

塔中地区柯坪塔格组下砂岩段储层特征和主控因素

徐燕军¹, 钟大康², 孙海涛²

1. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083

2. 中国石油大学(北京)地球科学学院, 北京 102249

摘要 在充分认识塔中地区柯坪塔格组下砂岩段地层发育及沉积环境的基础上,利用大量薄片、岩心和分析化验资料,对志留系柯坪塔格组下砂岩段储集层进行了详细的岩石学特征和物性特征研究,并讨论了志留系柯坪塔格组下砂岩段储集层发育的主控因素。研究表明,柯坪塔格组下砂岩段主要由细粒岩屑砂岩、岩屑石英砂岩组成,成分成熟度低、填隙物丰富、分选中等-好、磨圆程度高;储层孔隙类型有残余原生粒间孔隙、粒间溶孔和微孔隙;该套油层物性差属于特低孔、特低渗储层,孔隙度值主要分布在0.5%—14.7%,渗透率值分布在 $(0.1-100) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的区间内;潮坪沉积环境及深埋藏压实、碳酸盐胶结作用等成岩作用是影响柯坪塔格组下砂岩段储层特征的主控因素。

关键词 塔里木盆地;志留系;柯坪塔格组;下砂岩段;储层物性;主控因素

中图分类号 P624

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2012.15.002

Reservoir Characteristics and Main Control Factors of the Lower Sandstone Member Kepingtage Formation of Silurian in Tazhong Area, Tarim Basin

XU Yanjun¹, ZHONG Dakang², SUN Haitao²

1. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

2. College of Geosciences, China University of Petroleum, Beijing 102249, China

Abstract Based on the fully recognition about stratigraphical and sedimentary characteristics of the lower sandstone member Kepingtage Formation of Silurian in Tazhong Area, Tarim Basin and by using large number of thin-sections and cores, the lithology and reservoir characteristics have been studied and the reservoir developing characteristics with main control factors have been illustrated. The characteristics of the reservoir are as follows: Sand body of lower sandstone member of Kepingtage Formation primarily consists of both fine-grained lithic sandstone and lithic quartz sandstone, with low composition maturity, rich pore-filling contents, high-rounded, and well-sorted. The main pore types are original intergranular pore, intergranular emposieu, and micro-pore. The porosity ranges from 0.5% to 14.7% and the permeability ranges from $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ to $100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, therefore the reservoir is characterized by over-low porosity and permeability. Sedimentary environment, deep-bury, and lithogenesis function (compression, carbonate, cementation) are main factors that control the reservoir characters.

Keywords Tarim Basin; Silurian; Kepingtage Formation; member of lower sandstone; reservoir properties; main controls factor

0 引言

塔中地区志留系是油气勘探的重要层段,柯坪塔格组作

为油气聚集的主要层段已经成为关注的焦点。赵文光等^[1-4]对柯坪塔格组的沉积特征进行了研究,认为柯坪塔格组为潮坪

收稿日期: 2012-03-23;修回日期: 2012-05-21

作者简介: 徐燕军,博士研究生,研究方向为油气储层地质与评价,电子信箱:xyjdzz@sina.com;钟大康(通信作者),教授,研究方向为储层地质学和沉积盆地流体矿产,电子信箱:zhongdakang@cugb.263.net

表 1 柯坪塔格下砂岩段碎屑岩颗粒组成

Table 1 Microscope lithologic characteristics for the lower sandstone member of Kepingtage Formation

碎屑颗粒含量(样品数 93)				岩石组成		
颗粒	石英/%	长石/%	岩屑/%	成分	数量	频率/%
最小值—最大值	30—98	0—14	1—57	岩屑砂岩	55	58.5
				石英砂岩	20	21.3
平均值	72.19	3.4	24.2	长石石英砂岩	1	1.1
				岩屑石英砂岩	17	18.1
				长石岩屑砂岩	1	1.1

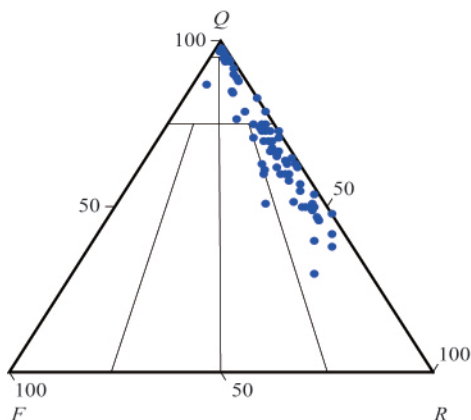


图 3 柯坪塔格组下砂岩段砂岩组分三角图

Fig. 3 Triangle diagram of sandstone components for the lower sandstone member of Kepingtage Formation

柯坪塔格下砂岩段碎屑岩颗粒的粒度级别以细粒(0.123—0.236mm,占56.5%)、极细粒(0.054—0.108mm,占22.5%)为主;分选程度中等到好,分选中等的占样品数的51.4%,分选好的占样品总数的46.4%;磨圆程度主要为次圆和次棱,次圆占样品总数的43.6%;颗粒支撑为主要支撑方式占98.1%;孔隙胶结为主要的胶结方式。

柯坪塔格下砂岩段的填隙物包括胶结物和杂基。杂基主要为泥质黏土,胶结物以碳酸盐柯坪塔格下砂岩段碎屑岩颗粒的粒度级别以细粒(0.123—0.236mm,占56.5%)、极细粒(0.054—0.108mm,占22.5%)为主;分选程度中等到好,分选中等的占样品数的51.4%,分选好的占样品总数的46.4%;磨圆程度主要为次圆及次棱,次圆占样品总数的43.6%;颗粒支撑为主要支撑方式占98.1%;孔隙胶结为主要的胶结方式。

柯坪塔格下砂岩段的填隙物包括胶结物和杂基。杂基主要为泥质黏土,胶结物以碳酸盐为主,以及硅质胶结物、黏土矿物胶结物(高岭石、伊利石、绿泥石、混层矿物)。

2.2 储层物性特征

研究区11口井柯坪塔格组下砂岩段常规物性资料的统计结果表明,储层渗透率 K 值集中在小于等于 $10\times10^{-3}\mu\text{m}^2$ 的数值范围内,占总样品数的97.6%,孔隙度 φ 数值集中在小于等于10%的数值区间,占总样品数的89.7%;依据石油天然气

总公司碎屑岩储层分类标准,柯坪塔格下砂岩段属特低孔、特低渗储层;252个样品中孔隙度数值范围在0.5%—14.7%数值区间内,均值为5.24%;249个样品中渗透率数值范围在 $(0.1\text{—}110)\times10^{-3}\mu\text{m}^2$,均值 $1.64\times10^{-3}\mu\text{m}^2$ 。

2.3 孔隙类型和结构特征

(1) 孔隙类型

在成岩作用过程中,经压实、胶结及压溶等作用,原生孔隙逐渐减少,与此同时,可溶性碎屑颗粒和易溶胶结物随着埋深的增加发生溶解和交代作用,塔中古生界储层志留系埋藏深压实作用强,胶结作用较强,溶蚀较弱,主要表现在对不稳定的长石、岩屑颗粒组分的溶蚀及碳酸盐组分的轻微溶蚀,志留系柯坪塔格组下砂岩段主要孔隙类型是残余原生粒间孔隙、粒间溶孔和微孔隙(图4(a)—4(c))。其中,储层粒间孔占孔隙体积的0—63.8%;颗粒溶孔占孔隙体积的0—6.0%。

(2) 结构特征

柯坪塔格下砂岩段各孔喉结构特征参数如下(以塔中顺1井为例):

① 最大孔喉半径较小 $0.76\mu\text{m}$,平均毛管半径 $0.24\mu\text{m}$ 。储层驱排压力变化范围0.35—5.41MPa,均值1.90MPa。

② 饱和度中值压力是当水银饱和度为50%时所对应的毛管压力值,是毛管压力分布趋势的度量,毛管压力中值越低渗流能力越好。柯坪塔格下砂岩段饱和度中值压力范围0.11—16.88MPa,均值6.94MPa。

③ 喉道及喉道相连通的孔隙的总体积越大储层可容纳并能够流动的有效空间越大,柯坪塔格下砂岩段为91.45%。

④ 孔喉分选系数是反映孔喉大小集中程度的参数,柯坪塔格下砂岩段分选性好分选系数为2.30,毛管压力曲线形态反映了孔喉分布特征及孔喉分选性,通过对塔中古生界各层段毛管压力曲线的观察,柯坪塔格下砂岩段毛管压力曲线特征是分选较好粗歪度(图5)。

3 储层物性主控因素分析

3.1 沉积作用对储层物性的控制

沉积微相不仅控制砂体的类型、形态、厚度、规模及空间

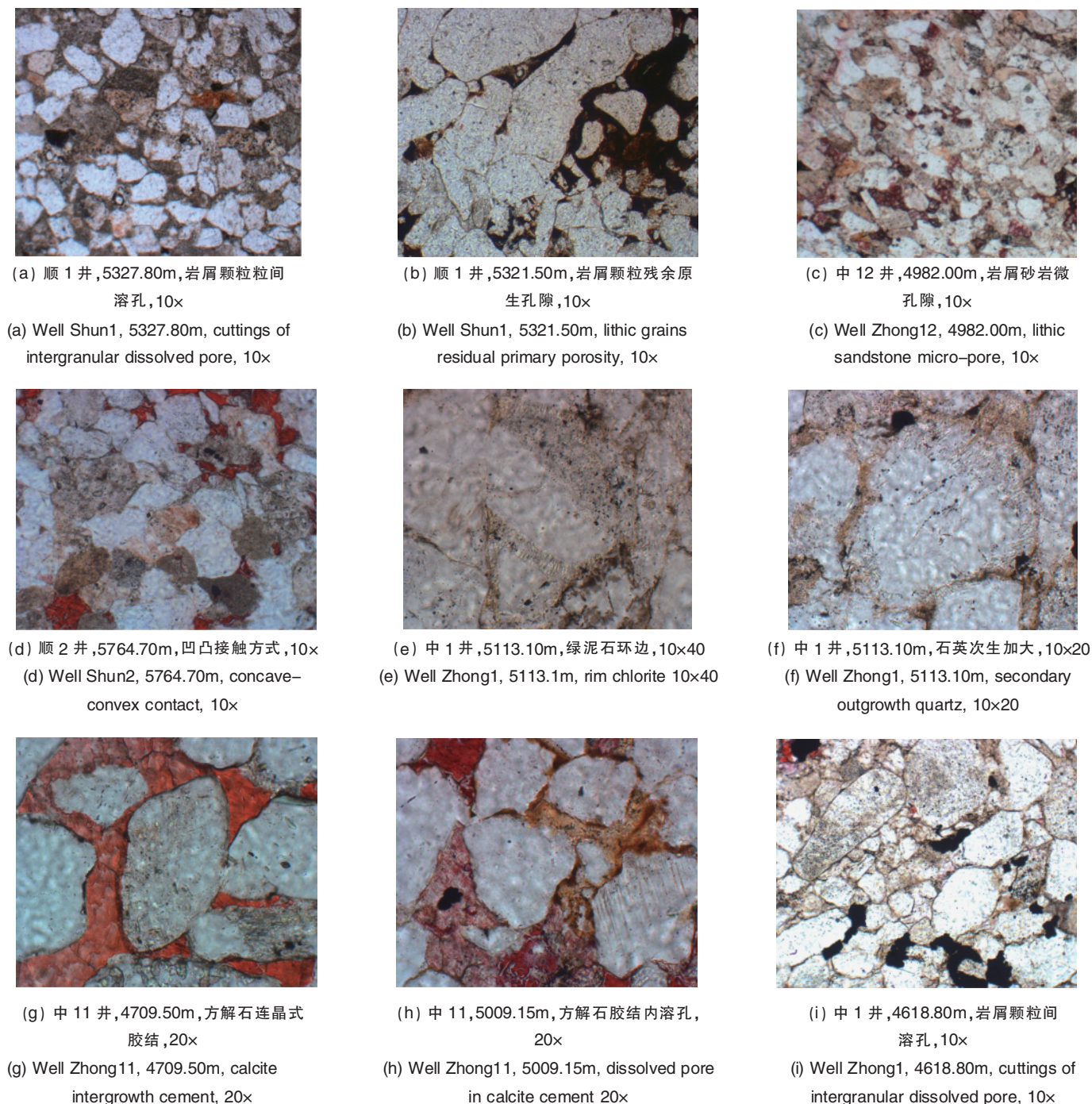


图 4 柯坪塔格下砂岩段薄片照片图版

Fig. 4 Photos of the thin-sections of the lower sandstone member of Kepingtage Formation

分布,影响砂体的平面和纵向展布以及层间、层内非均质性,而且还在微观上因其决定着岩石的碎屑颗粒尺寸、填隙物量、岩石结构(分选、磨圆、接触方式)等特征,从而控制了岩石原始物性的好坏,因此沉积环境对储层物性的控制是源控性的^[13]。

志留系柯坪塔格下砂岩段时期水体较深,研究区发育潮下带及潮间带亚相,潮下带亚相发育潮下砂坝微相,潮间带亚相发育潮间下砂坪、潮间中混合坪、潮间上泥坪。下砂岩储

层发育在在潮下带砂坝沉积微相,及潮间下砂坪沉积微相。潮下带砂坝沉积微相发育低角度冲洗层理、楔状交错层理、砂岩中发育泥砾以及冲刷面,岩性以细砂岩为主;潮间下砂坪岩性以粉、细砂岩为主,沉积构造发育冲洗层理。潮下带水动力条件较潮间下砂坪强,形成的砂体分选磨圆好,相对于潮间下砂坪储层物性好,是良好的油气储集体。下砂岩段不同相带储层物性的统计结果见表 2,可以看出,沉积微相对储层物性的控制即潮下砂坝微相储层物性好于潮间下砂坪微

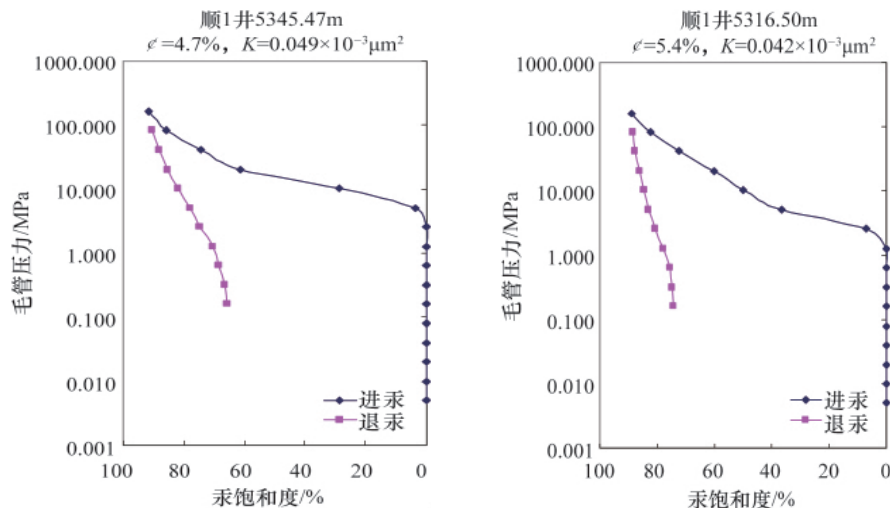


图5 柯坪塔格下砂岩段毛管压力曲线

Fig. 5 Capillary pressure curve of the lower sandstone member of Kepingtage Formation

表2 柯坪塔格下砂岩段不同沉积微相物性

Table 2 Physical properties of various sedimentary microfacies of the lower sandstone member of Kepingtage Formation

沉积相	亚相	微相	孔隙度/%	渗透率/ $10^{-3}\mu\text{m}^2$	代表井
潮坪	潮间带	潮间下砂坪	5.27 (1.2—15.2)	1.39 (0.01—97.9)	顺1井,中11井,中12井,中17井,中13井,顺2井
	潮下带	砂坝	7.09 (0.5—14.7)	1.455 (0.01—110)	顺1井,顺2井

相的储层。

3.2 成岩作用对储层物性的影响

岩石在埋藏过程中所经历的一系列成岩作用如压实、胶结对储层的物性起破坏作用(早期的胶结作用对原生孔隙有保护的作用),溶蚀等成岩作用对储层物性有建设性的作用;碳酸盐胶结及杂基等填隙物占据孔隙空间直接影响了储层的物性。

在相同沉积环境、相近埋藏深度、相似岩石成分和粒度条件下,成岩作用对储层的改造直接导致了现今储层微观孔隙结构的格局,是控制储层物性的重要因素^[14]。通过对研究区取心并常规薄片、铸体薄片、扫描电镜等资料分析,柯坪塔格下砂岩段主要成岩作用有压实作用、胶结作用、溶蚀作用和交代作用及重结晶作用等。压实作用、胶结作用是孔隙度降低的主要因素,研究区的胶结作用以碳酸盐胶结为主,溶蚀作用主要有长石的溶蚀及少量岩屑的溶蚀、碳酸盐胶结物的溶蚀。

(1) 压实作用对储层物性的影响

压实作用是指沉积物沉积后在其上覆水层或沉积层的重荷下,或在构造形变应力的作用下,发生水分排出、孔隙度降低、体积缩小的作用,使得碎屑颗粒的接触也由点接触到线接触再到凹凸接触。影响压实作用的主要因素是埋深和埋藏时间,此外填隙物的含量也是影响压实作用的次要因素

柯坪塔格下砂岩段埋深在5000—5900m,经历了强压实作用,颗粒之间呈现凹凸甚至镶嵌接触(图4(d)),从孔隙度随深度的变化关系(图6)可以看出,随着埋深的增加,塔中古生界储层的孔隙度降低。

采用不同分选状况下的未固结砂岩实测的初始孔隙度关系式:原始孔隙度 $\phi_v=20.91+22.9/S$ (S 为分选系数),可以计算出砂岩的原始孔隙度,柯坪塔格下砂岩段砂岩的最大、最小分选系数分别为2.81和1.53;对应于原始孔隙度分别为29.15%和35.87%,平均分选系数为2.30,对应平均孔隙度

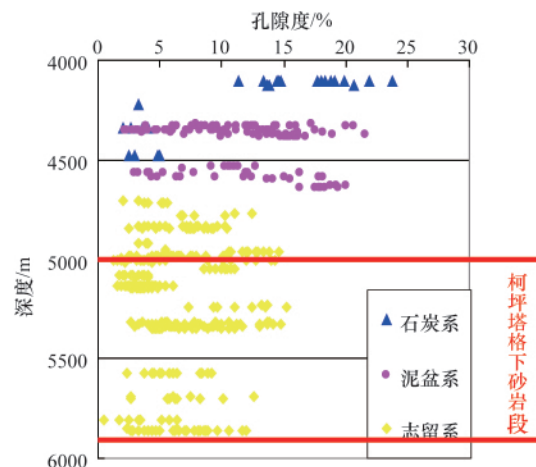


图6 塔中古生界碎屑岩储层孔隙度-深度关系

Fig. 6 Relationship between the porosity and the depth of palaeozoic in Tazhong Area

30.9%。统计结果表明,柯坪塔格下砂岩段平均胶结物体积百分含量 V_f 为 14%(其中碳酸盐胶结物均值 9.2%,硅质胶结物均值 2.17%,黏土矿物胶结 2.63%,铁质胶结在本段不发育);杂基 V_m 占 4.48%;现今孔隙度 ϕ_n 为 8.51%溶蚀孔隙度,为 5.5% S 。据式(1)、式(2)可以粗略计算压实作用减孔量 ϕ_c 和压实作用减孔率 ϕ_{dc} :

$$\phi_c = \phi_p - V_f - V_m - V_n + S = 9.17\% \quad (1)$$

$$\phi_{dc} = \phi_c / \phi_p = 29.6\% \quad (2)$$

随埋深增加,机械压实作用显著,其结果使岩石体积缩小、密度增大,导致砂岩孔隙度降低。压溶作用和交代作用对孔隙影响较小,可暂不考虑。计算表明,柯坪塔格下砂岩段平均减孔率为 29.6%(计算方法参考山东大学杨仁超等的研究成果)^[15]。

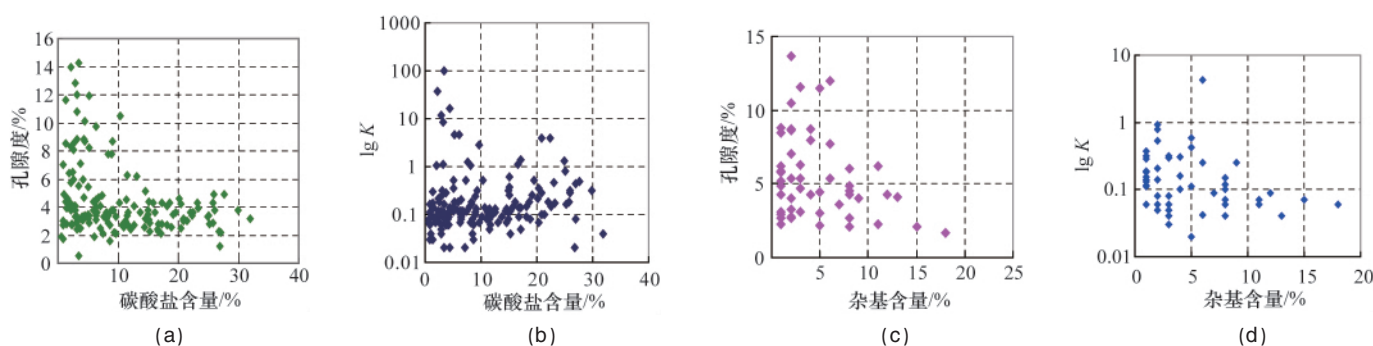


图 7 柯坪塔格下砂岩段填隙物对储层物性的影响

Fig. 7 Relationship between the physical properties and pore-filling contents of the lower sandstone member of Kepingtage Formation

次生孔隙的主要因素,但溶蚀新增加的孔隙度是有限的,从镜下被溶蚀量估计,为 5%—10%。

4 结论

本文通过对志留系柯坪塔格组下砂岩段储集层进行了详细的岩石学特征和物性特征研究,讨论了志留系柯坪塔格组下砂岩段储集层发育的主控因素。得出结论如下。

(1) 通过对岩心、薄片资料的分析研究认为,柯坪塔格下砂岩段由细粒、极细粒岩屑砂岩、石英砂岩、岩屑石英砂岩组成,具有成分成熟度低,分选中等—好、次棱—次圆、颗粒支撑、孔隙式胶结的岩石学特征;储层孔隙类型为残余原生粒间孔隙、粒间溶孔和微孔隙;填隙物中杂基主要为泥质黏土,胶结物以碳酸盐为主,其次为硅质胶结和黏土矿物胶结。

(2) 通过对柯坪塔格下砂岩段物性资料的分析研究表明柯坪塔格下砂岩段具有特低孔特低渗的储层物性特征。

(3) 研究区孔隙结构特征受控于储集层岩石学特征。储集层结构成熟度高成分成熟度低,塑性岩屑含量高导致深埋藏条件下利于压实作用破坏储集层的原生孔隙结构。研究区的储层孔隙结构以分选好粗歪度为特征。

(4) 沉积微环境决定储层的原始物性,深埋藏压实作用、胶结作用、溶蚀作用等成岩作用是研究区储集层物性的主要

(2) 填隙物控制作用

储层物性受到胶结物、杂基等填隙物的影响,如图所示(图 7)随着填隙物含量的增加储层物性变差;胶结物含量尤其是碳酸盐胶结,其次还有黏土矿物胶结及硅质胶结(图 4(e)—4(g)),据统计结果各种胶结作用损失的平均孔隙度为 14%,随着碳酸盐含量的增加,储层孔隙度、渗透率下降,说明柯坪塔格下砂岩段中碳酸盐的胶结作用是影响储层物性的又一主要因素。同时杂基含量也是影响储层物性的不可忽略的因素。

(3) 溶蚀作用

溶蚀作用对储层有建设性的意义,柯坪塔格下砂岩段溶蚀作用较弱主要表现在对一些不稳定的粒间长石、岩屑颗粒组分的溶蚀及碳酸盐组分的轻微溶蚀(图 4(h)、4(i)),是形成

控制因素。

参考文献 (References)

- [1] 赵文光,周波,蔡忠贤.塔中地区志留系柯坪塔格组沉积特征与油气分布[J].石油学报,2008,29(2): 231-234.
Zhao Wenguang, Zhou Bo, Cai Zhongxian. *Acta Petrolei Sinica*, 2008, 29(2): 231-234.
- [2] 侯会军,王伟华,朱筱敏.塔里木盆地塔中地区志留系沉积相模式探讨[J].沉积学报,1997,15(3): 41-47.
Hou Huijun, Wang Weihua, Zhu Xiaomin. *Acta Sedimentology Sinica*, 1997, 15(3): 41-47.
- [3] 郭长敏.塔里木盆地志留系柯坪塔格组沉积相及平面展布[J].天然气技术,2008,2(1): 19-22.
Guo Changmin. *Natural Gas Technology*, 2008, 2(1): 19-22.
- [4] 朱如凯,罗平,何东博.塔里木盆地塔中地区志留系柯坪塔格组沉积相与沉积模式[J].古地理学报,2005,7(2): 197-206.
Zhu Rukai, Luo Ping, He Dongbo. *Sedimentary facies and models of the Kepingtage formation of Silurian in Tazhong Area, Tarim Basin. Journal of Palaeogeography*, 2005, 7(2): 197-206.
- [5] 朱茹凯,郭宏莉,何东博,等.塔中地区志留系柯坪塔格组砂体类型及储集性[J].石油勘探与开发,2005,32(5): 16-19.
Zhu Rukai, Guo Hongli, He Dongbo, et al. *Petroleum Exploration and Development*, 2005, 32(5): 16-19.
- [6] 陈强路,范明,尤东华.塔里木盆地志留系沥青砂岩储集性非常规评价[J].石油学报,2006,27(1): 30-33.

- Chen Qianglu, Fan Ming, You Donghua. *Acta Petrolei Sinica*, 2006, 27 (1): 30-33.
- [7] 王勇, 李宇平. 塔中地区志留系柯坪塔格组储层物性的主控因素[J]. 天然气技术, 2009, 3(4): 7-11.
- Wang Yong, Li Yuping. *Natural Gas Technology*, 2009, 3(4): 7-11.
- [8] 王萍, 刘洛夫, 李燕. 塔中地区志留系柯坪塔格组上 3 亚段储层特征及与油气分布的关系[J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(2): 174-180.
- Wang Ping, Liu Luofu, Li Yan. *Oil & Gas Geology*, 2008, 29 (2): 174-180.
- [9] 张惠良, 王招明, 张荣虎, 等. 塔里木盆地志留系优质储层控制因素与勘探方向选择[J]. 海相油气地质, 2004(5): 21-25.
- Zhang Huiliang, Wang Zhaoming, Zhang Ronghu, et al. *Marine Origin Petroleum Geology*, 2004(5): 21-25.
- [10] 张炎忠, 齐永安. 塔中地区志留系储层成岩作用及孔隙演化[J]. 海洋地质动态, 2006, 22(5): 20-25.
- Zhang Yanzhong, Qi Yongan. *Marine Geology Letters*, 2006, 22(5): 20-25.
- [11] 朱筱敏. 塔里木盆地沉积与储层 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2004: 62-144.
- Zhu Xiaomin. *Sedimentary and reservoir of Tarim Basin* [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004: 62-144.
- [12] 赵澄林, 朱筱敏. 沉积岩石学 [M]. 3rd ed. 北京: 石油工业出版社, 2001: 100.
- Zhao Chenglin, Zhu Xiaomin. *Sedimentary petrology* [M]. 3rd ed. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001: 100.
- [13] 贾会冲, 张峭南. 鄂北塔巴庙地区上古生界储层发育的控制因素[J]. 天然气工业, 2001, 21: 18-23.
- Jia Huichong, Zhang Shaonan. *Natural Gas Industry*, 2001, 21: 18-23.
- [14] 唐海发, 彭仕宓, 赵彦超. 致密砂岩储层的主控因素分析[J]. 西安石油大学学报, 2007, 22(1): 59-63.
- Tang Haifa, Peng Shimi, Zhaoyanchao. *Journal of Xi'an Shiyou University*, 2007, 22(1): 59-63.
- [15] 杨仁超, 王秀萍, 樊爱萍, 等. 苏里格气田东二区砂岩成岩作用与致密储层成因[J]. 沉积学报, 2012, 30(1): 111-119.
- Yang Renchao, Wang Xiuping, Fan Aiping, et al. *Acta Sedimentology Sinica*, 2012, 30(1): 111-119.

(责任编辑 朱宇)

·学术动态·

“第 32 届全国毛纺年会”征文



由全国毛纺织产品调研中心、全国毛纺织科技信息中心、中国纺织工程学会毛纺专业委员会、《毛纺科技》杂志社主办的“第 32 届全国毛纺年会”定于 2012 年 10 月在北京召开。

征文内容: (1) 当前经济形势对我国毛纺织、毛针织工业的影响; (2) 对《纺织工业“十二五”发展规划》的解读; (3) 我国毛纺织、毛针织工业的技术发展和展望; (4) 纺织面料如何适应服装行业的要求; (5) 各种新型纤维在毛纺织、毛针织上的应用、产品开发与质量控制的经验措施; (6) 新技术、新工艺、新设备器材的应用对提高各工序制品、半制品质量的作用和经验; (7) 毛纺企业实验室建设及实验室检测技术等相关内容; (8) 各种毛精(粗)纺织物、毛针织物的工艺设计及产品开发; (9) 提高纱线、织物质量的因素分析与综合对策; (10) 精梳机的工艺、技术措施和新产品开发的经验; (11) 半精梳工艺、设备和新产品的开发; (12) 自调匀整装置的应用, 以及对提高质量效果的分析; (13) 毛羽的成因分析和各工序减少毛羽的经验措施; (14) 细纱牵伸形式、工艺和成纱质量的关系; (15) 新型纺纱技术的研究开发成果和技术经济效益分析; (16) 提高无梭织机效率及质量的措施研究; (17) 浆纱工艺的发展应用对提高成品质量的效果分析; (18) 无梭织机开发新品种的经验与措施; (19) 国内外毛纺织品、毛针织产品后整理的现状与发展趋势; (20) 毛纺织品、毛针织产品后整理的新工艺、新技术、新设备; (21) 毛纺织、毛针织新助剂的研制、生产及应用; (22) 毛纺织品、毛针织产品后整理的环保化、功能化; (23) 毛纺织品、毛针织后整理新工艺对助剂的新要求; (24) 纱染技术的研究和应用。

论文截稿日期: 2012 年 7 月 30 日。

联系电话: 010-65078673。

通信地址: 北京市朝阳区延静里中街 3 号主楼 603 室中国纺织工程学会毛纺专业委员会 / 《毛纺科技》杂志社 (100025)。

电子信箱: mfnh333@sina.com。

会议网站: <http://www.ctes.com.cn/xshd/hytz/35111.htm>。