

辽河盆地东部凹陷天然气盖层评价

张占文 陈永成

(辽河石油勘探局勘探开发研究院, 辽宁盘锦兴隆台 124010)

提 要 辽河盆地东部凹陷为辽河盆地三大凹陷之一, 位于辽宁省境内的下辽河平原。本文通过东部凹陷盖层类型, 岩石学特征与盖层品质的关系, 压实作用对盖层封盖性能的影响及火山岩盖层封盖性能分析, 指出东部凹陷虽缺乏区域性盖层, 但局部盖层十分发育, 其中火山岩是最好的盖层, 不同层次的泥岩盖层变化较大, 主要形成期为中深层的突变压实阶段和紧密压实阶段, 浅层火山岩的发育弥补了泥岩的不足, 并根据泥岩盖层与储层的匹配关系研究指出: “东部凹陷浅层是差的盖层匹配好储层, 深层则相反”。从泥岩盖层角度出发认为中深层应是大中型气藏形成的有利场所, 浅层则是小型气藏发育的有利部位, 但本区封盖性能很好的火山岩发育, 使其为主的盖层, 增加了浅层形成较大型气藏的可能, 从而打破了以泥岩盖层为主的纵向天然气分布格局, 同时通过东部凹陷不同层位、不同深度层次泥岩盖层突破压力分布特点, 结合火山岩分布特征, 指出了本区下部勘探方向。

关键词 辽河 东部凹陷 盖层 勘探

第一作者简介 张占文 32岁 男 高级工程师 石油地质

1 盖层类型

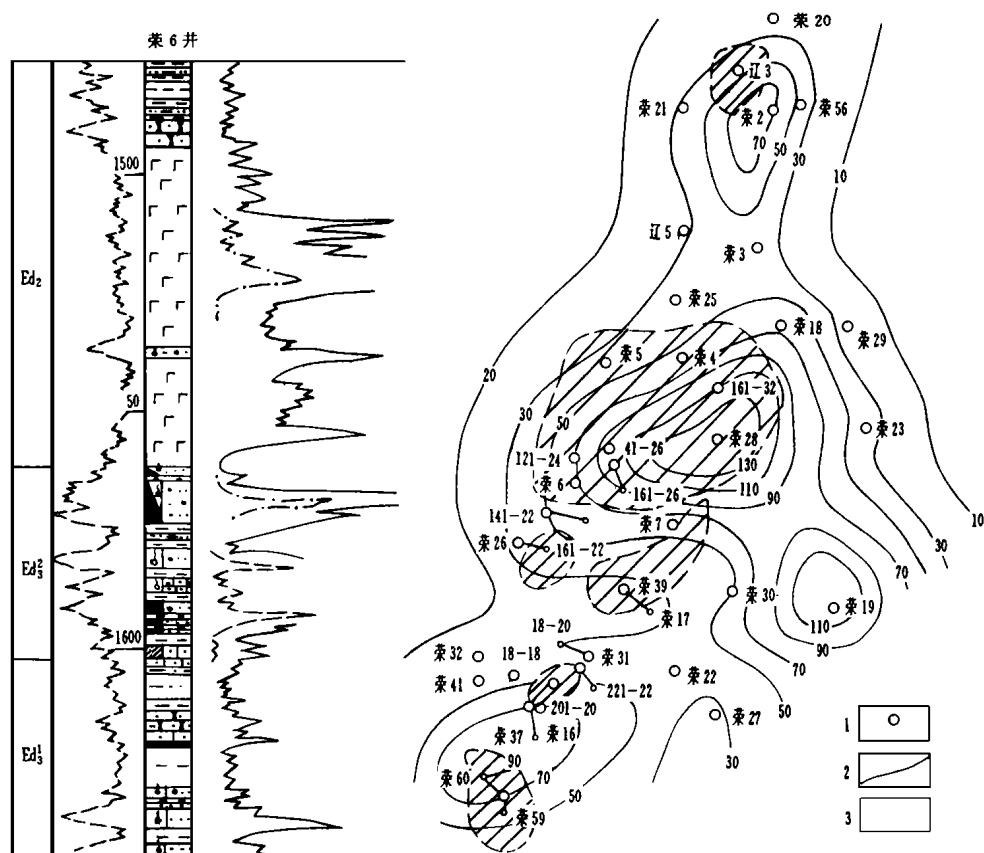
盖层一般是指储层上方能够阻止天然气向上逸散的岩层。按岩性来分, 有泥岩、页岩、碳酸盐岩及蒸发岩^[1]。东部凹陷盖层, 主要为泥岩和玄武岩, 其次是油页岩、油页岩和泥岩的混合盖层。其中泥岩盖层在凹陷不同层位均有分布, 是东部凹陷的主要盖层; 玄武岩盖层具有中段以沙一、沙三段为主, 南段及北段以东营组为主的明显规律; 油页岩及油页岩与泥岩混合盖层仅分布于黄金带地区。

按盖层在横向上的连续性、稳定性划分, 有区域盖层和局部盖层两种^[1]。东部凹陷仅沙三下段存在广泛的区域盖层, 而沙三上段至东营组局部盖层极为发育。沙三上段和沙一段主要为泥岩局部盖层, 东营组除泥岩局部盖层外, 还有泥岩与玄武岩组成或由玄武岩构成的局部盖层, 如荣兴屯^①、太平房东营组火山岩局部盖层 (图 1), 桃园、黄金带东营组、沙一段盖层。

此外, 按储盖层相邻关系, 可分为上覆盖层和直接盖层。上覆盖层是指储层之上所有的上覆岩层。它不表示储盖关系, 仅标志储层埋藏深浅, 上覆盖层厚度大, 储层埋藏深, 有利于天然气少逸散或延缓逸散速度。而它本身也是相对概念, 不同层段的储层, 其上覆盖

① 路则平, 荣兴屯地区油气富集规律研究, 勘探开发研究院, 1989, 16

层亦不相同。对沙河街组储层来说,其上的东营组、上第三系共同组成上覆盖层;对下第三系而言,则整个上第三系是上覆盖层。东部凹陷主要目的层系,都有大面积、巨厚的上覆盖层,这是很重要的特点,有利于油气保存。



1. 完钻井 2. 火山岩厚度等值线 3. 天然气分布范围

图 1 荣兴屯地区火山岩与天然气分布关系图

Fig. 1 Relationship between volcanic rocks and distribution of natural gas in the Rongxingtun area

直接盖层是对气藏直接起封盖作用,广泛存在、单层分布局限的盖层。它紧邻储层之上,表示储、盖组合关系,是具体气藏形成的必要条件。

据东部凹陷多个气藏统计,不同气藏的直接盖层,厚度自小于 8 m 至 156 m,多数在 5~56 m 之间,最小的小于 3 m,如大线 1 井气藏,仅 1.5 m 泥岩就能封盖气藏。不同层系直接盖层的厚度及封闭范围也不同,一般来说,沙河街组直接盖层的厚度较大,分布范围较广,东营组除南部火山岩发育区外,其它地区较差,上第三系最差。这与目前东部凹陷油气纵向分布基本吻合。

一般来说,一个盖层的封闭性能(或遮挡能力),并不一定决定于盖层厚度,而根本是决定于岩层的排替压力和孔隙压力,只要这些压力足够大,即使厚度较小,亦可成为良好的盖层。从前面盖层厚度分析中看到,东部凹陷不少是属于这样的薄盖层。据此,我们从定性分析角度,可以推断,下第三系、上第三系泥岩及火山岩盖层的封闭性能是好的。

2 盖层评价

通过已往研究认为，天然气逸散可归纳为三种机制：① 渗漏机制。以游离状态的气相渗漏穿过岩层，其基础是存在压力梯度，天然气从高压处向低压处渗漏 ② 扩散机制。以溶解于地下水状态扩散通过岩层，其基础是存在浓度梯度，天然气从高浓度处向低浓度处扩散。③ 水溶流失机制 其中以渗漏机制为主，抑制或阻碍天然气逸散主要决定于盖层的物理性质，评价其好坏的主要参数是突破压力（ P_A ）。所谓突破压力，是指天然气在盖层中渗漏作用开始时所对应的毛细管压力，而构成盖层的必要条件 就是构成封闭面的岩石组合所具有的最低突破压力（ P_A ）应大于气藏中的剩余压力（ ΔP_t ），即 $P_A > \Delta P_t$ ， 附辅性参数是孔隙中值半径（ r_m ）和大小孔隙占总孔隙的百分含量（ s ），捕助参数的变化直接影响到突破压力的变化，可以说盖层中值半径（ r_m ）与大小孔隙占总孔隙的百分含量（ s ），决定突破压力（ P_A ），一般来说盖层中值半径（ r_m ）越小，小孔隙（ S_c ）含量越高，突破压力（ P_A ）越大，而所有这些因素与盖层的岩石学特征、沉积环境及成岩作用有着直接的关系^{〔2〕}。

为了对东部凹陷不同层系泥岩盖层定量评价，分别选取了泥岩及玄武岩样品，利用压汞法和吸附法进行分析，分别求得盖层微孔隙结构参数，突破压力（ P_A ）中值半径（ r_m ）。在此基础上根据盖层突破压力（ P_A ）与储层毛细管中值压力（ P_R ）之间的差值，计算出了能够被封盖住的临界气柱高度（ h_g ），同时还应用其它指标对本凹陷盖层质量进行了探讨。

2.1 岩石学特征与盖层品质的关系

2.1.1 矿物组成变化与盖层品质的关系

组成东部凹陷泥质岩盖层的岩性主要有泥岩、泥质粉砂岩，主要由粘土矿物组成，其中又以蒙脱石、蒙脱石与伊利石混层矿物为主，伊利石次之，高岭石、绿泥石含量相对较少，非粘土矿物以石英、长石为主，含少量方解石、白云石、黄铁矿等。

根据粘土矿物含量纵向上变化可分为三个带^①。

(1) 小于 1800 m，为蒙脱石带，含量达 60% 以上，伊利石含量仅 6.1%—17.9%，无伊蒙混层矿物存在。

(2) 1800—2800 m，为伊蒙混层带，蒙脱石含量急剧减少，伊蒙混层含量急剧增加，可达 13.5%—33.5%。

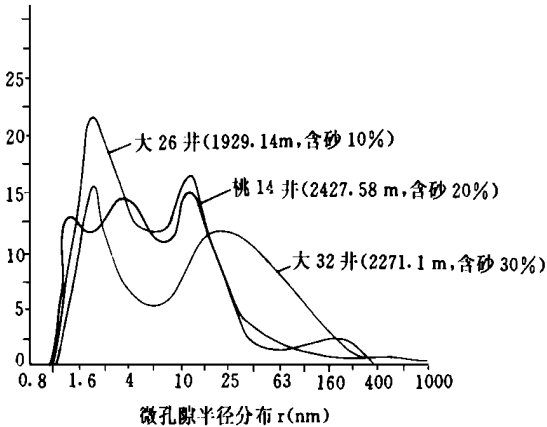


图 2 不同含砂量泥岩盖层微孔隙结构分布图

Fig. 2 Micropore structure of mud cap rocks with different content of sand

① 陈振岩，郑治宇等．荣北—大平房地区成藏条件研究．勘探开发研究院，1993，39—40。

(2) 大于 2800 m,为伊利石及伊 蒙混层矿物带,伊利石含量可达 21. 2%— 50%,基本不存在蒙脱石,伊 蒙混层矿物含量变化于 32%— 46%之间,但混层比明显降低

泥质岩矿物组成随层位和埋深的规律性变化,对不同深度及层位盖层有着明显的影响。主要表现为伊利石、绿泥石、伊 蒙混层矿物含量随深度增加,表明成岩性好,封盖层能变好。

2. 1. 2 砂质含量与盖层品质的关系

由图 2可以看出,在相近或相同深度,泥质岩盖层的突破压力随砂质含量增加明显降低,这是由于砂质含量增加,盖层中值半径 (r_m) 增大,大孔隙含量明显增加,封盖性能变差。

2. 2 压实作用对盖层封盖性能的影响

随埋藏深度增大及机械压实程度提高,引起混岩盖层内部结构的主要变化是:中值半径 (r_m) 变小和小孔隙含量增加,突破压力增大,封盖性能变好^[2],根据东部凹陷泥岩盖层中值半径 孔隙度、突破压力实测结果,可把整个压实过程划分稳定压实阶段,突变压实阶段及紧密压实阶段三个阶段

2. 2. 1 稳定压实阶段 小于 1800 m,随深度增加泥岩孔隙度和中值半径逐渐减小,相应的突破压力也略有增大,但变化的速度较小,该阶段的主要特点是压实程度较低,泥岩中值半径较大,大孔隙含量及总孔隙度较高,突破压力较小。

2. 2. 2 突变压实阶段 1800— 2800 m,该阶段泥岩孔隙度、中值半径以及相应的突破压力变化同稳定压实阶段相似,但主要差别是变化速度和突破压力明显增大。

2. 2. 3 紧密压实阶段 大于 2800 m,由于压实程度进一步增强,随着埋藏深度增加,孔隙度下降缓慢,但突破压力明显增加

因此,从泥岩盖层的不同压实阶段分析,稳定压实阶段孔隙度较大,突破压力较小,封闭性能较差;突变压实阶段,孔隙度急剧变小,突破压力明显增大,封闭性能变好,是盖层形成的主要阶段,至紧密压实阶段,由于压实程度进一步增强,虽孔隙度已变化十分缓慢,但突破压力较大,封闭性能明显变好,是好盖层形成的主要阶段

表 1 火山岩盖层分析成果对比表

Table 1 Comparison of analysis results of volcanic cap rocks

井号	井深 m	层位	岩 性	中值半径 r_m /nm	优 势 孔 隙		突破压力 (P_A /M Pa)	封盖高度 m	综合 评价
					范围 (nm)	含量 (%)			
荣 80	1412. 26	Ed	未蚀变玄武岩	小于 0. 3	0. 8— 1. 3	4. 0	大于 250	大于 5000	I
荣 80	1417. 70	Ed	蚀变玄武岩	26. 54	10. 0— 40. 0	43. 8	0. 21	20	II
大 26	1182. 49	Ed	泥岩	41. 65	6. 3— 25. 0	22. 8	0. 18	18	III

2. 3 火山岩盖层封盖性能分析

东部凹陷火山岩十分发育,主要为玄武岩。多期火山喷发,使火山岩大面积覆盖于储层之上。为了更好地对火山岩的封盖性能进行评价,在荣 80井分别选取了埋藏较浅的未蚀变玄武岩和蚀变玄武岩两块样品进行分析 (表 1)。其中未蚀变玄武岩致密坚硬,突破压力大于 250M Pa,封盖高度大于 5000m,封盖性能很好;蚀变玄武岩由于遭到强烈破坏,裂

缝发育,突破压力仅 0.21 MPa,封盖高度 20 m 蚀变玄武岩同未蚀变玄武岩相比封盖性能明显变差,但同临近深度的泥岩盖层相比,仍具有较好的封盖性能 能以火山岩尤其是未蚀变玄武岩是东部凹陷最好的盖层,这方面荣兴屯就是一个很好的例证 (图 1)。

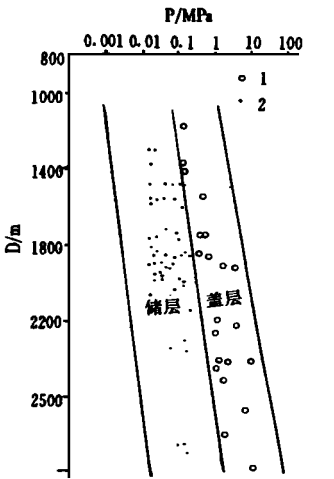
2.4 盖层综合评价

综上所述,天然气盖层封盖性能的好坏与盖层的岩石学特征 (岩性、矿物组成、砂质含量),压实作用有着直接的关系。就泥岩盖层而言,东部凹陷东营组,以泛滥平原沉积为主,泥岩盖层一般含砂量高,埋藏浅,压实程度低,突破压力低,封盖性能差。沙一段以三角洲前缘沉积为主,泥岩较纯,埋深较大,压实程度较高,突破压力较大,封盖性能较好。沙三上段盖层岩性与东营组十分相似,但由于埋藏深度大,封盖性能明显好于东营组。沙三下段由于埋藏深以及半深湖—深湖相泥岩的广泛分布,决定了该层段泥岩是东部凹陷最好的盖层,同时各层段发育的火山岩 (未蚀变玄武岩)也是本区的最好盖层。

根据东部凹陷泥岩盖层与储层匹配关系分析 (图 3),盖层的突破压力 (P_A)都大于相同深度的储层排替压力 (P_B) (一般都高出 1—2 个数量级),并且随深度增加具有相同的变化规律 说明由浅至深所有泥岩盖层一般都具有封盖性。只是封盖性能不同而已。结合储层物性的变化规律认为,东部凹陷浅层是差的盖层匹配好的储层,深层则相反。因此浅层一般以小型气藏为主,中深层则有可能发育大—中型气藏。但在火山岩发育的浅层,由于构造活动强烈,也有形成大—中型气藏的可能,这同我们目前的勘探状况是基本吻合的。同时也向我们指出了不同规模气藏的勘探方向。

由东部凹陷泥岩封盖高度频率图分析 (图 4),主峰分布范围为 20—400 m,多数在 100—400 m 之间。到目前为止,在东部凹陷这样一个勘探程度较高的地区,幅度较大的构造圈闭已基本被钻探,今后勘探的主要目标是隐蔽圈闭及小型断块圈闭,而这些圈闭的幅度一般很少超过 100 m,所以这些盖层也是十分有效的。

故辽河盆地东部凹陷不同层段,不同类型天然气盖层是十分有效的,勘探中应重视不同层次大山岩之下气藏勘探和中深层较大气藏勘探,同时,也应大力开展小断块、小幅度圈闭的勘探和研究工作,不断发现新的天然气资源



1. 储层排替压力 2. 盖层突破压力

1. 储层排替压力 2. 盖层突破压力
图 3 储层排替压力与盖层突破压力关系图

Fig. 3 Relationship between displacement pressure of reservoir and break-through pressure of mud cap rocks

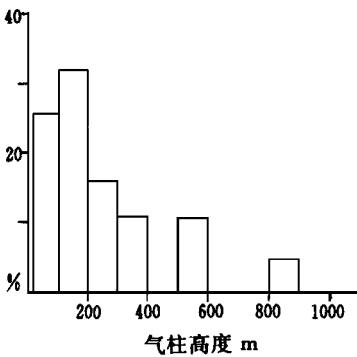


图 4 东部凹陷泥岩盖层封盖高度频率图

Fig. 4 Frequency diagram of seal height of mud cap rocks in the Eastern depression

参 考 文 献

- [1] 陈荣书. 石油及天然气地质学. 中国地质大学出版社, 1994, 58- 60.
- [2] 张义纲等. 天然气的生成聚集和保存. 河海大学出版社, 1991, 114- 118.

Caprock Evaluation of Natural Gas Reservoir within the Eastern Depression, Liaohe Rift

Zhang Zhanwen and Chen Yongcheng

(Liaohe Petroleum Exploration Bureau, LianNing 124010)

Abstract

The Eastern depression is one of the three depressions of Liaohe Rift and located in the lower Liaohe plain in Liaoning Province. This paper indicates by means of the analysis of caprock types, effect of compaction on seal ability of caprocks and the seal ability of volcanic caprocks that local caprocks are very developed, of which the best caprock is the volcanic rock, although the depression lacks the regional caprock. The variation of shale caprocks in different beds is great. The mudstone caprock was formed in the periods of saltatory and tight compactions in the middle- deep horizons, but the volcanic caprock complemented the lack of mudstone caprock in shallow horizons. Based on the relationship between mudstone caprock and reservoir, it is known that there is a poor caprock but good reservoir in shallow horizons, but it is contrary in deep horizons. In view of mudstone caprock, the medium- large gas reservoirs should be formed in middle- deep horizons, and small gas reservoirs should be formed in shallow horizons. However, in the depression well- developed volcanic caprocks increased the probability of formation of large gas reservoirs in shallow horizons, which broke the regularity of vertical distribution of natural gas on the condition of mudstone caprock. According to the distribution of breakthrough pressure of mudstone caprock in different horizons and depths as well as the distribution of volcanic rocks, the exploration potential of gas reservoirs in deep horizons was proposed.

Key words caprock evaluation eastern depression caprock exploration