

文章编号: 0253-9985(2005)04-0473-07

渤南洼陷深层油气成藏特征及主控因素

宫秀梅^{1,2}, 金之钧³, 曾溅辉^{1,2}, 邱楠生^{1,2}

(1 中国石油大学盆地与油藏研究中心, 北京 102249; 2 油气成藏机理教育部重点实验室, 北京 102249;

3 中国石化石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要: 渤南洼陷深层烃源岩主要为古近系沙河街组四段暗色泥岩、砂泥岩及膏盐层, 有机碳含量为 0.9% ~ 2.39%, 干酪根为 iv 和 ①_1 型; 深部储集层以沙河街组四段砂砾岩、细砂岩及泥灰岩为主, 孔隙度为 1.18% ~ 23.5%, 渗透率为 $0.1 \times 10^{-3} \sim 36.67 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$; 按照圈闭类型可将深层油气藏划分为岩性圈闭油气藏和复合圈闭油气藏, 按烃源岩类型可将其分为古近系腐泥型烃源岩油气藏和中、古生界煤成气藏, 按生储盖组合又可将其划分为自生自储型油气藏和上生下储型油气藏。渤南洼陷深层油气成藏主要受充注期、流体动力系统及膏盐层控制。油气的晚期连续充注为深层油气藏的形成提供了雄厚的物质基础。深层特有的超压流体动力系统为深部油气的运聚提供了动力。区域性分布的膏盐层对油气成藏的控制作用主要体现在: 1) 区域性封盖作用; 2) 延缓了其下地层的成岩作用, 改善了储集物性; 3) 有利超压流体系统的形成。因此, 膏盐层的下部地层为深层勘探的有利区域。

关键词: 成藏特征; 主控因素; 深层; 渤南洼陷**中图分类号:** TE112.11 **文献标识码:** A

Reservoir characteristics and main controlling factors for deep hydrocarbon accumulations in Bonan sag in Jiyang depression

Gong Xiumei^{1,2}, Jin Zhijun³, Zeng Jianhui^{1,2}, Qiu Nansheng^{1,2}

(1 Basin & Reservoir Research Center, China University of Petroleum, Beijing; 2 Key Laboratory of Petroleum Accumulation, Ministry of Education, Beijing; 3 Exploration & Production Research Institute SINOPEC, Beijing)

Abstract In Bonan sag the deep source rocks are predominantly dark shale, sandy shale and evaporites in the 4th member of Paleogene Shahejie Fm, with the TOC content of 0.9%–2.39% and kerogens of type iv and ①_1 ; the deep reservoir rocks are mainly composed of glauconitic, fine sandstone and muddy limestone in the 4th member of Shahejie Fm, with the porosity of 1.18%–23.5% and permeability of $0.1 \times 10^{-3} \sim 36.67 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$. According to trap types, the deep oil-gas pools in Bonan sag can be divided into lithologic trap and composite trap oil-gas pools; based on types of source rock, they can be divided into oil-gas pools sourced by Paleogene sapropel-type source rocks and sourced by Paleozoic coal measures (i.e. coal-derived gas pools); in the light of source-reservoir-cap rock combinations, they can be divided into “self-sourcing and self-reservoiring” type oil-gas pools (i.e. both the source rocks and reservoir rocks are in the 4th member of Shahejie Fm), and “upper-sourcing and lower-reservoiring” type oil-gas pools (i.e. the oil-gas pools with the source rocks in the 3rd member of Shahejie Fm and reservoir rocks in the 4th member of Shahejie Fm). Their reservoiring process is controlled dominantly by charging stages, fluid dynamic systems and evaporite layers. The continuous late-stage charging has provided huge quantities of hydrocarbons for deep reservoiring. The unique dynamic systems of overpressure fluid in deep strata have provided the driving force for hydrocarbons migration and accumulation. The control of evaporites on oil and gas accumulations is represented by (1) acting as regional seal rocks, (2)

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目 (G1999043309)**第一作者简介:** 宫秀梅, 女, 31 岁, 博士生, 油气成藏和分布规律**收稿日期:** 2005-07-25

delaying the diagenetic process of underlying strata and improving the poroperm characteristics of reservoir rocks and (3) conducing to the fomation of overpressure fluid systems Therefore the strata overlain by evaporites are favorable targets for deep oil and gas exploration

Key words reservoiring characteristics; main controlling factor; deep layer; Bonan sag

近年来,我国东部陆相断陷盆地在深层领域的油气勘探取得了令人瞩目的成果,充分显示出深层油气勘探领域的巨大潜力。然而,相对于中浅层而言,埋藏深度的增加所带来的地下流体物理、化学等条件的变化,使经历了复杂构造变动的渤海湾盆地表现出烃源岩生烃演化的不连续性和阶段性,从而导致了东部深层领域油气成藏条件及特征表现出差异性和多样性,为认识深层油气富集规律带来了很大的困难。深入分析深层油气成藏条件及成藏特征,揭示其成因机制和控制因素,对预测深层油气藏的分布规律具有重要意义。

1 地质概况

渤南洼陷位于渤海湾盆地济阳坳陷沾化凹陷东部,北起埕南断层,南至罗家断层,东达孤西断层,西邻义和庄凸起(图 1),主要目的层是古近系沙河街组三段和四段^[1-2],面积约 350 km²。作为沾化凹陷东部的三级负向构造单元,渤南洼陷接受了巨厚的中、新生代断陷-坳陷湖盆沉积,整体为一北陡南缓、北东走向的箕状洼陷,内部有近垂直于洼陷走向的孤西断裂带和渤南断裂带。该洼

陷可分成 4 个构造单元,由北向南依次是埕南断裂带、渤南深洼带、渤深 4 断阶带和南部斜坡带,其中深层油气藏(埋深大于 3 500 m)主要分布在渤南深洼带和渤深 4 断阶带。截止 2000 年,作为胜利油区深层重点勘探区域之一的渤南洼陷,其深层的石油资源量为 1.96×10^8 t 天然气资源量为 155×10^8 m³,目前已探明的石油地质储量仅为 446×10^4 t^[3],充分展示出渤南洼陷深层具有良好的剩余油气资源潜力。

2 成藏特征

生油条件是沉积盆地油气藏形成的物质基础,其丰富程度决定于生油岩的体积、有机质数量、类型和成熟度等因素。受沉积构造格局的影响,洼陷内气候温暖潮湿,各种生物十分繁盛,主要物源来自洼陷南部的孤岛凸起,形成了以暗色泥岩为主的多套浅湖-深湖相砂泥岩、膏岩,厚度大于 400 m,有机碳含量为 0.90% ~ 2.39%,干酪根为 I 和 II 型(表 1)。深层主力生油层为沙河街组四段的烃源岩,生烃强度较大,在洼陷内部分布较为广泛;其中沙河街组四段上部的烃源岩主要呈长条形分布于洼陷

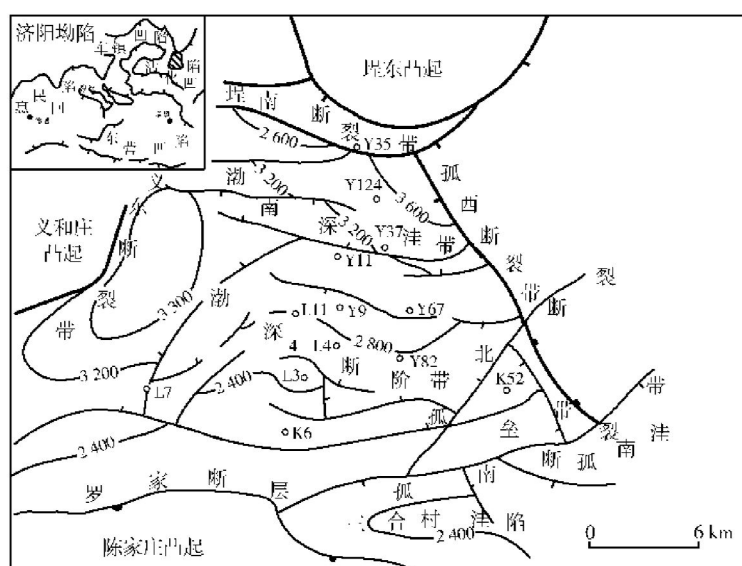


图 1 渤南洼陷深层构造图

Fig. 1 Deep structural map of Bonan sag

中北部, 烃源岩平均厚度为 65.6 m, 体积为 75.8 km³, 有机碳含量为 1.0% ~ 2.0%, 氯仿沥青“*A*”为 0.116% ~ 0.337 %^{*}。沙河街组四段的储集层类型较多, 位于洼陷中心的储集层主要是细砂岩、泥灰岩段, 而靠近盆地边缘的储集层则以砂砾岩为主, 孔隙度为 1.18% ~ 23.5%, 渗透率为 0.1 × 10⁻³ ~ 36.67 × 10⁻³ μm², 单层最大厚度 100 m, 总体上表现为中孔低渗特征。而且沙河街组四段上部的泥灰岩中还发育一定规模的裂缝, 为油气的运移起到了良好的输导作用。

根据洼陷内圈闭、烃源岩类型及生储盖组合方式的不同, 对洼陷内的深部油气藏进行了分类。1)按圈闭类型划分: 岩性圈闭油气藏, 这类油气藏在洼陷带内十分发育, 除了砂岩透镜体油气藏以外, 在洼陷边缘及洼陷中部构造上还发育了砂岩上翘尖灭油气藏, 如义 115 井的沙河街组四段岩性气藏 (图 2A); ④

复合圈闭油气藏, 主要是受多期构造运动的影响, 使深部各类沉积砂体和储集体均不同程度地被断层切割, 致使深层圈闭受到断层和岩性双重因素的控制, 如渤深 3 井、渤深 4 井油藏 (图 2A)。洼陷边缘也有该类油气藏发育。2)按烃源岩类型划分: 古近系腐泥型烃源岩油气藏, 该类型的油气藏在洼陷深部发育较多, 其烃源岩为古近系沙河街组三段、四段及孔店组二段。如渤深 3 渤深 4 渤深 5 义 115 义 121 义 160 义 170 义 17 井等 (图 2B)。④中、古生界煤成气藏, 其烃源岩为中、古生界的煤系地层, 储盖层可以是煤系自身, 也可以是新生界或下古生界等, 如义 155 井 (图 2B)。3)按生储盖组合类型划分, 主要是自生自储自盖型油气藏, 该类型在渤南洼陷最为常见, 凡是有烃源岩发育的层系都可以发育 (图 2C), 此外还有上生下储型油气藏, 如义 17 断块附近 (图 2B)。

渤南洼陷深层油气藏的分布也呈现出一定的

表 1 沙河街组三段、四段烃源岩有机地球化学指标

Table 1 Organic geochemical indicators of the source rocks in Es³ and Es⁴

地层	平均厚度 /m	体积 /km ³	有机碳含量 /%	氯仿沥青“ <i>A</i> ” /%	有机质类型
沙河街组四段上亚段	65.6	75.8	1.0~2.0	0.1160~0.3376	iv、③ ₁ 型
沙河街组三段下亚段	189.0	238.4	1.9~3.0	0.2177~0.5214	iv、③ ₁ 型
沙河街组三段中亚段	87.2	129.0	1.2~3.9	0.1075~0.6032	iv型为主, 边缘③ ₁ 型
沙河街组三段上亚段	40.1	30.5	1.9~3.1	0.1348~0.4599	iv型为主, 边缘③ ₁ 型

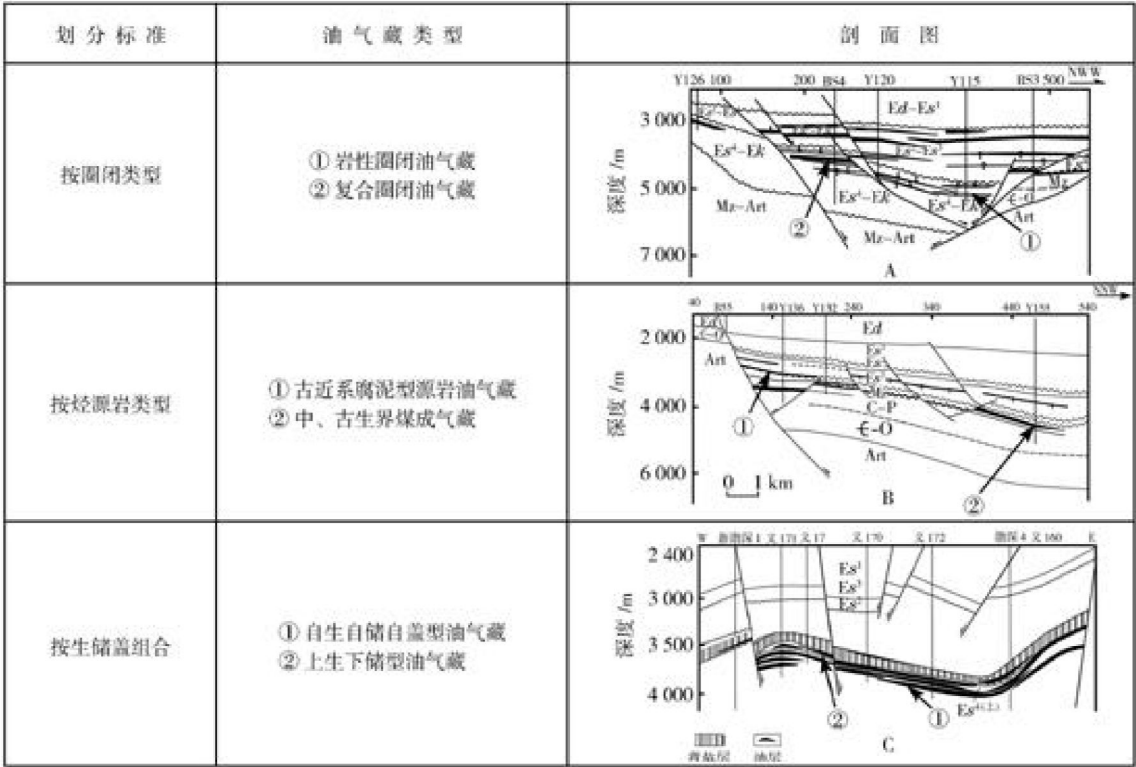


图 2 渤南洼陷深层油气藏类型

Fig. 2 Types of deep hydrocarbon reservoirs in Bonan sag

* 向奎. 济阳坳陷深层天然气成藏条件及勘探目标研究. 1994

规律性。岩性上,主要为砂岩、含砾砂岩,局部为灰岩和砾岩,而且在泥岩裂缝中也具有一定的油气显示。层位上,深层油气藏主要分布在沙河街组四段膏盐层之下,沙河街组三段和四段甚至中生界的油源,在膏盐层、泥岩与断层所形成的圈闭中聚集成藏。构造上,深层油气藏主要分布在渤南深洼带和渤深 4 断阶带。其中渤南深洼带主要表现为断块构造特征,如渤深 5 井所处的深层构造被近东西、北西西走向的南掉正断层所切割,形成向东北方向倾斜的断块构造,构造高点在渤深 5 井西南部,其南部的渤深 4 断阶带与沙河街组三段下部地层一起构成渤南深洼带的圈闭条件,油气藏类型为岩性油气藏、岩性-构造油气藏;渤深 4 断阶带内共发育 3 套相对稳定的含油层系,各含油层系之间被薄泥岩层所分隔,平面上呈条带状分布。总体而言,深部油气藏具有近油源特征,以垂向运聚成藏为主,侧向运聚成藏也较为发育。

3 控制因素

3.1 连续充注

油气成藏期是烃类流体运聚成藏的时限。成藏期次的确定一直是石油地质学研究中的难点^[4,5]。目前,对于成藏期次的确定,除了应用常规的石油地质分析手段以外^[6],普遍采用的是利用流体包裹体均一化温度确定油气成藏的期次^[7,8]。本次研究主要是根据储层流体包裹体均一化温度,结合埋藏史、热演化史特征,确定油气运聚成藏的期次及时间。研究中采集了 10 余口井的相关样品对包裹体各项参数进行测定,样品主要为沙河街组三段和四段灰白色中细砂岩,储层中的流体包裹体类型主要为气态烃包裹体、液态烃包裹体及盐水包裹体,其中烃类包裹体主要发育在硬石膏和石英次生加大边之中。结合前人的测试结果*,渤南洼陷的

包裹体均一化温度在沙河街组三段和四段存在一定的差别(图 3),沙河街组三段包裹体均一化温度分为两组,为 110~140℃和 150~180℃;沙河街组四段包裹体均一化温度分别为 110~160℃和 170~190℃,但峰值为 130~140℃。

以渤深 4 井为例,成烃史分析结果表明(图 4),沙河街组四段上部的烃源岩是在东营组开始沉积时才进入生油门限(R_o 为 0.5%),东营构造运动前达到成熟中期(R_o 为 0.5%~0.7%),目前已接近或达到了生油高峰(R_o 为 1.0%~1.3%)。而沙河街组三段下部的烃源岩在东营运动前埋藏最深时才进入成熟阶段(R_o 为 0.5%),目前处于中等成熟阶段(R_o 为 0.7%~1.0%),个别地区已达到了生油高峰期;沙河街组三段上部的烃源岩现今仍处于低成熟阶段。渤深 4 井沙河街组四段储层中的包裹体均一温度主要分布为 126.7~129.4℃和 141.7~151℃。结合样品的沉积埋藏史及渤南洼陷整个地区沙河街组四段均一温度测试结果,认为油气在东营组沉积开始不久(约 30Ma)到最近 5Ma 一直处于连续充注状态。其他井的情况基本类似。这种连续充注的结果主要归功于现今已达到生排烃高峰的沙河街组四段烃源岩,为深层油气成藏提供了充足的物质基础,从而增加了寻找深部油气的可能性。

3.2 特殊的流体动力

3.2.1 现今压力场

根据试油和测井资料统计,洼陷内不同层系的地层压力总体上表现为:深度为 3 000~4 000 m,属于异常压力带,其中 3 500~4 000 m 为异常高压带,其余深度段基本上为正常压力,略有低压特点(图 5)。研究中采用压力梯度(r)^[6]概念反映地层压力的变化,考虑到测量和计算的误差,认为 r 小于 0.9 为异常低压; r 为 0.9~1.1 时,属正常压力; r 为 1.1~1.5 时,属异常高压; r 大于

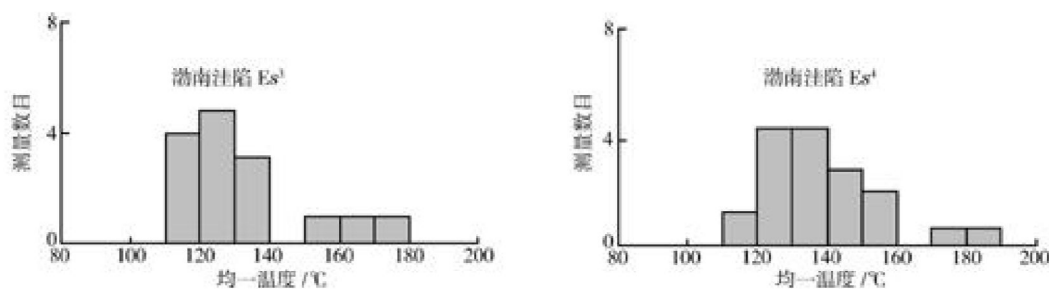


图 3 渤南洼陷包裹体均一温度分布直方图

Fig. 3 Histogram of homogenization temperature distribution of fluid inclusions in Bonan sag

* 蔡进功, 谢忠怀, 田芳. 济阳、昌潍坳陷第三系深部砂岩储层成岩演化特征及新方法研究. 1996

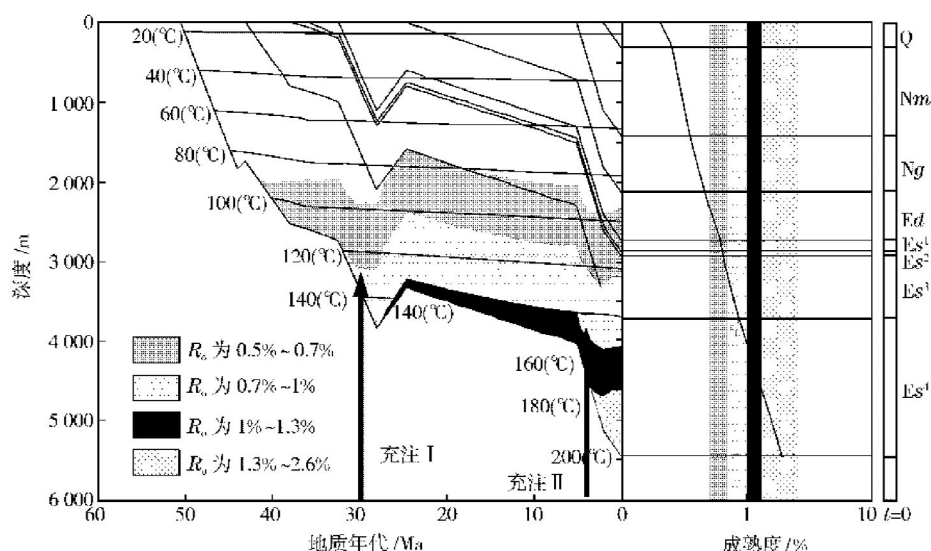


图 4 渤深 4 井油气成藏史图

Fig. 4 Diagram showing reservoiring history of oil and gas in Boshen 4 well

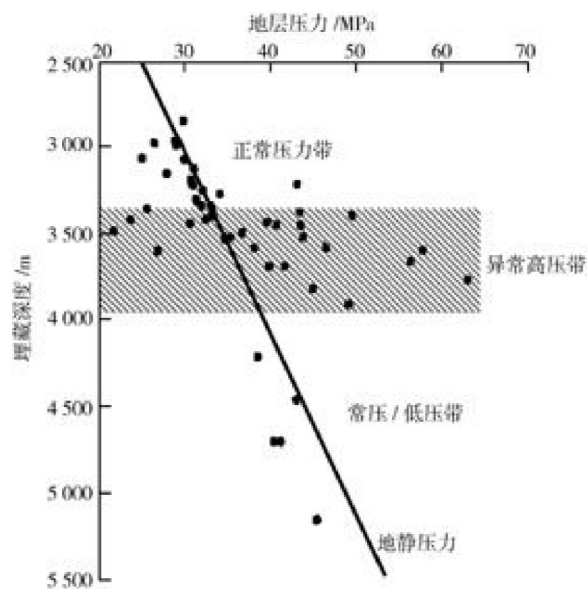


图 5 渤南洼陷地层压力随深度变化图

Fig. 5 Formation pressure vs depth in Bonan sag

1.5 为超高异常压力。根据上述概念计算得出压力梯度在不同层位上的分布特征^{*}, 即沙河街组三段大部分地区的地层压力表现为正常压力, 但在义 441 井、义 83 井、义 251 井、义深 8 井及义 282 井附近存在异常高压, 最高为义 441 井 (每百米为 1.63 MPa)。此外, 在义 119 井和义 172 井附近也有异常高压, 压力梯度分别为每百米 1.30 和 1.40 MPa。而靠近洼陷边缘地区的义深 7 井、义 107 井及义 136 井、义 101 井、义 97 井、义 99 井、义 36 井等附近存在异常低压现象, 压力梯度每百米为 0.62~0.89 MPa。

沙河街组四段在义 17 井、义 160 井、义 901 井和义 633 井具有异常高压, 压力梯度为每百米 1.50 MPa 以上, 但异常高压分布的范围明显比沙河街组三段小^{*}, 异常低压区主要集中在洼陷东部的义 160 井、北部的义 108 井及西部的义深 7 井附近, 压力梯度为每百米 0.69~0.75 MPa。

3.2.2 流体动力系统

异常高压对深层油气藏的形成构成重要影响。由于异常高压的存在, 导致深层油气运移和聚集特征与中浅层有着很大的区别。在世界许多含油气盆地中, 深层流体动力系统普遍表现为超压型或超压-低压型, 如北海盆地现今深部地层压力主要为超压状态^[9]。而渤南洼陷深层则表现出不同的特征, 即根据洼陷深层的温度^{*}、压力及流体性质^{*}等特征, 剖面上存在两个流体动力系统, 即深层上部超压流体动力系统和深层下部常压-低压流体动力系统 (图 6)。其中上部流体动力系统主要分布在沙河街组三段下部和沙河街组四段上部 (埋深 3500~4000 m), 为一超压的封闭的流体动力系统; 而下部流体动力系统位于沙河街组四段下部及中生界和古生界中 (埋深 4000 m 之下), 局部位于沙河街组四段上部, 为常压-低压封闭的流体动力系统。

深层流体动力系统对油气成藏具有一定的影响。在超压流体动力系统中, 系统内部流体运动较弱, 而当系统内的压力达到破裂压力时, 流体则会发生幕式垂向运移, 与其他系统发生联系^[10~13]。

^{*} 曾溅辉, 邱楠生, 宫秀梅, 等. 济阳、昌潍坳陷深层 (Ek-E₄) 油气成藏机理及模拟实验研究. 2003

通过二维油气运移聚集物理实验,模拟具有异常高压的渤深 4 断阶带内的油气运聚特征。实验结果验证了具有足够大异常压力的流体,能够冲破其下部膏盐层和断层在垂向上、侧向上的封堵,与沙河街组三段下部的生油岩在顶部相通,使沙三段的原油沿断层向左右两侧的沙河街组四段储层运移聚集*。

对于埋深在 4 000 m 以下的常压-低压流体动力系统,其内部的油气运移聚集与中、浅层基本一致。油气运移的动力主要为浮力。根据地质条件的不同,可发生侧向运移和(或)垂向运移,但一般运移强度和运移的距离都不大。这也是济阳坳陷潜山油气藏和中、古生界油气运聚成藏的主要特征。

3.3 膏盐层发育特征

沉积环境对于地层岩性的发育及分布具有非常重要的影响。沙河街组四段沉积早期的温暖潮湿演变成晚期的干旱气候,蒸发量大于降雨量,形成了以间歇性盐湖——盐湖相为主的膏盐层沉积,从而影响了深层油气的成藏特征。膏盐层在层位上主要分布在沙河街组四段上部,平面上以渤深 5 井和义 120 井、新渤深 1 井为中心(图 7),累积沉积厚度相对较大,渤深 5 井膏盐层单井累积厚度最大,达 186 m^[14]。在东西方向上,膏盐层连续性较好,从洼陷中心向南厚度逐渐变薄。这种大规模发育的膏盐层具有很强的封堵能力,可阻止其下的油气向上逸散,从而为深层油气藏的

形成起到很好的区域性盖层作用。

据综合录井资料统计,洼陷内钻遇膏盐层的探井共 48 口,其中有 10 口探井的膏盐层内见到油气显示,以油斑为主,局部还有荧光显示,集中出现在埋深 3 000 m 以下的膏岩、膏泥岩、灰质膏泥岩段内。在膏盐层下部,由于膏岩本身的物理性质,即热导率高,隔热性差等特点,致使其下部地层热量容易散失,成岩作用缓慢,有助于提高砂岩的孔隙度,为油气运聚提供良好的储集空间。如发育在洼陷中心部位的渤深 4 井,在膏盐层下部的储层岩性以较细的砂岩为主,平均孔隙度为 10.0%,渗透率为 $2.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,孔隙胶结;义 160 井膏盐层下部(沙河街组四段)岩性多为含砾砂岩、粉细砂岩、少量泥质粉砂岩、泥质砂岩,在整个渤南地区东部沉积稳定,分布较广泛;义 171 井在膏岩层下部的储层岩性多为含砾砂岩、细砂、粉细砂岩及泥质、灰质砂岩、粉砂岩,储层孔隙度为 1.18%~20.87%,渗透率为 $0.1 \times 10^{-3} \sim 96.93 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,储层相对较好。

渤南洼陷膏盐层的发育对于异常压力的形成具有一定的影响。据岩性综合柱状图及试油资料显示,洼陷内石膏含量相对较多的地方通常具有异常压力。如洼陷内的超压流体动力系统(3 500~4 000 m),其深度范围也恰恰是该洼陷内膏盐层集中发育的部位。另外,在这一深度范围内也发现了压力异常的单井,如义 171 井在埋深 3 514.5 m 处,

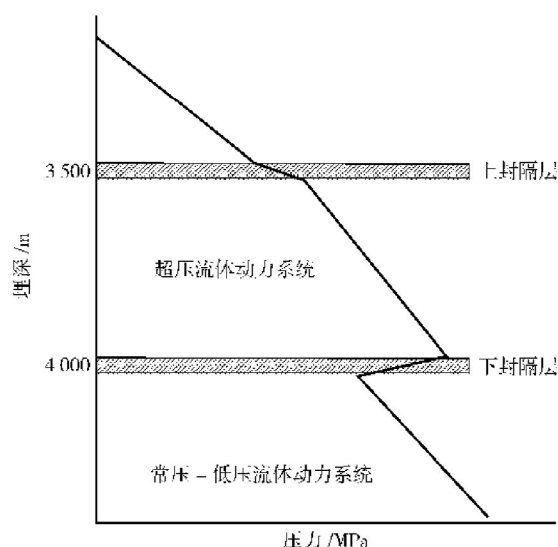


图 6 渤南洼陷深层流体动力系统示意图

Fig. 6 Sketch map showing deep fluid dynamic systems in Bonan sag

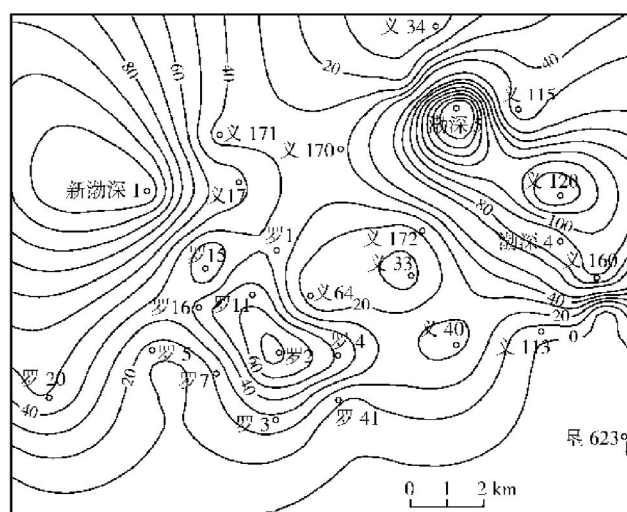


图 7 渤南洼陷膏盐层累积厚度等值线图

Fig. 7 Contour map of cumulative evaporite thickness in Bonan sag (unit: m)

* 曾贇辉, 邱楠生, 宫秀梅, 等. 济阳、昌潍坳陷深层 (E_k-E_{s4}) 油气成藏机理及模拟实验研究. 2003

压力系数达 1.71,膏盐层累积厚度 35.5m;义 64 井的膏盐层在埋深 3 228.5 ~ 3 275 m,压力系数高达 1.73,渤深 4 井的膏盐层在埋深 3 753 ~ 3 934 m,压力系数为 1.26。膏岩累积厚度为 73 m,岩性以膏泥岩,含膏砂、泥岩为主;义 17 井、义 160 井和罗 17 井的压力系数都比较高,基本处于 1.7 左右。如此高的地层压力可能与石膏的转化、脱水所导致的泥岩孔隙压力增加有关,从而在泥岩中形成欠压实带。同时异常压力的形成也为油气运移提供了动力,促使油气向发育好的圈闭体中聚集成藏。

膏盐层的发育对油气成藏也具有一定的控制作用。发育在渤南洼陷的深层油气藏,由于受膏盐层的发育规模及周围断层发育程度、油源是否充足、储盖配置等因素的影响,表现出不同的成藏特征。当膏盐层发育较好,其下的沙河街组四段油源相对比较充足时,如遇到一侧或两侧有断层封堵,则可聚集成藏。另外,膏盐层与断层的配置对于油气成藏也起到了关键作用。如果在膏盐层内发育的储层,南北两侧受断层控制,被封堵,同时自身的油源条件又比较差,则不利于油气成藏。如发育在义 115 井膏盐间的储层砂体相对比较发育,两侧受断层封堵,致使该套储层没有充足的油源供给。钻探结果也证实该储层未见油气显示。

综上所述,渤南洼陷深层发育的膏盐层不仅起到区域性盖层的作用,而且对于改善深部储层物性、形成异常压力、控制深层油气藏形成及分布等都具有非常重要的影响,因此,渤南洼陷深层油气藏的形成与膏盐层的发育关系密切。

参 考 文 献

- 何海清,王兆云,程玉群. 渤海湾盆地深层石油地质条件分析[J]. 沉积学报, 1999, 17(2): 273~279
He Haiqing, Wang Zaoyun, Cheng Yuqun. Petroleum geology condition analysis to the deep zone of Bohai Bay basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1999, 17(2): 273~279
- 谯汉生,方朝亮,牛嘉玉,等. 中国东部深层石油地质[M]. 北京:石油工业出版社, 2002 254~255
Qiao Hansheng, Fang Chaoliang, Niu Jiayu, et al. Petroleum geology of the deep horizons in East China[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002 254~255
- 田克勤,于志海,冯明,等. 渤海湾盆地地下第三系深层油气地质与勘探[M]. 北京:石油工业出版社, 2000 250~251
Tian Keqin, Yu Zhihai, Feng Ming, et al. Geology and exploration of hydrocarbon in Paleogene deep zone of Bohai Bay basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2000 250~251
- 刘斌,沈昆. 流体包裹体热力学[M]. 北京:地质出版社, 1999 25~42
Liu Bin, Shen Kun. Thermodynamics of fluid inclusions[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1999 25~42
- Shepherd T, Rankin A H, Alderton D H M. A practical guide to fluid inclusion studies[M]. New York: Chapman & Hall, 1985 63~77
- 张厚福,方朝亮,高先志,等. 石油地质学[M]. 北京:石油工业出版社, 1999 148~149
Zhang Houfu, Fang Chaoliang, Gao Xianzhi, et al. Petroleum geology[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1999 148~149
- 潘长春,周中毅,解启来. 油气和含油气包裹体及其在油气地质地球化学研究中的意义[J]. 沉积学报, 1996, 14(4): 15~23
Pan Changchun, Zhou Zhongyi, Xie Qilai. Hydrocarbon inclusions: implications to petroleum geology and geochemistry[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1996, 14(4): 15~23
- 蒋有录,刘华,张乐,等. 东营凹陷油气成藏期分析[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(3): 215~218
Jiang Youlu, Liu Hua, Zhang Yue, et al. Analysis of petroleum accumulation phase in Dongying sag[J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(3): 215~218
- Hunt J M. Generation and migration of petroleum from abnormally pressured fluid compartments[J]. Bull, 1990, 74(1): 1~12
- 解习农,王其允,李思田. 沉积盆地泥质岩石的水力破裂和幕式压实作用[J]. 科学通报, 1997, 42(20): 2 193~2 195
Xie Xinong, Wang Qiyun, Li Sitian. Hydrofracturing and episodic compaction of muddy rocks in sedimentary basin[J]. Chinese Science Bulletin, 1997, 42(20): 2 193~2 195
- 曾溅辉,郑和荣,王宁. 东营凹陷岩性油气藏成藏动力学特征[J]. 石油与天然气地质, 1998, 19(4): 326~329
Zeng Jianhui, Zheng Herong, Wang Ning. Pool forming dynamic property of lithological oil/gas reservoirs in Dongying sag[J]. Oil & Gas Geology, 1998, 19(4): 326~329
- 解习农,刘晓峰. 超压盆地流体动力系统与油气运聚关系[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2000, 19(2): 103~108
Xie Xinong, Liu Xiaofeng. Related to black shale series fluid dynamic system and relationship with accumulation of hydrocarbon in overpressured basin[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2000, 19(2): 103~108
- 邱楠生,方家虎. 热作为油运移动力的物理模拟实验[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(3): 210~214
Qiu Nansheng, Fang Jiahu. Physical simulation for petroleum migration in thermodynamic system[J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(3): 210~214
- 宫秀梅,曾溅辉. 渤南洼陷古近系膏盐层对深层油气成藏的影响[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(5): 24~27
Gong Xiumei, Zeng Jianhui. Impact of Paleogene evaporates on hydrocarbon accumulation in deep Bonan sub-sag Jiyang depression[J]. Petroleum Exploration & Development, 2003, 30(5): 24~27

(编辑 高岩)