

文章编号: 1001-6112(2010)01-0019-05

# 陆相盆地薄层泥岩盖层形成机制、特征与油气成藏关系

——以辽东湾地区中南部为例

李慧勇<sup>1</sup>, 徐长贵<sup>1</sup>, 刘廷海<sup>1</sup>, 邓津辉<sup>1</sup>, 刘明玲<sup>2</sup>, 姚长华<sup>2</sup>

(1. 中海石油有限公司天津分公司, 天津塘沽 300452;

2. 中海油能源发展股份有限公司采油工程研究院, 天津塘沽 300452)

**摘要:**渤海海域辽东湾地区中南部近 2 年发现了一系列薄层泥岩作为有效盖层的油气藏。文章较全面地总结了薄层泥岩盖层特征及形成机制, 在此基础上分析了薄层泥岩盖层与油气成藏的关系。通过系统研究得出如下结论: 在圈闭形态良好的条件下, 薄层泥岩盖层对油气藏具有良好的封盖作用; 薄层泥岩质量对油气藏高度有明显的影响, 而薄层泥岩盖层厚度与油气藏高度没有明显的关系; 在相似薄层泥岩盖层条件下, 随着圈闭形态的变好, 油气藏高度变高。研究成果有助于拓宽勘探思路: 在近物源储层发育的地方, 虽然没有区域性盖层, 只要圈闭形态良好也能找到大中型油气田。

**关键词:** 油藏高度; 圈闭形态; 毛细管压力封闭; 封闭机理; 薄层泥岩盖层; 辽东湾地区

中图分类号: TE122.25

文献标识码: A

## THE FORMATION MECHANISMS AND CHARACTERISTICS OF THIN-LAYER MUDSTONE CAPROCK AND ITS RELATIONSHIP WITH HYDROCARBON ACCUMULATION IN THE TERRESTRIAL BASIN —AN EXAMPLE OF THIN-LAYER MUDSTONE CAPROCK IN THE SOUTH-CENTRAL LIAODONG BAY

Li Huiyong<sup>1</sup>, Xu Changgui<sup>1</sup>, Liu Tinghai<sup>1</sup>, Deng Jinhui<sup>1</sup>, Liu Mingling<sup>2</sup>, Yao Changhua<sup>2</sup>

(1. Tianjin Branch, CNOOC, Tanggu, Tianjin 300452, China;

2. CNOOC Energy Technology & Services Oilfield Engineering Research Institute, Tanggu, Tianjin 300452, China)

**Abstract:** A series of thin-layer mudstone caprock reservoirs have been found in the last two years in the south-central Liaodong Bay, Bohai offshore area. This paper comprehensively summarizes the formation mechanisms and characteristics of thin-layer mudstone caprock, and then analyzes the relationship between thin-layer mudstone caprock and hydrocarbon accumulation. Through systemic research, the following important conclusions are obtained. Under favorable trap shape condition, thin-layer mudstone caprocks have good sealing effect. Mudstone quality has obvious effect on reservoir height. But mudstone thickness has no relation with reservoir height. Reservoir height raises great along with the better trap shape under the similar sealing condition. The result of this research can broaden exploration thought for the future; In reservoir development area, large and medium oil and gas fields can be found as long as traps are in good condition.

**Key words:** reservoir height; trap shape; capillary pressure sealing; sealing mechanism; thin-layer mudstone caprock; Liaodong Bay

盖层是油气藏形成和保存的必要条件。影响盖层封闭性的因素是多方面的, 如盖层的岩性及埋深, 盖层的厚度及横向分布连续性, 盖层的孔隙度、渗透率及微孔隙结构等。国内外已发现的大油

(气)藏往往都和厚度较大的盖层相关联, 说明盖层的厚度与油气藏的规模和烃柱高度有一定的关系<sup>[1-4]</sup>。但是国内外一些油田也存在着薄层泥岩盖层成藏现象, 尤其是近 2 年渤海油田辽东湾地区

收稿日期: 2008-06-05; 修订日期: 2009-12-08。

作者简介: 李慧勇(1978-), 男, 博士, 工程师, 主要从事石油地质综合研究工作。E-mail: lihy11@cnooc.com.cn。

基金项目: 国家“十五”重大科技攻关项目(2003BA613A05)。

中南部发现了一系列薄层泥岩作为有效盖层的油气藏,这类油气藏一般油藏高度较高,均具有一定的储量规模。目前对于薄层泥岩盖层的封闭机理及其主控因素研究不多,分析这种薄层泥岩盖层特征及其对油气成藏影响,对于渤海油田乃至周边油田寻找该类型油气藏具有一定的指导意义。

## 1 薄层泥岩盖层特征与形成机制

### 1.1 薄层泥岩盖层特征

辽东湾地区薄层泥岩盖层主要分布在馆陶组和东营组。在岩性上馆陶组主要是灰色泥岩,部分绿灰色及褐灰色,质不纯,含粉砂;东营组褐灰色泥岩,质纯,性中硬,岩屑成块状;电性特征上测井曲线主要表现为齿状,薄层泥岩与本井相邻泥岩相比自然电位(GR)值大,声波时差值(DT)小(图 1),表明薄层泥岩泥质更纯。研究区薄层泥岩盖层主要分布在 1 200~2 300 m,成岩阶段处于早成岩 B 期—晚成岩 A 期。

### 1.2 薄层泥岩盖层形成机制

本次研究薄层泥岩盖层厚度最小值为 3 m,最大值 9 m,平均值 5.8 m。薄层泥岩盖层沉积相类型多样,从辫状河河漫滩微相、辫状河三角洲前缘

的水下分流河道间微相到前三角洲亚相均有分布。从成因看这类薄层泥岩多形成于湖泛期,湖泛面为基准面上升至最大,开始下降的转换位置,此时期可容纳空间较大,代表着饥饿沉积,所沉积的泥岩泥质一般较纯,具有良好的封盖作用。

综合研究认为这种薄层泥岩盖层属于局部型泥岩盖层,为覆盖于储集层之上的直接盖层。由于研究区泥岩不存在欠压实现象,故不存在压力封闭。另外薄层泥岩盖层厚度较薄且埋藏深度没有达到生烃门限深度,不具有生烃能力,泥岩盖层不具有烃浓度封闭能力。因此这种薄层泥岩盖层封闭机理为物性封闭,即毛细管封闭。盖层的毛细管封闭主要是依靠盖层与储层之间的排替压力差封闭闭气,因此盖层的排替压力越大,其封闭能力越强<sup>[1,5-9]</sup>。

## 2 薄层泥岩盖层与油气成藏关系

研究区薄层泥岩盖层特征不同,盖层所封闭的油气藏特征不同、类型多样,分析这种薄层泥岩盖层与油气成藏关系需从不同方面进行研究,找出相关规律。

### 2.1 薄层泥岩盖层油气藏特征

薄层泥岩盖层油气藏均出现在储层发育的部

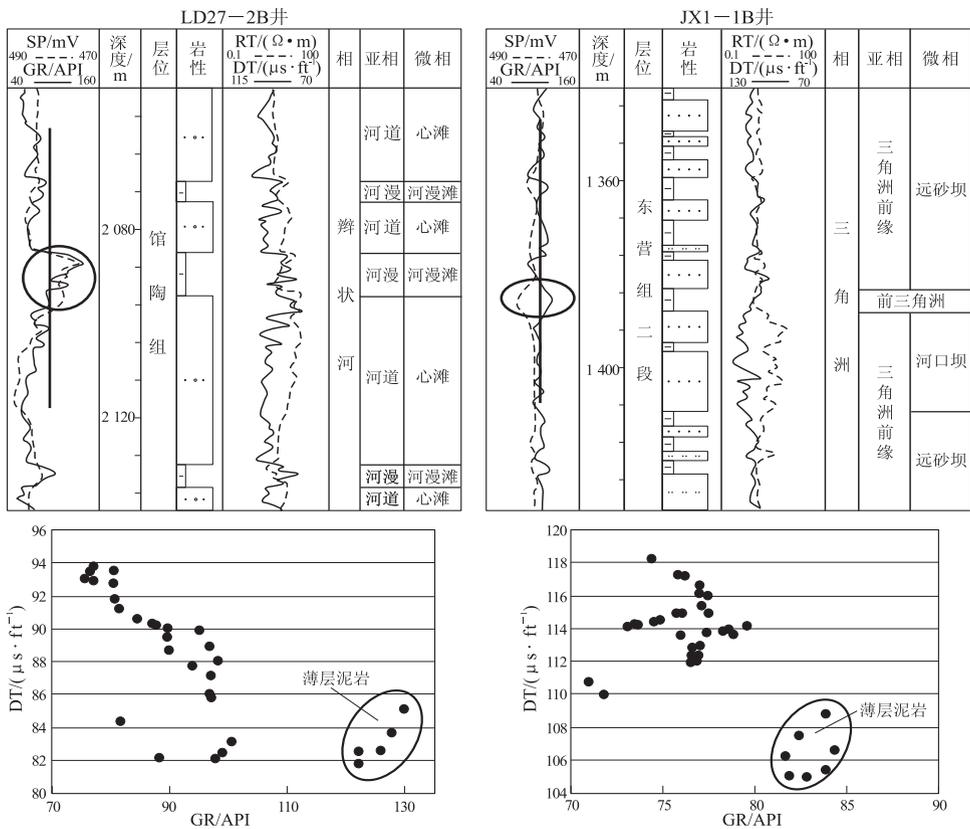


图 1 辽东湾中南部薄层泥岩盖层特征

Fig. 1 Characteristics of thin-layer mudstone seal in the south-central Liaodong Bay

表1 辽东湾中南部薄层泥岩盖层油气藏特征

Table 1 Characteristics of thin-layer mudstone caprock reservoirs in the south-central Liaodong Bay

井号	层位	泥岩盖层底界深度/m	泥岩盖层厚度/m	油藏高度/m	原油密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	沉积相	亚相	微相
LD16-1A	馆陶组	1 208.5	7	55	0.994	辫状河	河漫	河漫滩
LD27-2A	馆陶组	1 916.8	3.3	30	0.860	辫状河	河漫	河漫滩
LD27-2A	馆陶组	2 092.0	7	40	0.849	辫状河	河漫	河漫滩
LD27-2B	馆陶组	2 074.4	4.4	25	0.849	辫状河	河漫	河漫滩
LD27-2B	馆陶组	2 096.0	9	38	0.849	辫状河	河漫	河漫滩
JX1-1B	东三段	1 546.9	6	70	0.960	辫状河三角洲	三角洲前缘	水下分流河道间
JX1-1C	东三段	1 458.1	8	105	0.967	辫状河三角洲	前三角洲	
LD6-2A	东三段	2 216.9	6	170	0.883	三角洲	三角洲前缘	水下分流间湾
LD6-2A	东三段	2 309.8	5	155	0.878	三角洲	前三角洲	
JX1-1A	东二段	1 365.2	4	120	0.978	三角洲	前三角洲	
JX1-1B	东二段	1 387.7	4	87	0.978	三角洲	前三角洲	

位,各层段砂岩百分含量平均69.1%,分布深度在1 200~2 300 m之间。薄层泥岩盖层所封闭的油气藏特征变化很大。原油密度范围在0.849~0.994 g/cm<sup>3</sup>之间,平均值0.913 g/cm<sup>3</sup>。油气藏高度在25~170 m之间,平均值81 m。圈闭类型多样,从断块、半背斜到背斜圈闭均有出现(表1)。

## 2.2 泥岩盖层厚度与油气成藏的关系

盖层厚度达到多大才能达到有效封闭油气藏的基本要求,即盖层厚度是否存在可以定量确定的下限?大量研究表明,这与盖层岩性、孔隙结构、破裂情况及横向稳定性有密切关系。

邓宗淮等<sup>[1]22</sup>的测试分析表明,5 cm厚度的泥岩,其渗透率为 $(0.1\sim 0.001)\times 10^{-6}\mu\text{m}^2$ ,突破压力达12 MPa,封闭气柱高度在1 000 m以上。根据Нестелов<sup>[10]59</sup>的实验,油气通过1 m厚的饱和水粘土盖层需要12 MPa的压力差。因此,从理论上推算只要1 m厚的粘土层就足够封盖油藏高度较高的油气藏。考虑地质时间漫长,只需几米就够了。Левел<sup>[10]59</sup>曾对西高加索区下白垩统油层的泥岩盖层作过统计分析,在埋深1 200~3 000 m范围内,5~10 m厚的泥岩足以起到良好的封闭作用。当然,如果盖层横向稳定性变差,或破裂情况严重,厚度必须加大。前人的大量研究均表明几米厚的泥岩已具有较好的封闭性能。

另外通过理论研究,泥页岩盖层只要具备1 MPa的突破压力,即可以阻挡住约400 m高的油藏或125 m高的气藏。这个量值所对应的泥岩总孔隙度约30%,只要泥岩埋深达1 000 m左右,泥岩总孔隙度即可由70%降低到30%。因此泥岩埋深达1 000 m左右,即可具备封闭油气藏的能力。研究区薄层泥岩盖层深度分布在1 200~2 300 m之间,根据测井解释结果研究区这些薄层泥岩盖层

的泥岩总孔隙度均小于30%,且随着深度增大,泥岩总孔隙度值逐渐变小(图2),因此这些薄层泥岩盖层具有一定的封闭能力。根据LD27-2A井深度2 092 m处薄层泥岩的实验数据,该处泥岩最大突破压力达到2 MPa,也进一步证实研究区薄层泥岩盖层具有较强的封盖能力。

统计发现泥岩盖层厚度和油藏高度之间并不存在相关性(图3),说明在几米泥岩厚度范围内,

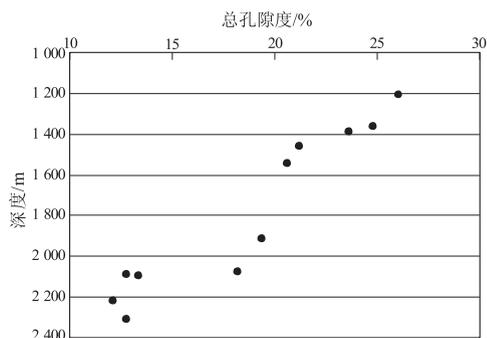


图2 辽东湾中南部泥岩总孔隙度随埋藏深度变化关系

Fig. 2 The total porosity of mudstone changing with burial depth in the south-central Liaodong Bay

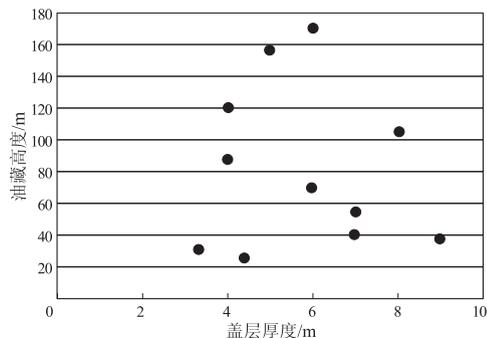


图3 辽东湾中南部盖层厚度与油藏高度关系

Fig. 3 The relationship between mudstone thickness and reservoir height in the south-central Liaodong Bay

盖层厚度并不是影响油藏高度的关键因素,但是不可否认较厚的盖层对增强封闭能力是有益的。

### 2.3 泥岩盖层质量与油气成藏的关系

薄层泥岩盖层泥岩质量的好坏主要体现在泥岩中砂质含量的多少,泥岩中的砂质含量的大小不仅直接影响泥岩的孔隙度空间结构,而且影响其孔隙性。随砂质含量增加,泥岩孔隙半径增大,排替压力减小,封闭性变差<sup>[11-12]</sup>。泥岩中砂质含量的多少宏观上主要取决于所处的沉积相类型。分析薄层泥岩盖层沉积相类型可以初步判断盖层泥岩质量。

研究发现从辫状河、辫状河三角洲到三角洲盖层所封闭的油藏高度依次增大(图 4,表 1)。主要是因为从辫状河河漫滩、辫状河三角洲水下分流河道间到前三角洲砂岩含量越来越低,泥岩越来越纯,岩石孔喉半径逐渐变小,泥岩盖层突破压力值变大,盖层封盖能力增强。

### 2.4 泥岩盖层埋深与油气成藏的关系

泥岩随埋深增大而不断被压实,孔径随之而缩小。据 *Абдурахманов*<sup>[10]59-60</sup> 的研究,埋深达 1 797 m (孔隙度 14.4%)孔径都已小于或等于  $0.05 \mu\text{m}^2$ ,已具有一定的封闭能力,而达到 2 600 m 时孔隙度只有 2.7%。因此,1 800 m 以下的泥质岩应该具有较好的封闭性。*Прозорович*<sup>[10]60</sup> 等根据西伯利亚及北高加索等地区不同深度泥岩封闭能力的研究,认为深度在 4 000~6 000 m 深部泥岩,虽然孔隙度极低,孔径也很小,但由于温度较高,压力较大,脱水明显,使泥质岩变为硬泥岩(泥板岩),性变脆,可塑性降低,容易出现破裂,其封闭能力可能降低。因而认为泥岩在 1 500~4 000 m 区间具有最佳封闭能力。统计发现研究区油藏高度与盖层埋深并没有很好的相关性,说明盖层埋深对油藏高度的大小并不起主导作用(图 5)。

原苏联学者依诺泽姆采夫<sup>[1]22</sup>在研究古比雪夫

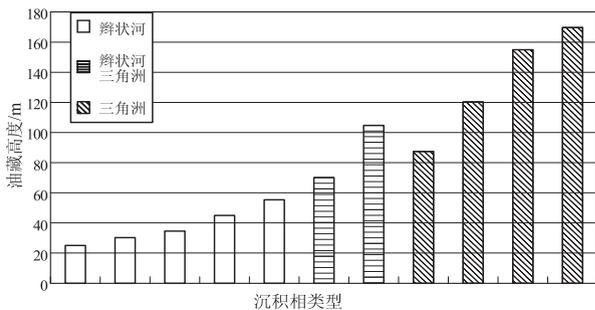


图 4 辽东湾中南部沉积相类型与油藏高度关系

Fig. 4 The relationship between sedimentary facies types and reservoir height in the south-central Liaodong Bay

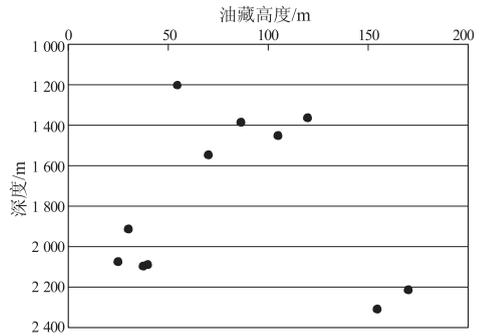


图 5 辽东湾中南部盖层深度与油藏高度关系

Fig. 5 The relationship between burial depth and reservoir height in the south-central Liaodong Bay

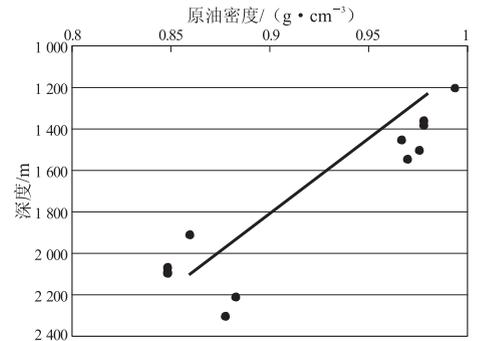


图 6 辽东湾中南部盖层深度与原油密度关系

Fig. 6 The relationship between burial depth and crude oil density in the south-central Liaodong Bay

地区下石炭统油藏之上厚薄不等的盖层对石油聚集的影响时提出,石油密度反映了其氧化程度,而氧化程度与油藏上覆盖层封闭能力呈正相关关系。经过研究发现随着盖层埋深增大,盖层封盖性变好,原油的水洗氧化作用变小,原油密度变小(图 6)。

### 2.5 相似薄层泥岩盖层条件下圈闭类型与油气成藏的关系

研究区薄层泥岩盖层油气藏圈闭类型多样,断块、半背斜、背斜圈闭均有出现。由于研究区薄层泥岩盖层油气藏分布在馆陶组和东营组。而馆陶组和东营组成藏条件差异很大,因此分析相似盖层条件下圈闭类型与油藏高度关系时必须分开研究。馆陶组圈闭类型为半背斜和背斜圈闭,背斜圈闭比半背斜圈闭封闭的油藏高度要大。东营组圈闭类型为半背斜和断块圈闭,半背斜圈闭比断块圈闭封闭的油藏高度要大(图 7)。

综合分析认为相似盖层条件下封闭油藏高度由小到大的圈闭类型依次为:断块—半背斜—背斜。主要是因为从断块—半背斜—背斜圈闭形态越来越完整,要求封闭条件越来越低。

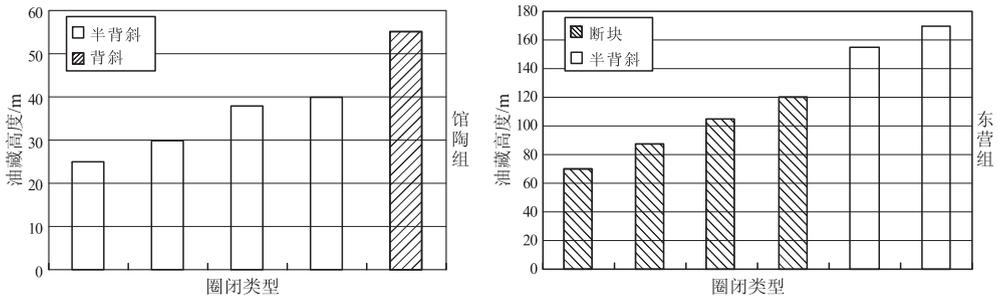


图 7 辽东湾中南部薄层泥岩盖层油气藏圈闭类型与油藏高度关系

Fig. 7 The relationship between trap types and reservoir height in the south-central Liaodong Bay

### 3 结论

- 1) 在圈闭形态良好的条件下,薄层泥岩盖层对油气藏具有良好的封盖作用。
- 2) 薄层泥岩质量对油气藏高度有明显的影响,而薄层泥岩盖层厚度与油气藏高度没有明显的关系。
- 3) 在相似薄层泥岩盖层条件下,随着圈闭形态的变好,油气藏高度变大。
- 4) 在近物源储层发育的地方,即使没有区域性盖层,只要圈闭形态良好,也能找到大中型油气田。

#### 参考文献:

[1] 庞雄奇,付广,万龙贵,等. 盖层封油性综合定量评价[M]. 北京:地质出版社,1993.  
 [2] 吕延防,付广,高大岭,等. 油气藏封盖研究[M]. 北京:石油工业出版社,1996:4-30.  
 [3] 童晓光,牛嘉玉. 区域盖层在油气聚集中的作用[J]. 石油勘

探与开发,1989,16(4):1-8.  
 [4] 蒋有录. 油气藏盖层厚度与所封盖烃柱高度关系问题探讨[J]. 天然气工业,1998,18(2):20-23.  
 [5] 付广,陈章明,吕延防,等. 泥质岩盖层封盖性能综合评价方法探讨[J]. 石油实验地质,1998,20(1):80-86.  
 [6] 付广,吕延防. 天然气扩散作用的研究方法[M]. 北京:石油工业出版社,1999:1-99.  
 [7] 付广,吕延防,付晓飞,等. 断陷盆地源盖断时空匹配对油气成藏的控制作用[J]. 油气地质与采收率,2004,11(5):17-20.  
 [8] 付广,孟庆芬,祝彦贺. 断裂对乌尔逊凹陷油气成藏与分布的控制作用[J]. 油气地质与采收率,2005,12(1):33-35.  
 [9] 康德江,付广,吕延防. 贝尔断陷布达特群泥岩盖层综合评价[J]. 油气地质与采收率,2006,13(5):44-46.  
 [10] 陈荣书. 石油及天然气地质学[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1993.  
 [11] 李国平,石强,王树寅. 储盖组合测井解释方法研究[J]. 测井技术,1997,20(2):98-104.  
 [12] 焦翠华,谷云飞. 测井资料在盖层评价中的应用[J]. 测井技术,2004,28(1):14-16.

(编辑 黄娟)



(上接第 18 页)

[10] 蒋小琼,范明,王恕一,等. 埋藏成岩环境碳酸盐岩溶蚀作用模拟实验研究[J]. 石油实验地质,2008,30(6):643-646.  
 [11] 张奎华,马立权. 济阳拗陷下古生界碳酸盐岩潜山内幕储层再研究[J]. 油气地质与采收率,2007,14(4):26-28.  
 [12] 阎相宾. 塔河油田奥陶系碳酸盐岩储层特征[J]. 石油与天然气地质,2002,23(3):262-265.  
 [13] 肖玉茹,何峰煜,孙义梅. 古洞穴型碳酸盐岩储层特征研究:以塔河油田奥陶系古洞穴为例[J]. 石油与天然气地质,2003,24(1):75-86.  
 [14] 孟元林,吴巍,姜文亚,等. 双清地区储层异常高孔带分布特征与成因分析[J]. 中国海上油气,2008,20(3):148-151.

(编辑 徐文明)