

文章编号:0253-9985(2004)04-0448-04

东营凹陷岩性油气藏动态成藏过程

万晓龙^{1,2}, 邱楠生², 张善文³

(1. 长庆油田公司勘探开发研究院, 陕西西安 710021; 2. 石油大学教育部石油天然气成藏重点实验室, 北京 102249;

3. 中国石化胜利油田有限公司, 山东东营 257061)

摘要:利用流体包裹体均一温度, 结合埋藏史和古地温资料, 对东营凹陷牛35砂体和营11砂体成藏的动态过程进行了研究。通过砂体埋藏史、热史和油气充注史动态模拟, 系统分析了烃源岩演化、砂体孔隙度、渗透率演化、油气充注时期及超压的形成时期等。综合分析后认为, 砂体在90℃的古温度和17 MPa的古压力条件下, 利于形成岩性油气藏。在成藏过程中或成藏后, 油气的大量充注会导致地层超压的形成。处于不同成藏系统中的砂体, 其充满度以及压力系数不一致。在油源充足情况下, 深层封闭成藏系统中易形成高充满度、高压力系数的透镜状岩性油气藏; 而在半开放成藏系统中会形成充满度中等、压力系数较高的岩性油气藏。

关键词:流体包裹体; 东营凹陷; 岩性油气藏; 动态成藏; 成藏系统

中图分类号:TE112.322

文献标识码:A

A study on dynamic reservoiring process of hydrocarbon in lithologic reservoirs in Dongying depression

Wan Xiaolong^{1,2}, Qiu Nansheng², Zhang Shanwen³

(1. Exploration and Development Research Institute of Changqing Oilfield Company, PetroChina, Xi'an, Shaanxi;

2. Key Laboratory for Mechanism of Hydrocarbon Accumulation, University of Petroleum, Beijing;

3. Shengli Oilfield Co. Ltd., SINOPEC, Dongying, Shandong)

Abstract: Dynamic reservoiring process of hydrocarbon in Niu-35 and Ying-11 sandbodies in Dongying depression have been studied by using homogenization temperature of fluid inclusion, in combination with burial history and palaeogeothermal data. This paper systematically analyzes the evolution of source rocks, porosity and permeability evolution of sandbodies, the time of hydrocarbons charging into the sandbodies, and the time of overpressure being formed on the basis of dynamic modeling of burial, thermal and hydrocarbon-charging histories. Based on comprehensive analysis, it is believed that a palaeotemperature of 90℃ and a palaeopressure of 17 MPa are favorable for the formation of lithologic reservoirs. Charging of large amount of hydrocarbons during-after reservoiring can lead to overpressured formations. sandbodies located in various reservoiring systems would have different fill factors and pressure coefficients. When sources of hydrocarbons are abundant, lenticular lithologic reservoirs with high fill factor and large pressure coefficient can be formed in deep and closed reservoiring systems, while lithologic reservoirs with moderate fill factor and relatively high pressure coefficient can be formed in half-open reservoiring systems.

Key words: fluid inclusion; Dongying depression; lithologic reservoir; dynamic reservoiring; reservoiring system

无论是构造油气藏还是岩性油气藏, 其形成是一个动态的地质历史过程。通过流体包裹体测试, 结合热史演化及储层埋藏史的分析, 可以进行

油气藏动态成藏过程的研究。

流体包裹体含有丰富的成藏成矿信息, 烃类流体包裹体是油气运聚成藏历史的最好记录^[1]。

基金项目:国家“十五”科技攻关项目“济阳拗陷复杂隐蔽油气藏地质评价和关键技术研究”(2001BA605A09)

第一作者简介:万晓龙, 男, 26岁, 硕士, 油气田开发

收稿日期:2004-04-16

运用流体包裹体特征研究油气藏注入史已证明是研究油气成藏过程的一个有效途径和手段^[2~6]。通过东营凹陷牛 21、牛 101、史 106 井等 8 口井沙河街组三段(以下简称沙三段)样品的包裹体测试,东营凹陷包裹体主要赋存于 SiO_2 填隙物、石英次生加大边及石英粒内裂缝矿物颗粒中,包裹体一般 $1 \sim 7 \mu\text{m}$,大多数为 $2 \sim 6 \mu\text{m}$ 。包裹体均一温度为 $100 \sim 180^\circ\text{C}$,主要分布范围为 $110 \sim 160^\circ\text{C}$ (图 1)。在此基础上,即可结合热史和储层埋藏史的恢复,确定包裹体形成时的埋藏深度及油气藏的成藏年代。现以东营凹陷的牛 35 砂体以及营 11 砂体为例,分析岩性油气藏成藏动态过程。

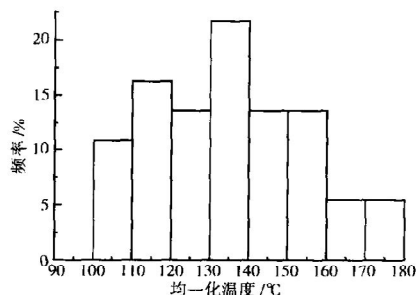


图 1 东营凹陷沙三段流体包裹体均一温度分布频率
Fig.1 Distribution frequency of homogenization temperature of fluid inclusion in the 3rd member of Shahejie Formation in Dongying depression

1 岩性油气藏油气充注史

1.1 牛 35 砂体

牛庄油田位于东营凹陷中央背斜带以南的牛庄—六户洼陷。洼陷内暗色泥岩中的透镜状砂岩体广布。目前,洼陷内所有探井几乎都见有油气或获得工业油流,属典型的岩性油气藏。油气藏主要油层分布比较分散,油层厚度和大小分布不规则,主要储集体为沙三段三角洲砂岩体、滑塌堆积体和冲积扇体。

1.1.1 油气充注时期

通过东营凹陷沙三段包裹体均一温度(图 1)分析,结合牛 35 砂体埋藏史、热史和生烃史的恢复(图 2),牛 35 砂体在地质历史时期发生两期油气充注,Ⅰ期始于东营初期,至东营末期结束;Ⅱ期油气充注从馆陶末期,直至今今。但油气主要充注时期是从明化镇中后期(7 Ma)开始,此时烃源岩成熟($R_o = 0.7\%$),进入生油高峰,油气大量充注。

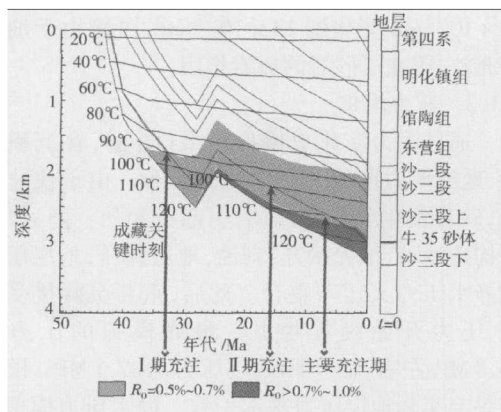


图 2 牛 35 砂体埋藏史、热史和油气充注史

Fig.2 Burial, thermal and hydrocarbon-charging histories of Niu 35 sandbody

1.1.2 孔隙度、渗透率演化

牛 35 砂体的温度、孔隙度的演化模拟结果表明(图 2,3),牛 35 砂体地层温度为 114°C ,模拟结果为 119°C 左右,两者很接近。总体上,孔隙度随沉积时间的增大而减小(图 3)。由于地层抬升使得孔隙度在 $28 \sim 15 \text{ Ma}$ 期间基本保持不变,直到重新沉降接受沉积达到抬升前的深度(2500 m)时,孔隙度再次降低。牛 35 井孔隙度的模拟结果(15.2%)比现今值(18.7%)偏低。可能是由于地层中油气充注后,抑制了砂岩的成岩作用,使得孔隙度降低速度变慢^[7,8]。

渗透率的模拟结果为 $13 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 与现今值($12.3 \times 10^{-3} \sim 12.8 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$)基本一致(图 3)。在砂岩埋藏初期约 5 Ma 内,渗透率从地表处的 $35 \mu\text{m}^2$ 急剧降低到 $20 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,此后,渗透率缓慢变化,变化幅度极低,从 36 Ma 至今,渗透率仅仅从

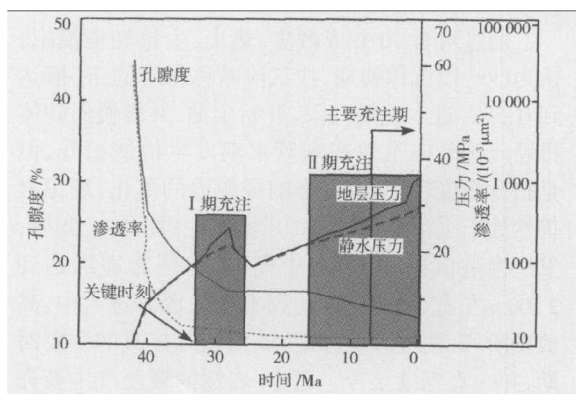


图 3 牛 35 砂体动态成藏过程

Fig.3 Dynamic reservoiring process in Niu 35 sandbody

$20 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 变化到 $13 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 可能由于油气的充注, 阻止了砂岩的成岩作用。

1.1.3 压力演化

通过压力演化史模拟结果(图3), 在沉积初期, 地层压力曲线与静水压力重合。由于快速沉降, 砂岩发生欠压实作用, 引起了超压。随后, 发生构造运动, 地壳抬升、剥蚀, 地层卸压, 地层压力和静水压力又逐渐重合。此后, 重新沉降接受沉积, 压力开始缓慢增长。最终模拟的压力为36.8 MPa左右, 而实际地层压力为37.1 MPa。模拟结果与实际地层压力基本一致。静水压力模拟结果为30.0 MPa, 地层压力为36.8 MPa, 计算得到的压力系数为1.23, 与实际测得的压力系数1.24基本一致。

牛35砂体的成藏关键时刻的古温度为90℃, 古压力、孔隙度以及渗透率分别为17 MPa, 20%, $100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (图2,3)。

牛35砂体总体充满度(砂体充满度是指含油砂体体积占砂体总体积的百分含量)较高, 达到70%左右。

1.2 营11砂体

东营凹陷东辛构造带西南部的营11地区, 分布着我国东部盆地最大的砂岩透镜体岩性油藏——营11砂岩透镜体油藏。受郯庐断裂带的影响, 本区具有较高的地温梯度, 平均地温梯度在35℃/km以上, 有利于下第三系生油层的热演化。营11砂体在构造上属于东辛、郝家、现河庄构造断裂带之间洼陷的中央地带, 是典型的深湖—半深湖相的沙三中下段浊积砂体。营11砂体几乎整体含油, 充满度达到94.1%。

1.2.1 油气充注时期

通过对营70井成藏史、热史、生排烃史模拟, 认为沙一段沉积初期, 沙三段暗色泥岩的 R_o 值达到0.5%, 进入生烃门限, 开始生油, 并缓慢向砂体排烃。该砂体虽然在东营末期发生构造抬升, 但是抬升幅度较小, 没有影响烃源岩的演化, 烃源岩仍然处于生油阶段, 油气开始充注(图4)。此后, 发生构造沉降, 至馆陶中期, 砂体围岩埋深达到2500 m左右, 地层温度达到110℃, 源岩进入中、高成熟阶段, 油气大量排出, 成为油气成藏的主要时期, 并一直延续至今。营11岩性油藏油气主要充注时间长, 地层压力高, 压力系数达到1.57, 含油充满度高。

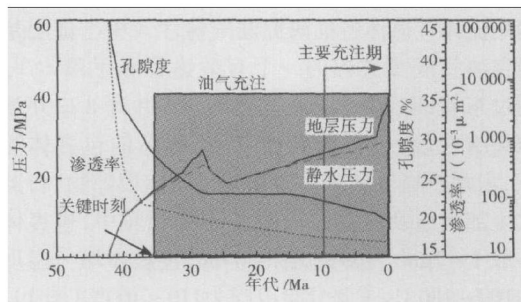


图4 营11砂体动态成藏过程

Fig.4 Dynamic reservoiring process in Ying 11 sandbody

1.2.2 压力演化特征

营11砂体在沉积初期, 地层压力曲线与静水压力重合(图4)。沙一段沉积末期, 由于地层快速沉降, 地层产生欠压实作用, 形成超压。至东营中期, 发生构造运动, 地壳抬升、剥蚀, 地层卸压, 地层压力曲线和静水压力又逐渐重合。此后, 地层再次沉降接受沉积, 压力开始缓慢增长。同时由于油气的不断充注, 逐渐形成超压。至明化镇中期, 地层温度达到110℃, 暗色泥岩的 R_o 值达到0.7%, 烃源岩进入中、高成熟阶段, 油气大量生成, 泥岩与包围于其中的砂体之间的地层压差增大, 即成藏动力增大, 油气大量充注, 油气藏逐渐形成, 地层压力快速增大。

营11砂体最终模拟的压力为39 MPa, 而实际地层压力为49 MPa, 模拟结果与实际地层压力差别较大。原因有两点: ①模拟所选用的是营67井的资料, 营67井穿过营11砂体的深度约为2950 m左右, 而所测得的地层压力是在3200 m处的营11-20井的数据, 不是同一个深度的数据, 没有可比性, 若按照模拟结果计算3200处的地层压力, 约为43 MPa; ②模拟的古压力仅考虑地层压实和欠压实的情况, 因此推测可能由于油气充注引起部分异常高压。

从图4中, 我们得出营11砂体油气充注成藏的关键时刻的古压力、孔隙度以及渗透率分别为17 MPa, 28%, $70 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

通过对牛35砂体和营11砂体油气充注成藏的关键时刻的一些参数分析, 认为砂体在90℃的古温度和17 MPa的古压力条件下, 利于形成岩性油气藏。

总之, 东营凹陷沙三段源岩现今还处于中—高成熟阶段, 油气还处于生油高峰。包围在烃源

岩中透镜状砂岩体以及生油层本身都处于高压状态,且压力平衡。当油气经过初次运移聚集形成高压后,突破了砂岩透镜体的突破压力,致使储层中石英或长石出现微裂缝,油气通过这些微裂缝通道运移至储层中^[9]。东营凹陷沸腾包裹体的发现,证实了油气脉动式成藏过程^[10]。随着油气的排出,烃源岩和砂岩透镜体的压力又恢复平衡,当烃源岩中的压力随着生烃的不断进行而增大,可能再次突破砂岩透镜体的突破压力,再次发生油气充注砂岩透镜体现象,直至烃源岩中的油气“衰减”或砂岩透镜体充满油为止。因此,东营凹陷许多透镜状砂岩体的油气充注从东营末期一直持续到现今,也就是说该区油气成藏时间始于东营末期,延续至今。其中,主要油气充注期始于馆陶中期。

上述油气充注模式可能是牛庄油田透镜状砂岩体的成藏特点之一。这种油气充注方式与成藏动力以及砂体本身储集物性有密切联系,是造成这类砂体充满度不一的原因。

2 不同成藏系统中的油藏特征

通过牛35砂体和营11砂体的模拟参数与实际数据比较,得出两个砂体的模拟压力具有较大差别。经分析,认为牛35砂体和营11砂体分属于两个不同的成藏动力系统。牛35砂体有断层沟通,属于半开放的成藏系统,而营11砂体属于深层封闭成藏系统。

由于周围泥岩的生烃作用,导致泥岩流体压力大于砂岩的流体压力,在该压力差作用下,油气不断进入砂体,直至压力平衡。由于岩石是亲水的,因此,砂岩体内水的流动比油更容易,水向外排出,而油保存下来形成油气藏。

曾溅辉^[11]认为,东营凹陷埋藏较深的砂岩透镜体的成藏动力为压实作用所产生的地层压差。牛35砂体在成藏过程中,由于构造运动的作用,砂体被断层所切割,压力平衡系统破坏,导致砂泥岩之间的地层压差减小,即成藏动力减小。油气不能完全充注整个砂岩体,砂岩体内可能会滞留一些边水或底水。该类油气藏的充满度中等至较高^[12],其压力系数也不会很高。

营11砂体在成藏过程中虽然也经历构造运动,但是构造幅度小,没有破坏砂体的完整性。营11砂体始终处于压力封存箱之中。随着生烃作用不断增强,压力平衡系统被破坏,泥岩中生成的烃

类不断充注砂体,直至砂体内的水不能排出,成为束缚水,压力达到平衡。故油藏开采时,该类油藏基本没有边水或底水。若生烃作用较强(成藏动力大),该类砂体会形成高充满度、高压系数的岩性油气藏。

3 结论

东营凹陷许多透镜状砂岩体的油气充注从东营末期一直持续到现今。透镜状砂岩体动态成藏过程与砂体本身物性、油源条件、油气充注方式以及成藏系统等密切相关。在砂体成藏过程中,油气充注制约着砂体储集物性的变化,并导致地层超压的形成。处于不同成藏系统的砂体,其充满度以及压力系数不一致。在油源充足情况下,深层封闭成藏系统中的砂体,易形成高充满度、高压系数的透镜状岩性油气藏;半开放成藏系统中的砂体,形成充满度中等、压力系数较高的岩性油气藏。

参 考 文 献

- 1 邱楠生,张善文,金之钧. 东营凹陷油气流体运移模式探讨——来自沸腾包裹体的证据[J]. 石油实验地质, 2001, 23(4): 403 ~ 407
- 2 赵靖舟. 油气包裹体在成藏年代学研究中的应用实例分析[J]. 地质地球化学, 2002, 30(2): 83 ~ 89
- 3 王红军,蔡迎春. 流体包裹体常规特征在油气成藏研究中的应用[J]. 石油勘探与开发, 2000, 27(5): 50 ~ 52
- 4 柳少波,顾家裕. 包裹体在石油地质研究中的应用与问题探讨[J]. 石油与天然气地质, 1997, 8(4): 326 ~ 331
- 5 赵靖舟,戴金星. 库车前陆逆冲带天然气成藏期与成藏史[J]. 石油学报, 2002, 23(2): 6 ~ 11
- 6 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
- 7 Franks S G, Forester R W. Relationships among secondary porosity, pore-fluid chemistry and carbon dioxide, Texas Gulf Coast [A]. In: McDonald D A, Surdam R C. Clastic diagenesis [C]. AAPG Memoir, 1984, 37(3): 63 ~ 79
- 8 曾溅辉. 东营凹陷第三系水-盐作用对储层孔隙发育的影响[J]. 石油学报, 2001, 22(4): 39 ~ 43
- 9 邱楠生,胡文喧. 东营凹陷油气充注历史的流体包裹体分西[J]. 石油大学学报(自然科学版), 2001, 24(4): 95 ~ 97
- 10 邱楠生,金之钧. 油气成藏的脉动式探讨[J]. 地学前缘, 2000, 7(4): 561 ~ 567
- 11 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
- 12 隋凤贵. 断陷湖盆陡坡带砂砾岩扇体成藏动力学特征——以东营凹陷为例[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(4): 335 ~ 340