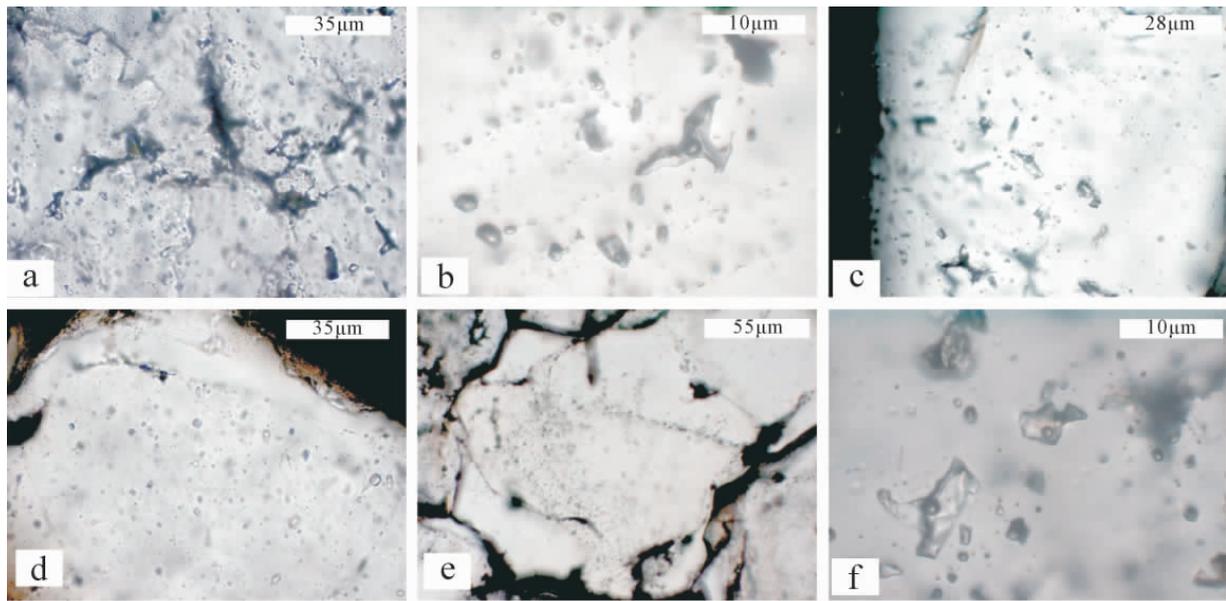


图1 鄂尔多斯盆地东南部上古生界天然气储层成岩矿物及流体包裹体特征

a. 早期裂缝中纯天然气包裹体, 宜2井 2 503.1 m, 本溪组; b. 晚期裂隙包裹体, 富古2井 2 753.87 m, 下石盒子; c. 溶蚀孔隙有机包裹体, 富古1井 2 708.4 m, 上石盒子组; d. 石英加大边及有机包裹体, 宜2井 2 413.77 m, 山西组; e. 次生加大边与包裹体, 富古3井 2 958.61 m, 下石盒子组; f. 溶蚀孔隙中的包裹体, 富古1井 2 708.4 m, 上石盒子组

Fig.1 The characteristics of upper Paleozoic natural gas reservoir diagenetic mineral and fluid inclusion in the southeast of the Ordos Basin

划分成岩期次, 确定成岩作用类型。其次在偏光显微镜和荧光显微镜下观察研究天然气包裹体岩相学特征, 确定天然气包裹体分布、相态、类型、丰度、荧光及包裹体与成岩矿物之间的相互关系等, 分析天然气包裹体反映的天然气运移与成藏期次。

2 成岩阶段与成岩作用

2.1 主要的成岩阶段

显微镜下岩相学观察发现本区上古生界砂岩储层基本上可以识别出四个大的成岩阶段, 分别对应早成岩阶段的早期(未成熟阶段)和晚期(半成熟阶段)、晚成岩阶段的早期(成熟阶段)和晚期(高成熟阶段)。第一阶段为早成岩阶段早期浅埋藏成岩作用, 表现为碎屑颗粒多呈点一线接触关系, 大量硅质胶结物形成。第二阶段为裂隙作用和溶蚀作用, 这是本区较强的一次成岩作用, 石英、长石普遍受影响而形成大量的裂隙, 同时出现大量溶蚀孔隙。第三阶段是晚期深埋藏成岩作用, 表现为在石英碎屑颗粒溶蚀和早期裂隙基础上发生重结晶作用, 使溶蚀孔隙和裂隙愈合, 并形成多个生长加大边, 也出现大量的硅质胶结物。第四阶段为晚期构造应力裂隙发育和晚期碳酸盐岩和石膏等盐类矿物的形成。

2.2 主要的成岩作用类型

(1) 压实和压溶作用 在早成岩阶段由于受上覆沉积物压载作用, 在砂岩中表现为碎屑颗粒趋于最紧密堆积。压实作用主要表现为石英等刚性碎屑颗粒压裂破碎, 同时发生压溶现象, 在颗粒接触处出现了溶解作用, 颗粒接触关系由点接触变为线接触到凸凹接触, 甚至出现镶嵌、缝合线状接触关系。

(2) 早期胶结作用 早成岩阶段早期胶结作用主要为硅质、钙质和黏土胶结, 表现为石英颗粒边缘形成的黏土矿物(高岭石和伊利石)衬垫、碎屑颗粒之间充填不规则形态的早期泥晶方解石和硅质成分形成自生石英或燧石。

(3) 交代作用 砂岩交代强烈, 常见交代蚀变产物, 使碎屑和杂基中不稳定组分(主要为云母、长石、火山碎屑等)发生变化, 不稳定组分常见的变化有黏土化、高岭石化和绢云母化等。碳酸盐矿物交代石英、岩屑、长石和杂基等发生在晚期成岩作用期间, 形成的方解石呈片状连晶结构, 其中见包含着这些组分的残骸。

(4) 裂隙作用 上古生界分出两期裂隙, 分别形成于晚成岩阶段的早期和晚期。早期裂隙一般伴随有不同程度的溶蚀作用(图1-a), 发育局限于碎屑颗

粒内部,多个方向纵横交叉,但没有完全切穿整个颗粒边界和加大边。晚期裂隙明显切穿了颗粒边界和加大边,“切割”痕迹很清晰,显微镜下可以看到同一个裂隙横向切穿不同颗粒,而且主要为一组裂隙,成雁行状分布,其中充填有大量有机流体包裹体,包裹体呈长轴状沿裂隙方向延伸分布,或呈椭圆形沿裂隙呈串珠状定向分布(图1-b)。

(5) 溶蚀作用 是石英砂岩比较明显一次成岩作用,它是伴随早期裂隙作用出现的,主要表现为石英颗粒出现港湾状凹凸弯曲的边缘,溶蚀孔隙形态多样,极不规则,个体一般较大。而长石颗粒中大量溶蚀孔隙沿其解理或在解理交叉处形成,多成伸长状的缝隙或孔隙(图1-c)。

(6) 石英次生加大作用和硅质胶结作用 石英碎屑颗粒边缘次生加大边发育,主要表现为在具有溶蚀边缘的石英颗粒的基础上发生重结晶作用,形成了多个明显的生长边环带,即晚期石英次生加大边(图1-d,e),从而使部分溶蚀作用形成的孔隙和早期裂隙愈合封闭,同时形成大量的硅质胶结物,在石英加大边中偶尔可见包裹体(图1-d)。

(7) 晚期胶结作用 主要为晚期方解石和硅质胶结作用,特点是方解石呈亮晶连晶存在,其次为早期泥晶方解石重结晶形成亮晶颗粒方解石,硅质胶结作用主要为重结晶的石英,干净,无杂质。

3 天然气包裹体期次与特征

根据成岩作用、成岩阶段、天然气包裹体分布和相态特征的研究,发现鄂尔多斯盆地上古生界普遍见有两期天然气包裹体,分别形成于早成岩期的晚期和晚成岩期的晚期。

第一期天然气包裹体分布在早期裂隙及与其相

关的溶蚀孔隙中,早期裂隙没有切穿碎屑颗粒加大边(图1-c,d,e),沿裂隙分布的天然气包裹体呈串珠状定向分布,单个包裹体呈近圆形或椭圆形,充填在裂隙中的包裹体一般较大,而且包裹体长轴方向与裂隙延伸方向一致。充填在溶蚀孔隙中的包裹体形态不规则(图1-f),有些溶蚀孔隙处于不同方向裂隙交叉处(图1-c)。天然气包裹体较大,一般在10~30 μm ,相态复杂,普遍含盐水成分,盐水分布在包裹体边缘和角落部位,无色透明,有机烃类分布在包裹体中间部位,多为浅褐黄色,与盐水边界截然,其中可见呈灰黑色的气泡,但是气泡与有机烃类界限不明显,气泡和液态烃折射率高,故其顶部具有一个亮点。本期包裹体气/液比较高,一般为20%左右,偶尔可见包裹体发荧光。

第二期天然气包裹体分布在晚期裂隙中和晚期亮晶方解石和石英胶结物中,晚期裂隙切穿了碎屑颗粒,裂隙较宽,主要为一组裂隙,裂隙成雁行状分布,而且有弯曲变形现象,天然气包裹体分布排列方式与裂隙一致,包裹体也有变形现象,沿裂隙方向呈一向延长状分布,或呈椭圆形沿裂隙呈串珠状定向分布。晚期亮晶方解石和石英胶结物中的有机包裹体较多,而且呈面状分布,分布在方解石或斜长石解理面中,以气态烃包裹体为主(图1-f)。本期包裹体气/液比小,一般小于10%,大部分为有机气态和盐水组成的气液二相有机包裹体,包裹体壁薄,颜色浅。

4 天然气包裹体形成条件和流体特征

通过包裹体均一温度的测试分析,可以了解在某个地质时期天然气包裹体形成时的古地温^[20,21]。由于只有均一相的流体包裹体的均一温度才能反映其形成温度,因此本次进行均一温度和冰点温度测试的

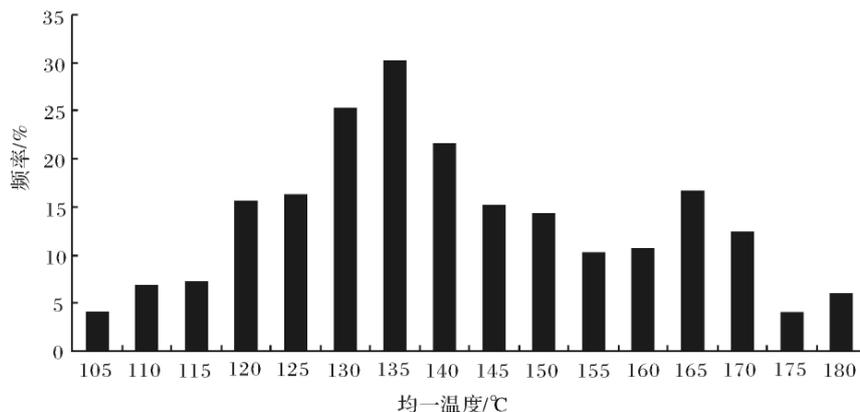


图2 上古生界包裹体均一温度分布图

Fig. 2 Homogenization temperature of inclusion in the upper Paleozoic

包裹体主要选择与天然气流体包裹体伴生的同期盐水包裹体进行测量。首先通过岩相学观察区分清楚要分析的包裹体的期次和类型,然后分别测量不同期次包裹体的均一温度,统计不同期次包裹体均一温度的峰值。图2为均一温度测试结果。可以看出,第一期包裹体的均一温度的峰值温度在 $130^{\circ}\text{C} \sim 140^{\circ}\text{C}$,第二期包裹体的均一温度的峰值温度在 $160^{\circ}\text{C} \sim 170^{\circ}\text{C}$ 。

通过冰点温度测量结果,利用Hall等1988年提出的 $\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}$ 体系盐度-冰点经验公式计算流体包裹体盐度,由于盐水包裹体的冰点受含溶解轻烃在冷冻过程形成天然气水合物的影响,本次研究利用实验数据对理论值进行了校正,结果表明上古生界包裹体盐度数值分布范围较宽,分布在 $0.2\text{wt}\% \sim 18.0\text{wt}\%$ 之间,而且有两个峰值区间: $1.0\text{wt}\% \sim 2.0\text{wt}\%$ 之间(第一期包裹体的盐度)和 $3.0\text{wt}\% \sim 4.0\text{wt}\%$ 之间(第二期包裹体的盐度)。

5 天然气成藏期次

天然气包裹体代表了同期的天然气运移或聚集

活动,因此,通过对天然气包裹体的研究可以确定相应的天然气的形成期次。本次重点对储层岩相学进行了研究,在综合研究成岩作用和成岩期次基础上,查明天然气包裹体寄主的自生成岩矿物及天然气包裹体特征,结合天然气包裹体均一温度、冰点或盐度和荧光特征等确定天然气包裹体的期次,进而确定天然气的运移和聚集成藏期次。

通过研究发现,第一期天然气包裹体的分布受早期裂缝和溶蚀孔隙的严格控制,普遍分布在颗粒内部的裂隙和溶蚀孔隙中,偶尔见有荧光,此类裂隙没有切穿颗粒边缘的加大边(图1-c、d、e)。包裹体形成温度为 $130^{\circ}\text{C} \sim 140^{\circ}\text{C}$ 之间,盐度在 $1.0\text{wt}\% \sim 2.0\text{wt}\%$ 之间,为上古生界天然气大量形成初次运移进入储层期间形成的包裹体。第二期天然气包裹体以纯气态烃包裹体为主(图1-f),分布在晚期裂隙中和晚期亮晶方解石胶结物中,呈长轴状沿裂隙一向延长分布,或呈椭圆形沿裂隙呈串珠状定向分布,包裹体形成温度为 $160^{\circ}\text{C} \sim 170^{\circ}\text{C}$,盐度在 $3.0\text{wt}\% \sim 4.0\text{wt}\%$ 之间,为上古生界天然气大规模二次运移成藏阶段形成的包裹体(表1)。

表1 上古生界成岩作用和有机包裹体分布关系

Table 1 the relationship between reservoir diagenesis and the distribution of organic inclusions in the upper Paleozoic

成岩阶段	早成岩期		晚成岩期	
	第四阶段	第一阶段	第二阶段	第三阶段
成岩作用	压实、胶结作用 硅质、钙质、粘土胶结、燧石、泥晶方解石、高岭石、伊利石形成	溶蚀、裂隙作用 石英、长石等碎屑颗粒溶蚀、多组裂隙发育	石英次生加大 在早期裂隙和溶蚀的石英颗粒外形成多个明显的生长加大边,使早期裂隙愈合封闭	裂隙、晚期胶结 应力裂隙切穿多个颗粒,裂隙雁行式分布。同期形成亮晶方解石和硅质胶结物
有机包裹体 天然气运移		第一期天然气包裹体 初次运移,注入储层		第二期天然气包裹体 二次运移成藏作用

6 结论

鄂尔多斯盆地东南部上古生界砂岩储层具有两期天然气包裹体,代表了两期天然气成藏事件。其中第一期天然气包裹体形成于早成岩阶段的晚期,分布在早期裂隙及其有关的溶蚀孔隙中,包裹体形成温度为 $130^{\circ}\text{C} \sim 140^{\circ}\text{C}$ 之间,盐度在 $1.0 \sim 2.0\text{wt}\%$ 之间,代表了本区早期天然气初次运移和注入储层事件。第二期天然气包裹体形成于晚成岩阶段晚期,分布在晚期裂隙中和晚期亮晶方解石胶结物中,包裹体形成温度为 $160^{\circ}\text{C} \sim 170^{\circ}\text{C}$,盐度在 $3.0 \sim 4.0\text{wt}\%$ 之间,代表了本区天然气大规模二次运移聚集成藏事件。

参考文献(References)

- 施继锡,李本超,傅家谟,等. 有机包裹体及其与油气的关系[J]. 中国科学: B辑,1987,3: 318-325 [Shi Jixi, Li Benchao, Fu Jiamo, et al. Organic inclusions and its relation to oil gas[J]. Science in China: Series B, 1987, 3: 318-325]
- Pironon J, Barres Q. Semi-quantitative FT-IR microanalysis limits: Evidence from synthetic hydrocarbon fluid inclusions in sylvite[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1990, 54: 509-518
- 李荣西,席胜利,邱领军. 用储层油气包裹体岩相学确定油气成藏期次——以鄂尔多斯盆地陇东油田为例[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(2): 194-199 [Li Rongxi, Xi Shengli, Di Lingjun. Oil/gas charging phases determined through petrographic analysis of hydrocarbon inclusions in reservoirs taking Longdong oilfield, Ordos basin, as an example [J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(2): 194-199]

- 4 Guoxiang Chi, I-Ming Chou, Huan-zhang Lu. An overview on current fluid-inclusion research and applications [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2003, 19(2): 201-212
- 5 池国祥, 赖建清. 流体包裹体在矿床研究中的作用[J]. *矿床地质*, 2009, 28(6): 850-855 [Chi Guoxiang, Lai Jianqing. Roles of fluid inclusions in the study of mineral deposits [J]. *Mineral Deposits*, 2009, 28(6): 850-855]
- 6 卢焕章. 一种寻找石油的新方法——流体包裹体法[J]. *桂林工学院学报*, 2000, 20(1): 82-83 [Lu Huanzhang. A new method of searching for oil: fluid inclusion method [J]. *Journal of Guilin Institute of Technology*, 2000, 20(1): 82-83]
- 7 赵靖舟. 油气成藏年代学研究进展及发展趋势[J]. *地球科学进展*, 2002, 17(3): 378-383 [Zhao Jingzhou. Geochronology of petroleum accumulation: new advances and the future trend [J]. *Advance in Earth Sciences*, 2002, 17(3): 378-383]
- 8 邵奎政, 梁晓东. 徐家围子地区天然气成藏期次及其模式[J]. *大庆石油地质与开发*, 2002, 21(6): 4-5 [Shao Kuizheng, Liang Xiaodong. Gas Accumulation periods and Models in Xujiaweizi Region [J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 2002, 21(6): 4-5]
- 9 张文忠. 榆林气田储层成岩作用与烃类充注期次研究[J]. *特种油气藏*, 2010, 17(1): 49-53 [Zhang Wenzhong. Study on diagenesis and hydrocarbon filling stages in Yulin gas field [J]. *Special Oil and Gas Reservoirs*, 2010, 17(1): 49-53]
- 10 江涛, 陈刚, 丁超, 等. 鄂尔多斯盆地神木-米脂地区上古生界天然气藏压力分布特征[J]. *特种油气藏*, 2010, 17(3): 48-51 [Jiang Tao, Chen Gang, Ding Chao, *et al.* Pressure distribution in upper Paleozoic gas reservoirs in Shenmu-Mizhi area of Ordos Basin [J]. *Special Oil and Gas Reservoirs*, 2010, 17(3): 48-51]
- 11 冀伟坦, 刘新社, 王涛. 鄂尔多斯盆地苏里格气田地层水成因及气水分布规律[J]. *石油学报*, 2010, 31(5): 767-773 [Dou Weit-an, Liu Xinshe, Wang Tao. The origin of formation water and the regularity of gas and water distribution for the Sulige gas field, Ordos Basin [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2010, 31(5): 767-773]
- 12 杨西燕, 沈昭国, 方少仙, 等. 鄂尔多斯盆地乌审旗气田中二叠统下石盒子组盒8段下亚段滩坝砂体沉积特征[J]. *古地理学报*, 2007, 9(2): 175-183 [Yang Xiyan, Shen Zhaoguo, Fang Shaolian, *et al.* Sedimentary characteristics of beach and bar sandbodies in the lower submember of Member 8 of Xiashihezi Formation of Middle Permian in Wushenqi Gasfield, Ordos Basin [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2007, 9(2): 175-183]
- 13 刘志武, 韩代成, 周立发. 鄂尔多斯盆地东南部古生界天然气勘探前景[J]. *煤田地质与勘探*, 2008, 36(5): 24-30 [Liu Zhiwu, Han Daicheng, Zhou Lifa. Natural gas prospecting foreground of the Palaeozoic in southeastern Ordos Basin [J]. *Coal Geology & Exploration*, 2008, 36(5): 24-30]
- 14 杨仁超, 樊爱萍, 韩作振, 等. 姬塬油田砂岩储层成岩作用与孔隙演化[J]. *西北大学学报*, 2007, 7(4): 626-630 [Yang Renchao, Fan Aiping, Han Zuozhen, *et al.* Succession of diagenesis and pore in sandstone reservoirs in Jiyuan Oil field [J]. *Journal of Northwest University: Natural Science Edition*, 2007, (4): 626-630]
- 15 马硕鹏, 何文渊. 鄂尔多斯盆地天然气勘探领域分析[J]. *天然气工业*, 2006, 26(8): 5-8 [Ma Shuopeng, He Wenyuan. Major frontiers of gas exploration in the Ordos Basin [J]. *Gas Industries*, 2006, 26(8): 5-8]
- 16 吴熙纯, 李培华, 张福礼, 等. 鄂尔多斯南部古生代储盖组合及评价[J]. *石油与天然气地质*, 1998, 19(1): 53-58 [Wu Xichun, Li Peihua, Zhang Fuli, *et al.* Paleozoic reservoir-cap complex and evaluation in south Ordos [J]. *Oil & Gas Geology*, 1998, 19(1): 53-58]
- 17 刘建章, 陈红汉, 李剑, 等. 运用流体包裹体确定鄂尔多斯盆地上古生界油气成藏期次和时期[J]. *地质科技情报*, 2005, 24(4): 60-66 [Liu Jianzhang, Chen Honghan, Li Jian, *et al.* Using fluid inclusion of reservoir to determine hydrocarbon charging Orders and times in the Upper Paleozoic of Ordos Basin [J]. *Geological Science and Technology Information*, 2005, 24(4): 60-66]
- 18 樊爱萍, 杨仁超, 冯乔, 等. 鄂尔多斯盆地上古生界流体包裹体特征及研究[J]. *山东科技大学学报: 自然科学版*, 2006, 25(2): 20-26 [Fan Aiping, Yang Renchao, Feng Qiao, *et al.* Research on characteristics of fluid inclusions in the Upper Paleozoic in Ordos Basin and its application [J]. *Journal of Shandong University of Science and Technology: Natural Science*, 2006, 25(2): 20-26]
- 19 薛会, 王毅, 毛小平, 等. 鄂尔多斯盆地北部上古生界天然气成藏期次——以杭锦旗探区为例[J]. *天然气工业*, 2009, 29(12): 9-12 [Xue Hui, Wang Yi, Mao Xiaoping, *et al.* The timing of gas pooling in the Upper Paleozoic in the northern Ordos Basin: A case study of the Hangjinqi Block [J]. *Natural Gas Industries*, 2009, 29(12): 9-12]
- 20 卢焕章, 等. 流体包裹体[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 1-487 [Lu Huanzhang, *et al.* *Fluid Inclusion* [M]. Beijing: Science Press, 2004: 1-487]
- 21 池国祥, 卢焕章. 流体包裹体组合对测温数据有效性的制约及数据表达方法[J]. *岩石学报*, 2008, 24(9): 1945-1953 [Chi Guoxiang, Lu Huanzhang. Validation and representation of fluid inclusion microthermometric data using the fluid inclusion assemblage (FIA) concept [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2008, 24(9): 1945-1953]

Natural Gas Reservoiring Phases Divided Through Method of Natural Gas Inclusions: A Case from the Upper Paleozoic Reservoirs in the Southeastern Ordos Basin

WENG Kai^{1 2} ZHANG Xue¹ LI Rong-xi¹ LI Ji-hong⁴

(1. School of Earth Science & Resources, Chang'an University, Xi'an 710054;

2. Key Laboratory for the Study of Focused Magmatism and Giant Ore Deposits, MLR, Xi'an Center of Geological Survey, Xi'an 710054;

3. Exploration and Development Research Institute, PetroChina Changqing Oilfield Company, Xi'an 710021)

Abstract: In the southeast of the Ordos Basin, the Upper Paleozoic gas reservoir mainly includes Taiyuan Formation, Shanxi Formation, the lower Shihezi Formation and the upper Shihezi Formation and lithology is mainly quartz sandstone. Based on microscope petrographic study, the main diagenetic types of the reservoir are compaction, pressure dissolution, cementation and metasomatism, fracture and dissolution, and four major diagenetic stages can be identified in study reservoir. The first stage is precocious rock early stage and shallow burial diagenesis, whose performances are that the clastic particles present a point-line contact relation and a large number of siliceous cement forms. The second stage is fracture and dissolution, which is the strongest diagenesis in this area and quartz and feldspar are generally affected then a great many crack forms, meanwhile a lot of pores appear. The third stage is the late deep burial diagenesis, whose performances are that the quartz clastic particle dissolves and early crack forms then the recrystallization happens, making the dissolution pore and fracture heal, and multiple growing increased edges form as well as a lot of siliceous cement. The fourth stage is the formation of late tectonic stress fracture, late carbonate and gypsum mineral salts. Two phases of gas inclusions are identified. The first phase of gas inclusions was formed in the late stage of early diagenesis. This period of inclusion has a higher gas/liquid, which is generally about 20 percent, and fluoresce inclusions are seen. The formation temperatures of inclusions are between 130°C and 140°C and the salinity is between 1.0 wt% and 2.0 wt%. The second phase of the natural gas inclusions forming in late diagenetic later period are distributed in late fractures and the late sparry calcite and quartz cement. The organic inclusions in later sparry calcite and quartz cement are more, and the planar distribution, distributed in calcite or plagioclase cleavage plane, which are mainly gaseous hydrocarbon inclusions. This inclusion's gas/liquid ratio is small, generally less than 10% while most of them are the organic gaseous and brine forming the gas and liquid these two phase inclusion with the parcel body wall is thin and the color is shallow. Inclusion's formation temperature is between 160°C and 170°C and its salinities are between 3.0 wt% and 4.0 wt%. Studies suggest that the first stage represents the early gas's primary migration and reservoir injection events, while the second stage represents the natural gas's massive secondary migration and gas accumulation event.

Key words: Ordos basin; inclusion; Upper Paleozoic; hydrocarbon accumulation time