

The Evaluation of the Sealing Ability of the Mudstone Cover in the North of the Liaoxi Low Uplift

Maopeng Liu, Wei Xu, Zhipeng Zhang

State Key Laboratory of Oil and Gas Geology and Development Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu Sichuan

Email: 1403457272@qq.com

Received: Oct. 27th, 2017; accepted: Nov. 9th, 2017; published: Nov. 16th, 2017

Abstract

In order to comprehensively evaluate low bulge mudstone caprock sealing ability, the data of buried hill basic well in Liaoxi low uplift are statistically analyzed. It shows that Liaoxi low uplift buried hills cover layer is mainly composed of dongying group and the shahejie formation. Among them, mudstone caprock of Dongying formation is a regional cap rock. And Sha 1, Sha 2 and Sha 3 mudstone cover are distributed in the JZ20-2, JZ25-1s buried hill, which are partial cap rocks. The parameters of shale content, breakthrough pressure and overpressure pressure coefficient were selected to study the microscopic features. The results showed that there were mainly two types of micro-mechanisms: Mudstone capillary pressure cap and overpressure sealing system. Overpressure sealing system is mainly distributed in low rising in north-central JZ25-1s region and the JZ20-2. A comprehensive evaluation of the sealing ability of mudstone cover in the northern section of Liaoxi low uplift was made. The results showed that the top layer of the northern section of the low bulge in the Liaoxi low uplift was medium and good, and the distribution of the good cover was wide. By analyzing the relationship between cap rock and reservoir that had been found, and the oil and gas that had been found in the medium and above cover area, which showed that the buried caprocks with medium cap ability can well seal the buried hill oil and gas.

Keywords

Buried Hill Hydrocarbon Reservoir, Mudstone Cover, Sealing Capacity, Comprehensive Evaluation, Liaoxi Low Uplift

辽西低凸起中北段潜山油气藏泥岩盖层封闭能力评价

刘茂鹏, 胥伟, 张志鹏

摘要

为综合评价辽西低凸起泥岩盖层封闭能力, 统计分析了辽西低凸起中北段潜山基础井资料, 表明辽西低凸起潜山盖层主要由东营组和沙河街组泥岩盖层组成, 其中以东营组泥岩盖层为区域性盖层, 沙一段沙二段和沙三段泥岩盖层在JZ20-2、JZ25-1S潜山有分布, 为局部盖层。选取泥质含量、突破压力、超压压力系数等参数研究微观特征, 研究表明辽西低凸起潜山盖层主要存在泥岩毛细管压力封盖和超压封盖两种类型的微观机理, 其中超压封盖主要分布在低凸起中北部JZ25-1S地区与JZ20-2地区。综合评价辽西低凸起中北段泥岩盖层封闭能力。结果表明: 辽西低凸起中北段盖层以中等、好为主, 好盖层分布较广。通过分析盖层与已发现油气藏关系, 辽西低凸起中北段已发现油气分布在中等及以上盖层区域内, 表明中等封盖能力的潜山盖层就能很好的封闭潜山油气。

关键词

潜山油气藏, 泥岩盖层, 封闭能力, 综合评价, 辽西低凸起

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

盖层是油气藏形成的必要条件, 而盖层的封闭性能, 对油气藏形成的规模及保存影响巨大[1] [2]。盖层的研究在我国起步虽晚, 但发展迅速, 无论是研究技术方法还是设备等都取得了惊人的进步。这对准确评价盖层封闭能力帮助极大。

辽东湾拗陷的辽西低凸起是潜山的主要分布区, 现已发现 JZ20-2、JZ25-1S、SZ36-1 三大潜山油气藏。目前对辽西低凸起潜山油气藏的烃源岩, 构造, 沉积, 圈闭等基础地质条件有较深入研究[3] [4] [5]。明确了辽西低凸起中北段具备形成油气的优越条件, 有辽西凹陷发育的沙三段、沙一段和东三段 3 套烃源岩系; 因物源不同而形成的不同规模和展布类型的沉积体系, 三大潜山油气藏成藏模式有显著区别, 主要受流体动力和潜山物性的影响。但对辽西低凸起潜山盖层的类型和封闭特征以及泥岩盖层的综合封闭能力评价仍是空白。因此, 本文拟结合该地区相关基础地质资料, 对辽西低凸起潜山油气藏泥岩盖层的宏观特征包括岩性、泥岩累计厚度、泥地比、埋深以及断裂性质影响, 微观方面以泥质含量和渗透率孔隙度特征、实测突破压力和超压特征展开研究, 并建立泥岩盖层封闭能力综合评价的定量计算方法, 对正确认识辽西低凸起潜山盖层对油气的富集规律和分布有较大的地质意义。

2. 地质概况

辽西低凸起是辽东湾拗陷内的一个二级构造单元, 位于的辽西凹陷与辽中凹陷之间低幅凸起, 呈 NE 方向展布[3] [6], 低凸起呈中段高向南北倾伏, 西陡东缓的地形起伏形态。西侧分布辽西 1 号、辽西 2

号断层将辽西低凸起与辽西凹陷分开；凸起的东侧斜坡延伸入辽中凹陷。平面上呈窄条带状 NNE 向展布 [7] [8] [9] [10] (见图 1)。辽西低凸起带是辽东湾拗陷油气最富集地区。

辽东湾拗陷内发育的新生界地层自下而上依次为下第三系的孔店组、沙河街组、东营组 and 上第三系的馆陶组、明化镇组以及第四系平原组 [11] [12]。上第三系馆陶组发育含砾砂岩、砂砾岩夹棕红色泥岩，主要为辫状河陆源粗碎屑沉积，其砂岩孔隙度高，渗透性好 [4]，属岩性疏松的成岩作用早期。明化镇组为曲流河沉积，上段发育中细粒砂岩不等厚互层；下段为浅灰色砂砾岩、细砂岩夹少量红色、紫红色泥岩 [13]。下第三系东营组发育大段绿灰色、深灰色泥岩；沙河街组发育灰色泥岩、褐灰色泥岩与灰色粉砂岩不等厚互层 [14]。

因此，馆陶组由于是成岩作用较弱，平原组和明化镇组发育一大套砂层，结构松散，均不能作为潜山油气的有效盖层。故研究区东营组和沙河街组盖层则是潜山油气得以保存的重要条件。是评价盖层封闭能力的主要研究对象。

3. 泥质岩盖层宏观特征

通过对辽西低凸起的东营组和沙河街组泥岩纵向岩性分布特征、厚度分布、泥地比、深度分布以及泥岩厚度平面分布特征进行盖层宏观特征的研究。

3.1. 泥质岩盖层发育特征

3.1.1. 泥岩地层对比

通过辽西低凸起主要潜山带典型井联井剖面(见图 2)对比，可以看出：辽西低凸起中北段均发育较厚的东营组地层，中段 SZ36-1 地区沙河街组地层缺失，往北到 SZ36-1-7 井附近开始出现沙一段地层，到 JZ25-1s 地区发育整套沙河街组地层一直延伸到 JZ25-1-1 井附近，北部 JZ20-2 地区沙河街组地层则又出现变薄趋势。

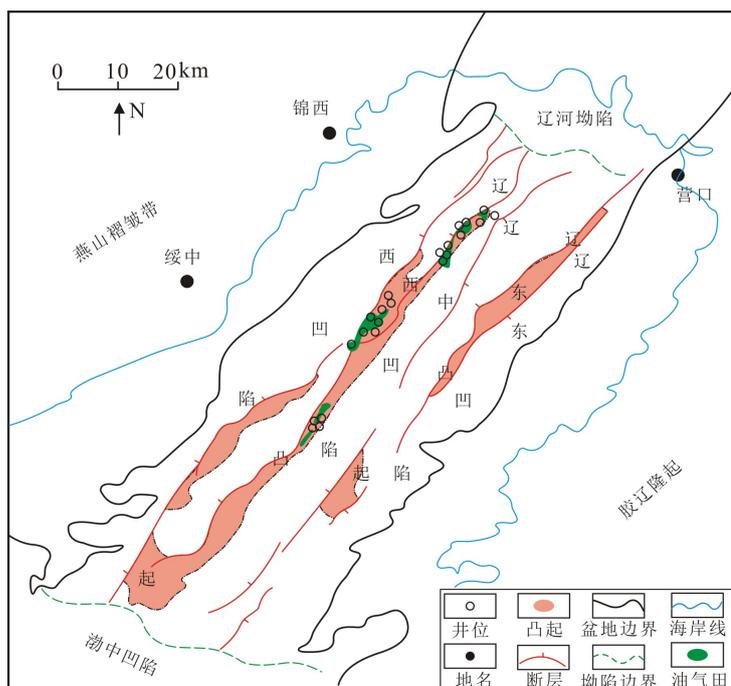


Figure 1. Geographical location map in Liaoxi low uplift

图 1. 辽西低凸起地区地理位置图(据渤海油田勘探开发研究院, 2007 修改)

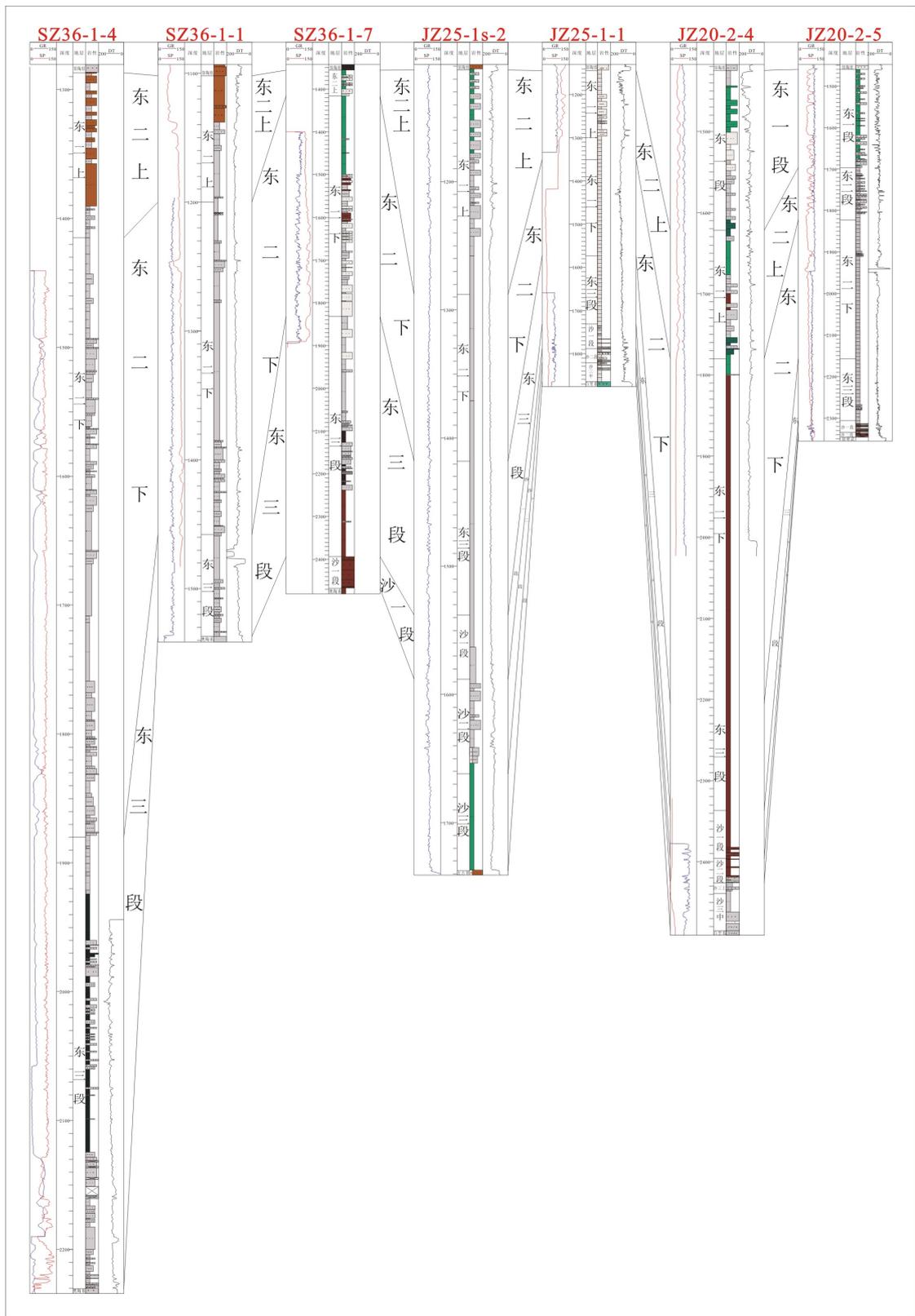


Figure 2. Cross-well profile in Liaoxi low uplift
图 2. 辽西低凸起联井剖面图

3.1.2. 埋藏深度

埋藏深度影响岩石的成岩作用,埋藏深度增加泥质岩成岩作用增强,泥质岩盖层孔隙度、渗透率减小,毛细管压力增大,泥岩的封闭能力增大。已有学者研究认为[15] [16] [17],泥质岩埋深达 1000 m 左右,即可具备封闭油气藏的能力。深度超过 1500 m,泥质岩盖层封闭性能达到最佳状态。由表 1 中可知,研究区泥质岩埋深范围 1080~2523 m,处于最佳埋深范围内,具有良好的封盖状态。

3.2. 泥岩厚度

辽西低凸起潜山油气藏盖层,以东营组盖层厚度较大,从图 3 可以看出,辽西低凸起地区东营组泥质岩均有分布,且厚度较大,为 350~850 m,普遍在 400 m 以上,高值区分布在凸起东北部, JZ25-2 区块至 JZ20-2 区块泥质岩累计厚度均在 600 m 以上。中部 SZ36-1 地区和 JZ25-1s 区块厚度降至 300 m。该区东营组泥质岩整体北东展布,北厚南薄,东厚西薄。

辽西低凸起地区沙河街组泥岩仅在中北部发育,且厚度小(见图 4)。中部 JZ25-1S 地区,厚度在 0~200 m 变化;北部 JZ20-2 地区厚度普遍小于 100 m, JZ20-2-3 井和 JZ20-2-4 井附近沙河街组在 50 m 左右。

Table 1. Buried depth and thickness parameters of the dongying group and shahe street group

表 1. 东营组、沙河街组盖层埋深及厚度参数

井号	东营组			沙河街组		
	深度范围/m	泥质岩厚度/m	岩性	深度范围/m	泥质岩厚度/m	岩性
SZ36-1-1	1138~1537	356	粉砂质泥岩、泥质粉砂岩	/	/	/
SZ36-1-4	1287.5~2230	661.5	钙质泥岩、泥岩	/	/	/
SZ36-1-8	1080~1550	444	泥岩	/	/	/
JZ25-1S-1	1114~1571	377	泥岩	1571~1811	204	泥岩
JZ25-1S-2	1112~1538	361.5	泥岩	1538~1737.5	138.5	泥岩
JZ25-1S-3	1081~1541	430.5	泥岩	1541~2013	336	泥岩
JZ25-1S-4D	1082~1503.5	317	泥岩	1503.5~1906	304.5	泥岩
JZ25-1S-5	1106~1518	373	泥岩	1554~1769	185	泥岩
JZ25-1S-7	1118~1625	433.5	泥岩	1672~1818	97.5	泥岩
JZ25-1S-8	1131~1527	350.5	泥岩	1527~1615	74.5	泥岩
JZ20-2-1	1390~2094	622.5	泥岩、泥质砂岩、砂质泥岩	2094~2128	21.5	泥岩
JZ20-2-2	1394~2193	719.5	泥岩、粉砂质泥岩	2193~2212	19	泥岩
JZ20-2-3	1379~2030	559.5	泥岩、泥岩质粉砂岩、粉砂质泥岩	2030~2068.5	34.5	泥岩
JZ20-2-4	1425~2337	810.5	泥岩	2337~2462	92.5	泥岩
JZ20-2-5	1460~2306	737	泥岩、粉砂质泥岩、钙质泥岩	2306~2338	22	泥岩
JZ20-2-6D	1418~2162	609.05	泥岩、泥质砂岩	2162~2233	13.5	泥岩
JZ20-2-7D	1545~2406	616.7	泥岩	2406~2436	26	泥岩
JZ20-2-12D	1537~2485	684.9	泥岩、粉砂质泥岩	2490.5~2553	8	泥岩

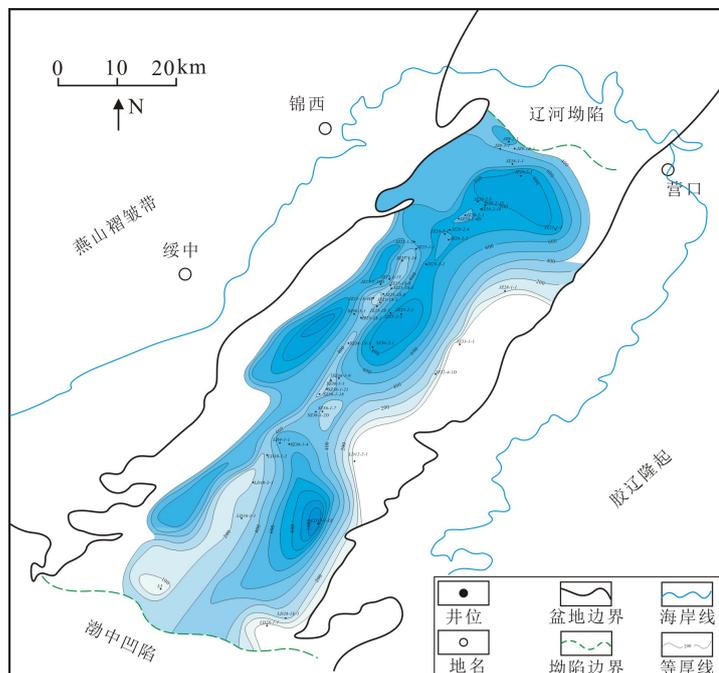


Figure 3. Dongying group mudstone isopach map in Liaoxi low uplift
图 3. 辽西低凸起东营组泥岩等厚图

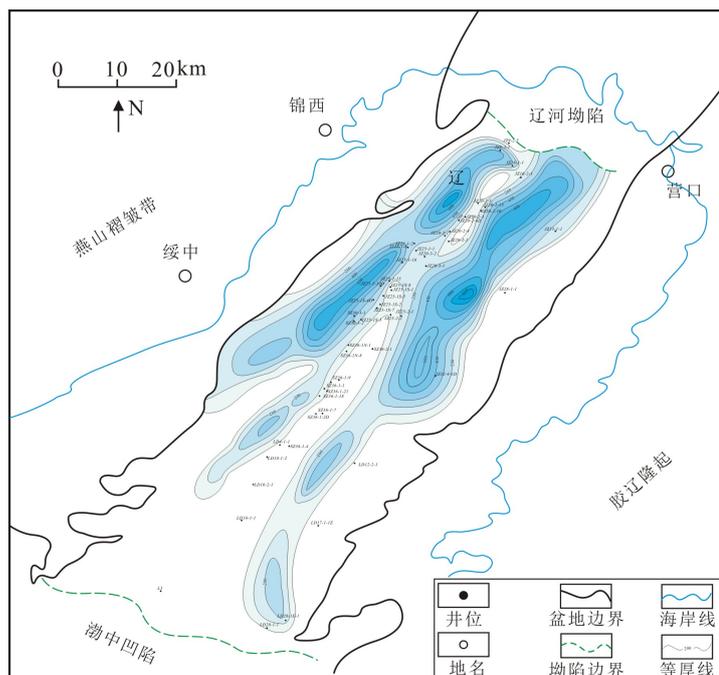


Figure 4. Shahejie group mudstone isopach map in Liaoxi low uplift
图 4. 辽西低凸起沙河街组泥岩等厚图

3.3. 泥地比

从东营组和沙河街组泥/地比分布对比图(见图 5)来看, 东营组在 JZ25-1S、JZ20-2、SZ36-1 三个地区均有覆盖, 泥地比相对较高, 普遍在 70% 以上, 最大可达 90% 以上, 泥岩单层厚度大, 封盖能力极强,

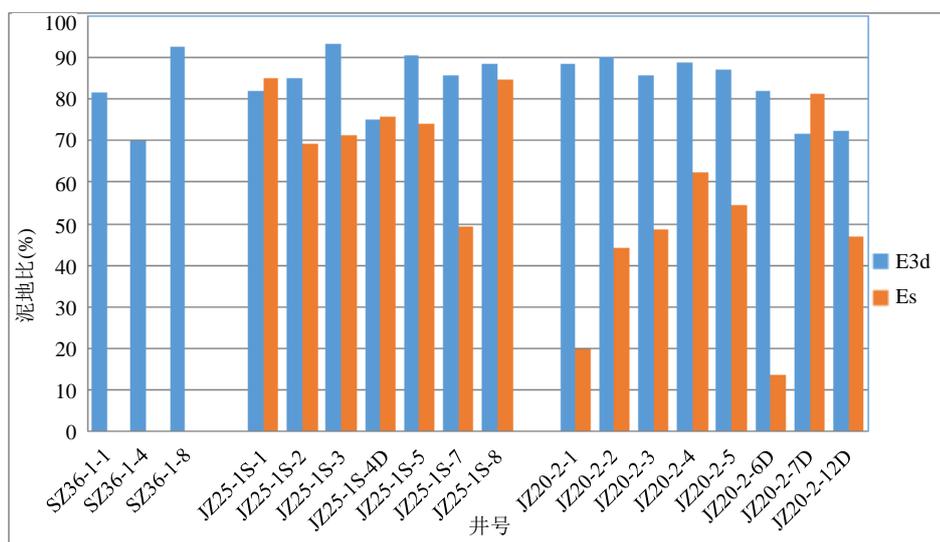


Figure 5. Comparison of mud ground ratio distribution in Liaoxi low uplift

图 5. 辽西低凸起古近系盖层泥地比分布对比图

可作为研究区的区域性盖层；沙河街组泥岩则分布在中北部 JZ20-2 和 JZ25-1S 地区，在 SZ36-1 地区缺失，其中 JZ25-1S 地区泥地比均值 73%，具有较好的封闭能力，JZ20-2 地区均值 46%，封闭能力中等，说明沙河街组泥岩可作为中北部地区的盖层，在中南部无此套盖层。

3.4. 断裂带

辽西低凸起的主要断层是辽西 1 号、2 号断层，辽西 1 号断层从沙三段至东一段活动性较强，对油气主要起输导作用[18]；馆陶组沉积时期的活动性表现出分段性，在 JZ25-1s 地区活动性较弱，可以封堵油气，使油藏得以保存；而在 SZ36-1 地区，活动性较强，将潜山油气输导至东营组。辽西 2 号断层在东一段活动性整体较弱，到东一段沉积末期以后基本不活动，可封堵油气[19] (见表 2)。

4. 盖层微观封闭特征

4.1. 物性封闭

盖层的物性封闭能力主要是依靠盖层与储层之间的排替压力差封闭油气[20] [21]。所以，排替压力值越大，盖层物性封闭能力越强；反之则越弱。而岩石排替压力的数值大小近似等于其突破压力[21]。由于该区泥岩盖层实测突破压力数据太少，利用该地区前人研究资料[22]，突破压力与孔隙度之间呈反比关系，即孔隙度越小，泥岩成岩程度越高，突破压力越大[23]，如图 6 所示，研究区实测突破压力在 4.1 MPa~11.5 MPa 之间，显示中等封闭能力。

泥质含量会影响孔隙空间大小，进而间接影响突破压力的大小。前人研究[21]认为泥质含量越高，孔隙空间越小，孔渗性越差，封闭性越好。本次利用自然伽马测井数据按照相关公式计算了东营组内各小段泥质岩盖层的泥质含量 V_{sh} ，并取其平均值得到单井东营组测井解释泥质含量均值数据(见图 7)，SZ36-1 地区东营组泥质岩盖层测井解释泥质含量均值为 45.7%，JZ25-1S 地区为 37.1%，JZ20-2 地区为 42.9%，均具有中等质量，显示中等封闭能力。

4.2. 烃浓度封闭

烃浓度封闭是泥岩盖层自身产生的天然气，使孔隙水含气浓度出现向下递减趋势，进而抑制天然气

Table 2. The development and evolution feature of trunk fracture in Liaoxi low uplift
表 2. 辽西地区主干断裂发育演化特征表(据渤海石油研究院, 2013)

断裂名称	辽西 1 号	辽西 2 号	辽西 3 号	
			(南部)	(北部)
断裂样式	NW 倾向, 铲式正断层	NW 倾向, 铲式正断层	NW 倾向, 铲式正断层	NW 倾向, 坡坪式正断层
N_{1+2m}	弱拉张定型期			
N_{1g}	静止期	定型期		定型期
E_3d^1	弱拉张继承性裂陷期	弱拉张裂陷期		弱拉张裂陷期
E_3d^2			定型期	静止期
断裂活动期次及演化特征	E_3d^3	继承性强烈伸展期	继承性弱拉张	拉张裂陷期
	E_2S^{1+2}	继承性弱伸展	继承性生长弱裂陷强化期	继承性弱拉张裂陷期
	$E_{1-2k}-E_2S^{3+4}$	强烈断陷初始张裂期	强烈断陷初始张裂期	初始张裂期

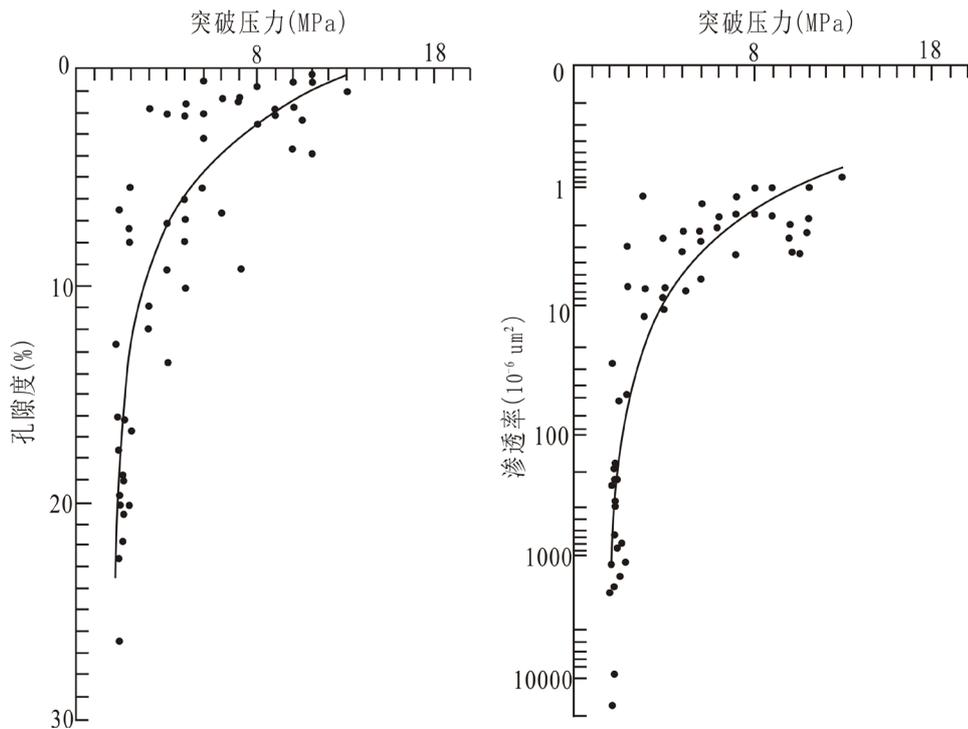


Figure 6. The breakthrough pressure and porosity and permeability diagram of bohai bay basin
图 6. 渤海湾盆地突破压力与孔隙度、渗透率关系图(据文献[22])

扩散形成封闭[24]。辽西低凸起东营组和沙河街组暗色泥岩发育, 具有一定生烃能力[10]。凸起带中段泥岩有机质丰度高, 以 II 1 型为主, 但有机质成熟度较低, 镜质体反射率 R_o 为 0.49%~0.60% [25]。北段 JZ20-2 气田 $E_3d_2L-E_3d_3$ 为优质烃源岩, 但未达生气门限[8]。因此, 根据前人对盖层烃浓度封闭的等级划分标准[26] [27] [28], 该凸起带东营组和沙河街组泥岩具有较弱的烃浓度封闭能力。

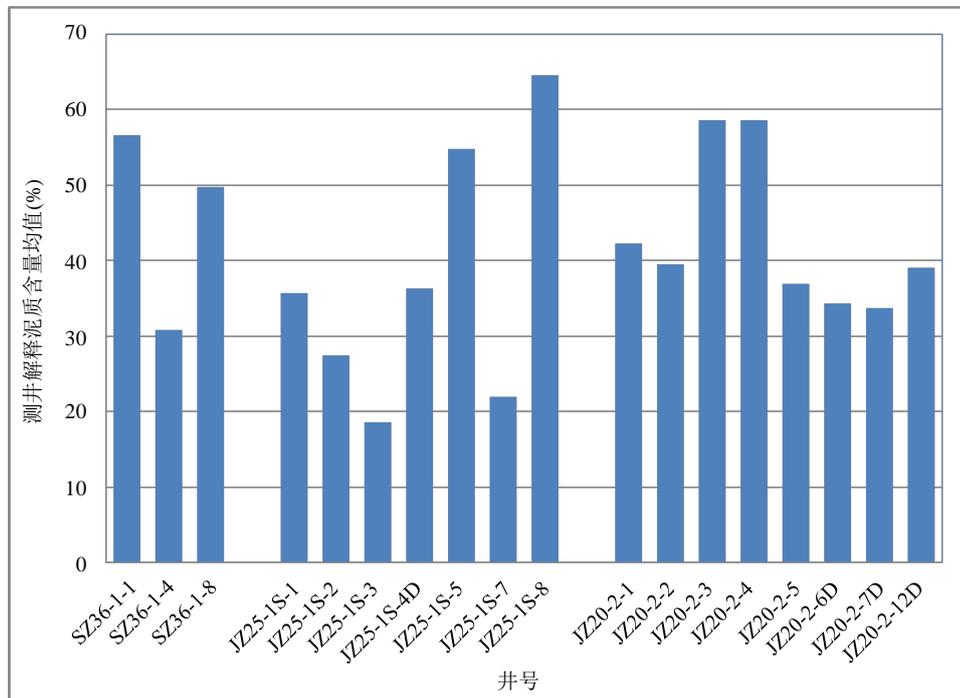


Figure 7. The distribution of shale content in the mud rock cover layer of the dongying group
图 7. 辽西低凸起东营组泥质岩盖层测井解释泥质含量分布图

4.3. 超压封闭

超压封闭是泥岩盖层一种重要的封闭机理，超压的发育对油气藏封闭与保存具有控制作用。从研究区地层压力剖面图(见图 8)来看，JZ20-2 地区发育东一段和东二下 - 沙一段两套超压，压力系数约 1.6~1.8，JZ25-1S 地区发育东二下 - 沙一段超压系统，压力系数约 1.3；SZ36-1 地区无超压发育。在平面上，超压的分布从北段~中南段有逐渐减弱直至超压消失的趋势，凹陷区发育强超压，低凸起区发育中~弱超压；在剖面上，超压在辽西低凸起中北部东二下 - 东三段、沙一段地层中是普遍存在。

5. 综合评价

5.1. 评价方法

在前文展开的盖层的宏观空间展布特征和微观封闭能力特征的研究基础上，结合前人盖层评价方法的研究[29]-[34]，选取盖层累计厚度、泥地比、泥质含量、岩性、突破压力和压力系数等 6 个参数，以反映盖层的宏观和微观封闭能力，运用加权平均法，计算研究区域各区块的综合评价衡量指标，进而完成对辽西低凸起潜山盖层封闭能力完成综合评价。根据所选参数不同取值区间对盖层封闭能力的影响程度，划分不同等级，并由好至差，赋予 4,3,2,1 四个权值(见表 3)。并确定分配各个评价参数的权重(见图 9)。

在此基础上，由式(1)求取盖层的综合评价权值。

$$Q = \sum_{i=1}^n K_i P_i \quad (1)$$

式中：Q 为盖层的综合评价权值； K_i 为第 i 项参数的权值， $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ； P_i 为第项参数的权重因素。

将盖层综合评价权值大于 3.5 评定为好盖层，综合评价权值为 3~3.5 的为较好盖层，综合评价权值为 2~3 的为中等盖层，综合评价权值小于 2 的为差盖层。

Table 3. The evaluation criteria for the closed-off performance of mudstone cover in Liaoxi low uplift
表 3. 辽西低凸起潜山油气藏泥岩盖层封闭性能评价标准

评价参数	评价等级(权值)			
	好(4)	较好(3)	中等(2)	差(1)
岩性特征	泥岩、钙质泥岩、膏岩	泥岩、含粉砂泥岩	粉砂质泥岩、泥岩	粉砂质泥岩、泥质粉砂岩、泥岩
累计厚度(m)	>300	300~150	150~50	<50
泥地比(%)	>75	75~50	50~25	<25
泥质含量(%)	>75	75~50	50~25	<25
压力系数	>1.6	1.6~1.3	1.3~1	<1
突破压力(MPa)	>6.8	6.8~1.5	1.5~0.5	<0.5

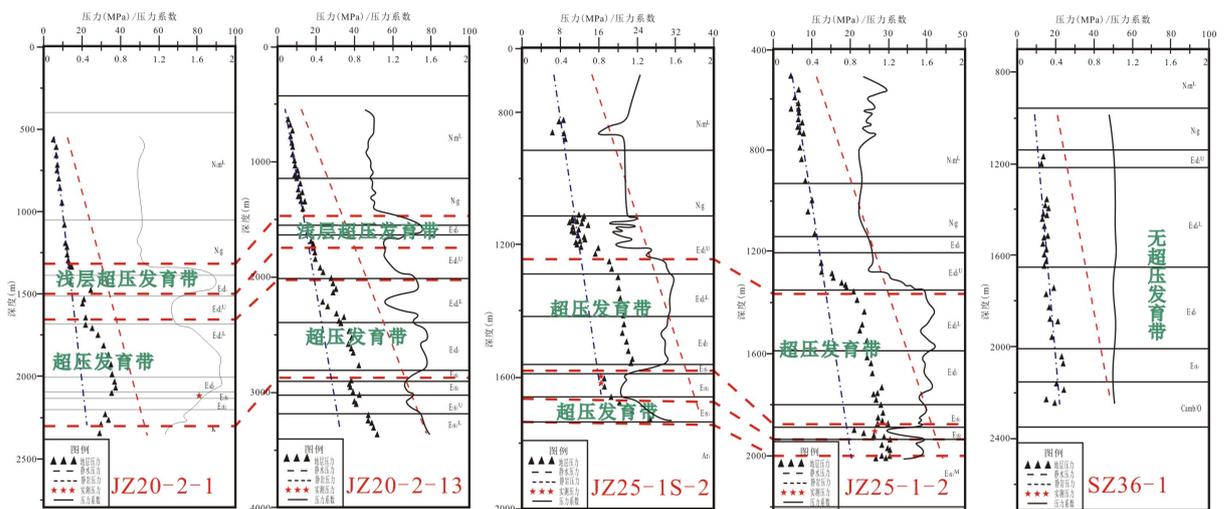


Figure 8. The pressure profile of low bulge formation in Liaoxi low uplift
图 8. 辽西低凸起地层压力剖面图

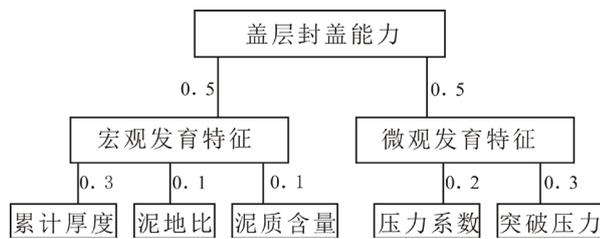


Figure 9. The pressure profile of low bulge formation in Liaoxi low uplift
图 9. 盖层封闭能力综合评价参数权重因数分配

5.2. 评价结果分析

由上述分析可知，辽西低凸起中部绥中 36-1 地区，最北端 SZ36-1-4 井综合权值为 2.9，SZ36-1-8 井、SZ36-1-1 井分别为 2.6、2.8，往北逐渐增加；锦州 25-1S 地区，JZ25-1s-2 井综合权值为 3.4 到辽西低凸起北部锦州 20-2 地区，JZ20-2-4 井综合权值上升为 3.7。

故可将辽西低凸起中北段泥岩盖层划分为好盖层、较好盖层和中等盖层(见图 10)，通过图 10 可以

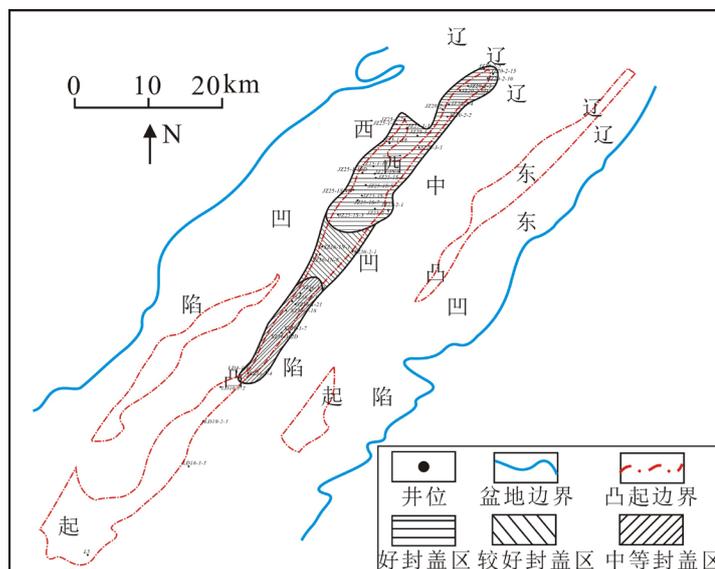


Figure 10. The comprehensive evaluation of Liaoxi low uplift mudstone cover

图 10. 辽西低凸起潜山泥岩盖层综合评价

看出,好盖层区域主要分布在辽西低凸起北部,即锦州 25-1S 地区至锦州 20-2 地区,具有物性和超压封闭作用;沙河街组沙一段和沙二段泥岩可作为这些地区潜山油气的区域性盖层,沙河街组沙三段泥岩仅可作为锦州 25-1S 地区的潜山油气局部盖层;中等盖层则分布在辽西低凸起中段绥中 36-1 地区,该区无超压发育,潜山油气受断层影响向上运移,被东营组东二段盖层保留下来。从人们发现的辽西低凸起潜山油气藏来看,说明该区泥岩盖层对潜山油藏具有较强封盖能力。

6. 结论

1) 辽西低凸起潜山盖层主要由东营组东二段、东三段,沙河街组沙一段—沙三段五套泥岩盖层组成,其中以东营组泥岩盖层厚度大、分布面积最广,为区域性盖层,沙一段沙二段和沙三段泥岩盖层在 JZ20-2、JZ25-1S 潜山有分布,为局部盖层。

2) 辽西低凸起潜山盖层主要存在两种类型的微观机理,一种是泥岩毛细管压力封盖,另一种是超压封盖,其中超压封盖主要分布在低凸起中北部 JZ25-1S 地区与 JZ20-2 地区。

3) 综合评价,中北部 JZ25-1S 与 JZ20-2 地区潜山封盖能力强,为好盖层, SZ36-1 潜山封盖能力中等,分布中等封盖能力盖层,已发现的潜山油气主要分布在在中等及以上盖层区域内,表明中等封盖能力的盖层就能封闭住潜山的油气。

参考文献 (References)

- [1] 周雁,金之钧,朱东亚,等. 油气盖层研究现状与认识进展[J]. 石油实验地质, 2012, 34(3): 234-245.
- [2] 石鸿翠,江晨曦,孙美静,等. 鄂尔多斯盆地南部上古生界泥岩盖层封闭性能评价[J]. 油气地质与采收率, 2015, 22(2): 9-16.
- [3] 李潍莲,刘震,刘俊榜,等. 辽东湾地区辽西低凸起油气田成藏地质条件的差异[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(5): 664-670.
- [4] 姜培海. 辽西低凸起油气成藏的主要控制因素及勘探潜力[J]. 油气地质与采收率, 2001, 8(4): 24-27.
- [5] 杨宝林,叶加仁,王子嵩,等. 辽东湾断陷油气成藏模式及主控因素[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 2014(10): 1507-1520.

- [6] 姜雪, 徐长贵, 邹华耀, 等. 辽西低凸起与辽中凹陷油气成藏期次的异同[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 2011, 36(3): 555-564.
- [7] 陈建波, 潘玲黎, 童凯军, 等. 辽西低凸起太古宇变质岩潜山储层控制因素研究[J]. 石油地质与工程, 2016, 30(4): 30-35.
- [8] 周东红, 李建平, 郭永华. 辽西低凸起及辽中凹陷压力场特征与油气分布关系[J]. 断块油气田, 2012, 19(1): 65-69.
- [9] 周心怀, 余一欣, 魏刚, 等. 渤海辽东湾海域 JZ25-1S 转换带与油气成藏的关系[J]. 石油学报, 2008, 29(6): 837-840.
- [10] 吕丁友, 杨明慧, 周心怀, 等. 辽东湾拗陷辽西低凸起潜山构造特征与油气聚集[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(4): 490-496.
- [11] 朱峰, 高霞, 吕玉珍. 辽东湾地区古近系储层质量分析[J]. 石油天然气学报, 2009(2): 30-34.
- [12] 王冰洁, 吴奎, 张如才, 等. 辽西凸起南部斜坡带泥岩盖层展布及封烃能力演化过程[J]. 地质科技情报, 2016(3): 159-166.
- [13] 王祥, 王应斌, 吕修祥, 等. 渤海海域辽东湾拗陷油气成藏条件与分布规律[J]. 石油与天然气地质, 2011(3): 342-351.
- [14] 董平华, 黄新平. 综合阳离子钻井液体系在 JZ25-1SA 区块的研究及应用[J]. 天津科技, 2014(10): 42-45.
- [15] 杨勇, 桑树勋, 陈世悦, 等. 渤海湾盆地石炭二叠系盖层及其沉积控制[J]. 中国煤田地质, 2007(6): 9-13.
- [16] 李慧勇, 徐长贵, 刘廷海, 等. 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[J]. 石油实验地质, 2010(1): 19-23.
- [17] 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(1): 73-78.
- [18] 杨明慧, 周心怀, 魏刚, 等. 渤海湾盆地辽西低凸起传递斜坡构造特征与潜山油气聚集[J]. 现代地质, 2010(4): 749-754.
- [19] 江尚昆, 吴昊明, 曾金昌, 等. 辽西低凸起中段潜山油气差异富集及主控因素[J]. 特种油气藏, 2016(6): 55-59.
- [20] 李建民, 王树海. 贝尔凹陷布达特群潜山盖层封闭能力综合评价[J]. 大庆石油学院学报, 2006(3): 8-10.
- [21] 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(1): 80-86.
- [22] 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(2): 20-26.
- [23] 刘培, 于水明, 王福国, 等. 珠江口盆地恩平凹陷海相泥岩盖层有效性评价及应用[J]. 天然气地球科学, 2017(3): 452-459.
- [24] 付广, 姜振学, 庞雄奇. 盖层烃浓度封闭能力评价方法探讨[J]. 石油学报, 1997(1): 41-45.
- [25] 邓津辉, 武强, 周心怀, 等. 渤海辽东湾海域 JZ25 油气藏成藏期次研究[J]. 天然气地球科学, 2008(4): 537-540.
- [26] 付广, 陈昕, 姜振学, 等. 烃浓度封闭及其在盖层封盖天然气中的重要作用[J]. 大庆石油学院学报, 1995(2): 23-27.
- [27] Barth, J.A.C., Nowak, M.E., Zimmer, M., *et al.* (2015) Monitoring of Cap-Rock Integrity during CCS from Field Data at the Ketzin Pilot Site (Germany): Evidence from Gas Composition and Stable Carbon Isotopes. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, **43**, 133-140. <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2015.10.017>
- [28] Lü, X., Wang, Y., Yu, H., *et al.* (2017) Major Factors Affecting the Closure of Marine Carbonate Caprock and Their Quantitative Evaluation: A Case Study of Ordovician Rocks on the Northern Slope of the Tazhong Uplift in the Tarim Basin, Western China. *Marine and Petroleum Geology*, **83**, 231-245. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2017.03.006>
- [29] 侯连华, 刘泽容, 王京红. 盖层封闭能力的定量评价方法及其应用[J]. 石油大学学报(自然科学版), 1996(6): 1-4.
- [30] 陈章明, 姜振学, 郭水生, 等. 泥质岩盖层封闭性综合评价及其在琼东南盆地的应用[J]. 中国海上油气地质, 1995(1): 1-6.
- [31] 付广, 刘博, 吕延防. 泥岩盖层对各种相态天然气封闭能力综合评价方法[J]. 岩性油气藏, 2008, 20(1): 21-26.
- [32] 邓祖佑, 王少昌, 姜正龙, 等. 天然气封盖层的突破压力[J]. 石油与天然气地质, 2000(2): 136-138.
- [33] Downey, M.W. (1984) Evaluating Seals for Hydrocarbon Accumulations. *AAPG Bulletin*, 1752-1763.
- [34] Jin, Z., Yuan, Y., Sun, D., *et al.* (2014) Models for Dynamic Evaluation of Mudstone Shale Cap Rocks and Their Applications in the Lower Paleozoic Sequences, Sichuan Basin, SW China. *Marine and Petroleum Geology*, **49**, 121-128. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2013.10.001>

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2330-1724，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：ojs@hanspub.org