

文章编号:1673-5005(2009)06-0027-05

黄骅坳陷北大港构造带沙河街组碎屑岩 储层特征及其控制因素

苏妮娜, 金振奎, 宋 璠

(中国石油大学 资源与信息学院, 北京 102249)

摘要:在沉积相研究的基础上,综合利用岩石铸体薄片、扫描电镜、X-衍射和镜质体反射率等实验室分析技术,对黄骅坳陷北大港构造带沙河街组开展碎屑岩储层的岩石学特征和成岩作用研究,总结次生孔隙的发育分布规律,最终探讨研究区储层储集性能的控制因素。结果表明:研究区储层孔隙类型主要为次生孔隙,纵向上主要发育 3 个次生孔隙带,有机酸、CO₂ 和黏土矿物转化是研究区次生孔隙形成的主要原因;沉积相类型、成岩作用、黏土矿物转化以及烃类的早期充注对研究区碎屑岩储集性能具有重要的控制作用。

关键词:黄骅坳陷; 北大港构造带; 沙河街组; 碎屑岩储层; 次生孔隙

中图分类号:TE 122. 23

文献标识码:A

Clastic reservoir characteristics of Shahejie formation in Beidagang structural belt of Huanghua depression and its controlling factors

SU Ni-na, JIN Zhen-kui, SONG Fan

(School of Resource and Information Technology in China University of Petroleum, Beijing 102249, China)

Abstract: Based on the study of sedimentary facies, the lithologic features and diagenesis of the clastic reservoir of Shahejie formation in Beidagang structural belt of Huanghua depression were investigated by means of laboratory analysis techniques such as casting thin sections, scanning electron microscope, X-ray diffraction and vitrinite reflectance. The distribution of secondary pores was summarized and eventually the controlling factors of reservoir property were discussed. The results show that the pore type of study area is mainly secondary pores and three secondary pore zones develop in longitudinal direction. Organic acid, carbon dioxide and clay mineral transformation are the main causes for the formation of secondary pores. The types of sedimentary facies, diagenesis, clay minerals transformation and early hydrocarbon invasion have important controlling effect on reservoir performance of the study area.

Key words: Huanghua depression; Beidagang structural belt; Shahejie formation; clastic reservoir; secondary pore

1 研究区地质概况

黄骅坳陷是我国东部渤海湾盆地中的一个次一级坳陷,北邻燕山褶皱山系,西以沧县隆起与冀中坳陷相隔,东南以埕宁隆起与济阳坳陷相隔,是一个新生代发育的断陷盆地。北大港构造带位于黄骅坳陷中区,处于板桥凹陷和歧口凹陷之间,北以大张坨断层为界,南以港东、港西断层为界,东以白唐断层为界,西至刘岗庄一大中旺一带,构造带总体呈北东向

展布,面积为 610 km²。构造带内包括六间房、港西、马西深层、马东深层、港东、港中以及唐家河等 7 个开发区(图 1)。古近系沙河街组是该区主要含油层系之一^[1]。笔者通过对黄骅坳陷北大港构造带沙河街组碎屑岩储层的岩石学特征、成岩作用和成岩演化特征以及次生孔隙的纵向分布特征进行综合分析,进一步明确研究区储层储集性能的主要控制因素,对预测该区优质储层空间分布提供一定依据。

收稿日期:2009-08-30

基金项目:国家“973”重点基础研究计划项目(2006CB202300)

作者简介:苏妮娜(1981-),女(汉族),陕西宝鸡人,博士研究生,主要从事储层地质学方向研究。

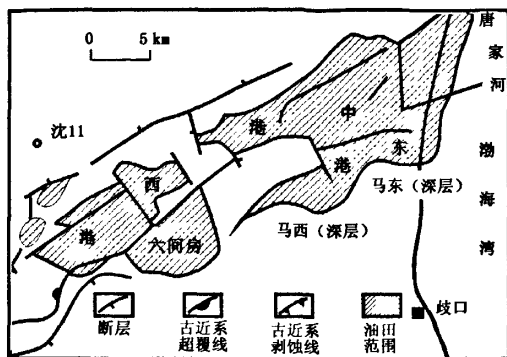


图1 北大港油田开发分布图

Fig.1 Development distribution map of Beidagang Oilfield

2 储层的岩石学特征

北大港构造带沙河街组碎屑岩储集层一般厚约3.0 km,为一套暗色湖相砂泥岩沉积。薄片鉴定资料统计表明,研究区碎屑岩储层岩石类型主要为长石砂岩和岩屑质长石砂岩,也可见到少量长石质岩屑砂岩(图2)。陆源碎屑成分中,石英、长石和岩屑的平均含量分别为31.62%,42.73%和25.65%,反映了岩石成分成熟度较低的特点。岩屑以岩浆岩岩屑为主,见少量沉积岩岩屑和变质岩岩屑(图3)。填隙物组分平均占15.04%,其中泥质杂基占4.86%,胶结物占10.18%。通过粒度资料分析以及岩石薄片、铸体薄片的镜下观察,可知研究区砂岩以细砂岩和粉砂岩为主,碎屑颗粒分选中等,磨圆度以次棱角-次圆为主。

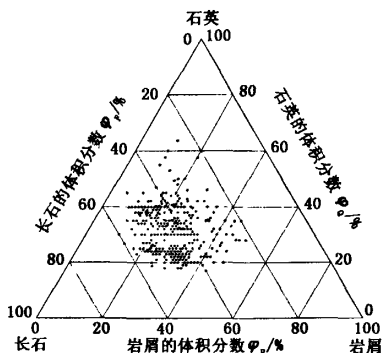


图2 沙河街组岩石组分三角图

Fig.2 Triangular diagram of mineral component of Shahejie formation

研究区沙河街组沉积类型较多:沙三段主要发育深水浊积扇,部分地区发育扇三角洲沉积;其上的

沙二段为湖盆扩张期,主要发育滨岸滩坝沉积;沙一段则以重力流水道沉积为主,部分地区发育近岸水下扇沉积。由于沉积类型以及沉积物的差异,导致储集层的岩石类型存在差异,其中深水浊积扇体系主要发育长石砂岩、长石质岩屑砂岩以及岩屑质长石砂岩,滨岸滩坝沉积的岩石类型以长石砂岩为主,重力流水道沉积的岩石类型主要为长石砂岩和岩屑质长石砂岩。

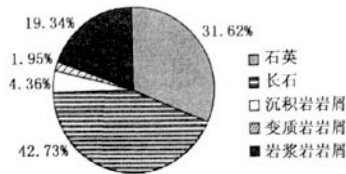


图3 沙河街组砂岩碎屑成分分布

Fig.3 Distribution of sandstones clastic components of Shahejie formation

3 储层的成岩作用和成岩演化

通过对铸体薄片、扫描电镜和X-衍射等多种实验室分析化验资料综合分析,认为北大港构造带沙河街组碎屑岩储集层主要经历了机械压实作用、胶结作用、交代作用、黏土矿物转化和溶解作用等成岩作用。

研究区储层的机械压实作用表现为:随着埋藏深度的增加,机械压实作用强度增大,碎屑颗粒接触关系逐渐紧密,出现由点到线等接触形式(图4(a)),岩石密度明显增加,孔隙度、渗透率逐渐降低;机械压实作用可使石英、长石等刚性矿物产生少量裂缝。

研究区储层的胶结作用和交代作用比较普遍,胶结物种类多,以亮晶方解石和硅质为主,铸体薄片下可见碳酸盐连片嵌晶式胶结(图4(b)),扫描电镜下清楚可见石英次生加大现象(图4(e))。交代作用主要是碳酸盐矿物和黏土矿物对碎屑颗粒的交代,可部分或完全交代碎屑颗粒(图4(c),图4(f))。溶解作用在研究区深部储层较为发育,铸体薄片下多见长石颗粒沿边部或双晶缝被强烈溶蚀(图4(d))。

通过对研究区黏土矿物、伊/蒙混层黏土矿物的转化、区域地温特征、镜质体反射率、有机质演化、孔隙度演化以及沙河街组的埋藏演化史等因素综合分析,认为北大港构造带沙河街组碎屑岩成岩演化经历了中成岩A₁期、中成岩A₂期和中成岩B期,且主要处于中成岩A期,部分达到中成岩B期^[2]。

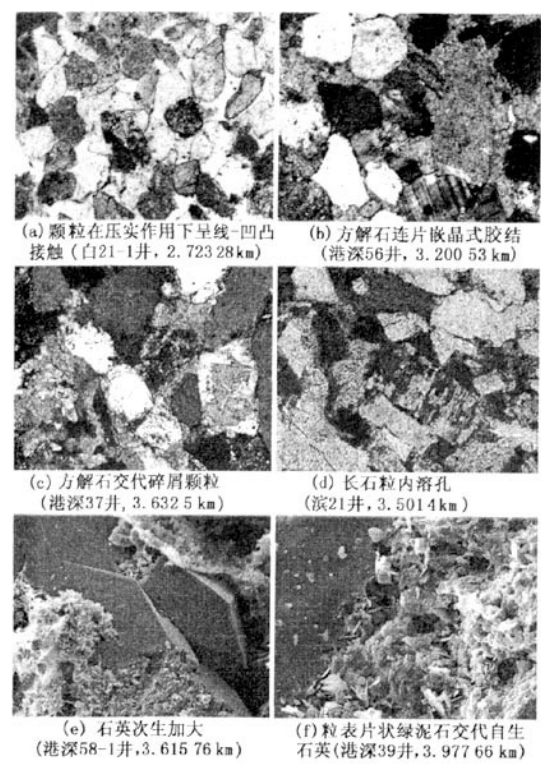


图4 沙河街组砂岩成岩作用铸体薄片、扫描电镜照片

Fig. 4 Casting thin sections photos and scanning electron microscope photos of sandstone diagenesis of Shahejie formation

4 次生孔隙的分布

根据铸体薄片等资料分析,北大港构造带沙河街组碎屑岩储集层孔隙类型主要为次生孔隙,粒间溶孔、组分内孔(包括颗粒内孔、基质内孔和胶结物内孔)、铸模孔均常见,并且可见少量裂缝。

物性资料统计表明,北大港构造带沙河街组碎屑岩储集层存在 3 个次生孔隙发育带(图 5)。深度 3.0~3.5 km 为第一次生孔隙发育带,最大孔隙度可达 26.05%,平均值为 14.74%;深度 3.6~4.3 km 为第

二次生孔隙发育带,最大孔隙度可达 30.36%,平均值为 14.53%;深度 4.5~4.8 km 为第三次生孔隙发育带,最大孔隙度可达 10.7%,平均值为 7.05%。

当埋深小于 2.8 km 时,研究区储层处于早成岩阶段,碎屑组分基本未受溶解,孔隙类型以原生粒间孔隙为主;随着埋深增加,碎屑岩深部储层处于生油窗内^[3-4],同时由于研究区储层中易溶矿物组分含量较大,为溶解产生次生孔隙提供了物质基础,导致深层孔隙类型主要为次生孔隙,形成多个次生孔隙发育带,极大地改善了研究区深层储层的储集性能。

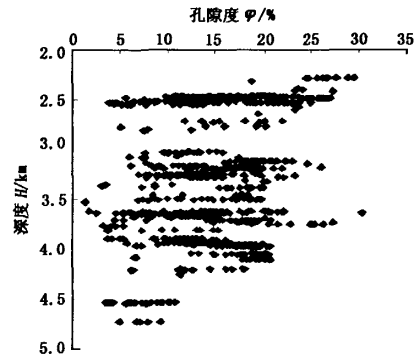


图5 沙河街组孔隙度纵向分布
Fig.5 Longitudinal distribution of porosity of Shahejie formation

5 储集性能控制因素

5.1 沉积相类型

不同沉积类型的砂体具有不同的物性特征,即使是同一沉积类型的砂体,其储层物性也与沉积时水动力条件关系密切,沉积能量越大,储层物性越好,所以不同类型沉积微相的砂体具有不同的物性特征^[5-6]。对研究区不同沉积类型砂体的储集物性参数统计(表 1)表明:滨岸砂坝主体(港深 46 井)的砂体物性明显优于滨岸砂坝侧缘(港深 50 井)的砂体物性;深水重力流主水道(港深 21 井、港深 72 井)的砂体物性明显好于深水重力流分支水道砂体(港深 47 井)物性。

表 1 沙河街组不同沉积微相砂体的物性特征

Table 1 Physical properties of sandbodies in different sedimentary microfacies of Shahejie formation

沉积微相类型	层位	深度 H/km	孔隙度 φ/%			渗透率 k/10 ⁻³ μm ²			代表井
			最大	最小	平均	最大	最小	平均	
滨岸砂坝主体	滨Ⅳ	3.899~3.901	16.0	10.20	13.67	39.00	0.80	17.15	港深 46
滨岸砂坝侧缘	滨Ⅱ	3.638~3.653	10.7	9.10	9.90	7.00	0.70	1.86	港深 50
重力流主水道	板Ⅱ	3.852~3.898	17.4	1.50	11.90	16.00	0.80	4.76	港深 21
重力流主水道	板Ⅲ	4.044~4.055	20.5	12.42	17.42	14.90	0.12	4.64	港深 72
重力流分支水道	板Ⅲ	4.136~4.160	17.4	4.78	10.20	0.44	0.02	0.09	港深 47

5.2 成岩作用

机械压实作用大大减少了研究区储层的原生孔隙,从而导致储层物性变差;碳酸盐胶结物充填岩石孔隙,使储层孔隙度、渗透率逐渐降低,储集性能变差;不稳定的碎屑组分和胶结物组分的溶解作用控制了次生孔隙的形成与分布,极大地改善了储层的储集物性^[7-10]。

值得一提的是,研究区硅质增生丰度与储层物性成正比。统计表明,研究区硅质胶结物的主要发育层段在3.2~4.3 km,此深度段正好与研究区第二次生孔隙发育带相对应。从理论上讲,硅质胶结物增多会降低储层的储集物性,而实际上正是由于研究区可溶组分溶解,致使孔隙水中的SiO₂浓度增加形成硅质增生,增生硅质的丰度正好反映了溶解作用的发育程度,形成了溶解作用与胶结作用的共生组合^[11]。因此,尽管硅质增生会使原生孔隙减少,但由于次生孔隙更为发育,因而表现为增生硅质的丰度越大,储集性能反而越好的现象^[12]。

5.3 黏土矿物转化

随着埋深的增加,成岩作用增强,泥岩中的蒙脱石逐渐向混层矿物转化,伊蒙混层中的蒙皂石相对含量明显分带,黏土矿物同时也经历了第一、第二迅速转化期。图6为北大港构造带沙河街组黏土矿物分布。由图可知:埋深小于2.8 km时,黏土矿物处

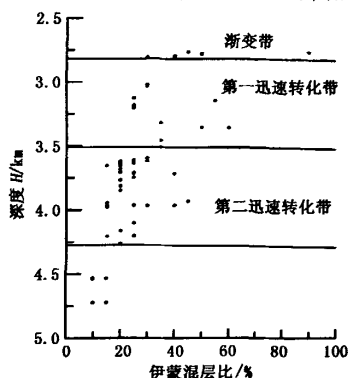


图6 沙河街组黏土矿物分布

Fig. 6 Clay mineral distribution of Shahejie formation

于渐变带;埋深为2.8~3.5 km时,黏土矿物处于第一迅速转化带,伊蒙混层比为35%~60%;埋深为3.5~4.3 km时,黏土矿物处于第二迅速转化带,其伊蒙混层比为20%左右。黏土矿物的第一、第二迅速转化带的深度段正好与第一、第二次生孔隙发育带相对应,这说明黏土矿物转化过程中生成的H⁺会使溶液呈酸性,导致溶蚀作用增强,从而促进了次

生孔隙的发育。

5.4 烃类充注

前人的大量研究表明,早期的油气充注可以明显地抑制碳酸盐胶结作用、自生黏土矿物的形成以及钾长石的钠长石化作用^[13-14]。由资料分析可知,油层中的晚期方解石胶结作用一般不发育,然而在没有油气聚集的中深部储层中,方解石胶结作用较发育,甚至形成致密层,这主要是由于烃类的充注抑制了碳酸盐胶结作用。

6 结 论

(1)沙河街组碎屑岩储层岩石类型主要为长石砂岩和岩屑质长石砂岩,总体上岩石成分成熟度较低,结构成熟度中等。

(2)沙河街组碎屑岩储集层主要经历了机械压实作用、胶结作用、交代作用和溶解作用等成岩作用,其成岩演化阶段主要处于中成岩A期,部分达到中成岩B期。

(3)储层孔隙类型以次生孔隙为主,强烈的溶解作用导致研究区储层纵向上存在3个次生孔隙发育带,其深度段分别为3.0~3.5 km,3.6~4.3 km,4.5~4.8 km。有机酸、CO₂和黏土矿物转化是研究区次生孔隙形成的主要原因。

(4)沉积作用是控制储层物性的内在因素,胶结作用、溶解作用以及黏土矿物转化等是控制储层物性的主导因素,烃类的早期生成和充注也有利于形成有效储层。

参考文献:

- [1] 大港油田石油地质志编辑委员会. 中国石油地质志(卷四):大港油田[M]. 北京:石油工业出版社,1991.
- [2] 苏妮娜,金振奎,宋璠. 黄骅坳陷北大港油田古近系碎屑岩储层成岩作用及其对储层质量的影响[J]. 科技导报,2009,27(9):57-64.
SU Ni-na, JIN Zhen-kui, SONG Fan. Diagenesis of the Paleogene clastic reservoir and their relation with reservoir quality of Beidagang Oilfield in Huanghua depression[J]. Science & Technology Review, 2009,27(9):57-64.
- [3] 田克勤,于志海,冯明,等. 渤海湾盆地第三系深层油气地质与勘探[M]. 北京:石油工业出版社,2000.
- [4] 譙汉生,方朝亮,牛嘉玉,等. 中国东部深层石油地质[M]. 北京:石油工业出版社,2002.
- [5] 王艳忠,操应长,陈世悦,等. 济阳坳陷中生界碎屑岩储层特征及其控制作用[J]. 中国石油大学学报:自然

- 科学版,2007,31(5):7-11.
- WANG Yan-zhong, CAO Ying-chang, CHEN Shi-yue, et al. Clastic reservoirs characteristics and its control of Mesozoic in Jiyang depression[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2007, 31(5):7-11.
- [6] 邱隆伟,黄双泉. 民丰洼陷沙三段孔隙发育特征及储层物性主控因素[J]. 中国石油大学学报:自然科学版,2009,33(4):10-15.
- QIU Long-wei, HUANG Shuang-quan. Characteristics of pore development and controlling factors of reservoir property of Es₃ in Minfeng sag[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2009, 33(4):10-15.
- [7] 袁静,王乾泽. 东营凹陷下第三系深部碎屑岩储层次生孔隙垂向分布及成因分析[J]. 矿物岩石,2001,21(1):43-47.
- YUAN Jing, WANG Qian-ze. Distribution and generation of deep reservoir secondary pores, Paleogene, Dongying sag[J]. Mineral Petrol, 2001, 21(1):43-47.
- [8] 吴少波,赵惊蜚,李健. 吴起油田长6油层组储层成岩作用及其对物性的影响[J]. 西安石油大学学报:自然科学版,2006,21(4):42-45.
- WU Shao-bo, ZHAO Jing-zhe, LI Jian. Diageneses of Chang-6 sandstone reservoir in Wuqi Oilfield, Erdos Basin and their effects on reservoir property[J]. Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition), 2006, 21(4):42-45.
- [9] SURDAM R C. Organic-inorganic interactions and sandstone diagenesis[J]. AAPG, 1989, 73(1):1-23.
- [10] 司学强,张金亮,杨子成. 博兴洼陷沙四上亚段滩坝砂岩成岩作用及其与储层质量的关系[J]. 中国石油大学学报:自然科学版,2008,32(2):6-11.
- SI Xue-qiang, ZHANG Jin-liang, YANG Zi-cheng. Relation between beach bar sandstones diagenesis and reservoir quality in the upper Es₄ of the Palaeogene in Boxing sag[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2008, 32(2):6-11.
- [11] 郑浚茂,吴仁龙. 黄骅坳陷砂岩储层的成岩作用与孔隙分带性[J]. 石油与天然气地质,1996,17(4):268-275.
- ZHENG Jun-mao, WU Ren-long. Diagenesis and pore zonation of sandstone reservoirs in Huanghua depression[J]. Oil and Gas Geology, 1996, 17(4):268-275.
- [12] 陈纯芳,赵澄林,李会军. 板桥和歧北凹陷沙河街组深层碎屑岩储层物性特征及其影响因素[J]. 石油大学学报:自然科学版,2002,26(1):4-7.
- CHEN Chun-fang, ZHAO Cheng-lin, LI Hui-jun. Physical properties of reservoir and influencing factors of deep burial clastic rocks in Banqiao-Qibei sag[J]. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 2002, 26(1):4-7.
- [13] 王琪,史基安,肖立新,等. 石油侵位对碎屑储集岩成岩序列的影响及其与孔隙演化的关系[J]. 沉积学报,1998,16(3):97-101.
- WANG Qi, SHI Ji-an, XIAO Li-xin, et al. Influence of oil emplacement on diagenetic sequence of the clastic reservoir rock and its relationship to the porosity evolution[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1998, 16(3):97-101.
- [14] 袁东山,张枝焕,刘洪军. 油气充注对晚期碳酸盐矿物胶结作用的影响[J]. 石油天然气学报,2005,27(2):298-300.
- YUAN Dong-shan, ZHANG Zhi-huan, LIU Hong-jun. Effects of hydrocarbon emplacement to late carbonate cement[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2005, 27(2):298-300.
- (编辑 徐会永)
-
- (上接第26页)
- [14] 李月,周瑶琪,颜世永,等. 龙门山造山带构造演化模式的建立[J]. 中国石油大学学报:自然科学版,2008,32(2):12-15.
- LI Yue, ZHOU Yao-qi, YAN Shi-yong, et al. Establishment of tectonic evolution pattern of Longmenshan Orogen[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2008, 32(2):12-15.
- [15] 丁道桂,郭彤楼,胡明霞,等. 论江南—雪峰基底拆离式构造:南方构造问题之一[J]. 石油实验地质,2007,29(2):120-127.
- DING Dao-gui, GUO Tong-lou, HU Ming-xia, et al. Basement decoupling structure in Jiangnan-Xuefeng: series 1 of the southern structure studies[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2007, 29(2):120-127.
- [16] 杨超,陈清华,吕洪波,等. 南盘江盆地中三叠统复理石的物源和沉积构造背景分析[J]. 中国石油大学学报:自然科学版,2008,32(6):22-27.
- YANG Chao, CHEN Qing-hua, LÜ Hong-bo, et al. Provenance and Tectonic settings of them iddle Triassic flysch in Nanpanjiang Basin[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2008, 32(6):22-27.
- (编辑 徐会永)