渤南洼陷沙三下亚段泥页岩储集空间研究：以罗 69 井为例

邓美寅[1]， 梁 超[2]

1. 胜利地质录井公司，山东 东营 257064
2. 中国地质大学(北京) 能源学院，北京 100083

Deng Meiyin[1]， Liang Chao[2]

1. *Shengli Geologging Company*, *Dongying* 257064, *China*
2. *School of Energy Resources*, *China University of Geosciences* (*Beijing*), *Beijing* 100083, *China*

Deng Meiyin, Liang Chao. Studies on reservoir space of mud stone and shale of the lower section of Es_3 in Bonan Subsag: An example from Well Luo 69. *Earth Science Frontiers*, 2012, 19(1): 173-181

Abstract: Mud stone and shale from the Lower Section of Es_3 in Bonan Subsag, Jiyang Depression is characterized by great thickness and wide distribution. It mainly develops dark gray mudstone, lime mudstone, oil mudstone, argillaceous limestone, and yellow brown and taupe oil shale. The mud stone and shale has high content of organic carbon (up to 9.0%) and great hydrocarbon generation potential (up to 82.6 mg/g) as well as high maturity (up to 3.0%), which made it as good source rocks and also a favorable accumulation area for shale oil and gas. To study the reservoir space of mud stone and shale of the lower section of Es_3, methods such as core observation, polarizing microscope, scanning electron microscope and so on were applied. The cracks of shale reservoir space include structural cracks, micro-cracks between layers, overpressure breaking cracks. The pore space is mainly micro-pores, including pyrite intergranular pores, intergranular pores of clay minerals. Overall, reservoir space is dominated by tension fracture micro-cracks between layers, intergranular pores of clay minerals, intergranular pores of calcite. Through the comparison of reservoir space types and characteristics of different rocks, the lamellar argillaceous limestone in Lower No. 12 and Upper No. 13 layers of Es_3 is the best reservoir lithofacies style.

Key words: Bonan Subsag; mud stone and shale; micro-cracks; micro-pores; shale oil and gas

摘 要：济阳坳陷渤南洼陷沙三下亚段泥页岩厚度大、分布广，主要发育了深灰色泥岩、灰质泥岩、油泥岩、泥质灰岩和黄褐色—灰褐色油页岩。泥页岩的有机碳含量高，最高可达 9.0%；生烃潜量高，最高可达 82.6 mg/g；演化程度高，最高可达 3.0%；该区泥页岩既是良好的烃源岩，也是页岩油气赋存的有利场所。为研究该区沙三下亚段页岩油气储集空间，文中通过岩心观察、偏光显微镜、扫描电镜等手段，认为研究区泥页岩储集空间中裂缝包括构造裂缝、层间微裂缝、超压破裂缝；空隙主要为微孔隙，包括黄铁矿晶间孔、粘土矿物晶间孔、方解石晶间孔。总体上来讲，储集空间以构造张裂缝、层间微裂缝、粘土矿物晶间孔及方解石晶间孔为主导。通过对比不同岩相间储集空间的类型与特征，认为沙三下 12 下、13 上砂组纹层状泥质灰岩为储集性能最好的岩相。

收稿日期：2011-11-20；**修回日期**：2011-12-10
基金项目：国家科技重大专项(2011zx05009-002)
作者简介：邓美寅(1964—)，女，博士，石油地质专业，一直从事地质综合研究、录井技术研究及技术管理工作。E-mail：386878988@qq.com

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

关键词:渤南洼陷;泥页岩;微裂缝;微孔隙;页岩油气
中图分类号:P618.130.21 文献标志码:A 文章编号:1005-2321(2012)01-0173-09

0 引言

济阳坳陷在过去五十多年的油气勘探中,陆续在300余口探井泥页岩层段发现油气显示。这是作为常规油气勘探中的一些局部发现,由于研究不够深入,并未引起足够的重视。近年来,受美国页岩气成功开发的启示,我国加强了对页岩气的形成条件和成藏机理的研究[1-4],针对页岩油气相继开展了一些区域性、局部性的基础研究工作,取得良好的研究成果,初步展示了中国页岩油气勘探的巨大资源潜力[5-6]。张金川、邹才能等[1-2,7-8]对页岩气的富集类型、形成机理、地质特征与资源潜力进行了研究,认为我国陆上广泛发育海相、海陆过渡相、陆相三大套富有机质黑色泥页岩,均具备形成页岩气的基本地质条件。针对扬子地区做了大量工作,蒲泊伶、董大忠、潘继平等[9-11]对扬子地区早古生代寒武系牛蹄塘组和下志留系龙马溪组页岩气地质条件及勘探前景做了细致研究,认为这两套泥页岩是扬子地区页岩气有利的勘探层系。此外在鄂尔多斯盆地,周文等[12]对中生界页岩气成藏地质条件做了相关研究,通过对页岩分布、埋藏深度、有机质丰度及类型、有机质热演化程度、孔隙度和渗透率、微裂缝、等温吸附特征与含气性等关键参数的细致分析,认为研究区延长组"张家滩页岩"具备页岩气富集成藏的条件。陈祥等[13]以泌阳凹陷为例对陆相页岩油气成藏条件做了细致研究,认为该区泥页岩分布广、母质类型好、生烃能力强,具备了页岩油气成藏的物质基础。泌阳凹陷泥页岩具有单层厚度大,有机质丰度高,热演化程度适宜,脆性矿物含量高,微孔隙微裂缝发育及保存条件好的特征,对页岩油气成藏非常有利。在页岩气储层方面,刘树根、蒋裕强、郭岭等[14-16]对泥页岩储层的形成条件、储层类型和基本特征进行研究,并提出针对页岩气的储层评价标准。邹才能等[17]通过场发射扫描电子显微镜和纳米CT技术在泥页岩中首次发现纳米级空隙,掀开了油气储层纳米级空隙研究的序幕。付永强、孙海成等[18-19]对泥页岩压裂技术进行了探讨和相关调研,认为石英等脆性矿物的高含量利于储层压裂改造。多数页岩气研究主要针对海相泥页岩,而对于陆相湖盆,特别是济阳坳陷陆相湖盆页岩油气的关注相对较少。本文针对陆相页岩油气,通过对沾化凹陷渤南洼陷沙三下亚段泥页岩储集空间的研究,探讨该区页岩油气储层特征,进而对该区页岩油气的勘探起到一定的指导和借鉴作用。

1 区域地质背景

渤南洼陷位于渤海湾盆地济阳坳陷沾化凹陷中南部。其西与义和庄凸起相连,北为埕子口凸起,东为孤岛—桩西潜山,南为陈家庄潜山(图1)。渤南洼陷地层发育较全,下部为古生界以前的老地层构成湖盆的基底,往上为中、新生界地层构成的盆地型沉积。地层自下而上为:古生界,中生界,古近系孔店组、沙河街组、东营组,新近系馆陶组、明化镇组,以及第四系平原组。

该区泥页岩广泛发育,主要发育在下第三系沙四上亚段和沙三段地层中,以沙三下亚段泥页岩厚度最大、范围最广。依据渤南洼陷沙三段砂组划分方案,将沙三段划分为14个层组,最好的泥页岩主要发育于沙三下亚段的12、13层组,将12、13层组细分,可分为12上、12下、13上、13下(图1)。研究区有24口井在泥页岩中见到油气显示,其中3口工业油流、3口低产油流,展示了该区泥页岩油气勘探的巨大潜力。2010年完钻的L69井在2 911.00~3 140.75 m井段进行了全井段取心,为渤南洼陷泥页岩油气的勘探开发研究提供了良好的基础资料。

2 泥页岩发育特征

渤南洼陷泥页岩主要发育在下第三系沙四上亚段和沙三段地层中,泥页岩厚度大、分布广,岩性主要为暗色泥页岩、泥质灰岩。沙三下泥页岩主要发育于半深湖沉积环境,受物源输入、气候变化、湖平面变化的影响[20],罗69井及罗67井沙三下泥页岩矿物成分主要为粘土矿物、碳酸盐、石英、长石、黄铁矿。黄铁矿含量较高,反映了沙三下泥页岩沉积时期湖盆水体较深,湖平面较高,造成了湖底缺氧的还原环境,为有机质的富集与保存提供了良好条件(表1)。粘土矿物主要以伊利石和伊蒙混层为主,

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

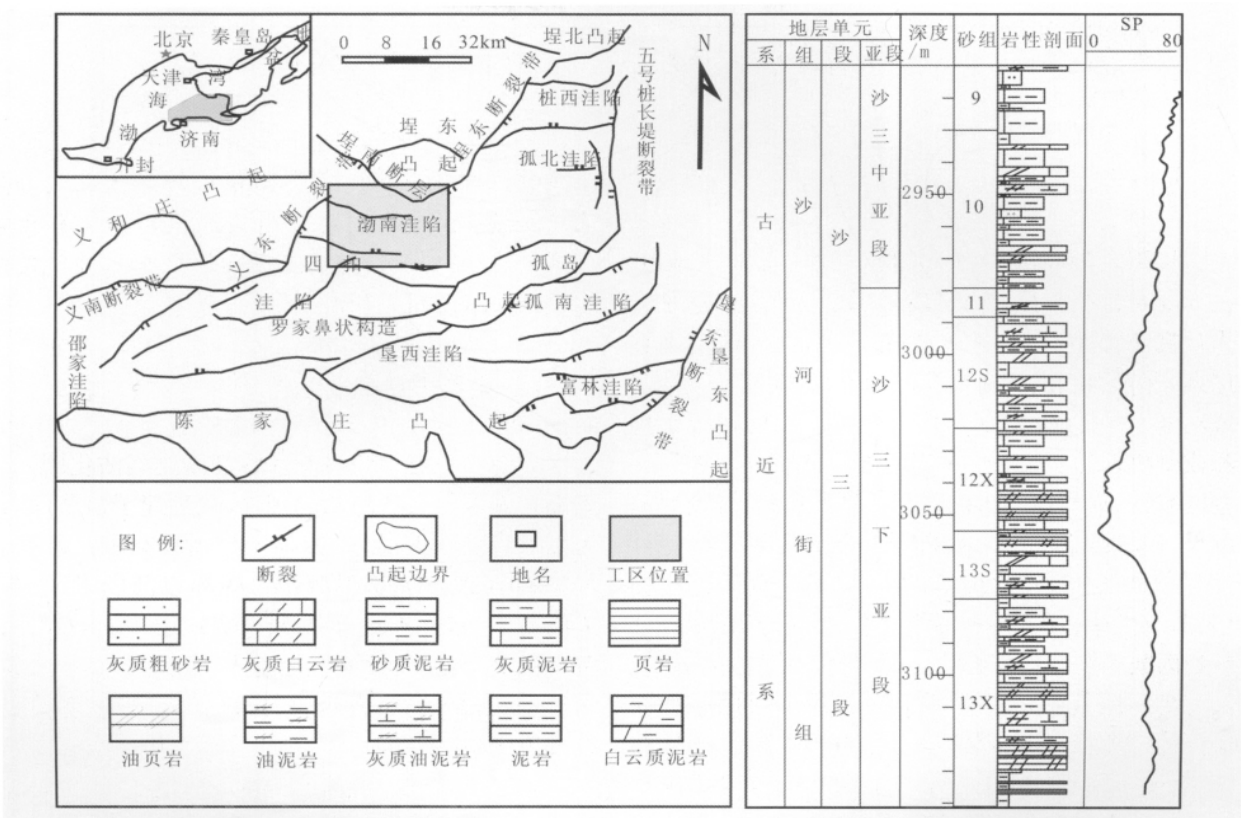


图1　渤南洼陷构造位置及罗69井砂组划分方案

Fig. 1　Tectonic position of Bonan Subsag and the sand group schemes of Well Luo 69

表1　罗69、67井X-衍射全岩分析矿物平均含量

Table 1　X-diffraction analysis of mineral content of Well Luo 69 and Well Luo 67

井号	泥质（含粉砂）含量/%					碳酸盐岩矿物含量/%			其他矿物含量/%
	粘土	石英	钾长石	斜长石	总量	方解石	白云石	总量	黄铁矿
L69	18.6	18.0	0.1	1.4	38.1	52.1	6.0	58.1	3.8
L67	12.3	10.9	0	0.1	23.3	68.4	5.4	73.8	2.9

二者含量占粘土矿物的90%（表2）。伊利石是粘土矿物中较稳定的继承性矿物，其在粘土矿物中的相对含量随着搬运距离的增加而增加，罗67及罗69井中沙三下伊利石的相对富集也反映了该层段泥页岩形成于离物源较远的深水环境。

表2　罗69、67井X-衍射粘土分析矿物平均含量

Table 2　X-diffraction of clay mineral content of Well Luo 69 and Well Luo 67

井号	伊/蒙间层	伊利石含量/%	高岭石含量/%	绿泥石含量/%	伊/蒙间层比
罗69	61.2	29.5	6.4	2.9	20
罗67	34.2	59.0	4.7	2.1	20

注：引用胜利油田地质科学研究院测试分析资料。

渤南洼陷沙三下亚段泥页岩范围广，满洼发育，厚度变化大，由边缘的几米到沉积中心的500 m，其中渤深8、渤1、义深2井区在沉积厚度中心（图2）。有机碳含量为1.0%～9.0%；生烃潜量1.0～82.6 mg/g；氯仿沥青“A”0.07%～3.0%；热演化成熟度R_o为0.52%～0.92%；有机质类型Ⅰ；综合评价为优质烃源岩。沙三下亚段为泥页岩有机碳含量高、生烃潜量大、演化程度高，是页岩油气勘探的主力层系。

3　储集空间类型

渤南洼陷沙三下亚段主要为断陷湖盆和坳陷湖盆沉积，其位于北和北东方向埕东及孤西断层下降盘的交汇处，为盆地的沉降中心及沉积中

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

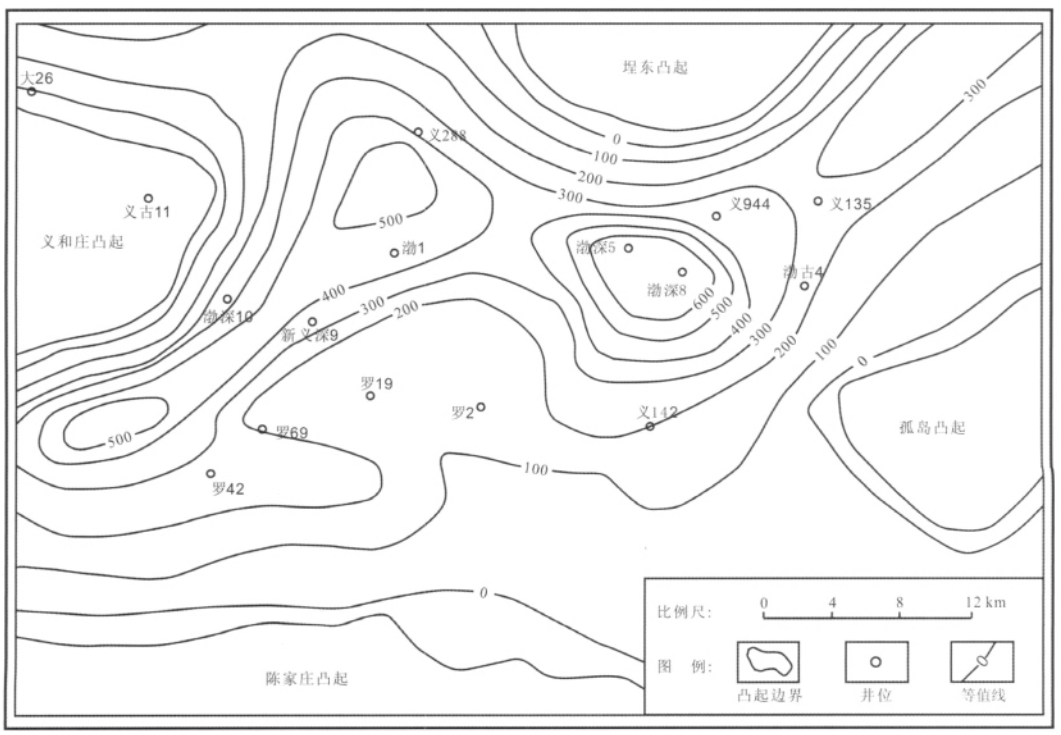


图 2 渤南洼陷沙三下亚段暗色泥岩等厚图

Fig. 2 Contour line map of the dark mudstone thickness in the Es_3, Bonan Subsag

心[21]。受沉积环境和构造环境的影响，储层的物性、空隙结构及非均质性呈现相应的特征[22-27]。岩性主要以泥页岩为主，矿物成分较复杂，除伊利石等粘土矿物以外，还包括石英、长石、云母等碎屑矿物和碳酸盐岩自生矿物。富含石英、长石及碳酸盐的泥页岩段脆性较大，致使泥页岩内部产生大量的微裂缝，这些微裂缝可以作为油气的运移通道及有效的储集空间，对泥页岩油气成藏具有重要作用[28-31]。除裂缝外，沙三下亚段泥页岩层段还发育大量的微孔隙，主要分布在黄铁矿、粘土矿物和方解石晶体之间。

3.1 裂缝

泥页岩中裂缝的发育程度对页岩气的富集成藏影响很大，裂缝的发育有利于游离相油气的富集和渗透性、自然产能的提高[3-4]，因此对泥页岩中裂缝的描述是首要的地质工作。根据裂缝的成因将裂缝分为构造裂缝、成岩缝、差异压实缝、溶蚀缝等，在罗69井中主要发育构造缝和成岩缝。

3.1.1 构造缝

构造缝是岩石在构造应力作用下产生破裂而形成的裂缝，是裂缝中最主要的类型。一般具有以下特点：(1)裂缝成组出现；(2)边缘比较平直，延伸较远；(3)具穿层性，能在缝合线等非构造缝之间穿行或切割；(4)具多期次性。构造缝的发育受到应力强度、岩石类型、层厚、边界条件、温度等因素影响，按力学性质的不同可分为张性、扭性和张扭性。

(1)张裂缝。由局部构造作用所形成或与局部构造作用相伴而生的裂缝，因岩石受力后在某一方向的张应力超过了岩石的扩张强度，因而在垂直于张应力的方向产生裂缝。沙三下沉积时期为断陷扩张期，因此构造张裂缝成为本期主导的储集空间类型。在张应力作用下形成的裂缝，一般具有下列特征：①裂缝面粗糙不平，常有绕岩石或矿物颗粒而过的现象；②裂缝产状不稳定，平面上常呈锯齿状延伸；③裂缝两壁张开，并常有矿物充填；④多为高角度。在该区的岩心观察中发育构造张裂缝，裂缝倾角、宽度和长度变化较大，破裂面不平整(图 3a)。薄片镜下观察和扫描电镜中见较多的微裂缝。主要包括未充填微裂缝、半充填微裂缝和充填微裂缝。如 L69 井 3 021.05 m，灰质泥岩，未充填微裂缝发绿色光(图 3b)；3 113.40 m，泥灰岩，高角度方解石充填(图 3c)；3 126.75 m，含泥质白云岩，方解石半充填，缝内见黑色有机质(图 3d)。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

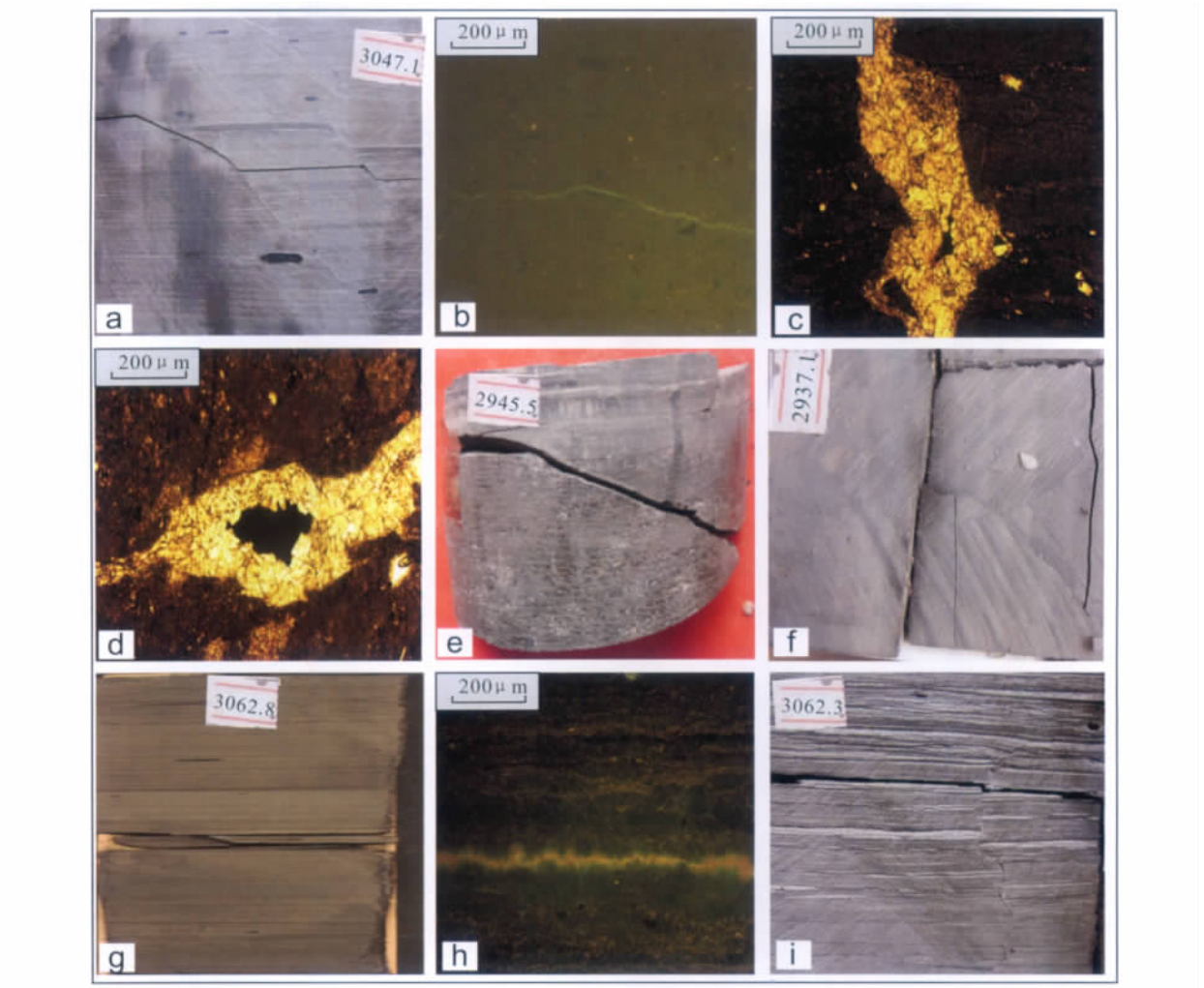


图 3 罗 69 井中不同类型裂缝

Fig. 3 Different types of cracks of Well Luo 69

a—L69 井 3 047.1 m,灰色灰质纹层泥岩,未充填张裂缝;b—L69 井 3 021.05 m,正交偏光,灰泥质灰岩未充填微裂缝;c—L69 井 3 113.4 m,正交偏光,泥灰岩高角度方解石半充填裂缝;d—L69 井 3 126.75 m,正交偏光,泥质白云岩方解石半充填裂缝,内见黑色有机质;e—L69 井 2 945.5 m,灰色灰质泥岩剪裂缝;f—L69 井 2 937.55 m,灰色泥岩"x"型剪裂缝;g—L69 井 3 062.8 m,褐色油页岩层间页理缝;h—L69 井 3 046.57 m,褐色油页岩,正交偏光,层间闭合型微裂缝,有机质充填呈黄色荧光;i—L69 井 3 062.3 m,褐色油页岩超压破裂缝,局部未充填。

(2)剪裂缝。在剖开的岩心中可以观察到少量的剪裂缝(图 3e-f)。剪裂缝是由剪切应力作用形成的,该区泥岩层的塑性相对较大,岩石容易因剪切变形而形成剪切破裂缝。在剪切应力作用下形成的裂缝,一般具有以下特征:①裂缝面平直光滑,通常切过颗粒;②缝面上有擦痕,甚至还有微错动现象;③多为低角度。

3.1.2 成岩缝

(1)层间微裂缝。主要是指层间页理缝,是页岩中页理间的平行层理纹层面间的微孔缝,为沉积作用所形成。一般为强水动力条件的产物,由一系列薄层页岩组成。页岩间页理为力学性质薄弱的界面,极易剥离,这种界面即为层间页理缝[6]。层间页理缝是本区泥页岩中非常发育的裂缝类型。L69 井 3 062.80 m,纹层状褐色油页岩层间页理缝发育(图 3g);L69 3 046.57 m,褐色油页岩,层间闭合型微裂缝发亮黄色荧光(图 3h)。

(2)超压破裂缝。由于快速沉积作用造成泥页岩欠压实,泥页岩在封闭状态下,由粘土矿物转化脱水、生烃增压和水热增压等综合作用形成高异常流体压力,当流体压力比较大时即可形成高压破裂缝[6],或是有机质在演化过程中产生局部异常压力,当压力达到岩石临界值时发生破裂形成的裂缝[7]。L69 井取心井段高压破裂缝较发育,裂缝方位、倾角

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

无规律,与层间页理缝、张性缝交叉,相互连通组成了裂缝的三维网络连通系统。该区沙三下亚段泥页岩埋藏较深,有机碳含量较高,有机质在演化过程中异常压力缝在炭质泥页岩中普遍发育。这种裂缝面不规则,不成组系,局部充填有机质或方解石(图 3i)。

3.2 微孔隙

罗 69 井及罗 67 井全岩矿物分析表明,渤南洼陷沙三下泥页岩段矿物成分主要为方解石、粘土矿物、石英及黄铁矿。碳酸盐含量较高,石英含量较低,但碳酸盐和石英含量之和在 80%左右(表 1)。泥页岩中微孔隙发育,也是页岩油气的主要储集空间。通过扫描电镜分析,其主要类型有:黄铁矿晶间孔、粘土矿物晶间孔和方解石晶间孔。

3.2.1 黄铁矿晶间孔

渤南洼陷沙三下沉积时期为深湖-半深湖相沉积,水体较深,水下为缺氧的还原环境,伴随着形成较多的黄铁矿,常见草莓状黄铁矿。电镜扫描可观察到其晶间微孔隙(图 4a)。

3.2.2 粘土矿物晶间孔

粘土矿物主要是伊利石和高岭石,次为绿泥石。通过扫描电镜发现,粘土矿物微孔隙发育,伊蒙混层层间偶有方解石、白云石颗粒溶蚀现象(图 4b),如 L69 井井段 2 990～3 000 m;井段 3 000～3 013 m 颗粒溶蚀现象略增,层间缝发育有增多趋势(0.5～1 μm);井段 3 042～3 081 m 伊蒙混层层间颗粒溶蚀现象增多,偶有长石溶蚀现象,层间缝宽度有增大趋势(0.5～2 μm)。

3.2.3 方解石晶间孔

本区沙三下泥页岩中方解石、白云石含量高,特别是页理发育段,页理缝间几乎被碳酸盐充填,方解石、白云石颗粒间发育晶间孔,孔中被沥青质充填(图 4c-d)。在伊蒙混层层间多见方解石、颗粒溶蚀现象,如井段 3 112.4～3 129.5 m;部分溶蚀孔中见

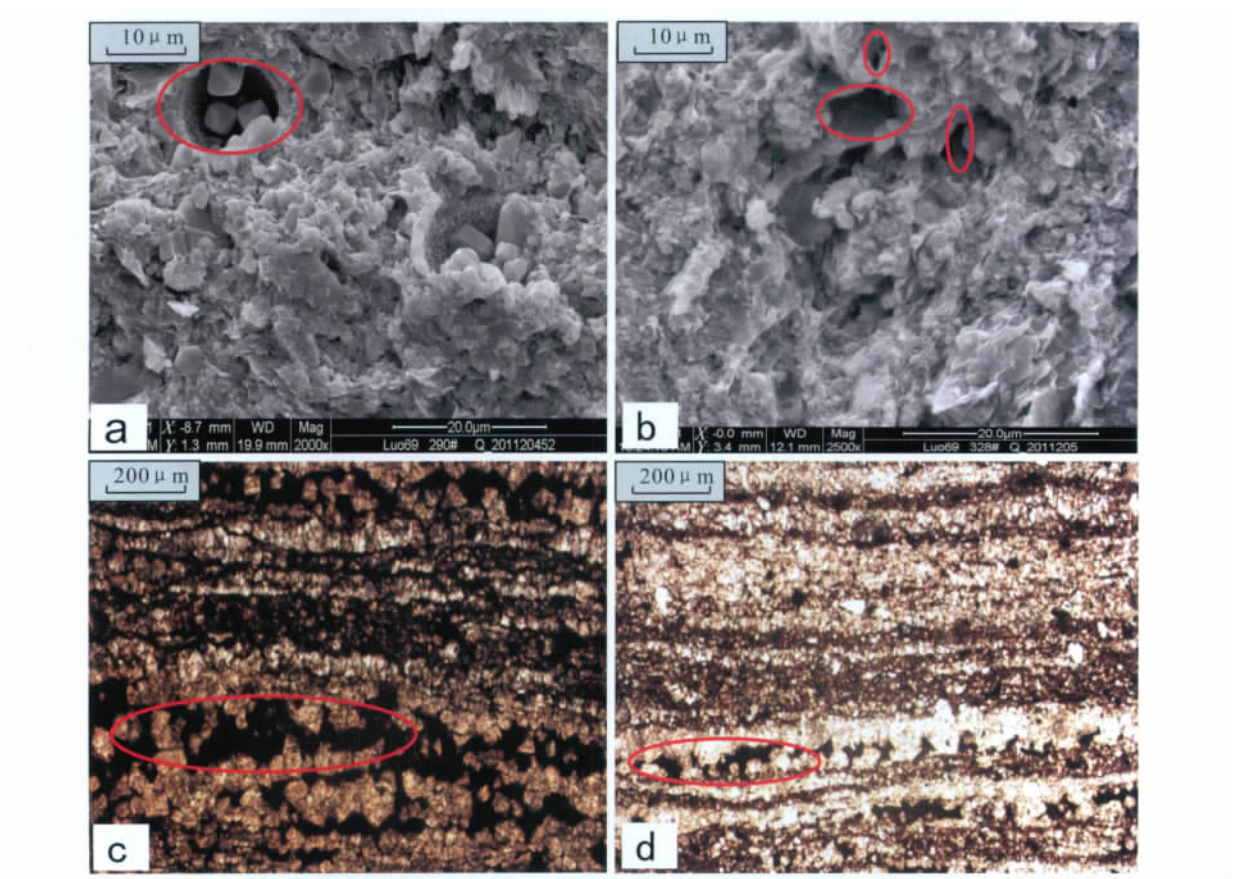


图 4 罗 69 井微孔隙特征

Fig. 4 Characteristics of micro-pores in Luo 69

a—L69 井 2 992.6 m,扫描电镜,草莓状黄铁矿及晶间微空隙;b—L69 井 3 002.04 m,扫描电镜,伊蒙混层层间方解石、白云石溶蚀微空隙;c—L69 井 3 055.6 m,纹层状泥质灰岩,单偏光,方解石晶间微孔隙;d—L69 井 3 041.1 m,纹层状泥质灰岩,正交偏光,方解石晶间微孔隙。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

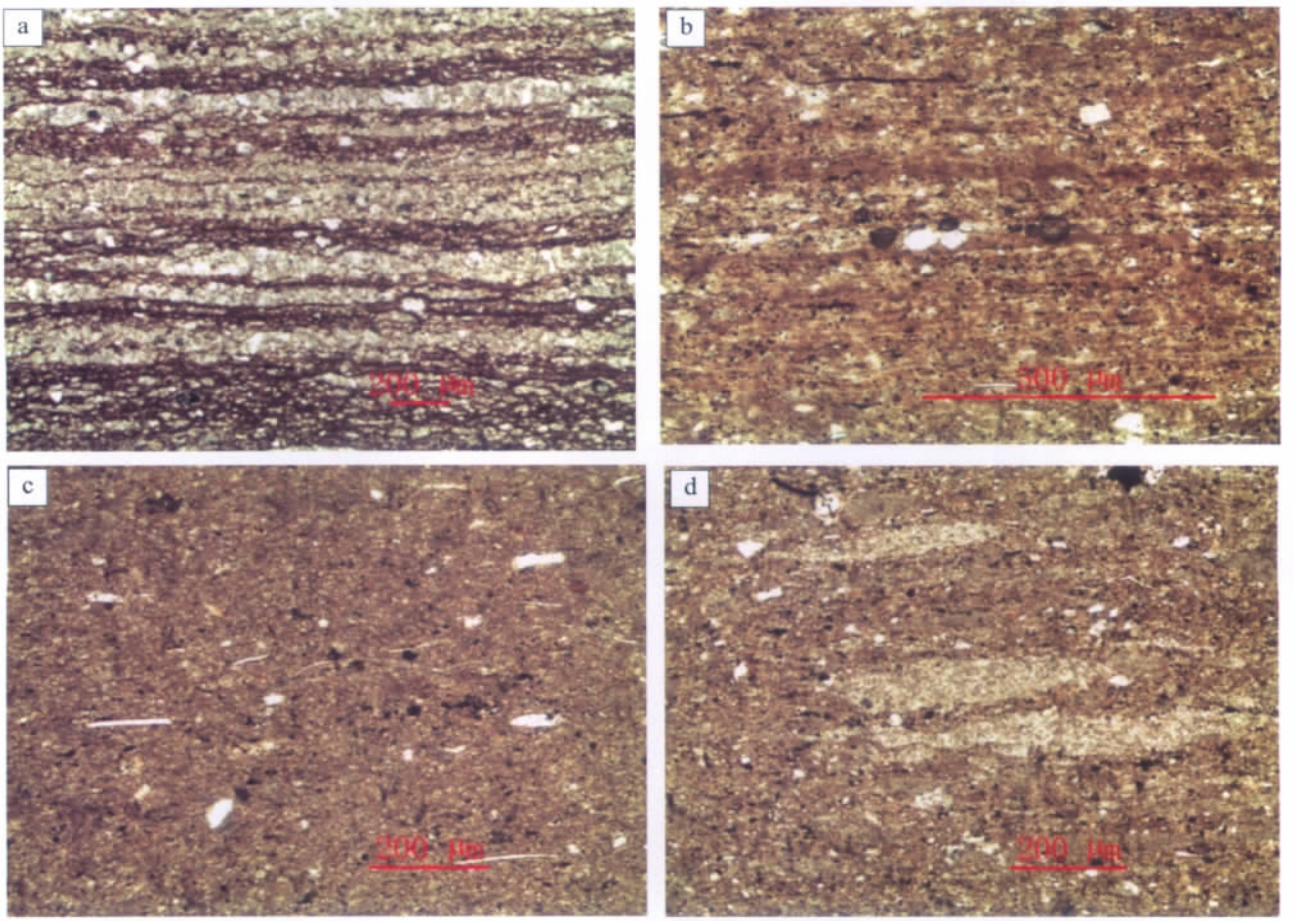


图 5　罗 69 井泥页岩主要岩石类型

Fig. 5　The main litho-types of mud stone and shale in Well Luo 69

a—L69 井 3 047.2 m，纹层状泥质显晶灰岩相，正交；b—L69 井 2 974.6 m，纹层状隐晶灰质泥岩相，正交；c—L69 井3 115.0 m，层状泥质隐晶灰岩相，正交；d—L69 井 3 125.2m，层状含泥质隐晶灰岩相，正交。

自生石英，如井段 3 123～3 129.5 m。

4　岩相类型与物性

通过岩心观察、薄片鉴定及 X-衍射全岩矿物分析结果，根据岩石构造特征（纹层状、层状、块状）、矿物组成（方解石与泥质矿物含量）及方解石结晶特点（隐晶和显晶），可识别十余种岩相类型，主要发育纹层状泥质灰岩相、层状泥质灰岩相、层状灰质泥岩相、层状含泥质灰岩相等 4 种岩相类型（图 5）。

通过对 L69 井取心井段 2 911.00～3 140.75 m 岩心多个样品分析，孔隙度样品 404 块，最小1.2%，最大 13.6%，平均 5.04%；渗透率样品 550 块，一般小于 $10\times10^{-3}\mu m^2$①。

表 3　罗 69 井不同岩相类型物性

Table 3　Physical property of different lithofacies in Well Luo 69

岩相类型	孔隙度/%			渗透率/mD		
	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值
纹层状泥质灰岩	0.4	16	5.8	0.36	20	6.4
层状泥质灰岩	0.1	6.8	2.6	0.22	16	1.5
层状含泥质灰岩	0.1	5.6	2.7	0.2	16.5	1.7
层状灰质泥岩	0.05	5	1.8	0.1	18	2.0

注：$1mD=9.869\ 232\ 6\times10^{-16}m^2$。

根据岩石类型划分，结合其对应的孔渗数据，发现不同岩石类型物性差异较大，纹层状泥质灰岩孔隙度平均 5.8%，渗透率平均 6.4 mD；层状泥质灰岩孔

① 胜利油田地质科学研究院测试资料。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

隙度平均2.6%，渗透率平均1.5 mD；层状含泥质灰岩孔隙度平均2.7%，渗透率平均1.7 mD；层状灰质泥岩孔隙度平均1.8%，渗透率平均2.0 mD。

总的来讲，纹层状泥质灰岩孔隙度和渗透率均较高，物性较好，层状泥质灰岩、层状含泥质灰岩次之，层状灰质泥岩较差(图6)。这种物性的差异可能与脆性矿物的含量有关[30]，方解石等脆性矿物含量的增加有助于岩石在受到应力时产生更多的裂缝，使得孔隙度和渗透率较高。沙三下12下、13上层组的纹层状泥质灰岩相储层物性最好，是页岩油气富集潜力层段。

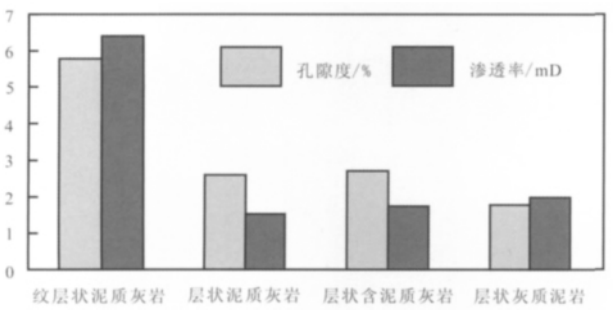


图6 不同岩相孔渗平均值对比

Fig. 6 Comparison of porosity and permeability medium values of different lithofacies

5 结论

(1)渤南洼陷沙三下亚段泥页岩厚度最大、范围最广，为深灰色泥岩、灰质泥岩、油泥岩、泥质灰岩和黄褐色—灰褐色油页岩，泥页岩有机碳含量高、生烃潜量大、演化程度高，是吸附气体和游离气体赋存的有利场所，也是泥页岩油气勘探的主力层系。

(2)沙三下泥页岩储集空间类型主要有张裂缝、剪裂缝、层间微裂缝、超压破裂缝、黄铁矿晶间孔、粘土矿物晶间孔、方解石晶间孔，其中构造张裂缝、层间微裂缝、粘土矿物晶间孔和方解石晶间孔占主导作用。

(3)沙三下泥页岩主要发育纹层状泥质灰岩相、层状泥质灰岩相、层状灰质泥岩相、层状含泥质灰岩相等四种岩相类型。其中，沙三下12下、13上层组纹层状泥质灰岩相储层物性最好，是页岩油气富集潜力层段。

参考文献

[1] 张金川，薛会，张德明，等. 页岩气及其成藏机理[J]. 现代地质，2003，17(4)：446.

[2] 张金川，金之钧，袁明生. 页岩气成藏机理和分布[J]. 天然气工业，2004，24(7)：15-18.

[3] 陈更生，董大忠，王世谦，等. 页岩气藏形成机理与富集规律[J]. 天然气工业，2009，29(5)：17-21.

[4] 聂海宽，张金川. 页岩气藏分布地质规律与特征[J]. 中南大学学报：自然科学版，2010，41(2)：700-708.

[5] 米华英，胡明，冯振东，等. 我国页岩气资源现状及勘探前景[J]. 复杂油气藏，2010，3(4)：10-13.

[6] 张大伟. 加速我国页岩气资源调查和勘探开发战略构想[J]. 石油与天然气地质，2010，31(2)：135-150.

[7] 张金川，姜生玲，唐玄，等. 我国页岩气富集类型及资源特点[J]. 天然气工业，2009，29(12)：109-117.

[8] 邹才能，董大忠，王社教，等. 中国页岩气形成机理、地质特征及资源潜力[J]. 石油勘探与开发，2010，37(6)：641-654.

[9] 蒲泊伶，蒋有录，王毅，等. 四川盆地下志留统龙马溪组页岩气成藏条件及有利地区分析[J]. 石油学报，2010，31(2)：225-231.

[10] 董大忠，程克明，王玉满，等. 中国上扬子区下古生界页岩气形成条件及特征[J]. 石油与天然气地质，2010，31(3)：288-301.

[11] 潘继平，乔德武，李世臻，等. 下扬子地区古生界页岩气地质条件与勘探前景[J]. 地质通报，2011，30(2/3)：337-344.

[12] 周文，苏瑗，王付斌，等. 鄂尔多斯盆地富县区块中生界页岩气成藏条件与勘探方向[J]. 天然气工业，2011，31(2)：29-36.

[13] 陈祥，王敏，严永新，等. 泌阳凹陷陆相页岩油气成藏条件[J]. 石油与天然气地质，2011，32(4)：568-577.

[14] 刘树根，马文辛，Jansa L，等. 四川盆地东部地区下志留统龙马溪组页岩储层特征[J]. 岩石学报，2011，27(8)：2239-2253.

[15] 蒋裕强，董大忠，漆麟，等. 页岩气储层的基本特征及其评价[J]. 天然气工业，2010，30(10)：7-15.

[16] 郭岭，姜在兴，姜文利. 页岩气储层的形成条件与储层的地质研究内容[J]. 地质通报，2011，30(2/3)：385-392.

[17] 邹才能，朱如凯，白斌，等. 中国油气储层中纳米孔首次发现及其科学价值[J]. 岩石学报，2011，27(6)：1857-1865.

[18] 付永强，马发明，曾立新，等. 页岩气藏储层压裂实验评价关键技术[J]. 天然气工业，2011，31(4)：51-54.

[19] 孙海成，汤达祯，蒋廷学，等. 页岩气储层压裂改造技术[J]. 油气地质与采收率，2011，18(4)：90-96.

[20] 姜在兴. 沉积学[M]. 北京：石油工业出版社，2003：473-476.

[21] 董春梅. 渤南洼陷下第三系沙三段高分辨率层序地层学研究[J]. 石油大学学报：自然科学版，2002，26(2)：11-15.

[22] 郑浚茂，庞明. 碎屑储集岩的成岩作用研究[M]. 武汉：中国地质大学出版社，1989：15-85.

[23] 寿建峰，斯春松，朱国华，等. 塔里木盆地库车坳陷下侏罗统砂岩储层性质的控制因素[J]. 地质论评，2001，47(3)：272-277.

[24] 闫建萍，刘池洋，张卫刚，等. 鄂尔多斯盆地南部上古生界低孔低渗砂岩储层成岩作用特征研究[J]. 地质学报，2010，

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

84(2)：272-279.
[25] 杨晓萍，赵文智，邹才能，等. 低渗透储层成因机理及优质储层形成与分布[J]. 石油学报，2007，28(4)：57-61.
[26] 周勇，纪友亮，张善文，等. 胶莱盆地莱阳凹陷莱阳组低渗透砂岩储层特征及物性控制因素[J]. 石油学报，2011，32(4)：611-620.
[27] 付文耀，刘春武，刘丽丽，等. 鄂尔多斯盆地胡尖山油田延长组长储层特征及控制因素分析[J]. 石油天然气学报，2011，33(7)：45-50.
[28] 张金功，袁政文. 泥质岩裂缝油气藏的成藏条件及资源潜力[J]. 石油与天然气地质，2002，23(4)：336-338.
[29] 孟元林，王粤川，牛嘉玉，等. 储层孔隙度预测与有效天然气储层确定：以渤海湾盆地鹭鸶沟地区为例[J]. 天然气工业，2007，27(6)：42-44.
[30] 赖生华，刘文碧，李德发，等. 泥质岩裂缝油藏特征及控制裂缝发育的因素[J]. 矿物岩石，1998，18(2)：47-51.
[31] Surdam R. The chemistry of secondary porosity [J]. AAPG，1984，Memoir37：127-149.

《地学前缘》网上查询和浏览方法

方法一：
(1)登录北京·中国地质大学网站，网址为 http://www.cugb.edu.cn，点击右上角“旧版主页”
(2)点击首页右侧“特色网站”栏目下方的“地大(北京)期刊网”选项
(3)选择《地学前缘》下方的【进入】按钮，进入《地学前缘》办公自动化平台查阅摘要和全文
方法二：
(1)登录北京·中国地质大学网站，网址为 http://www.cugb.edu.cn
(2)点击首页右侧“常用链接”栏目中的“数字图书”选项
(3)在“中文资源”下部点击《地学前缘》进入办公自动化平台查阅摘要和全文
方法三：
(1)登录中国地质图书馆网站，网址为 http://www.cgl.org.cn
(2)光标移到首页中部【期刊】→免费资源(含开放获取)→《地学前缘》办公自动化平台查阅摘要和全文
方法四：
(1)登录中国地学期刊网站，网址为 http://www.geojournals.cn
(2)点击首页左上部《地学前缘》进入办公自动化平台查阅摘要和全文
方法五：
(1)登录北京大学网站，网址为 http://www.pku.edu.cn
(2)点击首页上部科学研究中的学术期刊
(3)点击网页中部的《地学前缘》进入办公自动化平台查阅摘要和全文
方法六：
(1)登录北京大学地球与空间科学学院，网址为 http://sess.pku.edu.cn
(2)点击首页上部的【科研外事】按钮
(3)在网页左下方【学术期刊】中点击《地学前缘》(主站)或《地学前缘》查阅摘要和全文

阅读全文需要安装 Acrobat Reader(PDF)软件

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net