

文章编号: 0253-9985(2005)06-0792-08

鄂尔多斯盆地上古生界异常低压 分布特征及形成过程

袁际华, 柳广弟

(中国石油大学油气成藏机理教育部重点实验室, 北京 102249)

摘要: 鄂尔多斯盆地上古生界多见异常低压、低压, 高压少见。平面上, 苏里格庙地区地层呈异常低压、低压, 米脂区地层呈高压和常压, 其他地区地层以常压和低压为主; 垂向上, 水层压力基本沿静水压力趋势线分布, 而气水层和气层压力均偏离静水压力趋势线, 气层压力偏离程度大于气水层, 且压力系数随深度的增加而减少。包裹体测试数据和盆地埋藏-剥蚀资料都表明, 鄂尔多斯盆地上古生界异常低压气藏的形成大体分两个阶段: 晚侏罗世一早白垩世末的充气增压阶段; 早白垩世末至今散失降温降压阶段。气藏压力的降低主要与盆地抬升降温、天然气散失和气水密度差等因素有关。

关键词: 异常低压; 上古生界; 鄂尔多斯盆地

中图分类号: TE112.1 **文献标识码:** A

Distribution characteristics and formation process of Upper Paleozoic abnormally low pressure zones in Ordos basin

Yuan Jihua, Liu Guangdi

(China University of Petroleum, Beijing)

Abstract In Ordos basin, abnormally low and low pressures are common, while high pressure is rare in Upper Paleozoic. Laterally, the Upper Paleozoic in Suligemiao area displays abnormally low and low pressures, while that in Muzhi area displays normal and high pressures, and the other areas mainly display normal pressure and low pressure. Vertically, pressure of aquifers basically distribute along the trend line of hydrostatic pressure, while that of gas-bearing aquifers and gas-bearing formations deviate from the trend line of hydrostatic pressure, the latter has larger extent of deviation than the former, and the pressure coefficient decreases with increasing depth. Both the test data of inclusions and the burial-denudation data of the basin indicate that the Upper Paleozoic gas pools with abnormally low pressure in Ordos basin would have been formed in two stages: gas charging and pressurizing from Late Jurassic to Early Cretaceous, and gas-dispersion, temperature lowering and depressurizing stage from the end of Early Cretaceous up to present time. The depressurization of gas pool would have mainly resulted from basin uplift, temperature lowering, gas dispersion and density contrast of gas and water.

Key words abnormally low pressure; Upper Paleozoic; Ordos basin

鄂尔多斯盆地上古生界构造平缓, 煤系烃源岩生气量大, 储层致密, 具备形成深盆气藏的地质条件^[1,2]。同时, 又具有区域性的气水倒置、盆地中部普遍含气及地层压力异常等特点, 所以, 上古生界含气区气藏具有“深盆气区”的基本特征^[3,4]。作为储层的上古生界山西组及石盒子组 8 段^[5]

(以下简称盒 8 段), 显示多种压力系统并存, 但以异常低压和低压为主, 尤以盒 8 段储层异常低压最为明显。

1 分布特征

根据研究地区和研究内容的不同, 不同学者对

基金项目: 国家重点基础研究发展规划 (973) 项目 (2001CB209103)

第一作者简介: 袁际华, 女, 26 岁, 博士生, 天然气地质

收稿日期: 2005-07-27

异常压力划分的标准明显不同, 考虑到鄂尔多斯盆地上古生界地层压力系数普遍较低的特点 (压力系数为 0.7~1.2), 本文采用李熙哲^[6]的压力划分方案, 即: 压力系数小于 0.9 为异常低压, 在 0.9~0.96 时为低压, 在 0.96~1.06 时为常压, 在 1.06~1.2 时为高压。根据上古生界 223 个实测地层压力数据统计结果, 该区异常低压和低压分别占 31% 和 34%, 常压占 29%, 高压占 6%。可见, 鄂尔多斯盆地上古生界以异常低压和低压为主, 高压少见。

1.1 垂向

上古生界地层压力的垂向分布特征与流体性质关系密切, 流体性质不同时, 储集层压力变化特征也不同 (图 1)。水层压力基本沿静水压力趋势线分布, 随深度增加而增加, 压力系数为 0.9~1.0 表现出常压特征。而气层压力在不同深度段特征不同, 2 800 m 以上, 实测压力大致沿静水压力趋势线分布, 压力系数为 0.8~1.1; 在 2 800 m 以下, 实测压力完全偏离静水压力趋势线, 且随深度增加偏离程度增大, 压力系数基本小于 1.0 且随深度增加而减小。这一特征与阿尔伯达盆地深盆气藏的压力梯度形态特征相似, 即在某一海拔处存在一个低于正常压力的气体剖面, 实测数据点的趋势线与区域静水压力线斜交^[7]。气水层压力特征介于水层和气层之间, 压力与静水压力趋势线有所偏离, 但偏离程度不如气层大, 压力系数为 0.8~1.0 不存在高压。上述情况说明含气性对地层压力特征有重要影响。

1.2 平面

盒 8 段地层压力在平面上变化较大, 压力系数为 0.75~1.19, 自西向东呈现“高一低—高一低—高”的格局 (图 2)。西部贺兰山东区分布低压和常压, 压力系数为 0.9~1, 由西向东压力系数降低; 苏里格庙区压力整体低, 大部分地区为异常低压, 但在整体异常低压的背景上自西南向东北呈现“低—高一低”的格局: 西南部的盟 6 井处压力系数小于 0.82, 中部的苏 16 处压力系数大于 0.88, 东北部的苏 15 井与乌审旗西部的陕 242 井、陕 231 井围成区域构成低值区, 压力系数低于 0.8。乌审旗区除西部的异常低压区和西南部的常压区外, 其他大部分地区为低压。靖边区表现为低压和异常低压, 其中在与乌审旗区交界的西北部压力系数最大, 达到常压。榆林区在中部的牛 1 井处为常压, 压力系数可达到 1.05, 而在南部的麒参 1 井处为异常低压, 压力系数小于 0.82, 整体上自西北向东南压力系数降低; 盆地东部米脂区存在低压、常压和高压, 压力系数为 0.86~1.20, 其中榆 4 井处压力系数最大, 以此井为中心在米脂区内呈放射状向四周降低。可以看出, 盒 8 段的压力分布具有典型的“周边为正常压力、深盆气区中部具负压、接近供气区局部又有正异常压力”的深盆气藏及其外围地区压力分布的特征。山西组 1 段和山西组 2 段的地层压力在整体上继承了盒 8 段压力的分布特征, 即在苏里格庙区为低压和异常低压, 压力系数最低, 而在乌审旗、靖

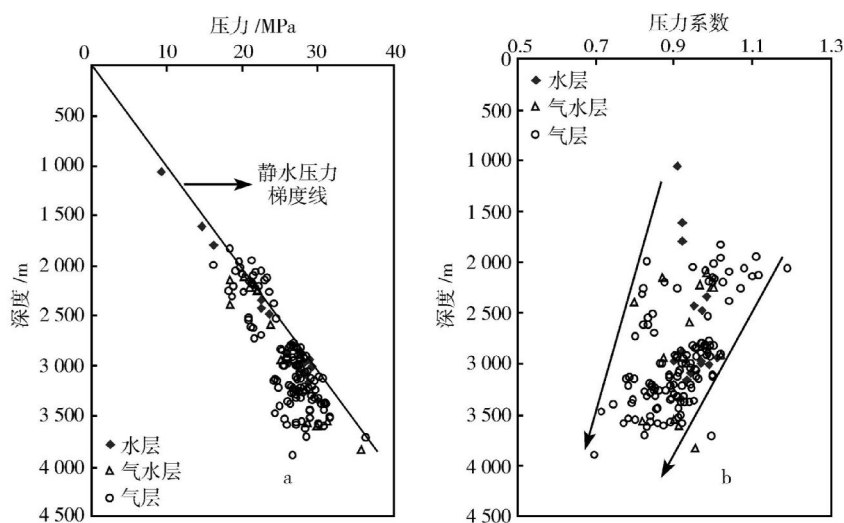


图 1 鄂尔多斯盆地上古生界压力、压力系数与深度关系图

Fig. 1 Upper Paleozoic pressure and pressure coefficient vs. depth in Ordos basin

a—含不同性质流体的地层压力—深度关系; b—含不同性质流体的地层压力系数—深度关系

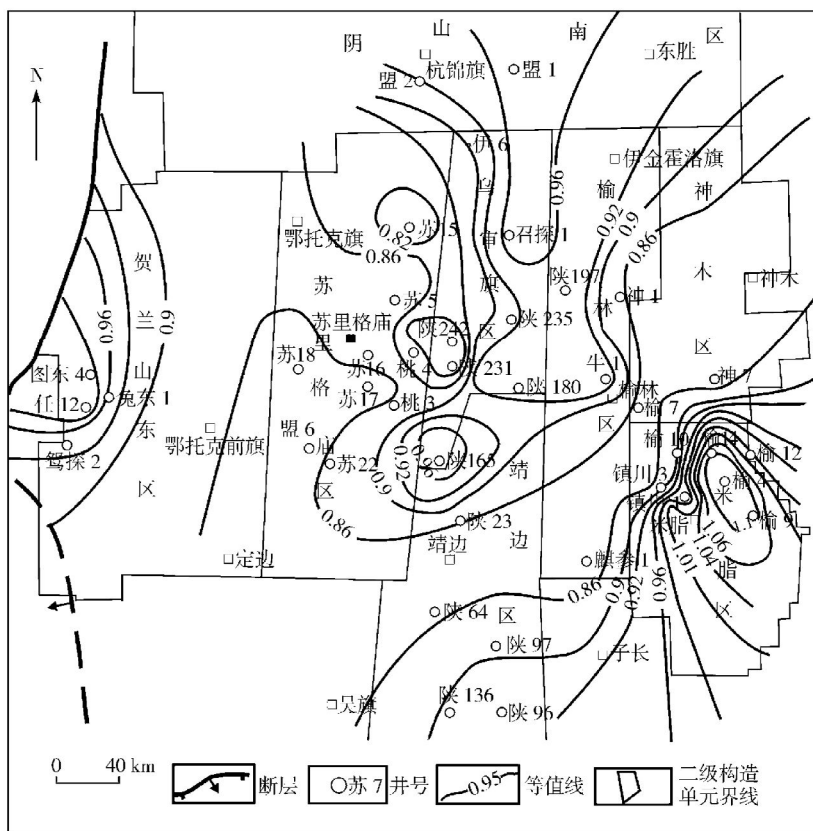


表 1 鄂尔多斯盆地上古生界包裹体测试古压力结果

Table 1 Palaeopressures tested from the Upper Paleozoic inclusions in Ordos Basin

井号	井深 /m	层位	流体密度 /($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	形成温度 / $^{\circ}\text{C}$	包裹体测试古压力 /MPa	压力系数
苏 6	3 328.5	盒 8	0.970	169	50.6	1.55
苏 18	3 573.5	盒 8	0.996	160	45.0	1.28
布 1	372.5	盒 7	0.967	162	53.7	1.45
鄂 6	3 480.0	山 1	0.938	168	41.1	1.20
芦参 1	3 551.0	山 2	0.955	171	52.5	1.51
李华 1	4 019.0	太 1	0.944	184	49.6	1.26
桃 6	3 365.0	盒 8	0.925	167	56.8	1.72
神 3	2 082.4	山 2	0.950	148	45.5	2.23
召 4	3 008.0	盒 8	1.100	170	55.6	1.88
盟 5	1 889.0	山 2	0.930	161	41.8	2.25

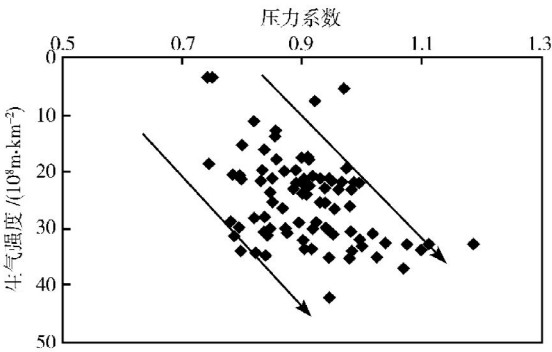


图 3 鄂尔多斯盆地上古生界
生气强度-压力系数关系

Fig. 3 Gas-generating intensity vs pressure
coefficient of Upper Paleozoic in Ordos basin

高的压力。盒 8 段的地层压力整体低压背景上的两个相对高值区——乌审旗与榆林区交界处的高值区及米脂区的相对高值区均位于生气中心的上倾方向(贺兰山东区为水区, 不予考虑)(图 4), 即天然气的有利充注区。天然气充注量大的地区压力高, 从另一个方面说明了晚侏罗世至早白垩世深盆气藏形成时, 由于天然气的充注增压, 形成了超压。

2.2 降压过程

受盆地构造演化的控制, 鄂尔多斯盆地上古生界深盆气的发育经历了两个阶段: 以早白垩世末盆地抬升期为界限, 侏罗世至早白垩世为典型的深盆气成藏发育阶段(充气增压阶段)。早白垩世末至现今, 为深盆气藏后期演化改造阶段, 盆地大范围抬升剥蚀, 气源岩埋深变浅, 受热温度明显降低, 生气速率明显降低。一方面, 从早白垩世末至今, 由于地层抬升和地温梯度降低的双重作用, 温度大幅度降低引起压力降低; 另一方面, 烃源岩生气停止, 补给量不足以弥补散失量引起压力降低。随着天然气散失, 气藏压力降低, 气藏规模减

小, 超压消失, 取而代之的是现今在气水密度差的影响下呈现出来的负压状态。

3 降压机制

3.1 构造抬升降温

鄂尔多斯盆地上古生界在地史时期长期保持持续加深, 仅在侏罗纪晚期和早白垩世末有抬升。侏罗纪晚期抬升微弱, 影响不大。早白垩世末地层抬升幅度较大, 以苏里格庙地区为例, 其剥蚀厚度约 400 m(图 5)。鄂尔多斯盆地晚古生代—中生代早期, 前期属滨浅海盆地, 后期转为内克拉通盆地, 地温梯度降低, 每百米为 2.2~2.4 $^{\circ}\text{C}$ (图 5)。中生代晚期, 鄂尔多斯盆地及周围地区发生强烈燕山中期运动, 地温梯度升至每百米 3.5~4.5 $^{\circ}\text{C}$ 。早白垩世末以来, 燕山构造热事件消失, 地温梯度降至每百米 2.85 $^{\circ}\text{C}$ 。从早白垩世末至今, 由于地层抬升和地温梯度降低的双重作用, 温度大幅度降低, 以苏里格庙地区为例, 温度大约降低 40 $^{\circ}\text{C}$ 。

降温会引起孔隙水体积的减小, 造成天然气的可容空间增大, 可容空间的增大及温度的降低均引起气藏压力的减小。为了研究抬升降温对压力的影响, 首先假设气藏自早白垩世末至今, 不存在气体的散失和注入, 在此基础上对温度降低引起的水体积减小量进行计算, 看其减小量是否对压力的降低有明显作用。再进一步研究温度降低引起的气藏压力的减小量。

根据热力学方程^[9]

$$V = V_0[1 + \alpha_f(T - T_0) - \beta_f \Delta p]$$
 (1)

由式(1)可知, 温度和压力变化引起的水体积变化为

$$\Delta V = V_0[\alpha_f(T - T_0) - \beta_f \Delta p]$$
 (2)

式中 V 为温度和压力变化后水体积, m^3 ; V_0 为温度和压力变化前水体积, m^3 ; α_f 为地层水的膨胀系

式中 p 为气体压力, Pa; n 为流体摩尔量, mol; a 和 b 为范德瓦斯常数, 假设气体全部为甲烷, 则 $a = 0.2283(\text{Pa} \cdot \text{m}^6 \cdot \text{mol}^{-1})$; $b = 42.78 \times 10^6(\text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1})$; $R = 8.314(\text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$ 引入流体摩尔浓度参数 ρ 为流体摩尔数

$$\rho = \frac{n}{V} \quad (4)$$

则公式 (3) 变为

$$p = \frac{\rho RT}{1 - \rho b} - \rho a \quad (5)$$

温度降低引起的气体的压力变化为

$$\Delta p = \frac{\rho R \Delta T}{1 - \rho b} \quad (6)$$

式中 ΔT 为温度变化值, K。

以苏里格庙地区为例, 根据实测天然气相对密度、平均分子量和体积系数经计算可知气藏天然气的摩尔数密度为 $(10\ 570 \text{ mol/m}^3)$ 。假设不存在气体的充注和散失, 且忽略温度降低引起的气体体积变化, 温度降低引起的气体压力降低约 6.5 MPa 。由此可见, 温度降低是使压力降低, 从高压转换为负压的重要原因。

3.2 天然气散失

当天然气散失量大于天然气的运移补给量时, 可以导致气藏压力降低, 两者差值越大, 对压力降低的贡献越大, 这被看作是气藏压力降低的最重要机理之一。鄂尔多斯盆地上古生界气藏自形成后至今, 天然气散失作用贯穿始终。上古生界气源岩大量生烃时, 地层已进入晚期成岩阶段, 致密地层内部难以发生天然气的大规模纵向运移, 但上、下石盒子组普遍含气, 说明后期发生了大规模扩散。石千峰组和刘家沟组出现的气测解释异常也证实了油气可以通过直接盖层和区域盖层向上扩散。石盒子组 5 段—7 段由下至上含气范围逐渐减小, 其原因就是上古生界煤系烃源岩主要分布于上石炭统和下二叠统山西组, 与盒 5 段—盒 8 段呈下生上储式组合, 愈远离烃源岩含气性愈差, 也说明了油气可以通过直接盖层发生扩散, 在上覆地层遇到合适储层就聚集成藏。张同伟^[10]等通过对鄂尔多斯盆地腹部城川 1 井 (0~4 500 m) 酸解烃、热解烃及部分层段抽提烃的系统研究, 结合剖面上有机质含量的变化及产油气层的分布, 认为上古生界油气可以通过孔隙扩散到浅层 (0~1 020 m)。刘文彬等^[11]。研究认为, 鄂

尔多斯盆地上古生界天然气泥质岩直接盖层的扩散系数为 $10^{-7} \sim 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}$ 为中等级别的盖层, 天然气可以发生扩散和渗透。压力系数与直接盖层的厚度成良好的正相关性 (图 6), 直接盖层厚度越大, 压力系数越大, 说明封盖条件好, 气体散失量少, 气藏内可保持较高的压力。盒 8 段的地层压力整体低压背景上的两个相对高值区——乌审旗与榆林区交界处的高值区及米脂区的相对高值区均位于生气中心的上倾方向, 说明持续的天然气补给可以弥补天然气散失, 从而保持地层压力或延缓、减慢地层压力的降低, 也说明天然气散失是鄂尔多斯盆地上古生界地层压力从高压转换为负压的重要原因。

3.3 气水密度差

鄂尔多斯盆地上古生界气藏属深盆气藏, 具备“水在上, 气在下”的气水倒置关系, 气藏内部任一点的地层压力等于气水界面之上的静水柱压力与该点至气水边界的气柱压力之和。由于气体的密度远小于水的密度, 因此上述气水两段压力之和小于该两段都为静水柱时的压力之和, 即

$$p_A = p_{wx} + h_{gx} \cdot \rho_g \cdot g \ll p_{wx} + h_{gx} \cdot \rho_w \cdot g = p_{wA} \quad (7)$$

因此鄂尔多斯盆地上古生界气藏多表现为负压异常。如果用压力系数表示, 即为

$$C_A = p_A / p_{wA} = (\rho_w \cdot h_{wx} \cdot g + \rho_g \cdot h_{gx} \cdot g) / (\rho_w \cdot g \cdot (h_{wx} + h_{gx})) \\ = (h_{wx} + \rho_g \cdot h_{gx} \cdot \rho_w) / (h_{wx} + h_{gx}) \quad (8)$$

式中 p_A 为气藏内部任一点的地层压力, Pa; p_{wA} 为气水界面之上的静水柱压力, Pa; h_{gx} 为气柱高度, m;

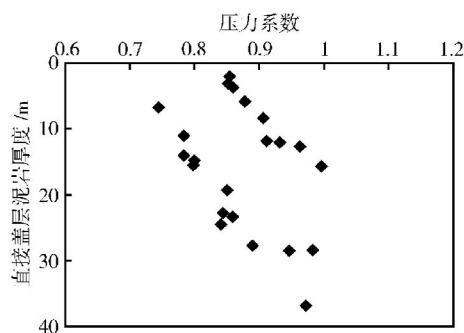


图 6 鄂尔多斯盆地上古生界直接盖层泥岩厚度-压力系数关系图

Fig. 6 Thickness vs pressure coefficient of Upper Paleozoic mudstone caprock immediately sealing the reservoir in Ordos basin

ρ_g 为气体的密度, kg/m^3 ; g 为重力加速度, m/s^2 ; ρ_w 为水的密度, kg/m^3 ; p_{wA} 为若气柱为水柱时相应的静水柱压力, Pa; C_A 为气藏内部任一点的地层压力系数; h_{wx} 为气水界面之上的静水柱高度, m。

可见, 在水柱高度和气水密度差一定时, 气柱高度越大, 压力系数越低, 异常越明显。压力系数与气柱高度呈现明显的负相关性 (图 7), 也说明了气柱高度和气水密度差对现今低压异常形成的重要影响。

为了研究气水密度差与气柱高度的影响作用, 对气水密度差引起的压力变化进行校正。若

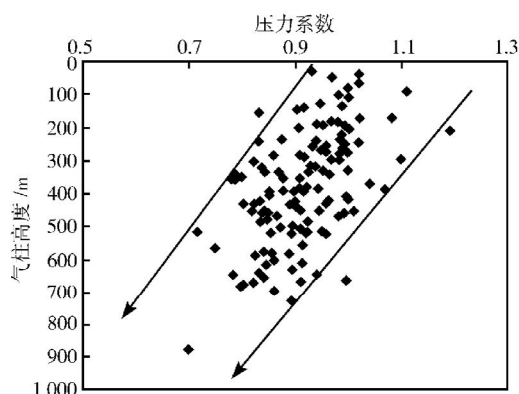


图 7 鄂尔多斯盆地上古生界气柱高度-压力系数关系

Fig. 7 Upper Paleozoic gas column height vs pressure coefficient in Ordos basin

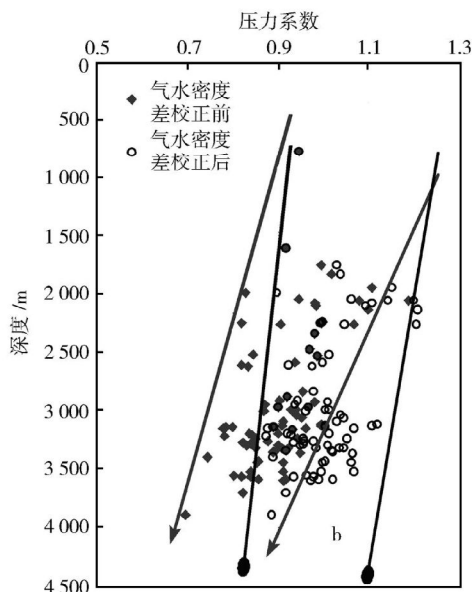
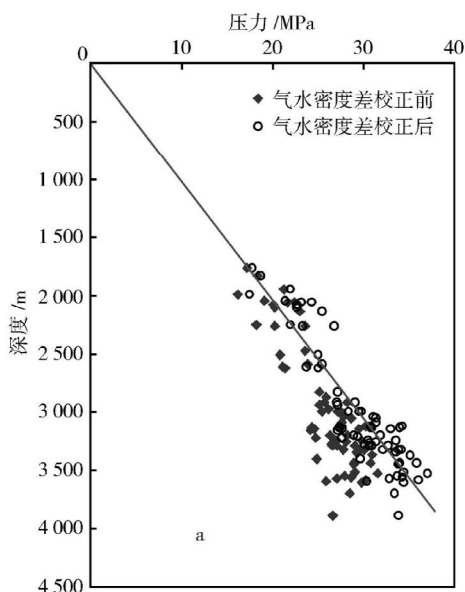


图 8 鄂尔多斯盆地上古生界地层压力、压力系数气水密度差校正前后对比图

Fig. 8 Comparison diagram of the Upper Paleozoic pre- and post-correction formation pressures, pressure coefficients and gas-water density contrasts in Ordos basin

a—盒 8 段地层压力气水密度差校正前后对比图; b—盒 8 段地层压力系数气水密度差校正前后对比图

把一个砂体看作一个气藏, 则进行气水密度差校正后的校正压力为

$$p_{\text{校正}} = p_{\text{实测}} + (\rho_w - \rho_{g_{\text{地下}}}) \cdot g \cdot h_{\text{gx}} \quad (9)$$

校正后的压力系数为

$$\begin{aligned} \alpha_{\text{校正}} &= [p_{\text{实测}} + (\rho_w - \rho_{g_{\text{地下}}}) \cdot g \cdot h_{\text{gx}}] / \rho_w \cdot g \cdot H \\ &= \alpha_{\text{原始}} + (\rho_w - \rho_{g_{\text{地下}}}) \cdot g \cdot h_{\text{gx}} / \rho_w \cdot g \cdot H \end{aligned} \quad (10)$$

式中 $p_{\text{校正}}$ 为气水密度差校正后的校正压力, Pa; $p_{\text{实测}}$ 为实测压力, Pa; ρ_w 为水的密度, kg/m^3 ; $\rho_{g_{\text{地下}}}$ 为气体在地下的密度, kg/m^3 ; h_{gx} 为气柱高度, m; $\alpha_{\text{校正}}$ 为校正后的压力系数; H 为测点深度, m; $\alpha_{\text{原始}}$ 为实测压力求得的压力系数。

根据上述原理, 对鄂尔多斯盆地盒 8 段地层压力分砂体进行气水密度差校正 (图 8)。在消除气水密度差的影响之前, 压力一般呈现负压, 低于静水压力, 在压力-深度关系图上, 各测点分布于静水压力趋势线的下方, 其趋势线比静水压力趋势线陡。消除气水密度差的影响之后, 各测点基本沿静水压力趋势线分布, 压力系数大部分在静水压力线两侧, 压力多为常压。

综上所述, 鄂尔多斯盆地上古生界现今的负压异常是由晚侏罗世至早白垩世末充气增压形成的超压经早白垩世末至今散失降温降压, 最后在气柱高度和气水密度差的影响下形成的。

参 考 文 献

- 1 李克明. 鄂尔多斯盆地北部晚古生代的深盆地气藏 [J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(2): 190~193
Li Ken ming Deep basin gas reservoirs of Late Paleozoic in northern Ordos basin [J]. Oil & Gas Geology, 2002, 23(2): 190~193
- 2 李良, 袁志祥, 惠宽洋, 等. 鄂尔多斯盆地北部上古生界天然气聚集规律 [J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(3): 268~272
Li Liang Yuan Zhixiang Hui Kuanyang et al Accumulation regularity of Upper Paleozoic gas in northern Ordos basin [J]. Oil & Gas Geology, 2000, 21(3): 268~272
- 3 闵琪, 杨华, 付金华. 鄂尔多斯盆地的深盆地气 [J]. 天然气工业, 2000, 20(6): 11~15
Min Qi Yang Hua Fu Jinhua Deep basin gas in Ordos basin [J]. Natural Gas Industry, 2000, 20(6): 11~15
- 4 Masters J A. Deep basin gas traps western Canada [J]. AAPG Bull, 1979, 63(2): 152~181
- 5 魏红红, 彭惠群, 李静群, 等. 鄂尔多斯盆地石炭—二叠系沉积特征与储集条件 [J]. 石油与天然气地质, 1998, 19(2): 136~141
Wei Honghong Peng Huiqun Li Jingqun et al Sedimentary and reservoir characters of Permian-Carboniferous in Ordos basin [J]. Oil & Gas Geology, 1998, 19(2): 136~141
- 6 李熙哲, 冉启贵, 杨玉凤. 鄂尔多斯盆地上古生界盒 8 段—山西组深盆地气压力特征 [J]. 天然气工业, 2003, 23(1): 126~127
Li Xizhe Ran Qigui Yang Yufeng Pressure feature of deep basin gas traps of He 8 section-Shanxi Group of Upper Paleozoic in Ordos basin [J]. Natural Gas Industry, 2003, 23(1): 126~127
- 7 袁政文, 许化政, 王百顺, 等. 阿尔伯达深盆地气研究 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1996
Yuan Zhengwen Xu Huazheng Wang Baishun et al The study of deep basin gas in Alberta basin [M]. Beijing Petroleum Industry Press, 1996
- 8 柳广弟, 李剑, 李景明, 等. 天然气成藏过程有效性的主控因素与评价方法 [J]. 天然气地球科学, 2005, 16(1): 1~6
Liu Guangdi Li Jian Li Jingming et al The controls and the assessment method for the effectiveness of natural gas migration and accumulation process [J]. Natural Gas Geoscience, 2005, 16(1): 1~6
- 9 张玉民. 热学 [M]. 北京: 科学出版社, 2000
Zhang Yumin Heat science [M]. Beijing Science Press, 2000
- 10 张同伟, 王先彬, 申岐祥, 等. 克拉通盆地内油气垂向微渗漏的烃类地球化学——以鄂尔多斯盆地城川 1 井为例 [J]. 地球化学, 1996, 25(1): 19~28
Zhang Tongwei Wang Xianbin Shen Qixiang et al Geochemistry of hydrocarbon for oil gas microleakage in inner of craton basin taking Chengchuan No. 1 well of Ordos basin as an example [J]. Geochimica, 1996, 25(1): 19~28
- 11 刘文彬, 罗大恒, 伏万军. 陕甘宁盆地上古生界天然气泥质岩直接盖层的扩散系数研究 [J]. 天然气地球科学, 1996, 7(1): 30~33
Liu Wenbin Luo Daheng Fu Wan jun The study of the diffusion coefficient of direct caprock mudstone for natural gas of Upper Paleozoic in Shan-Gan-Ning basin [J]. Natural Gas Geoscience, 1996, 7(1): 30~33

(编辑 高 岩)

(上接第 791 页)

- 18 Wilkinson M, Darby D R, Haszeldine S, et al. Secondary porosity generation during deep burial associated with overpressure leak-off Fulmar Formation, United Kingdom Central Graben [J]. AAPG Bull, 1997, 81(5): 803~813
- 19 汤良杰, 贾承造, 金之钧, 等. 塔里木盆地库车前陆褶皱带中段盐相关构造特征与油气聚集 [J]. 地质论评, 2003, 49(5): 501~506
Tang Liangjie Jia Chengzao Jin Zhijun et al Salt-related structural characteristics and hydrocarbon accumulation in the middle segment of the Kuqa foreland fold belt in the northern Tarim basin [J]. Geological Review, 2003, 49(5): 501~506
- 20 刘志宏, 卢华复, 贾承造, 等. 库车再生前陆盆地的构造与油气 [J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(4): 297~303
Liu Zhihong Lu Hufu Jia Chengzao et al Structures and hydrocarbon accumulation in Kuqa rejuvenated foreland basin [J]. Oil & Gas Geology, 2001, 22(4): 297~303
- 21 裴泽楠, 薛叔浩, 应凤祥. 中国陆相油气储集层 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1997. 210~217
Qiu Yinan Xue Shuhao Ying Fengxiang Continental reservoirs in China [M]. Beijing Petroleum Industry Press, 1997. 210~217
- 22 汤良杰, 贾承造, 皮学军, 等. 库车前陆褶皱带盐相关构造样式 [M]. 中国科学 (D 辑), 2003, 33(1): 38~46
Tang Liangjie Jia Chengzao Pi Xuejun et al Salt-related structural styles in the Kuqa foreland fold belt [M]. Science in China (Series D), 2003, 33(1): 38~46
- 23 胡剑风, 刘玉魁, 杨明慧, 等. 塔里木盆地库车坳陷盐构造特征及其与油气的关系 [J]. 地质科学, 2004, 39(4): 580~588
Hu Jianfeng Liu Yukei Yang Minghui et al Salt structure characteristics and its relation to hydrocarbon accumulation in the Kuqa depression, Tarim basin [J]. Chinese Journal of Geology, 2004, 39(4): 580~588

(编辑 高 岩)