

文章编号:1001-6112(2008)06-0568-07

塔里木盆地及周缘晚泥盆世沉积演化

许杰¹, 何治亮², 郭建华¹, 刘辰生¹, 郭原草¹, 苏调红¹

(1. 中南大学 地学与环境工程学院, 长沙 410083;

2. 中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要:以塔里木盆地上泥盆统东河塘组为研究对象,通过野外剖面观测、钻井岩心观察、测井曲线解释,认为东河塘组是一个具有完整海侵至海退旋回的标准I型层序,相当于3级海平面旋回的沉积地层。东河塘组由低位体系域(LST)、海侵体系域(TST)与高位体系域(HST)组成。低位体系域仅发育局部的河流沉积体系;海侵体系域主要为受潮汐控制的滨岸沉积体系,由一系列向上变浅和变细的准层序叠置成退积的准层序组;高位体系域主要发育以波浪作用为主的浪控滨岸沉积体系,由一系列向上变浅和变粗的准层序叠置成进积的准层序组。此外在盆地周缘发育冲积扇、冲积平原及扇三角洲沉积体系。

关键词:层序地层;沉积体系;潮控滨岸;浪控滨岸;沉积演化;东河砂岩;塔里木盆地

中图分类号:TE121.3

文献标识码:A

LATE DEVONIAN SEDIMENTARY EVOLUTION IN THE TARIM BASIN AND ITS MARGINS

Xu Jie¹, He Zhiliang², Guo Jianhua¹, Liu Chensheng¹, Guo Yuancao¹, Su Diaohong¹

(1. School of Geosciences and Environment Engineering, Central South University, Changsha, Hunan 410083, China;

2. Petroleum Exploration and Development Institute, SINOPEC, Beijing 100083, China)

Abstract: Based on a lot of outcrops investigation, cores observation and well logs analysis, the Donghetang Formation is divided into the standard type I sequence with a complete transgressive—regressive cycle. It corresponds to sedimentary strata of III-grade sea-level cycles. It is composed of lowstand system tract (LST), transgressive system tract (TST) and highstand system tract (HST). The lowstand system tract is subaerial fluvial deposit system 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 spanning parasequence group. The highstand system tract is mainly composed of wave-controlled shore deposit. A series of shallowing and thickening upward parasequences constitute the retrograding parasequence group. Additionally, there are alluvial fan, alluvial plain and fan delta deposition system in the basin edge.

Key words: sequence stratigraphy; deposition system; tide-controlled shore; wave-controlled shore; sedimentary evolution; Donghetang Formation; the Tarim Basin

上泥盆统东河塘组,俗称“东河砂岩”,是塔里木盆地重要的产油层系。自1990年7月在东河1井发现此套海相砂岩油气藏以来,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深入,人们对“东河砂岩”的层序^[1~3]、沉积特征^[4~6]及其与油气关系的认识也越来越清晰,顾家裕^[7]、朱筱敏^[8]、吴因业^[9]等对“东河砂岩”的沉积环境研究表明,盆地内该套砂岩属滨岸带沉积。目

前,尽管盆地覆盖区有多口井钻遇该套地层,但对该套地层的层序地层及沉积环境仍存在着一定的分歧和争议,制约了该层系的勘探和开发。本文在前人研究的基础上,利用盆地周缘露头 and 盆地覆盖区119口探井资料对上泥盆统东河塘组“东河砂岩”层序地层及沉积体系进行了研究,对整个盆地及周缘“东河砂岩”的层序、沉积体系和沉积演化有了较全面的认识。

收稿日期:2008-07-14;修订日期:2008-11-03。

作者简介:许杰(1967—),男,高级工程师,博士生,主要从事石油地质勘探研究。E-mail:xj87606@yahoo.com.cn。

基金项目:中国石化石油勘探开发研究院项目(G8804-07ZS-0012)。

1 区域地质背景

区域构造及盆地演化史研究表明,中泥盆世末期的海西早期运动使盆地隆升剥蚀,晚泥盆世早期的第一次海侵造成盆地中西部克拉通内拗陷接受“东河砂岩”沉积。“东河砂岩”的底界为全盆地内的区域性角度不整合面,“东河砂岩”呈角度不整合超覆于奥陶系、志留系及中下泥盆统之上。盆地覆盖区东河塘组“东河砂岩”岩性主要为浅灰、灰白色中厚层—巨厚层状细砂岩、中砂岩为主夹同色含砾砂岩和灰褐、灰紫色薄层状泥岩,粉砂质泥岩,厚 24~239 m。塔里木盆地西南缘上泥盆统下部考库亚组为一套大陆架相—扇三角洲相碎屑岩夹碳酸盐岩沉积,上部奇自拉夫组主要为一套扇三角洲—河流相碎屑岩沉积。南天山的上泥盆统在东阿赖山、阔克沙岭统称坦盖塔尔组,在萨尔明山称哈孜尔布拉克组,在克孜勒塔格称破城子组。东阿赖山的坦盖塔尔组主要由碳酸盐岩及碎屑岩组成,阔克沙岭的坦盖塔尔组主要由灰岩、粉砂岩夹石膏组成。哈孜尔布拉克组岩性主要为碳酸盐岩,破城子组岩性为酸性火山岩、碎屑岩及灰岩^[10](表 1)。

2 层序地层

2.1 层序边界的确定

“东河砂岩”的底界为 I 类层序边界(SB₁),主要依据:1)为盆地范围内的一个大型不整合面,东河砂岩段呈角度不整合超覆于奥陶系、志留系及中下泥盆统之上;地震反射界面为 T₀,具有明显的削蚀反射特征,东河砂岩在不整合面上上超减薄或尖灭。这个界面既是区域内的一个构造层界面,也是一个一级超层序的界面,代表了海西早期一次非常强烈的区域构造运动;2)在侵蚀不整合面之上发育河流的回春作用;3)巴楚小海子露头可识别出东河

砂岩底部存在一个明显的岩性界限,东河砂岩岩性为灰白色(浅灰色)中厚层块状中细粒石英砂岩,下伏克兹尔塔格组为紫红色薄层细砂岩与紫红色薄层泥质粉砂岩互层;4)测井与岩心资料表明,东河砂岩与下伏不同层位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;5)通过对哈得 4 等井东河砂岩底界面中化学元素的丰度分析,Co, Ni 元素的含量在不整合面上下突变,反映了与宇宙尘埃物质有关的 Co, Ni 元素与地层间断或时间缺失密切相关^[11],进一步证实了东河砂岩底界面为具有风化剥蚀特点的 I 型层序边界。

“东河砂岩”的顶界面为 I 类层序边界^[12],界面之上为石炭系巴楚组含砾砂岩段。主要依据是:1)界面之上岩石粒度突然变粗,由下伏滨岸相突变为陆上河流相,具有明显的“跳相”特点;2)大范围内的地表暴露与河流的回春作用,在含砾砂岩段中已识别出陆上辫状河流的沉积序列;3)巴楚小海子露头含砾砂岩底界有古土壤存在;4)在地球化学特征、地层的分布情况及由地层倾角测井所反映的地层产状等方面都有明显的不同,因此,这个界面是一个典型的 I 型层序边界。

2.2 层序及体系域划分

依据上述“东河砂岩”顶底边界特征,将其划分为一个标准的 3 级层序,属 I 型层序,相当于 3 级海平面旋回的沉积地层。测井和岩心资料及野外露头可明显地反映出东河砂岩自下而上存在低水位体系域(LST)、海侵体系域(TST)及高水位体系域(HST)。体系域边界主要根据准层序的叠置型式的转换面确定。通过对塔里木盆地西南缘、南天山带等 18 条野外剖面和盆地覆盖区 119 口探井东河砂岩钻测井资料的层序对比和体系域划分,将上泥盆统东河砂岩划分为一个完整的 3 级层序和 3 个体系域(图 1),盆地覆盖区具有较好的对比性,

表 1 塔里木盆地及周缘上泥盆统划分对比^[10]

Table 1 Correlation of the Upper Devonian in the Tarim Basin and its margins

年代地层			南天山分区				塔克拉玛干分区					塔里木西南缘分区	
系	统	阶	东阿赖山	阔克沙岭	萨阿尔明山	克孜勒塔格	柯坪	塔北	塔中	满加尔	巴楚	英吉沙	叶城—和田
泥盆系	上统	法门阶				哈孜尔布拉克组	东河塘组	东河塘组	东河塘组	东河塘组	东河塘组	奇自拉夫	奇自拉夫
		弗拉阶	坦盖塔尔组	坦盖塔尔组	考库亚							?	

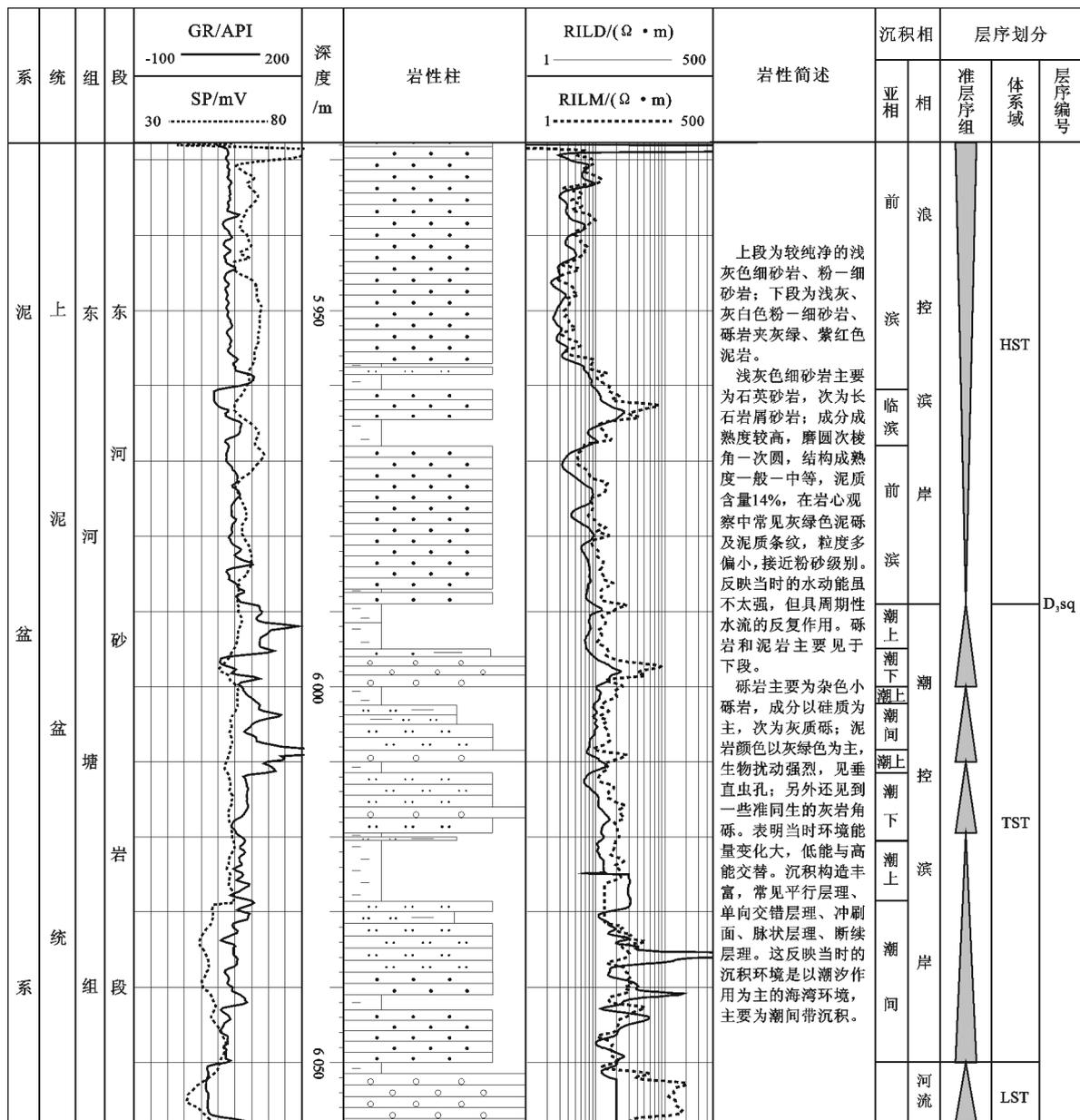


图 1 塔里木盆地 C2 井上泥盆统东河塘组层序地层综合柱状图

Fig. 1 The Well C2 sequence stratigraphy columnar section of the Upper Devonian Donghetang Formation in the Tarim Basin

盆地周缘表现出明显的由海侵到海退的沉积旋回。

3 沉积体系与沉积特征

沉积体系被定义为体系域之下的一个次级地层单元,沉积体系是指在沉积环境和沉积作用方面具有成因联系的三维岩相组合体^[13]。据此,在东河砂岩中鉴别出了低位体系域的河流沉积体系,海侵体系域是以河口湾相及潮控滨岸相为主的沉积体系,高水位体系域是以扇三角洲及浪控滨岸相为主的沉积体系(图 1)。

3.1 低水位体系域(LST)

该体系域仅在 C2, X3, TC1, TZ4 等井的底部

有薄层的河流相沉积(图 2)。它是由分布在侵蚀不整合面之上的较薄的砂、砾质陆上河流充填沉积体系组成,厚度一般为 1~25.5 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 m 以上不等。在一个向上变细的序列中可识别出滞留砾岩、河道沙坝及漫流泥、粉砂沉积。河道沙坝中以发育大、中型板状交错层理为特征。以 C2 井为例,低位体系域发育 1 个向上变浅和变细的准层序,准层序由下部的高成熟度滞留砾岩向上逐渐过渡为河道砂坝及漫流泥、粉砂沉积(图 1)。

以河流沉积体系为代表的低位体系域并不发育,它代表了低位晚期海平面缓慢回升时的陆上河

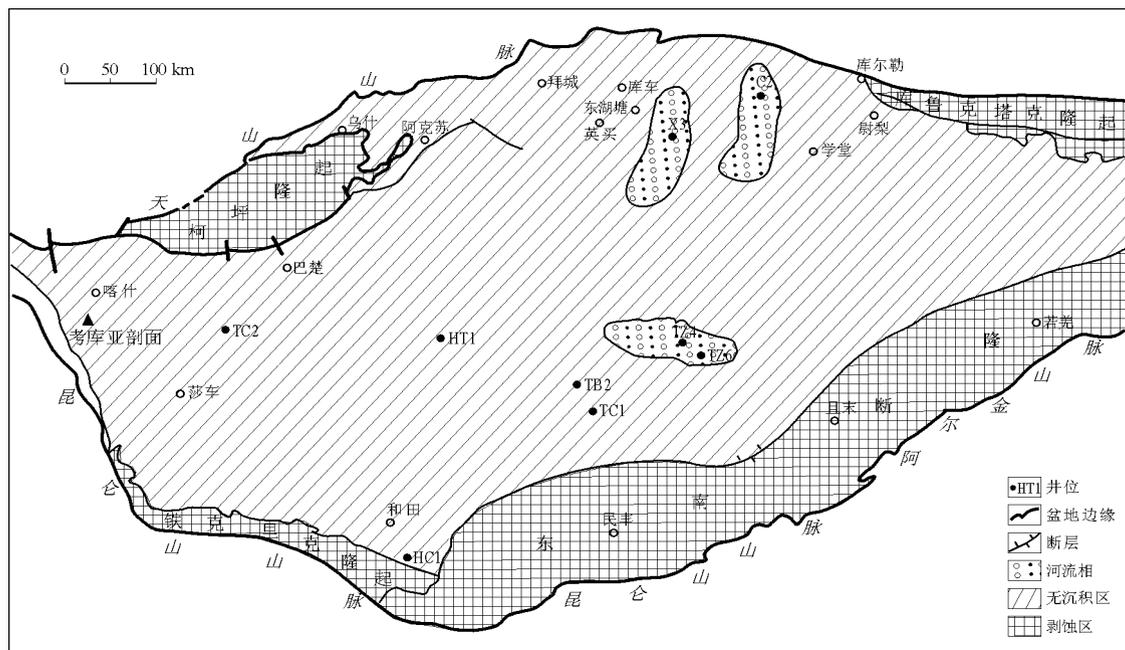


图 2 塔里木盆地上泥盆统东河塘组层序低位体系域沉积体系

Fig. 2 The LST deposition system of the Upper Devonian Donghetang Formation in the Tarim Basin

道的充填沉积,具填平补齐的特点。

3.2 海侵体系域(TST)

海侵体系域在盆地覆盖区及南天山地区较发育,根据盆地覆盖区残余厚度,主要分布于东河塘、塔中、巴楚、草湖及喀什考库亚地区,其中最厚的地区为喀什考库亚露头,达 488 m,东河塘、塔中及草湖地区沉积厚度较大,厚度超过 50 m。在塔西南喀什考库亚地区为陆棚沉积体系;在盆地南天山东

阿赖山地区为潮坪沉积体系,阔克沙岭和萨阿尔明山地区为碳酸盐岩台地,克孜勒塔格地区为陆棚沉积体系;在盆地覆盖区海侵体系域中主要识别出了河口湾沉积及潮控滨岸组成的沉积体系(图 3)。

3.2.1 河口湾相

其位置位于 TZ4 井区,河口湾相可进一步划分出潮汐砂坝亚相、潮坪亚相及滨面亚相。潮汐砂坝亚相以细砂岩、含中粒细砂岩为主;沉积构造现

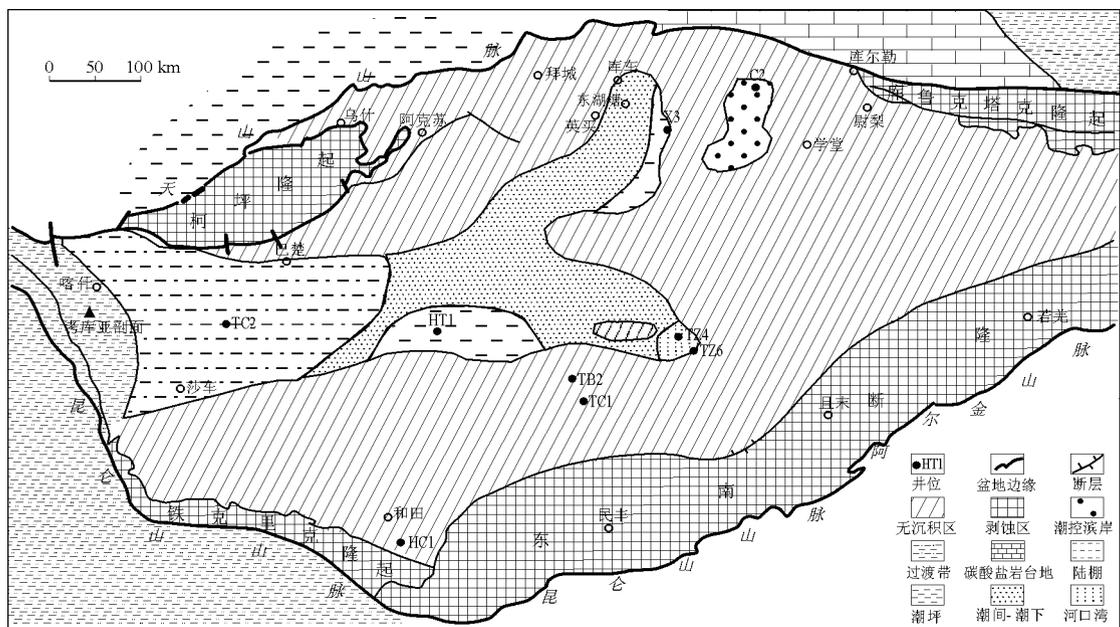


图 3 塔里木盆地上泥盆统东河塘组层序海侵体系域沉积体系

Fig. 3 The TST deposition system of the Upper Devonian Donghetang Formation in the Tarim Basin

象极为丰富,主要以潮汐流成因的双向交错层理及再作用面为主。滨面亚相根据其岩性、结构及构造特征可进一步划分为上滨面微相、下滨面微相及远下滨面微相;沉积构造以中、小型斜层理,槽状交错层理及平行层理为主,下滨面至远下滨面微相中发育波状层理、小型沙纹层理、生物潜穴、钻孔及生物扰动极其丰富。

以上各亚相在垂向上组成了反映海平面相对上升的向上变细的退积准层序组,每个准层序主要由下部较粗的潮间坪潮道砂坝及上部较细的潮间坪泥/粉砂、潮上坪泥岩组成,代表了一次海水变浅,但向上粒度变细的沉积特征。

3.2.2 滨岸相

主要为受潮汐控制的滨岸相,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一细粒砂岩,以块状为主,但平行层理、双向(羽状)交错层理较发育。砂岩层的底部常见冲刷面,及冲刷面之上分布的灰绿色泥砾,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,常见泥裂构造和生物钻孔。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。

以上各亚相垂向由一系列向上变浅和变细的准层序叠置成退积的准层序组,C2井发育5个这样的准层序,准层序由下部的潮下砂坝向上逐渐过渡为潮间砂坪、砂泥混合坪及泥坪。

3.3 高位体系域(HST)

高位体系域范围扩大至盆地周缘,喀什库库亚、铁克里克地区的艾特沟一炮江沟剖面、和田地区的阿其克剖面以及HC1井的高位体系域奇自拉夫组沉积厚度都在200m以上,主要为扇三角洲沉积;在盆地南天山东阿赖山地区为典型的扇三角洲沉积,阔克沙岭和萨阿尔蒙山地区为碳酸盐岩台地,克孜勒塔格地区为陆棚沉积体系;盆地覆盖区主要为潮控滨岸沉积环境。因此,高水位体系域主要由浪控滨岸和扇三角洲组成的沉积体系(图4)。

3.3.1 滨岸相

主要为受波浪控制的滨岸相,可分为前滨亚相、上滨面亚相、下滨面亚相及远下滨面亚相。前滨亚相以细砂岩、中一细粒砂岩为主,以发育低角度的板状交错层理为特征,还具有中一小型斜层理及冲刷痕等,上滨面亚相以细砂岩为主,中小型斜层理、槽状交错层理非常发育。另外,受潮汐的影响,还具有含灰绿色泥砾的双向斜层理。下滨面与远下滨面亚相则以粉砂质细砂岩为主,夹灰色、灰绿色泥质条带粉砂岩及薄层粉砂质泥岩。具小型斜层理,生物扰动、生物钻孔及潜穴发育,局部受生

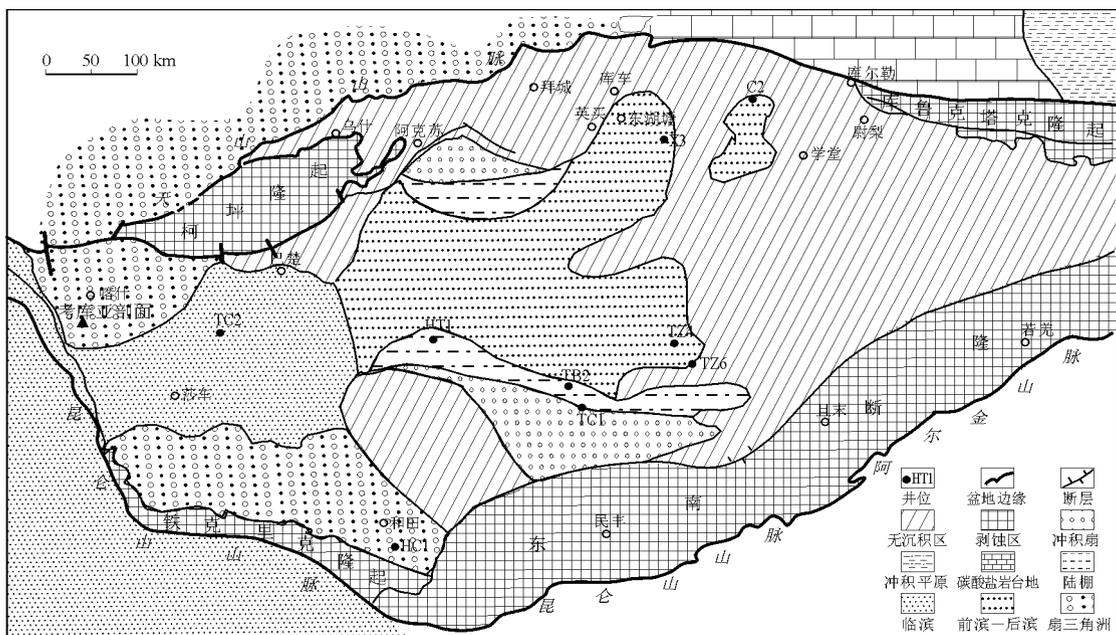


图 4 塔里木盆地上泥盆统东河塘组层序高位体系域沉积体系

Fig. 4 The HST deposition system of the Upper Devonian Donghetang Formation in the Tarim Basin

物扰动的影响导致原生层理构造完全被破坏。生物钻孔及潜穴均以垂直层面为主。这些亚相在垂向上有规律的组合成向上变浅变粗的准层序,这些准层序以进积的方式堆叠成进积准层序组(图1)。

3.3.2 扇三角洲相

盆地周缘铁克里克地区,艾特沟—炮江沟剖面的奇自拉夫组岩性主要为褐紫色、灰紫色为主的杂色厚层石英砂岩、粉砂岩和粉砂质泥岩互层,为扇三角洲沉积。

通过单井沉积相和沉积相连井剖面对比,HT1, TZ6, TB2 及 TC1 等井表现出明显的冲积扇沉积特征。其中 TZ6 井区是研究得较为详细的扇三角洲相实例, TZ6 井在该体系的底部及中上部的连续取心已揭示了这个扇体的沉积特征及垂向沉积序列,主要由杂乱堆积、具基质支撑及正粒序层的泥石流砾质沉积及分选极差、有时具正粒序层的泥砂流或漫流砂泥质沉积物组成向上变细的正旋回序列。

4 原型盆地及沉积演化

4.1 原型盆地

早中泥盆世塔里木盆地处于周缘前陆盆地的构造发展阶段,南缘和北缘均为活动大陆边缘,内部为塔西南前陆拗陷和塔里木克拉通内拗陷,以堆积巨厚的河流—滨岸相红色陆源碎屑岩为特征。到中泥盆世晚期,受海西早期运动的影响,塔里木板块南缘前陆盆地发生强烈的冲断褶皱作用,北缘的南天山洋向其北的中天山地块俯冲消减,形成南天山残余洋盆,从而结束了塔里木周缘前陆盆地演化阶段,其构造变形以盆地内大面积的差异隆升和地层剥蚀以及发育塔里木南部逆冲带、中央走滑隆起带和塔北前陆隆起带为特征(图5)。随后,塔里木盆地进入构造发展的新阶段。晚泥盆世—石炭纪其构造格局发生了根本的变化,出现了北压南张的构造环境。表现在塔里木板块北部,南天山洋盆向北俯冲,形成了中天山岛弧。而在塔里木板块南

缘,古特提斯洋形成^[14]。

东河塘组沉积时期塔里木盆地以塔西克拉通内拗陷的发育为特征,由于塔东地区的隆升,盆地向西倾斜,水体西深东浅,和田、塔东南、柯坪等为低缓隆起,塔中局部为稳定的古隆起,在这种复杂的原型盆地基础上沉积了“东河砂岩”。

从“东河砂岩”海侵体系域和高位体系域分布特征分析,海水来自东北和西南方向,草湖地区的东河砂岩海侵体系域其沉积特征与东河塘地区可以完全对比,但中间顺托果勒凸起将两者分隔,盆地内其水体并不相连,但如此一致的沉积特征说明它们都处于同一的沉积环境,因此,海水应该来自东北部的南天山残余洋。同时盆地西南的陆棚沉积环境说明西南部也同样与海相连。由此说明,东河砂岩沉积时期,南天山洋在盆地东北方向与盆地克拉通内拗陷是连通的,西南方向昆仑洋也与盆地连通。

4.2 沉积演化

中泥盆世末期,盆地在经历了长期的风化剥蚀之后的低水位晚期,陆上辫状河为主的河道开始充填,形成一套厚度较薄的低水位体系域河流沉积体系。海侵期海水由西向东及由北向南推进,由于复杂古地貌的存在,海侵导致在盆地低洼处发生沉积。主要的低洼区有3个:即以东河塘为中心的低洼区、以 TZ4 井区为中心的低洼区及草湖低洼区。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,因此,沉积速度也比较快,尽管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,潮汐作用可形成海侵期的指状砂体的河口湾沉积。在东河塘低洼区与 TZ4 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 所描述的受潮汐控制的滨岸沉积。东河塘、草湖和塔中地区“东河砂岩”的海侵体系域即为这种受潮汐控制的滨岸沉积体系。

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,主要是以分选好的灰白色中—细粒砂岩为特征,在盆地覆盖区内广泛分布。但是,在盆地周缘及一些山前地带,由于河流平衡的破坏,导致陆上新增可容纳空

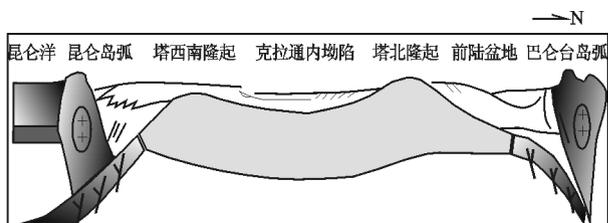


图5 塔里木盆地晚泥盆世原型盆地特征

Fig. 5 Features of the prototype basin of later Devonian in the Tarim Basin

间的产生,形成了沿滨岸带的陆上粗粒扇三角洲沉积体系。

石炭纪开始,由东至西的“剪刀差”式的南天山洋闭合致使塔北地区隆升,导致塔北—塔东弧形隆起的形成,并隔断了与北山裂隙之间的联系,“东河砂岩”在塔北隆起带被剥蚀,形成“东河砂岩”现今的残留格局。

5 结论

1)上泥盆统东河塘组层序地层可划分为 1 个标准的 3 级层序(D₃sq),为 I 型层序。“东河砂岩”组成了一个完整的海平面升降旋回,具有 3 级标准层序的特征,但低位体系域不发育,海侵体系域发育以河口湾相及潮控滨岸相为主的沉积体系,高位体系域则为以扇三角洲及浪控滨岸相为主的沉积体系。

2)根据“东河砂岩”的沉积体系分布特征推断其海侵方向既有来自盆地东北部的南天山残余洋,也有来自盆地西南缘的昆仑洋,物源来自盆地周缘及古隆起剥蚀区。

3)勘探应以盆地覆盖区“东河砂岩”高位体系域浪控滨岸相沉积体系的优良储层为重点,同时也要重视低位体系域河道砂体及海侵体系域潮控滨岸砂体的勘探评价。

参考文献:

1 朱筱敏,张 强,马立驰等. 塔里木盆地东河砂岩层序地层分

析[J]. 海相油气地质,1999,4(4):13~17

2 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

3 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

4 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):289~295

5 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

6 张惠良,张荣虎,王月华等. 粘土膜对砂岩储集性能的影响;以塔里木盆地群 6 井区泥盆系东河塘组下段为例[J]. 石油实验地质,2006,28(5):493~498

7 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):285~293

8 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):648~653

9 吴因业,孙龙德. 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):13~22

10 贾承造,张师本,吴绍祖等. 塔里木盆地及周边地层(上)[M]. 北京:科学出版社,2004.181~187

11 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

12 蒋小琼,郭建华. 塔里木盆地满西地区石炭系层序地层与沉积体系分析[J]. 石油实验地质,2004,26(4):333~337

13 Brown L F, Fisher W L. Seismic—stratigraphic interpretation of depositional systems; examples from Brazil rift and poll—a-part basin[A]. In : Payton C E, ed. Seismic Stratigraphy—Applications Hydrocarbon Exploration, AAPG Mem26 [C], Tulsa:AAPG,1977. 213~248

14 康玉柱. 塔里木前陆盆地构造特征及油气分布[J]. 石油实验地质,2005,27(1):25~27

(编辑 徐文明)

(上接第 567 页)

参考文献:

1 李一平. 四川盆地已知大中型气田成藏条件研究[J]. 天然气工业,1996,16(增刊):1~12

2 赵宗举,朱 琰,邓红婴等. 中国南方古隆起对中—古生界原生油气藏的控制作用[J]. 石油实验地质,2003,25(1):10~17

3 湖北省地质矿产局. 湖北省区域地质志[M]. 北京:地质出版社,1990.323~324

4 刘宝珺,许效松,潘杏南等. 中国南方古大陆沉积地壳演化与成矿[M]. 北京:科学出版社,1993.50~109

5 田望学,潘龙克,江林生. 早寒武世早期“鄂中古岛”异议[J]. 湖北地矿,2001,15(4):7~11

6 李忠雄,陆永潮,王 剑等. 中扬子地区晚震旦世—早寒武世沉

积特征及岩相古地理[J]. 古地理学报,2004,6(2):151~162

7 汪泽成,赵文智,张 林等. 四川盆地构造层序与天然气勘探[M]. 北京:地质出版社,2002.31~40

8 陈洪德,庞 林,倪新锋等. 中上扬子地区海相油气勘探前景[J]. 石油实验地质,2007,29(1):14~18

9 刘光祥. 中上扬子北缘中生界海相烃源岩特征[J]. 石油实验地质,2005,27(5):490~495

10 丁道桂,刘光祥,陈玉华等. 江南—雪峰山前缘油气聚集及烃源对比:南方构造问题之三[J]. 石油实验地质,2007,29(4):345~354

11 戴金星,邹才能,陶士振等. 中国大气田形成条件和主控因素[J]. 天然气地球科学,2007,18(4):472~484

(编辑 叶德燎)