

文章编号: 0253-9985(2007)03-0413-06

鄂尔多斯盆地苏里格盒 8 段深盆气藏含水层成因及其物理模拟

王世艳¹, 罗 群^{2,3}, 宋子学⁴, 柯 兵²

(1 中国石油大学, 北京 102249 2 中国石油大学 盆地与油藏研究中心, 北京 102249

3 北京石大博创复杂油气藏技术开发中心, 北京 102200 4 中国石油 大庆油田公司

勘探开发研究院, 黑龙江 大庆 163712)

摘要: 勘探实践和物理模拟实验都表明深盆气藏内存在不同成因特征的含水层, 鄂尔多斯盆地苏里格盒 8 段深盆气藏主要存在两种不同成因类型的水层—具有气水同层的常规透镜体砂岩气藏的底水 和位于深盆气藏的气水过渡带局部高孔渗砂岩体“岩性”气藏的底水; 实验表明, 除了在深盆气形成的鼎盛时期深盆气藏内不含水之外, 深盆气形成演化的各个时期都是含有水的, 这些水可以是深盆气形成前的孔隙水 (在深盆气形成的建设时期), 也可以是深盆气萎缩时期地层水进入局部高孔渗砂体形成的“岩性”气藏中的底水。位于深盆气运移路径上的局部高孔渗砂体不含或少含水而富含气, 是进行深盆气勘探的有利目标。

关键词: 深盆气; 含水层成因; 模拟实验; 鄂尔多斯盆地

中图分类号: TE122.3 **文献标识码:** A

Genesis and physical modelling of aquifer in deep basin gas pool of He-8 Member in Sulige region, Ordos basin

Wang Shiyan¹, Luo Qun^{2,3}, Song Zixue⁴, Ke Bin²

(1 China University of Petroleum, Beijing 102249 2 Basin and Reservoir Research Center, China University of Petroleum,

Beijing 102249 3 Shilabochuang Complex Reservoir Research Center, Beijing 102200 4 Exploration and Development

Research Institute of Daqing Oilfield Limited Company, PetroChina, Daqing, Heilongjiang 163712)

Abstract Both exploration practice and physical modelling indicate that deep basin gas accumulations contain aquifers of various geneses. Aquifers in deep basin gas pool of He-8 (the eighth member of Shihezi Formation) in Sulige region, Ordos basin, are of two origins—one is bottom water in common lenticular sandstone gas reservoirs with mixed water and gas layer, and the other is bottom water in “lithologic” gas reservoir with the local sandbody of high-porosity and high-permeability in gas-water transition zone of deep basin gas pools. Experiments indicate that water present almost in all but the high tide stages of the evolution of deep basin gas pools. It could be pore space water existed before the accumulation of deep basin gases or bottom water in lithological gas reservoirs formed during the senescence phase of deep basin gas when formation water entered the high-porosity and high-permeability sandstones. It is suggested that the high-porosity and high-permeability sandstones on the migration paths of deep basin gases contains no or very limited amount of water and serve as the most favorable exploration targets for deep basin gas.

Key words deep basin gas; genesis of aquifer; simulation experiment; Ordos basin

自世界特大的阿尔伯达深盆气藏 (资源量超过 $100 \times 10^{12} \text{ m}^3$) 被发现并逐步投入开发, 红色

沙漠 (Red Desert) 盆地、绿河 (Green River) 盆地发现有大量的深盆地气藏以来, 深盆地气理论已被越来越多的学者所接受^[1~14]。我国也已在鄂尔多斯盆地、吐哈盆地、四川盆地等发现有深盆地气藏存在^[15~17]。随着我国深盆地气勘探不断深入, 一些现象难以用传统的深盆地气理论解释, 用物理模拟实验的方法模拟、再现深盆地气形成的过程, 对于不断完善和修正深盆地气理论具有一定的指导意义。

苏里格气田位于鄂尔多斯盆地伊陕斜坡西部, 面积约 20 000 km²。其二叠系石盒子组盒 8 段 (以下简称盒 8 段) 气藏国内学者论证为深盆地气藏^[1], 但它与目前的深盆地气藏理论描述的特征不一致。从目前深盆地气理论, 深盆地气中是不含水的, 而盒 8 段深盆地气中有多口井发现含水层, 如苏 2、陕 82、陕 131 等井, 研究盒 8 段气藏含水层成因及其成藏机理具有重要意义。

1 成藏物理模拟实验

1.1 盒 8 段深盆地气藏含水层基本特征

研究表明, 盒 8 段气藏具有典型的深盆地气藏特征^[1], 气藏北界在苏 41、苏 18、苏 2、苏 11、苏 32、召 3、陕 204、神 4 等井一线, 以北为气水分布区和水区, 以南为气区。依据目前深盆地气理论, 深盆地气藏范围内是不存在水层的, 但勘探结果, 在盒 8 段气藏内仍有多口井揭示水层, 如苏 9、陕 233、苏 12、苏 15、陕 82 等井 (表 1)。深盆地气藏内水分布

局限, 日产水量低, 不超过 20 m³, 一般数立方米, 矿化度差异大。

1.2 盒 8 段气层含水成因特征及地质模型

在钻井过程中, 由于各种原因可能会导致测试出水, 如果测试出的水是地层水, 一是为正常岩性气藏 (如孤立砂体岩性气藏) 的底水或边水; 另一种情况是深盆地气中的水, 其形成机制可通过物理模拟实验来揭示。从目前对深盆地气藏中含有水的认识, 可能存在以下几种情况 (图 1)。

1) 在深盆地气藏形成时期 (建设阶段), 从烃源岩中排出的大量的天然气在膨胀力等的作用下向上排驱致密砂体中的水, 遇到高渗透砂体后, 气体优先进入其中并在其上部形成正常气藏, 水被排挤到其下, 形成底水。

2) 深盆地气藏的萎缩阶段, 由于供气量小于散失量, 深盆地气致密砂体中的高孔渗富气区块中的天然气散失, 由于气体膨胀力减小, 在静水压力和毛细管力作用下, 周边的水进入高孔渗富气区中, 使原来深盆地气藏中的高孔渗富气区演变成的正常气藏, 进入的水成为正常气藏的底水。由于深盆地气藏规模大, 在其萎缩阶段因各处地质条件差异, 会导致不同处气藏萎缩的不均衡性, 部分地方萎缩得快, 此处的高孔渗富气区块转化为正常气藏的时间早 (如靠近气水过渡带的地带), 部分转化为正常气藏的时期晚。

在深盆地气藏演化的早期和萎缩时期, 在深盆地气藏内的高渗透区块, 可能存在具有底水的正常

表 1 部分井产水情况
Table 1 Statistics of water production in some wells

井名	地层	井段 /m	矿化度 /(g·L ⁻¹)	水型	日产水 /m ³	日产气 /m ³
苏 9	石盒子组	3 336~3 346	30.55	CaCl ₂	2.0	1 750
陕 223	石盒子组	3 222~3 225	7.43	CaCl ₂		
苏 12	石盒子组	3 247~3 251	23.51	CaCl ₂	3.0	8 197
苏 15	石盒子组	2 999~3 001		CaCl ₂	0.3	12 395
苏 20	石盒子组	3 444~3 471	0.79	Na ₂ SO ₄	0.5	325 556
苏 11	石盒子组	3 318~3 364	21.20	Na ₂ SO ₄	2.4	21 157
苏 14	石盒子组	3 455~3 479	5.47	CaCl ₂	1.8	149 025
苏 18	石盒子组	3 555~3 572		CaCl ₂	15.0	15 000

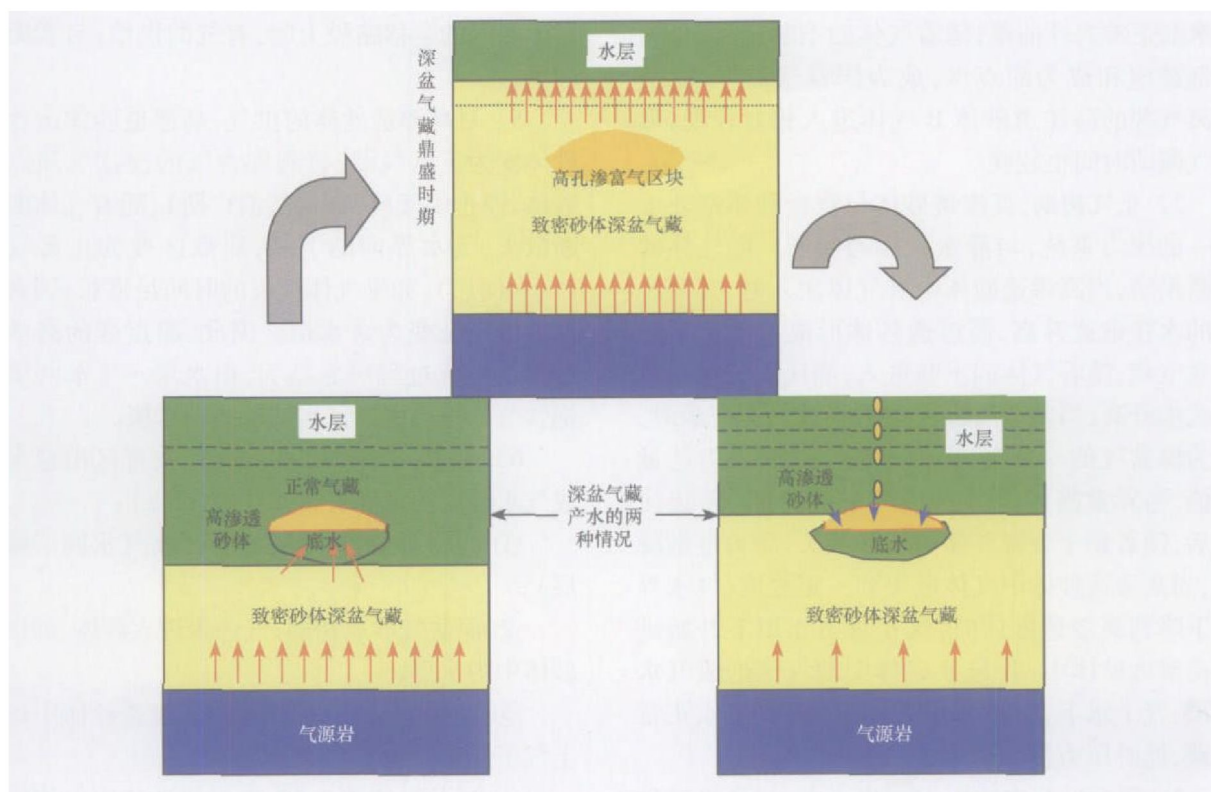


图 1 深盆气藏产水的地质模型

Fig. 1 Geological model showing how the water is formed in deep basin gas reservoirs

的“岩性”气藏(即大面积低孔渗致密砂岩中的局部高孔渗砂岩体气藏)。

1.3 深盆气含水层成因物理模拟试验

1.3.1 实验装置与实验材料

实验装置如图 2。实验材料采用: A 砂体直径 0.10 ~ 0.15mm, B 和 D 砂体直径 0.50 ~ 0.55mm, C 砂体直径 0.70 ~ 0.80mm, 它们的孔隙度为 28% ~ 32%; 其渗透率分别为 $K_A = 5.0625 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, $K_B = 2126.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, $K_C = 4162.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 分别代表致密砂体、高渗透砂体。

1.3.2 实验步骤及过程

首先在实验容器中装好各种不同孔渗性的砂。其次用泵将水注入容器, 将 A、B、C 和 D 砂体用水饱和(图 2)。再将气注入气体计量器, 用泵将计量器中的气按一定的速度推入实验容器。依据砂体颜色的变化观察记录天然气的行踪及其进入高渗透区块 B 和 D 砂体的情况。直到 B 砂体的颜色完全变白, 表明 B 砂体完全被气饱和。停止注气。观察记录高渗透砂体 B 颜色的变化情况。

1.3.3 实验结果

1) 致密沙层中存在多个高渗透砂体 B 和 D 时, 在深盆气的建设阶段(供气量大于散失量), 离气源近的高渗透砂体 D 气体首先进入, 形成上气

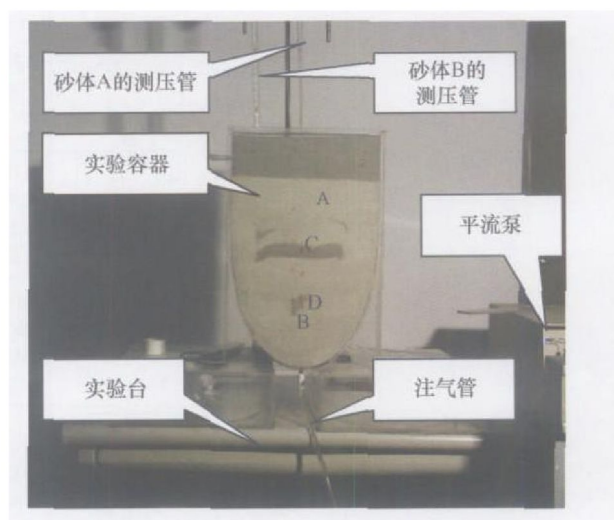


图 2 深盆气含水层成因实验及实验材料和实验装置

Fig. 2 Photo showing the experiment material and apparatus for the study of aquifer genesis in deep basin gas reservoirs

下水的正常岩性油藏,随着气体的不断进入,直到全部被饱和成为甜点区,成为深盆气的一部分。远离气源的高渗透砂体 B 气体进入相对较晚,形成气藏的时间也较晚。

2) 充气初期,高渗透砂体与致密砂体都处于同一的压力系统,与静水柱压力相同。随气体的不断供给,当高渗透砂体中有气体注入时,其测压管的水柱迅速升高,高渗透砂体形成上气下水的正常气藏,随着气体的不断进入,测压管的水柱脉冲式的升高,当整个高渗透砂体 B 被气体充满时,成为深盆气的一部分,即甜点区。此时压力达最高值,为异常高压,水柱达 100 cm 以上。停止注气后,随着整个装置气体的不断散失,压力逐渐降低,当高渗透砂体中气体散失到一定程度,气水界面下降到高渗透砂体时,水在重力作用下开始进入高渗透砂体中,并与 B 砂体中的气体形成气水同层,气上水下, B 砂体由甜点转为上气下水正常气藏,此时压力仍为高压。

3) 致密砂层中的压力变化不大,与高渗透砂体为两套压力系统。

4) 致密砂体中的小规模的孤立砂体,可能形成正常的岩性油气藏,也可能为纯水层。前者位

于天然气的运移路径上时,有气的供给,后者无气的供给。

5) 对高渗透砂体的供气,高渗透砂体由含水砂体变为正常气藏,再到饱含气的深盆气甜点区砂体,停止供气后(深盆气消亡期),随着气体的不断散失,气水界面的下降,甜点区变为正常气藏(气水同层),如果气体散失的时间足够长,则高渗透砂体完全变为含水层。因此,甜点区的高渗透砂体其形成过程可总结为,由水层—气水同层到饱含气的甜点区—气水同层—纯水层。

6) 由实验推知,在深盆气的发育区出现水层或气水同层的情况有以下几种(图 3):

(小)孤立砂体的岩性气藏(气水同层或水层);

④深盆气形成初期,气还未进入砂体,高渗透砂体中为水层;

④在深盆气的建设阶段,高渗透砂体中形成上气下水的“岩性”气藏;

深盆气的消亡期,高渗透砂体中气体的散失,气水界面的下降,水进入高渗透砂体中从而形成“岩性”气藏;

甜点区内气体完全消失,形成水层。



图 3 深盆气藏内部含水层成因机理物理模拟解释

Fig. 3 Physical modelling interpretation of aquifer genesis in deep basin gas reservoirs

1.3.4 实验讨论

深盆气背景下的“岩性”气藏(即大面积致密砂体中的高渗透气水同层砂体)与甜点区(高渗透富气区块)的成因机理没有本质区别,只是处于不同的气藏形成阶段。后者是因为有足够的供气量和足够的供气时间,使原来的高渗透“岩性”气藏转化为富气区块(甜点),而高渗透气水同层的“岩性”气藏,是处于深盆气发展的初期(气体部分进入高渗透砂体)或深盆气发展的后期(消亡期)气水面下降,水体进入原来的高渗透富气区块所表现出的上气下水的状态,而甜点(高渗透富气区块整体饱和气)正是处于深盆气发展的鼎盛时期(对单个砂体而言)高孔渗砂体饱含气的状态。

同一时期(如深盆气发展的鼎盛时期),由于距离气源距离的远近、是否位于气体运移路径上、

砂体的孔渗条件等不同,有的砂体成为甜点(富气区块),有的砂体只能成为具底水的“岩性”气藏或水层。

但值得注意的是,我们这里的“岩性”气藏与通常的泥岩中的砂岩透镜体气藏有本质区别(图 4):

1) 气源不同,泥岩中的砂岩气藏是气体来自砂体周边的烃源岩(泥岩本身是烃源岩),而这里讲的岩性气藏是低孔渗砂体中的局部高渗透砂体,气源来自整个低孔渗砂体的下部,低孔渗砂体本身不是烃源。

2) 泥岩中的砂岩气藏与深盆气背景中的高孔渗砂岩气藏的压力系统有本质不同,前者的压力相对稳定,为正常高压或异常高压,而后者压力可能是高压或异常高压之外,也可能是负压,压力是不稳定的,与深盆气发展阶段(供气强度和供气量,供气时期)有关;

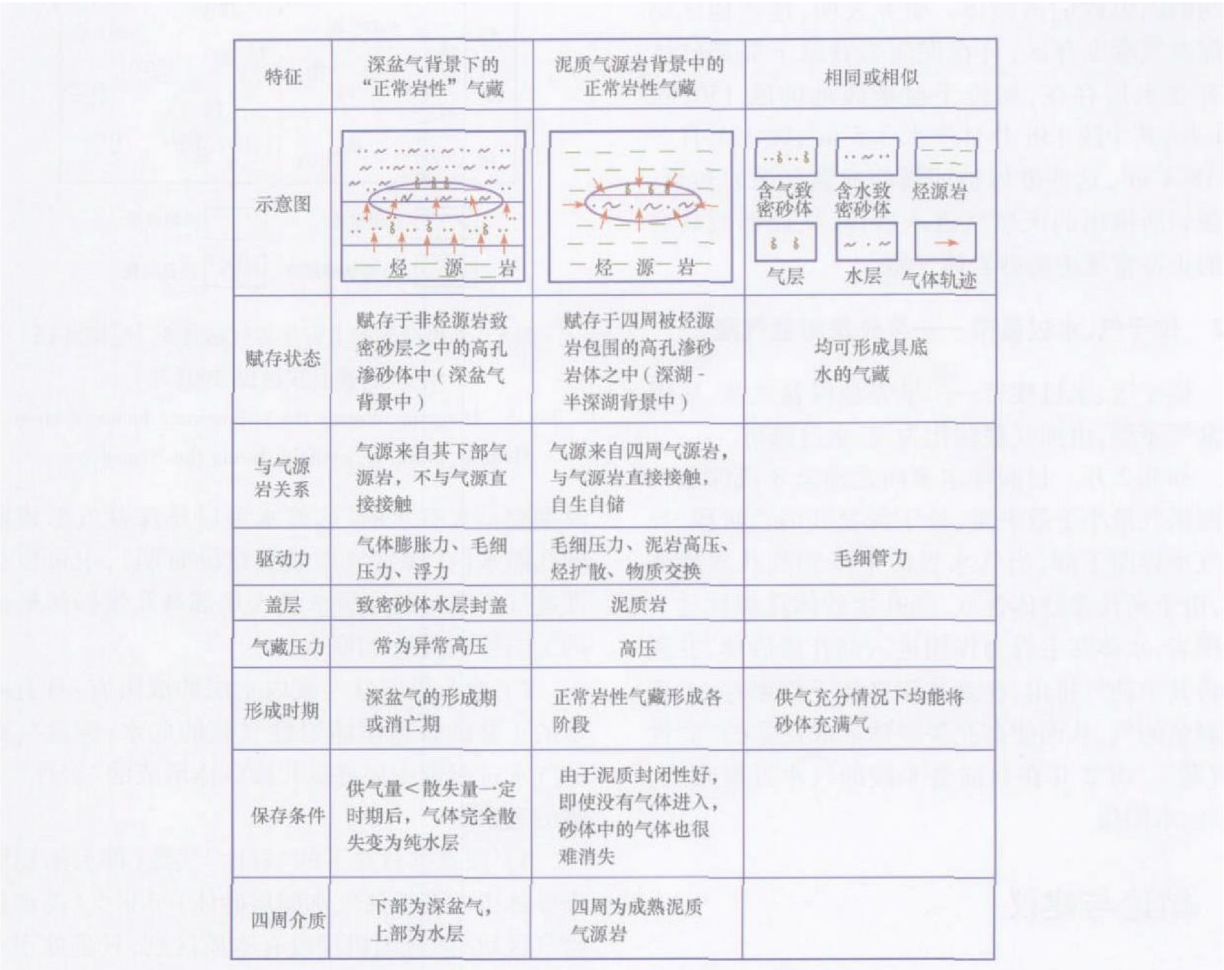


图 4 两种具底水的“岩性”气藏比较

Fig. 4 Comparison between two types of ‘lithologic’ gas reservoirs with bottom water

3) 形成环境不同, 泥岩中的砂岩气藏形成于烃源岩之中, 为自生自储型生储盖组合, 而深盆气背景下的岩性气藏形成于低孔渗砂体的包围之中, 不是自生自储。

2 研究区盒 8 段深盆气藏内部水层成因解释

2.1 孤立的具有底水的常规岩性气藏

这在研究区是存在的 (图 5), 如在河流环境背景下孤立砂体如缺口扇砂体; 前三角洲泥中孤立的砂体等, 当有油气源供给时, 便容易形成具底水的常规透镜体岩性油气藏。

沉积相研究表明, 盒 8 段沉积时期在盆地北部由北而南发育四条河流, 进入湖盆后依次形成三角洲平原、三角洲前缘, 在湖盆中心发育前三角洲和深湖-半深湖相沉积, 从而形成致密砂泥岩背景与的泥包砂的透镜体。研究表明, 这些地区仍是深盆气藏发育区, 且在泥质岩背景下局部砂体中有含水层存在, 如位于盆地腹地的陕 136、陕 131 井, 其中陕 136 井日产水 3.5 m^3 , 陕 131 井日产水 18.4 m^3 , 这些砂体被四周的成熟气源岩包裹, 气源岩所排出的天然气进入砂体, 从而形成具底水的正常常规透镜砂岩体气藏。

2.2 位于气、水过渡带——早先是深盆气藏

位于气、水过渡带——早先是深盆气藏, 后因深盆气萎缩, 由纯气藏转化为气、水过渡带。

如苏 2 井。目前鄂尔多斯盆地盒 8 段深盆气藏因供气量小于散失量, 处于深盆气消亡阶段, 导致气水界面下降, 当气水界面下降到高孔渗砂体时, 由于高孔渗砂体含气, 高孔渗砂体孔渗性远大于围岩, 水体在毛管力作用进入高孔渗砂体, 并逐步将其中的气排出, 在高孔渗砂体下部赋存, 上部是剩余的气, 从而使高孔渗砂体形成正常的“岩性气藏”。苏 2 井在目前盒 8 段的气水过渡带上, 是气、水同层。

3 结论与建议

1) 实验表明, 除了在深盆气形成的鼎盛时期深盆气藏内不含水之外, 深盆气形成演化的各个

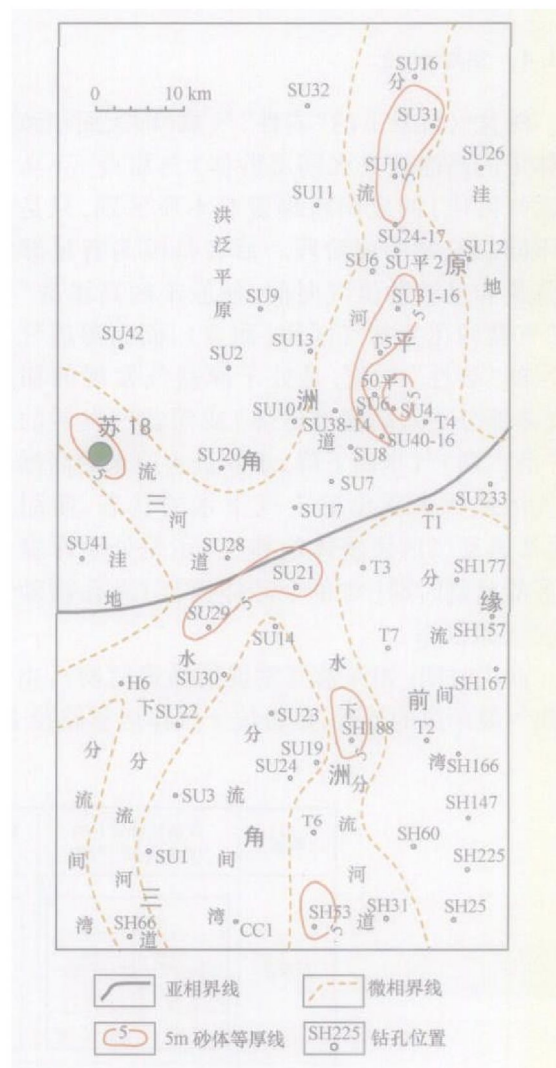


图 5 苏里格气田上古生界气藏盒 8¹时期沉积纲要图 (据长庆油田, 2001 年)

Fig. 5 Diagram showing the sedimentary facies of He-8 Member in Sulige gasfield during the Neopaleozoic

时期都是含有水的, 这些水可以是深盆气形成前的孔隙水 (在深盆气形成的建设时期), 也可以是深盆气萎缩时期地层水进入局部高孔渗砂体形成的“岩性”气藏中的底水。

2) 盒 8 段深盆气藏内水层的成因有: 具有底水的正常砂岩透镜体岩性气藏的底水; 深盆气藏的气水过渡带中局部高孔渗砂体形成的“岩性”气藏的底水。

3) 深盆气背景下的“岩性”气藏 (即大面积致密砂体中的高渗透气水同层砂体) 与甜点 (高渗透富气区块) 的成因机理没有本质区别, 只是处于不同的气藏形成阶段。同一时期 (如深盆气发展的 (下转第 426 页))

- Bulletin, 1983, 67(12): 2 225– 2 238
- 7 焦大庆, 王德仁, 武晓玲. 东濮凹陷天然气成藏及富集规律 [J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(6): 794~ 803
 - 8 徐永昌. 天然气成因理论及应用 [M]. 北京: 科学出版社, 1994, 93~ 100
 - 9 戴金星, 宋岩. 中国含油气盆地有机烷烃气碳同位素特征 [J]. 石油学报, 1993, 14(2): 23~ 31
 - 10 戴金星. 各类烷烃气的鉴别 [J]. 中国科学 (B 辑), 1992, 22(2): 187~ 193
 - 11 高波, 范明, 刘文汇, 等. 塔河油田天然气的碳同位素特征及其成因类型 [J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(5): 619~ 622
 - 12 黄海平, 许晓宏. 天然气同位素特征及作用 [J]. 石油与天然气地质, 1997, 18(2): 136~ 139
 - 13 戴金星, 裴锡古, 戚厚发. 中国天然气地质学 (卷一) [M]. 北京: 石油工业出版社, 1992, 65~ 82
 - 14 Stahl W J, Carey Jr B R. Source rock identification by isotope analyses of natural gases from fields in the Val Verde and Delaware Basin, West Texas [J]. Chemical Geology, 1975, 16(4): 257– 267
 - 15 Whiticar M. A geochemical perspective of natural gas and atmospheric methane [J]. Organic Geochemistry, 1990, 16(1– 3): 531– 547
 - 16 Schoell M. Multiple origins of methane in the earth [J]. Chemical Geology, 1988, 71(1): 1– 10
 - 17 曾凡刚, 吴朝东. 吐-哈盆地天然气成因类型探讨 [J]. 石油与天然气地质, 1998, 19(2): 162~ 164
 - 18 黄籍中. 油气区天然气成因分类及其在四川盆地的应用 [J]. 天然气地球科学, 1991, 2(1): 6~ 15
 - 19 戴金星. 利用轻烃鉴别煤成气和油型气 [J]. 石油勘探与开发, 1993, 20(5): 26~ 32
 - 20 Mango F D. The origin of light hydrocarbons [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 2000, 64(7): 1 265– 1 277
 - 21 Mango F D. The origin of light hydrocarbons in petroleum: ring preference in the closure of carbocyclic rings [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1994, 58(2): 895– 901
 - 22 常国贞, 毕彩芹, 林红梅. 低潜山反转构造演化、成藏体系与勘探——以胜利油区孤北低潜山为例 [J]. 断块油气田, 2002, 9(5): 19~ 23
 - 23 魏泽典, 邓宏文, 李永根. 孤北斜坡带隐蔽圈闭成藏条件分析 [J]. 油气地质与采收率, 2006, 13(2): 43~ 46

(编辑 李 军)

(上接第 418 页)

鼎盛时期), 由于距离气源距离的远近、是否位于气体运移路径上、局部砂体的孔渗条件等不同, 有的局部砂体成为甜点 (不含水的富气区), 有的局部砂体只能成为具底水的“岩性”气藏或水层。

4) 深盆地背景下正确确定天然气运移的有效路径和方向十分重要, 因为它能指导我们寻找不含水或少含水的高丰度富气区块——“甜点”提供依据。

参 考 文 献

- 1 Marion G G. Generation and expulsion of petroleum and gas from Almond formation coal, Greater Green River Basin, Wyoming [J]. AAPG Bulletin, 1997, 81(1): 62– 81
- 2 Michale M T. Scaled physical model of secondary oil migration [J]. AAPG Bulletin, 1995, 79(1): 19– 29
- 3 Bradley J S. Abnormal formation pressure [J]. AAPG Bulletin, 1975, 59(6): 957– 973
- 4 Berg R R. Capillary pressure in stratigraphic traps [J]. AAPG Bulletin, 1975, 59(6): 939– 956
- 5 王涛. 中国深盆地 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2002
- 6 袁政文, 许化政, 王百顺, 等. 阿尔伯特深盆地研究 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1996
- 7 赵文智, 何登发, 翟辉, 等. 复合含油气系统中油气运移流向研究的意义 [J]. 石油学报, 2001, 22(4): 7~ 12
- 8 左胜杰, 庞雄奇, 金之钧. 吐哈盆地台北凹陷深盆地气成藏地质条件 [J]. 新疆石油地质, 2002, 23(3): 193~ 197
- 9 杨俊杰, 裴锡古. 中国天然气地质学 (4)——鄂尔多斯盆地 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1996
- 10 李振铎, 胡义军, 谭芳. 鄂尔多斯盆地上古生界深盆地研究 [J]. 天然气工业, 1998, 18(3): 10~ 16
- 11 付广, 孟庆芬. 徐家围子地区深层运移输导系统及对天然气成藏与分布的控制 [J]. 油气地质与采收率, 2004, 11(2): 18~ 24
- 12 Galeazzi J S. Structural and stratigraphic evolution of the western Malvinas basin, Argentina [J]. AAPG Bulletin, 1998, 82(4): 596– 636
- 13 赵忠新, 王华, 郭齐军, 等. 油气输导体系的类型及其输导性能在时空上的演化分析 [J]. 石油实验地质, 2002, 24(6): 257~ 536
- 14 张照录, 王华, 郭齐军, 等. 含油气盆地的输导体系研究 [J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(2): 133~ 135
- 15 张抗. 中国天然气资源的两点论和发展战略 [J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(2): 163~ 167
- 16 张之一. 更新勘探观念, 开拓深层油气新领域 [J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(2): 193~ 196
- 17 任战利, 张盛, 高胜利, 等. 伊盟隆起东胜地区热演化史与多种能源矿产的关系 [J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(2): 188~ 193

(编辑 陈喜禄)