

苏里格气田下二叠统盒8段异常低压成因及其分布特征

陈义才¹ 张胜² 魏新善³ 刘新社³ 赵惠涛³

1.成都理工大学 2.四川煤田地质局141队 3.中国石油长庆油田公司勘探开发研究院

陈义才等.苏里格气田下二叠统盒8段异常低压成因及其分布特征.天然气工业,2010,30(11):30-33.

摘要 苏里格气田下二叠统下石盒子组8段(盒8段)异常低压明显,但对其成因未达成共识。为此,统计分析了该区盒8段53口井的实测地层压力,发现产水层、产气层以及气水同产层的地层压力系数在垂向上均无明显变化规律,而在平面上呈南北向的条带状分布,形成多个异常低压系统。应用 Fick 气体扩散定律和盆地模拟技术,结合区域沉积、构造演化和天然气组成特征分析认为,盒8段河道砂体分布的局限性为异常地层压力的形成提供了必要封闭条件,天然气扩散作用虽然存在,但是扩散损失影响相对较小。盒8段异常低压的形成主要与晚白垩世以来的构造抬升、地层剥蚀以及构造热事件的消失有关。

关键词 苏里格气田 早二叠世 异常低压 成因 天然气扩散 盆地模拟 构造运动

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2010.11.008

鄂尔多斯盆地苏里格气田地处内蒙古自治区鄂尔多斯市境内的伊陕斜坡西部,气田主力含气层段为二叠系下石盒子组盒8段和山西组1段,在平面上显示为近南北向的条带状气藏。

近年来勘探成果显示,储层中含气性广泛,地层压力异常,显示多种压力系统并存,但以异常低压为主,尤以盒8段储层异常低压最为明显。前人虽然对盆地内异常低压进行了大量研究,取得重要成果,但低压成因并未达成共识^[1-3]。异常低压不仅影响了气藏开发,而且与气藏的形成和分布有密切关系,研究其成因有助于进一步扩大苏里格地区上古生界的勘探领域。

1 气藏地质特征

1.1 气藏圈闭类型

苏里格气田盒8段属于湖泊—三角洲沉积体系,砂体展布受近南北向的砂质辫状河流控制,砂体类型主要为辫状河河道砂坝、边滩(点坝)砂体^[4]。砂体呈透镜体、厚层和薄层状展布。透镜状砂体的厚度一般在5 m左右,长宽比小于5,主要分布在决口扇、河口

坝、砂坪和废弃河道等微相。厚层状砂体分流河道沉积,复合砂体厚度在50 m左右,宽15~20 km,近南北向展布,非均质性明显。河道砂体在侧向和上倾方向尖灭,形成相对独立的岩性圈闭,而来源于下伏山西组一本溪组煤系烃源岩天然气在盒8段不同砂体中聚集,形成岩性气藏^[5]。

1.2 储层特征

苏里格气田盒8段储层主要为灰白色中—粗粒石英砂岩,其次为岩屑砂岩。储层岩石成分成熟度一般较高,整体上呈“高填隙物含量、高成分成熟度和低结构成熟度”的两高一低的岩石学特征^[6]。盒8段储层经过压实、胶结等成岩作用,储层物性大大降低。根据该区盒8段35口井约1600个样品的物性资料统计结果,孔隙度范围为0.16%~21.84%,平均值为7.57%。孔隙类型主要为残余粒间孔和粒间溶孔,其次为粒内溶孔、晶间孔。储层渗透率主要分布范围为0.1~3.16 mD,属低孔、低渗致密储层。

1.3 气水分布特征

根据苏里格地区盒8段53口探井试气资料统计,

基金项目:国家青年基金项目(编号:40602012)。

作者简介:陈义才,副教授,博士;现主要从事油气藏形成与分布规律的教学和科研工作。地址:(610059)四川省成都市成华区二仙桥东三路1号成都理工大学能源学院。电话:15902887835。E-mail:cdlgeyc@126.com

产气井 32 口,产水井 9 口。水层厚度一般为 1~3 m。在纵向上气层或水层除了呈相互独立的分布外,同一砂层段中由于储层非均质性的影响,水层与气层的分布存在 3 种类型:即气层或水层、气水互层和气水同层。在平面上水层分布不连续,分布范围不稳定,气水分布缺乏统一边界。水层主要分布在苏里格庙西北的苏 60、苏 51 井区以及鄂 6、鄂 11 井区,其次是乌审旗东北的召 45、统 27、统 29 等井区(图 1)。

层压力总体上随深度增加而呈线性升高,但地层压力系数在纵向上缺乏明显规律性。在 2 800~3 800 m 的范围内,无论是水层、气层还是气水同产层,地层压力系数随深度增加的变化都比较分散(图 2)。这表明区内异常低压的分布不受理深控制,而且与储层孔隙流体相态之间也无直接联系。

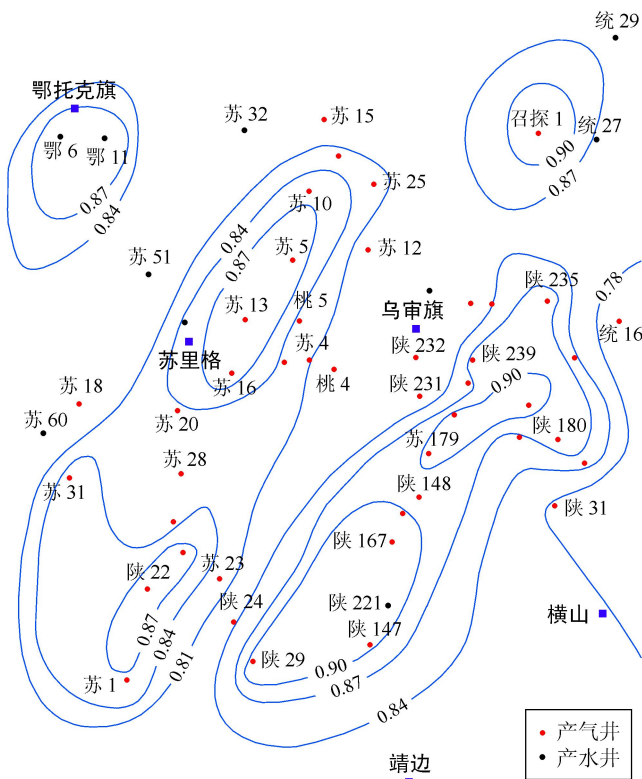


图 1 苏里格地区盒 8 段的地层压力系数分布图

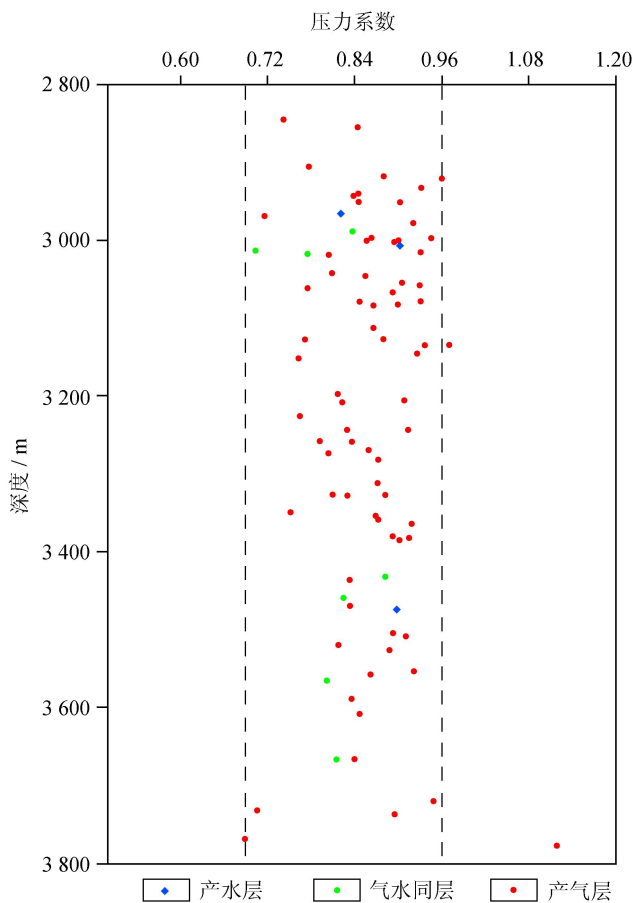


图 2 苏里格地区盒 8 段的地层压力系数图

2 异常低压分布特征

2.1 平面分布特征

根据苏里格气田盒 8 段 53 口井测压数据统计,地层压力系数为 0.69~1.16,平均为 0.82。根据李熙哲提出的分类标准^[7](压力系数小于 0.96 的为异常低压),盒 8 段地层压力系数总体上在 0.81~0.87,属于异常低压。在平面上,盒 8 段地层压力系数主要呈近南北向的条带状分布,在陕 167、陕 178 井等局部处于常压系统外,大部分地区处于异常低压(图 1)。盒 8 段在相邻井之间的地层压力系数出现明显变化,表明在平面上存在多个压力系统。

2.2 纵向分布特征

盒 8 段的原始地层压力在 22.5~42.5 MPa。地

3 异常低压的成因

根据国内外学者研究,异常低压的成因有多种,如构造抬升与地层剥蚀、孔隙水化学作用引起的孔隙体积增加和压力释放、物性差异引起非均匀流而导致的流体排出、渗析作用、轻烃扩散作用等^[8]。苏里格气田由于地层平缓、储层物性致密,地层水盐度一般在 50 g/L 左右,异常低压的形成受化学渗透、地下水的非均衡流动的影响很小。考虑到苏里格气田在白垩纪末经历了强烈抬升剥蚀,盒 8 段异常低压可能与下列因素有关。

3.1 地层抬升—剥蚀反弹作用

Neuzil 等认为,当上覆岩层被剥蚀时,与泥页岩相

邻的砂岩储层中的部分水将在横向压力梯度驱动和毛细管力作用下向泥页岩渗透即发生“倒灌回流”，从而进一步降低了相邻砂岩的流体压力^[9]。鄂尔多斯盆地自中生代以来，先后发生了 4 期地层抬升和地层剥蚀，其中白垩纪末期最强烈，在苏里格地区的剥蚀厚度为 800~1 200 m^[10]。石盒子组泥岩现今仍然保持欠压实状态，即孔隙流体属于超高压状态，难以使相邻储层孔隙流体发生“倒灌回流”到超压泥岩中去。

剥蚀卸载虽然不可能使地层的孔隙度恢复压实前的状态，但是剥蚀卸载是岩石弹性压缩的逆过程。当地层抬升剥蚀引起储层孔隙体积扩容时，孔隙中流体随之膨胀，从而导致流体压力降低。假设盒 8 段储层的平均孔隙度取为 8%，含气饱和度为 50%，当上覆地层剥蚀 1 000 m 时，储层孔隙体积反弹扩容可使孔隙度增加到 8.8%。根据理想气体状态方程计算，储层

孔隙中气体压力降低 10% 左右。换言之，上覆地层剥蚀约 1 000 m，卸载膨胀作用可使压力系数由 1.0 降低到 0.9。

3.2 地层温度降低——孔隙流体冷凝收缩作用

苏里格地区在燕山中晚期由于构造热事件的发生，古地温梯度较高，介于 3.6~4.0 °C/100 m，早白垩世末以来，燕山构造热事件消失，地温梯度下降为现今的 2.8~3.0 °C/100 m。晚白垩世以来，一方面地温梯度逐渐降低，另一方面，地层抬升和剥蚀又进一步使地层温度降低。通过盆地模拟计算，苏里格气田盒 8 段从早白垩世末期到现今，由最高古地层温度从 170 °C 降低到 110~120 °C，地层温度大约平均降低了 50 °C (图 3)。假设气藏自早白垩世末至今不存在气体的散失和注入，根据理想气体热力学方程计算，地层压力降低到原来的 86.5%。

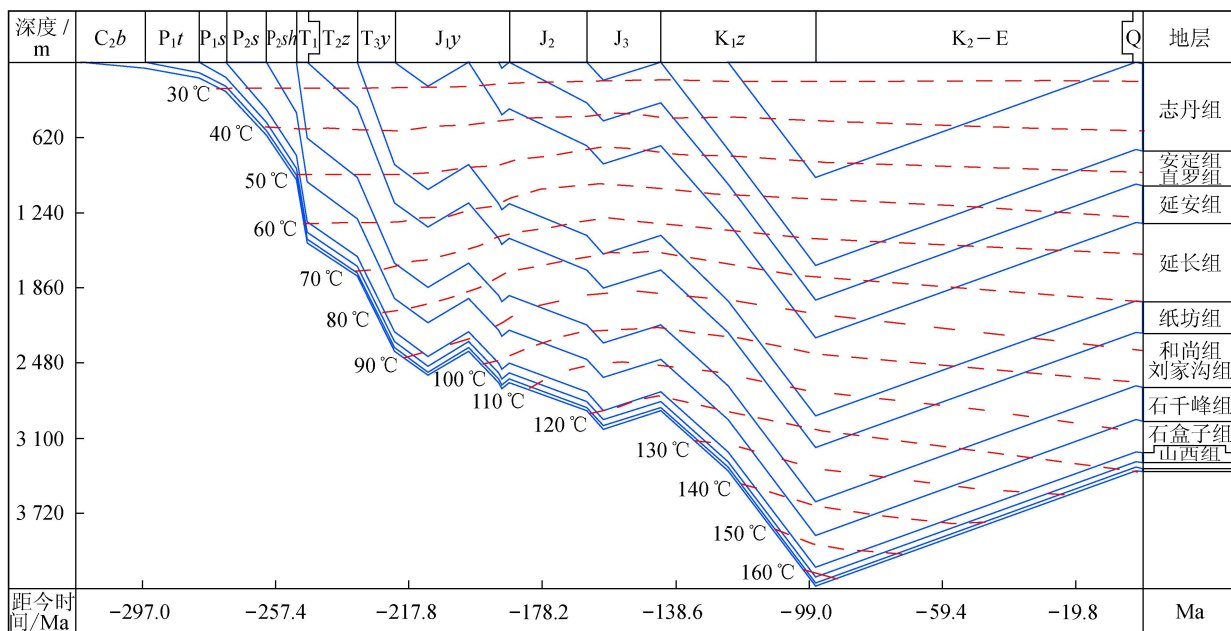


图 3 苏 15 井埋藏史与热演化史图

3.3 天然气的散失作用

近十几年来，国内外许多学者通过实验分析、实际地质剖面观察及数学模拟研究表明，扩散作用在天然气在初次运移、聚集成藏及保存过程中起到显著作用^[11-13]。对于含气储层而言，气体质量的散失与孔隙压力降低呈线性关系。若以理想气体计算，当气层气体散失率达到 50% 时，地层压力也随之而降低一半。根据 Fick 气体扩散定律，在单位时间通过单位面积的气体扩散量与气体扩散系数、气体浓度成正比。在气态烃中，扩散系数随分子量增加而倍数降低。天然气大量扩散，在天然气常规组成和碳同位素组成上必然

有所反映，表现为甲烷含量降低，碳同位素分馏变重。

苏里格气田盒 8 段上覆地层虽然缺乏天然气浓度封隔层，但直接盖层较大，气层埋深较大，气体扩散并不显著。

具体证据为：①盒 8 段与下伏烃源岩发育的山西一本溪组的气层压力仍基本相似，均属于异常低压；②盒 8 段储层含气饱和度与地层压力系数的关系也不明显；③该区内盒 8 段天然气组成和碳同位素与下伏山西组基本相似(表 1)。

苏里格气田盒 8 段天然气在充注成藏初期和早白垩世快速沉降时，由于压实作用和地层温度升高，孔隙

表 1 苏里格盒 8 段天然气含量及其同位素含量表

井号	层位	天然气组成					碳同位素组成			
		C ₁	C ₂	C ₃	C ₄ ~C ₅	CO ₂	N ₂	$\delta^3\text{C}_1$	$\delta^3\text{C}_2$	$\delta^3\text{C}_3$
统 24	盒 8 段	92.19%	3.475%	0.915%	0.564%	0.747%	2.258%	-33.56‰	-25.92‰	-29.88‰
统 25	盒 8 段	91.92%	3.599%	0.961%	0.594%	0.579%	2.436%	-33.82‰	-25.50‰	-24.97‰
苏 6	盒 8 段	86.96%	7.969%	1.661%	0.708%	1.851%	0.847%	-33.05‰	-23.57‰	-23.72‰
苏 43	盒 8 段	90.60%	5.577%	1.370%	0.721%	0.038%	1.590%	-32.64‰	-22.04‰	-22.68‰
召 12	盒 8 段	89.475%	6.649%	1.534%	0.781%	1.191%	0.711%	-34.41‰	-23.95‰	-23.29‰
统 20	山 1 段	91.278%	5.076%	1.346%	1.026%	1.055%	0.307%	-33.56‰	-23.75‰	-22.21‰
苏 43	山 1 段	85.838%	6.241%	1.630%	1.092%	1.011%	4.169%	-34.08‰	-23.05‰	-22.19‰

流体压力可能产生异常高压。储层中天然气分子扩散的影响虽然较小,但是在构造抬升早期、伴随微裂缝的产生,储层孔隙中游离孔隙水和天然气将以多相渗流方式散失,从而使孔隙流体压力降低到常压状态。

4 结论

1)苏里格地区盒 8 段砂体分布的局限性以及储层物性致密和非均质性,为异常地层压力的形成提供了必要封闭条件。在相对封闭的砂体中,使储层孔隙流体与地表水处于不同压力系统。

2)在不同埋藏阶段,盒 8 段储层孔隙压力受到不同地质作用影响。在埋藏初期,储层孔隙流体与沉积水体基本联通而处于常压环境。随着埋藏深度增加,在压实、胶结等成岩作用下而进入相对封闭环境。天然气大量充注和地层温度升高的热膨胀作用使储层孔隙流体形成异常高压。后期构造抬升、微裂缝的产生以及储层孔隙体积反弹扩容、地层温度降低引起储层孔隙气体收缩使异常高压逐渐转化为常压和异常低压。

参 考 文 献

- [1] 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):792-798.
- [2] 马新华.鄂尔多斯盆地上古生界深盆气特点与成藏机理探讨[J].石油与天然气地质,2005,26(2):230-236.
- [3] 王志欣,张金川.鄂尔多斯盆地上古生界深盆气成藏模式[J].天然气工业,2006,26(2):52-54.
- [4] 文华国,郑荣才,高红灿等.苏里格气田苏 6 井区下石盒子组盒 8 段沉积相特征[J].沉积学报,2007,25(1):90-97.
- [5] 杨华,魏新善.鄂尔多斯盆地苏里格地区天然气勘探新进展[J].天然气工业,2007,27(12):6-11.
- [6] 杨勇,达世攀,徐晓蓉,等.苏里格气田盒 8 段储层孔隙结构研究[J].天然气工业,2005,25(4):50-52.
- [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.
- [8] 夏新宇,宋岩.沉降及抬升过程中温度对流体压的影响及克拉 2 气田异常压力成因[J].石油勘探与开发,2001,28(3):8-11.
- [9] NEUZIL C E, POLLOCK D W. Erosional unloading and fluid pressures in hydraulically "tight" rocks[J]. Journal of Geology, 1983, 91:179-193.
- [10] 陈瑞银,罗晓容,陈占坤,等.鄂尔多斯盆地中生代地层剥蚀量估算及其地质意义[J].地质学报,2006,80(5):685-693.
- [11] LEYTHAEUSER D, MACKENZIE A, SCHAEFER R G. A novel approach for recognition and quantification of hydrocarbon migration effects in shale-sandstone sequences [J]. AAPG Bulletin, 1984, 68(2):196-219.
- [12] KROOSS B M, LEYTHAEUSER D, SCHAEFER R G. The quantification of diffusive hydrocarbon losses through cap rocks of natural gas reservoirs: a reevaluation [J]. AAPG Bulletin, 1992, 76(3):403-406.
- [13] 郝石生,黄志龙,高耀武.轻烃扩散系数的研究及天然气运聚平衡原理[J].石油学报,1991,12(3):17-24.

(修改回稿日期 2010-09-10 编辑 罗冬梅)