

文章编号:1673-8926(2013)06-0053-09

## 辽河西部凹陷南段沙三段致密砂岩储层物性 特征及主控因素分析

孙红华<sup>1</sup>,李旭平<sup>1</sup>,钟建华<sup>2,3</sup>,范伟<sup>4</sup>,刘磊<sup>1</sup>,周娇<sup>5</sup>

(1.山东科技大学地质科学与工程学院,山东 青岛 266590; 2.中国石油大学(华东)地球科学与技术学院,山东 青岛 266590; 3.中国科学院广州地球化学研究所,广东 广州 510640; 4.中国石油集团渤海钻探工程有限公司第二录井分公司,河北 任丘 062550; 5.中国地质大学(北京)能源学院,北京 100083)

**摘要:**致密砂岩优质储层预测与评价研究的难度较大。通过对大量岩心、铸体薄片及普通薄片的观察鉴定,结合录、测井资料,扫描电镜,黏土矿物 X 射线衍射分析,对辽河西部凹陷南段沙三段致密砂岩储层的岩石学特征和物性特征进行了研究,并分析了影响该储层物性的主要因素。结果表明:该储层岩石为低孔-低渗和特低孔-特低渗致密砂岩;碎屑颗粒以岩屑和长石为主,具有较低的成分成熟度;颗粒接触关系主要为线接触和点-线接触;孔隙度与渗透率在储层内部纵向和横向上的变化较大,储层的非均质性强;控制储层物性的因素主要为物源、沉积作用、成岩作用、沉积体系、构造条件和异常压力。通过对该储层物性特征的主控因素的分析,可为致密砂岩优质储层的预测与评价及致密砂岩气藏的勘探开发提供依据。

**关键词:**致密砂岩;储层物性;沉积作用;成岩作用;辽河凹陷

**中图分类号:**TE122.2+3 **文献标志码:**A

## Characteristics and controlling factors of tight sandstone reservoir of the third member of Shahejie Formation in the southern West Depression, Liaohe Basin

SUN Honghua<sup>1</sup>, LI Xuping<sup>1</sup>, ZHONG Jianhua<sup>2,3</sup>, FAN Wei<sup>4</sup>, LIU Lei<sup>1</sup>, ZHOU Jiao<sup>5</sup>

(1. College of Geological Sciences & Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China; 2. School of Geosciences, China University of Petroleum, Qingdao 266590, China; 3. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China; 4. No. 2 Logging Company, CNPC Bohai Drilling Engineering Company Limited, Renqiu 062550, China; 5. School of Energy Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

**Abstract:** By means of observation of core samples, casting thin sections and ordinary thin sections, combined with recording, logging data, scanning electronic microscope and clay mineral X-ray diffraction analysis, this paper studied the petrology characteristics and physical properties of the tight sandstone reservoir of the third member of Shahejie Formation in the southern West Depression, and analyzed the main influencing factors for reservoir properties. The result shows that the reservoir rock is composed of tight sandstone with low to ultra-low porosity and low to ultra-low permeability; with lithic and feldspar as its main components, the detrital grain has low compositional maturity; grain contacts are

收稿日期:2013-07-27;修回日期:2013-08-19

基金项目:山东科技大学地质科学与工程学院科研团“造山带岩石成因及成矿作用”(编号:2012D2TD02)资助。

作者简介:孙红华(1987-),女,山东科技大学在读硕士研究生,研究方向为矿产普查与勘探。地址:(266590)山东省青岛市黄岛经济技术开发区前湾港路 579 号山东科技大学地质学院。E-mail:huazi-0816@qq.com

mainly line contact and point-line contact; porosity and permeability are different in the vertical and the horizontal sections of the reservoirs, and the reservoir heterogeneity is strong; the main factors that affect the reservoir properties are source, sedimentation, diagenesis, depositional systems, tectonism and abnormal pressure. The analysis of the dominant factors of the physical properties of tight sandstone reservoir can provide basis for the prediction and evaluation of high-quality tight sandstone reservoirs and exploration and development of tight sandstone gas reservoirs.

**Key words:** tight sandstone; reservoir properties; sedimentation; diagenesis; Liaohe Depression

## 0 引言

辽河凹陷位于渤海裂谷系东北角,北接内蒙地轴,西接燕辽沉降带,东为辽河裂谷中央凸起,南临辽东湾,属中、新生代裂谷型盆地<sup>[1-2]</sup>。该凹陷是叠置在中生界盆地之上的新生代含油气拗陷,基底结构较复杂<sup>[3]</sup>。西部凹陷为辽河盆地内最大的二级构造单元,北邻大民屯凹陷,西接西部凸起,东靠中央凸起,向南延伸至辽东湾。该凹陷内的沉积地层自下而上分别为:前新生界基底、古近系房身泡组、沙河街组四段、沙河街组三段、沙河街组二段、沙河街组一段、东营组、新近系馆陶组、明化镇组和第四系平原组,其中沙河街组三段为研究区目的层。西部凹陷构造形态整体表现为东陡西缓、北高南低、南宽北窄、东断西超,为一倾向东南、呈北东向展布的狭长箕状凹陷<sup>[1]</sup>(图1)。该凹陷在短轴方向上形成3个构造带,即西部缓坡带、中央深陷带和东部陡坡带,明显控制了区内的沉积、成岩作用及油气分布。沙三段沉积时期,研究区受西斜坡多套物源供给,储层特征在横向上变化大,并且在垂向上砂层互相叠置,形成了极其复杂的空间分布,又由于埋藏深度大,因此对其深层优质储层的评价难度加大。

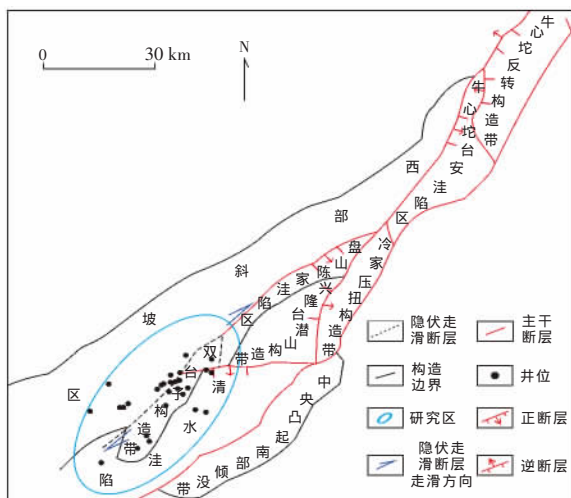


图1 辽河西部凹陷南段区域构造纲要图  
Fig. 1 The regional tectonic outline map of the southern West Depression of Liaohe Basin

目前,国内的致密砂岩气藏研究主要集中在鄂尔多斯盆地上古生界及四川盆地川西拗陷三叠系须家河组两大致密含气区<sup>[4]</sup>,而对辽河凹陷致密砂岩的研究较少,在成岩作用机理尤其是相对优质储层的形成机制和预测模式等方面的研究还较为薄弱。

笔者通过对岩心铸体薄片及普通薄片的分析鉴定,结合录、测井资料和扫描电镜分析,对辽河西部凹陷南段沙三段致密砂岩储层的岩石学特征和物性特征进行了研究,并分析了储层发育的主控因素。

## 1 储层特征

### 1.1 岩石学特征

通过对辽河西部凹陷南段储层区域内28口井(图1)205块样品的测试资料的分析表明,研究区目的层岩石类型主要为长石质岩屑砂岩,其次为岩屑质长石砂岩,少量长石砂岩及岩屑砂岩(图2)。碎屑成分以长石为主,含量为36%,石英和岩屑的含量相对较少,均为32%,这表明研究区目的层具有较低的成分成熟度。其中,岩屑主要以砂屑和鲕粒为主,含少量内碎屑灰岩。随着埋藏深度的增加,石英颗粒的相对含量略有减少,长石颗粒的相对含量变化不明显,变质岩岩屑的相对含量减少,沉积

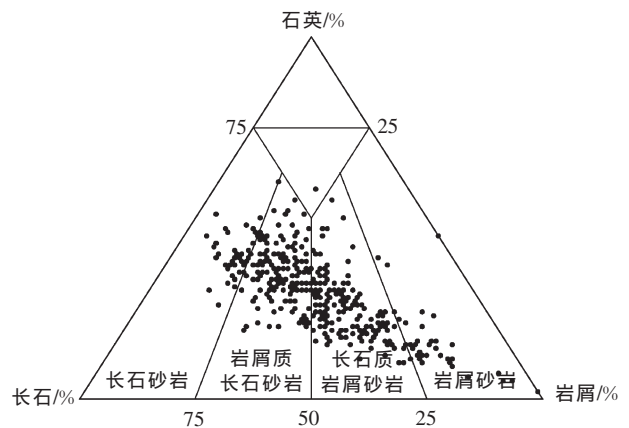


图2 辽河西部凹陷南段沙三段岩石成分三角图  
Fig. 2 Triangular diagram of rock composition of Sha 3 member in the southern West Depression of Liaohe Basin

岩岩屑的相对含量呈先增后减的趋势,酸性岩浆岩的相对含量逐渐增大,中性岩浆岩的相对含量呈先增后减的趋势。

研究区内砂岩粒度较细,主要为细—中粒,分选性差—中等,磨圆度主要为次圆—次棱角状;岩石支撑类型以颗粒支撑为主(图版 -1),但也可见个别杂基支撑结构;颗粒接触关系主要为线接触和点—线接触(图版 -2、图版 -3)。该区储层岩石中可见的胶结类型有孔隙型、接触型、次生加大型和连晶型等(图版 -4—图版 -6),其中以孔隙型最为普遍,占样品总数的 82%,其余 3 种分别占 13%、2% 和 3%。砂岩填隙物成分为泥级沉积物(杂基)和成岩自生矿物(胶结物),其中杂基成分主要为母源区风化产生的黏土类矿物,单偏光下呈现“脏”字特征(图版 -7);胶结物主要为方解石、白云石、石英、长石、自生黏土矿物和沸石等(图版 -8、图版 -9)。对于不同类型的胶结物,其含量有所差别,这直接影响到储层的成岩作用,进而影响到储层的物性特征。

## 1.2 物性特征

辽河西部凹陷南段沙三段储层总体物性属低孔—低渗和特低孔—特低渗型(表 1),大多数样品的孔隙度小于 15%,渗透率小于 10 mD。该储层在纵向上表现为深层砂体物性较差,浅层砂体物性相对较好,表明其物性主要受埋藏深度的控制;横向上砂体物性的变化主要受沉积相带的控制,孔隙度呈低梯度反复性变化,介于 8%~25%,多数介于 15%~20%,渗透率则呈高梯度变化,从小于 1 mD 到大于 10 000 mD。该储层物性的变化规律为中扇辫状沟道—中扇前缘—外扇,物性由好变差;辫状沟道中心—沟道侧缘—沟道间,物性由好变差<sup>[5]</sup>。因此,孔

隙度和渗透率在储层内部纵向及横向上的变化较大,并且二者的正相关性不明显(图 3),反映孔隙与喉道的配置关系差,储层的非均质性强。

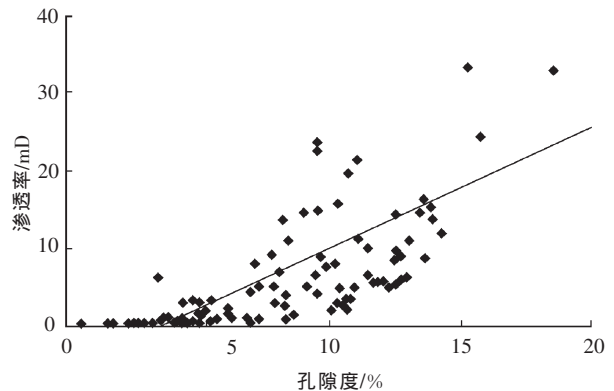


图 3 辽河西部凹陷南段沙三段孔隙度与渗透率相关关系图  
Fig. 3 Relationship between porosity and permeability of Sha 3 member in the southern West Depression of Liaohe Basin

## 2 储层物性影响因素分析

对于储层物性影响因素的分析,众多学者<sup>[6-8]</sup>已作过深入研究,认为沉积相控制储层的空间分布和原始物性,成岩作用决定储层的最终物性,但对于沉积体系、构造条件和异常压力对致密砂岩储层物性的影响研究较少。为此,笔者分别从物源、沉积作用、成岩作用、沉积体系、构造条件和异常压力 6 个方面对研究区沙三段储层物性特征的影响进行了深入研究。

### 2.1 物源对储层物性的影响

沉积物物源是影响储层物性的主要因素之一<sup>[9]</sup>。母岩类型影响岩石颗粒、胶结物的成分及含量,并且距离物源区的远近影响砂岩的成分成熟度,从而影响储层的物性特征<sup>[10-11]</sup>。

辽河西部凹陷内长石岩屑砂岩和岩屑长石砂岩等成分成熟度较差,并且保留下来的原生孔隙相对较少,但在酸性流体作用下,不稳定矿物和岩屑等易发生粒间、粒内溶蚀,形成次生孔隙,从而使储层孔隙度和渗透率均有所增大。

研究区目的层为近源型沉积,物源来自多套地层和多种岩性,直接影响沉积物的成分成熟度和结构成熟度,从而影响储层的原始物性。从研究区样品碎屑成分分析(表 2)可看出,最好的物源为中上元古界海相沉积的石英砂岩,其次为太古界变质岩,最差为中生界岩浆岩和太古界变质岩。因此,研究区物源的差异是物性差异的更深层次原因。

表 1 区辽河西部凹陷南段沙三段储层物性分布统计表  
Table 1 Distribution of porosity and permeability of Sha 3 member in the southern West Depression of Liaohe Basin

物性参数		分布频率/%		
		沙三上	沙三中	沙三下
渗透率/mD	<1	27.45	32.5	36.84
	1~10	52.45	40.0	47.37
	>10	19.61	27.5	15.79
孔隙度/%	0~5	21.57	25.0	36.84
	5~10	35.30	42.5	31.58
	10~15	41.17	25.0	31.58
	>15	1.96	7.5	0

表2 辽河西部凹陷南段沙三段储层样品碎屑中岩屑成分分析统计表  
Table 2 The debris composition of sample cuttings of reservoir of Sha 3 member in the southern West Depression of Liaohe Basin

岩屑种类	相对含量	主要成分	物源	形成条件	沉积物成分成熟度和结构成熟度
花岗岩岩屑	高	石英、斜长石、钾长石及黑云母	太古界变质岩和花岗岩	各种沉积条件	好
酸性喷出岩和浅成岩岩屑	高	石英和长石	中生界岩浆岩	各种沉积条件	中等—差
石英岩岩屑	中等	石英	中上元古界石英砂岩	各种沉积条件	最好
动力变质岩岩屑	中等—低	石英和长石	太古界变质岩	各种沉积条件	好—中等
中性喷出岩和中性浅成岩	中等—低	长石和暗色矿物	中生界岩浆岩	近物源且快速沉积	差
碳酸盐岩和硅质岩	低	白云石、方解石及硅质	中上元古界和古生界碳酸盐岩及硅质岩	近物源且快速沉积	中等
砂岩和泥岩	低	石英、长石、岩屑及泥质	古生界和中生界碎屑岩	近物源且快速沉积	差
单晶碳酸盐	低	方解石	各地层中裂缝充填物和结晶好的碳酸盐	近物源且快速沉积	中等
云母片	低	黑云母	太古界变质岩	近物源且快速沉积	差
盆内碎屑	低	方解石和白云石	中上元古界和古生界碳酸盐岩及硅质岩	滨浅湖及二次沉积	好

注:此表由辽河油田勘探开发研究院 2012 年提供。

## 2.2 沉积作用对储层物性的影响

沉积环境是影响储层储集性能的地质基础,决定了砂岩储层的碎屑组分、杂基含量、沉积构造和砂体展布等,进而影响储层的原始孔隙度与渗透率。笔者主要从沉积结构和沉积相的角度分析沉积作用对储层物性的影响。

### 2.2.1 沉积结构

沉积结构是影响储层物性的重要因素之一,而岩石颗粒的粒度、分选性、磨圆度和杂基含量均受控于沉积环境和沉积作用<sup>[12-13]</sup>。粒度是影响砂岩孔渗性,尤其是孔隙度的重要因素,粒度较粗的碎屑格架往往具有较好的储集物性。由于粗粒岩石往往形成于水动力条件比较强的环境,此时泥质充填物大多不易随之沉积,因而粗粒碎屑格架支撑的岩石具有较高的原始孔隙空间,从而具有较好的储集性能。对于粒度适中、分选性好、磨圆度较高及杂基含量低的岩石颗粒,其孔渗性较好,反之则较差。

从上述 28 口井 205 块样品分析结果(表 3)可以看出,研究区最有利的储层岩石类型是中砂岩、粗砂岩和巨砂岩,而细砂岩和分选性差的不等粒砂岩及砂砾岩则为相对不利的储层,尤其表现在渗透率上。因此,粒度和分选性也是影响研究区储层储集性能的重要因素。

表3 粒度和分选性对辽河西部凹陷南段沙三段储层物性影响统计表

Table 3 The influences of grain size and sorting on reservoir properties of Sha 3 member in the southern West Depression of Liaohe Basin

岩石类型	孔隙度/%	渗透率/mD	碳酸盐含量/%
不等粒砂岩	10.74	1.40	2.92
砂砾岩	10.34	7.96	3.36
巨砂岩	10.86	10.90	2.22
粗砂岩	13.48	11.00	2.75
中砂岩	12.78	12.00	3.41
细砂岩	11.98	1.95	3.92

### 2.2.2 沉积相

沉积相是储层发育的基础,对储层的物性及时空展布规律具有明显的控制作用<sup>[14]</sup>。在沉积相带不同时,碎屑成分、粒度及泥质含量等不同,导致物性发生变化;在同一沉积相带中,由于水动力条件的变化,沉积物成分有所不同,导致渗透率产生差异<sup>[15]</sup>。优质储层多形成于水动力条件较强的高能环境。根据地球化学、化石组合及生态习性分析,沙三段沉积期处于暖湿气候的较深水还原湖泊环境,物源来自于西部凸起和中央凸起两侧,主要发育湖底扇砂砾岩体,其沉积微相可进一步细分为辫状沟道、辫状沟道间、扇中前缘及外扇。各微相沉积时水动力能量的差异导致了岩石成分和孔隙结构的不

同<sup>[16]</sup>。优势沉积微相为湖底扇辫状沟道,其砂体发育面积广、厚度大,孔隙度和渗透率较高,是最有利的油气储集砂体;其次为扇中前缘,属于相对有利的油气储集砂体;辫状沟道间砂体和外扇砂体渗透率很低,为相对不利的油气储集砂体(表 4)。

表 4 沉积微相特征与储层物性的关系  
Table 4 Relationship between sedimentary microfacies and reservoir properties

相	微相	平均孔隙度/%	平均渗透/mD
湖底扇	辫状沟道	16.6(673)	150(451)
	辫状沟道间	10.6(48)	<1(48)
	扇中前缘	10.9(653)	10.6(354)
	外扇	7.8(145)	1.1(69)

注:括号内数据为样品数。

### 2.3 成岩作用对储层物性的影响

纵向上,储层物性与深度存在良好的相关性,并且物性随成岩作用的增强而逐渐变差。不同成岩作用对储层的改造作用不同<sup>[17]</sup>。笔者主要从成岩作用的 3 个阶段(压实、胶结和溶蚀作用)探讨成岩作用对储层物性的影响。

#### 2.3.1 压实作用

随埋深增加,储层的机械压实作用增强,碎屑颗粒之间的接触关系逐渐由点接触变为线接触(图版 -1—图版 -3),造成粒间孔隙迅速损失,从而使原生孔隙大量损失及渗透率逐渐变小(图 4)。这表明压实作用对储层物性起着破坏性作用(表 5)。

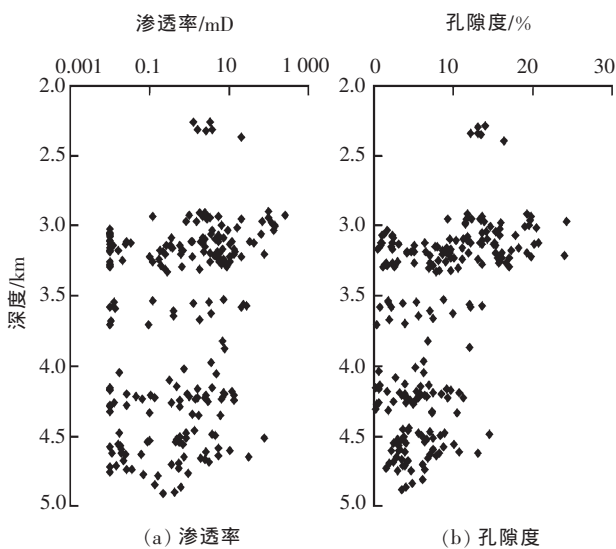


图 4 辽河西部凹陷南段沙三段储层物性和深度关系图  
Fig. 4 Relationship between depth and reservoir properties of Sha 3 member in the southern West Depression of Liaohe Basin

表 5 辽河西部凹陷南段储层物性统计  
Table 5 The statistics of reservoir properties in the southern West Depression of Liaohe Basin

地区	层位	孔隙度/%		渗透率/mD	
		范围	平均值	范围	平均值
坡洼过渡带	沙三上	2.4~22.2	12.8	0.07~222.00	12.10
	沙三中	2.1~23.8	12.2	0.03~262.00	12.40
	沙三下	2.4~24.3	11.9	0.02~203.00	7.96
双台子	沙三上	1.4~21.6	10.5	0.04~191.00	4.76
	沙三中	3.4~15.0	9.4	0.09~11.90	1.29
双南	沙三上	1.2~22.6	11.6	0.04~275.00	13.07
	沙三中	1.3~11.5	5.13	0~3.00	<1

#### 2.3.2 胶结作用

研究区的胶结物主要为黏土矿物、碳酸盐、硅质和长石质胶结物等(图版 -4—图版 -7)。其中,碳酸盐胶结物的影响相对显著,主要为含铁方解石、铁方解石、含铁白云石(图版 -6)和铁白云石,它们充填大部分孔隙空间,使原生和次生孔隙度大大降低。研究区镜下统计分析(图 5)表明,辽河西部凹陷南段碳酸盐胶结物与储集层渗透率呈负相关关系,随着碳酸盐胶结物含量的增加,储层渗透率明显减小。这表明胶结作用对储层物性起着破坏性作用。

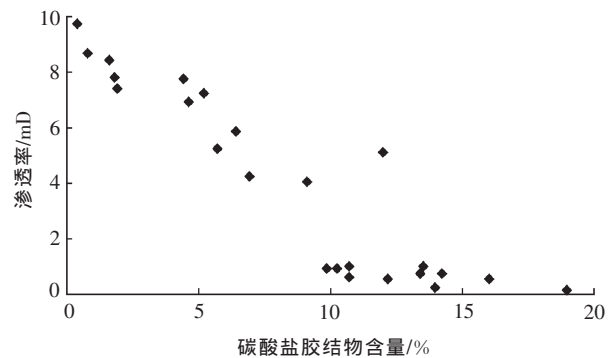


图 5 辽河西部凹陷南段沙三段储层碳酸盐胶结物含量与渗透率关系

Fig. 5 Relationship between permeability and carbonate cement contents of Sha 3 member in the southern West Depression of Liaohe Basin

#### 2.3.3 溶蚀作用

在一定的成岩环境中,碎屑岩中的颗粒、杂基、胶结物和自生矿物等都可以发生一定的溶蚀作用,这也是造成研究区碎屑岩储层次生孔隙发育的最主要原因<sup>[18-19]</sup>。

砂岩储集层的溶蚀作用形成了各种类型的次生孔隙(图版 -8、图版 -9)。溶蚀孔隙对改善砂岩储层的储集性能起到了建设性作用,所以溶蚀作

用有效地改善了储集层物性。根据孔隙度的守恒原理和 Scherer 提出的原始孔隙度计算公式<sup>[20]</sup>,即原始孔隙度=20.91+(22.9/Trask 分选系数),可计算出研究区目的层的原始孔隙度,在此基础上再对岩石铸体薄片镜下统计数据计算<sup>[21]</sup>,得到由压实与胶结作用损失的孔隙度以及由溶蚀作用增加的孔隙度(表6)。

从表6可以看出,在埋深2 908.06~3 942.30 m的储层,平均原始孔隙度为33.36%,经过压实和胶结作用后,孔隙度分别损失28.91%和4.18%,仅残余0.28%,通过溶蚀作用可以增加10.78%的孔隙度(大致为残余孔隙度的50倍)。由此可见,溶蚀作用可以有效地增加储层孔隙度,对改善储层物性起到建设性作用。

表6 双213井成岩作用对储层物性影响统计表  
Table 6 The influence of diagenesis on reservoir properties in Shuang 213 well

井深/m	原始孔隙度/%	压实作用		胶结作用		溶蚀作用		总损失孔隙度/%	现今孔隙度/%
		孔隙度/%	损失量/%	孔隙度/%	损失量/%	孔隙度/%	增加量/%		
2 908.06	35.22	6.59	28.63	0.29	6.30	11.61	11.32	23.32	11.90
2 908.26	34.62	6.80	27.82	0.10	6.70	6.30	6.20	28.22	6.40
2 942.41	33.29	1.48	31.81	0.38	1.10	10.32	9.94	22.59	10.70
2 943.56	35.68	1.50	34.18	0.30	1.20	10.00	9.70	25.38	10.30
2 986.09	31.97	1.41	30.56	0.11	1.30	12.49	12.38	19.37	12.60
2 987.59	34.07	1.74	32.33	0.14	1.60	16.46	16.32	17.47	16.60
3 608.58	33.29	7.58	25.71	0.08	7.50	10.52	10.44	19.69	10.60
3 627.97	33.03	3.20	29.83	0.90	2.30	10.30	9.40	21.83	11.20
3 628.87	32.25	4.61	27.64	0.01	4.60	9.09	9.08	23.15	9.10
3 629.37	31.32	6.07	25.25	0.57	5.50	12.23	11.66	18.52	12.80
3 631.17	34.22	4.22	30.00	0.32	3.90	13.88	13.56	20.02	14.20
3 631.57	32.84	8.47	24.37	0.37	8.10	12.33	11.96	20.14	12.70
3 631.97	33.49	4.08	29.41	0.28	3.80	13.22	12.94	19.99	13.50
3 942.30	31.81	4.60	27.21	0	4.60	6.10	6.10	25.71	6.10
平均	33.36	4.45	28.91	0.28	4.18	11.06	10.78	21.81	11.34

## 2.4 沉积体系对储层物性的影响

按裂谷发育阶段,古近纪盆地演化可分为初陷、深陷、持续裂陷—衰减期3个时期。沙三段沉积位于盆地深陷阶段,总体上处于深湖—半深湖的沉积环境,大套的暗色泥岩、丰富的有机质和自生还原矿物的存在是深水环境的标志。沙三段沉积时期,河流水系流域扩大,水量充沛,河流坡降增大,侵蚀能力增强,碎屑物质丰富,沉积物主要以扇三角洲的形式堆积在岸边,并进一步在深水中形成大量的浊流沉积。此时期整个凹陷有3个较大的沉降中心,从北向南分别为台安、盘山和清水洼陷。沙三段沉积期间应有北部、西部和东部多处物源注入湖盆,但经过沙三段末期的严重剥蚀,仅在北部地区尚存三角洲前缘部分,而西部和东部地区的三角洲主体部分几乎被削蚀殆尽,故沙三段沉积时期的沉积体系保存极不完整。辽河西部凹陷南段沙三段是深水湖盆沉积体系发育的凹陷,它为一个不对称的箕状凹陷,东侧以台安—大洼断裂为湖盆边界,属于陡坡;西侧则是从岸上逐级下陷到湖盆深处的斜坡,属于

缓坡。不对称的湖底地形,形成了2种不同特点的沉积体系,即缓坡型沉积体系和陡坡型沉积体系。辽河西部凹陷西岸的缓坡型沉积体系从北到南为高升扇三角洲体系,雷家扇三角洲—湖底扇体系及曙光、齐家、欢喜岭、西八千扇三角洲—湖底扇体系等;东岸的陡坡型莲花砂体的物源为中央凸起上的花岗岩,砾石中花岗岩成分高达93.2%,砂粒中花岗岩成分占62%,洪水从断崖之上直泻入湖,成为岸边特殊形式的扇三角洲,并且其前缘直接伸展到深湖之中,形成浊流(碎屑流),使冲积扇与深湖浊积岩连成不可分割的整体,构成扇三角洲—浊流体系的典型模式。

总之,沉积体系通过控制沉积相来控制致密砂岩储层的物性。

## 2.5 构造条件对储层物性的影响

构造应力作用对致密砂岩储层物性的影响,一方面加剧了其储层的压实程度,使其物性变差;另一方面容易使脆性岩石破裂,形成裂缝。研究区目的层多见构造成因的裂缝(图版 -10、图版 -

11),虽然孔隙类型主要为粒间孔和溶蚀孔,但是裂缝作为油气运移的通道,改善了致密砂岩储层的物性,一定程度上增强了油气的储集和疏导能力<sup>[22]</sup>。

## 2.6 异常压力对储层物性的影响

成岩作用压力场及其对成岩作用的影响是近年来油气储层成岩作用研究的重要内容,异常压力与优质储层在空间上有密切的联系<sup>[23]</sup>。相关研究<sup>[24-27]</sup>表明,异常压力的发育抑制了有机质演化、有机酸生成、黏土矿物转化和胶结作用的进行,从而使储层的孔隙度随之发生改变(图6),并影响储层的物性特征。超压的释放有利于泥岩中已经生成的有机酸向邻近储层运移,延缓了储层的溶解作用,从而加大了次生孔隙发育的深度<sup>[28]</sup>。异常压力发育的封闭性环境不同于常压环境,一旦异常压力封闭层破裂,必定导致异常压力体系内外物理化学条件的变化,同时也打破原有水岩作用的化学平衡,导致原矿物的溶解或新矿物的沉淀,进而影响次生孔隙的发育<sup>[29-30]</sup>,因此异常压力是控制沙三段致密砂岩优质储层的关键因素。

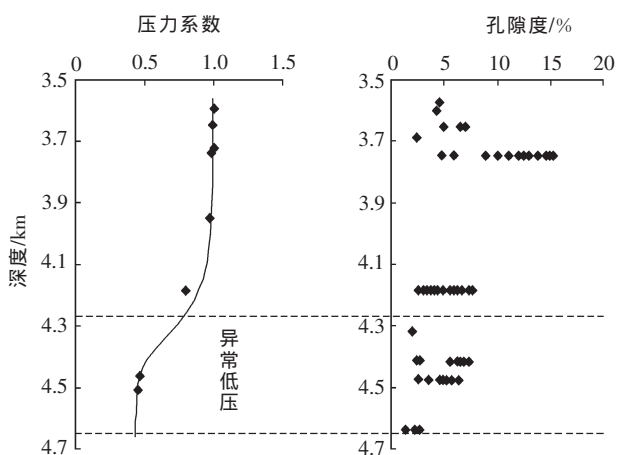


图6 双202井沙三段异常低压对孔隙度的影响

Fig. 6 The influence of subnormal pressure on porosity of Sha 3 member in Shuang 202 well

## 3 讨论

研究区沙三段储层岩石溶蚀作用比较强烈(图版-8、图版-9),使得沙三段储层的孔隙度有所提高,但这并未使沙三段储层的渗透率提高,原因可能是砂体与外界的连通性差,溶蚀产物只有部分排出砂体或者根本没有排出,造成了黏土矿物的原地沉淀,以致堵塞孔隙及喉道。同时,随着埋深的加大,有机酸发生脱羧作用产生 $\text{CO}_2$ ,导致含铁的碳酸盐产生沉淀,进一步堵塞了孔隙和喉道,最终造成了沙三段储层普遍为低孔-低渗和特低孔-特低渗

的物性特征。

## 4 结论

(1) 辽河西部凹陷南段沙三段为低孔-低渗和特低孔-特低渗型储集层,其岩石类型主要为长石质岩屑砂岩,其次为岩屑质长石砂岩,少量长石砂岩及岩屑砂岩,具有较低的成分成熟度;碎屑分选性差-中等,磨圆度主要为次圆-一次棱角状;颗粒接触关系主要为线接触和点-线接触;岩石胶结类型有孔隙型、接触型、次生加大型和连晶型等,其中以孔隙型最为普遍。

(2) 研究区沙三段的孔隙度和渗透率在储层内部纵向及横向上的变化较大,并且二者的正相关性不明显,反映孔隙与喉道的配置关系差,说明该储层的非均质性强。

(3) 研究区沙三段总体物性受物源、沉积作用、成岩作用、沉积体系、构造条件、异常压力6个方面的影响,其中物源和沉积作用控制储层的空间分布和原始物性;成岩作用决定储层的最终物性;沉积体系通过控制沉积相来控制储层物性;构造作用形成的裂缝可促进油气运移,从而改善储层物性,增强了油气的储集和疏导能力;异常压力是通过溶解或沉淀新的成岩矿物对致密砂岩优质储层发育起着关键作用。

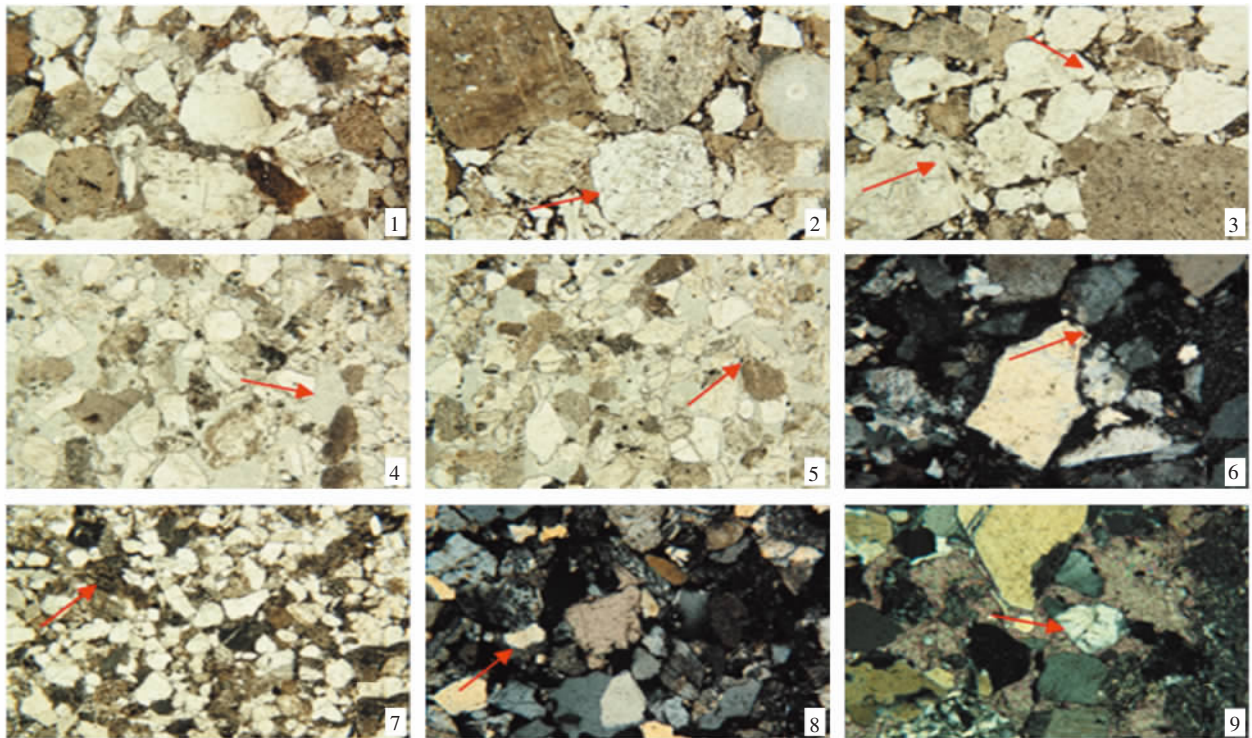
(4) 通过对研究区沙三段储层物性特征的主控因素的分析,可为致密砂岩优质储层的预测与评价及致密砂岩气藏的勘探开发提供依据。

### 参考文献:

- [1] 孙洪斌,张凤莲.辽河断陷西部凹陷古近系砂岩储层[J].古地理学报,2002,4(3):83-91.
- [2] 周宗明,于炳松,张聪,等.辽河滩海地区西部凹陷古近系岩性和地层圈闭形成条件与发育模式[J].油气地质与采收率,2011,18(1):11-14.
- [3] 孙洪斌,张凤莲.断陷盆地优质储层的成因——以辽河坳陷古近系沙河街组储层为例[J].岩性油气藏,2009,21(1):51-54.
- [4] 郭秋麟,陈宁生,宋焕琪,等.致密油聚集模型与数值模拟探讨——以鄂尔多斯盆地延长组致密油为例[J].岩性油气藏,2013,25(1):4-10.
- [5] 鞠俊成,张凤莲,喻国凡,等.辽河盆地西部凹陷南部沙三段储层沉积特征及含油气性分析[J].古地理学报,2001,3(1):63-68.
- [6] 高淑梅,陈娟,胡剑,等.鄂尔多斯盆地马岭油田延长组长8储层特征及影响因素分析[J].特种油气藏,2013,20(2):34-37.
- [7] 毛俊莉,张凤莲,鞠俊成,等.辽河盆地西部凹陷鸳鸯双地区沙二段储层评价及有利储层预测[J].古地理学报,2001,3(3):76-82.
- [8] 王伟,袁淑琴,李勇,等.板桥凹陷沙三段成岩作用及其对储层的影响[J].岩性油气藏,2012,24(6):82-87.

- [9] 蔡来星,操应长,周磊,等.梨树断陷营城组二段物源体系特征及其对储层物性的影响[J].大庆石油学院学报,2012,36(3):34-40.
- [10] 贺静,冯胜斌,黄静,等.物源对鄂尔多斯盆地中部延长组长6砂岩孔隙发育的控制作用[J].沉积学报,2011,29(1):80-87.
- [11] 王洪建,吴小斌,孙卫,等.陇东地区延长组长3、长4+5储层物源及其对储层物性的影响[J].地球科学与环境学报,2008,30(1):38-43.
- [12] 连承波,钟建华,杨玉芳,等.松辽盆地龙西地区泉四段砂岩岩石学特征及其对储层物性的影响[J].沉积与特提斯地质,2010,30(1):61-66.
- [13] 史基安,王琪.影响碎屑岩天然气储层物性的主要控制因素[J].沉积学报,1995,12(2):128-139.
- [14] 赵虹,党永潮,等.安塞油田延长组储集层特征及物性影响因素分析[J].地球科学与环境学报,2005,27(4):45-48.
- [15] 何幼斌,王文广.沉积岩与沉积相[M].北京:石油工业出版社,2007.
- [16] 胡望水,曹春,何海泉,等.新立地区嫩三段储层非均质性及其影响因素分析[J].岩性油气藏,2012,24(6):20-26.
- [17] 王卓卓,梁江平,李国会,等.成岩作用对储层物性的影响及与沉积环境的关系——以鄂尔多斯盆地劳山地区为例[J].天然气地球科学,2008,19(2):171-176.
- [18] 李红,柳益群,刘林玉.鄂尔多斯盆地西峰油田延长组长81低渗透储层成岩作用[J].石油与天然气地质,2006,27(2):209-217.
- [19] 刘秀婵,刘林玉,陈西洋.横山双城油区长6油层组主要成岩作用及其对储层物性的影响[J].岩性油气藏,2011,23(2):70-74.
- [20] Scherer M. Parameters influencing porosity in sandstones: A model for sandstone porosity prediction[J]. AAPG Bulletin, 1987, 71(5): 485-491.
- [21] 袁静,袁凌荣,杨学君,等.济阳拗陷古近系深部储层成岩演化模式[J].沉积学报,2012,30(2):231-239.
- [22] 高辉,孙卫,宋广寿,等.鄂尔多斯盆地合水地区长8储层特低渗透成因分析与评价[J].地质科技情报,2008,27(5):71-76.
- [23] 邹才能,陶士振,朱如凯,等.“连续型”气藏及其大气区形成机制与分布——以四川盆地上三叠统须家河组煤系大气区为例[J].石油勘探与开发,2009,36(3):307-319.
- [24] 解习农,成建梅,孟元林.沉积盆地流体活动及其成岩响应[J].沉积学报,2009,27(5):863-871.
- [25] 孟元林,肖丽华,杨俊生.渤海湾盆地老爷庙地区深层成岩作用的化学动力学分析[J].地球科学,2002,27(增刊1):275-279.
- [26] 肖丽华,孟元林,牛嘉玉,等.歧口凹陷沙河街组成岩史分析和成岩阶段预测[J].地质科学,2005,40(3):346-362.
- [27] Barth T, Bjørlykke K. Organic acids from source rock maturation: generation potentials, transport mechanisms and relevance for mineral diagenesis[J]. Applied Geochemistry, 1993, 8: 325-337.
- [28] 王伟东,彭军,段冠一,等.致密砂岩气藏储层研究的进展及趋势[J].油气地球物理,2012,10(4):33-38.
- [29] 孟元林,黄文彪,王粤川,等.超压背景下粘土矿物转化的化学动力学模型及应用[J].沉积学报,2006,24(14):461-467.
- [30] 慕小水,何锋,顾勤,等.东濮凹陷深层异常高压对储集层演化的影响[J].新疆石油地质,2009,30(6):667-669.

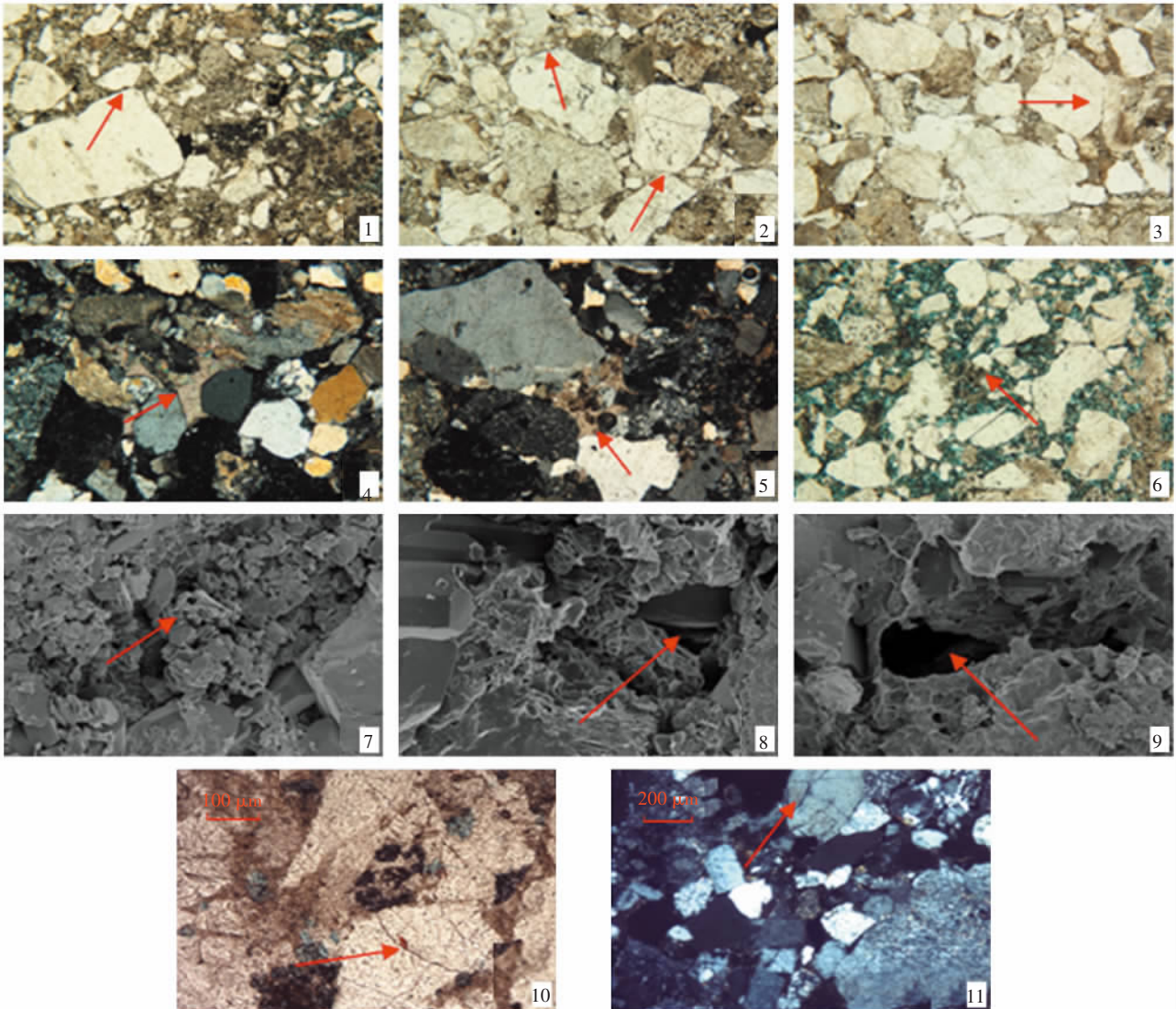
图版



图版 说明:1.颗粒支撑,双160井,3 198.7 m,2.5×10(-);2.颗粒为线接触,双31井,2 844.6 m,2.5×10(-);3.颗粒为点—线接触,双213井,2 985.74 m,2.5×10(-);4.孔隙型胶结,双216井,2 686.85 m,2.5×10(-);5.接触式胶结,双31井,2853.6 m,2.5×10(-);6.石英次生加大,双深3井,2 857.44 m,10×10(+);7.杂基呈现“脏”字特征,双12井,2 562.4 m,2.5×10(-);8.方解石胶结,双31井,2 868.7 m,5×10(+);9.白云石连晶胶结,双213井,3 631.81 m,5×10(+)



图版



图版 说明:1.颗粒为点接触,分选差,双160井,3 129.5 m,2.5×10(-);2.颗粒为点一线接触,双160井,3 202 m,2.5×10(-);3.颗粒为线接触,双31井,2 835.16 m,2.5×10(-);4.局部方解石连晶胶结,双31井,2 885.97 m,5×10(+);5.碳酸盐胶结,双213井,3 632.51 m,5×10(+);6.铁白云石胶结,双160井,3 129.5 m,5×10(+);7.孔隙被高岭石、自生石英填充,双深3井,2 861.8 m,扫描电镜,×2 500;8.溶蚀孔隙,双深3井,2 861.8 m,扫描电镜,×1500;9.溶蚀孔隙,长石被溶蚀,齐123井,3 191.82 m,扫描电镜,×1 500;10.压裂裂缝,双84井,3 090.02 m,(-);11.压裂裂缝,齐131井,3 106.5 m,(+)

(本文编辑:涂晓燕)

(上接第39页)

and resultant Production[R]. SPE 138427, 2010.

[19] Market J, Quirein J, Pitcher J, et al. Logging-While-Drilling in Unconventional Shales[R]. SPE 133685, 2010.

[20] Cartwright J. The impact of 3D seismic data on the understanding

of compaction, fluid flow and diagenesis in sedimentary basins[J]. Journal of the Geological Society, 2007, 164(5): 881-893.

(本文编辑:王会玲)