

文章编号:1001-6112(2012)02-0125-04

塔里木盆地巴楚隆起 泥盆系东河砂岩成岩作用研究

李建交¹, 曹自成², 岳勇²

(1. 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院, 北京 100083;

2. 中国石油化工股份有限公司西北油田分公司, 乌鲁木齐 841000)

摘要:通过对塔里木盆地巴麦地区多口典型探井泥盆系东河塘组薄片的观察与鉴定, 东河塘组石英含量高, 长石和岩屑含量都在1%~4%范围, 成分成熟度高; 主要的成岩作用有压实作用、胶结作用、溶蚀(溶解)作用等。综合判断认为, 泥盆系东河砂岩处在中—晚成岩阶段, 原生孔隙少, 表生成岩溶解作用和埋藏溶蚀作用可以溶解多种可溶性杂基和碳酸盐岩类基质, 使储层发育粒内溶孔、铸模孔、溶蚀扩大等孔隙类型。但是由于储层成岩作用过程有叠置, 所以储层的改善作用也有限, 物性相对较差。

关键词: 次生孔隙; 成岩作用; 储层; 东河砂岩; 巴楚隆起; 塔里木盆地

中图分类号: TE122.2

文献标识码: A

Diagenesis of Devonian Donghetang sandstones in Bachu Uplift, Tarim Basin

Li Jianjiao¹, Cao Zicheng², Yue Yong²

(1. SINOPEC Petroleum Exploration & Production Research Institute, Beijing 100083, China;

2. SINOPEC Northwest Company, Urumqi, Xinjiang 841000, China)

Abstract: The thin sections of Devonian Donghetang sandstones from several typical wells in Bachu-Maigaiti area of the Tarim Basin were observed. In the Donghetang Formation, quartz was in high content while feldspar and lithic ranged from 1% to 4%, standing for high maturity. The main diagenetic effects included compaction, cementation, dissolution (dissolving) and so on. Devonian Donghetang sandstones were during the middle and late stages of diagenesis. Few primary pores and fissures were found. Epidiagenetic dissolution and burial dissolution dissolved a variety of soluble and carbonate rocks, resulting in intragranular dissolved pores, moldic pores and enlarged dissolved pores. However, since the process of diagenesis was superimposed in the study area, the improvement of reservoir was limited and the physical property of Devonian Donghetang Formation was poor.

Key words: secondary pores and fissures; diagenesis; reservoir; Donghetang sandstone; Bachu Uplift; Tarim Basin

东河砂岩在塔里木盆地广泛分布, 是填平补齐的海侵阶段的沉积产物。在全盆地, 完整的东河砂岩岩性序列包括: 底部砾岩、中部块状砂岩和上部含砾砂岩。东河砂岩段主体岩性为中—细石英质砾岩和岩屑质细砂岩, 具有中等偏高的成分和结构成熟度^[1]。前人曾对东河塘组砂岩的沉积特征^[1-5]、沉积环境展布^[5-8]、层序地层^[7,9-12]、孔隙成因和孔隙结构^[4,13-17]以及构造因素对东河塘组砂岩储层的影响进行了深入的探讨, 但其研究主要集中在塔中、塔北地区^[3,18], 而对巴楚隆起区东河砂岩的研究较少。随着勘探的进展, 特别是中国石化

在巴什托(BK8井)地区的发现, 东河塘组逐渐成为巴楚地区的重点勘探层系之一^[19-20]。

1 储层岩石学特征

在巴楚地区, 对BK4、BK8等井东河塘组的鉴定表明, 东河砂岩石英含量高达94%~97%, 长石和岩屑含量都在1%~4%范围内变化, 反映出稳定组分含量高, 不稳定组分长石、岩屑含量低, 具高成分成熟度特征。岩屑以酸性熔岩、泥岩为主, 少量云母、千枚岩(图版A)。

填隙物(杂基)类型比较特殊, 它们既有细粉砂

收稿日期: 2011-04-20; 修订日期: 2012-02-15。

作者简介: 李建交(1981—), 男, 博士, 从事石油地质研究工作。E-mail: lijianjiao2000@163.com。

基金项目: 国家重大专项“塔里木盆地碎屑岩油气富集规律及勘探目标研究”(2008ZX05002-003-006)资助。

和粘土杂基、少量铁泥质杂基(图版 A),还有泥晶碳酸盐岩基质。在 BK2 井 4 908 m 的东河塘组储层中泥晶白云石基质含量可达 35%(图版 B),呈杂基支撑特征,基底式胶结类型,泥晶白云石部分基质已重结晶为粉晶白云石。

在成因上它们是与碎屑物同时沉积的同生沉积物。砂岩储层胶结物主要由硅质和方解石、白云石组成,硅质都呈石英次生加大边存在(图版 A),方解石、白云石胶结物一般是第二期胶结作用的产物,普遍较少,约占 4% 以内。

2 储层成岩作用

东河塘组的储集性能较差,其 19 件样品孔隙度在 0.5% ~ 4.3% 之间,平均 2.14%,渗透率一般为 $(0.01 \sim 0.35) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均 $0.1075 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。储层的物性受到沉积相带和成岩作用的控制。巴楚地区泥盆系储层的成岩作用主要有压实作用、胶结作用和溶蚀作用等几个方面。压实、胶结作用使储层物性变差,溶蚀(溶解)作用有利于次生孔隙的形成,在一定程度上可以改善储层物性。

2.1 压实作用

区内成岩压实现象十分普遍,主要表现为碎屑颗粒的紧密排列。碎屑以线接触为主(图版 C),部分呈凹凸接触,碎屑颗粒中可见长石双晶弯曲,云母弯曲断裂(图版 C),石英具裂纹;同时因受力作用,可使塑性岩屑变形,泥岩岩屑、千枚岩岩屑变形后略显定向性,局部见泥岩岩屑挤压后呈假杂基状态。压实作用的最后结果,使岩石中原生孔隙迅速减少。

对东河砂岩原生孔隙的恢复,可以说明压实作用对储层物性的影响。碎屑岩颗粒正常堆积,原始孔隙度一般为 28% ~ 42%。据 Scherer 提出的计算原始孔隙度的公式^[21]:原始孔隙度 = $20.91 + 22.9/S_D$ 。式中 S_D 为特拉斯克分选系数(通过累积曲线上 25%、50% 和 75% 处所对应的颗粒直径来求得)。经计算,东河砂岩的原始孔隙度平均值为 35%,以此作为储集岩的原始孔隙度,而现今孔隙度仅为 0.5% ~ 4.3%。

2.2 胶结作用

本区胶结作用主要有二氧化硅胶结作用和碳酸盐岩矿物胶结作用。二氧化硅胶结作用十分普遍,它们都呈石英次生加大边存在(图版 A,C),二氧化硅组分沿碎屑颗粒边缘生长,并与碎屑颗粒光学性质一致,同时在碎屑边缘和加大边之间常见吸

附的铁泥质残留物,说明硅质加大作用是在岩溶期后形成的。在各井中,不同层段有不同程度的次生加大现象,有的层段石英次生加大作用很强,加大边很宽,使碎屑呈镶嵌状接触。如 BK1 井东河塘组 2 580 m 中-粗粒石英砂岩中,石英加大边呈镶嵌状接触(图版 D),这种次生加大现象都出现在成岩晚期。

碳酸盐岩矿物胶结作用亦十分普遍,它们主要以晶粒(亮晶)结构(图版 C)和连晶结构方式存在,晶粒结构中大部分为细-粗晶。一般认为碳酸盐矿物晶体大小亦随成岩环境深度增大有变粗的趋势,具亮晶结构的碳酸盐矿物被认为是中成岩阶段的成岩标志,具连晶结构的碳酸盐岩矿物被认为是晚成岩阶段的成岩标志。

2.3 溶蚀(溶解)作用

东河塘组砂岩的溶蚀作用,主要表现为铝硅酸盐溶蚀、石英颗粒边缘溶蚀、泥晶碳酸盐基质和杂基的溶蚀,前两者多为长石和岩屑或石英颗粒整体或部分溶蚀形成各种类型晶间溶孔。溶蚀作用可以发生在表生成岩环境,也可以发生在埋藏条件下。前者其主要的流体是大气降水以及溶解在其中的 CO_2 等,而后者主要是附近地层生烃过程中产生的有机酸或者是火山活动产生的深部热液。

石英颗粒边缘溶蚀主要与孔隙水介质条件呈碱性有关,同时部分有机酸(如草酸)可能参与这种溶蚀。在巴麦地区可以见到石英次生加大边的溶蚀现象(图版 E),但是溶蚀作用并不强烈。BK8 井颗粒间填充的粘土矿物(主要是片状、絮状伊利石)也发生了溶蚀作用(图版 F)。

碳酸盐胶结物的溶蚀作用在巴麦地区比较常见,在东河塘组下部的克孜尔塔格组,出现了大量的方解石交代作用现象(图版 G),而上部的泥盆系东河砂岩基本上都是白云石胶结,可能是由于上部的碳酸盐岩胶结物被溶解后,随地层水的下渗,被溶蚀的碳酸盐岩又被流到下部沉淀下来形成二次碳酸盐岩胶结(也存在去白云石化的可能),形成了垂向上上部溶蚀、下部胶结的分带特征。

铁泥质残存物是表生成岩环境的一个标志,其与胶结物的产状关系代表了发生表生成岩环境与其他成岩作用的时间先后关系。以玉 2 井样品为例(图版 H),连晶方解石与碎屑颗粒接触处有铁泥质残积物,说明在连晶方解石胶结作用发生之后,又发生了表生成岩作用。

巴楚地区东河塘组至少可以识别出 3 次溶蚀作用,包括:1)成岩作用早期,表生成岩作用发生的

表1 塔里木盆地巴麦地区泥盆系储层成岩标志

Table 1 Diagenetic marks for Devonian reservoirs in Bachu-Maigaiti area, Tarim Basin

成岩标志	早成岩阶段、 表生成岩阶段	中成岩阶段	晚成岩 阶段
砂岩固结程度	弱固结—固结	固结	固结
石英加大级别	I	II—III	IV
碳酸盐矿物 晶体大小	泥—粉晶	细—粗晶 (亮晶)	连晶
杂基	————		
泥晶碳酸盐基质	————		
铁泥质残积物	————		
溶解作用阶段	————		
胶结作用	————		

溶蚀作用,以铁泥质残余为标志;2)第二次溶解作用,铝硅酸盐溶蚀、石英颗粒边缘溶蚀以及泥晶碳酸盐基质和杂基的溶蚀;3)第三次溶解作用,溶解了白云石胶结物,或发生了去白云石化作用。第二次和第三次溶蚀作用都是埋藏溶蚀作用,对储层改善的贡献较小;而第一次溶蚀作用发生后,又叠加了胶结作用,储层改善也有限,这可能是巴麦地区泥盆系东河砂岩储层物性较差的一个原因。

3 成岩作用阶段划分

碎屑岩储层成岩阶段划分为:早成岩阶段、中成岩阶段、晚成岩阶段和表生成岩阶段。目前在巴麦地区泥盆系储层中,能指示成岩环境,反映成岩阶段的组分和自生矿物有杂基(或基质)、呈次生加大边存在的二氧化硅矿物(适应次生加大)和不同粒级的碳酸盐矿物(白云石、方解石)等(表1)。

杂基(或基质)形成于早成岩期,它们是与碎屑物同时沉积的同生矿物。铁泥质残积物是表生环境岩溶产物。不同级别的石英次生加大边矿物和不同粒级的碳酸盐岩胶结物分别形成于中成岩和晚成岩阶段。

4 结论

巴麦地区泥盆系东河塘组储层物性较差,与经历的成岩作用阶段关系密切,共发生了压实作用、胶结作用、溶蚀作用等多期次成岩作用,并且成岩作用过程相互叠加;储层主要以次生溶蚀孔隙为主,但储层物性较差。

参考文献:

[1] 朱筱敏,张强,赵澄林,等. 塔里木中部地区东河砂岩段沉积特征和沉积环境演变[J]. 地质科学,2004,39(1):27-35.

[2] 张惠良,杨海军,寿建峰,等. 塔里木盆地东河砂岩沉积期次及油气勘探[J]. 石油学报,2009,30(6):835-842.

[3] 朱筱敏,张强,吕雪雁,等. 塔里木盆地塔北与塔中地区东河砂岩段沉积特征对比[J]. 中国地质,2005,32(4):648-654.

[4] 李兴平. 塔中地区东河塘组储层中高孔渗成因浅析[J]. 天然气工业,2005,25(12):28-30.

[5] 王招明,田军,申银民,等. 塔里木盆地晚泥盆世—早石炭世东河砂岩沉积相[J]. 古地理学报,2004,6(3):289-296.

[6] 郭兰,唐华佳,徐正华,等. 轮古东地区石炭系东河砂岩段沉积相[J]. 西安石油大学学报(自然科学版),2010,25(3):23-26.

[7] 郭建华,朱美衡,刘辰生,等. 阿克库勒凸起东河砂岩的沉积相与层序地层[J]. 石油与天然气地质,2005,26(6):808-815.

[8] 顾家裕. 塔里木盆地石炭系东河砂岩沉积环境分析及储层研究[J]. 地质学报,1996,70(2):153-161.

[9] 田景春,彭军,陈高武,等. 塔里木盆地东河塘组层序地层学研究[J]. 地球科学与环境学报,2007,29(2):130-136.

[10] 肖朝晖,王招明,吴金才,等. 塔里木盆地石炭系层序地层划分及演化[J]. 石油实验地质,2011,33(3):244-248.

[11] 杨松岭,高增海. 塔里木盆地东河砂岩层序特征与分布规律[J]. 新疆石油地质,2002,23(1):35-37.

[12] 郭建华,曾允孚. 塔中地区石炭系东河砂岩层序地层研究[J]. 沉积学报,1996,14(2):56-65.

[13] 王月华,李勇,王利刚,等. 塔里木盆地群6井泥盆系东河塘组下段砂岩储层特征及非均质性影响因素[J]. 中国石油勘探,2010,15(3):17-21.

[14] 冯兴强,郑和荣,向赞. 塔里木盆地塔河地区泥盆系东河塘组储层特征及其含油气性[J]. 石油实验地质,2008,30(5):467-471.

[15] 郭建华,朱锐,周小康. 塔河地区西南缘东河砂岩的成岩作用与孔隙演化[J]. 中南大学学报(自然科学版),2006,37(3):572-578.

[16] 张峭楠,刘家铨,田景春,等. 塔里木盆地东河塘组砂岩储层发育的影响因素[J]. 成都理工大学学报(自然科学版),2004,31(6):658-662.

[17] 杨威,魏国齐,李宇平,等. 塔中40油田东河砂岩储层特征及其控制因素[J]. 新疆地质,2003,21(4):440-444.

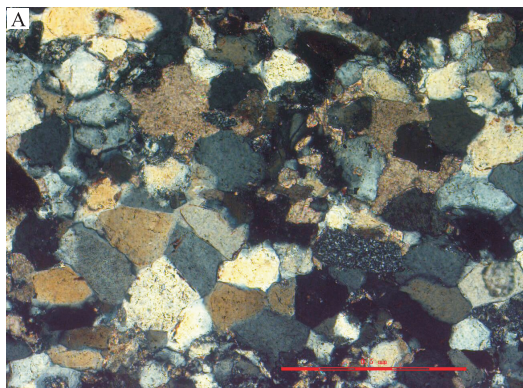
[18] 顾家裕,张兴阳,郭彬程. 塔里木盆地东河砂岩沉积和储层特征及综合分析[J]. 古地理学报,2006,8(3):285-294.

[19] 邵志兵,吕海涛,耿锋. 塔里木盆地麦盖提地区石炭系油藏地球化学特征[J]. 石油与天然气地质,2010,31(1):84-90.

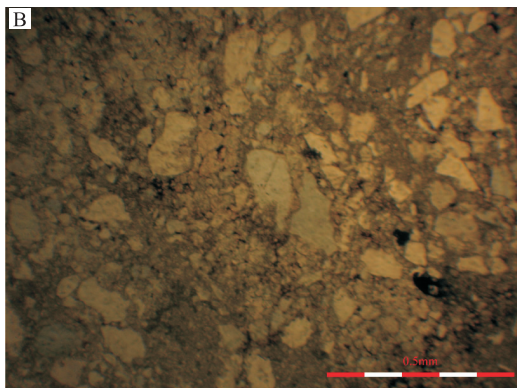
[20] 吕海涛,张仲培,邵志兵,等. 塔里木盆地巴楚—麦盖提地区早古生代古隆起的演化及其勘探意义[J]. 石油与天然气地质,2010,31(1):76-83.

[21] Scherer M. Parameters influencing porosity in sandstones: a model for sandstone porosity prediction [J]. AAPG Bulletin, 1987,71(5):485-491.

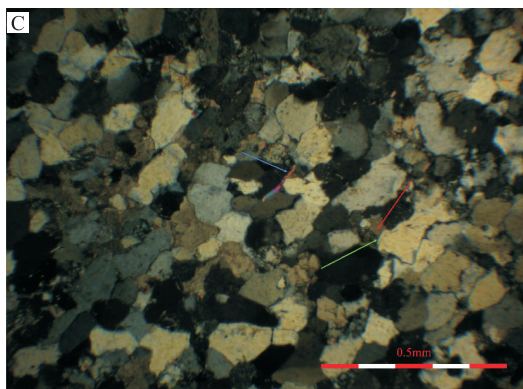
图 版



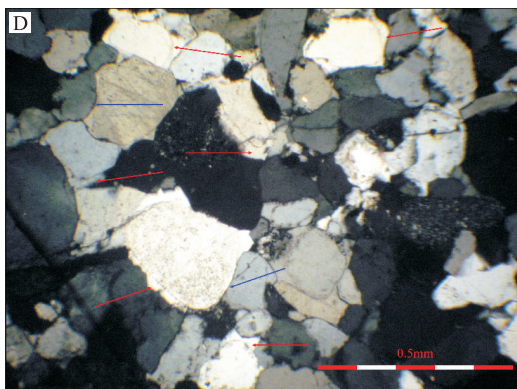
A. 玉2井, 3 700.80~3 700.91 m, D,d. 极细—细粒石英砂岩, 含铁泥质杂基, 约占1%, 岩屑约占3%, 主要成分为酸性喷出岩、凝灰岩、碳酸盐岩、泥岩。石英普遍具次生加大, 正交偏光。



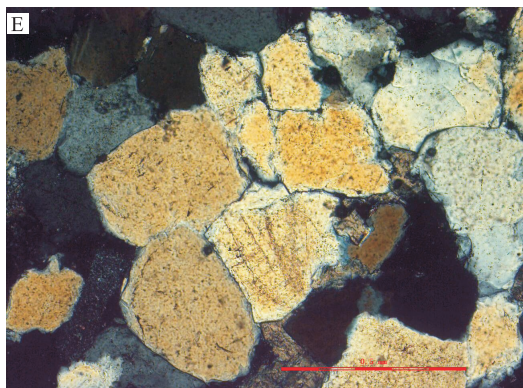
B. BK2井, 4 908 m, D,d. 云质中—细粒石英砂岩, 粒间白云石(泥晶为主, 少量粉晶)基质, 约占35%。白云石胶结物含量较少, 约占3%左右, 单偏光。



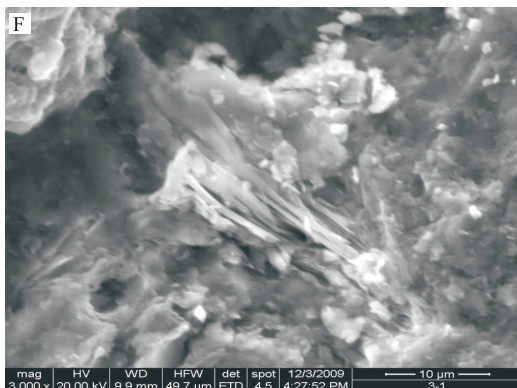
C. BK2井, 4 923 m, D,d. 细粒石英砂岩, 因压实作用使白云母片微弯曲变形(蓝色箭头所指), 碎屑多为线接触, 部分呈凹凸接触, 具石英次生加大(绿色箭头所指)和白云石胶结(红色箭头), 白云石具晶粒结构, 正交光。



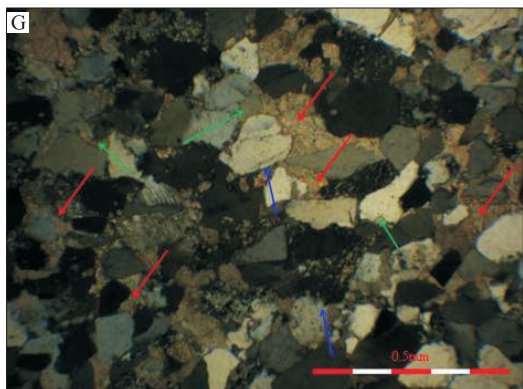
D. BK1井, 2 580 m, D,d. 中—粗粒石英砂岩, 石英普遍次生加大(红色箭头所指), 且石英加大边呈镶嵌状接触, 无方解石胶结物, 蓝色箭头所指为颗粒的线接触, 正交光。



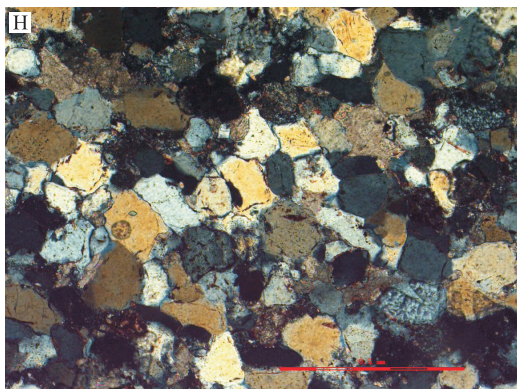
E. 玉2井, 3 660.46~3 660.55 m, 中粒石英砂岩, 石英普遍具次生加大, 发育粒间孔, 孔隙度约2%, 正交偏光。



F. BK8井, 4 923.27 m, D,d. 扫描电镜照片, 砂岩粒间主要充填物为粘土矿物, 以片状、絮状伊利石为主, 其产状为衬垫式, 见溶蚀孔。



G. BK2井, 5 190 m, D,d. 含灰质细—中粒岩屑石英砂岩, 见到硅质(蓝色箭头, 1%)、方解石(红色箭头, 12%)、白云石(绿色箭头, 2%)等3种胶结物, 正交光。



H. 玉2井, 3 699.24 m, D,d. 极细—细粒石英砂岩, 碎屑有明显溶蚀, 连晶方解石与碎屑颗粒接触有铁泥质残积物, 约占1%~2%, 正交光。