

文章编号:0253-9985(2011)05-0671-11

# 歧口凹陷沙河街组一段中部区域盖层封气能力综合评价

史集建<sup>1</sup>,付广<sup>1</sup>,吕延防<sup>1</sup>,李丽丽<sup>2</sup>,安振月<sup>3</sup>,朱娜娜<sup>1</sup>

(1. 东北石油大学 地球科学学院,黑龙江 大庆 163318; 2. 大庆油田有限责任公司 勘探开发研究院,黑龙江 大庆 163712; 3. 中国石油 大港油田公司 第四采油厂,天津 300280)

**摘要:**依据单井以及气藏资料,对歧口凹陷沙河街组一段中部区域盖层综合评价参数进行了研究。认为盖层的厚度普遍较大且连续性好,有较强的微观封闭能力;但北大港潜山构造带和板桥凹陷北部地区较高的储层压力系数与盖层内断裂的垂直断距较大造成偏小的断层岩排替压力不利于盖层对天然气保存。基于盖层厚度、排替压力、气藏压力系数与断层垂向封闭特征等4个参数建立盖层封气能力综合评价方法,并根据歧口凹陷盖层封气能力评价标准,对盖层的封气能力进行了评价。研究认为沙河街组一段中部区域盖层在歧口凹陷大部分地区均具有封闭中、低储量丰度气藏的能力,在凹陷区具备封闭高储量丰度气藏的能力,评价结果与目前气藏的特征具有较好的一致性。

**关键词:**封气能力;储量丰度;有利区;区域盖层;沙河街组;歧口凹陷

中图分类号:TE122.2

文献标识码:A

## Comprehensive evaluation of regional seal in the middle of the first member of Shahejie Fm in the Qikou Sag

Shi Jijian<sup>1</sup>, Fu Guang<sup>1</sup>, Lü Yanfang<sup>1</sup>, Li Lili<sup>2</sup>, An Zhenyue<sup>3</sup> and Zhu Na'na<sup>1</sup>(1. College of Earth Science, Northeast Petroleum University, Daqing, Heilongjiang 163318, China;  
2. Research Institute of Exploration and Development, PetroChina Daqing Oilfield Company, Daqing, Heilongjiang 163712, China;  
3. The Fourth Oil Production Plant, PetroChina Dagang Oilfield Company, Tianjin 300280, China )

**Abstract:** Regional seal in middle of the first member of Shahejie Formation in Qikou Sag was comprehensively evaluated by using single well and gas reservoir data. The results show that the caprock was generally thick and continuous, and thus has relatively strong microscopic sealing ability. However, in the Beidagang buried hill structure belt and northern Banqiao depression, the reservoir pressure coefficient is relatively large and the displacement pressure of fault rock is relatively low due to the large vertical displacement of major faults in the caprock, being unfavorable for the preservation of gas. Based on four parameters including caprock thickness, displacement pressure, pressure coefficient of gas reservoir and vertical sealing ability of faults, a comprehensive evaluation method was proposed and used to evaluate the sealing ability of caprock in Qikou Sag. The results show that the caprock in most areas of Qikou Sag can seal gas reservoirs with medium to low reserves abundance and can seal gas reservoirs with high reserves abundance in central depression.

**Key words:** sealing ability, reserves abundance, favorable area, regional caprock, Shahejie Formation, Qikou Sag

歧口凹陷为黄骅拗陷内的富油气凹陷之一,具有沉降深度大、勘探程度低、剩余资源量多、勘

探潜力大等特点,是大港油田公司重要的油气田接替区。目前大量学者对于歧口凹陷天然气成藏

收稿日期:2011-08-29。

第一作者简介:史集建(1982—),男,博士研究生,油气成藏。

基金项目:国家科技重大专项(2008ZX05007-003)。

的源岩、构造、沉积、圈闭等条件研究比较深入<sup>[1-6]</sup>,而对盖层的微观封闭能力参数分布特征和盖层综合封闭能力对油气成藏的控制作用等方面研究较少。因此,开展歧口凹陷区域盖层的研究,对于解决天然气藏垂向与平面上分布的复杂性,指导下一步勘探均具有重要意义。

### 1 地质概况

歧口凹陷东南部以埕宁隆起为界,西南与孔店、徐黑和盐山 3 个二级构造带相接,西北与增福台二级构造带相连,东部以 5 m 水深线为界,面积约为 1 360 km<sup>2</sup>。发育地层较多,下部的古生界和中生界受到中生代强烈的改造作用,剥蚀情况较严重;新生界发育最完整,包括古近系的孔店组、沙河街组和东营组,新近系的馆陶组和明化镇组,以及第四系的平原组。

歧口凹陷的气源岩为沙三段、沙二段和沙一段,均已进入大量排气期,其中主力气源岩为沙三段。目前歧口凹陷已找到了大量天然气藏,平面上主要分布在板桥、千米桥、大张坨、港东、港西、港中、六间房、马东、唐家河、张东东、张巨河、周青庄、齐家务、王徐庄、扣村、羊三木和刘官庄等区域;纵向在上奥陶系、中生界、沙三段、沙二段、沙一段、东营组、馆陶组和明化镇组均有分布。其中,沙一段下部储层内的天然气藏无论在数量还是规模方面,都最为富集(图 1),这与沙一段中部区域盖层的良好封闭能力具有直接关系。因此,本文将主要对沙一段中部区域盖层的封闭能力分布特征及对天然气成藏的控制作用进行分析研

究,以便为天然气的下一步勘探提供依据。

### 2 盖层封气能力评价参数特征

盖层的封闭能力主要受宏观和微观两个方面的影响<sup>[7]</sup>。盖层宏观封闭能力是指盖层的厚度、横向发育连续性以及分布范围,单层厚度越大,横向发育越连续、分布范围越广,盖层的封闭能力越强;反之则越弱。盖层微观封闭能力<sup>[8]</sup>的强弱通常用盖层排替压力来反映,排替压力越大,盖层微观封闭能力越强;反之则越弱。气藏能量也是影响盖层封闭能力的重要因素<sup>[9]</sup>,气藏能量越大,天然气向上突破盖层的能力越强,天然气越易通过盖层向外散失,不利于天然气保存;反之则有利于天然气保存。此外,当盖层内发育断裂时,断裂对盖层厚度、连续性和封闭能力也会产生重要影响,盖层被破坏的越强,对盖层分布连续性和封闭能力的破坏作用越大;反之则越小。因此,盖层封气能力评价参数应主要包括盖层宏观发育特征、微观封闭能力、气藏能量(可用压力系数大小表示),以及其内断裂发育特征。

#### 2.1 盖层宏观发育特征

歧口凹陷沙一段中部地层沉积时盆地正处于裂陷阶段,形成大范围湖相沉积,岩性主要为深色泥岩和页岩,仅在凹陷靠近陆源区一侧才有砂体发育<sup>[10]</sup>。

通过对歧口凹陷主要探井进行分析,得到沙一段中部区域性盖层泥岩厚度总体上表现为由南

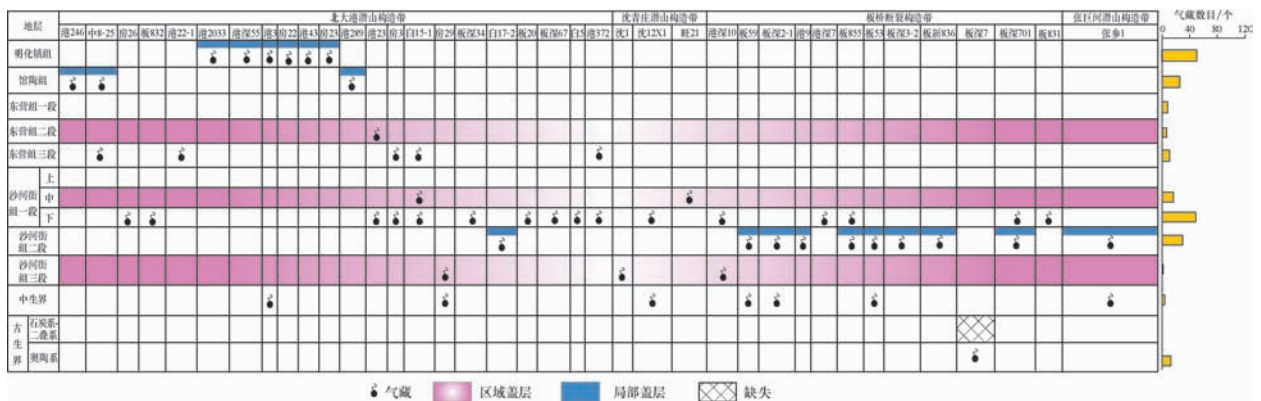


图 1 歧口凹陷储盖组合示意图

Fig. 1 Sketch map showing reservoir-caprock assemblage in Qikou Sag

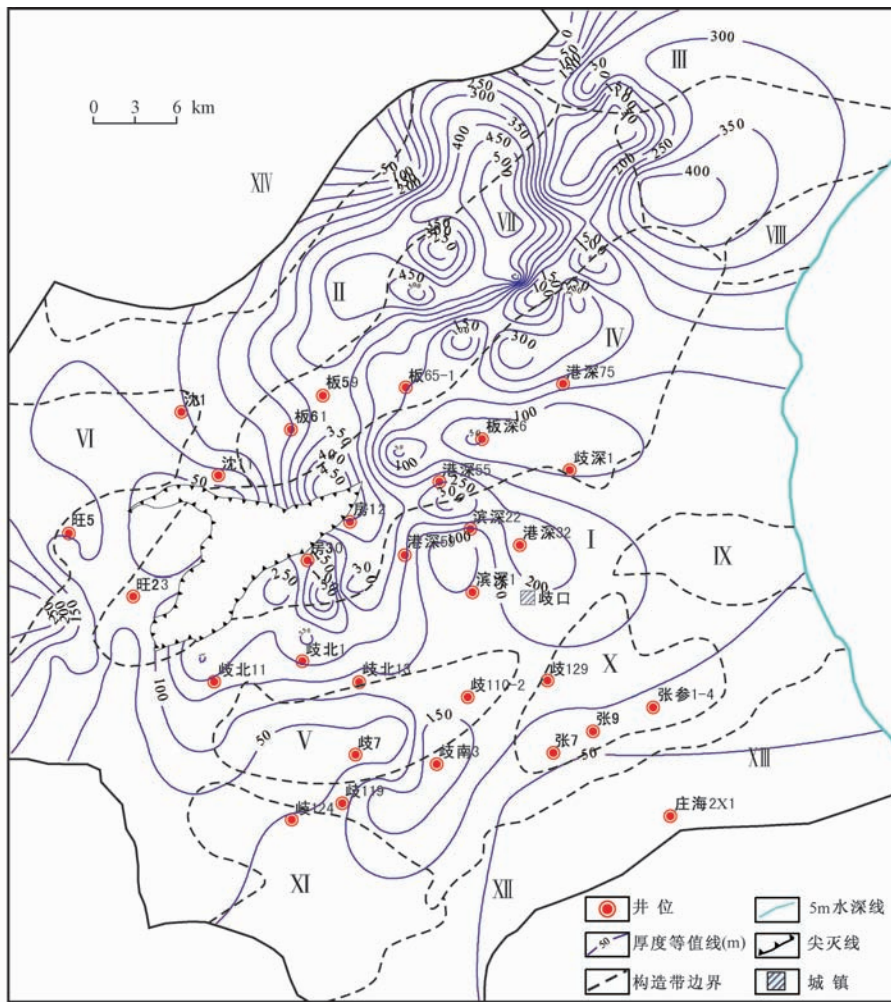
向北逐渐增厚。盖层厚度普遍较大,大部分地区达到 100 m 以上,只有东南部及西南部有部分地区厚度在 50 m 以下。盖层厚度的高值区主要分布在歧口凹陷的东北部,呈现为北东-南西走向的条带状,其中最大值达 500 m 以上,主要分布于板桥凹陷北部。由于受到区域构造抬升剥蚀作用,沙一段中部盖层在北大港潜山构造带南部有小范围区域缺失(图 2)。

### 2.2 盖层微观封气能力特征

通过歧口凹陷 37 块岩石样品实测排替压力

数据(表 1),建立沉积地层岩石排替压力预测公式,以此来研究盖层微观封闭能力。

前人研究认为,岩石中泥质含量越高,压实程度越大,岩石的孔隙越小,毛细管力越大,即排替压力越大<sup>[11-12]</sup>。因此,岩石的排替压力与其内部泥质含量和埋深具有密切的联系。通过大量的相关性分析,发现岩石排替压力与其泥质含量和埋深的乘积两者之间成呈较好的正相关关系。由图 3 中可以看出,随着泥质含量与埋深乘积的增大,岩石排替压力升高;反之排替压力则降低。



I. 歧口凹陷; II. 板桥凹陷; III. 塘沽新港潜山构造带; IV. 北大港潜山构造带; V. 南大港潜山构造带; VI. 沈青庄潜山构造带; VII. 板桥断裂构造带; VIII. 白东海2断裂构造带; IX. 歧东海 I 断裂构造带; X. 张巨河断裂构造带; XI. 三木潜山构造带; XII. 羊二庄裙边构造带; XIII. 赵家堡海4断裂构造带; XIV. 沧县隆起

图 2 歧口凹陷沙一段中部区域盖层厚度分布

Fig. 2 Thickness map of the regional seal in the middle of the first member of Shahejie Formation in Qikou Sag

表 1 歧口凹陷泥岩盖层样品排替压力实验测试数据

Table 1 Measured displacement pressure of the mudstone caprock samples from Qikou Sag

井号	层位	深度/m	排替压力/ MPa	泥质含量, %	井号	层位	深度/m	排替压力/ MPa	泥质含量, %
歧 129	Es <sup>2</sup>	4 098.5	15.3	56.3	板深 18	Es <sup>1(下)</sup>	3 251.4	1.3	15.2
歧 129	Es <sup>1(中)</sup>	3 778.2	15.4	59.0	板深 68	Es <sup>3</sup>	4 245.9	3.5	23.9
歧 124	Es <sup>3</sup>	2 336.7	3.1	18.0	港 22-1	Nm	2 197.9	4.6	35.4
板深 68	Es <sup>3</sup>	4 245.9	11.8	53.0	港深 18-1	Es <sup>1(上)</sup>	3 272.6	4.2	51.0
庄 68	Es <sup>1(中)</sup>	2 665.8	2.8	17.1	港 396	Mz	3 022.6	3.8	16.8
歧 74	Es <sup>3</sup>	2 657.0	15.6	62.3	港深 19	Es <sup>1(中)</sup>	3 521.2	6.6	44.6
港 374	Es <sup>1(上)</sup>	2 826.1	5.5	44.3	港新 57	Es <sup>1(中)</sup>	3 477.1	9.4	49.7
张 14-1	Ed	2 871.4	8.6	70.7	港 339	Ed	2 700.8	2.3	22.7
歧 127	Ed	2 289.3	4.8	70.2	港深 18	Es <sup>1(下)</sup>	3 263.33	9.9	45.8
港深 9	Es <sup>1(上)</sup>	3 156.8	3.8	25.9	歧 129	Ed	2 852.8	16.3	76.0
港深 68	Es <sup>1(上)</sup>	3 126.2	3.2	18.7	东古 1	C	3 540.3	19.1	72.0
港深 67	Es <sup>1(下)</sup>	3 846.1	1.5	23.7	灯参 1	C	3 758.2	3.9	55.0
港深 66	Es <sup>1(中)</sup>	3 441.5	5.4	41.4	塘 19	P	3 815	18.1	65.0
港深 56	Es <sup>2</sup>	3 192.2	2.8	37.1	港古 1-1	P	1 788.1	5.8	60.0
白 20-2	Es <sup>1(中)</sup>	3 176.2	5.5	29.2	孔古 8	C	2 818.5	22.1	78.0
板 834-3	Es <sup>1(下)</sup>	3 021.4	2.9	28.4	歧 107	Es <sup>3</sup>	2 813.5	12.3	68.0
歧 124	Es <sup>2</sup>	2 263.5	14.0	75.0					

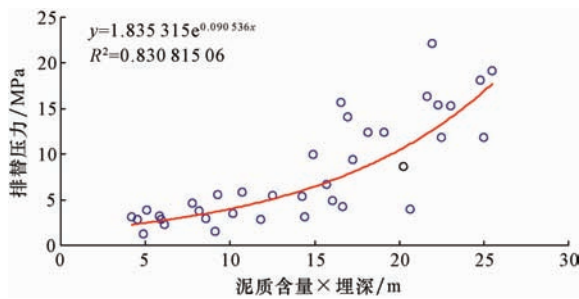


图 3 歧口凹陷泥岩盖层排替压力与深度和泥质含量乘积的关系

Fig. 3 Displacement pressure vs. product of depth and clay content of the mudstone caprock in Qikou Sag

通过数学拟合得到歧口凹陷泥岩盖层排替压力与深度和泥质含量乘积之间的函数关系式为:

$$p = 1.835315 \times e^{(0.090536ZV_{sh}/100)} \quad (1)$$

式中:  $p$ ——排替压力值, MPa;

$Z$ ——盖层埋深, m;

$V_{sh}$ ——盖层泥质含量, %。

其中, 泥岩盖层泥质含量的多少, 可利用自然伽马测井数据计算求得。由式 1, 利用沙一段中部盖层钻井埋深、泥质含量资料对歧口凹陷沙一段中部区域盖层排替压力值进行了计算, 结果如图 4 所示。

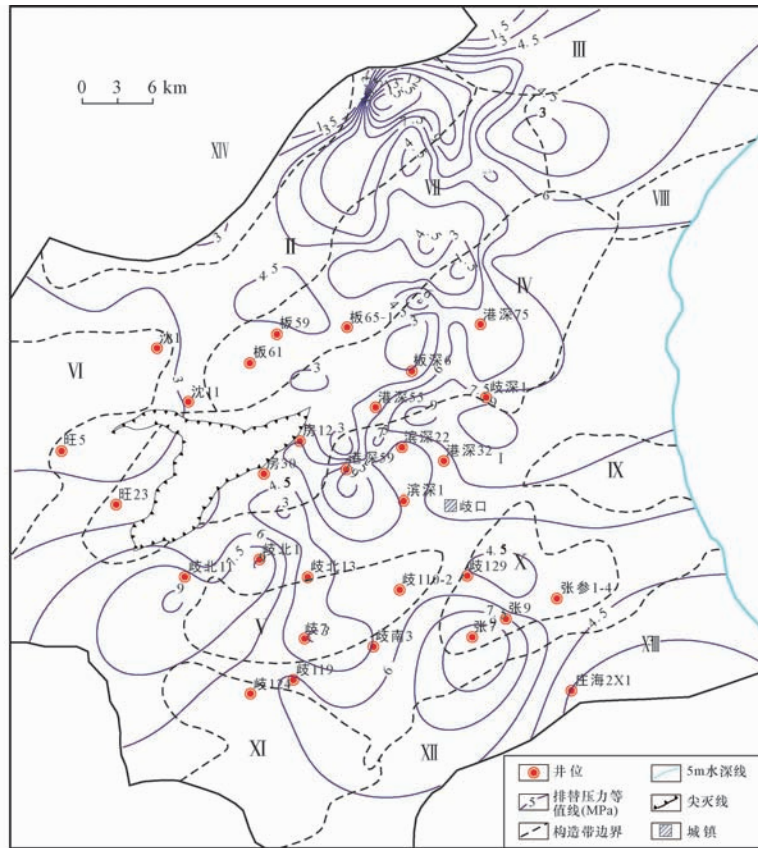
由图 4 中可以看出, 由于受东西向洼隆相间构造形态的影响, 沙一段中部区域性盖层排替压

力主要呈现出由南向北高低相间的波动趋势。存在 4 个盖层排替压力大于 7.5 MPa 的高值区, 呈北东-南西向条状分布, 分别位于板桥凹陷北部、歧口主凹东北部、南大港潜山构造带西部和东部。其中板桥凹陷北部盖层排替压力最大, 达 15 MPa; 歧口主凹东北部盖层排替压力高值区面积最广。高值区中间夹持的地区一般盖层排替压力较低, 如板桥断裂构造带和北大港潜山构造带处, 盖层排替压力平均仅 4.5 MPa 左右。盖层排替压力由凹陷中心部位向边缘逐渐减小, 在沧县隆起部位减小为 0。

### 2.3 气藏内部压力特征

由于天然气本身可压缩性、圈闭封堵性和构造挤压等作用, 油气藏内部往往具有较正常压实地层异常高的地层孔隙流体压力, 即压力系数大于 1。随圈闭内天然气储量的增大, 压力系数也逐渐增大; 反之则逐渐减小。

由图 5 中可用看出, 歧口凹陷沙一段中部区域盖层以下地层压力系数最高约为 1.45, 位于歧口主凹内; 最小值约为 0.80, 位于北大港潜山构造带南部。总体表现为深凹区为高压区, 研究区西部和南部的隆起区和斜坡区为常压或低压区。在北大港潜山构造带和板桥凹陷北部地区, 地层压力系数也相对较高。



I. 歧口凹陷; II. 板桥凹陷; III. 塘沽新港潜山构造带; IV. 北大港潜山构造带; V. 南大港潜山构造带; VI. 沈青庄潜山构造带; VII. 板桥断裂构造带; VIII. 白东海2断裂构造带; IX. 歧东1断裂构造带; X. 张巨河断裂构造带; XI. 三木潜山构造带; XII. 羊二庄裙边构造带; XIII. 赵家堡海4断裂构造带; XIV. 沧县隆起

图4 歧口凹陷沙一段中部区域盖层排替压力平面分布

Fig. 4 Map showing displacement pressure distribution of regional caprock in the middle of the first member of Shahejie Formation in Qikou Sag

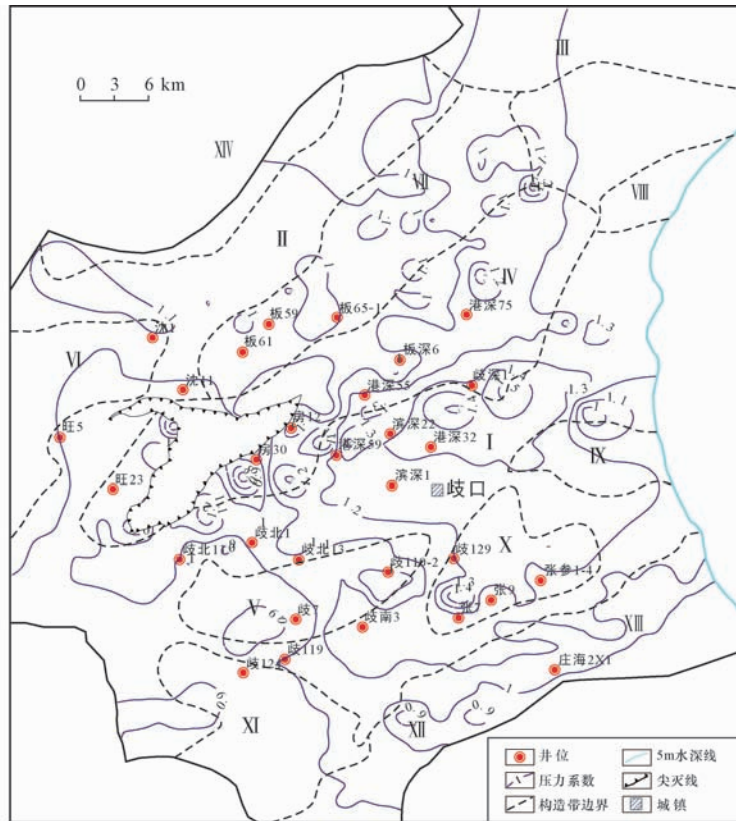
### 2.4 盖层内断裂发育特征及封闭性

歧口凹陷断裂较为发育,在强烈的断块翘倾活动中形成不同方向的断裂<sup>[13]</sup>,以NE向断裂展布为主,而进入凹陷东部则以近EW向断裂分布为主(图6)。主要的二级断裂有南倾的港东、港西、南大港、唐家河和白水头五条断层及北倾的大张坨、港中、歧东、张北、张东和赵家堡海4六条断层,断层长度一般十几至几十千米,平面上呈曲折延伸的特征。歧口凹陷主要断层的断距较大,大部分均达300 m以上。港东断层处断距最大达1 850 m,其次为港西断层,断距也达1 300 m;南大港断层与歧东断层断距也达1 000 m以上。在断层发育的地区,断距均大于沙一段中部区域盖层的厚度,盖层被完全错断,天然气能否被盖层封闭,主要取决于断层岩的封闭能力。

依据吕延防提出的方法<sup>[14]</sup>,对歧口凹陷沙一段中部区域盖层内断层岩排替压力进行了研究,得到断层岩排替压力大部分分布在2.5~5.0 MPa;断距较小的部位,断层岩排替压力主要分布在5.0~7.5 MPa;断距较大的位置,断层岩排替压力一般较小,小于2.5 MPa。总体上,断层岩排替压力较其盖层排替压力小,降低了盖层的微观封气能力。

### 3 盖层封气能力综合评价

根据影响盖层封闭能力的各主要参数与盖层封闭能力之间关系,定义盖层封闭能力综合评价指标(cap seal index)<sup>[15]</sup>。为了使盖层综合封闭能力之间更有可比性,对综合评价公式内的参数采用了归一化计算。主要通过前人对我国各含气盆



I. 歧口凹陷; II. 板桥凹陷; III. 塘沽新港潜山构造带; IV. 北大港潜山构造带; V. 南大港潜山构造带; VI. 沈青庄潜山构造带; VII. 板桥断裂构造带; VIII. 白东海2断裂构造带; IX. 歧东海1断裂构造带; X. 张巨河断裂构造带; XI. 三木潜山构造带; XII. 羊二庄裙边构造带; XIII. 赵家堡海4断裂构造带; XIV. 沧县隆起

图5 歧口凹陷沙一段下部地层压力系数分布<sup>①</sup>(修改)

Fig. 5 Map showing formation pressure coefficient of the lower first member of Shahejie Formation in Qikou Sag<sup>①</sup>(modified)

地盖层统计成果<sup>②</sup>确定盖层厚度、排替压力和气藏压力系数进行归一化处理(表2)。在评价过程中,当盖层参数大于标准值的,取值为1;小于标准值的,取其与标准值的比值。

$$CSI = \frac{(p_{\min}/p_o)(H_{\text{有效}}/H_o)}{k/k_o} \quad (2)$$

式中:CSI——气藏盖层封闭能力综合定量评价指标;

$p_{\min}$ ——盖层段最小排替压力,MPa。当盖层部位不发育断层时, $p_{\min} = p_{\text{盖}}$ ;当盖层部位发育断层时, $p_{\min} = \min(p_{\text{盖}}, p_{\text{断}})$ ;

$p_{\text{盖}}$ ——盖层排替压力,MPa;

$p_{\text{断}}$ ——断裂带内部排替压力,MPa;

$p_o$ ——排替压力归一化标准值,MPa;

$H_{\text{有效}}$ ——盖层有效厚度,m;

$H_o$ ——盖层厚度归一化标准值,m;

$k$ ——气藏压力系数;

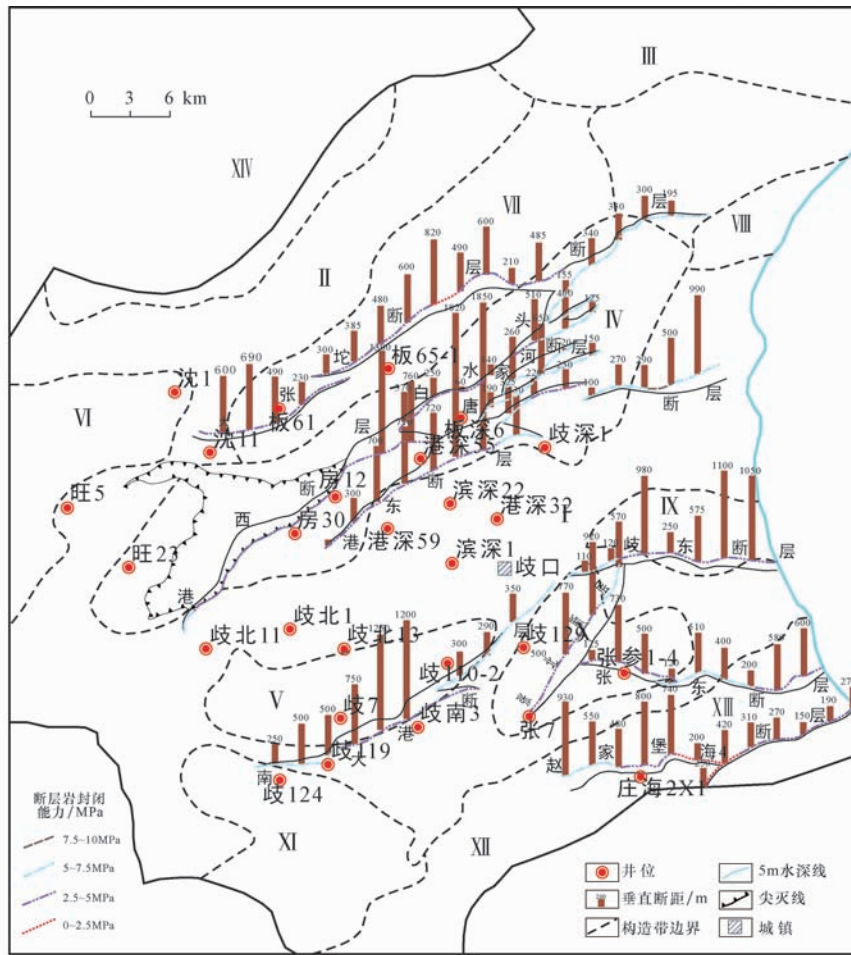
$k_o$ ——气藏压力系数归一化标准值。

其中 $H_{\text{有效}}$ 的取值,在盖层不发育断层时,即为盖层本身厚度;当发育断层时,分为两种情况,①当盖层本身厚度不小于断层断距时, $H_{\text{有效}}$ 为盖层本身厚度与断距的差值;②当盖层本身厚度小于断层断距时,要考虑断层的封堵性。若断层封堵时, $H_{\text{有效}}$ 即为盖层本身厚度;若断层不封堵时, $H_{\text{有效}}$ 为0。具体如式3所示。

$$\begin{cases} \text{当 } H_{\text{盖}} \geq L \text{ 时, } H_{\text{有效}} = H_{\text{盖}} - L \\ \text{当 } H_{\text{盖}} < L \text{ 时} \begin{cases} \text{当 } p_{\text{断}} \geq p_{\text{储}} \text{ 时, } H_{\text{有效}} = H_{\text{盖}} \\ \text{当 } p_{\text{断}} < p_{\text{储}} \text{ 时, } H_{\text{有效}} = 0 \end{cases} \end{cases} \quad (3)$$

① 李军. 板桥—北大港深层高温高压条件下烃源岩成烃演化与成藏研究. 大港油田油气勘探开发技术研究中心,2001.

② 吕延防,付广,付晓飞,等. 大气田形成的盖层、断层控制作用与定量评价研究,东北石油大学,2010.



I. 歧口凹陷; II. 板桥凹陷; III. 塘沽新港潜山构造带; IV. 北大港潜山构造带; V. 南大港潜山构造带; VI. 沈青庄潜山构造带; VII. 板桥断裂构造带; VIII. 白东海2断裂构造带; IX. 歧东海I断裂构造带; X. 张巨河断裂构造带; XI. 三木潜山构造带; XII. 羊二庄裙边构造带; XIII. 赵家堡海4断裂构造带; XIV. 沧县隆起

图6 歧口凹陷沙一段中部区域盖层主要断裂发育特征及断层岩封闭能力评价

Fig. 6 Characteristics of the major faults and sealing ability of fault rock in the regional caprock in middle of the first member of Shahejie Formation in Qikou Sag

表2 歧口凹陷气田盖层评价参数归一化标准值  
Table 2 Normalized values of evaluation parameters of gas reservoir seal in Qikou Sag

评价参数	盖层厚度/m		排替压力/ MPa	气藏压力 系数
	直接盖层	区域盖层		
归一化标准值	25	300	10	1.1

式中: $L$ ——断层垂直断距,m;

$p_{储}$ ——储层的排替压力,MPa。

$CSI$  值既可以反映盖层本身宏观和微观发育特征对天然气的封闭能力,又可以反映气藏内部能量和断层破坏作用对盖层封闭能力的影响,是

一个综合定量评价指标。其值越大,表明盖层封闭能力越强;反之则越弱。

选取歧口凹陷21个不同层位的天然气藏,统计其盖层封闭性评价参数(表3),并利用盖层封气能力综合评价公式计算得到各气藏盖层的  $CSI$  值,建立其与气藏储量丰度之间的关系,利用康竹林<sup>[16]</sup>对高、中、低和特低储量丰度的等级划分标准,确定形成不同储量丰度的盖层封气能力综合评价参数对应的标准,从而对不同储量丰度天然气藏形成的盖层封闭有利区进行预测,其结果如图7所示。

表3 歧口凹陷气藏盖层封闭性评价参数与气藏储量丰度

Table 3 Cap rock sealing parameters and reserves abundance of gas reservoirs in Qikou Sag

气藏	主产层	压力系数	排替压力/MPa	盖层厚度/m	埋深/m	CSI	储量丰度/( $10^8 \text{ m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$ )
唐家河4_港22-1_东三	Ed <sup>3</sup>	1.09	4.57	31.0	2 701.0	0.42	3.81
唐家河1_一断块_东三	Ed <sup>3</sup>	0.89	7.93	162.0	2 227.6	0.79	10.72
板桥4_南区白6-1_板四	Es <sup>1(F)</sup>	0.79	3.18	62.0	3 184.9	0.32	0.22
板桥4_北区板828_板四	Es <sup>1(F)</sup>	0.79	6.38	33.0	3 286.2	0.64	8.75
港中_南四_沙河街	Es <sup>1(F)</sup>	0.78	6.94	15.5	2 559.8	0.43	5.29
板桥4_大张坨_沙河街	Es <sup>1(F)</sup>	0.92	3.51	84.5	3 198.0	0.35	1.9
千米桥_古潜山_奥陶	O	0.43	2.86	102.0	4 013.0	0.29	5.41
港东_一区五	Nm <sup>(上)</sup>	1.71	2.73	94.1	1 977.5	0.16	2.37
港东_一区七八_明馆	Ng	1.67	5.30	80.5	1 017.0	0.32	5.97
板桥4_中区北高点_板四	Es <sup>1(F)</sup>	0.88	3.79	72.0	2 744.2	0.38	2.95
唐家河1_三断块_东三	Ed <sup>3</sup>	1.09	2.75	55.5	2 433.5	0.25	4.26
板桥4_中区板814_板二	Es <sup>1(F)</sup>	0.77	2.82	56.5	2 770.0	0.28	0.05
板桥4_北区板二_板二	Es <sup>1(F)</sup>	0.92	2.98	55.0	2 866.5	0.30	1.19
板桥4_中区中东高点_沙河街	Es <sup>1(F)</sup>	0.51	5.36	77.1	2 737.0	0.54	4.81
板桥4_北区板831_板四	Es <sup>1(F)</sup>	0.65	3.2	102.0	2 677.0	0.32	1.58
港东_二区五	Nm <sup>(上)</sup>	1.14	3.52	35.5	1 952.5	0.31	2.96
港东_二区六_明馆	Nm <sup>(上)</sup>	1.25	4.48	28.9	2 042.0	0.36	3.76
港东_二区一_明馆	Ng	2.36	6.67	45.0	3 672.0	0.28	1.75
港东_一区六_块小计	Nm <sup>(上)</sup>	1.10	2.77	46.5	1 900.0	0.25	1.05
港东_一区一_块小计	Ng	1.45	2.89	38.0	2 216.0	0.20	2.12
板桥4_北区板三_板三	Es <sup>1(F)</sup>	1.39	3.01	52.0	4 120.5	0.22	2.43

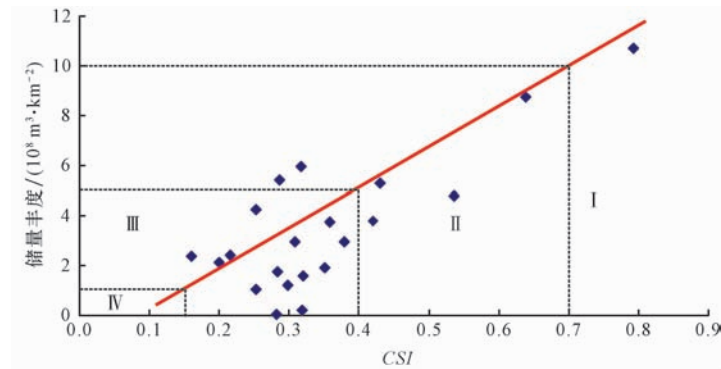


图7 歧口凹陷天然气藏盖层综合评价参数与气藏储量丰度之间关系

Fig. 7 Comprehensive evaluation parameters vs. reserves abundance of gas reservoirs in Qikou Sag

由图7中可以看出,歧口凹陷不同层位气藏盖层CSI值与其储量丰度数据之间呈正相关关系,即随着CSI值的增大,气藏储量丰度也随之升高;反之则降低。通过两者之间的拟合关系,利用储量丰度的标准,建立了盖层综合封闭能力的评价等级标准。I类盖层能够封闭高储量丰度气藏,对应的CSI大于0.7;II类盖层能够封闭中等储量丰度气藏,对应的CSI为0.4~0.7;III类盖层

能够封闭低储量丰度气藏,对应的CSI为0.15~0.4,IV类盖层仅能够封闭特低储量丰度气藏,对应的CSI小于0.15。

综合以上分析,将歧口凹陷网格化后统计每个网格内盖层有效厚度、最小排替压力和压力系数值,利用综合评价公式计算每个网格内的CSI值,最终得到沙一段中部盖层综合封闭能力分布特征(图8)。由图8中可用看出,歧口凹陷沙一段



中部区域盖层  $CSI$  最大为 1, 分布于歧北 1 井附近; 最小不足 0.1, 主要分布在研究区四周、地层剥蚀区及潜山构造带。在歧口凹陷及北部地区盖层评价等级均达到封闭中等储量丰度的气藏以上, 只有研究区北部、西部和南部局部小范围内盖层等级仅为封闭特低储量丰度气藏等级, 其余地区盖层为封闭低储量丰度气藏等级。

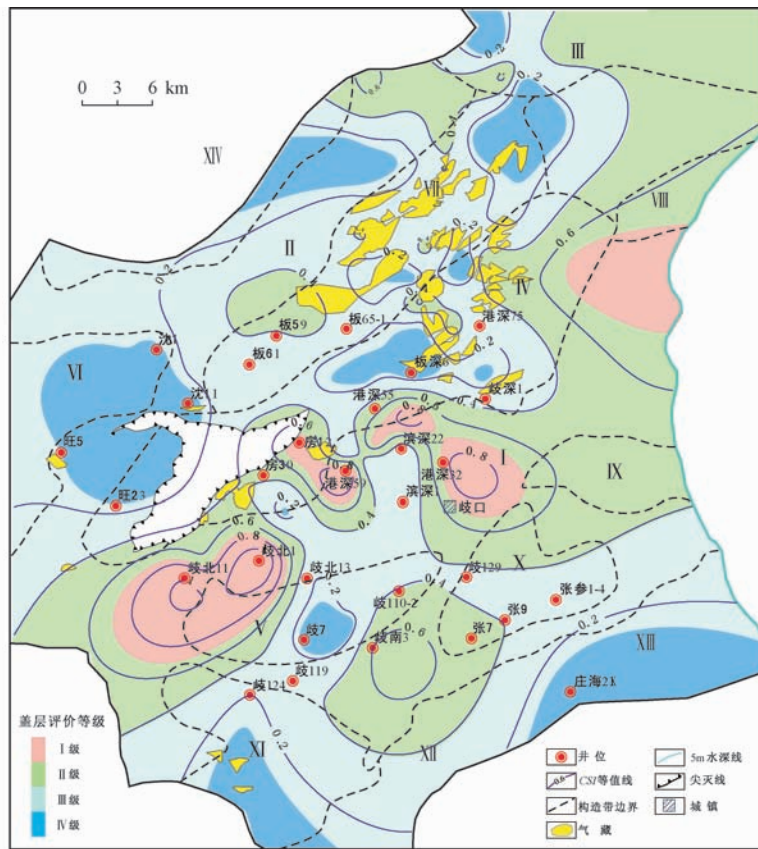
目前沙一段下部天然气藏主要分布在板桥断裂构造带和北大港潜山构造带北部, 大部分为低储量丰度气藏(表 3), 而该区域内沙一段中部区域盖层封气能力综合评价为封闭低储量丰度气藏封闭区, 目前气藏储量丰度具有良好的对应关系(图 8)。板桥断裂构造带和北大港潜山构造带盖层封气能力综合评价结果不是最好, 但气藏却最为富集, 其原因可能是歧口凹陷在明化镇

组至第四系沉积时期发生构造运动, 发育了大量晚期断层, 且前期发育的断层继续活动<sup>[2]</sup>, 此时正处于烃源岩排气期<sup>①</sup>, 沙三段气源岩生成的大量天然气沿着活动开启的断层向上运移, 在沙一段中部盖层之下遇到合适的圈闭聚集成藏。因此, 断层发育、势能较低并具有较好烃源岩条件的板桥断裂构造带和北大港潜山构造带, 成为天然气聚集的有利地区, 对圈闭内天然气聚集起到了重要作用。

### 4 区域盖层对天然气成藏的控制作用

#### 4.1 盖层在空间分布上可有效封盖天然气

盖层空间展布面积大小及连续性控制着油气



I. 歧口凹陷; II. 板桥凹陷; III. 塘沽新港潜山构造带; IV. 北大港潜山构造带; V. 南大港潜山构造带; VI. 沈青庄潜山构造带; VII. 板桥断裂构造带; VIII. 白东海2断裂构造带; IX. 歧东海 I 断裂构造带; X. 张巨河断裂构造带; XI. 三木潜山构造带; XII. 羊二庄裙边构造带; XIII. 赵家堡4断裂构造带; XIV. 沧县隆起

图 8 歧口凹陷沙一段中部区域盖层封闭有利区分布

Fig. 8 Distribution of quality regional seal of middle first member of Shahejie Formation in Qikou Sag

① 廖前进, 于俊利, 杨池银, 等. 歧口凹陷偏腐泥型气源岩资源潜力及成藏条件. 大港石油管理局勘探开发研究院, 1994.

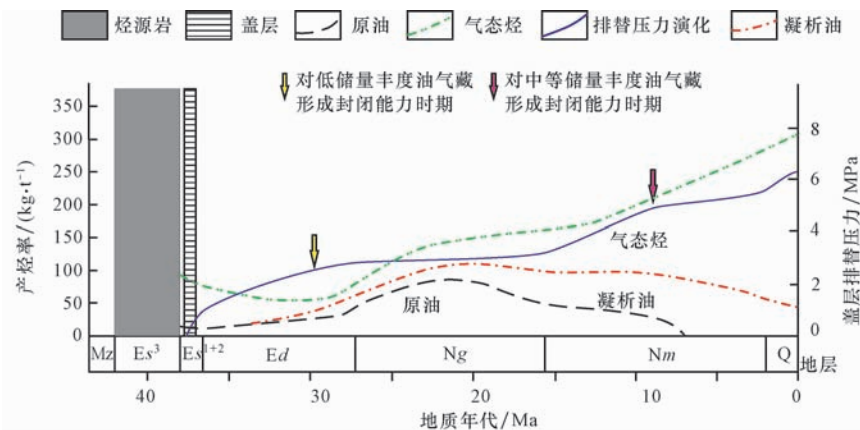


图9 歧口凹陷港新57井沙一段中部泥岩盖层排替压力与烃源岩排烃史之间的匹配关系

Fig. 9 Timing of displacement pressure evolution of mudstone caprock and hydrocarbon expulsion of source rocks of Es<sup>1</sup> in Gangxin 57 Well in Qikou Sag

运聚成藏<sup>[17]</sup>。目前天然气主要富集在沙一段下部储层内(图1),这与沙一段中部这套区域盖层泥岩单层厚度较大,总体连续性强,且全区均有分布有直接关系。但在北大港潜山构造带等局部地区,由于二级控陷断层,如港西和港东断层的断距较大,在其活动时期将盖层完全错断而使盖层失去封闭能力,天然气可以沿断裂突破沙一段中部区域盖层在前部馆陶组和明化镇组聚集成藏(图1)。但总体上,沙一段中部区域盖层在空间分布上对与封闭天然气是有效的。

#### 4.2 盖层在时间上也可有效封盖天然气

盖层在时间上对天然气成藏的控制作用主要表现在,盖层封闭性形成时期与源岩大量排气期之间的匹配关系,如果盖层封闭性形成时期早于或与源岩大量排烃期同期,可以封闭住气源岩排出的大量油气,在时间上封闭油气是有效的;相反,如果盖层封闭性形成时间晚于源岩大量排气期,盖层所能封闭住油气量大小主要取决于二者之间时间差的大小,二者时间差越小,盖层所能封闭住的油气量相对越大,在时间上封闭油气有效性相对较好;反之则相对较差。

通过对北大港潜山构造带港新57井沙一段中部区域盖层排替压力演化史的研究,结合其主要烃源岩沙三段生烃演化史,认为刚沉积时泥岩盖层压实程度低,排替压力低,不具封闭天然气的的能力,随着埋深增加,压实作用增强,排替压力逐渐增大,在东营组沉积中后期形成对低储量丰度

气藏的封闭能力,此时沙三段烃源岩尚未达到大量排气期。至明化镇组沉积中期时,该套盖层形成封闭中等储量丰度气藏的能力,有利于中等储量丰度油气藏形成与保存。之后盖层封闭能力缓慢增强,有利于前期聚集成藏的天然气的保存(图9)。

## 5 结论

1) 沙河街组一段中部泥岩盖层厚度较大,连续性强,全区分布,且具有较强的微观封闭能力,是歧口凹陷一套良好的区域盖层。

2) 沙一段中部区域盖层在歧口凹陷及北部地区可以封闭中等储量丰度的气藏,只有研究区北部、西部和南部局部小范围内可以封闭特低储量丰度的气藏,其余地区可以封闭低储量丰度的气藏。

3) 无论在空间分布上还是在时间上,歧口凹陷沙一段中部区域盖层均可以有效的封盖天然气,对天然气的聚集与保存是有利的。

### 参 考 文 献

- [1] 王振升,于学敏,国建英,等. 歧口凹陷天然气地球化学特征及成因分析[J]. 天然气地球科学, 2010, 21(4): 683-691.  
Wang Zhensheng, Yu Xuemin, Guo Jianying, et al. Geochemical characteristics and genesis of natural gas in qikou sag[J]. Natural Gas Geoscience, 2010, 21(4): 683-691.
- [2] 祁鹏任,任建业,史双双,等. 歧口凹陷沿岸带新生代构

- 造特征及其形成机制[J]. 石油学报, 2010, 31(6): 683 - 691.
- Qi Peng, Ren Jianye, Shi Shuangshuang, et al. Features of the Cenozoic structure of the coastal zone in Qikou Sag and its formation mechanism[J]. Acta Petrolei Sinica, 2010, 31(6): 683 - 691.
- [3] 黄传炎, 王华, 吴永平, 等. 歧口凹陷第三系层序格架下的油气藏富集规律[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2010, 4(5): 986 - 994.
- Huang Chuanyan, Wang Hua, Wu Yongping, et al. Analysis of the hydrocarbon enrichment regularity in the Sequence stratigraphic framework of tertiary in Qikou Sag[J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 2010, 4(5): 986 - 994.
- [4] 董艳蕾, 朱筱敏, 滑双君, 等. 黄骅拗陷沙河街组一段下亚段混合沉积成因类型及演化模式[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(1): 98 - 107.
- Dong Yanlei, Zhu Xiaomin, Hua Shuangjun, et al. Genetic types and evolutionary model of mixed clastic carbonate deposits in the lower part of the Sha-1 Formation, the Huanghua Depression[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(1): 98 - 107.
- [5] 张绍辉, 岳奎, 李淑恩, 等. 歧口凹陷西斜坡(滩海)岩性圈闭成藏条件分析与目标研究[J]. 特种油气藏, 2006, 13(4): 31 - 34.
- Zhang Shaohui, Yue Kui, Li Shuen, et al. Forming conditions of lithologic trap and target study in the western slope (tidal zone) of Qikou depression[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2006, 13(4): 31 - 34.
- [6] 张宗峰, 查明, 高长海. 大港油田埕北断阶区地层水化学特征与油气成藏[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(3): 268 - 274.
- Zhang Zongfeng, Zha Ming, Gao Changhai. Hydrochemical characteristics and hydrocarbon accumulation in the Chengbei fault terrace zone of Dagang oilfield[J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(3): 268 - 274.
- [7] 吕延防, 付广, 高大岭. 油气藏封盖研究[M]. 北京: 石油工业出版社, 1996: 4 - 30.
- Lü Yanfang, Fu Guang, Gao Daling. The sealing ability study of oil and gas reservoirs [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1996: 4 - 30.
- [8] 张树林, 田世澄. 盖层的研究方法及其在油气勘探中的意义[J]. 地质科技情报, 1993, 12(1): 73 - 78.
- Zhang Shulin, Tian Shicheng. Methods for research of caprocks and their significance in hydrocarbon exploration[J]. Geological Science and Technology Information, 1993, 12(1): 73 - 78.
- [9] 张蕾. 盖层物性封闭力学机制[J]. 天然气地球科学, 2010, 21(1): 112 - 116.
- Zhang Lei. Reevaluation of caprock physical sealing mechanic [J]. Natural Gas Geoscience, 2010, 21(1): 112 - 116.
- [10] 石世革. 黄骅拗陷板桥凹陷古近系沙一段中部层序地层学研究及岩性油气藏勘探[J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(3): 320 - 325.
- Shi Shige. Study of sequence stratigraphy and exploration of lithologic reservoirs in the Paleogene Middle Sha-1M member, the Banqiao Sag of the Huanghua Depression[J]. Oil & Gas Geology, 2008, 29(3): 320 - 325.
- [11] 吕延防, 陈章明, 付广, 等. 盖岩排替压力研究[J]. 大庆石油学院学报, 1993, 17(4): 1 - 8.
- Lü Yanfang, Chen Zhangming, Fu Guang, et al. Research on the displacement pressure of caprock[J]. Journal of Daqing Petroleum Institute, 1993, 17(4): 1 - 8.
- [12] 黄海平, 邓宏文. 泥岩盖层的封闭性能及其影响因素[J]. 天然气地球科学, 1995, 27(6): 20 - 26.
- Huang Haiping, Deng Hongwen. Sealing ability of mudstone caprocks and its affecting factors[J]. Natural Gas Geoscience, 1995, 27(6): 20 - 26.
- [13] 樊敬亮, 黄志全, 樊卫花. 歧口凹陷新生代构造演化与油气[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2004, 34(4): 536 - 541.
- Fang Jingliang, Huang Zhiquan, Fan Weihua. Cenozoic tectonic evolution of Qikou Sag and its relations to hydrocarbon traps in Bohai bay basin of east China[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2004, 34(4): 536 - 541.
- [14] 吕延防, 沙子萱, 付晓飞, 等. 断层垂向封闭性定量评价方法及其应用[J]. 石油学报, 2007, 28(5): 34 - 38.
- Lü Yanfang, Sha Zixuan, Fu Xiaofei, et al. Quantitative evaluation method for fault vertical sealing ability and its application [J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28(5): 34 - 38.
- [15] 吕延防, 付广, 于丹. 中国大中型气田盖层封盖能力综合评价及其对成藏的贡献[J]. 石油天然气地质, 2005, 26(6): 752 - 745.
- Lü Yanfang, Fu Guang, Yu Dan. Comprehensive evaluation of sealing ability of cap rock in China's large and medium gas fields and their contribution to gas accumulation [J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(6): 752 - 745.
- [16] 康竹林, 傅诚德, 崔淑芬, 等. 中国大中型气田概论[M]. 北京: 石油工业出版社, 2000.
- Kang Zhulin, Fu Chengde, Cui Shufen, et al. Generality of Chinese large and medium gas fields[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2000.
- [17] 付广, 薛永超. 盖层与源岩的时空匹配关系对油气运聚成藏的控制作用[J]. 矿物岩石, 2001, 21(2): 56 - 61.
- Fu Guang, Xue Yongchao. Controlling effect of match relation between caprock and source rock in time and space on formation of oil or gas pools[J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 2001, 21(2): 56 - 61.