

文章编号: 0253-9985(2005)06-0808-08

阿克库勒凸起东河砂岩的沉积相与层序地层

郭建华¹, 朱美衡¹, 刘辰生¹, 石媛媛²

(1 中南大学地学与环境工程学院, 湖南长沙 410083)

(2 中国石化西北分公司勘探开发研究院, 新疆乌鲁木齐 830011)

摘要: 阿克库勒地区东河砂岩包括了含泥砾砂岩、分选好的中-细粒砂岩、粉砂岩及泥岩, 是一个具有完整海侵-海退旋回的标准层序, 顶、底分别为两个不整合面所限, 为 iv 型层序边界。东河砂岩自下而上明显地分为低位体系域、海侵体系域与高位体系域。由于低位体系域是陆上河流的充填沉积, 因此, 盆地内低位体系域不发育, 分布局限。海侵体系域主要为受潮汐控制的滨岸沉积, 由一系列向上变浅和变细的副层序堆积成退积的副层序组, 副层序由下部的潮下砂坝向上逐渐变化为潮间砂坪、砂泥混合坪及泥坪。高位体系域主要分布于东河砂岩的上段, 由于东河砂岩的不断沉积, 在达到最大海泛面之后, 滨岸带海水循环畅通, 形成了以波浪作用为主的浪控滨岸沉积体系, 主要是以分选好的灰白色中-细粒砂岩为特征, 构成了特色十分鲜明的“东河砂岩”。

关键词: 沉积相; 潮控滨岸; 浪控滨岸; 层序地层; 东河砂岩; 塔里木盆地

中图分类号: TE112.2 **文献标识码:** A

Sedimentary facies and sequence stratigraphy of Donghe Sandstone in Akekule Uplift

Guo Jianhua¹, Zhu Meiheng¹, Liu Chensheng¹, Shi Yuanyuan²

(1 South-Central University, Changsha, Hunan;

(2 Petroleum Exploration and Development Research Institute, Northwest Branch Company, SINOPEC, Urumqi, Xinjiang)

Abstract Donghe sandstone in Akekule, composed of mud-pebbly sandstone, well sorted medium- to fine-grained sandstones, siltstone and mudstone, is a normal sequence with a complete transgressive-regressive cycle, the top and bottom of which are defined by unconformities, i.e., type iv sequence boundaries. Donghe sandstone can evidently be divided, from bottom to top, into lowstand system tract, transgressive system tract and highstand system tract. As the lowstand system tract is subaerial fluvial deposit, it is underdeveloped in the basin with limited distribution. The transgressive system tract is mainly composed of shore deposit controlled by tide. A series of shallowing and fining upward parasequences constitute the retrograding parasequence group. The parasequences gradually change upward from subtidal sandbar in the lower part to intertidal sand flat, mixed sand and mud flat, and mud flat. The highstand system tract is mainly distributed in the upper Donghe sandstone. During the continuous deposition of Donghe sandstone, the inshore sea water circulated smoothly and unimpededly after the largest marine flooding surface was reached, leading to the formation of wave-controlled shore deposition system with wave action as the main geologic agent, which is mainly characterized by grayish white medium- to fine-grained sandstone. They constitute the characteristic “Donghe sandstone”.

Key words sedimentary facies; tide-controlled shore; wave controlled shore; sequence stratigraphy; Donghe sandstone; Tarim basin

基金项目: 湖北省教育厅自然科学基金资助项目 (2000A51007); 中国石油与天然气总公司中青年创新基金资助项目 (99-07)

第一作者简介: 郭建华, 男, 48 岁, 教授 (博士生导师), 石油与天然气地质

收稿日期: 2005-09-14

近十多年来, 东河砂岩一直是塔里木盆地的勘探热点之一。随着勘探与研究程度的不断深入, 人们对东河砂岩的层序^[1 2]、沉积特征^[3 4]、储层特征^[5~8]、平面展布及其与油气关系的认识也越来越清楚, 并积累了大量的资料和丰富的经验, 发表了大量的学术论文。但目前就东河砂岩的时代、沉积特征与沉积环境、沉积旋回性与层序地层等方面还存在着较大的分歧和争议。笔者曾对塔中地区和满西地区的东河砂岩进行过详细的研究, 结合本区东河砂岩前人的研究成果, 塔里木盆地东河砂岩是形成于一个统一的海平面升降旋回期, 沉积旋回与层序在盆地内具有极好的可对比性。但不同地区东河砂岩的古环境及古地貌格局存在较大的差异, 表现在各地区东河砂岩具有明显不同的沉积岩相或沉积特征, 因此, 各地区东河砂岩储集物性及含油性也有明显的差异^[9]。

1 概况

阿克库勒凸起位于塔里木盆地北部沙雅隆起中南部, 北为雅克拉断凸, 西与哈拉哈塘凹陷相邻, 东为草湖凹陷, 向南以斜坡过渡到顺托果勒低隆起, 面积达 5 800 km²。自加里东运动中期该凸起开始发育, 表现为由北向南倾伏的鼻状凸起; 海西运动早期演化为北东走向的大型鼻凸^[10 11], 凸起之上大部分地区缺失志留-泥盆系及中上奥陶统和部分下奥陶统。其上超覆沉积了下石炭统。作为晚泥盆世沉积的东河砂岩^[12~14], 主要是分布在该凸起的西部与西南部, 最大厚度 96 m, 由西南向东北方向变薄直至尖灭(图 1)。

2 沉积相分析

2.1 岩石学特征

塔里木盆地东河砂岩普遍印象是一套以灰白色为主、沉积于滨岸环境、分选极好的厚层中细砂

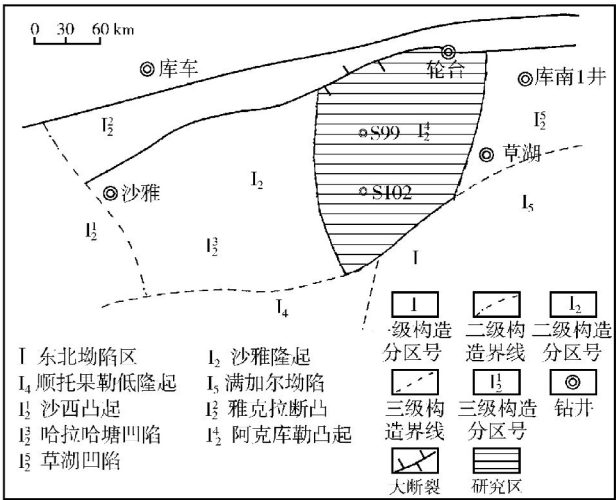


图 1 阿克库勒地区构造区划与位置图
Fig. 1 Geotectonic and location map of Akekule area

岩。通过笔者多年对东河砂岩的研究表明^[1 15 16], 在不同地区、不同层位东河砂岩的岩性及岩石学特征差异较大。阿克库勒地区东河砂岩更具有其特殊性, 表现在岩石类型多样, 并出现大量的泥质岩类, 较粗的砂岩与细粒的泥岩类层段分布明显。这些特征反映了该地区东河砂岩沉积时的古地理地貌特征及海平面升降旋回过程中对沉积的控制作用。

2.1.1 岩石类型

通过岩心观察、薄片鉴定、结合 X 射线分析, 区内的主要岩石类型有砂岩、粉砂岩、泥岩以及泥、粉砂的过渡岩类, 见少量的细砾岩与含砾砂岩夹层。表 1 列出区内几口井的东河砂岩的岩性统计。

东河砂岩常见的沉积构造有平行层理、冲洗交错层理、单斜层理、槽状交错层理、沙纹层理、水平层理、双向(人字)交错层理、脉状层理、生物钻孔与生物扰动、泥裂及冲刷构造等。但不同的岩石类型具有不同的沉积构造类型及组合。

表 1 阿克库勒地区东河砂岩各井岩性统计表
Table 1 Statistics of lithology of the Donghe sandstone in wells drilled in Akekule Area

井号	总厚度 /m	砾岩-砾质砂岩		砂岩		粉砂岩-泥质粉砂岩		泥岩	
		累厚 /m	含量 /%	累厚 /m	含量 /%	累厚 /m	含量 /%	累厚 /m	含量 /%
S30	44.0	0	0	22.0	50.0	6.4	14.5	15.6	35.5
S98	43.0	0	0	14.7	34.2	12.9	30.0	15.4	35.8
S99	76.0	9.8	12.9	45.4	59.8	15.9	20.9	4.9	6.4
S102	50.5	0	0	21.4	42.3	6.6	13.1	22.5	44.6
X3	94.5	4.0	4.2	23.5	24.9	56.4	59.7	10.6	11.2

砂岩类: 主要呈灰白、灰褐色, 部分砂岩呈紫红色。按三端元组分含量及粒径大小, 区内的砂岩类型主要为中-细粒石英砂岩, 长石质石英砂岩, 长石砂岩与岩屑质长石砂岩 (图 2), 长石质岩屑砂岩较少。砂岩呈中厚层状, 以灰白色为主。常见的沉积构造有中小型交错层理, 大型单斜层理, 平行层理, 槽状交错层理, 还见有双向交错层理和冲刷面构造。

粉砂岩类: 主要为灰白色和红褐色。粒径从细粉砂至粗粉砂, 以石英粉砂岩为主, 中厚层状, 发育的沉积构造有小型沙纹层理, 波纹层理, 水平层理, 脉状与波状构造等。

泥岩类: 以灰褐色、棕红色为主, 还见有灰绿色薄层状泥岩。灰褐、棕红色泥岩往往含有较多的粉砂质, 组成含粉砂或粉砂质泥岩。含粉砂泥岩主要的沉积构造是水平层理, 波痕和泥裂。灰绿色泥岩质较纯, 呈薄层状夹于灰褐、棕红色泥岩中。

2.1.2 粒度参数

仅对取自 S102 井东河砂岩下段的 8 块样品统计表明, 砂岩粒度中值为 0.054~0.109 mm, 分选系数为 0.65~1.32, 偏度值 1.19~1.74, 具极强的正偏。概率累积曲线主要为两段式, 部分样品具极少量的推移组分, 悬浮总体小于 10% (图 3)。这些特征基本上反映了潮坪沉积砂岩的特点。

2.2 沉积相类型及特征

根据沉积构造, 岩性及粒度参数分布特征, 结合不同岩性在垂向上的组合关系, 东河砂岩可识别出两大沉积相带类型: 即受潮汐控制的滨岸相带和受波浪控制的滨岸相带 (图 4)。

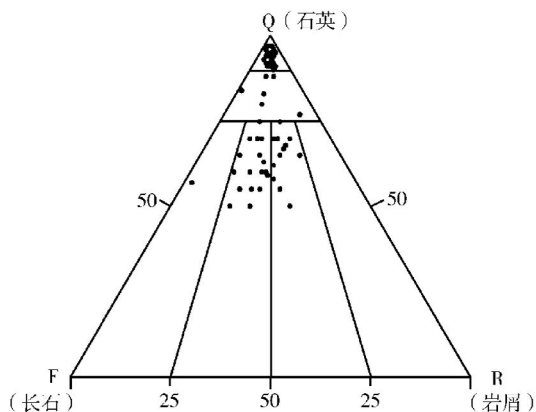


图 2 阿克库勒地区东河砂岩三端元组分分类图

Fig. 2 Classification map of Donghe sandstone according to 3 end-member components in Akekule area

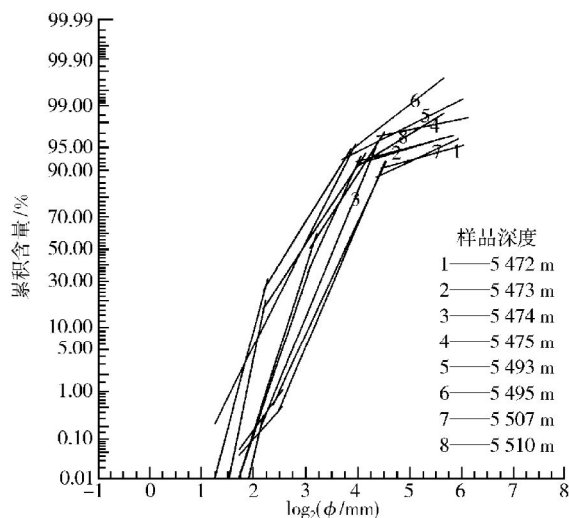


图 3 S102 井东河砂岩下段粒度概率累积曲线

Fig. 3 Probability cumulative curve of grain sizes of the Lower Donghe sandstone in S102 well

2.2.1 受潮汐控制的滨岸相带

可进一步划分出潮下高能砂坝亚相和潮间亚相。

潮下高能砂坝亚相主要为分选较好的灰白色中厚层中-细粒砂岩, 以块状层理为主, 平行层理、双向(羽状)交错层理 (图版 iv- 1) 也较发育。砂岩层底部常见冲刷面, 冲刷面之上分布有灰绿色泥砾 (图版 iv- 2), 这可能代表了潮下潮渠的沉积作用。

潮间亚相还可进一步划分出低潮坪、中潮坪和高潮坪。低潮坪以灰白色中细砂、细砂岩为主, 见泥砾, 标志性的双向交错层理发育。中潮坪常为砂、泥混合坪, 由灰白、棕褐色细砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩及薄层灰绿色泥岩组成, 发育脉状层理和波状层理 (图版 iv- 3), 常见泥裂构造和生物钻孔 (图版 iv- 4 5)。高潮坪则由棕红色泥岩和粉砂质泥岩组成, 沉积构造以水平层理为主。

2.2.2 受波浪控制的滨岸相带

这是一个可识别出前滨和临滨的标准滨岸相带。

前滨亚相由灰白色中细砂岩组成, 颗粒分选好, 矿物成熟度高, 具有典型的冲洗交错层理 (图版 iv- 6)。临滨亚相由灰白色中细砂岩、细砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩及粉砂质泥岩组成。发育的沉积构造主要有平行层理, 单斜层理 (图版 iv- 7), 槽状交错层理 (图版 iv- 8), 小型沙纹层理, 波纹层理及水平层理; 另外, 生物钻孔和生物扰动构造也较常见。很显然, 这是一个还可细分为上临滨、中临滨和下临滨的完整的临滨亚相带。

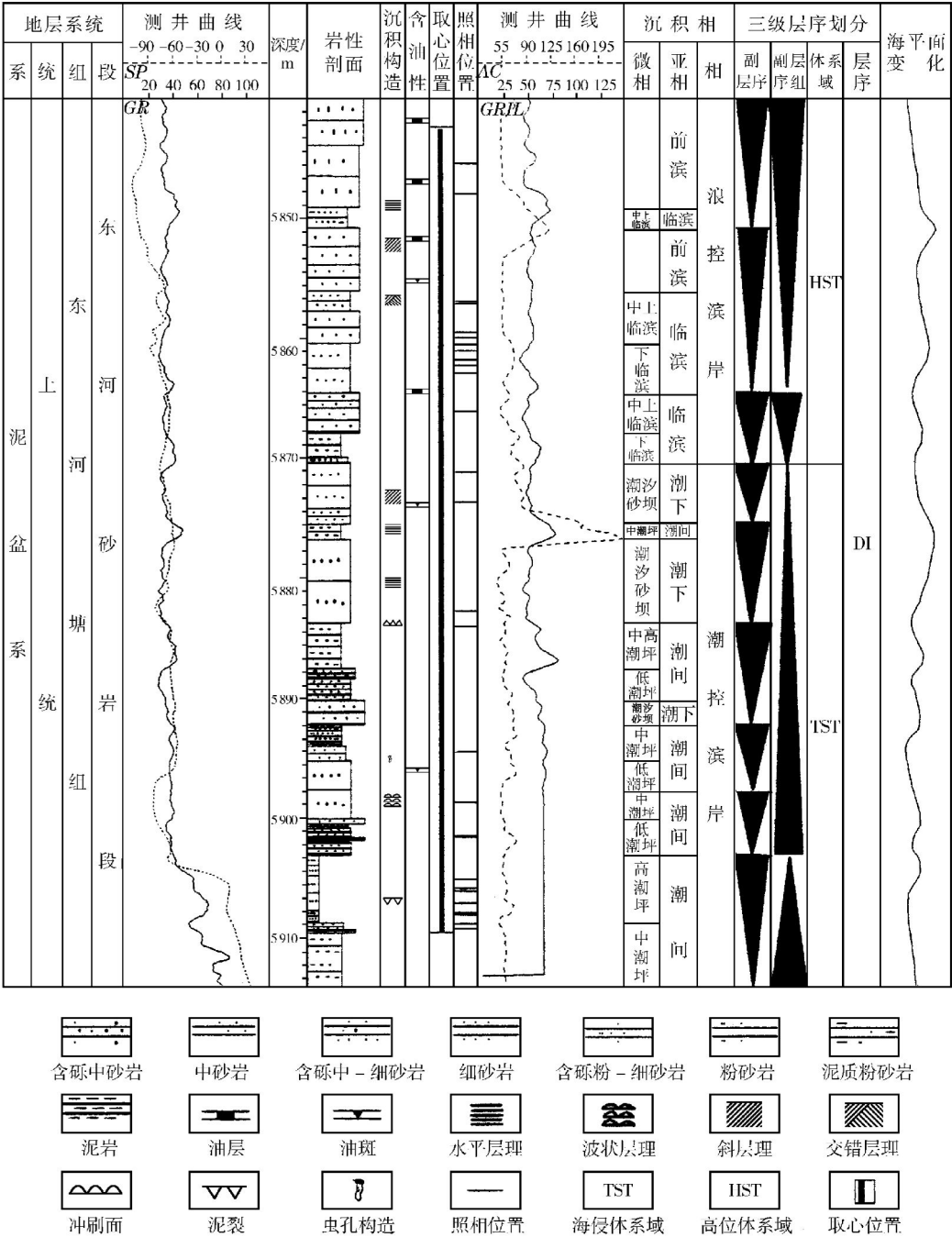


图 4 阿克库勒地区 S99 井东河砂岩层序地层学综合柱状图

Fig. 4 Composite sequence stratigraphic column of Donghe sandstone encountered in S99 well in Akekule area

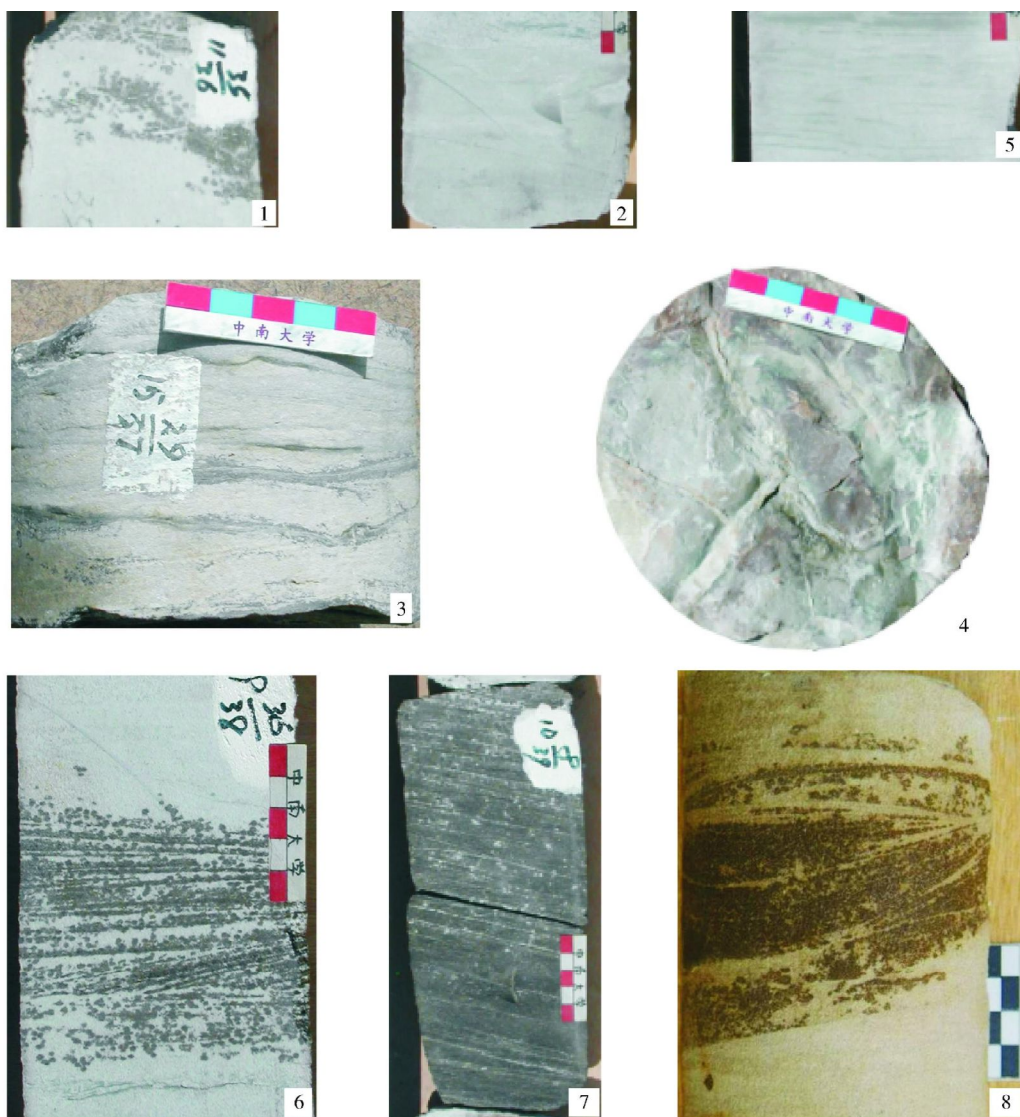
3 层序地层

3.1 层序边界

塔里木盆地东河砂岩顶、底分界明显。研究区内东河砂岩的底界面在地震剖面上反射特征明显,为一区域性削切下伏地层的角度不整合面,代表了区内海西早期一次重要的构造事件与陆上侵蚀作用。测井与岩心资料表明,东河砂岩与下伏奥陶系,志留系具有截然不同的测井响应特征及沉积特征,为侵蚀接触关系。东河砂岩的顶界面经与塔中地区的地层对比,上覆地层可能为相当

于下石炭统的“生屑灰岩段”,甚至是下泥岩段,至少缺失了 2~3 个岩性段,同样代表了一个区域性的地层不整合面。东河砂岩的顶、底分别为两个 iv 型层序边界^[17]。

对紧邻研究区的满西地区东河砂岩的顶、底界面进行的稀土元素钴 (Co)、镍 (Ni) 含量的分析表明^[16],它们均存在着一个较长时间的间断面(图 5)。与已有模式对比,它们与古风化暴露面的类型一致,属于风化剥蚀成因^[18~20]。这更进一步证实了东河砂岩是由两个不整合面界定的具有 iv 型层序特点的沉积层序。



图版 I 东河沙岩沉积构造

Plate iv. Chart board I Sedimentary structures of Donghe sandstone

1—羽状交错层理, 沙 99 井东河砂岩段, 井深 5 874 m; 2—潮渠沉积及潮渠底的冲刷面和泥砾, 沙 99 井, 东河砂岩段, 井深 5 871. 18 m; 3—脉状层理, 沙 99 井东河砂岩段, 井深 5 901. 6 m; 4—泥裂构造, 沙 99 井东河砂岩段, 井深 5 905. 81 m; 5—冲洗交错层理与楔状层理, 沙 99 井, 东河砂岩段, 井深 5 857. 34 m; 6—大型斜层理, 沙 99 井东河砂岩段, 井深 5 859. 8 m; 7—槽状交错层理, 乡 3 井东河砂岩段, 井深 5 665. 1 m; 8—生物钻孔与生物扰动构造, 沙 99 井东河砂岩段, 井深 5 869 m

3.2 层序划分与内部构成

由于东河砂岩沉积层序厚度较小, 在地震剖面上大多仅为一空白反射相带, 因此, 地震剖面上难以进行体系域的划分与标定。但是, 连续的取

心及测井资料可明显地反映出自下而上的岩相变化及沉积旋回的特点, 以及其所代表的海平面升降旋回。东河砂岩自下而上可明显地划分为低位体系域、海侵体系域与高位体系域 (图 4)。

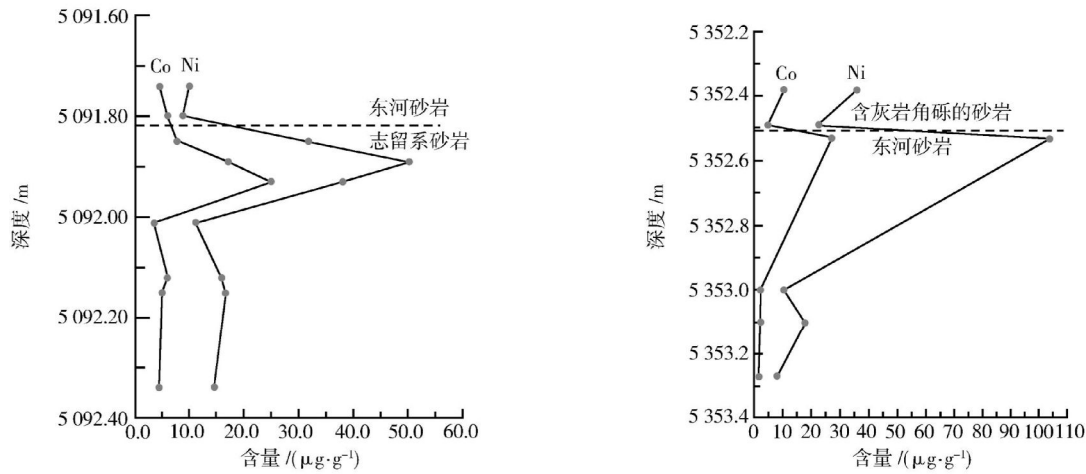


图 5 满西地区东河砂岩段顶、底界线 Co Ni 元素含量分布曲线

Fig. 5 Distribution curves of Co and Ni on top and bottom boundaries of Donghe sandstone in Manxi area

3.2.1 低位体系域 (LST)

低位体系域仅见于乡 3 井中。结合邻区的取心资料,它是由分布在侵蚀不整合面之上较薄的砂、砾质陆上河流充填沉积体系组成,厚度一般为 0~ 5 m,垂向上为若干向上变细的沉积旋回序列,每个序列厚度从几十厘米到 1 米不等。在一个向上变细的序列中可识别出滞留砾岩、河道砂坝及漫流泥、粉砂沉积^[1]。河道砂坝中以发育大、中型单斜层理为特征。以河流沉积体系为代表的低位体系域并不发育,反映了这种稳定地块内部拗陷性盆地层序地层学的特点^[15],即缺失低位体系域早期的盆底扇、斜坡楔状体及进积复合体,缺乏类似于陆架之上的深切沟谷。河流体系代表了低位体系域晚期海平面缓慢回升时陆上河道的充填沉积。

3.2.2 海侵体系域 (TST)

根据岩心及测井曲线所反映的特征,研究区东河砂岩中的海侵体系域主要为受潮汐控制的

滨岸沉积 (图 4),它是由一系列向上变浅和变细的副层序堆积成退积的副层序组,代表每一次更高频的海平面升降变化的副层序由下部的潮下砂坝向上逐渐变化为潮间砂坪、砂泥混合坪及泥坪。潮间坪的顶部常为薄层的灰绿色的泥岩或粉砂质泥岩,代表了一个高频旋回的结束或副层序的边界。S99 井发育 6 个这样的副层序,其厚度 5~ 13 m 不等 (表 2)。下部副层序沉积微相自下而上主要是中-高潮坪的紫红色砂泥混合坪、潮下砂坝、低潮坪砂坪和中高潮坪的混合坪。泥坪的比例越来越小,甚至缺失,砂坝、砂坪的比例越来越高。这种副层序或副层序组与 Wagoner^[21]所描述的受潮汐控制的滨岸副层序一致。在塔中和满西地区也有类似滨岸副层序的分布。

3.2.3 高位体系域 (HST)

高位体系域在区内主要是由受波浪控制的滨岸沉积体系组成,可分为前滨亚相、上临滨亚相、下临滨亚相及远下临滨亚相。这些亚相在垂

表 2 沙 99 井东河砂岩段取心段副层序边界位置及特征

Table 2 Location and features of the parasequence boundaries in the cored interval of Donghe sandstone in Sha 99 well

编号	深度 /m	岩心位置	副层序	体系域	厚度 /m	备注
9	5 840.00		9	高位体系域	10.95	未见顶
8	5 850.95	9-7/38顶部	8		13.72	
7	5 864.67	10-34/39顶部	7		5.87	
6	5 870.54	11-23/36底部	6	海侵体系域	4.91	最大海泛面 (MFS)
5	5 875.45	12-7/33顶部	5		7.35	
4	5 883.80	13-23/33顶部	4		10.25	
3	5 892.15	14-13/30底部	3		5.69	
2	5 897.84	15-12/37中部	2		5.26	
1	5 903.10	15-33/37底部	1		12.90	
0	5 916.00					

注: 岩心位置一栏空格为未取心。

向上有规律的组合成典型的向上变浅变粗的滨岸副层序。这些副层序又以进积的方式堆叠成进积的副层序组。S99 井可划分为 3 个副层序, 厚度 5.87~13.72 m 不等。

高位体系域是区内东河砂岩储集物性最好的层段, 也是油气最富集的层段。含油的饱和程度与副层序密切相关, 即一个副层序所代表的高频旋回中上部物性好, 含油饱和程度高, 是主要的含油砂岩段。

4 邻区对比

东河砂岩是形成于海平面升降旋回中的沉积地层, 因此, 在盆地范围内具有极好的层序地层的可比性。但是, 在沉积环境或沉积相方面, 不同地区却表现出不同的差异性。

4.1 层序地层的对比

结合塔中、满西、东河塘地区的层序划分, 阿克库勒地区东河砂岩的层序地层可与其进行非常好的对比。由于低位体系域是陆上河流的充填沉积, 因此, 盆地内低位体系域不发育, 其分布并不普遍。海侵体系域与高位体系域发育较好, 它们分别由 6 个副层序和 3 个副层序组成, 在区内可完全进行对比。但在盆地边缘及古地貌高点处海侵体系域中的副层序可能发育不全, 甚至缺失; 另一方面, 由于后期地表的暴露和剥蚀, 盆地边缘局部地区高位体系域副层序也可能保存不全, 甚至剥蚀。

4.2 沉积环境与沉积岩相的对比

东河砂岩沉积前, 区内经历了一次强烈的构造运动。地层的抬升及其后的剥蚀作用形成了以准平原化为特征的古地貌。随之而来的海侵, 导致东河砂岩在地表低洼处发生沉积。主要的低洼区有 3 个: 即以东河塘为中心的低洼区、以塔中 4 井区为中心的低洼区, 以及草湖低洼区。由于在这种长期风化剥蚀的古地貌背景下, 沉积物源极为丰富, 既有盆地内部的物源, 也有盆地边缘区的物源^[22], 因此, 尽管沉降速度较快, 在海侵体系域内也难以形成饥饿的非补偿性盆地。但是, 古地貌的差异导致了海侵体系域内沉积环境与沉积条件的不同。在主要的沉积中心由于河流的注入, 可形成海侵期的三角洲沉积^[1], 河口的沉溺则形成指状砂体的河口湾沉积^[23]。在东河塘低洼区与塔中 4 井低洼区之间及低洼区的边缘是较为广阔的浅水沉积区, 由于地势平坦, 海水循环受限, 因此, 主要是以潮汐作用为主,

形成非障壁岛作用的潮坪沉积, 即 Wagoner^[21]所描述的受潮汐控制的滨岸沉积。由于东河砂岩的不断沉积, 在盆地内起到了不断的填平补齐作用, 在达到最大海泛面之后, 海平面相对下降, 在滨岸带海水循环反而畅通, 形成了以波浪作用为主的浪控滨岸沉积体系, 在盆地内广泛分布分选好的灰白色中-细粒砂岩, 构成了特色十分鲜明的“东河砂岩”。但是, 在山前地带, 由于河流平衡的破坏, 导致陆上新增可容纳空间的产生, 形成了沿滨岸带的陆上粗粒冲积体系。

5 结论

通过对阿克库勒地区东河砂岩的研究, 及与相邻区块的对比, 得到如下结论。

(1) 东河砂岩并不是一套岩性单一、分选好的中-细粒砂岩, 它与沉积古地理地貌密不可分, 研究区内东河砂岩的岩性包括了含泥砾砂岩、分选好的中-细粒砂岩、粉砂岩及泥岩。

(2) 东河砂岩组成了一个完整的海平面升降旋回, 具有三级标准层序的特征, 但低位体系域不发育, 海侵体系域以潮控滨岸沉积为主, 高位体系域则为浪控滨岸沉积体系。

参 考 文 献

- 郭建华, 曾允孚, 翟永红, 等. 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
Guo Jianhua, Zeng Yunfu, Zhai Yonghong et al. Sequence stratigraphy of Carboniferous Donghe sandstone in Tazhong area, Tarim basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1996, 14(2): 56~65
- 杨松岭, 高增海, 赵秀岐. 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
Yang Songling, Gao Zenghai, Zhao Xiuqi. The characteristic and distribution of Donghe sandstone sequences in Tarim basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2002, 23(1): 35~37
- 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
Gu Jiayu. Sedimentary environment and reservoir characters of the Carboniferous Donghe sandstone in the Tarim basin [J]. Acta Geologica Sinica, 1996, 70(2): 153~161
- 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
Zhu Xiaomin, Zhang Qiang, Zhao Chenglin et al. Sedimentary facies and environmental change of the Donghe sandstone in central Tarim [J]. Chinese Journal of Geology, 2004, 39(1): 27~35
- 王招明, 王清华, 孙丽霞, 等. 东河砂岩钙结岩作用的主要特

- 征 [J]. 地质科学, 2004, 39(4): 517~522
- Wang Zhaoming, Wang Qinghua, Sun Lixia, et al. Main features of calcic diagenesis in the Donghe sandstone [J]. Chinese Journal of Geology, 2004, 39(4): 517~522
- 6 钟大康, 朱筱敏, 周新源, 等. 塔里木中部泥盆系东河砂岩成岩作用与储集性能控制因素 [J]. 古地理学报, 2003, 5(3): 378~390

Zhong Dakang, Zhu Xiaomin, Zhou Xinyuan, et al. Diagenesis and controlling factors of reservoir quality of Devonian Donghe sandstone [J]. Journal of Palaeogeography, 2003, 5(3): 378~390

 - 7 孙玉善, 杨帆. 再论东河砂岩孔隙成因——以塔中地区为例 [J]. 沉积学报, 1999, 17(增刊): 609~705

Sun Yushan, Yang Fan. Rediscussion on pore genesis of Donghe sandstone—an example from Tazhong area [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1999, 17(sup): 609~705

 - 8 翟永红, 郭建华, 刘生国. 塔中地区石炭系深埋藏优质碎屑岩储层成因分析 [J]. 矿物岩石, 1996, 16(2): 55~61

Zhai Yonghong, Guo Jianhua, Liu Shengguo. Study on the origin of quality clastic rock reservoir in Carboniferous from Tazhong area [J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 1996, 16(2): 55~61

 - 9 郭建华, 石媛媛, 刘辰生. 阿克库勒凸起西缘东河砂岩储集物性非均质性研究 [J]. 沉积学报, 2005, 23(3): 406~411

Guo Jianhua, Shi Yuanyuan, Liu Chensheng. Non-homogeneity of Donghe sandstone on the western margin of Akekule uplift [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2005, 23(3): 406~411

 - 10 何登发, 贾承造, 李德生, 等. 塔里木多旋回叠合盆地的形成与演化 [J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(1): 64~77

He Dengfa, Jia Chengzao, Li Desheng, et al. Formation and evolution of polycyclic superimposed Tarim basin [J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(1): 64~77

 - 11 贾承造. 中国塔里木盆地构造特征与油气 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1997

Jia Chengzao. The tectonic characters and oil & gas in Tarim basin of China [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997

 - 12 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

 - 13 朱怀诚. 塔里木盆地草 2 井东河砂岩段孢子组合的时代 [J]. 微体古生物学报, 1998, 15(4): 395~403

Zhu Huaicheng. On the age of spore assemblage from Donghe sandstone in well Cao-2 of north Tarim basin [J]. Acta Micropalaeontologica Sinica, 1998, 15(4): 395~403

 - 14 刘静江. 塔中 45 井泥盆纪鱼类化石的发现及东河砂岩的时代 [J]. 新疆石油地质, 1998, 19(2): 180~182

Liu Jingjiang. Discovery of Devonian fish fossil in well Tazhong 45 and age of Donghe sandstone [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 1998, 19(2): 180~182

 - 15 郭建华, 曾允孚, 翟永红, 等. 新疆塔中石炭系层序地层学研究——一个克拉通内坳陷盆地的层序地层框架模式 [J]. 地质学报, 1996, 70(4): 361~373

Guo Jianhua, Zeng Yunfu, Zhai Yonghong, et al. On the Carboniferous sequence stratigraphy in the Tazhong area, Xinjiang: a model of the sequence stratigraphy framework of intra-cratonic depressional basin [J]. Acta Geologica Sinica, 1996, 70(4): 361~373

 - 16 郭建华, 王明艳, 蒋小琼, 等. 塔里木盆地塔中、满西地区石炭系层序地层 [J]. 中南工业大学学报, 2004, 35(1): 122~128

Guo Jianhua, Wang Mingyan, Jiang Xiaoqiong, et al. Sequence stratigraphy of the Carboniferous in Tazhong and Manxi areas of Tarim basin [J]. Journal of South-Central University (Natural Science), 2004, 35(1): 122~128

 - 17 Posamentier M W, Allen G P. Siliciclastic sequence stratigraphic patterns in foreland ramp-type basins [J]. Geology, 1993, 21: 455~458
 - 18 Alvarez L W, Alvarez W, Asaro F, et al. Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction [J]. Science, 1980, 208: 1095~1107
 - 19 周瑶琪, 陆永潮, 李思田, 等. 间断面缺失时间的计算问题 [J]. 地质学报, 1997, 71(1): 7~17

Zhou Yaoqi, Lu Yongchao, Li Sitian, et al. The missing time calculation of the hiatus surface [J]. Acta Geologica Sinica, 1997, 71(1): 7~17

 - 20 周瑶琪, 柴之芳, 毛雪瑛, 等. 混合成因模式——中国南方二叠三叠系地层元素地球化学及其启示 [J]. 地质论评, 1991, 37(1): 51~63

Zhou Yaoqi, Chai Zhifang, Mao Xueying, et al. A mixing model—the element geochemistry of Permian-Triassic boundaries in South China and its implication [J]. Geological Review, 1991, 37(1): 51~63

 - 21 van Wagoner J C, Mitchum R M, Campion K M, et al. Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores and outcrops: concepts for high-resolution correlation of time and facies [J]. AAPG Methods in Exploration Series, 1990, (7): 1~55
 - 22 郭建华, 刘生国, 翟永红. 塔中地区石炭系碎屑岩岩石学特征与物源分析 [J]. 江汉石油学院学报, 1995, 17(3): 1~7

Guo Jianhua, Liu Shengguo, Zhai Yonghong. Carboniferous siliciclastic rocks in Tazhong area: their petrology features and material sources [J]. Journal of Jianghan Petroleum Institute, 1995, 17(4): 1~7

 - 23 郭建华, 吴智勇, 翟永红. 塔中四井区东河砂岩段中的河口湾沉积 [J]. 江汉石油学院学报, 1995, 17(4): 5~11

Guo Jianhua, Wu Zhiyong, Zhai Yonghong. Estuary sedimentary system of Carboniferous Donghe sandstone in Tazhong 4 well area [J]. Journal of Jianghan Petroleum Institute, 1995, 17(4): 5~11

(编辑 李树森)