

文章编号: 1001-6112(2010)02-0120-04

致密低渗砂岩储层质量控制因素研究

——以靖边气田盒 8 段为例

谢润成^{1,2}, 周文³, 晏宁平⁴, 宋荣彩², 赵安坤², 王辛²

(1. 西南石油大学 博士后科研流动站, 成都 610500; 2. 成都理工大学 能源学院, 成都 610059;

3. “油气藏地质及开发工程”国家重点实验室(成都理工大学), 成都 610059;

4. 中国石油 长庆油田分公司 采气一厂, 陕西 靖边 718500)

摘要:靖边气田盒 8 段砂岩地层成藏条件优越, 是重要的产能接替层位。但该套砂岩致密, 物性较差。通过岩石学、沉积相、成岩作用等方面研究, 分析了盒 8 段砂岩岩性特征、物性特征, 表明盒 8 段砂岩整体上为低孔、特低渗致密储层, 储集空间以次生孔隙为主, 孔隙结构较差; 认为沉积作用控制了储层分布, 但不同沉积微相沉积砂体物性总体差别不大, 机械压实作用是造成盒 8 段砂岩孔隙度下降的主要因素, 高岭石与绿泥石的胶结作用对砂岩孔隙的贡献存在两面性, 而铝硅酸盐矿物和碳酸盐矿物溶解作用是研究区优质储层发育的控制因素。

关键词:溶蚀与蚀变; 成岩作用; 沉积作用; 储层质量; 致密储层; 靖边气田; 鄂尔多斯盆地

中图分类号: TE122. 221

文献标识码: A

STUDY ON CONTROL FACTORS OF QUALITY OF COMPACT SANDSTONE RESERVOIR

—TAKING HE8 FORMATION OF THE JINGBIAN GAS FIELD AS AN EXAMPLE

Xie Runcheng^{1,2}, Zhou Wen³, Yan Ningping⁴, Song Rongcai², Zhao Ankun², Wang Xin²

(1. Mobile Postdoctoral Center of Southwest Petroleum University, Chengdu, Sichuan 610500, China;

2. College of Energy Resource, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China; 3. State Key Lab of Oil & Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China;

4. The No. 1 Gas Production Plant of PetroChina Changqing Oilfield Company, Jingbian, Shaanxi 718500, China)

Abstract: The He8 Formation develops a set of excellent accumulation conditions, and is an important succeeding layer in the Jingbian gas pools. But the sandstone is tight, and its physical properties are not good. According to study on the characteristics of petrology, sedimentary microfacies and diagenesis, and so on, the following understandings were obtained. The He8 Formation is low porosity and ultra-low permeability reservoir. The secondary intergranular pores are the main pore space. And the pore texture is not preferable. The distribution of reservoir is controlled by the deposition, but the deferent of physical properties is not remarkable in varies sedimentary microfacies. And mechanical compaction is a main factor which reduced the porosity in the He8 Formation. The kaolinite and chlorite had dual contribution to porosity, and the dissolution of aluminosilicate and carbonate is the controlling factor for high-quality reservoir development.

Key words: dissolution and alteration; diagenesis; depositional processes; reservoir quality; tight sandstone; Jingbian Gas Field; Erdos Basin

靖边气田盒 8 段砂岩地层成藏条件优越, 具备良好的天然气勘探前景^[1-3], 是重要的产能接替层位。但该套地层岩石致密, 物性较差。一般认为, 沉积作用和成岩作用是控制油气储层物性的 2 个

基本因素^[4-7], 储层物性的好坏最终取决于这 2 个因素之间的组合关系^[8]。结合研究区勘探开发实际, 笔者基于储层基本特征分析, 主要从成岩作用的角度探讨研究区优质储层发育的控制因素。

收稿日期: 2009-08-26; 修订日期: 2010-03-02。

作者简介: 谢润成(1979-), 男, 博士, 讲师, 从事油气藏工程地质评价方面的教学与研究。E-mail: xieruncheng06@cdut. cn。

基金项目: 国家科技重大专项“鄂尔多斯盆地碎屑岩含油气系统分析与有利勘探目标区评价”(2008ZX05002)资助。

1 储层基本特征

盒8段纵向上划分为盒8上段、盒8下段,主要由石英砂岩、岩屑石英砂岩和岩屑砂岩等3类岩石构成。其中,盒8上段砂岩储层以岩屑砂岩为主,盒8下段砂岩储层以岩屑砂岩和岩屑石英砂岩为主,石英砂岩次之。研究区上古生界约50%的地质储量均分布在盒8_{F2}段,该段为研究区上古生界的主要产气层,其储层岩性呈现出高岩屑石英砂岩含量、低岩屑砂岩含量的特征。

盒8段孔隙度平均值6.61%,分布范围为0.7%~20.54%,主要分布区间为3%~12%,大于3%的占92.28%。渗透率平均值 $0.797 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,分布在 $(0.0027 \sim 400.5) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 之间,主要分布范围为 $(0.1 \sim 0.5) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,大于 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 占73.96%。含水饱和度平均值68.05%,分布在2.87%~99.98%之间,主要分布区间为40%~90%。孔隙度和渗透率呈正相关趋势,由于存在裂缝的影响,相关程度不高(图1)。总体来看,盒8段砂岩储层为低孔、特低渗致密储层。

盒8段砂岩储集空间主要为孔隙,包括剩余原生粒间孔、粒间溶孔、粒间溶蚀扩大孔、粒内溶孔及晶间孔,偶见未充填微裂缝,由此表明盒8段砂岩储层为孔隙性储层。压汞实验结果表明, R_{c10} (最大连通孔喉半径)的分布范围为 $0.0573 \sim 1.624 \mu\text{m}$,平均值 $0.6191 \mu\text{m}$; R_{c50} (平均孔喉半径)的分布范围为 $0.006 \sim 0.2562 \mu\text{m}$,平均值 $0.0677 \mu\text{m}$;大于 $0.1 \mu\text{m}$ 孔喉体积百分数分布范围为3.41%~77.38%,平均值34.09%;孔喉半径的均值分布范围为 $11.7602 \sim 15.946 \mu\text{m}$,平均值 $14.01 \mu\text{m}$;分选系数分布范围为 $1.3637 \sim 3.237$,平均值 2.1617 ;变异系数分布范围为 $0.0857 \sim 0.2323$,平均值 0.1566 。整体上,盒8段砂岩储层孔隙结构较差。

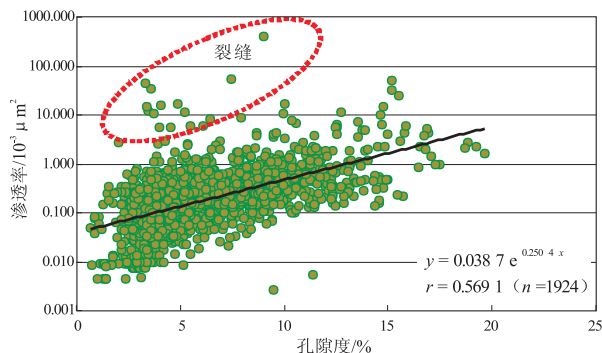


图1 靖边气田盒8段地层砂岩孔隙度—渗透率关系

Fig. 1 Relationship of sandstone permeability and porosity in He8 Formation of the Jingbian Gas Field

2 成岩作用对储集性能的控制作用

储层的发育一般受控于沉积作用和成岩作用^[4-7]。沉积对储层的控制作用主要表现在对储层空间分布的控制,沉积微相类型直接控制了砂体分布。由于不同的沉积微相类型具有不同的水动力条件,由此所沉积的砂体在岩相组成、厚度、内部非均质性、岩石碎屑成分组成、泥质含量、岩石粒度及分选等多方面也各不相同,所以不同沉积砂体就具有不同的孔隙度和渗透率^[6]。依据研究区沉积微相研究及岩心物性测试结果统计(表1),表明不同沉积砂体其物性差别不大,即沉积微相对储层物性的控制作用不明显。

沉积物沉积之后,其孔隙空间的变化主要取决于沉积物所受成岩作用的类型和强度^[6]。综合研究盒8段砂岩成岩特征认为,控制研究区储层发育的主要成岩作用有:机械压实作用、胶结作用、溶蚀和蚀变作用等。

2.1 压实作用

压实作用的强弱一般与砂岩中碎屑颗粒的粒度、分选、刚性(或塑性)颗粒含量及砂体厚度等有关。单层厚度大、粒度粗、分选好、刚性颗粒含量高、泥质含量低的砂体,其压实作用强度相对较小^[6]。石英砂岩的颗粒组分中以石英类的刚性颗粒为主,机械压实一般只在埋深小于2000m的一定井段很明显,随着埋深加大,则代之以压溶作用为主。研究区纯石英砂岩、石英砂岩中的碎屑颗粒大多以线接触、凹凸接触为主,少量样品可见到缝合线接触,埋深大的砂岩中石英颗粒还见到有细裂纹。

岩屑砂岩中易变形的软颗粒组分较其它岩类多。在淡水、偏酸性水条件下,发生强烈蚀变和泥化,或者被溶解。泥化的颗粒受上覆重量而变形,易被压实、

表1 靖边气田盒8段不同微相类型物性统计

Table 1 The physical properties of variable microfacies in He8 Formation of the Jingbian Gas Field

沉积微相	有效厚度/m	孔隙度/%	含气饱和度/%
辫状河道砂	0.8~23.8	4.4~15.4	16.0~87.8
	4.4(162)	9.8(162)	60.5(162)
网状河道砂	0.8~14.9	3.6~15.5	31.7~86.2
	4.5(247)	8.9(247)	64.3(247)
三角洲	0.4~20.1	4.9~15.4	35.2~85.0
平原河道砂	4.7(183)	8.7(183)	61.4(183)
三角洲	1.0~11.7	4.9~13.7	39.9~81.6
前缘河道砂	4.6(55)	9.2(55)	62.8(55)
浅湖滩坝砂	1.2~22.1	5.3~13.8	30.2~86.8
	5.1(70)	9.6(70)	55.9(70)

注:表中分式的意义为 $\frac{\text{最小值} \sim \text{最大值}}{\text{平均值(样品数)}}$ 。

重新排列,以致孔隙空间下降幅度大。加之岩屑中火山岩组分的水化作用以及蚀变,其中大量被泥化,使岩石更容易被强烈压实,普遍见到的假杂基即是佐证。因此,可以认为机械压实作用是破坏研究区砂岩储层孔隙空间的主要成岩作用。王允诚(2000)计算认为压实作用使研究区盒 8 段砂岩孔隙度损失了 29%,属于强压实。

2.2 胶结作用

胶结物的形成占据了孔隙空间,将使砂岩储集物性变差。统计分析结果表明,随着胶结物含量的增加,研究区盒 8 段砂岩孔隙度、渗透率均呈现下降的趋势(图 2)。

由于不同的胶结物在形成时间及含量等方面的差异,其在砂岩的孔隙演化过程中所起的作用各异。如果胶结物的形成时间较早,则增强了砂岩的抗压实能力,从而有利于砂岩原生孔隙的保存,当这种作用大于胶结物对孔隙空间的破坏作用时,则在整个孔隙演化过程中,这种胶结物反而有利于孔隙空间的保存^[6]。研究区石英类胶结物以次生加大边形式产出充填于孔隙中,减小了孔隙空间(照片 A),破坏了储集性能。但是,从另一方面来说,石英类胶结物含量的多少可以反映溶蚀作用、蚀变

作用的强弱,当石英胶结物含量较多时,破坏砂岩原生孔隙,但溶蚀、蚀变作用较强,则次生孔隙形成较多,由此又可改善砂岩的储集性能。

研究区常见的碳酸盐矿物有含铁方解石、方解石和菱铁矿。研究区盒 8 段发育少量钙质砂岩,该砂岩为早期连晶方解石基底式胶结的砂岩,其方解石含量在 20%以上(照片 B)。由于形成于早成岩阶段的方解石胶结物将极大地占据孔隙空间,而形成于晚成岩阶段的方解石对砂岩孔隙空间则无破坏作用。研究区砂岩碳酸盐含量一般小于 10%,最高达 60%。当碳酸盐含量小于 5.5%时,孔隙度、渗透率分布范围较大,说明其对物性影响不大;当碳酸盐含量大于 5.5%时,随着其含量的增加,砂岩的物性有明显变差的趋势(图 3)。

高岭石对孔隙空间的影响也存在两面性。如果高岭石的形成是由于泥质杂基、泥板岩岩屑、千枚岩岩屑及云母等不稳定组分在酸性介质作用下蚀变而成的,由于在蚀变过程中析出 Na^+ , Mg^{2+} 等组分使体积减小,形成高岭石晶间隙,从而使砂岩的孔隙度增大(照片 C),对储集性能是起到积极作用的;如果为自生高岭石,存在较大的生长空间,形成的晶间隙较大,这样则会充填已形成的溶蚀孔

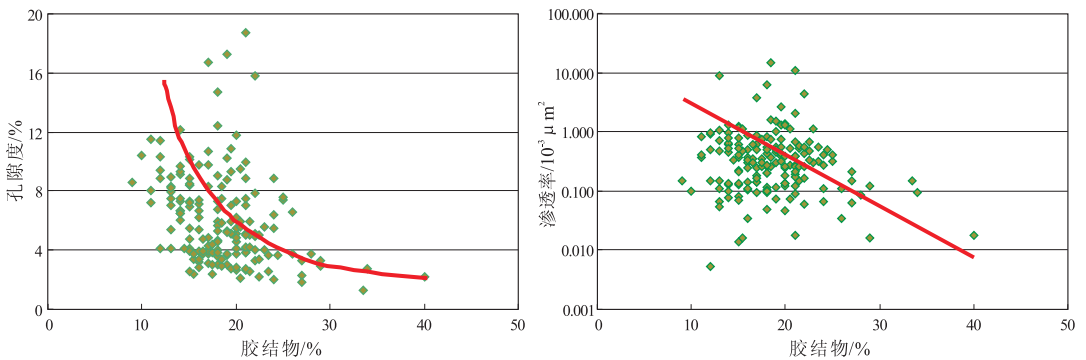


图 2 靖边气田盒 8 段砂岩孔隙度、渗透率与胶结物含量关系

Fig. 2 Relationship of sandstone porosity, permeability and cements in He8 Formation of the Jingbian Gas Field

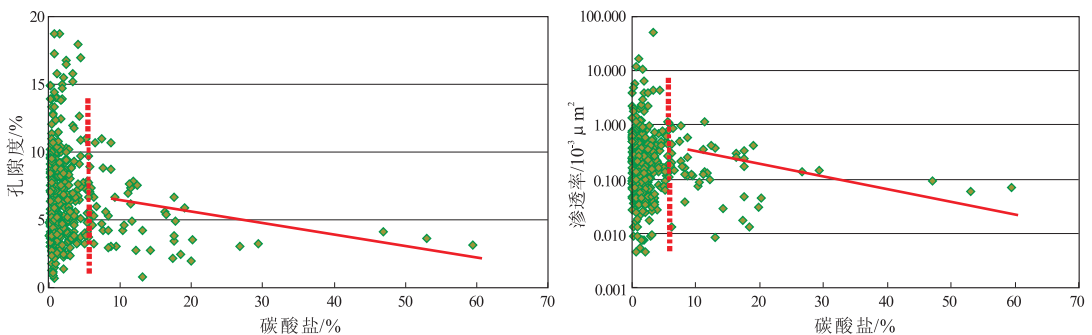
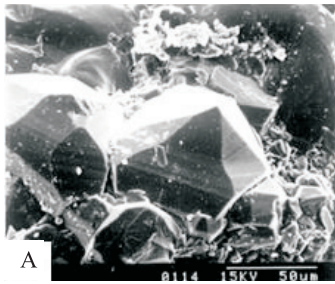
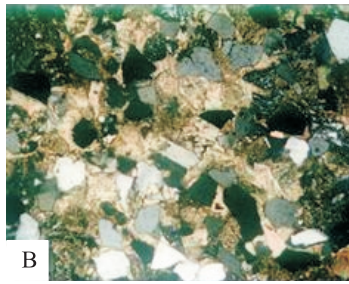
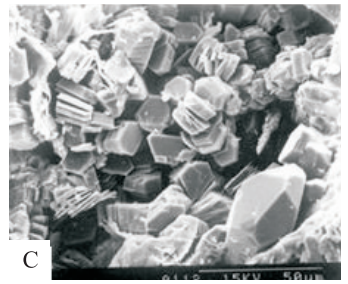
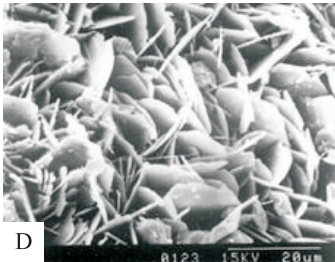
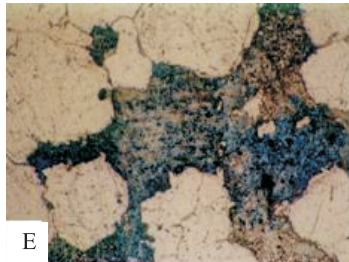
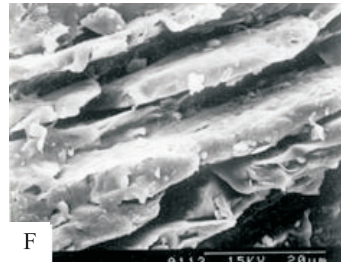


图 3 靖边气田盒 8 段砂岩孔隙度、渗透率与碳酸盐含量关系

Fig. 3 Relationship of sandstone porosity, permeability and carbonate in He8 Formation of the Jingbian Gas Field

石英加大 (S241井, 3 187.44 m, 盒8_上¹, SEM)早期无铁方解石基底式连晶胶结 (S219井, 2 895.07 m, 盒8_下², 2.5× <<->)溶孔内充填自生高岭石, 晶间孔发育 (S241井, 3 187.44 m, 盒8_上¹, SEM)孔内自生绿泥石 (G37-9-2井, 3 429.77 m, 盒8_上², SEM)长石溶蚀与粒间溶孔连通 (S241井, 3 187.44 m, 盒8_上¹, 4× <<->)沿长石解理溶蚀 (S241井, 3 187.44 m, 盒8_上¹, SEM)

研究区显微照片

Microphotos of research area

隙, 从而造成孔隙度降低, 对储集性能起负面作用。

绿泥石对孔隙度的影响机理与高岭石相同。绿泥石一般以环边形式产出, 如果环边绿泥石为第一代胶结物, 说明其形成于成岩早期。其在砂岩孔隙演化过程中的作用主要体现在以下两方面: 一方面增强了砂岩的抗压实能力, 利于原生孔隙的保存; 而另一方面, 绿泥石本身会占据砂岩的孔隙空间, 使得储集性能变差 (照片 D)。因此, 胶结物对孔隙空间的影响存在两方面性, 而正是这两方面对孔隙空间的相互作用, 或许才使得胶结物与砂岩物性的关系变得模糊 (图 2)。

2.3 溶蚀作用

在酸性水的作用下, 长石、泥板岩岩屑等岩屑颗粒以及杂基中不稳定组分会蚀变成高岭石形成晶间隙, 从而形成溶孔。研究区盒 8 段砂岩以次生孔隙为主, 所以溶蚀、蚀变作用的强弱决定着砂岩储集性能的好差。

薄片观察结果表明, 盒 8 段砂岩中广泛存在铝硅酸盐矿物和碳酸盐矿物溶解作用, 包括岩屑中长石组分的溶解、长石碎屑颗粒的溶蚀、黑云母碎屑和部分杂基组分的溶解以及少量次生石英胶结物和碳酸盐胶结物的溶解。长石溶蚀大多沿解理缝和破裂缝进行形成粒内溶孔, 多伴生有高岭石, 大部分呈残余状, 溶蚀程度强时, 形成蜂窝状溶孔和铸模孔。中酸性喷出岩中的长石斑晶以及浅成岩中的长石组分溶蚀, 形成岩屑内溶孔, 这类孔隙由

于数量少、孔径小, 对孔隙度贡献小。杂基的溶蚀形成粒间溶蚀微孔等。上述各类溶蚀孔隙的连通对改善砂岩的孔渗性能具有重要作用 (照片 E, F)。

综上所述, 研究区盒 8 段砂岩储层中所见到的长石均经历了溶蚀作用, 而溶蚀作用进行得越彻底, 现今储层中残存的长石就少, 相应表现为石英及其它不溶矿物相对含量就增加。因此, 在盒 8 段 4 个小层中, 若不考虑物源上的差别, 盒 8_上¹ 与盒 8_下² 段, 石英含量相对较高, 溶蚀作用可能较强, 储层物性可能相对较好。这可能也正是其成为上古生界主力产气层的重要原因。

3 结论

1) 盒 8 段储层砂岩主要由岩屑砂岩、石英砂岩及岩屑石英砂岩等 3 类岩石构成, 主力产气层盒 8_下² 段储层呈现出高岩屑石英砂岩含量、低岩屑砂岩含量的特征。盒 8 段平均孔隙度为 6.61%, 平均渗透率为 $0.797 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 为低孔、特低渗致密储层。由于存在裂缝的影响, 孔隙度和渗透率正相关程度不高。储集空间主要为孔隙, 以次生孔隙为主。孔隙结构较差。

2) 沉积微相虽对储层发育有一定影响, 即砂岩碎屑成分、粒度、泥质含量、砂层厚度对储层物性存在影响, 沉积作用控制了储层分布, 但不同沉积微相沉积砂体物性总体差别不明显

3) 压实作用是造成研究区盒 8 段砂岩孔隙度

(下转第 129 页)

在相同的深度,从扇三角洲前缘、扇三角洲平原、滨浅湖储集物性依次降低。滑塌浊积扇由于数据有限,需做进一步探讨。

3 结论

1)谭庄凹陷下白垩统储集体主要由三角洲、扇三角洲、滨浅湖滩坝和滑塌浊积扇砂砾岩和砂岩组成,其中细砂岩发育最多,其次为砂砾岩及砾岩,岩石的结构和成分成熟度都较低。

2)下白垩统储层物性普遍很差,不同成因类型储集体其物性存在一定差别。2 200 m 以上的三角洲平原砂体储集物性较好,但随着埋深的增加,物性迅速降低。在相同的深度,从扇三角洲前缘、扇三角洲平原、滨浅湖储集物性依次降低。

3)明确了下白垩统储集体成因类型及其岩石学特征和物性特征,将为下一步有利储层的发育和展布规律的研究奠定基础,并为下一步寻找有利砂体及井位部署提供科学依据。

参考文献:

[1] 徐汉林,赵宗举,杨以宁,等. 南华北盆地构造格局及构造样式[J]. 地球学报,2003,24(1):27-33.

[2] 蒋永福,邓世英,黄锦珍,等. 谭庄—沈丘凹陷中下侏罗统油气资源前景分析[J]. 河南石油,2005,19(2):20-25.

[3] 王定一,刘池洋,张国伟,等. 周口坳陷构造特征与油气远景[J]. 石油与天然气地质,1991,12(1):10-21.

[4] 李文厚,陈景维,邵磊. 周口坳陷早白垩世沉积相与沉积格局[J]. 岩相古地理,1996,16(1):44-50.

[5] 孔庆莹,程日辉,胡艳飞. 周口坳陷谭庄—沈丘凹陷早白垩世沉积相类型和层序地层特征[J]. 吉林大学学报(地球科学

版),2006,36(4):557-562.

[6] 吕明久,姚亚明. 周口盆地谭庄—沈丘凹陷下白垩统剥蚀厚度恢复方法研究[J]. 河南石油,1999,13(4):5-7.

[7] 裘亦楠,薛叔浩,应凤祥. 中国陆相油气储集层[M]. 北京:石油工业出版社,1997.

[8] 于兴河. 碎屑岩系油气储层沉积学[M]. 北京:石油工业出版社,2002.

[9] 朱筱敏. 沉积岩石学[M]. 4 版. 北京:石油工业出版社,2008.

[10] 王旭丽,周江羽,马良,等. 伊通盆地盆路河断陷重力流沉积特征及油气勘探意义[J]. 石油实验地质,2008,30(1):26-31.

[11] 王允诚. 油气储层地质学[M]. 北京:石油工业出版社,2008.

[12] 张琴,朱筱敏,钟大康,等. 山东东营凹陷古近系碎屑岩储层特征及控制因素[J]. 古地理学报,2004,6(4):493-502.

[13] BUYUKUTKU A G. Diagenesis of Kuzgun sandstones (Middle—Upper Miocene), Adana Basin, Turkey: Implications for reservoir heterogeneity[J]. Journal of the Geological Society of India,2006,68(4): 615-622.

[14] 季丽丹,顾家裕,赵亮,等. 塔里木盆地乌什凹陷东部下白垩统沉积相及储层特征研究[J]. 石油实验地质,2009,31(5):478-484.

[15] 张琴,朱筱敏,李桂秋. 东营凹陷沙河街组碎屑岩储层非均质性与油气关系[J]. 古地理学报,2007,6(6):661-668.

[16] EHRENBERG S N, NADEAU P H. Sandstone vs. carbonate petroleum reservoirs: A global perspective on porosity—depth and porosity—permeability relationships [J]. AAPG Bulletin,2005,89(4):435-445.

[17] ZHANG S W. The application of an integrated approach in exploration of lacustrine turbidites in Jiyang Sub-basin, Bohai Bay Basin China[J]. Journal of Petroleum Science and Engineering,2004,41(1-3): 67-77.

[18] 朱筱敏,钟大康,张琴,等. 济阳拗陷古近系碎屑岩储层特征和评价[M]. 北京:石油工业出版社,2008.

(编辑 韩 或)

(上接第 123 页)

下降的主要因素,胶结作用对孔隙空间的影响存在两面性,而溶蚀、蚀变作用是优质储层发育的控制因素。

参考文献:

[1] 王文炯. 陕甘宁盆地中部大气田成藏条件分析[J]. 断块油气田,1995,2(1):10-15,28.

[2] 赵林,夏新宇,洪峰. 鄂尔多斯盆地中部气田上古生界气藏成藏机理[J]. 天然气工业,2000,20(2):17-21.

[3] 张晓莉. 鄂尔多斯盆地中部上古生界砂岩气层沉积体系类型及特征[J]. 油气地质与采收率,2005,12(4):43-45.

[4] 刘伟新,王延斌,张文涛,等. 鄂尔多斯大牛地气田上古生界储层成岩作用与产能关系研究[J]. 石油实验地质,2008,30(6):557-563.

[5] 王宝清. 川西—川西北地区上三叠统碎屑储集岩成岩作用[J]. 石油实验地质,2008,30(1):69-74.

[6] 谢润成,周文,邓礼正,等. 鄂北上古生界砂岩储层发育影响因素分析[J]. 特种油气藏,2009,16(4):41-44.

[7] 徐春华,王亚琳,杨贵丽. 渤海湾盆地济阳拗陷冶里—亮甲山组层状储层成因及其影响因素[J]. 石油实验地质,2009,31(4):362-365.

[8] 张胜斌,王琪,李小燕,等. 川中南河包场须家河组砂岩沉积—成岩作用[J]. 石油学报,2009,30(2):225-231.

(编辑 徐文明)