

塔北中部石炭系东河砂岩物源及沉积体系

陈秀艳, 罗平, 贾进华, 马德波, 周波

(中国石油勘探开发研究院)

摘要 塔北中部东河塘—哈拉哈塘—哈得逊地区分布的下石炭统巴楚组东河砂岩段是深埋的海相优质碎屑岩储层。对重矿物的聚类分析以及对稳定系数、ZTR指数、砂岩碎屑组份含量和岩屑类型特征的分析表明,研究区东河砂岩有两个主要物源体系,且物源供给方式不同。根据地震反射特征、碎屑组分平面分布形态及粒度反映的水动力条件等,认为位于研究区西北侧的轮台凸起以浪控三角洲的形式向东河塘—哈拉哈塘地区供给沉积物,而哈得逊地区以正常波浪侵蚀填平补齐的形式供给沉积物,推测在这两个地区的中间区域存在物源混合带。岩心观察描述及测井、录井资料分析证实,不同物源供给体系受波浪强烈改造作用,均发育滨岸沉积,东河塘—哈拉哈塘地区主要发育浪控三角洲改造后的前滨海滩砂,哈得逊地区发育正常浪控前滨砂砾质滩,研究区中部地区发育中上临滨,南部地区发育下临滨—浅海。

关键词 下石炭统;东河砂岩;砂岩;沉积物源;沉积体系;塔里木盆地北部

中图分类号: TE112.23; TE125.1

文献标识码: A

塔里木盆地下石炭统巴楚组底部东河砂岩段(简称“东河砂岩”)是我国典型的深埋海相优质碎屑岩储层。随着1990年东河塘油田的发现,拉开了塔里木盆地东河砂岩油气勘探的序幕,打破了超深层缺乏优质砂岩储层的理论禁锢^[1]。1998年哈得逊油田的发现,它作为塔里木盆地亿吨级整装海相砂岩油田,是中国海相油气勘探理论和实践的又一次突破^[2],并带动了非稳态成藏理论体系的诞生^[3-4]。位于塔里木盆地塔北中部的这两个油田均在海相东河砂岩层位中获得极大产能,为此,国内有不少学者总结了东河砂岩的沉积期次、沉积相和沉积储层特征^[5-9],但对于东河砂岩段滨岸沉积的物质来源却未曾有人深入研究。本文运用塔北中部21口井198个重矿物数据和23口井350个薄片鉴定数据,对塔北中部地区的东河砂岩进行了物源分析,并结合岩心、测井、录井及地震资料,以期能揭示东河砂岩的沉积相分布差异,为沉积砂体的进一步对比奠定基础。

1 地质概况

研究区包括东河塘—哈拉哈塘—哈得逊地区,

主要位于塔北隆起中部哈拉哈塘凹陷和北部坳陷满加尔凹陷北部(图1)。研究区内的下石炭统巴楚组东河砂岩段已发现的油田有东河塘油田(位于哈拉哈塘凹陷)和哈得逊油田(位于满加尔凹陷)^[1-2]。研究区北邻轮台凸起,东邻轮南低凸起,是油气运移的指向区^[1-4]。轮台凸起在古生代是残余古隆起,出露变质岩及火山岩^[10]。轮南低凸起缺失中—上奥陶统和泥盆系,石炭系直接覆盖于下奥陶统,构成潜山油气藏^[11]。

东河砂岩段在塔里木盆地内是一套泥盆纪—石炭纪的穿时地层单元,在研究区内发育时代为石炭纪,厚度从东河塘地区的二三百米减薄至哈得逊地区的二三十米,并且向轮南低凸起超覆沉积,向轮台凸起方向削蚀沉积。东河砂岩段底部多与志留系塔塔埃塔格组接触,东北部有些井与奥陶系接触,底界与下伏地层呈角度不整合接触关系(图2)。东河砂岩段上部依次沉积巴楚组含砾砂岩段、下泥岩段、生物碎屑灰岩段,以及卡拉沙依组中泥岩段。含砾砂岩段厚度薄,分布不均;下泥岩段和生物碎屑灰岩段大部分地区缺失;中泥岩段在全区有分布。

收稿日期: 2013-01-29; 改回日期: 2013-04-17

基金项目: 本文受国家油气重大专项《岩性地层油气藏成藏规律、关键技术及目标评价》(项目编号: 2011ZX05001)资助

陈秀艳: 女, 1979年生, 博士后。主要从事层序地层学及沉积学研究。通讯地址: 100083 北京市海淀区学院路20号

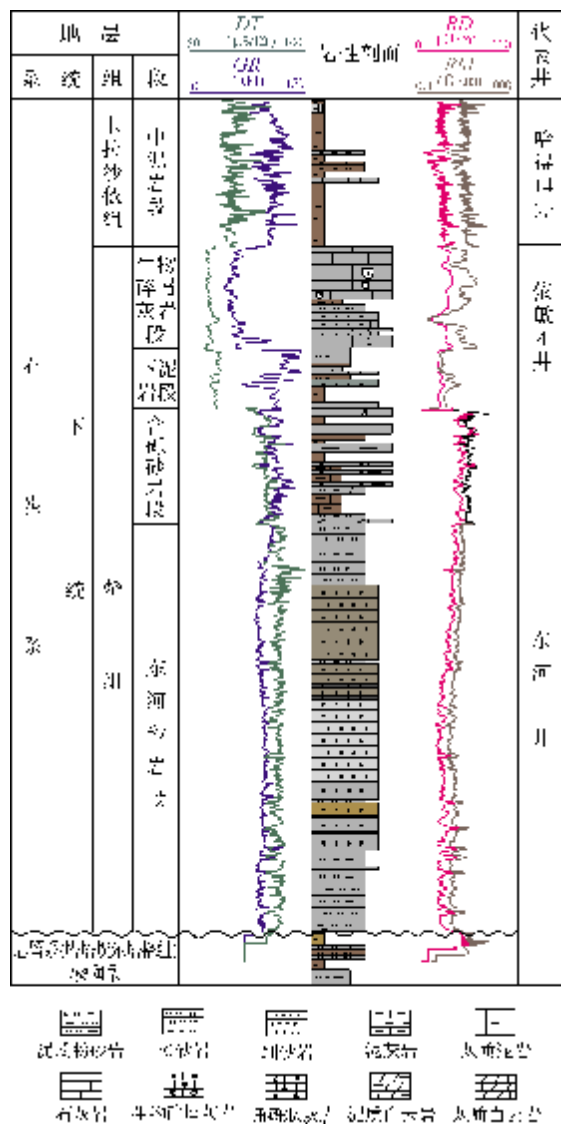


图 2 塔北中部下石炭统综合柱状图

的信息,这样既减少变量个数,又能再现变量之间的内在联系。

首先整理数据:在研究区 21 口井东河砂岩的 198 件样品中,将重矿物数据中不能反映他源的自生重矿物黄铁矿、菱铁矿、石膏以及含量小于 1% 的矿物剔除,最终选择稳定矿物铅石、电气石、石榴子石、磁铁矿、赤褐铁矿、榍石、金红石、白钛石以及不稳定重矿物磷灰石、云母、绿帘石共 11 种,对它们进行因子分析。

分析结果表明,这 11 种重矿物变量之间的共同度比较小,说明变量空间若转化为因子空间时,保留信息会比较少。因此,各因子均具有代表性,变量无法再合并,故也不适合对变量进行 R 型聚类分析。同时这也说明,研究区东河砂岩沉积时处于高能水动力环境,各种矿物经历了充分的混合淘洗。

2.1.2 重矿物 Q 型聚类分析

将研究区 21 口井东河砂岩的 198 件样品作为样本,以 11 种重矿物为变量进行 Q 型聚类分析。分析结果表明,这些样品可按 Q 型聚类划分为五类:Ⅰ类样品以稳定重矿物白钛石、赤褐铁矿和锆石为主;Ⅱ类样品以白钛石、锆石为主;Ⅲ类样品以磁铁矿和赤褐铁矿为主;Ⅳ类样品以赤褐铁矿、电气石为主;Ⅴ类样品以磁铁矿和磷灰石为主。各类样品组合重矿物的类型及平均百分含量见表 1。

研究区 21 口井东河砂岩样品具有各自的重矿物组合。由这些井的各类重矿物组合在研究区平面中的分布特征(图 3)可以看出:东河塘地区多数井的重矿物组合以 II 类样品为主,而哈得逊地区多数井的重矿物组合以 I 类样品为主。已知 II 类组合中

表1 东河砂岩样品O型聚类分类及砂岩中不同重矿物平均百分含量

表 1 不同形貌岩屑电选重选分离后磁选重选不同重矿物中的有害元素含量 (wt%)											
Q 型 分类	稳定重矿物								不稳定重矿物		
	白钛石	赤褐铁矿	锆石	磁铁矿	电气石	石榴子石	楣石	金红石	磷灰石	云母	绿帘石
I	13.23	11.80	10.54	2.51	8.10	3.21	1.99	0.27	0.77	1.21	0.11
II	58.72	3.63	9.19	4.01	8.35	1.53	0.11	0.58	0.25	0.13	0.05
III	8.53	24.89	4.08	34.91	3.05	1.13	0.09	0.20	1.07	2.03	0.02
IV	0.56	56.56	7.78	8.19	11.81	0.91	0.89	0.43	1.18	0.23	0.50
V	7.50	1.15	2.10	72.05	3.00	0.65	0.00	0.00	11.95	0.00	0.00

为该类中含量占较大比例的矿物

白钛石含量最丰富,白钛石是钛铁矿的蚀变物,而钛铁矿通常产自火山岩类,这说明东河塘地区东河砂岩的物源成分以火山岩类为主。I 类组合含有较高的赤褐铁矿,赤褐铁矿主要产自接触变质岩中(也可见于火山岩和沉积岩中),说明哈得逊地区东河砂岩的物源成分以变质岩类为主(结合 2.2 节的分析)。位于研究区中部各井的重矿物组合呈较多样化,推测其可能具有混源性。

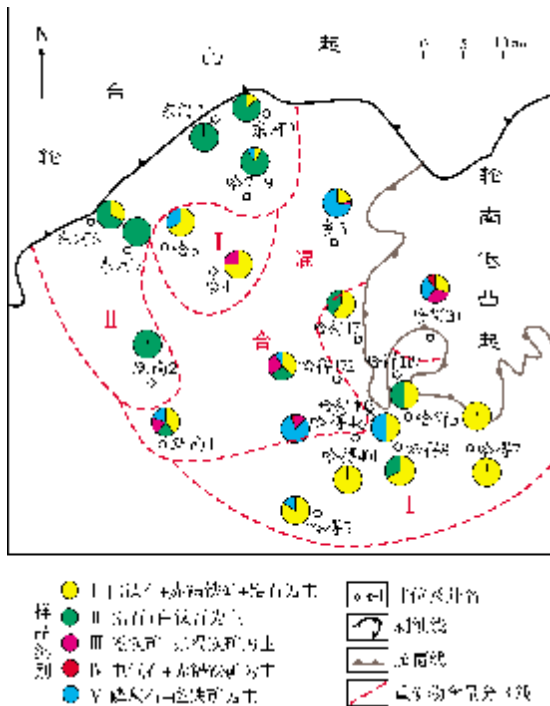


图 3 塔北中部东河砂岩重矿物组合平面分布特征图

2.1.3 重矿物稳定系数和 ZTR 指数分布特征

稳定系数可反映重矿物的搬运方向和搬运距离,其值越大代表矿物的搬运距离越远。ZTR 指数值越大,代表矿物成分的成熟度越高。

对研究区 21 口井重矿物稳定系数作等值线图(图 4a),结果表明:图中存在两个稳定系数低值区,西北部东河 8、东河 7、哈 5 和哈 4 等井区的重矿物稳定系数小于 280,而东部哈得 20 和哈得 402 井区的稳定系数甚至小于 50。研究区重矿物 ZTR 指数的等值线趋势变化分析表明:西北部哈 5、哈 4 和哈 7-9 井区的重矿物 ZTR 指数值小于 11,东部哈得 20、哈得 17 和哈得 402 井区的 ZTR 值小于 7,即也存在两个低值区(图 4b)。

综合以上重矿物组合、稳定系数和 ZTR 指数的分析认为:研究区东河砂岩存在两个物源方向,推测其可能分别来自研究区西北部和东部(图 4)。

2.2 砂岩基本类型及碎屑组分特征

对 23 口井 350 个薄片鉴定数据的统计分析表明,研究区东河砂岩的岩石类型主要为细粒岩屑石英砂岩和岩屑砂岩,岩性较单一,且结构成熟度较高。石英含量在 70%~90%;岩屑含量在 12%~30%,一般为 20%左右,个别井可达 44%;而长石含量相对较低(<5%)。根据砂岩组分及含量变化分析,发现东河 401—哈 5—跃南 2—跃南 1 等井一线的岩屑+长石含量相对较高(介于 28%~32%之间),向两侧含量减小(<22%);而哈得逊地区的哈得 20、哈得 119 和哈得 7 等井一带的岩屑+长石含量相对较高(介于 24%~35%之间),其余地区的含量则较低(<21%)(图 5a)。东河砂岩岩屑成分及含量分析表明:东河塘及哈拉哈塘部分地区岩屑类型主要为中酸性火山岩,而哈得逊地区岩屑类型主要为变质岩(图 5b),以石英岩及片岩为主。

东河砂岩岩屑成分的分带特点亦说明:哈得逊地区与东河塘—哈拉哈塘地区砂岩物质来源不同,即存在两个物源区。东河塘—哈拉哈塘的物源来自轮台凸起,这与上述的重矿物分析结果吻合,但在哈得逊周围并没有古老的变质岩区,岩屑类型却表现为变质岩为主。为此,对哈得逊地区志留系砂岩成分进行了分析,发现其含有大量石英岩、千枚岩、石英片岩等变质岩岩屑,只是砂岩成分成熟度及结构成熟度比东河砂岩要差。由此推测,哈得逊地区东河砂岩的物质来源可能为下伏的志留系,而哈得 20 井和哈得 119 井东河砂岩段中岩屑+长石含量相对较高且砂岩中含有灰质砾,说明哈得逊东部边缘局部接受轮南低凸起的物源供给。重矿物分析结果也验证了这一点。

3 物源供给方式及沉积体系

通过上述重矿物和砂岩碎屑组分特征分析,结合区域地质资料研究以及构造背景分析,认为东河塘—哈拉哈塘与哈得逊地区属于不同的物源体系,且物源供给方式不同:西北部轮台凸起通过浪控三角洲向东河塘—哈拉哈塘地区供给沉积物,而哈得逊地区以波浪侵蚀填平补齐沉积作用方式供给沉积物。主要证据有:

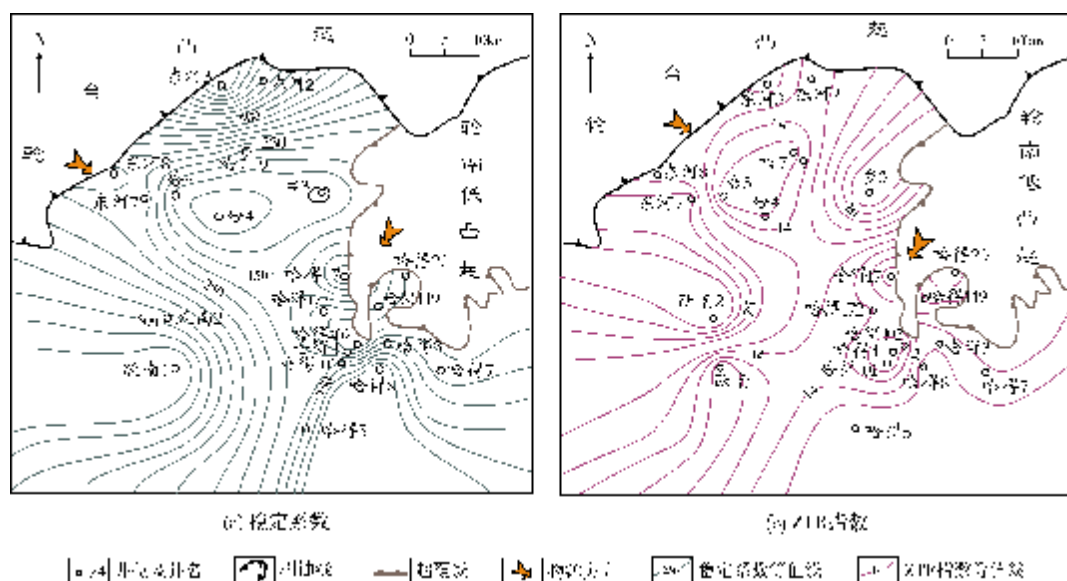


图4 塔北中部东河砂岩重矿物稳定系数及 ZTR 指数分布特征图

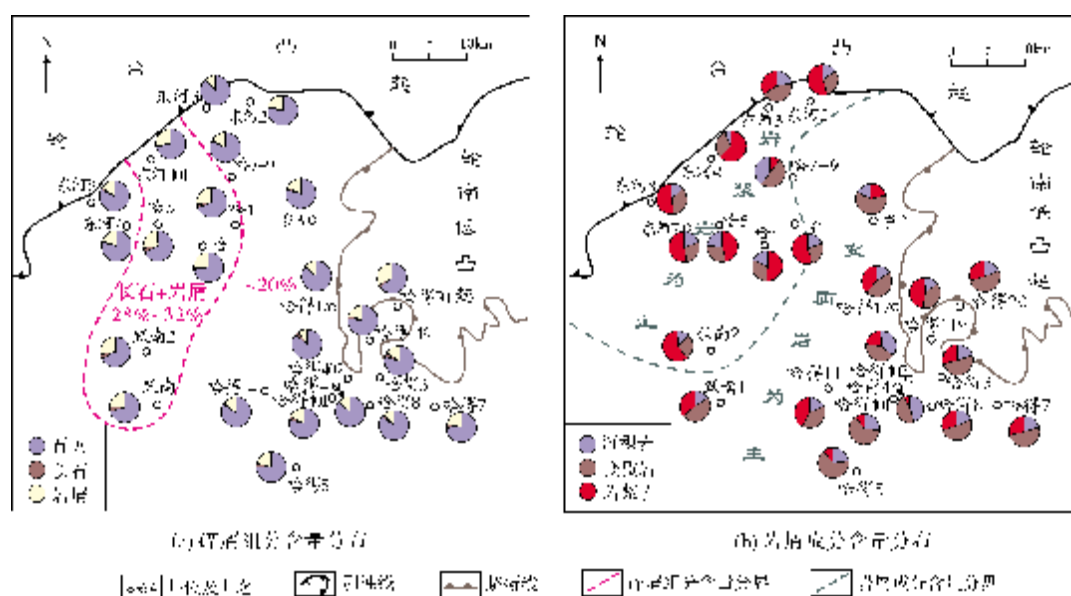


图5 塔北中部东河砂岩碎屑组分特征及岩屑成分和含量分布图

(1)如上所述,碎屑岩组分特征平面分布呈现为东河401井—哈5井—跃南2井—跃南1井—线岩屑+长石含量较高,向两侧东河7井、东河8井、东河3井、东河2井和哈7-9井区域,岩屑+长石含量较低(图5a),这说明物质供给具有方向性,并且平面发散呈扇形。

(2)在地震剖面上,东河塘地区东河砂岩段可见退积结构(图6a),平面属性切片也表明东河塘—哈

拉哈塘地区东河砂岩段分布呈扇形朵状形态;而哈得逊地区东河砂岩段表现为强振幅、断续、局部透镜反射结构(图6b),砂岩厚度与地形起伏相关。

(3)粒度分析表明:东河塘地区至哈拉哈塘地区滚动组分含量减少,跳跃组分斜率增大(图7a),说明研究区波浪淘洗能量强,并且在东河塘—哈拉哈塘地区存在牵引流作用;而向哈得逊地区双跳跃组分增加,斜率更大,并与悬浮组分间有混合带(图7b,7c)。

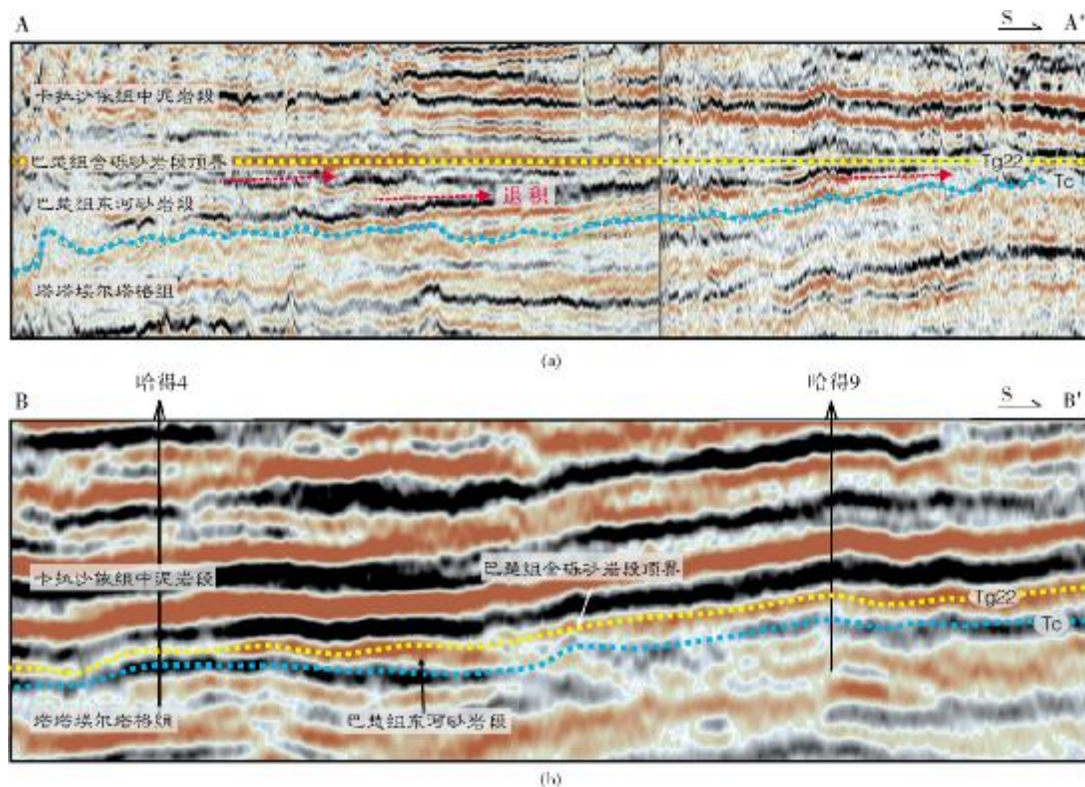


图6 塔北中部东河砂岩地震反射特征

A—A'与B—B'剖面位置见图1

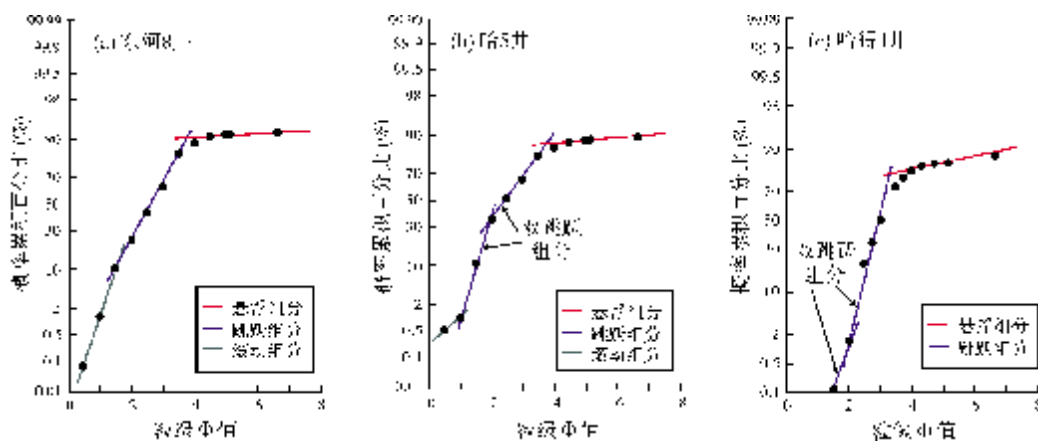


图7 塔北中部东河砂岩粒度概率图

在物源分析基础上,综合岩心、测井、录井和地震资料的分析及前人研究成果,认为研究区处于海侵环境,以波浪作用为主,轮台凸起虽以浪控三角洲的形式供给沉积物,但因被波浪作用强烈改造,形成浪控滨岸沉积体系,因而岩心资料揭示的沉积构造多为浪成低角度交错层理、平行层理及小型槽状交

错层理等(图8)。

结合岩性序列,可在研究区识别出前滨、中上临滨和下临滨三类沉积相区(图9):

(1)研究区西北部东河塘地区至跃南2井区,发育前滨海滩砂,纵向序列为反旋回:下部为中—厚层状灰色细砂岩,上部为中—厚层灰色中砂岩夹粗砂岩薄层,

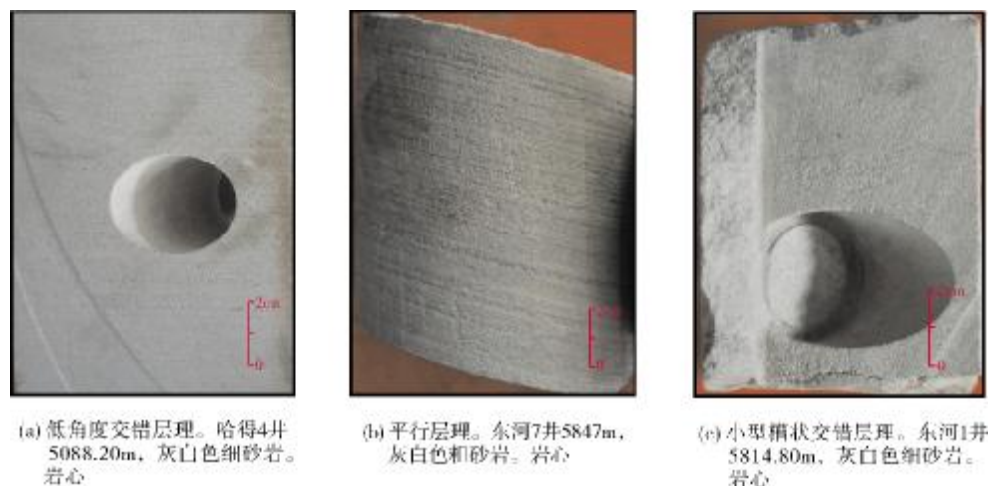


图8 塔北中部东河砂岩滨岸沉积层理类型

泥质胶结疏松。而哈得逊地区东部靠近岸线一侧,发育前滨砂砾质滩,岩性为厚层状灰色细砂岩和中砂岩夹薄层砾状砂岩和含砾中砂岩,砾石主要为少量石英砾和灰质砂砾,泥灰质胶结较致密,局部见灰质团块。

(2)研究区中部发育中上临滨,岩性为厚层状灰色细砂岩、中砂岩,见平行层理、槽状和板状交错层理夹冲洗层理,并发育大量生物潜穴,泥质胶结疏松,局部泥灰质胶结。

(3)研究区南部依敏地区为下临滨—浅海,岩性为中细粒砂岩夹灰绿色和灰色泥质纹层,发育水平层理及缓波状、洼状交错层理。

综上所述,东河塘—哈拉哈塘地区有外部物源的供给,东河砂岩沉积厚度大,而哈得逊地区受古地貌影响,填平补齐存在差异。东河塘—哈拉哈塘地区与哈得逊地区受控于不同的物质来源,属于不同的含油系统,但受波浪的强烈改造作用,均发育为滨岸沉积相带;两个地区之间不同物源的砂质充分混合交互,导致物源混合区砂岩减薄带、尖灭线或者相变线不易确定。因此,下一步要通过物探及地质预测手段加强物源混合区砂体内部结构对比及精细刻画,为寻找有利目标区奠定基础。

4 结 论

研究区处于高能水动力沉积环境,各种矿物充分混合淘洗。因此,根据重矿物的Q型聚类分析、稳定系数和ZTR指数特征,并结合砂岩碎屑组分含量分析,这是进行东河砂岩物源体系研究非常有效的方法。

东河塘—哈拉哈塘地区和哈得逊地区属于不同的物源体系,且物源供给方式不同。东河塘—哈拉哈塘地区物源来自轮台凸起,以浪控三角洲形式供给沉积物,而哈得逊地区为正常波浪侵蚀填平补齐沉积,中间存在物源混合带。不同的物质来源,导致砂岩厚度变化差异大。

东河塘—哈拉哈塘地区和哈得逊地区虽然物质来源不同,但受波浪强烈改造作用,均发育滨岸沉积相。东河塘—哈拉哈塘地区主要发育浪控三角洲改造后的前滨海滩砂,哈得逊地区发育正常浪控前滨砂砾质滩,哈拉哈塘与哈得逊之间发育中上临滨,南

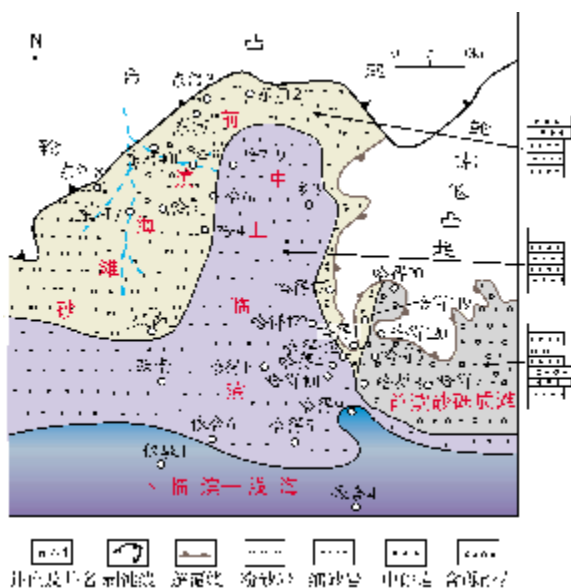


图9 塔北中部东河砂岩沉积相平面展布

部依敏地区发育下临滨—浅海。

物源及沉积体系的研究结果,对进一步开展东河砂岩段砂体结构的精细刻画,以及寻找有利岩性圈闭具有重要的指导作用。

参考文献

- [1] 周新源,杨海军,胡剑凤,等. 中国海相油气田勘探实例之十三:塔里木盆地东河塘海相砂岩油田勘探与发现[J]. 海相油气地质, 2010, 15(1): 73-78.
- [2] 周新源,杨海军,蔡振忠,等. 中国海相油气田勘探实例之十一:塔里木盆地哈得逊海相砂岩油田的勘探与发现[J]. 海相油气地质, 2007, 12(4): 51-60.
- [3] 孙龙德,江同文,徐汉林,等. 非稳态成藏理论探索与实践[J]. 海相油气地质, 2008, 13(3): 11-16.
- [4] 孙龙德,江同文,徐汉林,等. 塔里木盆地哈得逊油田非稳态油藏[J]. 石油勘探与开发, 2009, 36(1): 62-67.
- [5] 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.
- [6] 李国永,徐怀民,刘晓兵,等. 哈得逊地区东河砂岩沉积微相特征及其对流动单元的控制作用[J]. 油气地质与采收率, 2008, 15(5): 34-37.
- [7] 申银民,贾进华,齐英敏,等. 塔里木盆地上泥盆统—下石炭统东河砂岩沉积相与哈得逊油田的发现[J]. 古地理学报, 2011, 13(3): 279-286.
- [8] 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.
- [9] 吴因业,孙龙德,顾家裕,等. 塔里木盆地满西地区石炭系东河砂岩沉积层序分析与储集层评价[J]. 古地理学报, 2008, 10(1): 13-23.
- [10] 顾乔元,潘文庆,韩剑发,等. 塔北轮台断隆凝析油气富集带分布规律[J]. 天然气工业, 1999, 19(2): 115-116.
- [11] 孙龙德,李曰俊. 塔里木盆地轮南低凸起:一个复式油气聚集区[J]. 地质科学, 2004, 39(2): 296-304.
- [12] 赵红格,刘池洋. 物源分析方法及研究进展[J]. 沉积学报, 2003, 21(3): 409-415.
- [13] 操应长,宋玲,王健等. 重矿物资料在沉积物物源分析中的应用——以涪西南凹陷古近系三段下亚段为例[J]. 沉积学报, 2011, 29(5): 835-841.
- [14] 张琴,朱筱敏,董艳蕾,等. 黄骅凹陷沙一段物源分析及地质意义[J]. 油气地质与采收率, 2009, 16(6): 8-11.

编辑:赵国宪

Provenances and Sedimentary Facies Distribution in Carboniferous Donghe Sandstone in the Central Part of Northern Tarim Basin

Chen Xiuyan, Luo Ping, Jia Jinhua, Ma Debo, Zhou Bo

Abstract: The "Donghe sandstone" here refers to the Lower Carboniferous Donghe sandstone Member (a member of Bachu Formation), which is the typical deep-buried marine clastic reservoir, distributing in Donghetang, Hanikatam and Hadexun areas in the central part of northern Tarim Basin. The heavy-minerals and rock detrital component methods are used in provenance analysis for Donghe sandstone. Based on the distribution illustrations of clustering sample groups, stability coefficients and ZTR maturity indexes of heavy-minerals, as well as the clastic component content and detrital types of the sandstone, it is indicated that the sediments in Donghe sandstone derived from two predominant provenance systems with different supplying patterns to the study area. According to the seismic reflection features, the plane distribution of detrital components and the grain-size-related hydrodynamic conditions, it is shown that sediments were supplied by the way of wave-dominating delta into Donghetang and Hanikatam from Luntai Uplift on the northwest and by the way of common wave erosion to fill up to lower areas in Hadexun. It is deduced that a mixing zone of both sediments would exist between both of areas. Core descriptions and logging data analysis have further proved the development of shoreline sedimentary facies from different provenances in the Donghe sandstone areas due to frequent wave reformation. Foreshore sandstone beach subfacies develops in Donghetang and Hanikatam and foreshore conglomeratic and sandstone beach subfacies is in Hadexun. Mid-upper shoreface subfacies and lower shoreface-neritic subfacies develop respectively in the middle and the south of the study area.

Key words: Lower Carboniferous; Donghe sandstone Member; Sandstone; Sediment provenance; Depositional system; North part of Tarim Basin

Chen Xiuyan, female, Post Doctor. Add: PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration & Development, 20 Xueyuan Rd., Beijing, 100083, China