

## 塔里木盆地巴麦地区

# 东河塘组储集层特征与成岩作用

张永东, 邵志兵, 乔桂林, 韩 或

(中国石化 石油勘探开发研究院 无锡石油地质研究所, 江苏 无锡 214126)

**摘要:**通过普通薄片、铸体薄片、扫描电镜以及测井等分析手段,对巴麦地区东河塘组上砂岩段和下砂岩段的沉积特征、岩石学特征、成岩作用进行了详细分析。东河塘组沉积环境为滨岸相,具有较高的成分成熟度和结构成熟度,且上砂岩段的成分成熟度和结构成熟度都要高于下砂岩段。储集空间类型主要为溶蚀孔隙,其分布主要受粒度和粒间胶结物的影响,粒度较粗和钙质胶结的砂岩段溶蚀孔隙发育。主要的成岩作用为压实、胶结、胶结物溶蚀、石英颗粒碱性溶蚀、交代、重结晶以及构造破裂。根据成岩阶段划分标准,东河塘组处在中成岩阶段的 B 期。

**关键词:**成岩作用;储集特征;东河塘组;巴麦地区;塔里木盆地

中图分类号:TE122.2

文献标识码:A

## Reservoir characteristics and diagenesis of Devonian Donghetang Formation in Bachu-Maigaiti area

Zhang Yongdong, Shao Zhibing, Qiao Guilin, Han Yu

(Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214126, China)

**Abstract:** According to the analyses of rock slice, cast slice, SEM and well logging data, the sedimentary, petrologic characteristics and diagenesis of the upper and the lower sandstone segments of the Donghetang Formation in the Bachu-Maigaiti area were studied. Deposited in littoral environment, the Donghetang Formation was featured by higher compositional maturity and textural maturity, and both of the 2 maturities were higher in the upper sandstone segment than in the lower one. Dissolution pores served as the main reservoir space, and their distribution was determined by grain size and intergranular material. For example, the dissolution pores were well developed in the sandstone segment with bigger grain size and calcareous cementation. The most important diagenesis effects included compaction, cementation, cement dissolution, quartz alkali dissolution, metasomasis, recrystallization and structure cataclasis. According to the division standard of diagenetic phase, the Donghetang Formation was in the B stage of middle phase.

**Key words:** diagenesis; reservoir property; Donghetang Formation; Bachu-Maigaiti area; Tarim Basin

塔里木盆地哈拉哈塘凹陷的东河 1 井在上泥盆统东河砂岩获得油气突破,建立了东河塘油气田,开始了针对泥盆系东河塘组的油气勘探,东河塘组从此成为一个重要的油气勘探层位<sup>[1-4]</sup>。而对于东河塘组的地层归属问题,一直存在着不同的认识。顾家裕等<sup>[5]</sup>和郭建华等<sup>[6]</sup>认为其是石炭系底部的海侵体系域沉积,朱怀诚等<sup>[7]</sup>在塔中 45 井发现 Placoderm 鱼化石,认为应归晚泥盆世。从层序划分和海平面变化的角度,东河塘组是克孜尔塔格组风化剥蚀后海水侵入而沉积的,与下伏地层为

不整合关系,与石炭系为整合或假整合关系,本文采用这种划分方案。

巴麦地区位于塔里木盆地的西南部(图 1),泥盆系在该区域自下而上分布有中下泥盆统克孜尔塔格组、上泥盆统东河塘组。近年来,麦盖提斜坡西部、色力布亚断裂带下降盘南平台区,已有多口钻井钻遇泥盆系并获得工业油气流。在麦盖提斜坡西部地区众多钻井井下揭示,泥盆系东河塘组为 2 套砂岩夹薄层泥岩。砂岩段颜色以灰色、深灰色为主。下砂岩段厚度由西往东逐渐减薄,至巴开 1 井

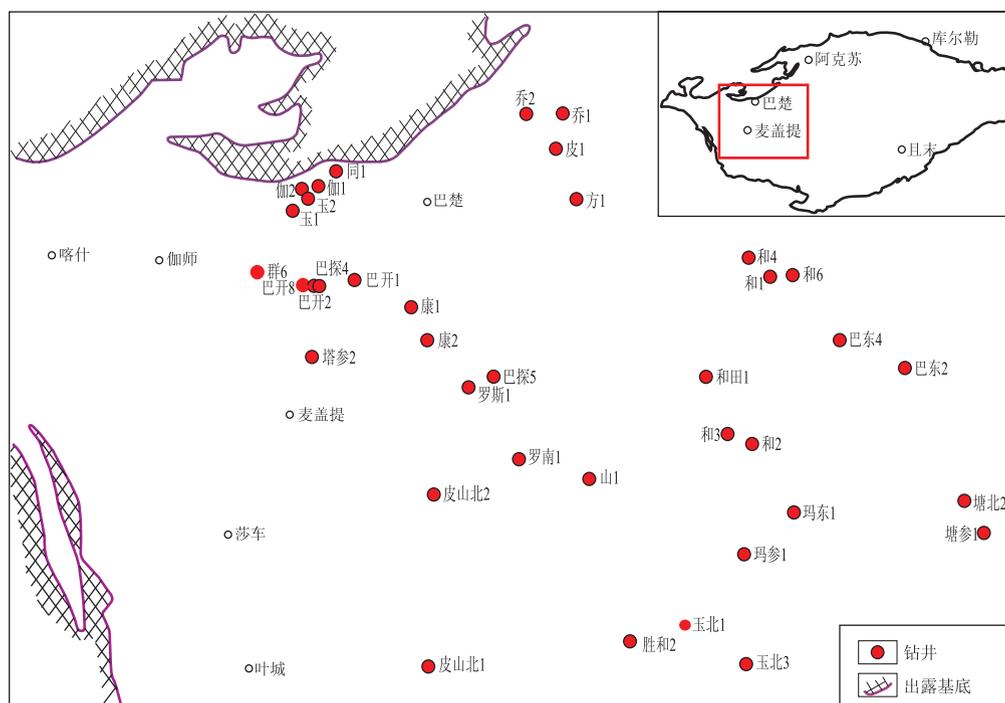


图1 塔里木盆地巴麦地区位置及井位

Fig.1 Location and well distribution in Bachu-Maigaiti area, Tarim Basin

附近尖灭,在群6井附近厚度达到100 m;上砂岩段厚度比较稳定,在30 m左右。泥岩以褐色、棕色以及深灰色为主,厚度在40 m左右。

## 1 沉积特征

晚泥盆世法门期开始,伴随着全球性海平面的上升,巴麦地区经历了一次大规模的海侵历史,海水自西向东推进<sup>[8-10]</sup>。岩心观察显示,东河塘组砂岩的沉积构造主要为冲流交错层理和平行层理,其次为波状交错层理、水平层理,偶见递变层理。

对研究区近20口井的单井相进行分析,通过测井曲线以及岩电特征的对比,可以从下往上对东河塘组依次划分出上临滨亚相、下临滨亚相、浅海相、下临滨亚相以及上临滨亚相。东河塘组整体是一个三级层序,下砂岩段、中泥岩段、上砂岩段分别是低位体系域、海侵体系域、高位体系域。下砂岩段测井曲线自然伽马范围为51.8~96.9 API,是水体进积的过程,电测曲线为齿化漏斗形,属于宽幅齿化,水体能量逐渐变强,海平面逐渐下降;中泥岩段自然伽马范围为108.47~191.8 API,呈微齿化的箱形,海平面范围达到最大,沉积了一套棕色和棕褐色的泥岩;上砂岩段自然伽马曲线范围为28.2~101.8 API,为水体进积的过程,曲线形态为低幅钟形,海平面逐渐升高。

对巴开8、巴探5、巴探4井的粒度分析显示,

概率曲线呈现两个总体特征,跳跃总体和悬浮总体。跳跃总体的两段式指示为波浪冲流和回流的两种沉积作用,曲线中滚动组分很少、甚至缺失,为典型的滨岸沉积环境曲线特征。粒度主要以细粒为主,概率在50%左右,其次为极细粒、粉粒和中粒,此外,概率曲线显示出跳跃总体斜率较大,表明分选较好。

## 2 岩石学特征

从岩石组成分析,东河塘组石英含量主要分布在75%~90%,最高达到98%,成分成熟度高(图2)。按照GB/T17412.2-1998DE砂岩分类标准,上砂岩段主要以石英砂岩为主(样本数37个);下砂岩段主要以岩屑石英砂岩和长石石英砂岩为主(样本数54个)。从成分成熟度上比较,上砂岩段比下砂岩段要高,磨圆度为次圆-一次棱次圆,支撑类型为颗粒支撑。

## 3 物性特征及储集空间类型

对巴开8、巴探4、巴探5、和4井等泥盆系砂岩实测孔隙度和渗透率统计分析表明(图3),孔隙度分布范围为2%~16%,平均为5%;渗透率一般小于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,其中巴开8井渗透率较大,主要范围为 $(1 \sim 20) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,巴开8、和4、以探5井孔渗数据相关性较好,而巴探4井相关性差,这

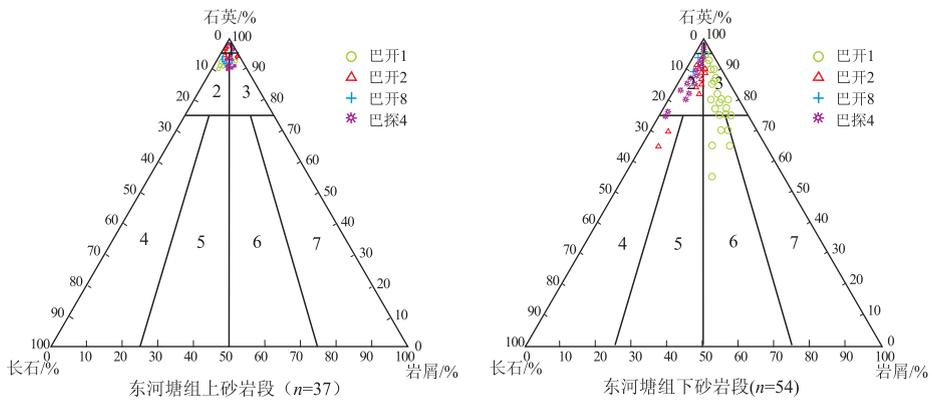


图 2 塔里木盆地巴麦地区东河塘组砂岩成分三角图

Fig.2 Triangular diagram of sandstone content in Donghetang Formation, Bachu-Maigaiti area, Tarim Basin

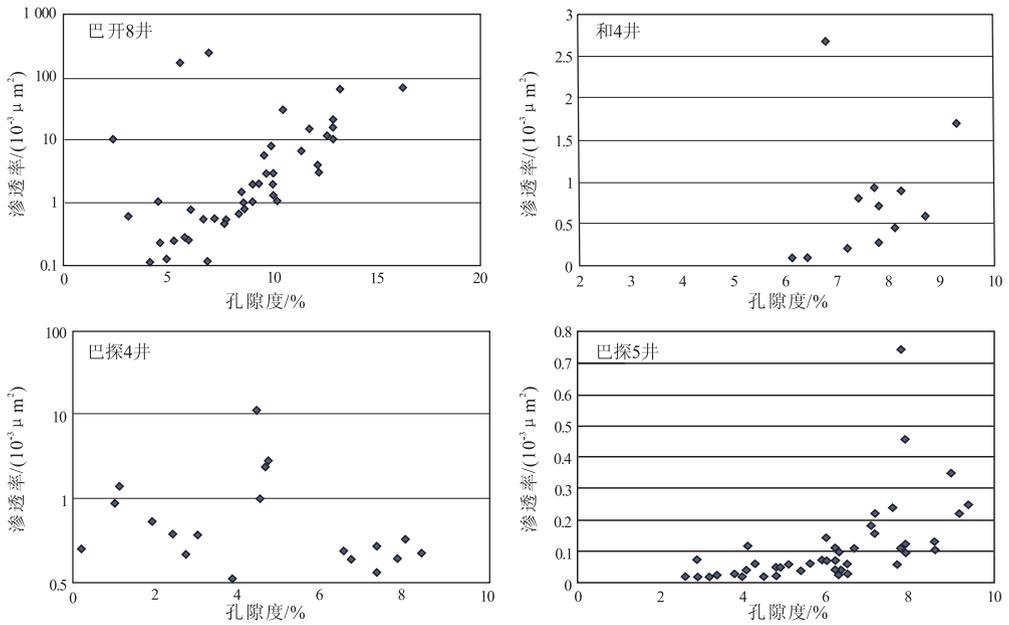


图 3 塔里木盆地巴麦地区东河塘组砂岩孔隙度与渗透率关系

Fig.3 Relationship between porosity and permeability of Donghetang Formation, Bachu-Maigaiti area, Tarim Basin

可能与其砂岩中间夹有薄层的泥岩段相关,黏土矿物的存在阻碍了孔隙之间的连通性,从而渗透率相对较低。通过对东河塘组物性的分析,根据碎屑岩储层评价标准 SY/T 5717-95,东河塘组储层属于中孔—低孔、低渗—特低渗储层。

塔中东河砂岩储层则是孔隙度为 10%~28% 的优质储层,其沉积相主要为河口湾、三角洲和滨岸沉积,砂质纯净,砂砾粗<sup>[11]</sup>。方解石的大规模胶结作用在成岩早期阻止了压实作用的进一步进行,为岩石孔隙系统的形成奠定了物质基础。方解石胶结物被溶蚀产生的孔隙是主要的储集空间<sup>[12-13]</sup>。但是在塔中地区溶蚀作用平面分布具有不均一性,在塔中 6 井区溶蚀作用最强,为次生孔隙储层;在塔中 4 井区,溶蚀作用最弱,以原生孔隙为主<sup>[14]</sup>。而在巴麦地区东河塘组中与之不同的是

压实作用强烈,原生孔隙损失巨大,后期次生孔隙改善有限,这是塔中和巴麦东河砂岩储层物性差异的主要原因。

通过镜下孔隙统计,储集空间主要有 4 种:原生粒间孔隙、粒间溶孔、粒内溶孔以及裂隙,所占比例依次为 7%、62%、23% 和 8% (图 4)。

## 4 成岩作用

### 4.1 主要成岩作用

成岩作用在埋藏过程中对储层有深刻的影响,其中主要的成岩作用有压实作用、胶结作用、溶蚀作用,其次为交代作用、重结晶作用和构造碎裂作用,其中影响最大的为压实作用、胶结作用以及溶蚀作用。

#### 4.1.1 压实作用

随着埋藏深度的增加,上覆地层的重力使得砂

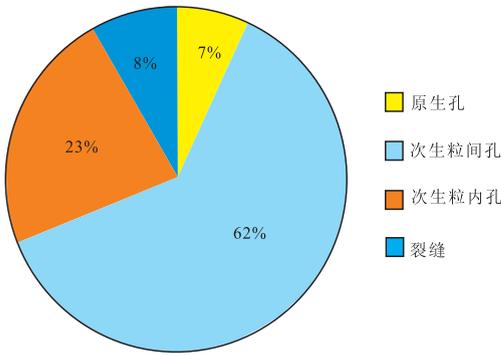


图 4 塔里木盆地巴麦地区东河塘组储集空间类型所占比例

Fig.4 Proportion of different pore types of Donghetang Formation, Bachu-Maigaiti area, Tarim Basin

岩颗粒表现出更强烈的压实作用,颗粒之间以线接触为主,其次为凹凸接触和点接触。线接触和凹凸接触主要发育在上砂岩段,其中线接触占 60%,凹凸接触占 30%,点接触占 10%(统计薄片数量 17 片得出);在下砂岩段主要以线接触和点接触为主,凹凸接触很少,线接触占 45%,点接触占 45%,而凹凸接触占 5%(共统计薄片数量 32 片)。上砂岩段压实作用的强度大于下砂岩段,主要和胶结物的含量有关,上砂岩段的胶结物含量小于下砂岩段胶结物的含量。压实作用的强烈发育,对于原生孔隙和次生孔隙的保存都有不利影响,是造成碎岩储层低孔低渗的重要因素<sup>[15-16]</sup>。

#### 4.1.2 胶结作用

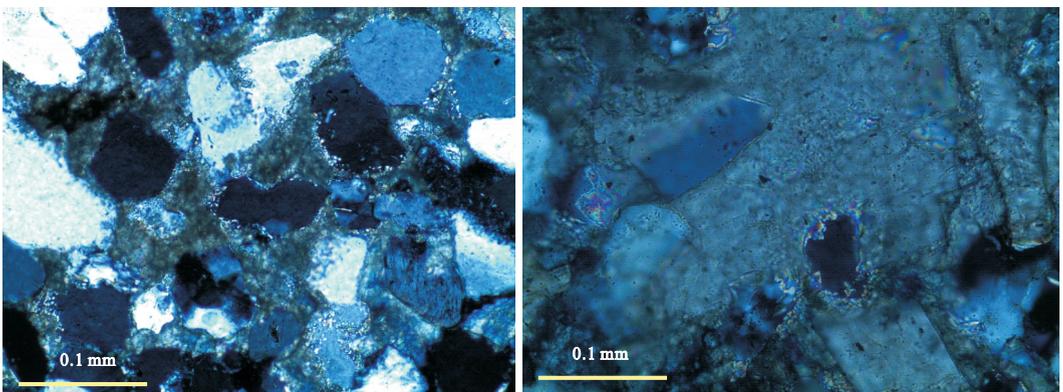
胶结作用作为一种破坏性的成岩作用,在泥盆系地层中发育很普遍。胶结的主要类型是孔隙式胶结,局部为基底式胶结。在东河塘组地层中胶结物主要表现为白云石胶结,少量石英次生加大和黏土矿物。通过巴开 8 井、巴探 4 井、巴探 5 井泥盆系石英砂岩胶结物含量的统计发现,巴开 8 井以云质胶结物为主,其次是少量的石英次生加大胶结;

巴探 4 井则主要以石英次生加大为主,局部层段以灰质胶结为主;巴探 5 井则硅质胶结和钙质胶结基本含量相同。黏土矿物胶结一般在镜下表现为颗粒周边的环形包壳或衬垫,有伊/蒙混层、绿泥石和伊利石。随着黏土矿物含量的不断增加,会堵塞喉道或者占据孔隙,对储层产生负面影响,也对于后期的钙质胶结和石英次生加大有抑制作用<sup>[17]</sup>。

#### 4.1.3 溶蚀作用

酸性流体和碱性流体都可以产生溶蚀。酸性流体主要溶蚀钙质胶结物,其次为长石和碳酸盐岩屑;碱性流体溶蚀石英、硅质岩屑等,从而形成“酸性+碱性”叠加溶蚀共同控制储层质量<sup>[18]</sup>。酸性溶液 pH 值在小于 6 时就可以产生溶蚀,而碱性溶液在 pH 值大于 8 时才可以溶蚀。东河塘组产生的粒间溶蚀孔和粒内容蚀孔主要是酸性流体溶蚀形成的。而通过镜下观察以及扫描电镜分析发现,石英等硅质矿物也有溶蚀,在镜下表现为有锯齿状和港湾状的边缘(图 5),这是碱性溶蚀的典型特点<sup>[19]</sup>。

在地层的沉积和埋藏过程中,地层水会不断变化其性质,并与岩石发生水岩反应,这一过程贯穿于成岩作用的早成岩阶段到晚成岩阶段。有机质成熟会产生大量有机酸,地层水的 pH 值会降低。然而地层中存在的细菌以及各种水岩反应,会使得地层水的 pH 值慢慢变高,并逐渐成为碱性的地层流体环境。蔡春芳等<sup>[20]</sup>研究认为,当地层温度小于 80 °C 时,有机质成熟过程中形成的有机酸被细菌大量消耗,因为这一温度下细菌的活动很活跃。随着地层温度逐渐升高到 90 °C 左右,有机质逐渐开始成熟,大量的湿气和凝析油会伴随着生成,这个过程会抑制有机质的脱羧基作用,二氧化碳也逐渐减少,地层流体的性质慢慢开始由酸性转变为碱性,由此地层环境也进入到一个碱性的成岩流体环境<sup>[21]</sup>。



巴开 8 井, 4951.45 m(左), 4958.95 m(右), 石英边缘港湾状溶蚀, 正交光, ×40

图 5 塔里木盆地巴麦地区巴开 8 井石英颗粒边缘被溶蚀为港湾状和锯齿状

Fig.5 Embayment and saw toothed of quartz grain edge in well BK8 in Bachu-Maigaiti area, Tarim Basin

刘宝珺等<sup>[22]</sup>的研究也认为,在地层沉积的同生作用带时期,地层环境是氧化环境,流体性质为酸性,但是随着深度不同而形成的不同成岩作用带会形成还原的地层环境,厌氧细菌的活动会使得流体逐渐变为碱性,pH值可以升高到9。另外,方解石和白云石是酸不稳定矿物,其只有在碱性流体环境下才会沉淀形成。在很多碎屑岩储层中,粒间胶结常出现方解石和白云石,并且有早期的方解石和白云石胶结和晚期的方解石和白云石胶结,这证明碱性流体不但的确存在过,而且具有多期活动<sup>[23]</sup>。

根据本地区现存孔隙的统计,主要是酸性溶蚀产生的孔隙为主,而且主要分布在巴开8井和巴开7井区,碱性溶蚀产生的孔隙基本被后期的胶结物充填。酸性溶蚀主要溶蚀粒间的钙质胶结物,而钙质胶结物主要分布在粒度粗的细砂岩和中砂岩中,粉砂岩粒间主要为黏土杂基。在本地区细砂岩呈层状分布,所以溶蚀孔隙也有层状分布的特点。孔隙的保存主要与后期没有发生大规模的胶结作用有关。而胶结作用和压实作用则在整个研究区中都普遍发育,在没有溶蚀作用改造的地区,储层物性均较差。胶结作用在成岩早期就普遍发育,而本地区的溶蚀作用都是埋藏溶蚀,主要在早成岩晚期或晚成岩早期发生。

#### 4.1.4 交代作用

交代作用主要为方解石胶结物交代石英、长石颗粒,交代发育程度较强的则将整个石英和长石颗粒进行交代,颗粒的形状仍然保持原状,但在显微镜下观察,光性特征则表现为方解石的光性特征。交代作用一般发育在钙质胶结为主要胶结方式的石英砂岩中,在硅质胶结为主的石英砂岩中则很少发育。

#### 4.1.5 重结晶作用

重结晶作用主要是钙质胶结物的重结晶。在方解石充填粒间孔隙初期,方解石一般为泥晶,粒径小于0.03 mm。在成岩的中期,泥晶逐渐发生重结晶作用,成为粉晶方解石,并且在重结晶发育的石英砂岩中,方解石一般呈连晶产状,形成基底式胶结。

#### 4.1.6 构造碎裂作用

本区储层中的水平裂缝以及高角度裂缝是受到构造的挤压作用产生的。通过对玉2井岩心观察,本区裂缝一般有至少2期,第一期为低角度裂缝,第二期为高角度裂缝。第一期低角度裂缝基本已经充填沥青,而第二期高角度裂缝基本半充填或者未充填,充填物为沥青和黄铁矿。

## 4.2 成岩阶段划分

根据石油天然气行业碎屑岩成岩阶段划分的标准(SY/T 5477-2003),对泥盆系东河塘组的成岩阶段进行确定,颗粒之间以线接触为主,其次为凹凸接触和点接触,岩石的支撑类型为颗粒支撑。黏土矿物组成主要有伊利石、绿泥石以及伊/蒙混层,三种组成含量中伊/蒙混层含量最高,可达83%,其次为伊利石,含量最少的为绿泥石。扫描电镜观察发现存在铁白云石的晶体,铁白云石的出现是在埋藏成岩环境下的成岩标志之一。根据成岩阶段划分标准,确定泥盆系东河塘组处在中成岩阶段B期。

## 5 结论

(1) 巴楚地区泥盆系东河塘组储层主要岩性为细粒石英砂岩、细粒岩屑石英砂岩和细粒长石石英砂岩,上砂岩段的成分成熟度和结构成熟度要好于下砂岩段,粒度以细粒为主,其次为极细粒和中粒。

(2) 储层的主要储集空间为次生粒间孔和次生粒内孔,其次为原生孔隙和裂缝,溶蚀孔隙的分布除了受到溶蚀流体分布的影响外,还受粒度和胶结物类型的影响,粒度较粗以及粒间为胶结物而非杂基的层段,溶蚀孔隙相对较发育。

(3) 溶蚀作用有酸性溶液溶蚀和碱性溶液溶蚀2种类型,在巴开8井中有大量石英颗粒被溶蚀呈锯齿状和港湾状的证据,但产生的溶蚀孔隙被后期的方解石或白云石充填,现存的孔隙为酸性溶蚀产生的孔隙。

### 参考文献:

- [1] 康玉柱,张文献,蒋炳南,等.中国塔里木盆地石油地质特征及资源评价[M].北京:地质出版社,1996.  
Kang Yuzhu, Zhang Wenxian, Jiang Bingnan, et al. Characteristics of China Tarim basin resource evaluation[M]. Beijing: Geological Press, 1996.
- [2] 康玉柱.塔里木盆地古生代海相油气田[M].武汉:中国地质大学出版社,1992.  
Kang Yuzhu. Paleozoic marine oil and gas fields in Tarim basin[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1992.
- [3] 李建交,曹自成,岳勇.塔里木盆地巴楚隆起泥盆系东河砂岩成岩作用研究[J].石油实验地质,2012,34(2):125-128.  
Li Jianjiao, Cao Zicheng, Yue Yong. Diagenesis of Devonian Donghetang sandstones in Bachu Uplift, Tarim Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2012, 34(2): 125-128.
- [4] 康玉柱.中国新疆地区油气地质特征及资源评价[M].乌鲁木齐:新疆科技卫生出版社,2001.  
Kang Yuzhu. Petroleum geology and resource assessment in China Xinjiang area[M]. Urumqi: Xinjiang Science and Health Press, 2001.

- [5] 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].古地学报,2006,8(3):285-294.  
Gu Jiayu, Zhang Xingyang, Guo Bincheng. Sedimentation and reservoir characteristics and comprehensive analysis of Tarim Donghetang formation[J]. Palaeogeography, 2006, 8(3): 285-294.
- [6] 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.  
Guo Jianhua, Zhu Meiheng, Liu Chensheng, et al. Sedimentary facies and sequence stratigraphy of Donghe sandstone in Akekule Uplift[J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(6): 808-815.
- [7] 朱怀诚,罗辉,王启飞,等.论塔里木盆地“东河砂岩”的地质时代[J].地层学杂志,2002,26(3):197-201.  
Zhu Huaicheng, Luo Hui, Wang Qifei, et al. The age of the Donghe sandstone in the Tarim basin[J]. Journal of Stratigraphy, 2002, 26(3): 197-201.
- [8] 徐智,黄波,郑军锋.塔里木盆地哈拉哈塘地区东河砂岩段一角砾岩段储层研究[J].石油天然气学报,2010,32(3):189-192.  
Xu Zhi, Huang Bo, Zheng Junfeng. The study of Donghe formation sandstone and breccia section in Halahatang region, Tarim Basin[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2010, 32(3): 189-192.
- [9] 吴礼明,丁文龙,赵松,等.塔里木盆地巴楚—麦盖提地区古构造研究[J].断块油气田,2012,19(1):6-11.  
Wu Liming, Ding Wenlong, Zhao Song, et al. Palaeotectonic analysis in Bachu-Markit Area, Tarim Basin[J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2012, 19(1): 6-11.
- [10] 姚文倩,汤良杰,谢大庆,等.塔里木盆地色力布亚断裂带变形特征和演化史[J].石油与天然气地质,2013,34(4):522-527.  
Yao Wenqian, Tang Liangjie, Xie Daqing, et al. Deformation and tectonic evolution of the Selibuya fault zone in Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(4): 522-527.
- [11] 张琴,庞正炼,葛明娜.塔中泥盆系东河砂岩油气成藏及有利区预测[J].西安石油大学学报:自然科学版,2012,27(5):1-7.  
Zhang Qin, Pang Zhenglian, Ge Mingna. Hydrocarbon accumulation and favorable area prediction of Donghe Formation in Tazhong area[J]. Journal of Xi'an Shiyu University: Natural Science Edition, 2012, 27(5): 1-7.
- [12] 郑秀才.塔中地区东河砂岩的成岩作用和孔隙演化[J].西安地质学院学报,1997,19(2):34-40.  
Zheng Xiucan. Diagenesis and porosity evolution of the Donghe sandstone in the central Tarim Basin[J]. Journal of Xi'an College of Geology, 1997, 19(2): 34-40.
- [13] 李会军,吴泰然,吴波,等.中国优质碎屑岩深层储层控制因素综述[J].地质科技情报,2004,23(4):76-82.  
Li Huijun, Wu Tairan, Wu Bo, et al. Distribution and controlling factors of high quality clastic deeply buried reservoirs in China[J]. Geological Science and Technology Information, 2004, 23(4): 76-82.
- [14] 朱筱敏,顾家裕,贾进华,等.塔里木盆地重点层系储盖层评价[M].北京:石油工业出版社,2003.  
Zhu Xiaomin, Gu Jiayu, Jia Jinhua, et al. Focus reservoir and cap formation evaluation in Tarim Basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003.
- [15] 梅梓,秦启荣,王时林.巴喀西山窑组致密砂岩储层特征及主控因素[J].吐哈油气,2012,17(2):101-105.  
Mei Zi, Qin Qirong, Wang Shilin. Characteristics and main control factors of tight sandstone reservoirs in Baka J<sub>2x</sub>[J]. Tu Ha Oil and Gas, 2012, 17(2): 101-105.
- [16] 唐海发,彭仕宓,赵彦超,等.致密砂岩储层物性的主控因素分析[J].西安石油大学学报,2007,22(1):59-63,58.  
Tang Haifa, Peng Shimi, Zhao Yanchao, et al. Analysis of main control factors of the physical property of tight sandstone reservoir[J]. Journal of Xi'an Shiyu University: Natural Science Edition, 2007, 22(1): 59-63, 58.
- [17] 朱彤.成岩作用对致密砂岩储层储集性的控制作用研究:以川西新场气田上沙溪庙组气藏为例[J].成都理工学院学报,1999,26(2):157-160.  
Zhu Tong. Control of diagenesis on the tight sandstone reservoir: Taking the gas reservoir of Upper Shaximiao Formation in Xinchang gas field, Western Sichuan Basin as an example[J]. Journal of Chengdu University of Technology, 1999, 26(2): 157-160.
- [18] 王京,赵彦超,刘琨,等.鄂尔多斯盆地塔巴庙地区上古生界砂岩储层“酸性+碱性”叠加溶蚀作用与储层质量主控因素[J].地球科学:中国地质大学学报,2006,31(2):221-228.  
Wang Jing, Zhao Yanchao, Liu Kun, et al. Superimposing controls of acidic and alkaline dissolutions on sandstone reservoir quality of the Paleozoic Xiashihezi and Shanxi Formations in Tabamiao area, Ordos Basin[J]. Earth Science: Journal of China University of Geosciences, 2006, 31(2): 221-228.
- [19] 韩登林,李忠,李伟峰.库车坳陷白垩系砂岩储层石英溶蚀非均质性特征及其主控因素[J].地质学报,2011,85(2):256-261.  
Han Denglin, Li Zhong, Li Weifeng. Heterogeneous features of quartz grain dissolution of cretaceous sandstone reservoir in the Kuqa depression and its major controlling factors[J]. Acta Geologica Sinica, 2011, 85(2): 256-261.
- [20] 蔡春芳,梅博文,马亭,等.塔里木盆地有机酸来源、分布及对成岩作用的影响[J].沉积学报,1997,15(3):103-109.  
Cai Chunfang, Mei Bowen, Ma Ting, et al. The source, distribution of organic acids in oilfield waters and their effects on mineral diagenesis in Tarim basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1997, 15(3): 103-109.
- [21] Sullivan K B, McBride E F. Diagenesis of sandstones at shale contacts and diagenetic heterogeneity, Frio Formation, Texas[J]. AAPG Bulletin, 1991, 75(1): 121-138.
- [22] 刘宝珺,张锦泉.沉积成岩作用[M].北京:科学出版社,1992:6-8,74-84.  
Liu Baojun, Zhang Jinquan. Sedimentary diagenesis[M]. Beijing: Science Press, 1992: 6-8, 74-84.
- [23] 邱隆伟,赵伟,刘魁元.碱性成岩作用及其在济阳坳陷的应用展望[J].油气地质与采收率,2007,14(2):10-15.  
Qiu Longwei, Zhao Wei, Liu Kuiyuan. Alkaline diagenesis and its application in Jiyang Depression[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2007, 14(2): 10-15.