

鄂尔多斯盆地东部上古生界现今地层压力分布特征及成因

王晓梅^{1,2}, 赵靖舟², 刘新社³, 赵小会³, 曹青²

(1. 西北大学 大陆动力学国家重点实验室, 陕西 西安 710069; 2. 西安石油大学 地球科学与工程学院, 陕西 西安 710065;

3. 中国石油 长庆油田分公司, 陕西 西安 710021)

摘要:现今地层压力分布是地史过程中盆地构造演化、沉积环境、烃源岩有机质热演化等多种地质因素在孔隙流体中综合作用的最终结果。抽水实验和试井获得的地层压力资料显示,鄂尔多斯盆地白垩系、三叠系均具有低压特征。盆地东部上古生界正常压力、异常低压和异常高压并存,正常压力类型比例达56.76%,异常低压类型比例为30.63%,高压最少;下石盒子组、山西组、太原组和本溪组随地层深度增加,压力系数总体呈现降低趋势。以子洲气田为例,采用压力梯度曲线法,将山2段划分为多个压力系统,单个压力系统之间互相分隔、互不连通。流体包裹体实验表明,早白垩世末期地层压力为超压,地层压力系数为1.14~1.66。现今盆地东部正常压力是盆地压力演化过程中的最后一幕。地层抬升剥蚀和构造热事件消退引起地层温度下降,从而导致压力下降了8.6~11.1 MPa,占整个压力降幅的32%~40%;天然气散失引起压力降低占整个压力降幅的20%~30%。盆地东部压力系数较高的主要原因是,东部现今地层埋藏深度浅;而沟壑纵横的地形和天然气富集程度的差异,导致了气田内压力系数各异。

关键词:压力系数;压力系统;地层压力;上古生界;鄂尔多斯盆地

中图分类号:TE122.2

文献标识码:A

Distribution characteristics and genesis of present formation pressure of the Upper Paleozoic in the eastern Ordos Basin

Wang Xiaomei^{1,2}, Zhao Jingzhou², Liu Xinshe³, Zhao Xiaohui³, Cao Qing²

(1. State Key Laboratory of Continental Dynamics, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710069, China;

2. School of Earth Sciences and Engineering, Xi'an Shiyou University, Xi'an, Shaanxi 710065, China;

3. PetroChina Changqing Oilfield Company, Xi'an, Shaanxi 710021, China)

Abstract: Distribution of present formation pressure is the final result of joint action of many factors on pore fluid, such as basin tectonic evolution, sedimentary environment and thermal evolution of organic matter in source rock in geologic history. Analysis of pressure data obtained from pumping tests and well tests shows that both the Cretaceous and Triassic in the Ordos basin feature in lower pressure. In contrast, the Upper Paleozoic in the eastern Ordos Basin shows normal pressure, abnormal low pressure and abnormal high pressure in different places and intervals. The normal pressure type is dominated, accounting for 56.76%, followed by the abnormal low pressure type which accounts for 30.63%, while the abnormal high pressure type is the most rare. The pressure coefficients of the Lower Shihezi Formation, Shanxi Formation, Taiyuan Formation and Benxi Formation in the eastern Ordos Basin drop with increasing burial depth. Taken the Zizhou gas field as an example, several separated pressure systems are identified in the 2nd member of Shanxi Formation base on the pressure gradient method. These pressure systems are separated and disconnected. According to fluid inclusion analysis, the formation was over pressured with pressure coefficients ranging from 1.14 to 1.66 at the end of Early Cretaceous. Current normal pressure in the eastern Ordos Basin is the result of the last stage of pressure evolution. The formation temperature decreases due to basement uplift and subsequent erosion as well as regression of the tectonic-thermal event, leading to formation pressure reduction by 8.6–11.1 MPa, which accounts for 32%~40% of the total pressure drop. Pressure drop caused by gas dissipation accounts for 20%~30% of the total pressure drop. The higher pressure coefficients in the study area are mainly resulted from its shallower burial depth. The high-relief landform and difference of gas enrichment cause different pressure coefficients among different gas fields in the study area.

Key words: pressure coefficient, pressure system, formation pressure, Upper Paleozoic, Ordos Basin

收稿日期:2013-03-29;修订日期:2013-08-12。

第一作者简介:王晓梅(1975—),女,博士研究生,讲师,石油与天然气地质。E-mail: wangxiaomei@xsyu.edu.cn。

基金项目:国家科技重大专项(2011ZX05007-004)。

地层压力作为一种能量(动力)贯穿天然气成藏的全过程,与盆地内油气藏的形成和分布关系密切,是人们长期关注的热点之一^[1-4]。研究普遍认为,鄂尔多斯盆地上古生界以异常低压和常压为主,高压少见^[5-7]。气藏负压主要与盆地抬升降温、后期埋深的增加、天然气散失和气水密度差等因素有关^[6,8-12]。

长期以来,对盆地上古生界压力成因存在诸多争议:①如果盆地抬升降温起主要作用,由于盆地东部剥蚀厚度大导致压力降幅大,则东部现今压力系数应该低于西部,与现今地层压力系数东高西低存在矛盾;②同是盆地东部,压力类型却多样,正常压力、异常低压和异常高压并存。本文在原始压力资料甄别的基础上,分析了现今压力的分布特征,综合多种地质因素探讨了盆地东部现今压力的成因。

1 压力资料识别

常规试井中,新井试气结束后的压力恢复测试常采用 Horner 法。对于低渗透地层,压力测试资料的准确性主要依据原始地层压力的恢复程度。一般情况下,只要能保证足够的压力恢复时间,就可以获得反映原始地层压力的准确资料。根据鄂尔多斯盆地东部上古生界的试井报告、地层测试成果报告和试气地质总结报告等资料,对原始资料本身的精度进行评价,排除了不可靠的 13 个压力测试数据(图 1)。

2 盆地东部上古生界压力分布特征

本次研究参照 A. A. 奥尔洛夫^[13]和中国海洋石油勘探开发研究中心提出的地层压力分类方案,将地层

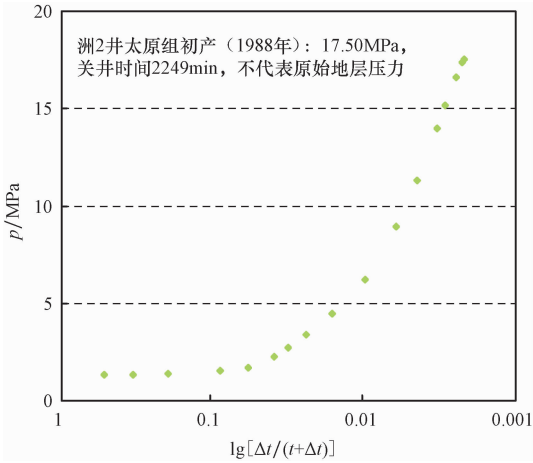


图1 洲2井太原组初产的 Horner 曲线
Fig. 1 Horner curve indicating the initial production of the Taiyuan Fm. in Zhou 2 well
p. 地层压力,MPa;t. 油井以恒定产量开井生产时间,min;
Δt. 下入压力计后关井测压时间,min

表1 鄂尔多斯盆地东部三叠系延长组油田
地层压力系数(数据来源于文献[14])

Table 1 Pressure coefficients for the Triassic Yanchang Fm. in the eastern Ordos Basin(data from reference[14])		
油田	原始地层压力/(MPa)	压力系数
延长	1.01 ~ 2.32	0.82
甘谷驿	2.23 ~ 3.47	0.86
青化砭	1.32 ~ 2.53	0.89
永坪	0.50 ~ 2.00	0.86
直罗	7.15	0.90

压力划分为三种类型:压力系数低于 0.96 为异常低压,位于 0.96 ~ 1.06 为正常压力,大于 1.06 为异常高压。

2.1 鄂尔多斯盆地白垩系、三叠系地层压力分布特征

鄂尔多斯盆地地貌沟壑纵横,一般海拔为 800 ~ 1 400 m,具有“负压”盆地之称。盆地白垩系、三叠系地层均显示低压特征,且从白垩系到三叠系随着深度的增加压力系数增加。由于盆地东部白垩系均被剥蚀,本次研究中收集到盆地西部白垩系地层水的资料。根据抽水实验白垩系洛河组地层水头埋深 1 46.40 ~ 296.25 m,其中 B13 井洛河组压力系数为 0.58 ~ 0.76。

鄂尔多斯盆地东部延长组油田分布广泛,其主要目的层为三叠系延长组长 2 段和长 6 段。三叠系延长组压力系数一般 0.8 ~ 0.9,0.90 以上较少(表 1)。盆地东部上古生界压力系数为 0.85 ~ 1.20,平均为 0.99。Barker 认为,对于开放的流体系统,随埋深增加地层压力仍然为静水压力^[11]。鄂尔多斯盆地东部白垩系、三叠系、石炭系-二叠系随深度的增加,压力系数总体显示增大的趋势,而且不同层段压力系数差异明显,说明其分属不同的封闭流体动力体系^[15]。

2.2 盆地东部现今上古生界地层压力分布特征

鄂尔多斯盆地东部上古生界经过详细筛选获得相对可靠的 85 口井 111 个压力数据。研究区上古生界存在异常低压、常压和异常高压 3 种压力类型,分别占到 30.63%、56.76%和 12.61%(表 2)。

统计结果表明,鄂尔多斯盆地东部上古生界多种压力类型并存,但以常压类型占优势。在盆地东部,下石盒子组、山西组、太原组和本溪组随海拔降低,压力系数呈现降低趋势(图 2)。在整个盆地内,盒 8 段随深度增加,压力系数也显示降低的趋势^[8]。

2.3 子洲气田压力系统

压力系统是指在油气藏的纵、横向上流体能连续流动,压力能相互传递的渗流体系的范围^[16]。子洲气田上古生界储层致密、纵横向非均质性强,储层在平面上的连通性差,造成现今气田多个压力系统并存。

表 2 鄂尔多斯盆地东部上古生界地层压力
Table 2 Formation pressure of the Upper Paleozoic
in the eastern Ordos Basin

层位	统计数	频率/%		
		压力系数 <0.96	0.96≤ 压力系数	压力系数 >1.06
盒 5	2	50 %		50 %
盒 6	3	33.3 %	33.3 %	33.3 %
盒 7	2	50 %		50 %
盒 8	20	35 %	40 %	25 %
山 1	8	50 %	50 %	
山 2	50	36 %	64 %	
太原组	23	9 %	74 %	17 %
本溪组	3		33 %	67 %
上古生界合计	111	30.63 %	56.76 %	12.61 %
解释结果		异常低压	常压	异常高压

为 1.6 MPa/km。根据压力梯度曲线法,子洲气田山 2 段可初步划分为多个压力系统(图 3)。气田内单个压力系统分布面积小,压力系统之间互相分隔、互不连通。

3 现今地层压力成因

沉积盆地中古压力研究是当前难点,目前用于恢复地层古压力的方法主要有压实曲线法、流体包裹体法和数值模拟方法等 3 种。压实曲线法主要适用于由压实不平衡形成的超压,流体包裹体法适用于恢复储层中油气充注时的古压力。根据盆地流体包裹体分析测试结果^[9,17-18],盆地东部早白垩世末期上古生界地层压力系数为 1.14 ~ 1.66,古地层压力约为 47 ~ 56 MPa,现今地层压力分布主要有以下 3 方面的原因。

3.1 地层温度下降引起压力降低

鄂尔多斯盆地自中生代以来经历了 4 期不均匀抬升和地层剥蚀事件^[19],其他 3 个时期的剥蚀强度相对较弱,白垩纪末期的地层剥蚀事件最为强烈,该期地层抬升剥蚀致使地层温度大幅降低。

根据子洲气田 5 口井山 2 段的实测地层温度资料,现今地温梯度平均值为 28.4 °C/km。盆地东部山 2 段中部现今埋深约 2 274.50 ~ 3 049.00 m,平均为 2 702.75 m;相应的地层温度范围为 74.6 ~ 96.6 °C,平均为 86.8 °C。

鄂尔多斯盆地中生代晚期存在一期构造热事件,古地温梯度高达 33 ~ 45 °C/km^[20-21]。根据盆地流体包裹体分析测试结果^[22-24],盆地东部最大埋深时期山 2 段地层均一温度为 130 ~ 170 °C。从早白垩世末至今,研究区山 2 段地层温度约降低 55 ~ 73 °C。

依据盆地东部山 2 段 27 个天然气样品的平均气体成分,计算得出拟临界温度 T_{pc} 为 194.27 K,临界压力 p_{pc} 为 4.64 MPa,山 2 段其他高压物性参数见表 3。假设不存在气体的充注和散失,且忽略天然气体积变化,根据真实气体的状态方程,计算得出研究区温度降低引起的压力下降幅度 Δp 为 8.6 ~ 11.1 MPa,占整个压力降幅的 32% ~ 40%,温度降低是引起的气体压力降低的重要原因。

$$\Delta p = p_{\text{古}} \left(1 - \frac{Z_{\text{今}} T_{\text{今}}}{Z_{\text{古}} T_{\text{古}}} \right)$$

(1)

式中: Δp 为温度下降导致的压力降低值,MPa; $p_{\text{古}}$ 为早白垩世末期的地层压力,MPa; $Z_{\text{今}}$ 、 $Z_{\text{古}}$ 为现今、早白垩世末期的气体偏差系数; $T_{\text{今}}$ 、 $T_{\text{古}}$ 为现今、早白垩世末期的地层温度,K。

3.2 天然气散失引起压力降低

气藏形成是天然气聚集与逸散的一个动态平衡过

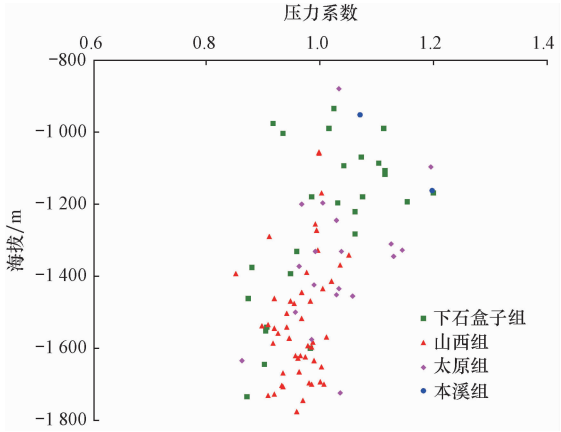


图 2 鄂尔多斯盆地东部上古生界压力系数与海拔关系
Fig. 2 Pressure coefficient vs. sampling altitude of the Upper Paleozoic in the eastern Ordos Basin

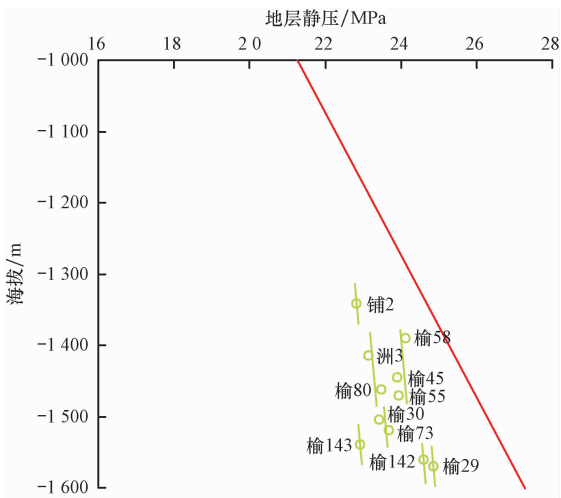


图 3 子洲气田压力系统划分示意图

Fig. 3 Schematic diagram showing the partition of the pressure systems in Zizhou gas field

根据子洲气田井筒静压力资料,计算出气层压力梯度

表3 鄂尔多斯盆地东部山2段高压物性参数

Table 3 PVT data of the 2nd member of the Shanxi Fm. in the eastern Ordos Basin

时期	地层温度/℃	地层压力/MPa	拟对比温度	拟对比压力	压缩因子
现今	74.6~96.6	20~28	1.79~1.90	4.31~6.03	0.89~0.96
早白垩世末期	130~170	47~56	2.07~2.28	10.13~12.07	0.94~1.00

注:拟对比温度为地层温度与拟临界温度的比值,无量纲;拟对比压力为地层压力与拟临界压力的比值,无量纲。

程。地层抬升剥蚀抑制了生烃过程,导致天然气生成速率低于散失速率,地层压力释放速率大于增长速率。

鄂尔多斯盆地米脂气田南侧断裂带裂隙中充填有富含天然气包裹体的方解石脉,而含天然气包裹体的方解石脉热释光年龄为新生代,而且天然气包裹体气体与米脂气田同属于煤成天然气^[25]。鄂尔多斯盆地在后期改造过程中,盆地中北部气田中成熟度较高的上古生界天然气向北运移并散失,使红色砂岩在还原性流体作用下将铁还原转移或以黄铁矿的形式沉淀,从而形成了盆地东北部延安组砂岩的漂白现象^[26]。富含天然气包裹体的方解石脉和砂岩漂白均是天然气逸散的良好证据。

盆地东部上古生界砂岩包裹体形成时期恢复的古流体压力,可看作成藏时期的储层古压力,由此可计算出储层总的剩余压力。另外,根据研究区单井压实曲线通过平衡深度法可以计算欠压实作用产生的剩余压力。由于储层剩余压力主要是欠压实和生烃增压共同作用的结果,因此生烃增压作用产生的剩余压力即为储层总的剩余压力和欠压实作用产生的剩余压力之差(表4)。由于地层抬升剥蚀抑制了生烃过程,因此扩散导致的压力降低即把生烃增加的压力释放,因而盆地东部气田山2段扩散压力降幅最高会达5.3~8.2 MPa,占整个压力降幅的20%~30%,天然气聚散平衡的改变是压力下降的重要原因。

3.3 埋深和天然气富集程度导致压力系数差异性分布

地层压力出现负压、正常压力还是异常高压受多种条件影响,主要取决于储层与周围的连通情况^[11]。Barker认为隔离的刚性体,其压力系数随埋藏过程而降低。在研究区盆地东部,上古生界压力系数与埋藏深度呈现良好的负相关性(图4)。盆地东部地形起伏大,子洲气田、榆林气田山2段地层压力系数和补心海拔也呈现良好的负相关性(图5),同样显示了地形(实际上也是埋深)的差异性对压力系数的影响。以子洲气田山2段为例,10口井平均地层压力为23.54 MPa,平均埋深2 500 m,压力系数为0.96。若地层埋深增加100 m,计算压力系数为0.92,降低了0.04。

对于整个鄂尔多斯盆地而言,上古生界现今地层压力系数东部高、西部低,与现今地层埋深密切相

表4 鄂尔多斯盆地东部上古生界储层最大埋深时期剩余压力

Table 4 Residual pressure distribution of the Upper Paleozoic reservoirs during the maximum burial depth period in the eastern Ordos Basin

气田	盒8段剩余压力/MPa(井数)		山2段剩余压力/MPa(井数)	
	欠压实作用	生烃增压作用	欠压实作用	生烃增压作用
榆林	8.80(7)	5.96(1)	6.99(7)	8.17(10)
子洲	10.49(4)	3.49(3)	9.38(4)	7.01(3)
米脂	11.23(3)	3.57(2)	10.63(3)	5.33(1)

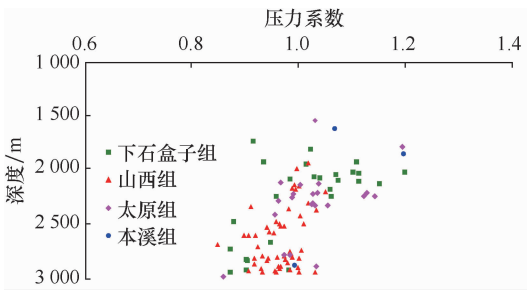


图4 鄂尔多斯盆地东部上古生界压力系数与埋深关系

Fig.4 Pressure coefficient vs. sampling depth of the Upper Paleozoic in the eastern Ordos Basin

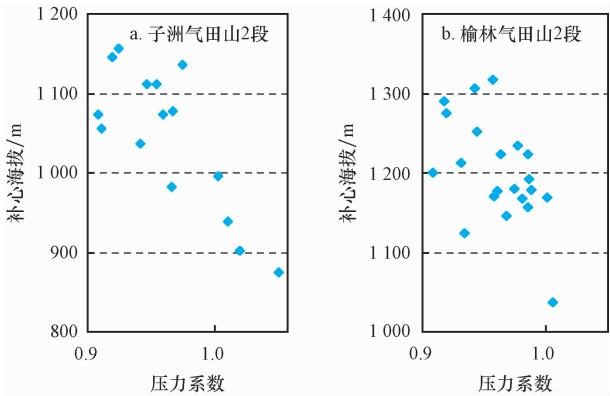


图5 鄂尔多斯盆地东部地层压力系数和补心海拔关系

Fig.5 Pressure coefficient vs. bushing elevation in the eastern Ordos Basin

关。早二叠世晚期,受海西构造活动影响,南、北差异升降显著,南、北相带分异增强^[27]。沉积格局东、西差异消失,下石盒子组现今地层厚度东西向差异小于10~20 m,表明下石盒子组沉积时期东、西埋深差别不大。现今盆地西部盒8段地层埋藏深度比东部深1 100~1 200 m,主要缘于早白垩世末期盆地西部抬升剥蚀量比东部小800~1 000 m^[28]以及上覆地层沉积厚度约200~300 m的差异。尽管鄂尔多斯盆地西部

表 5 鄂尔多斯盆地不同地区盒 8 段高压物性参数对比

地区	早白垩世末期 剥蚀厚度/m	现今压力系数 (最小~最大/平均)	现今埋深/ m	古压力/ MPa	现今压力/ MPa	压力下降幅度/ MPa
盆地东部	1 300 ~ 1 800	0.88 ~ 1.15/1.04	1 947 ~ 2 489	47 ~ 56	19 ~ 24	28 ~ 32
盆地西部	500 ~ 800	0.85 ~ 0.96/0.89	3 156 ~ 3 632	47 ~ 56	27 ~ 33	20 ~ 23

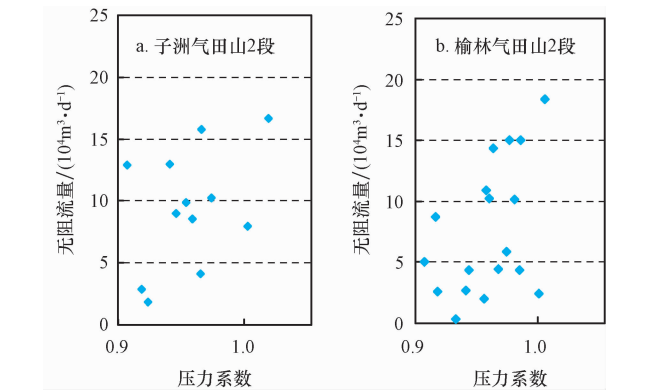


图 6 鄂尔多斯盆地不同气田现今地层压力系数和无阻流量关系
Fig. 6 Present pressure coefficient vs. open-flow capacity in different gas fields of the eastern Ordos Basin

地区压力比东部高约 8 ~ 9 MPa, 由于现今地层埋藏深度东部浅, 导致压力系数东部比西部高(表 5)。

天然气作为一种流体, 同时也是地层能量的补给来源, 一般来说天然气越富集地层压力系数越高。实际资料证明, 子洲气田和榆林气田主要储层山 2 段现今地层压力系数和无阻流量之间存在的良好的正相关性(图 6)。总体上, 埋深和天然气富集程度的差异都会引起气田内压力系数的不同。

4 结论

- 1) 鄂尔多斯盆地东部上古生界现今地层压力存在异常低压、正常压力和异常高压 3 种类型, 以常压压力类型占优势。盆地内白垩系、三叠系均显示负压特征, 上古生界地层压力系数随深度的增加而降低。子洲气田山 2 段多个压力系统并存, 压力系统之间互相分割、互不连通。
- 2) 盆地东部从早白垩世末到现在温度大约降低 55 ~ 73 ℃, 温度降低引起的压力下降占整个压力降幅的 32% ~ 40%, 是压力降低的重要原因; 天然气散失引起压力降低占整个压力降幅的 20% ~ 30%。尽管盆地东部压力下降幅度大, 由于现今地层埋藏深度浅, 压力系数比盆地西部高。气田内地形和天然气富集程度的差异也会导致气田内地层压力系数各异。

参 考 文 献

[1] Mark W, Stephen O, Bitrus P, et al. Overpressures in the Taranaki Basin: distribution, causes, and implications for exploration [J]. AAPG Bulletin, 2011, 95(3): 339 ~ 370.

[2] Cumella S P, Shanley K W, Camp W K. Introduction, understanding, exploring, and developing tight-gas sands—2005 Vail Hedberg Conference [C]. AAPG Hedberg Series, 2008: 1 ~ 4.

[3] 李小明, 赵彦超. 东濮凹陷柳屯洼陷盐湖盆地超压成因 [J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(5): 686 ~ 694.

Li Xiaoqiang, Zhao Yanchao. Overpressure genesis in the Liutun salt-lake sag, Dongpu Depression, Bohai Bay Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(5): 686 ~ 694.

[4] 张凤奇, 王震亮, 范昌育, 等. 库车坳陷构造挤压对流体动力的影响 [J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(2): 208 ~ 216.

Zhang Fengqi, Wang Zhenliang, Fan Changyu, et al. Effects of tectonic compression on hydrodynamic force in Kuqa Depression [J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(2): 208 ~ 216.

[5] 李仲东, 过敏, 李良, 等. 鄂尔多斯盆地北部塔巴庙地区上古生界低压力异常及其与产气性的关系 [J]. 矿物岩石, 2006, 26(4): 48 ~ 53.

Li Zhongdong, Guo Ming, Li Liang, et al. The distribution relation of formation pressure and accumulations of natural gas at Tabamiao region in north Ordos basin [J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 2006, 26(4): 48 ~ 53.

[6] 袁际华, 柳广弟. 鄂尔多斯盆地上古生界异常低压分布特征及形成过程 [J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(6): 792 ~ 799.

Yuan Jihua, Liu Guangdi. Distribution characteristics and formation process of Upper Paleozoic abnormally low pressure zones in Ordos basin [J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(6): 792 ~ 799.

[7] 李熙哲, 冉启贵, 杨玉凤. 鄂尔多斯盆地上古生界盒 8 段—山西组深盆气压力特征 [J]. 天然气工业, 2003, 23(1): 126 ~ 127.

Li Xizhe, Ran Qigui, Yang Yufeng. The formation pressure characteristics of deep basin of the Upper Paleozoic from He8 section to Shanxi Formation in Ordos Basin [J]. Natural Gas Industry, 2003, 23(1): 126 ~ 127.

[8] 冯乔, 耿安松, 徐小蓉, 等. 2007. 鄂尔多斯盆地上古生界低气压藏成因 [J]. 石油学报, 28(1): 33 ~ 37.

Feng Qiao, Geng Ansong, Xu Xiaorong, et al. Genesis of low-pressure gas reservoir of the Upper Paleozoic in Ordos Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28(1): 33 ~ 37.

[9] 王震亮, 陈荷立. 神木—榆林地区上古生界流体压力分布演化及对天然气成藏的影响 [J]. 中国科学 (D 辑), 2007, 37(增刊 I): 49 ~ 61.

Wang Zhenliang, Chen Heli. The distribution and evolution of fluid pressure and its influence on natural gas accumulation in the Upper Paleozoic of Shenmu-Yulin area, Ordos Basin [J]. Science in China (Series D), 2007, 37(S I): 49 ~ 61.

[10] 许浩, 张君峰, 汤达祯, 等. 鄂尔多斯盆地苏里格气田低压形成的控制因素 [J]. 石油勘探与开发, 2012, 39(1): 64 ~ 68.

Xu Hao, Zhang Junfeng, Tang Dazhen, et al. Controlling factors of underpressure reservoirs in the Sulige gas field, Ordos Basin [J]. Petro-

leum Exploration and Development,2012,39(1):64-68.

[11] 华保钦,林锡祥,杨小梅.鄂尔多斯盆地地下古生界负压气藏及运移[J].沉积学报,1994,11(2):105-112.

Hua Baoqin,Lin Xixiang,Yang Xiaomei. The underpressure gas reservoir and gas migration of Ordovician in the Ordos Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica,1994,11(2):105-112.

[12] 王飞雁,魏新善,王怀厂.鄂尔多斯盆地上古生界古压力分布特征及其压力降低原因浅析[J].低渗透油气田,2004,9(1):10-14.

Wang Feiyan,Wei Xinshan,Wang Huaichang,et al. Simple analyses the cause of the distributing and falling characteristic of ancient pressure in upper Paleozoic reservoir of the Ordos basin[J]. Low Permeability Oil & Gas Fields,2004,9(1):10-14.

[13] 李熙哲,冉启贵,杨玉凤.鄂尔多斯盆地深盆气气水分布特征与压力特征[C]//鄂尔多斯盆地深盆气研究.北京:石油工业出版社,2001.

Li Xizhe,Ran Qigui,Yang Yufeng. The characteristics of gas-water distribution and formation pressure of deep basin gas in the Ordos basin[C]//The study of deep basin gas in the Ordos basin. Beijing:Petroleum Industry Press,2001.

[14] 王晓梅,王震亮.鄂尔多斯盆地中生界地下水动力系统[J].石油与天然气地质,2008,29(4):479-484.

Wang Xiaomei,Wang Zhenliang. Groundwater dynamic systems of Mesozoic Group in the middle of Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology,2008,29(4):479-484.

[15] 杨俊杰,李克勤,张东生,等.中国石油地质志,12卷,长庆油田[M].北京:石油工业出版社,1992.

Yang Junjie,Li Keqin,Zhang Dongsheng,et al. Petroleum geology of China(Vol 12) changqing oil field[M]. Beijing:Petroleum Industry Press,1992.

[16] 唐泽尧.气田开发地质(一)[M].北京:石油工业出版社,1997:108-126.

Tang Zeyao. Oilfield development geology(I) [M]. Beijing:Petroleum Industry Press,1997:108-126.

[17] 单秀琴,李剑,胡国艺,等.利用流体包裹体分析和计算油气的充注史和古流体势—以鄂尔多斯盆地榆林地区上古生界为例[J].石油与天然气地质,2007,28(2):159-165.

Shan Xiuqin,Li Jian,Hu Guoyi,et al. Analysis and calculation of hydrocarbon accumulation history and paleocurrent potential by studying fluid inclusions—an example from the Upper Paleozoic in Yulin, Ordos basin[J]. Oil & Gas Geology,2007,28(2):159-165.

[18] 刘建章,陈红汉,李剑,等.鄂尔多斯盆地伊-陕斜坡山西组2段包裹体古流体压力分布及演化[J].石油学报,2008,29(2):226-230.

Liu Jianzhang,Chen Honghan,Li Jian,et al. Using fluid inclusion thermodynamic modeling to study paleo-fluid potential and natural gas migration and accumulation of the No. 2 member of Shanxi formation of the Upper Paleozoic in Yi-Shaan Slope, Ordos Basin[J]. Acta Petrolei Sinica,2008,29(2):226-230.

[19] 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. The tectonic evolution and oil-gas distribution in Ordos basin [M]. Beijing:Petroleum Industry Press,2002.

[20] 任战利,张盛,高胜利,等.鄂尔多斯盆地热演化程度异常分布区及形成时期探讨[J].地质学报,2006,80(5):674-684.

Ren Zhanli,Zhang Sheng,Gao Shengli,et al. Research on region of maturation anomaly and formation time in Ordos basin[J]. Acta Geologica Sinica,2006,80(5):674-684.

[21] 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.

[22] 付金华.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,2004.

Fu Jinhua. The gas reservoir-forming conditions and accumulation rules of Upper Paleozoic in Ordos Basin[D]. Xi'an:Northwest University,2004.

[23] 刘新社,周立发,侯云东.运用流体包裹体研究鄂尔多斯盆地上古生界天然气成藏[J].石油学报,2007,28(6):37-41.

Liu Xinshe,Zhou Lifa,Hou Yundong. Study of gas charging in the Upper Paleozoic of Ordos Basin using fluid inclusion[J]. Acta Petrolei Sinica,2007,28(6):37-41.

[24] 李艳霞,赵靖舟,李净红.鄂尔多斯盆地东部上古生界气藏成藏史[J].兰州大学学报(自然科学版),2011,47(3):29-34.

Li Yanxia,Zhao Jingzhou,Li Jinghong. Gas accumulation history in Upper Palaeozoic, east of Erdos basin[J]. Journal of Lanzhou University(Natural Sciences),2011,47(3):29-34.

[25] 李荣西,邸领军,席胜利.鄂尔多斯盆地米脂气田天然气逸散:流体包裹体证据[J].中国科学(D辑),2007,37(增刊I):103-109.

Li Rongxi,Di Lingjun,Xi Shengli. Natural gas effusion of Mizhi gas field in Ordos basin: evidences of fluid inclusions[J]. Science in China(Series D),2007,37(SI):103-109.

[26] 马艳萍,刘池洋,赵俊峰,等.鄂尔多斯盆地东北部砂岩漂白现象与天然气逸散的关系[J].中国科学(D辑):地球科学,2007,37(增刊I):127-138.

Ma Yanping,Liu Chiyang,Zhao Junfeng,et al. Relationship between the bleached sandstone phenomenon and hydrocarbon leakage in northeastern Ordos Basin[J]. Science in China(Series D),2007,37(SI):127-138.

[27] 陈全红.鄂尔多斯盆地上古生界沉积体系及油气富集规律研究[D].西安:西北大学,2007.

Chen Quanhong. Research on sedimentary systems and hydrocarbons enrichment of the Upper Palaeozoic of the Ordos Basin[D]. Xi'an:Northwest University,2007.

[28] 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 Petrolei Sinica,2006,27(2):43-47.