

文章编号: 1000-0747(2019)04-0666-09 DOI: 10.11698/PED.2019.04.04

塔里木盆地上泥盆统一石炭统滨岸-混积陆棚三级层序发育特征

马青¹, 马涛¹, 杨海军², 赵学钦³, 朱逸清¹

(1. 西南石油大学, 成都 610500; 2. 中国石油塔里木油田公司, 新疆库尔勒 841000; 3. 西南科技大学, 四川绵阳 621010)

摘要: 基于塔里木盆地晚泥盆世—二叠纪形成的原型沉积盆地地层沉积相研究结果, 按照层序地层学理论对原型沉积盆地进行了五级层序划分。研究认为原型沉积盆地下部泥盆统一石炭统滨岸-混积陆棚是典型的三级层序并建立了层序发育模型; 研究发现三级层序实际是海侵体系域-高位体系域旋回组合层序, I型层序(无低位体系域)是三级层序的典型发育模式, 识别标志是从海向陆存在巨大的泥岩+灰岩楔形体。五级准层序是基本层序, 为单旋回层序; 混积陆棚区较易识别的薄层灰岩等时沉积体是最大或次级海泛面的等时沉积物; 混积陆棚区属于内源和外源沉积物均衡沉积剖面, 没有凝缩段, 外源碎屑沉积物在海域内倾斜大前积沉积现象在混积陆棚区减弱或消失; 三级层序底部古地貌为阶地-坡折带, 这种古地貌特征既是造成东河砂岩段穿时的主要原因, 也是造成东河砂岩段与其上含砾砂岩段构成海侵-高位多个四级旋回层序的主要原因。图6表1参21

关键词: 滨岸; 混积陆棚; 塔里木盆地; 原型沉积盆地; 层序地层学; 三级层序模型

中图分类号: TE122 文献标识码: A

Development characteristics of the third-order sequence of Upper Devonian–Lower Carboniferous shore-mixed shelf in Tarim Basin, NW China

MA Qing¹, MA Tao¹, YANG Haijun², ZHAO Xueqin³, ZHU Yiqing¹

(1. School of Geoscience and Technology, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China; 2. Tarim Oilfield Company, PetroChina, Korla 841000, China; 3. Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, China)

Abstract: Based on the study of stratigraphic sedimentary facies of the prototype sedimentary basin formed in the Late Devonian to Permian Period in the Tarim Basin, the prototype sedimentary basin are divided into five order sequences according to the theory of sequence stratigraphy. It is considered that the Upper Devonian–Lower Carboniferous shore-mixed shelf in the lower part of the prototype sedimentary basin is a typical third-order sequence and a sequence development model is established. The third-order sequence is actually a transgression systems tract and highstand systems tract cycle assemblage, and the type I sequence (no lowstand systems tract) is a typical developmental mode of the third order sequence, and the identification mark is the existence of huge mudstone and limestone wedges from sea to land. The fifth-order parasequence is the basic sequence, which is a single cycle sequence. The thin layer limestone isochronous sediments, which are easy to be identified in the mixed shelf areas, are the isochronous sediments of the largest or secondary marine-flooding surface. The mixed shelf area belongs to the equilibrium sedimentary profile of internal and external sediments, and there is no condensed section. The inclined deposition phenomenon of extraneous source sediments in the sea area weakens or disappears in the mixed shelf area. The paleogeomorphology at the bottom of the third-order sequence is a terrace-slope break zone. This paleogeomorphological feature is not only the main reason for the sedimentary diachronism of Donghe sandstone, but also the main reason for the formation of the transgression-highstand fourth-order cyclic sequences of the Donghe sandstone section and its upper gravel-bearing sandstone section.

Key words: shore; mixed shelf; Tarim Basin; prototype sedimentary basin; sequence stratigraphy; third-order sequence model

引用: 马青, 马涛, 杨海军, 等. 塔里木盆地上泥盆统一石炭统滨岸-混积陆棚三级层序发育特征[J]. 石油勘探与开发, 2019, 46(4): 666-674.

MA Qing, MA Tao, YANG Haijun, et al. Development characteristics of the third-order sequence of Upper Devonian–Lower Carboniferous shore-mixed shelf in Tarim Basin, NW China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2019, 46(4): 666-674.

0 引言

塔里木盆地上泥盆统一二叠系由碎屑岩和碳酸盐

岩海陆交互沉积地层组成, 是塔里木盆地油气勘探开发的主要目的层系之一, 研究程度较高。泥盆纪末期至石炭纪早期的滨岸相东河砂岩穿时沉积体与早石

炭世的浅海陆棚相泥岩+灰岩沉积物，组成了底部海侵储盖组合及含油气层序。超覆尖灭的地层结构有利于地层岩性圈闭发育，底部海侵期的东河砂岩段浪控滨岸相石英砂岩为一套高孔高渗的优质储集层，在东河塘、塔中、哈得逊、草湖等地区相继发现了大、中型油气田，勘探开发潜力非常大^[1]。

前人提出的层序地层学理论和模型主要建立在盆地和陆棚区仅有外源碎屑沉积物的基础上^[2-4]，这种单一沉积物来源模型最主要的沉积现象就是在陆棚及盆地区域出现了碎屑沉积物倾斜大前积沉积现象，另外重要的可识别界面如海泛面和凝缩段也主要出现在浅海及盆地的泥岩地层内。但层序地层学的理论及模型在浅海陆棚区出现了内源碳酸盐台地沉积物时是否成立和适用、有无显著改变，值得进一步研究。

塔里木盆地上泥盆统一石炭系是在混积陆棚区域内沉积的一套碎屑岩夹碳酸盐岩地层，通过对这套地

层的层序地层学的详细研究，可以系统归纳混积陆棚区层序地层发育特征，建立滨岸-混积陆棚层序地层发育模式，以期达到补充完善层序地层学的理论和研究方法的目的。

1 区域构造背景

塔里木盆地是一个叠合复合盆地，古生代至少发育 3 期原型沉积盆地。在下伏志留纪—中泥盆世原型沉积盆地形成、充填、褶皱、构造隆起、剥蚀夷平的基础上，晚泥盆世—二叠纪形成了一个新的原型沉积盆地叠置其上（见图 1），并经历了盆地形成、充填、演化、消亡的全过程。这一时期也是塔里木盆地构造发展的重要时期^[5-6]，构造格局转变为北压南张的构造环境，北缘继承前期的构造格局，仍为活动大陆边缘，表现为北部古大洋向南的强烈俯冲岛弧形成及其消减，北部由此抬升。塔里木地块西南缘古特提斯洋形

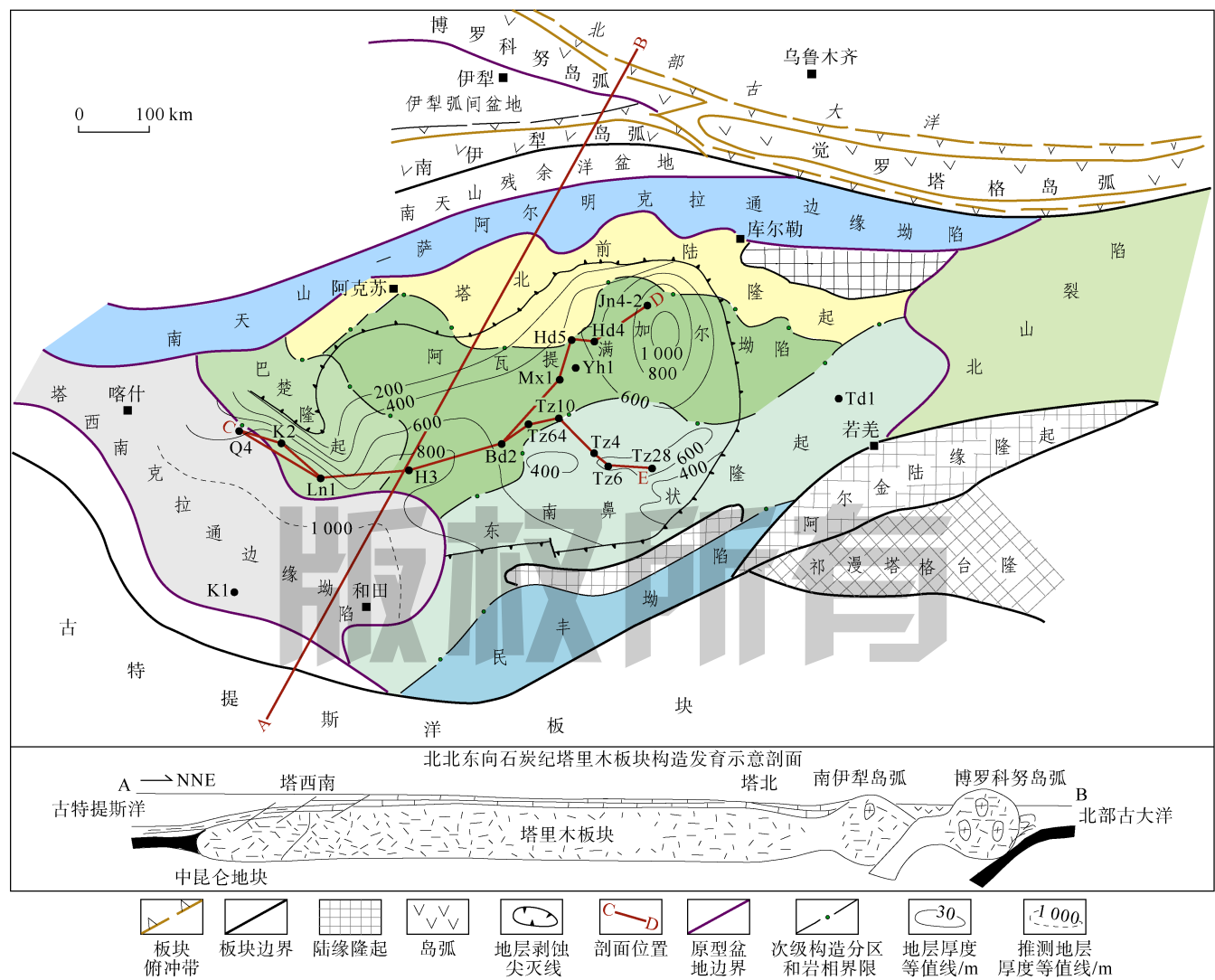


图 1 塔里木盆地石炭纪大地构造背景及地层等厚图（据文献[5]修改）

成,拉张格局导致西南缘下沉,海侵由此开始,晚泥盆世—二叠纪塔里木为古被动大陆边缘浅海盆地。

晚泥盆世—石炭纪是塔里木盆地重要的海侵期,海水从古特提斯洋方向侵入塔西南克拉通边缘拗陷及塔里木克拉通内拗陷,在经历了滨岸相东河砂岩段+含砾砂岩段+浅海相下泥岩段的填平补齐式沉积后,转入混积陆棚沉积环境,沉积厚度达1 200 m;早二叠世塔里木盆地发生大规模海退,海退的方向仍然是从东北向西南,属于“从哪进从哪出”式的海进海退,中二叠世发生水下及陆地的大规模火山喷发,火山岩覆盖了大半个盆地;晚二叠世继续海退,结束了原型盆地的沉积充填过程。

2 岩性地层划分及沉积相

2.1 岩性地层划分

塔里木盆地覆盖区上泥盆统—石炭系—二叠系(后文简称D3CP)原型沉积盆地地层发育较齐全,地层岩性段特征明显,横向分布稳定,易于划分和追踪对比,划分方案基本大同小异;本文参考塔里木油田公司研究院的划分方案,结合对全盆地钻井的地层复查和连井对比,也将塔里木盆地上泥盆统—石炭系划分为3个统、3个组和10个岩性段,将二叠系划分为2个统、2个群组和4个岩性段(见图2、图3)。

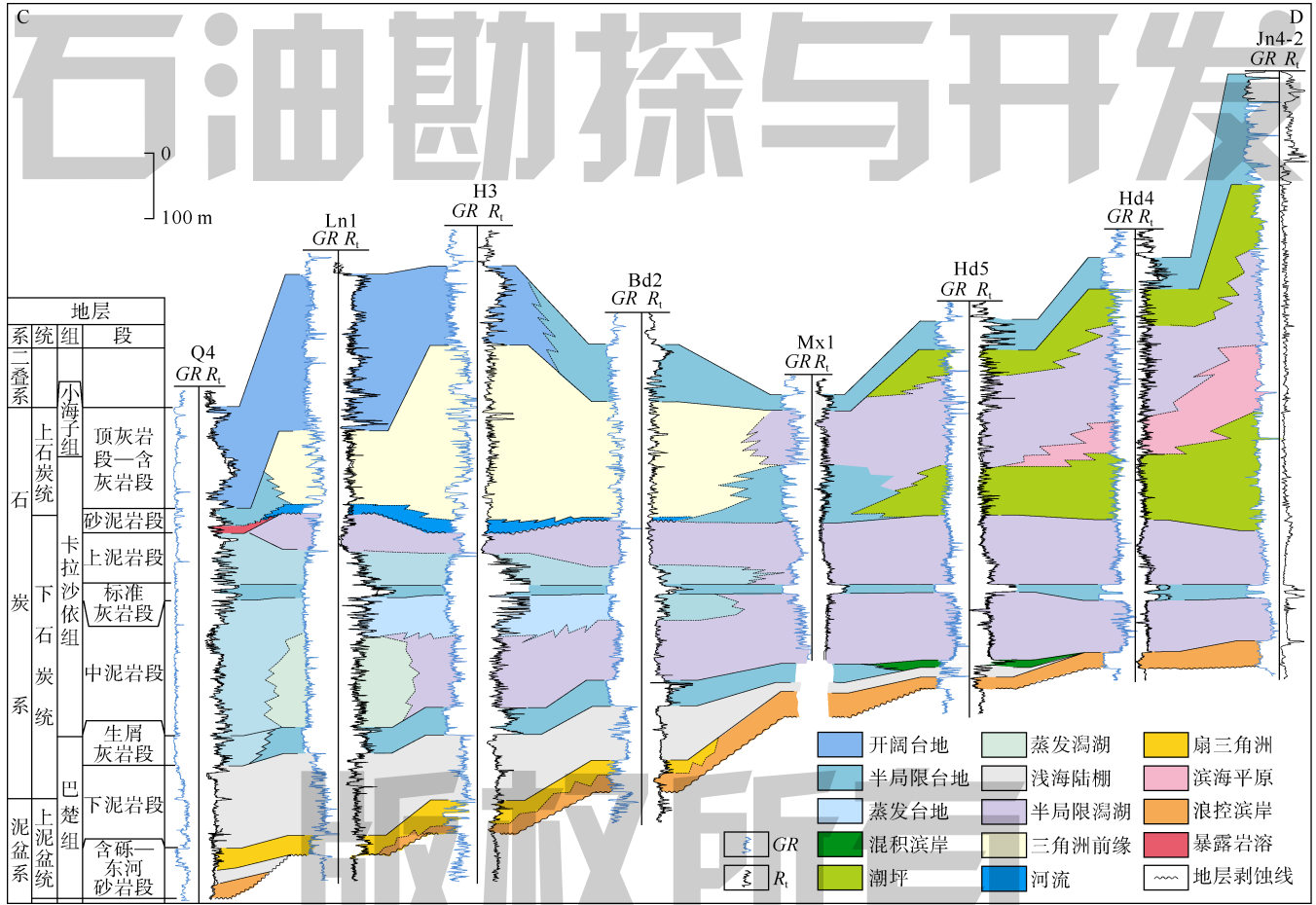


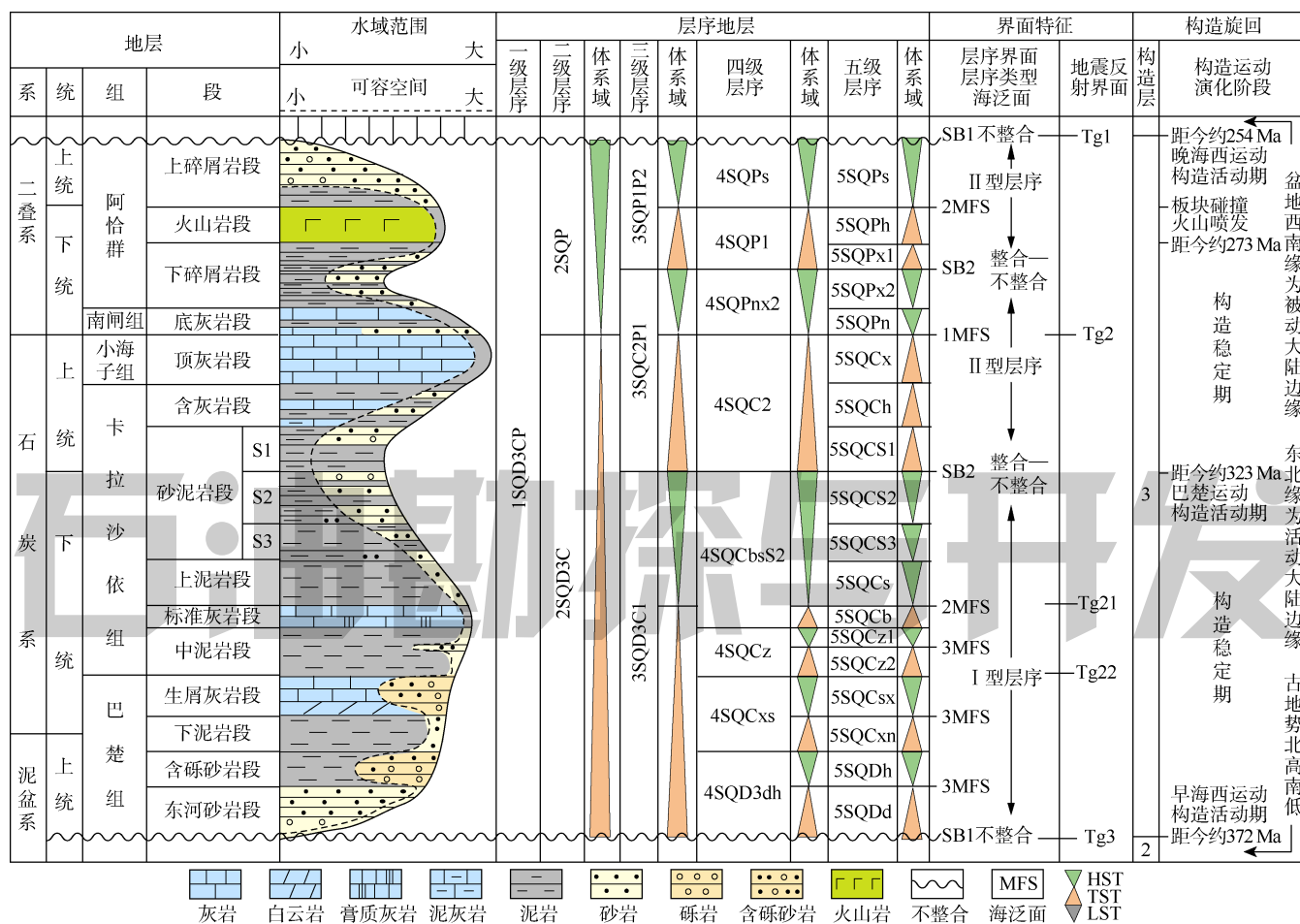
图2 塔里木盆地上泥盆统—石炭系东西向连井地层沉积相对比大剖面(剖面位置见图1;GR—自然伽马,API;R_t—电阻率,Ω·m)

根据前人关于巴楚、塔中古生物地层的最新研究成果^[7],推测上泥盆统—下石炭统的地层分层界限在巴楚组下泥岩段中部的一层厚度为3 m的灰岩处,晚泥盆世—早石炭世为连续沉积。

晚泥盆世—石炭纪是塔里木盆地重要的海相地层沉积时期,东河砂岩段底为盆地级的不整合面,晚泥盆世—早石炭世沉积的东河砂岩段+含砾砂岩段为一个典型的穿时岩性段^[8-10],下泥岩段和生屑灰岩段从西向东层层超覆相变,标准灰岩段和石炭系顶部的小海

子组顶灰岩段为盆地内重要的地层对比标志层,分布范围较广泛。

二叠纪是塔里木盆地由海相转变为陆相的重要时期^[11],二叠系下统南闸组底灰岩段仅分布在巴楚及塔西南地区,与上石炭统小海子组顶灰岩段为整合-不整合接触关系,为二叠系下统沉积早期盆地西南部海相碳酸盐台地沉积,沉积范围明显缩小,早二叠世晚期盆地发生由东向西的海退,中二叠世由于南天山洋的关闭及北天山洋盆的俯冲,盆地内发育大量的火山岩。



晚二叠世，盆地大部分地区隆升为陆，仅在塔中和塔西南为弧后盆地，发育河流相-海陆交互相沉积，二叠纪末期海水完全退出塔里木盆地，原型盆地沉积结束并被剥蚀大量地层。

2.2 上泥盆统一石炭系沉积相发育特征

塔里木盆地石炭系标准灰岩段是在半局限台地环境中沉积的褐灰色泥晶灰岩地层,厚度为 10~30 m,在测井曲线上以显著的低伽马、高电阻特征区别于上下地层,对应于地震 Tg21 反射同相轴,是等时沉积体,因此是地层对比的良好标志层。

本次研究建立了一条横跨塔里木盆地北东向连井地层沉积相对比大剖面（见图 2），剖面方向基本垂直于古海岸线走向，同时将标准灰岩段作为等时沉积地层进行层拉平分析。

塔里木盆地上泥盆统一石炭系按照海进海退旋回性可以标准灰岩段为界和小海子组顶灰岩段为界划分出一个半沉积旋回地层序列, 标准灰岩段以下地层基本为海进沉积层序, 标准灰岩段以上至小海子组为海退再海进沉积层序。

塔里木盆地上泥盆统一石炭系以海相碳酸盐岩和

碎屑岩为主,呈互层或交互沉积,在西部地区以碳酸盐岩沉积占优势,发育有开阔台地、半局限台地、蒸发台地等沉积相类型,在东部地区则以碎屑岩为主。发育混积滨岸、潮坪、潟湖、三角洲、浪控滨岸、河流、冲积扇等多种沉积相类型。

剖面反映了在上泥盆统东河砂岩段沉积前, D3CP 原型沉积盆地的古地貌特征基本是一个西低东高的宽缓的大斜坡, 东西向地形高差达 300 m; 东河砂岩段和其上部的含砾砂岩段具有明显的穿时性, Bd2 井以西东河砂岩段—含砾砂岩段的沉积时间为晚泥盆世, 而 Mx1 井以东东河砂岩段的沉积时间显然比 Bd2 井以西的晚, 其沉积时间大致与 Bd2 井以西地区的下泥岩段上部泥岩的沉积时间相同, 再往东至 Hd4 井—Jn4-2 井东河砂岩段的沉积时间基本与生屑灰岩段的沉积时间相同, 因此这些地区东河砂岩段的沉积时间显然已经进入早石炭世。

3 原型沉积盆地层序地层划分

3.1 前人层序划分方案存在的问题

关于塔里木盆地上泥盆统一石炭系层序地层学方

面的研究前人已经做了大量工作，在层序划分方案中各家都是按照三级层序是基本层序来划分层序的，然而划分结果却各不相同^[12-16]。出现这个问题的原因主要是对盆地中不整合面及整合面所限定的三级层序存在显著的认识差异，另外就是未正确定义、理解和划分原型沉积盆地层序的级别造成的。

Exxon 学派提出的五级分层方案^[17]将层序划分为五级，分别为巨层序、超层序、层序、准层序组及准层序，并且对于四级准层序组和五级准层序是有充分定义和描述的，但并未详细定义和说明一级层序至三级层序到底是什么地层结构，这就是造成在应用过程中三级层序划分混乱，三级层序可大可小的最根本原因。

3.2 原型沉积盆地五级层序划分

层序地层学对于层序的定义是顶底以不整合面及对应延伸的整合面为界的、成因上有联系的一套地层。从定义来看，层序地层学实际的研究目标就是原型沉积盆地，因为原型沉积盆地的顶底就是由盆地级的不整合面所限定的。因此层序地层学是研究原型沉积盆地内地层沉积充填组合序列的一门学科，将五级层序划分方案完全置于原型沉积盆地内就是必然的选择。

原型沉积盆地是指在相对单一的地球动力学系统或单旋回构造演化阶段所形成的具有特定沉积地层的、顶底均为盆地级不整合面及与之对应延伸的整合面所限定的、以海泛面为等时尺度的、有成因联系并具旋回性的地层充填序列的沉积盆地，并经历了盆地形成、充填、演化、消亡全过程，其时限为相对海平面从最低上升到最高、又回落到最低海平面的完整旋回周期。

本文将五级层序划分方案完全应用于塔里木的 D3CP 原型沉积盆地中，划分结果如下（见表 1、图 3）：

表 1 原型沉积盆地层序地层划分方案表（据文献[17]修改）

层序 地层单元	一级 巨层序	二级 超层序	三级 层序	四级 准层序组	五级 准层序
划分原则	是原型沉积盆地的命名层序	以最大海泛面为界划分	海侵及高位体系域的旋回组合层序	准层序的叠加或旋回组合	单旋回
与岩性地层单元的关系	相当于几个系不完全对应	相当于系或统不完全对应	相当于统或群不完全对应	相当于组不完全对应	相当于岩性单一的组或段

①一级巨层序：命名为 1SQD3CP（表述为一级巨层序上泥盆统一石炭系—二叠系），是原型沉积盆地的命名层序，与第 3 构造层对应，其顶面和底面均为盆地级的不整合面，极易识别，代表了 D3CP 原型沉积盆地从形成、充填、演化、消亡，上部地层再被强制海退削蚀的全过程，其时限约为 118 Ma。

一级巨层序的划分和追踪对比是对地层古生物和

沉积相研究成果、地震层序和构造发育研究成果的综合体现，其分布既反映了原型沉积盆地的充填序列，又反映了不同原型沉积盆地的叠合关系。一级巨层序与岩性地层的一个系或多个系的组合相当，如塔里木盆地前寒武系—奥陶系就是一个一级巨层序，志留系—中泥盆统就是一个一级巨层序，上泥盆统一二叠系就是一个一级巨层序，表明塔里木盆地古生界由 3 期原型沉积盆地叠加而成。

②二级超层序：顶底以盆地级不整合面所限定，中部以海域面积扩到最大、原型沉积盆地内部最大海泛面为界划分二级层序。塔里木 D3CP 原型沉积盆地可划分为两个二级超层序，上泥盆统一石炭系为一个二级超层序 2SQD3C，底部为盆地级的不整合面，顶部小海子组顶灰岩段为海域扩到最大灰岩沉积，整体构成一个二级海侵体系域沉积层序；上部二叠系形成一个二级超层序 2SQP，构成海平面上升速率降低、海域缩小直至完全强制性退出的二级高位体系域沉积层序。整体构成海侵-高位二级旋回组合层序。

③三级层序：是层序地层学研究的三级海侵-高位沉积旋回组合层序，其顶、底是以不整合面及与之相对应的整合-不整合面为边界的、内部为最大或次级海泛面分隔的一套相对整一的、成因上有联系的、表现为海侵-高位旋回组合型的地层单元组成。三级层序分为 I 型层序和 II 型层序，其中 I 型层序是以 I 型不整合面为边界，自下而上由低位体系域、海侵体系域、高位体系域组成。II 型层序是以 II 型不整合为边界，自下而上由海侵体系域和高位体系域组成。而这两类层序就是典型的三级层序。

塔里木 D3CP 原型沉积盆地为发育在被动大陆边缘的盆地，低位体系域推测发育在塔西南以南区域，盆地范围内未见低位体系域沉积层序。主要发育 3 个三级层序 3SQD3C1、3SQC2P1 和 3SQP1P2，下部三级层序是一个 I 型层序，中部和上部的三级层序都是 II 型层序。这 3 个三级层序在陆棚区通常由下部的海侵体系域和上部的高位体系域构成，中部由最大或次级海泛面分隔，因此判别三级层序最直观的就是建立层序或岩性对比图后剖面图中是否存在从海向陆有巨大的泥岩+灰岩楔形体。

④四级准层序组：是由一系列成因相关的、具有特定叠置方式的或旋回组合方式的准层序组成，其中心为一个重要的海泛面或与之可对比的面，基本由两个以上准层序组成。准层序组一般与岩性地层复杂的组基本相当，但也可以不相对应。塔里木 D3CP 原型沉积盆地中共划分出 8 个准层序组。

⑤五级准层序：是层序地层学研究的基本单元，是由最低级的海泛面或与之相当的整合或不整合面所限定的一组相对整合的岩性段或岩性组序列，为单旋回沉积层序。在塔里木 D3CP 原型沉积盆地中共划分了 18 个准层序，包括东河砂岩段也为一个准层序。

五级准层序一般与岩性地层的段或岩性单一的组相对应，因为岩性段或岩性单一的组的沉积物特征基本一致，是在单一的沉积环境中沉积的一套地层。如塔里木盆地东河砂岩段的沉积环境为滨岸相，垂向相序显示其从下向上由后滨、前滨、临滨构成，为标准的海侵背景下沉积的一套滨岸相石英砂岩地层，因此为海侵单旋回五级准层序；而其上的含砾砂岩段为河流三角洲相沉积地层，垂向相序为河流相的二元结构即砂泥互层组成，侧向上由陆向海方向岩性由砾岩相变为含砾砂岩再相变为细砂岩，因此判定为高位单旋回五级准层序；而单旋回五级准层序的进一步旋回组合则构成了四级准层序组，如东河砂岩段海侵五级准层序与其上的含砾砂

岩段高位五级准层序就构成了四级准层序组旋回层序。

层序分级时，体系域必须跟着进行分级描述。体系域是指一系列同时期形成的沉积体系或组合，根据其三维空间的展布特征即可确定体系域的类型和沉积背景；塔里木 D3CP 原型沉积盆地只发育两类体系域，即海侵体系域（TST）和高位体系域（HST），而这两类体系域的沉积旋回及组合就构成了除一级层序外的其他四级层序的划分依据和基础，各级次的海侵体系域与高位体系域之间的转换界面往往对应于不同级别的海泛面。

4 三级层序发育模型的建立及特征

4.1 三级层序发育模型的建立

根据塔里木 D3CP 原型沉积盆地层序地层特征分析，结合层序地层学的基本原理和模型，建立了塔里木盆地上泥盆统一下石炭统从西向东滨岸-混积陆棚三级层序发育演化实体模型（见图 4）。

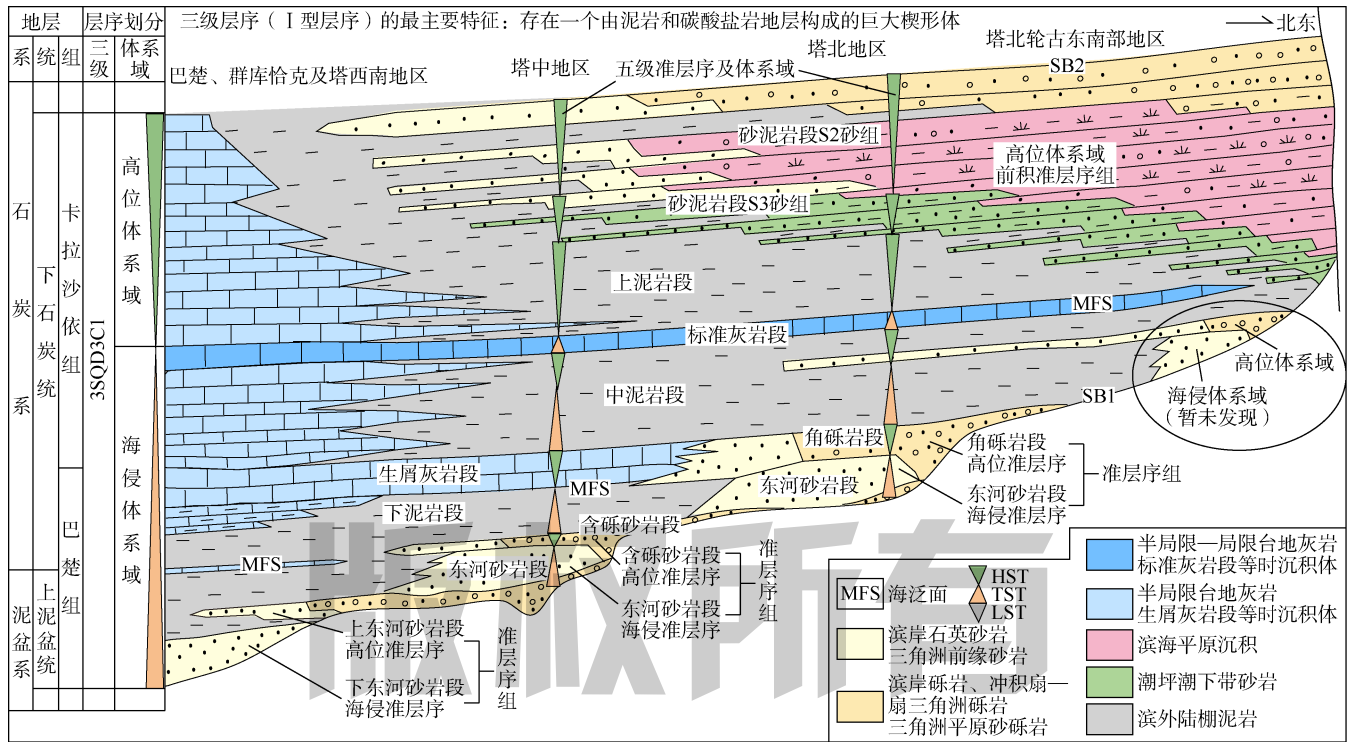


图 4 塔里木 D3CP 原型沉积盆地上泥盆统一下石炭统滨岸-混积陆棚三级层序发育模型

塔里木盆地上泥盆统一下石炭统沉积期间处于滨岸-浅海陆棚沉积区，其地层分布特征为从海向陆存在一个大型的由泥岩和碳酸盐岩组成的楔形体，因此可以判定上泥盆统一下石炭统是三级层序，其沉积时限约为 49 Ma。

三级层序底界东河砂岩段底为盆地级的 I 型不整合面（SB1），顶界砂泥岩段 S2 砂组顶为相对海平面上

升速率降低形成的整合-不整合 II 型层序边界（SB2），之间发育一个完整的三级层序。标准灰岩段为次一级最大海泛沉积地层，分隔了下部的三级海侵体系域沉积层序和上部的三级高位体系域沉积层序，整体构成三级海侵-高位旋回组合层序。阶梯状 I 型不整合面之上依次发育三期东河砂岩段海侵体系域五级准层序及东河砂岩段-含砾砂岩段四级准层序组旋回层序。

4.2 三级层序发育特征

与经典的只有外源沉积物的层序地层学沉积模式不同,塔里木盆地上泥盆统一石炭统是在滨岸-混积陆棚区域内发育的三级层序,既有外源碎屑沉积物,又有内源碳酸盐沉积物。对其进行层序地层学原理分析和研判可得出一些重要的结论和认识:

4.2.1 碳酸盐岩薄夹层是等时沉积和海泛指标地层

层序地层学是建立在沉积盆地只有外源碎屑沉积物的基础之上,因此对等时沉积也是用海泛面和凝缩段来定义和识别,但识别存在一定的困难。而在塔里木盆地石炭系下统混积陆棚沉积物中夹有分布稳定广泛、具有等时沉积和海泛代表特征的两层碳酸盐岩薄层沉积物生屑灰岩段^[18]和标准灰岩段,因此识别等时沉积和海泛面也就相对容易。

夹在泥岩中的灰岩薄层沉积物可以作为海泛的标志层是有理论依据的,海泛实际是指海平面越过前方不整合面形成的坡折带后海域面积的突然扩大,海域扩大后先期必是混水泥岩沉积,后期海水变清后达到碳酸盐析出条件时碳酸盐岩层就会随之出现;因此如果在泥岩中找不到可靠的海泛面,以灰岩底或顶为海泛面也是可以接受的结果。

塔里木 D3CP 原型沉积盆地发生过 3 期非常明显的海泛沉积事件,分别是生屑灰岩段、标准灰岩段、小海子组灰岩段沉积时期,并且一期比一期沉积范围广;另外还有东河砂岩段与含砾砂岩段之间也是次一级的海泛面,这些海泛地层的存在和识别为层序地层级别划分和体系域的确定提供了重要依据。

4.2.2 混积陆棚具有均衡沉积特征

混积陆棚是碳酸盐岩与碎屑岩均衡沉积区域,因此与碎屑岩的层序沉积模型最显著的不同就是从陆向海的沉积物倾斜大前积沉积现象的减弱和消失,由于混积陆棚属于碳酸盐岩与碎屑岩混积,因此存在此退彼进的沉积现象和内源碳酸盐岩与外源碎屑岩等时指状穿插沉积现象,形成均衡沉积剖面。这种均衡沉积最显著的特征就是等厚即等时沉积现象,如标准灰岩段和生屑灰岩段灰岩地层在浅海陆棚范围就基本等厚,另外就是没有“凝缩段”地层。

4.2.3 上泥岩段和砂泥岩段 S2—S3 砂组为高位体系域

标准灰岩段为一套厚度分布稳定的泥晶灰岩地层,分布范围较广,可以看作塔里木盆地石炭系下统中部的海泛等时沉积地层,在沉积了这套地层之后陆棚区转入高位体系域沉积,上泥岩段和砂泥岩段中下部地层均为高位体系域沉积物,潮坪和三角洲砂体向海域进积,形成从陆地到浅海的砂岩和泥岩互层沉积。

石炭系砂泥岩段 S3 砂组是轮南的重要产油砂组,为泥岩夹薄层砂岩地层,其与上泥岩段的关系在垂向上是上下地层关系,但在侧向上则是相变关系,内部的薄层砂岩向海域方向减薄尖灭。

4.2.4 阶梯状古地貌造成东河砂岩段穿时

本文的古地貌分析采用的是塔里木盆地上泥盆统一石炭统巴楚组厚度等值线图,在等值线地貌判别基础上作出古地貌素描示意图(见图 5)。

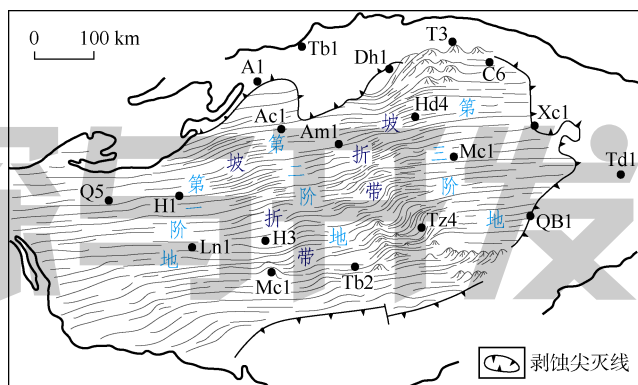


图 5 D3CP 原型沉积盆地沉积前古地貌特征示意图

石炭系沉积前的古地貌分析表明其整体为西低东高的古地貌格局,并且呈现为第一阶地-坡折带-第二阶地-坡折带-第三阶地-轮南半岛的古地貌阶梯状升高特征,这种古地貌分布特征直接决定了从西向东的海侵具有阶段性和旋回性。

当海平面升高,海岸线到达坡折带下方时会表现出缓慢海侵沉积的特征,沉积物在坡折带下方沉积时就会按照滨岸带可容空间的充足与不足显示出海侵-高位的四级层序沉积旋回性并在坡折带下形成东河砂岩段和含砾砂岩段地层。

当海平面一旦高过坡折带又会显示出快速海侵和海泛的沉积特征,如在满加尔地区的第三阶地内由于古地形很平坦,造成海侵速度很快,海岸线推进速度也很快,造成该区域基本无东河砂岩沉积,甚至出现了下泥岩段泥岩直接超覆于不整合面之上的沉积现象。海岸线会快速推进至轮南半岛及草湖地区的另一个坡折带下方开始新一轮滨岸带四级层序沉积旋回。

4.2.5 东河砂岩段与含砾砂岩段构成局部四级层序

东河砂岩段与上部含砾砂岩段或角砾岩段之间的接触关系一直存在较大的争议,部分学者^[19]认为东河砂岩的顶界面与古风化暴露面的类型一致,属于风化剥蚀成因的平行不整合。本文作者经过长期研究发现在巴楚地面剖面、群库恰克、塔中和塔北地区^[20-21]东河砂岩顶部常会出现冲积扇、河流三角洲砂砾岩夹泥岩

地层直接盖在滨岸相东河砂岩顶部的沉积现象,而且具有侵蚀沉积现象,因此判断这是一个普遍的沉积现象。

本文研究认为按照层序地层学的观点即由于滨岸

地带可容空间的变化会引发海侵-高位、再海侵-再高位沉积旋回的观点就可以很好的解释这种三角洲河道砂砾岩覆盖在滨岸相石英砂岩之上的现象(见图6)。

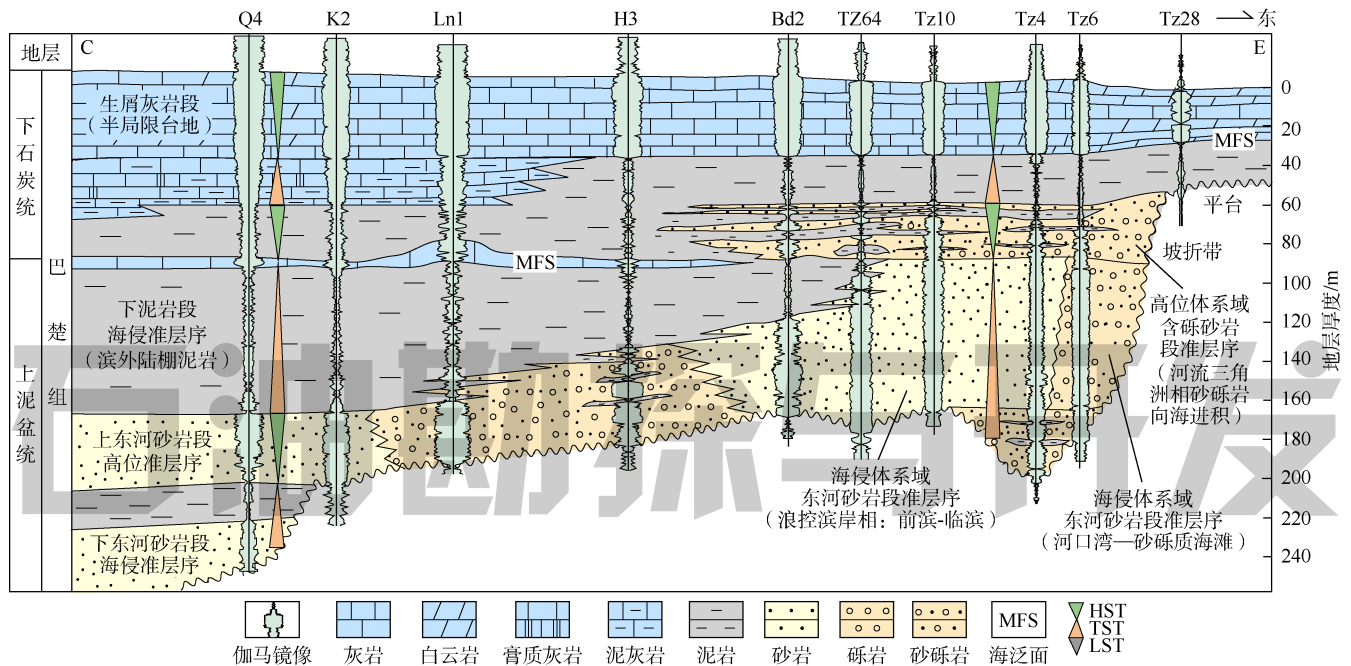


图6 巴楚至塔中地区 Q4-Tz28 井东河砂岩段—含砾砂岩段四级准层序组层序地层对比剖面图(剖面位置见图1)

滨岸地带的海侵体系域东河砂岩准层序沉积晚期由于海岸线长期在坡折带下方停滞,滨岸地带的可容空间可能会被填满,进而造成河流三角洲携带大量沉积物越过滨岸地带向远滨—滨外陆棚有可容空间的海区进积,形成高位体系域的河流三角洲相的砂泥岩互层沉积,而在滨岸地带高位体系域的底部是河道侵蚀沉积,河道底部往往是滞流砾岩沉积,这样就造成砂砾岩直接盖在东河砂岩上的侵蚀沉积现象。因此东河砂岩段与含砾砂岩段之间不存在不整合面,而是体系域之间的转换界面。

而海平面漫过坡折带顶部后会发生快速海侵和海泛(注意 Tz28 井区下泥岩段直接覆盖在不整合面上的沉积现象),海岸线会快速推进到下一个坡折带处又重复海侵-高位沉积旋回。这就是在群库恰克地区存在上下东河砂岩段、在塔中地区东河砂岩段与含砾砂岩段、在塔北地区东河砂岩段与角砾岩段的四级海侵-高位旋回层序多个地区不同沉积时间出现的原因。

5 结论

混积陆棚具有外源碎屑与内源碳酸盐沉积物均衡沉积特征,没有“凝缩段”地层,因此与碎屑岩的层序沉积模型最显著的不同就是从陆向海的沉积物倾斜大前积现象的减弱和消失。碳酸盐岩薄层沉积物也是

特征明显的等时标志层和海泛标志层。

层序地层学可以用于研究原型沉积盆地内地层沉积充填组合序列。按照海侵-高位、再海侵-再高位沉积旋回理论将塔里木 D3CP 原型沉积盆地层序划分为五级,一级巨层序 1SQD3CP 为原型沉积盆地的命名层序,顶底以盆地级不整合面所限定,与构造层序对应;二级超层序以最大海泛期沉积地层小海子组顶灰岩段为界将原型沉积盆地分成两个超层序 2SQD3C 和 2SQP;三级层序 3SQD3C1、3SQC2P1 和 3SQP1P2 构成了层序地层学的经典层序即 I 型层序和 II 型层序,共同特征就是层序内从海向陆存在一个巨大的泥岩+灰岩楔形体,四级准层序组是五级准层序的海侵-高位沉积旋回组合;五级准层序是层序地层学的基本单元,由单一体系域构成,对应于岩性单一的岩性段或岩性单一的组。

塔里木盆地上泥盆统一下石炭统为在混积陆棚区域发育完整的三级层序,同时也是 I 型层序,东河砂岩段—标准灰岩段为三级层序下部海侵体系域沉积地层,标准灰岩段—砂泥岩段 S2 砂组顶为三级层序上部高位体系域沉积地层,低位体系域不发育。

D3CP 原型沉积盆地沉积前的古地貌分析表明,当时沉积盆地整体为西低东高的古地貌格局,并且呈现为阶地-坡折带分布特征,这种古地貌分布特征直接决定了从西向东的海侵速度具有快慢不一的阶段性的,东

河砂岩段海侵准层序具有穿时性, 坡折带下方沉积的东河砂岩段海侵准层序与含砾砂岩段高位准层序构成海侵-高位四级层序的旋回性。

参考文献:

- [1] 周新源, 杨海军, 胡剑风, 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 (特约稿) [J]. 海相油气地质, 2010, 15(1): 73-78.
ZHOU Xinyuan, YANG Haijun, HU Jianfeng, et al. Cases of discovery and exploration of marine fields in China (Part 13): Donghetang sandstone oil field in Tarim Basin[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2010, 15(1): 73-78.
- [2] 威尔格斯 C K. 层序地层学原理(海平面变化综合分析)[M]. 徐怀大, 魏魁生, 洪卫东, 等. 译. 北京: 石油工业出版社, 1992.
WILGUS C K. Sea-level changes: An integrated approach[M]. XU Huaida, WEI Kuisheng, HONG Weidong, et al, trans. Beijing: Petroleum Industry Press, 1992.
- [3] 吴因业, 邹才能, 季汉成. 中国层序地层学导论[M]. 北京: 石油工业出版社, 2005.
WU Yinye, ZOU Caineng, JI Hancheng. Introduction to sequence stratigraphy in China[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2005.
- [4] 朱筱敏. 层序地层学[M]. 东营: 石油大学出版社, 2000.
ZHU Xiaomin. Sequence stratigraphy[M]. Dongying: Petroleum University Press, 2000.
- [5] 张光亚. 塔里木古生代克拉通盆地形成演化与油气[M]. 武汉: 地质出版社, 2000.
ZHANG Guangya. Formation and evolution of the Paleozoic craton basin and oil and gas in Tarim Basin[M]. Wuhan: Geological Publishing House, 2000.
- [6] 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): 64-76.
HE Dengfa, JIA Chengzao, LI Desheng, et al. Formation and evolution of polycyclic superimposed Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(1): 64-76.
- [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] 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.
WANG Zhaoming, TIAN Jun, SHEN Yinmin, et al. Sedimentary facies of Donghe Sandstone during the Late Devonian to Early Carboniferous in Tarim Basin[J]. Journal of Palaeogeography, 2004, 6(3): 289-296.
- [9] 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.
GU Jiayu, ZHANG Xingyang, GUO Bincheng. Characteristics of sedimentation and reservoir of the Donghe Sandstone in Tarim Basin and their synthetic analysis[J]. Journal of Palaeogeography, 2006, 8(3): 285-294.
- [10] 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.
ZHANG Huiliang, YANG Haijun, SHOU Jianfeng, et al. Sedimentary periods of Donghe sandstone and hydrocarbon exploration in Tarim Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2009, 30(6): 835-842.
- [11] 蒲仁海, 党晓红, 徐璟, 等. 塔里木盆地二叠系划分对比与火山岩分布[J]. 岩石学报, 2011, 27(1): 166-180.
PU Renhai, DANG Xiaohong, XU Jing, et al. Permian division and correlation and distribution of volcanic rocks of Tarim Basin[J]. Acta Petrologica Sinica, 2011, 27(1): 166-180.
- [12] 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): 13-24.
WU Yinye, SUN Longde, GU Jiayu, et al. Sedimentary sequence analysis and reservoir evaluation of the Donghe Sandstone of Carboniferous in Manxi area of Tarim Basin[J]. Journal of Palaeogeography, 2008, 10(1): 13-24.
- [13] 辛仁臣, 贾进华, 扬波. 塔里木盆地泥盆统-下石炭统层序地层格架与古地理[J]. 古地理学报, 2011, 13(6): 665-676.
XIN Renchen, JIA Jinhua, YANG Bo. Sequence stratigraphy framework and Palaeogeography of the Upper Devonian to Lower Carboniferous in Tarim Basin[J]. Journal of Palaeogeography, 2011, 13(6): 665-676.
- [14] 朱美衡, 郭建华, 石媛媛, 等. 塔河地区石炭系层序地层及与邻区的对比[J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(3): 23-26.
ZHU Meiheng, GUO Jianhua, SHI Yuanyuan, et al. Carboniferous sequence stratigraphy correlation of Tahe and adjacent areas, Tarim Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(3): 23-26.
- [15] 徐正华, 马青, 徐大宝, 等. 哈拉哈塘地区东河砂岩段—角砾岩段沉积模式探讨[J]. 海洋地质, 2010, 30(1): 26-30.
XU Zhenghua, MA Qing, XU Dabao, et al. Donghe sandstone and breccia depositional model discussion of Halahatang region in Tarim basin[J]. Offshore Oil, 2010, 30(1): 26-30.
- [16] 陈国俊, 王志勇, 薛莲花, 等. 塔里木地区石炭纪沉积序列与海平面变化[J]. 新疆地质, 2000, 18(2): 141-147.
CHEN Guojun, WANG Zhiyong, XUE Lianhua, et al. Sedimentary sequence and the sea level changing Carboniferous in Tarim region [J]. Xinjiang Geology, 2000, 18(2): 141-147.
- [17] 王鸿祯, 史晓颖. 沉积层序及海平面旋回的分类级别: 旋回周期的成因讨论[J]. 现代地质, 1998, 12(1): 1-16.
WANG Hongzhen, SHI Xiaoying. Hierarchy of depositional sequences and eustatic cycles: A discussion on the mechanism of sedimentary cycles[J]. Geoscience, 1998, 12(1): 1-16.
- [18] 马青, 王振宇, 王兴志, 等. 塔里木盆地石炭系生屑灰岩段沉积相研究[J]. 西南石油学院学报, 2003, 25(1): 20-25.
MA Qing, WANG Zhenyu, WANG Xingzhi, et al. Study of sedimentary facies of bioclastic limestone member, Carboniferous, Tarim Basin[J]. Journal of Southwest Petroleum Institute, 2003, 25(1): 20-25.
- [19] 储呈林, 林畅松, 朱永峰, 等. 塔北隆起东河砂岩层序地层和沉积体系研究[J]. 西南石油大学学报, 2011, 33(1): 15-20.
CHU Chenglin, LIN Changsong, ZHU Yongfeng, et al. Study on the sequence stratigraphy and depositional system of Donghe sandstone in Tabei uplift[J]. Journal of Southwest Petroleum University, 2011, 33(1): 15-20.
- [20] 赵学钦, 马青, 孙仕勇, 等. 轮古东地区石炭系巴楚组东河砂岩段—角砾岩段层序地层特征[J]. 西南科技大学学报, 2015, 30(2): 34-40.
ZHAO Xueqin, MA Qing, SUN Shiyong, et al. Stratigraphic sequence characteristics of Carboniferous Donghe sandstone and breccia section in eastern Lungu area, Tarim basin[J]. Journal of Southwest University of Science and Technology, 2015, 30(2): 34-40.
- [21] 贾进华, 申银民. 塔里木盆地东河砂岩段准层序组特征及岩相古地理与砂体分布[J]. 石油学报, 2017, 38(2): 135-149.
JIA Jinhua, SHEN Yinmin. Parasequence set division, lithofacies paleogeography and sandbody distribution of Donghe sandstone Member in Tarim Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2017, 38(2): 135-149.

第一作者简介: 马青 (1962-), 男, 新疆乌鲁木齐人, 西南石油大学地球科学与技术学院副教授, 主要从事沉积学、层序地层学、储集层地质学的研究。地址: 四川省成都市新都区新都大道 8 号, 西南石油大学地球科学与技术学院, 邮政编码: 610500。E-mail: 656812599@qq.com

联系作者简介: 马涛 (1994-), 男, 四川南充人, 西南石油大学地球科学与技术学院在读硕士研究生, 主要从事地质学方面的研究。地址: 四川省成都市新都区新都大道 8 号, 西南石油大学地球科学与技术学院, 邮政编码: 610500。E-mail: 407070679@qq.com

收稿日期: 2018-11-05 修回日期: 2019-04-30

(编辑 魏玮)