

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

松辽盆地三肇凹陷青山口组泥岩盖层 封闭能力形成时期

付广 陈章明 王朋岩 吕延防

(大庆石油学院勘探系, 黑龙江安达, 151400)

内容提要 泥质岩盖层并非沉积开始就具有封闭油气能力的,而是随其埋深增加,压实成岩程度增强、粘土矿物转化脱水及有机质向烃类演化到一定阶段才开始具封闭油气能力的。本文在对盖层各种封闭能力进行地史恢复的基础上,确定出三肇凹陷青山口组泥岩盖层的毛细管、压力和烃浓度封闭能力开始形成时期分别为青山口组沉积末期、青山口组沉积末期和嫩江组四段沉积末期,都远远晚于上侏罗统气源岩的排气期(侏罗系沉积末期),因此,造成上侏罗统天然气的大量散失,这可能是该区只找到了一些中小型气田,而找不到大气田的重要原因。

关键词 泥质岩盖层 封闭能力 封闭能力形成时期 松辽盆地 三肇凹陷 青山口组

盖层作为天然气成藏的重要组成要素之一,越来越受到人们的重视,大量的研究表明,盖层对天然气聚集的控制作用,不仅仅取决于其封闭能力的强弱,而且还要受到其封闭能力形成时期与气源岩排气期的匹配关系的好坏的制约,后者较前者更为重要,在某种程度上决定一个盆地或一个地区天然气的有无及数量的多少。盖层封闭能力形成时期只有早于或与气源岩排气期同时形成时,才能有效地封闭天然气形成大气田,否则盖层封闭能力再强也不能有效地封闭天然气形成大气田。盖层所具有的封闭机理不同,对天然气形成封闭能力的时期也不尽相同,因此,它们对不同相态的天然气的聚集与散失所起的作用也不相同。

本文通过松辽盆地三肇凹陷青山口组泥岩盖层各种封闭能力形成时期的确定及其与上侏罗统气源岩排气期匹配关系,探讨其对该区上侏罗统天然气聚集与散失的控制作用,从而阐明盖层封闭能力形成时期在天然气远景资源评价中的意义。

1 区域地质概况

三肇凹陷位于松辽盆地中央坳陷区内,西接大庆油田,东到朝阳沟油田,北抵滨洲铁路,南至松花江边。该区是松辽盆地油气勘探的重点地区,含油气层位较多。天然气主要产自下部及深部含油气组合中,目前已经在该凹陷及其周边地区扶余、杨大城子、登娄库组的基岩风化壳中发现了汪家屯、宋站、羊草、长春岭、朝阳沟、昌德、肇州西等一批中小型气藏。气源对比结果表明,这些气藏中的天然气主要来自下伏上侏罗统沙河子组和营城子组气源岩。青山口组发育一大套暗色泥岩,不仅是扶、杨油层的直接盖层,而且对整个凹陷内深部地层中天然气的保存起着重要作用。它不仅具有3种封闭机理,而且厚度大(一般 >370 m),横向分布稳定, T_2 断裂虽然发育,但断距小于泥岩厚度并没有使其失去封闭的连续性,是该区封闭下伏上侏罗统

力由凹陷中心向四周能力减弱,但总的来看,三肇凹陷也具较高的压力封闭能力。对于封闭该区下伏呈水溶相和游离相运移的天然气是十分有效的。

2.3 烃浓度封闭能力

该区青山口组泥岩除可作为盖层,本身又是该区中部及下部含油气组合的主要烃源岩,具有较强的生烃能力,并又普遍存在异常孔隙流压力(图2),这必然造成其内天然气溶解能力的增强,使其含气浓度明显高于下伏扶余油层孔隙水中的含气浓度(图3)。由图3中可以看出,含气浓度差最大值位于凹陷中心,向四周浓度差值减小,表明该区青山口组泥岩盖层烃浓度封闭能力凹陷中心最强,由凹陷中心向四周烃浓度封闭能力逐渐减弱,它像一层天然屏障阻止了下伏上侏罗统天然气的向上扩散散失。

3 各种封闭能力形成时期的确定

由上述分析可知,三肇凹陷青山口组泥岩盖层目前具有较强的毛细管、压力和烃浓度封闭能力,对封闭下伏上侏罗统排出的各种相态的天然气应是十分有效的。然而,盖层无论是毛细管封闭(虽一沉积就存在,但其封闭能力弱),还是压力和烃浓度封闭都不是一经沉积就具封闭能力的,它们都是随着泥岩埋深增加,压实成岩作用增强,粘土矿物不断脱水、有机质向烃类演化达到一定阶段才开始具封闭能力。但这3种封闭由于形成条件不同,其封闭能力形成时期也是不相同的。对毛细管封闭能力来说,虽然可在盖层一经沉积就形成,但要想对游离相油气形成一定的封闭能力,其压实成岩必须达到一定的程度。随着盖层埋深增加,压实成岩作用增强,其孔隙度、渗透率降低,排替压力增大,毛细管封闭能力逐渐增强。据大量的统计资料,当盖层的排替压力达到0.1 MPa时,可以封闭近10 m高的气柱,表明其已初具封闭能力,故可将排替压力达到0.1 MPa作为盖层毛细管封闭能力开始形成时期的下限,其对应时期称为盖层毛细管封闭能力的形成时期。对压力封闭能力来说,泥岩盖层欠压实开始产生,异常孔隙流体压力开始形成时期即为压力封闭能力形成时期。对于烃浓度封闭能力来说,只有盖层内有机质演化进入生烃门限后,其生成的天然气量可使其内孔隙水达到饱和状态,使其含气浓度较非烃源岩盖层增大,形成烃浓度封闭能力,故可将盖层有机质演化开始进入生烃门限时期($R_o=0.5\%$)作为烃浓度封闭能力的形成时期。

由该区青山口组实测泥岩排替压力与其孔隙度之间的关系(图4)可以得到,当泥岩排替压力为0.1 MPa时,其孔隙度为39%左右,由周平等^①整理得到的该区泥岩孔隙度随深度的

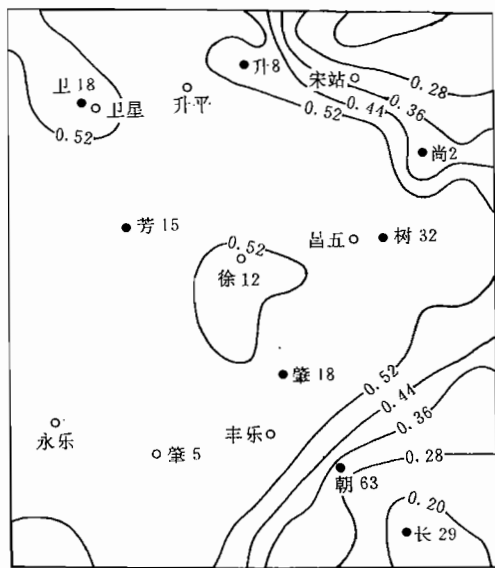


图3 三肇凹陷青山口组泥岩盖层与扶余油层含气浓度差分布图

Fig. 3 The distribution of gas-bearing concentration difference between K_{1qn} mudstone caprock and Fuyu oil layer in the Sanzhao depression

① 周平等. 松辽盆地北部一维盆地模拟及资源评价研究. 大庆石油管理局勘探开发研究院, 1990.

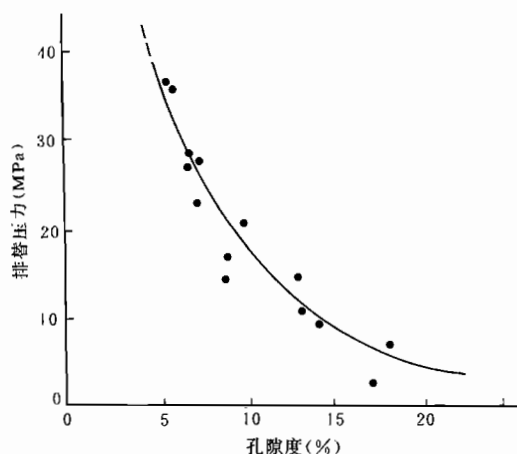


图 4 泥岩排替压力与孔隙度关系

Fig. 4 The relation of displacement pressure vs. porosity of the mudstone in the Sanzhao depression

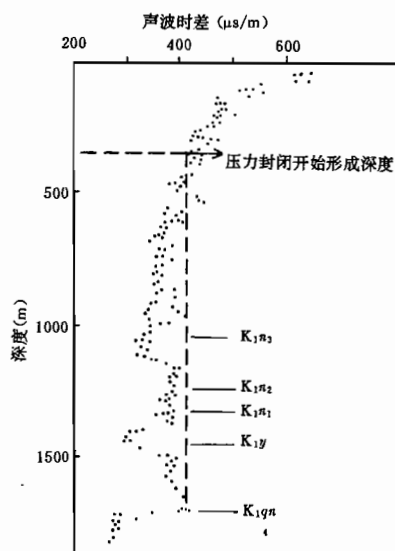


图 5 升 61 井声波时差与深度关系

Fig. 5 The relation of interval transit time vs. depth in well seng-61

变化关系式 $\Phi = 54.74e^{-0.0009354Z}$ 可得其埋深为 345 m 左右,再由该凹陷地层厚度以及沉积速率资料在古埋深恢复的基础上,得到该区青山口组泥岩盖层的毛细管封闭能力形成时期为青山口组沉积末期。

由图 5 可以得到该凹陷青山口组泥岩压力封闭能力形成的深度为 357 m 左右,由该凹陷地层厚度及沉积速率资料,在古埋深恢复的基础上,得到该区青山口组泥岩盖层的压力封闭形成时期大约在青山口组沉积末期。

图 6 是松辽盆地镜质组反射率随深度的变化关系图,由图中可以得到该区青山口组泥岩有机质进入生烃门限 ($R_o = 0.5\%$) 的埋深为 1000 m 左右,由地层厚度及沉积速率在古埋深基础上,得到该区青山口组泥岩盖层烃浓度封闭形成时期大约为嫩江组四段沉积末期。

4 讨论和结论

(1) 毛细管封闭能力形成时期远晚于气源岩排气期,天然气以游离相大量散失。该凹陷青山口组泥岩盖层毛细管封闭能力形成时期约为青山口组沉积末期,亦即是说,自青山口组沉积末期青山口组泥岩盖层开始对下伏游离相态运移的天然气起到毛细管封闭作用。根据庞雄奇^[3]利用生留排烃法对该凹陷上侏罗统底部气源岩排烃史研究,它在侏罗系沉积末期就已进入排气期,远早于青山口组泥岩盖层毛细管封闭能力的形成时期(青山口组沉积末期),这就是说当青山口组泥岩盖层开始具备毛细管封闭能力时,下伏上侏罗统气源岩已经演化进入到过成熟阶段,所生成的大量天然气,除少部分可被登娄库组和泉头组局部泥岩盖层封聚成藏外,绝大部分游离相天然气因上覆无区域性盖层的封闭而散失了(图 7)。因此,这是该凹陷上侏罗统天然气聚集成藏的十分不利因素。

(2) 烃浓度封闭能力形成时期较气源岩排气期更晚,天然气以分子扩散相大量损失。该凹

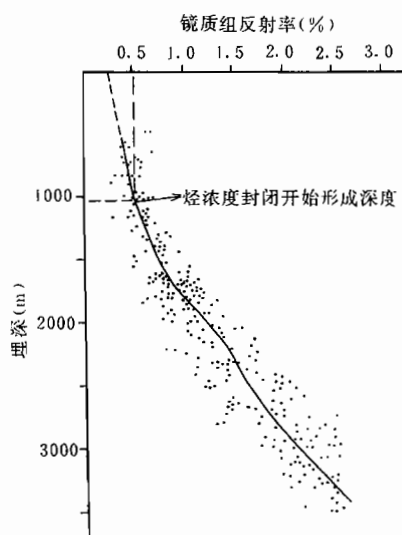


图6 松辽盆地镜质组反射率随深度变化

Fig. 6 The relation of vitrinite reflectance
vs. depth in the Songliao Basin

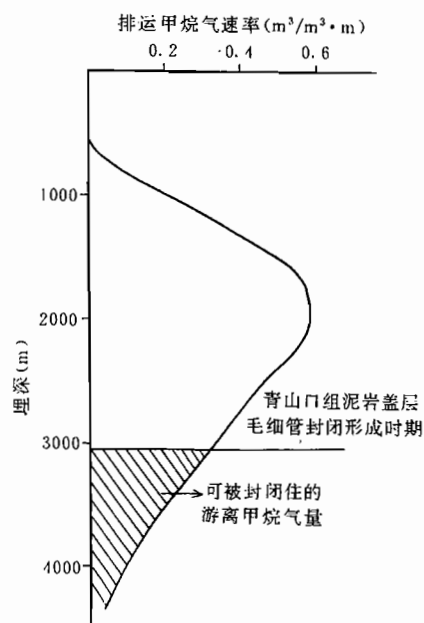


图7 三肇凹陷上侏罗统源岩排气期与青山口组
泥岩盖层毛细管封闭能力形成期的匹配关系

Fig. 7 The matching relation between the expulsion
gas period of Upper Jurassic Series and the
formation period of capillary sealing ability of the K_{1qn}
mudstone caprock in the Sanzhao depression

陷青山口组泥岩盖层大约在嫩四段沉积末期开始形成烃浓度封闭能力,亦即是说,到嫩四段沉积末期,上侏罗统气源岩生成的天然气通过青山口组泥岩盖层的向上扩散损失作用已经停止。由此可得该凹陷上侏

罗统气源岩生成的天然气向上发生扩散损失的时间应为侏罗系沉积末期至嫩四段沉积末期。在这一漫长的历史时期中,由于上侏罗统气源岩与上覆地层之间存在向上含气浓度差,其生成的天然气将在此浓度差的作用下大量向上扩散运移直至地表而散失。由费克第一定律可得到天然气通过上覆地层扩散损失量的计算公式为:

$$Q = \int_0^t D \cdot A \cdot \frac{dc}{dx} dt \quad (2)$$

式中 Q 为天然气扩散损失量(m^3); D 为天然气扩散系数(m^2/s); $\frac{dc}{dx}$ 为该凹陷含气浓度梯度($m^3/(m^3 \cdot m)$); c 为地层孔隙水中含气浓度(m^3/m^3),可由大庆油田实测地层水溶气量随深度变化关系 $c = 0.7965e^{0.0004752}$ 计算求得; A 为天然气扩散面积(m^2); t 为天然气扩散时间(s)。

在地层古埋深恢复的基础上,通过各地史时期古扩散系数、地层孔隙水中含气浓度的恢复计算,由式(2)对该区上侏罗统天然气的扩散损失量进行了计算,其结果如表1所示。由表1可以得到三肇凹陷上侏罗统甲烷气的扩散损失量为 $1.18 \times 10^{12} m^3$,约占整个凹陷上侏罗统气源岩总生气量(据周平等1991年计算为 $11.96 \times 10^{12} m^3$)的9.87%,其扩散量十分可观,对该区上侏罗统天然气的聚集成藏也是十分不利的因素。

(3)压力封闭能力形成时期也远晚于气源岩排气期,天然气以水溶相大量散失。该凹陷青

山口组泥岩盖层在青山口组沉积末期开始形成压力封闭能力,亦即是说青山口组泥岩盖层自青山口组沉积末期开始对水溶相态运移的天然气进行封闭,上侏罗统天然气以水溶相散失的时期为侏罗系沉积末期至青山口组沉积末期。天然气以水溶相态运移散失量可由式(3)计算得到:

$$Q_{wg} = \int_0^t \frac{dv_w}{dt} \cdot q_w \cdot dt \quad (3)$$

式中 Q_{wg} 为天然气的水溶散失量(m^3); v_w 为地层排水量(m^3); q_w 为单位孔隙水中的溶气量(m^3/m^3)。

表 1 三肇凹陷上侏罗统天然气扩散损失量计算表

Table 1 Losing amount of gas diffusion from Upper Jurassic Series in the Sanzhao depression

地质时期	综合扩散系数 ($\times 10^{-10} m^2/s$)	扩散距离 (m)	扩散时间 ($3.1536 \times 10^{13} s$)	含气浓度差 (m^3/m^3)	扩散面积 (km^2)	孔隙度(小数)	天然气扩散量 ($\times 10^{12} m^3$)
$K_{1n1} - n_4$	6.16	3249.00	13.00	2.932	6500	0.1843	0.0345
K_{1y}	12.17	2566.00	10.50	1.899	6500	0.0642	0.0321
K_{1qn}	10.80	2522.00	8.50	1.843	6500	0.0517	0.0716
K_{1q}	15.06	2291.00	3.50	1.569	6500	0.0496	0.1425
K_{1d}	36.00	1164.00	11.35	0.589	6500	0.0262	0.8947

在地史恢复的基础上,通过各地质时期地层排水量及地层水中溶气量的恢复计算,对该区上侏罗统天然气的水溶散失量进行了估算,其结果如表 2 所示。由表 2 可得该凹陷上侏罗统天然气从侏罗系沉积末期至青山口组沉积末期以水溶相态损失了 $0.93 \times 10^{12} m^3$, 约占总生气量的 8% 左右,其损失量也是十分可观的,是该区上侏罗统天然气聚集成藏的又一不利因素。

表 2 三肇凹陷上侏罗统天然气水溶相态损失量估算表

Table 2 Losing amount of gas in water-dissolved phase from Upper Jurassic Series in the Sanzhao depression

地质时期	地层排水量 ($\times 10^8 m^3$)	单位体积孔隙水中溶解 放气量(m^3/m^3)	天然气水溶散失量 ($\times 10^{12} m^3$)
登娄库组沉积时期	7088.25	0.08250	0.058
泉头组沉积时期	25872.60	0.33450	0.864
青一段沉积时期	70.20	0.02090	0.00001
青二、三段沉积时期	1742.00	0.06865	0.012

三肇凹陷青山口组泥岩盖层毛细管、压力、烃浓度封闭能力形成时期分别为青山口组沉积末期、青山口组沉积末期和嫩四段沉积末期,远晚于上侏罗统气源岩的排气期,造成各种相态的上侏罗统天然气的散失,这可能就是为什么在该凹陷目前能找到一些中小型气田,而找不到大气田的主要原因。

参 考 文 献

- 1 吕延防,陈章明,万龙贵. 利用声波时差计算盖岩排替压力. 石油勘探与开发, 1994, 21(2): 43~47.
- 2 郝石生等. 天然气的形成与保存. 北京: 石油工业出版社, 1995. 91~115 页.
- 3 庞雄奇等著. 含油气盆地地史、热史、生留排烃史数值模拟研究与烃源岩定量评价. 北京: 地质出版社, 1993. 70~96 页.

The Formation Period of the Sealing Ability of Mudstone Caprocks of the Qingshankou Formation in the Sanzhao Depression of the Songliao Basin

Fu Guang, Chen Zhangming, Wang Pengyan and Lü Yanfang

(Department of Exploration, Daqing Petroleum Institute, Anda, Heilongjiang, 151400)

Abstract

Argillaceous caprocks do not have the sealing ability when they begin deposition. This ability is obtained when their burial depth increases, the degree of compaction and diagenesis increases, clay minerals are transformed and dehydrated and the evolution of organic material to hydrocarbon precedes to a certain stage. On the basis of the geohistorical reconstruction of various kinds of sealing ability of caprocks, the authors have distinguished three periods of initiation of the sealing ability of the capillaries, fluid pressure and hydrocarbon concentration of the mudstone caprocks of the Qingshankou Formation in the Sanzhao depression, i. e. : the terminal period of deposition of the Qingshankou Formation, the terminal period of deposition of the Qingshankou Formation and the terminal period of deposition of the fourth member of the Nengjiang Formation, which are all far later than the gas expulsion period of the Upper Jurassic gas source rocks (the terminal period of Jurassic deposition. Therefore, the loss of substantial natural gas in the Upper Jurassic might be the important cause for the fact that only some medium- and small-sized gas fields have been found in the study area, while large gas fields cannot be found.

Key words: argillaceous caprock; sealing ability; formation period of sealing ability; Songliao basin; Sanzhao depression; Qingshankou Formation

作者简介

付广,男,1962年生。1984年毕业于大庆石油学院勘探系石油地质专业,1991年获硕士学位。现任大庆石油学院副教授,主要从事石油与天然气地质的教学和研究工作。通讯地址:151400,黑龙江安达市大庆石油学院勘探系。

本刊编辑部启事

①本刊将在《书刊介绍》专栏中精选优秀地质类新书作扼要介绍,以促进地质专业新书的传播。欢迎著(编)者提供新书样本。也热忱欢迎作者提供《书刊评介》专栏的文稿。②本刊将在《通讯·资料》专栏中以最快的速度摘要报道重要的项目研究进展和重大发现,欢迎投稿,限1000字以下,文责自负,本刊有权删改。同时热忱欢迎作者提供《消息报道》专栏的短稿。③上述4个专栏稿件不收版面费,也不付稿费。

本刊第2期《中国科技期刊前500名排行表》中漏排了《长春地质学院学报》,特此更正。