

泥质岩裂缝油气藏的成藏条件及资源潜力*

张金功¹, 袁政文²

(1. 西北大学地质系, 陕西西安 710069; 2. 河南石油勘探局, 河南南阳 473132)

摘要: 目前国内外发现的绝大多数泥质岩裂缝油气藏都分布在以暗色泥岩及页岩为主的生油岩中, 常富含有机质、钙质或硅质矿物, 其有机碳丰度一般为 1.0%~20%, 有机质类型多样, 镜质体反射率多在 0.5%~1.3%。构造裂缝、超压微裂缝和成岩收缩缝是主要裂缝成因类型。盖层主要为裂缝不发育的泥岩、膏岩、盐岩等。圈闭类型主要为背斜圈闭及单斜圈闭。由于大量的油气残留在生油岩中, 所以, 泥质岩裂缝油气藏具有很大的资源潜力。

关键词: 泥质岩裂缝油气藏; 生油岩; 构造裂缝; 超压微裂缝; 成岩收缩缝; 资源潜力

第一作者简介: 张金功, 男, 39 岁, 副教授, 石油地质学

中图分类号: TE122.2 **文献标识码:** A

早在 1860 年以前, 美国便开始在阿巴拉契亚盆地纽约州西部伊利湖南岸一带进行低压含气页岩的钻探工作, 并进行了工业性开采^[1]。目前已在多个盆地发现了工业性泥岩裂缝油气藏^{**}。我国自 20 世纪 60 年以来, 在松辽盆地、渤海湾盆地、柴达木盆地、吐哈盆地、酒西盆地、江汉盆地、南襄盆地、苏北盆地、四川盆地中均发现了工业性泥岩裂缝油气藏^{**}, 有的单井日初产可达 80~90 t^[2]。

工业性泥岩裂缝油气藏的大量发现已揭示出该类油气藏是一种重要的油气藏类型。但目前对其形成条件还缺乏统一的认识, 对其资源潜力也没有进行深入的分析, 因而对泥质岩裂缝油气藏的勘探一直没有受到广泛的重视, 尤其是在国内。

1 成藏条件

1.1 烃源岩

目前国内外发现的绝大多数泥质岩裂缝油气藏都分布在烃源岩中^[2,3]。其岩性主要以暗色泥岩及页岩为主, 但其矿物成分及结构则多种多样, 常富含有机质、钙质或硅质矿物。有机碳一般大于 1.0%, 高者可达 20%以上。有机质类型多样, 有

以 I 型为主的, 也有以 II 型或 III 型为主的。有机质一般处于成熟阶段, 镜质体反射率多在 0.5%~1.3%。

发现油藏的典型烃源岩是西西伯利亚盆地上侏罗统巴热诺夫组含油泥页岩^[4], 它是由有机质微透镜体与泥质、硅-泥质和钙质薄层组成的不均匀微互层, 有机质透镜体的厚度一般为十分之几毫米, 有时可形成 1 m 厚的透镜体。有机碳可高达 10%以上。有机质绝大部分为 I 型, 其镜煤反射率一般为 0.7%~1.0%。

发现气藏的典型烃源岩是阿巴拉契亚盆地泥盆系含气页岩^[1,5], 它是深灰色、黑褐色和黑色页岩层系, 由 30%~60%的粘土矿物、15%~25%的粉砂或更小的碎屑石英颗粒及少量的黄铁矿、长石、方解石、白云石等矿物组成。有机碳丰度一般为 4%~20%。已发现的气田主要在盆地西部, 页岩厚度小, 但有机质净厚度大, 如大沙迪气田分布于有机质净厚 17~23 m 的地带, 该区有机碳平均含量约 15%。有机质类型以陆源有机质(II 型)为主, 但也有海相成因的有机质。泥、页岩气田分布区的有机质镜煤反射率大多为 0.52%~0.71%, 个别达 1.02%。

1.2 裂缝

泥质岩油气藏的裂缝主要有构造裂缝、超压微裂缝及成岩收缩裂缝。构造裂缝不仅是泥质岩储层的主要储集空间^[1~8], 也是导致泥质岩油气藏形成的主要动力学诱因。由于构造裂缝主要发育在

* 本项目为国家重点科技攻关项目“中国中部深盆地气成藏机制及潜力评价”(项目编号 96-110-01-04)的一部分, 并得到“油气藏地质与开发工程”国家重点实验室资助, 项目编号为 96-11。

** 张金功, 杨雷. 泥质岩类油气藏勘探(中国第二届隐蔽油气藏勘探学术讨论会论文, 青岛). 西北大学, 1996

收稿日期: 2002-10-11

褶皱构造转折端和断裂附近,因而泥质岩油气藏的高产区也大都分布于褶皱构造转折端和断裂附近。超压微裂缝也是泥质岩油气藏形成的重要因素。泥质岩裂缝油气藏大都分布在超压泥质岩微裂缝带中^[9]。超压泥质岩微裂缝不仅构成了泥质岩裂缝形成的基础,而且还为油气在烃源岩中顺层侧向长距离运移提供了有利的通道,进而扩大了泥质岩裂缝油气藏的供烃范围。发育微裂缝的超压泥质岩渗透率一般为 $2 \times 10^{-3} \sim 15 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 该值超过了中等储集层渗透率的标准。地下泥质岩超压微裂缝带在垂向上一般集中分布在一定的深度区间,在横向上呈区域性分布^[10,11]。成岩收缩裂缝包括脱水收缩缝和矿物相变缝。美国圣玛利亚盆地蒙特雷页岩主要以收缩裂缝为主。这种页岩在沉积时硅质含量较高,可能呈硅胶状态,在沉积成岩过程中由于化学变化而收缩,从而形成广泛分布的裂缝^[5]。

1.3 盖层

泥质岩裂缝油气藏的盖层主要有裂缝不发育

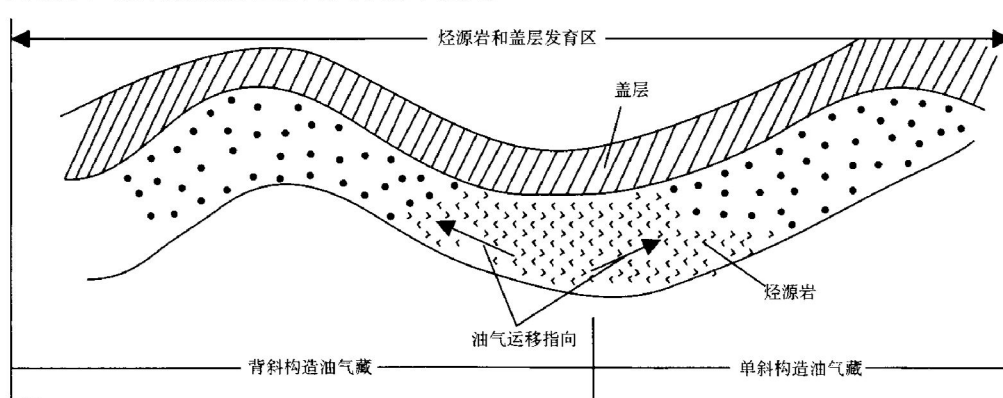


图1 泥质岩裂缝油气藏的主要圈闭类型

Fig. 1 Major trap types of fractured mudstone reservoirs

背斜圈闭是泥岩裂缝油气田的一种重要圈闭类型。西西伯利亚盆地萨雷姆上侏罗统泥岩裂缝油田的圈闭为背斜圈闭,萨雷姆油田巴热诺夫组高产区主要分布于背斜轴部及转折端^[4]。美国圣玛利亚盆地阿格洛角油田的圈闭为一北西向的背斜圈闭,在中部有一东西向断裂形成的鞍部把背斜两高点隔开,背斜长约 14.5 km,宽 3.2 km,西南翼和北部倾没部位受逆断层切割^[5]。阿巴拉契亚盆地西弗吉尼亚州 Putnam 县 Midway-Extra 气田、位于阿巴拉契亚盆地南部泥盆系页岩中的大沙迪气田 (Big Sandy)、美国加利福尼亚盆地下中新统 Santos 页岩油藏的圈闭都是背斜圈闭。柴达木盆地茫崖凹陷狮子沟、南翼山泥岩裂缝油田的圈闭类型也主

的泥岩以及膏岩、盐岩等。

西西伯利亚盆地侏罗系巴热诺夫组泥岩裂缝油藏的上下都有饱和水的灰色泥岩作为盖层及隔层^[4],这样的泥岩中常具有异常高的地层压力,并饱含水,电阻率低,这种含水泥岩对石油的相对渗透率很低,可塑性强,不易发生破裂,它具有很强的遮挡性能,有利于异常高压泥岩裂缝油藏的保存。

圣玛利亚盆地蒙特雷组泥岩裂缝油藏的盖层为其上面的西斯奎克组和蒙特雷组本身的致密泥岩,含有硅藻^[4]。

松辽盆地青山口组的泥岩裂缝油气层的盖层为青山口组的欠压实泥岩^[9],而柴达木盆地狮子沟、南翼山的泥岩裂缝油藏段的盖层主要为膏盐层 (石膏、硬石膏和钙芒硝)^[8]。

1.4 圈闭

泥岩裂缝油气藏的圈闭主要为背斜圈闭及单斜圈闭 (图 1),这些背斜或单斜常受到断层不同程度的改造。

要背斜圈闭。

单斜构造圈闭是泥岩裂缝油气田的另外一种重要圈闭类型。美国圣玛利亚盆地玛利亚谷油田,位于陆上圣玛利亚盆地斜坡带上,为一西南倾单斜,上、中新统储集岩向北超覆在其基岩之上。油田东西长约 11.3 km,南北宽约 3.2 km,它是盆地第二大油田,油田下倾边缘与构造等高线有较好的吻合关系^[5]。阿巴拉契亚盆地科特盖威尔气田 (Cottageville) 在构造上为沿东南倾向的起伏小的单斜挠曲。肯塔基州 Martin 县的页岩气藏主要位于一向南东倾斜的单斜构造上,在局部则发育低幅度背斜。

2 资源潜力

残留在生油岩中的油气是大量的, 这为泥质岩裂缝油气藏的形成提供了雄厚的物质基础。泥质烃源岩中生成的油气, 仅有一小部分排到储集层中。中国含油气盆地主要烃源岩的排烃系数一般低于 20%, 如泌阳凹陷泌 80 井的排烃系数平均为 14%, 东营凹陷利 14 井沙河街组三段烃源岩的排烃系数最大为 16%, 而松辽盆地杏 4 井青山口组一段的排烃系数为 19.2%^[12]。这也意味着, 残留在烃源岩中的油气是大量的, 例如, 用氯仿沥青“A”法计算的松辽盆地白垩系残留生油量为数百亿吨, 而中国主要陆相盆地成熟生油岩中残留生油量可达数千亿吨^[13]。

如果换一个看问题的角度, 把烃源岩也看作是油气聚集的可能场所, 另把残留在烃源岩中的油气看成泥质岩裂缝油气藏的资源量, 那么这个油气资源量是巨大的, 至少远大于常规油气田的资源量。

世界上以泥质岩为主要储集层的产油气区已产出了大量的油气。美国西部圣玛利亚盆地上中新统蒙特雷页岩是该区主要的产油层, 共发现了 11 个油田, 到 1969 年 1 月的累计产油量为 $6\,038.5 \times 10^4 \text{ t}$ 。蒙特雷页岩的生油量约为 $8.91 \times 10^8 \text{ t}$, 因此, 累计产油量占生油量的比例约 6.78%。在西西伯利亚盆地萨雷姆油田泥质岩中采出的原油在 20 世纪 70 年代末期已达 $120 \times 10^4 \text{ t}$ 以上^[4]。美国阿巴拉契亚盆地大沙迪气田发现于 1918 年, 至 1987 年累计产量已达 $566 \times 10^8 \text{ m}^3$, 最终产量至少为 $850 \times 10^8 \text{ m}^3$, 目前的年产量已逾 $14 \times 10^8 \text{ m}^3$ ^[1]。

有些泥岩裂缝油气藏(特别是泥岩裂缝气藏)的开采周期较长。美国阿巴拉契亚盆地大沙迪气田在开采初期, 产量递减曲线显示出陡降, 随后, 产量下降曲线变平, 几乎达到水平, 在其后的几十年中仅有稍微的下降。通常, 在页岩产气井中, 标志稳定状态流动的指点出现在第二年至第十年, 即当产量已降到初期产量的三分之一到五分之一的時候。很多页岩产气井具有很长的生产期^[1]。

3 结论

(1) 目前国内外发现的绝大多数泥质岩裂缝油

气藏都分布在生油岩中。背斜圈闭及单斜圈闭为泥质岩油气藏的主要圈闭类型, 这些背斜或单斜常受到断层不同程度的改造。

(2) 泥质岩裂缝油气藏不仅资源潜力巨大, 其开发潜力也是非常可观。

致谢: 衷心感谢胜利油田科技处、河口采油厂为本项研究提供的帮助和支持; 西北大学地质系刘池洋教授在百忙之中对本文给予了指导。

参 考 文 献

- 1 De Witt Jr. Devonian gas-bearing shales in the Appalachian basin [A]. In: Spencer C W, Mast R F, eds. Geology of tight gas reservoirs [C]. Oklahoma, Tulsa: AAPG Studies in Geology, 1986, 24: 1~ 8
- 2 董冬, 杨申铤, 项希勇, 等. 济阳坳陷的泥质岩类油气藏[J]. 石油勘探与开发, 1993, 20(6): 15~ 22
- 3 高瑞琪. 泥质岩异常高压带油气的生成排出特征与泥岩裂缝油气藏的形成[J]. 大庆石油地质与开发, 1984, 3(1): 160~ 167
- 4 Халимов З М. О поисках промышленных скоплений Нефти в Баженской Свите[J]. Геология Нефти и газа, 1980, 6: 1~ 9
- 5 胡文海, 陈冬晴. 美国油气田分布规律和勘探经验[M]. 北京: 石油工业出版社, 1995. 318~ 328, 126~ 130
- 6 谷立声. 松辽盆地新北地区泥岩裂缝油气藏的成因及其分布[J]. 大庆石油地质与开发, 1986, 5(4): 25~ 28
- 7 陈章明, 张树林, 万龙贵. 古龙凹陷北部青山口组泥岩构造裂缝的形成及其油气藏分布预测[J]. 石油学报, 1988, 9(4): 7~ 15
- 8 李建青. 青海省柴达木盆地茫崖凹陷下第三系非常规油气藏储层特征[A]. 见: 中国石油天然气总公司科技发展局. 中国油气储层研究论文集[C]. 北京: 石油工业出版社, 1993. 440~ 448
- 9 Zhang Jingong, Li Peilong, Dong dong. Overpressured fractures and fractured shale reservoirs in the Candong-Nanpi and Doying depressions [J]. Scientia Geologia Sinica, 1995, 4(4): 491~ 495
- 10 张金功, 王定一, 邸世祥, 等. 异常超压带内开启泥质岩裂隙的分布与油气的初次运移[J]. 石油与天然气地质, 1996, 17(1): 27~ 31
- 11 张金功, 梁志刚, 李丕龙. 控制超压泥质岩裂缝开启的主要因素[J]. 地质论评, 1996, 42(增刊): 124~ 129
- 12 盛志伟, 李惠芬. 我国陆相生油层的定量评价[A]. 见: 《中国含油气盆地烃源岩评价》编委会. 中国含油气盆地烃源岩评价 [C]. 北京: 石油工业出版社, 1993. 78~ 103
- 13 杨万里, 高瑞琪, 郭庆福, 等. 松辽盆地白垩系油气生成及分布 [A]. 见: 《中国含油气盆地烃源岩评价》编委会. 中国含油气盆地烃源岩评价 [C]. 北京: 石油工业出版社, 1993. 116~ 133

(下转 347 页)

R_o INVERSION OF THERMAL HISTORY RECONSTRUCTION IN SEDIMENTARY BASIN AND ITS RELATED PROBLEMS

Chen Gang^{1,2} Zhao Zhongyuan¹ Li Pulong² Ren Zhanli¹ Yan Hanjie² Liu Aiyong¹

(1. Department of Geology, Northwest University, Xi'an, Shanxi; 2 Geophysical Exploration

Research Institute of Shengli Oil Field Company Ltd SINOPEC, Dongying, Shandong)

Abstract: Vitrinite reflectance, also abbreviated to R_o , in various depth of same sedimentary basin is a reflector of thermal current density changes experienced by the basin. Therefore, the evolutionary history of a basin can be reflected by reconstructing ancient thermal current, paleo-ground temperature and a R_o model in the basin. However, R_o can be explained in several ways for multi-cycle basins and with inconvertibility, the reconstruction of a prototype basin would be started at the first and try your best to get as much reliable information about R_o as possible when you conduct basin inversion with R_o . In order to overcome inconvertible and coverable feature of R_o , LgR_o-H section can be explained segment by segment to gain average value of R_o as that segment R_o value in terms of the sedimentary stratum separated by unconformity. As for abrupt change LgR_o-H curve, attention should be paid to effects of local volcanic activities and abnormal value should be picked out. Moreover R_o . Information about basin outcrops and shallow buried areas is mainly applied to explain features of paleo-ground temperature in the early stage of the basin evolution.

Key words: superimposed basin; thermal history; R_o inversion; reconstruction; comprehensive constraint

(上接 338 页)

FORMATION AND POTENTIAL OF FRACTURED MUDSTONE RESERVOIRS

Zhang Jinggong¹ Yuan Zhengwen²

(1. Department of Geology, Northwest University, Xi'an, Shaanxi,

2. Henan Petroleum Exploration Administration, Nanyang, Henan)

Abstract: Almost all fractured mudstone reservoirs found both in and outside China are distributed in source rocks which are mainly composed of mudstones and shales, abundant in organic matter, calcareous and siliceous minerals. The abundance of organic carbon is 1.0%~20% in common with various types and their vitrinite reflectance is 0.5%~1.3%. There are three main genetic types of fractures which are structural, overpressured and diagenetic contraction ones in the source rocks. The mudstone reservoir caprocks are made up of non-fractured mudstones, gypsum and halite rocks. Anticline and monocline are major trap types. The fractured mudstone reservoirs are believed to have great source potential due to a great deal of hydrocarbon remained in the source rocks.

Key words: fractured mudstone reservoir; source rock; structural fracture; overpressured fracture; diagenetic contraction fracture; source potential