



移动阅读

张若琳, 刘岩, 金思丁, 等, 2024. 缓坡背景下受潮汐影响的辫状河三角洲沉积特征——以塔河油田石炭系卡拉沙依组为例[J]. 沉积与特提斯地质, 44(2): 295–310. doi: [10.19826/j.cnki.1009-3850.2023.02015](https://doi.org/10.19826/j.cnki.1009-3850.2023.02015)

ZHANG R L, LIU Y, JIN S D, et al., 2024. Sedimentary features of gentle-slope tide-influenced braided delta: A case study of Carboniferous Kalashayi Formation in Tahe Oilfield[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 44(2): 295–310. doi: [10.19826/j.cnki.1009-3850.2023.02015](https://doi.org/10.19826/j.cnki.1009-3850.2023.02015)

缓坡背景下受潮汐影响的辫状河三角洲沉积特征——以塔河油田石炭系卡拉沙依组为例

张若琳^{1,2}, 刘岩^{1,2*}, 金思丁^{1,2}, 周杨^{1,2}

(1. 成都理工大学能源学院, 四川 成都 610059; 2. 油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 成都理工大学, 四川 成都 610059)

摘要: 塔河油田石炭系卡拉沙依组是碎屑岩油气勘探的重要领域, 但对于其沉积环境及相类型的划分一直存在争议, 一定程度上制约了油气勘探。为揭示塔河油田石炭系卡拉沙依组沉积环境及砂体的分布规律, 本文以层序地层学和沉积学理论为指导, 利用钻井、测井、岩心等资料进行研究分析, 系统刻画了卡拉沙依组的沉积特征。结果表明: (1) 塔河油田卡拉沙依组兼具辫状河三角洲和潮坪沉积特征, 识别出分流河道、水下分流河道、河口坝、潮汐水道、砂坪、砂泥混合坪、泥坪 7 种沉积; (2) 从平面展布上来看, 研究区北部以辫状河三角洲相为主, 南部以潮汐沉积为主, 中部发育大量受潮汐改造的水下分流河道; (3) 海退时期研究区沉积主要受河流控制, 水下分流河道规模较大; 海进时期主要受潮汐作用控制, 潮道规模较大。在此基础上, 建立了塔河油田石炭系卡拉沙依组缓坡背景下受潮汐影响的辫状河三角洲纵向分布相带序列模式和河控—潮控沉积模式, 可为该层段下一步勘探工作提供参考依据。

关键词: 塔里木盆地; 卡拉沙依组; 受潮汐影响的三角洲; 沉积相; 沉积模式

中图分类号: P512.2

文献标识码: A

Sedimentary features of gentle-slope tide-influenced braided delta: A case study of Carboniferous Kalashayi Formation in Tahe Oilfield

ZHANG Ruolin^{1,2}, LIU Yan^{1,2*}, JIN Siding^{1,2}, ZHOU Yang^{1,2}

(1. College of Energy, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 2. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: The Carboniferous Kalashayi Formation in Tahe Oilfield is an important area of clastic rock oil and gas exploration. However, its depositional environment and facies types have been controversial, restricting its process in oil and gas exploration. The depositional environment and distribution of sand bodies of the Carboniferous Kalashayi Formation in Tahe Oilfield in this paper are guided by sequence stratigraphy and sedimentology based on well data, logging data, and cores from this formation. The results show that the study area is characterized by both braided river delta and tidal flat sedimentary. And there are 7 types of deposits, such as distributary channel, underwater distributary channel, estuary bar, tidal channel, sand flat, sand and mud mixed flat, and mud flat, that can be identified. In the aspect of plane, the northern part is dominated by braided river delta facies, and the southern part is

收稿日期: 2022-05-19; 改回日期: 2022-12-13; 责任编辑: 曹华文; 科学编辑: 邓奇

作者简介: 张若琳(2000—), 女, 硕士研究生, 从事沉积、旋回地层学方向研究。E-mail: Zhang-ruolin@hotmail.com

通讯作者: 刘岩(1983—), 女, 副教授, 从事储层岩石学与储层地球化学方向研究。E-mail: liuyan08@cdut.edu.cn

资助项目: 国家自然科学基金资助项目(41802030)

dominated by tidal deposition. And the central part has a large number of underwater distributary channels transformed by tides. Rivers mainly control the regression period, and the scale of underwater distributary channels is large. The tidal action mainly controls the transgression period, and the scale of the tidal channel is larger. On this basis, the vertical facies sequence and fluvial-tidal sedimentary model of the braided river delta under the gentle slope of the Carboniferous Kalashayi Formation in the Tahe Oilfield are established and can provide a reference for the next step of the exploration in this interval.

Key words: Tarim Basin; Kalashayi Formation; tide-influenced delta; sedimentary facies; sedimentary models

0 引言

三角洲等海陆过渡沉积体系沉积的砂体是油气勘探中重要的油气富集储层,特别是受潮汐影响的砂体是最重要的油气储层之一(Rosenstein, 1990; Ichaso et al., 2016; Zhang et al., 2020; Manshor et al., 2022; 刘慧盈等, 2017; 贾进华, 2019; 周江羽等, 2022)。随着三角洲沉积体系研究的深入,学者们发现单一的沉积作用难以解释三角洲沉积记录中复杂的砂体构型和空间分布,多元沉积作用混合的观点应运而生,相关研究日益增多(Tānavsuu-Milkeviciene and Plink-Björklund, 2009; Chen et al., 2014, 2015; Ichaso et al., 2016; Rossi and Steel, 2016; Collins et al., 2018; Kurcinka et al., 2018; Kumar et al., 2022; Manshor et al., 2022; 彭旻等, 2022)。

塔河油田石炭系卡拉沙依组是塔里木盆地陆相层系碎屑岩油气勘探的重要目标(田军等, 2021; 马虎戎, 2017)。全区主要发育岩性油气藏,砂体是形成岩性圈闭的关键,因此砂体的成因及分布是卡拉沙依组油气成藏的关键(杜伟维等, 2017)。在混合沉积研究不断深入的大背景下,前人对塔里木盆地石炭系卡拉沙依组沉积相的认识也由单一的河流相(王少立和宋杉林, 2001)向多种作用相互混合的观点转变(郭齐军和赵省民, 2002; 何发岐等, 2004; 李永宏等, 2004; 樊怀阳等, 2004; 钟大康等, 2009; 徐微等, 2011; 张福顺和瞿长, 2019)。但由于卡拉沙依组砂体具有厚度薄、横向变化快、非均质性强的特点,且沉积相标志不典型(张福顺和瞿长, 2019),导致前人对该层段沉积相及平面展布认识存在较大分歧:第一种观点是潮坪—辫状河三角洲相(郭齐军和赵省民, 2002; 李永宏等, 2004);第二种观点是河流—受潮汐影响的扇三角洲沉积(何发岐等, 2004);第三种观点是潮坪—扇三角洲相(樊怀阳等, 2004);第四种观点是具河口湾性质的潮坪—潟湖相(钟大康等, 2009);还有一种观点是潮坪

—三角洲沉积(徐微等, 2011; 张福顺和瞿长, 2019)。尽管前人对卡拉沙依组沉积相认识不尽相同,但大部分研究都表明,卡拉沙依组既具潮坪特征,又具三角洲的沉积特征,属于海陆交互的过渡环境。对于沉积相认识的分歧增加了砂体成因及分布研究的难度,难以有效进行砂体预测,制约了后续的勘探开发,因此该层段海陆交互沉积相亟待深入研究。

类似的,前人以岩心上显示的典型潮汐成因层理构造为切入点、结合野外露头 and 测井数据揭露了四川盆地上三叠统须家河组是潮控三角洲成因(赵霞飞等, 2008, 2013, 2019),一改以往认识。本文在前人对混合作用研究的基础上,综合研究区钻井、测井、岩心等大量勘探资料,总结了塔河油田卡拉沙依组岩相类型,划分出沉积类型,并归纳出相应的岩相序列;结合砂地比和砂体厚度等资料,对塔河油田卡拉沙依组沉积相进行整体研究并探讨沉积的控制因素。本研究不仅对完善卡拉沙依组的研究有积极意义,同时有助于识别不同成因类型的储集体,可为优质储集体的预测提供科学依据。

1 地质概况

塔里木盆地是在前寒武纪变质基底上形成的克拉通盆地,是中国最大的含油气叠合盆地之一(邬光辉等, 2012, 2020)。本文研究区塔河油田位处塔里木盆地北缘沙雅隆起的阿克库勒凸起西南斜坡(图 1a)。塔里木盆地构造古地理具有多样性、多期性、强烈改造性等特点(吴其林等, 2008; 邬光辉等, 2020):寒武纪—早奥陶世,塔里木盆地与 Rodinia 超大陆分离,受南部古特提斯洋俯冲作用影响,形成大隆大坳的格局,控制了盆地“四隆五坳”的构造分区。志留纪—泥盆纪,古昆仑洋—阿尔金洋的闭合造成盆地东部和南部大面积剥蚀与隆升,形成广泛分布的不整合面以及一系列逆冲断层和走滑断层(Li et al., 2018; 贾承造和魏国齐, 2002)。石炭纪古特提斯洋逐渐扩张,塔里木盆地发生自西南向东北方向的海侵,盆内广泛存在浅海

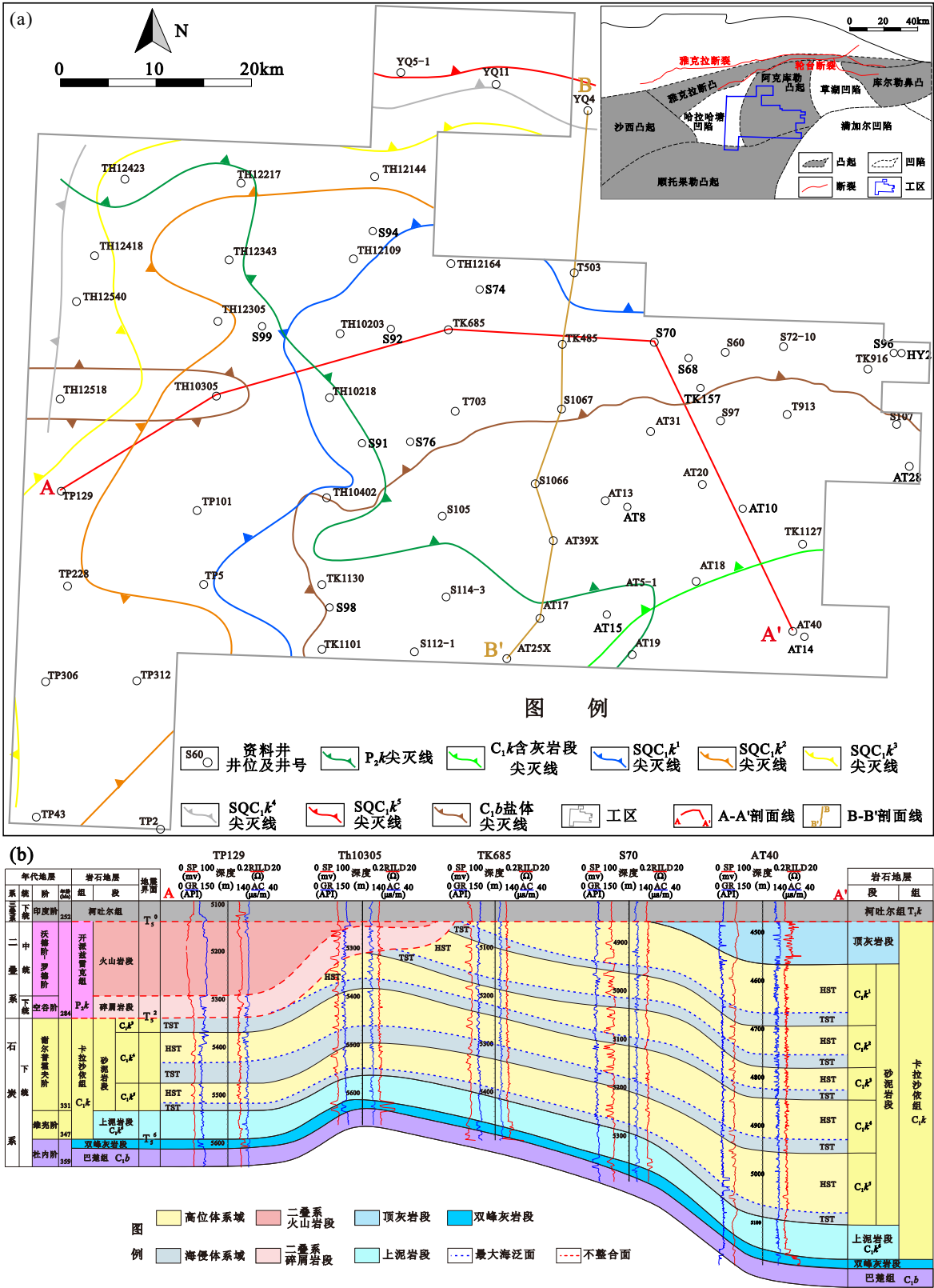


图 1 塔里木盆地塔河油田井位分布 (a) 及连井剖面 AA' 地层对比 (b)

Fig. 1 Well locations (a) and stratigraphic contrast of the connecting-well section AA' (b) of Tahe Oilfield in Tarim Basin

沉积。晚石炭世南天山洋的闭合导致盆地北部发生强隆升和逆冲, 盆内转向陆源碎屑沉积为主导, 构造格局基本定型(胡小龙, 2017)。

塔里木盆地石炭世在气候由于热转向湿热以及海平面升降的作用下, 发育了深水陆棚、浅水陆棚、潟湖海湾、三角洲等沉积环境(王大锐等, 2001; 刘占红等, 2012)。这一时期塔河油田区域自下而上沉积了巴楚组、卡拉沙依组和小海子组, 其中小海子组大部分缺失。本研究目的层段卡拉沙依组为构造相对稳定时期发育的一套碳酸盐岩-碎屑岩混合沉积组合, 厚度上总体呈南东向北西减薄(顾家裕等, 2006; 张旺, 2018)。卡拉沙依组自下而上包括中泥岩段、标准灰岩(双峰灰岩)段、上泥岩段、砂泥岩段及含灰岩段 5 个岩性段, 研究区的卡拉沙依组仅发育双峰灰岩段、上泥岩段和砂泥岩段: 双峰灰岩段为一套厚层浅灰色泥晶灰岩且以典型的“双峰式”测井曲线为特征; 上泥岩段是一套稳定的泥岩沉积, 岩性为深灰色泥岩、灰质泥岩, 夹少量粉砂岩, 局部泥灰岩薄层, 厚 11~88 m, 伽马值变化小, 电阻率低且稳定; 砂泥岩段, 岩性为灰、棕褐色泥岩与浅灰色粉砂岩、砂岩不等厚互层, 夹浅灰色灰质砂岩、砂砾岩、砾岩, 厚 240~490 m。卡拉沙依组碎屑岩段自下而上可划分为 6 个三级层序:

SQC₁k⁶、SQC₁k⁵、SQC₁k⁴、SQC₁k³、SQC₁k²、SQC₁k¹; 其中上泥岩段划分为 1 个三级层序, 砂泥岩段划分为 5 个三级层序。由于卡拉沙依组沉积期地形坡度较缓, 主体位于坡折带之上, 研究区不发育低位体系域(LST)沉积物, 每个三级层序仅发育海侵体系域(TST)和高位体系域(HST; 图 1b)。

2 岩相类型及其特征

根据塔河油田石炭系卡拉沙依组的 56 口取心井(共 245.2 米)的岩心观察和描述, 总结并划分出共 3 大类 15 种岩相类型。

2.1 泥岩相

泥岩相有三种岩相类型——F1、F2、F3(表 1), 分别为灰绿色、褐色、深灰色泥岩相。其中, 灰色—灰绿色泥岩、粉砂质泥岩(F1)沉积于水下还原环境, 偶尔可见水平层理沉积构造, 主要分布于潮间带的泥坪沉积环境(图 2a); 灰褐色—褐色泥岩主要是氧化环境下形成的, 夹有不等量的砂质, 生物活动现象明显, 是三角洲河道间等低洼区的沉积物, 也可形成于低水位时期的泥坪环境(图 2b、2c)。深灰色(暗色)泥岩相主要形成于弱水动力或静水环境中, 常见于前三三角洲沉积或潟湖沉积中(表 1)。

表 1 塔里木盆地塔河油田石炭系卡拉沙依组典型岩相类型
Table 1 Typical lithofacies types of Carboniferous Kalashayi Formation in Tahe Oilfield, Tarim Basin

岩相代号	岩相类型	砂/泥	描述	生物扰动	沉积过程	沉积环境
F1	灰绿色泥岩相	<0.2	灰色-灰绿色泥岩、粉砂质泥岩, 常见灰绿色粉砂质泥岩中夹薄层灰色泥岩纹层	强烈	悬浮泥沉积	低能环境, 还原环境, 潮坪沉积
F2	灰褐色泥岩相	<0.2	灰褐色-褐色厚层泥岩、粉砂质泥岩, 泥质粉砂岩常见小型交错层理, 偶尔可见透镜层理	强烈	泥质沉积, 水体较浅, 河流—潮汐作用影响	低能环境, 氧化环境, 潮坪沉积, 河道间
F3	深灰色-黑色泥岩相	<0.1	暗色泥岩, 可见植物茎秆, 块状构造, 可见水平纹理, 有机质富集	无	泥质、碳质沉积,	弱水动力或静水, 前三三角洲, 潟湖沉积
F4	生物扰动粉砂岩相	0.2~0.5	浅灰色-灰绿色粉砂岩, 单层厚度 10~40 cm, 生物扰动造成斑状构造, 使原始的纹层模糊不清, 破坏程度 50%~70%, 偶见残留的流水沙纹层理	强烈	沉积缓慢, 水体平静	氧化环境, 弱氧化环境, 潮坪沉积
F5	沙纹层理粉砂岩相	0.2~0.5	浅灰色-深灰色, 浅灰绿色泥质粉砂岩、粉细砂岩为主, 发育沙纹层理, 纹层面不规则, 断续或连续发育	少量	水动力强度较弱沙波的迁移形成	水下天然堤, 水下分流河道, 远砂坝

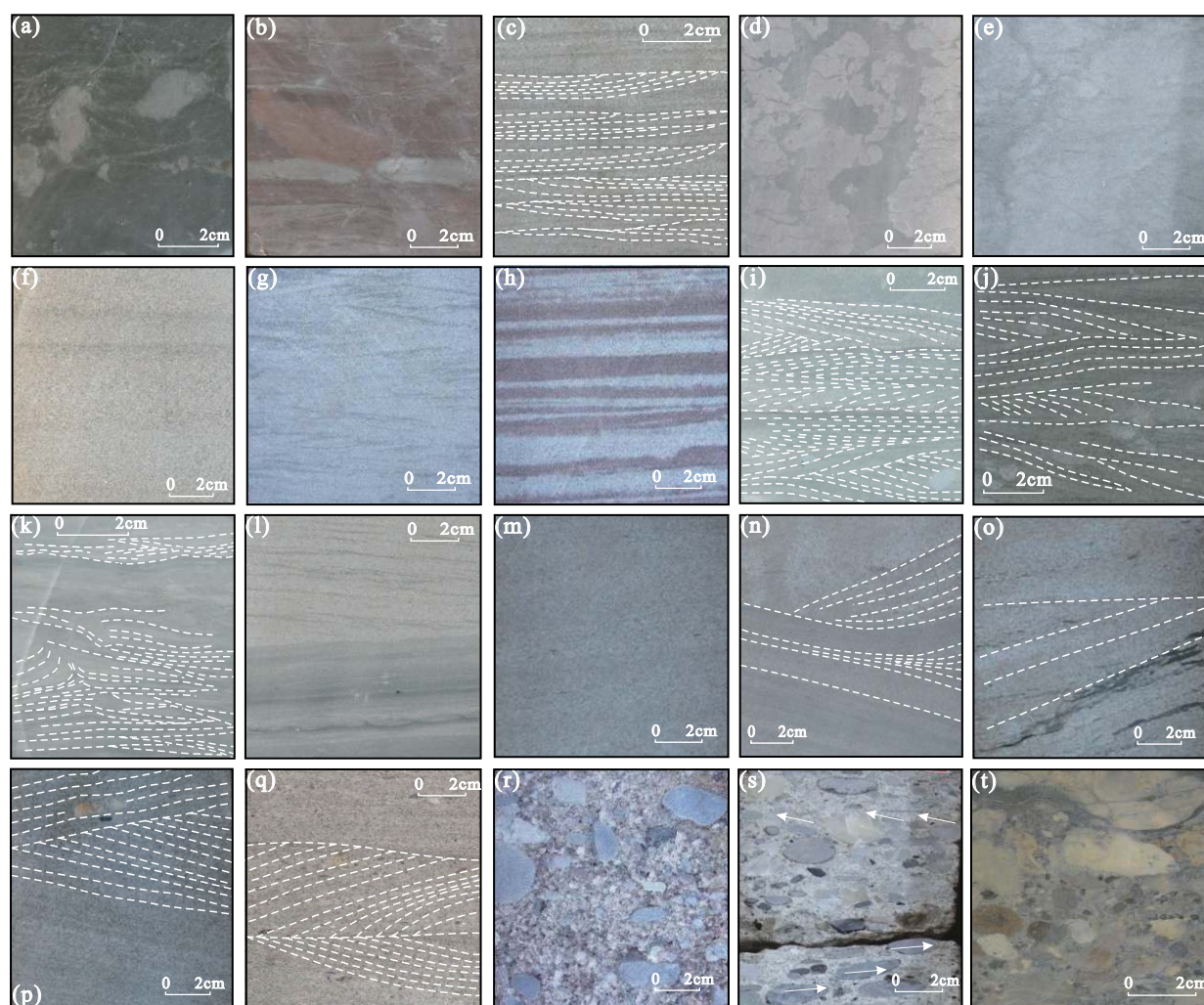
续表 1
Continued table 1

岩相代号	岩相类型	砂/泥	描述	生物扰动	沉积过程	沉积环境
F6	波状层理(泥质)粉砂岩相	0.2~0.5	灰色-灰白色粉砂岩，发育波状—透镜状层理，低角度冲洗交错层理，双黏土层，偶可见泥砾团块	有	水体振荡，层流和紊流交替作用	低能环境，前三角洲，三角洲前缘，潮间带
F7	双向交错层理粉砂-细砂岩相	0.5~0.8	灰色-灰白色粉砂岩，细砂岩，发育双向交错层理，可见冲刷面，泥砾	有	波动的水体能量，双向沉积供给	河流—潮汐水道，三角洲前缘砂坝
F8	变形层理粉砂—细砂岩相	0.5~0.8	浅灰色粉砂岩、细砂岩和泥质粉砂岩为主，发育有典型的变形层理	有	沉积物未完全固结成岩状态下发生基岩、滑塌等形成的变形。	三角洲前缘，河口坝，远砂坝
F9	平行层理细砂岩	0.5~0.8	灰色-灰白色粉砂岩，细砂岩，发育平行层理	无	较强烈的流水作用	高能环境，河流—潮汐水道，三角洲前缘（砂坝）
F10	交错层理细砂岩	0.5~0.8	灰色-灰白色细砂岩，发育单向层理：斜层理、板状交错层理、楔状交错层理、槽状交错层理	无	强烈的单向水流作用	高能环境，河流水道，三角洲前缘
F11	斜层理中粗砂岩	> 0.95	灰白色-灰黄色中粗砂岩，发育单向斜层理	无	强烈的单向水流作用	三角洲前缘水下分流河道
F12	双向交错层理砂砾岩	> 0.95	灰黄色-灰色中砂岩、粗砂岩、砂砾岩，发育双向交错层理，夹有直径约 2 cm 的砾石	无	强烈的双向水流作用	高能环境，河流—潮汐水道
F13	块状砾岩相	> 0.95	分选较差，颗粒大小不一，粒径最大可达 5~8 mm，磨圆次棱—次圆状，杂基充填，胶结疏松，成分复杂，砾石以石英、岩屑为主	无	河流作用	分流河道 水下分流河道
F14	块状砂质填隙砾岩相	> 0.95	分选磨圆变好，圆度为次圆—圆状，颗粒大小较为均一，集中在 1~2 cm 之间，多呈颗粒接触，长轴平行层面排列或叠瓦状排列，杂基充填，以干净的砂砾质为主，成分多为石英和岩屑，泥质极少。砾石成分以石英、岩屑、灰岩为主，偶见少量泥砾	无	河流、潮汐共同作用	河流—潮汐水道 (受潮汐改造水道)
F15	块状泥质填隙砾岩相	> 0.95	砾石的分选较好，粒径在 0.5~1 cm 之间，杂基支撑，基质成分泥质含量较多，多见泥质条带、泥砾，砾石磨圆为次圆，成分以石英、岩屑、灰岩和泥砾为主	无	潮汐作用为主	潮间带

2.2 砂岩相

砂岩相可进一步分为 F4、F5、F6、F7、F8、F9、F10、F11 八种岩相(表 1)。生物扰动粉砂岩相(F4)形成于氧化—弱氧化环境，沉积时水体平静、沉积速率缓慢，发育丰富的生物扰动沉积构造(图 2d)，

常见于潮上带。沙纹层理粉砂岩相(F5)沉积时水体能量较弱，由沙坡迁移形成，沙纹层理发育，常在水下天然堤、水下分流河道或远砂坝中发育(图 2e)。波状层理粉砂岩相(F6)沉积期紊流与层流交替，水体动荡，可见双黏土层(图 2f)，脉状、波状层



a. AT8 井 4650.62 m, 绿色泥岩, 生物扰动造成斑状构造; b. S96 井 5172.35 m, 褐色泥岩, 可见生物扰动现象; c. S99 井 5319.00 m, 深灰色泥质粉砂岩, 发育冲刷交错层理; d. AT15 井 4922.85 m, 灰绿色粉砂岩, 可见生物扰动现象; e. HY2 井 4819.50 m, 浅灰色泥质粉砂岩, 发育沙纹层理; f. AT14 井 4733.35 m, 灰色粉砂岩, 发育双黏土层; g. S60 井 5227.70 m, 灰白色粉砂岩, 发育脉状层理; h. AT207 井 5233.15 m, 灰褐色泥质粉砂岩, 发育波状层理; i. AT8 井 4913.80 m, 灰白色细砂岩, 发育双向交错层理; j. AT8 井 4652.50 m, 灰色粉砂岩, 发育双向交错层理; k. AT70 井 5040.87 m, 灰白色细砂岩, 发育双向交错层理; l. S96 井 5177.23 m, 白色泥质粉砂岩, 发育火焰构造; m. S76 井 5199.60 m, 灰白色细砂岩, 发育平行层理; n. S76 井 5187.70 m, 灰白色细砂岩, 发育板状交错层理; o. S76 井 5196.30 m, 灰白色细砂岩, 发育板状交错层理; p. S92 井 5156.22 m, 灰白色中砂岩, 发育交错层理; q. S92 井 5156.22 m, 灰白色中砂岩, 发育交错层理; r. S96 井 4778.30 m, 块状砾岩; s. S68 井 5142.30 m, 块状砂质填隙砾岩, 砾石呈双向定向排列; t. AT8 井 4861.00 m, 块状泥质填隙砾岩

图2 塔里木盆地塔河油田石炭系卡拉沙依组砂泥岩段典型沉积构造

Fig. 2 Typical sedimentary structures of arenaceous mudstone interval of Carboniferous Kalashayi Formation in Tahe Oilfield, Tarim Basin

理发育(图 2g, 2h), 多发育于前三角洲、三角洲前缘或潮间带。双向交错层理粉砂-细砂岩相 (F7), 双向交错层理发育(图 2i-2k), 常形成于河流—潮汐水道或三角洲前缘砂坝。变形层理粉砂岩—细砂岩相 (F8) 是松散沉积物在未完全固结成岩的情况下, 发生诸如滑塌、负载等变形作用而形成的,

发育有典型的变形层理, 如火焰构造(图 2l), 常见于三角洲前缘、河口坝、远砂坝。平行层理细砂岩相 (F9) 沉积时受水流影响较大, 沉积颗粒较细, 平行层理发育(图 2m), 常出现在河流—潮汐水道、三角洲前缘等高能环境。交错层理细砂岩相 (F10) 受到强烈单向水流作用而形成, 沉积物粒度较小

(图 2n-2o), 常形成于高能环境, 如河流水道和三角洲前缘。斜层理粗砂岩相(F11)沉积期同样受到强烈的单向水流作用, 沉积颗粒较粗, 常见于三角洲前缘或水下分流河道(图 2p)。

2.3 砾岩相

砾岩相可分为 F12、F13、F14、F15 这 4 种岩相(表 1)。双向交错层理砂砾岩相(F12)沉积时受双向水流影响大, 双向交错层理发育且夹有砾石(图 2q), 常见于河流、潮汐水道。块状砾岩相(F13)主要在河流作用下形成, 砾石分选差、磨圆中等, 常见于分流河道和水下分流河道(图 2r)。块状砂质填隙砾岩相(F14)形成于潮汐、河流交汇的过渡环境, 砂质填隙牵引流沉积成因, 砾石分选、磨圆较好, 长轴平行层面排列或双向叠瓦状排列(图 2s), 常见于河流—潮汐水道。块状泥质填隙砾岩相(F15)主要受潮汐作用影响形成, 泥质填隙是受重力流影响的沉积产物, 砾石分选、磨圆较好, 常见于潮间带(图 2t)。

3 岩相组合及沉积相分析

对研究区 56 口取心井的岩心进行详细观察描述、分析鉴定, 对岩相及岩相组合、原生沉积构造、生物化石特征、相序特征等进行综合分析, 识别出塔河油田石炭系卡拉沙依组主要发育海相沉积和海陆过渡相沉积体系。海相沉积体系主要是潮坪沉积体系, 海陆过渡相沉积体系主要为辫状河三角洲体系。这两种沉积相受到潮汐作用后期改造十分明显, 二者共同作用的区域, 水动力条件复杂, 沉积特征独特。

3.1 辫状河三角洲沉积体系

3.1.1 分流河道沉积

研究区的分流河道沉积主要发育于塔河油田的北部和东北部, 靠近物源方向。沉积物粒度较粗, 主要岩相类型为 F10、F11、F13。砂砾岩中泥质含量较多, 呈杂基接触。砾岩成分以石英、岩屑为主, 砾岩分选较差, 偶见少量泥砾, 砂岩类型主要为岩屑长石和长石岩屑杂砂岩, 分流河道岩相组合类型往往由多个下粗上细的正粒序构成(图 3a)。由于辫状分流河道的频繁迁移, 在细砂岩中可见大量槽状交错层理、平行层理及板状交错层理。砾岩分选较差, 颗粒大小不一, 磨圆度为次棱状—次圆状, 杂基成分复杂, 胶结疏松。

3.1.2 水下分流河道沉积

水下分流河道沉积常由 F5、F6、F8、F9、F10、F11、F13 几种岩相组成上细下粗的正粒序沉积序列。研究区的水下分流河道多发育粗砂岩、砂砾岩和砾岩相。粒度较细的沉积物如粉砂岩、细砂岩等多发育在三角洲前缘远端部分, 是河流和海水的剧烈交锋带, 大多受到潮汐作用的影响, 形成继承性发育的潮汐水道。研究区内未受潮汐影响的水下分流河道沉积主要是由 F9、F10、F13 几种岩相组成, 沉积物粒度较粗, 岩相组合内部往往由多个下粗上细的正粒序构成(图 3b)。中—粗砂岩中可见斜层理发育, 为牵引流成因的产物; 砾岩与下部岩层呈弱冲刷接触, 砾石的填隙物多为砂质填隙, 成分复杂, 是水动力不断变化的沉积产物。

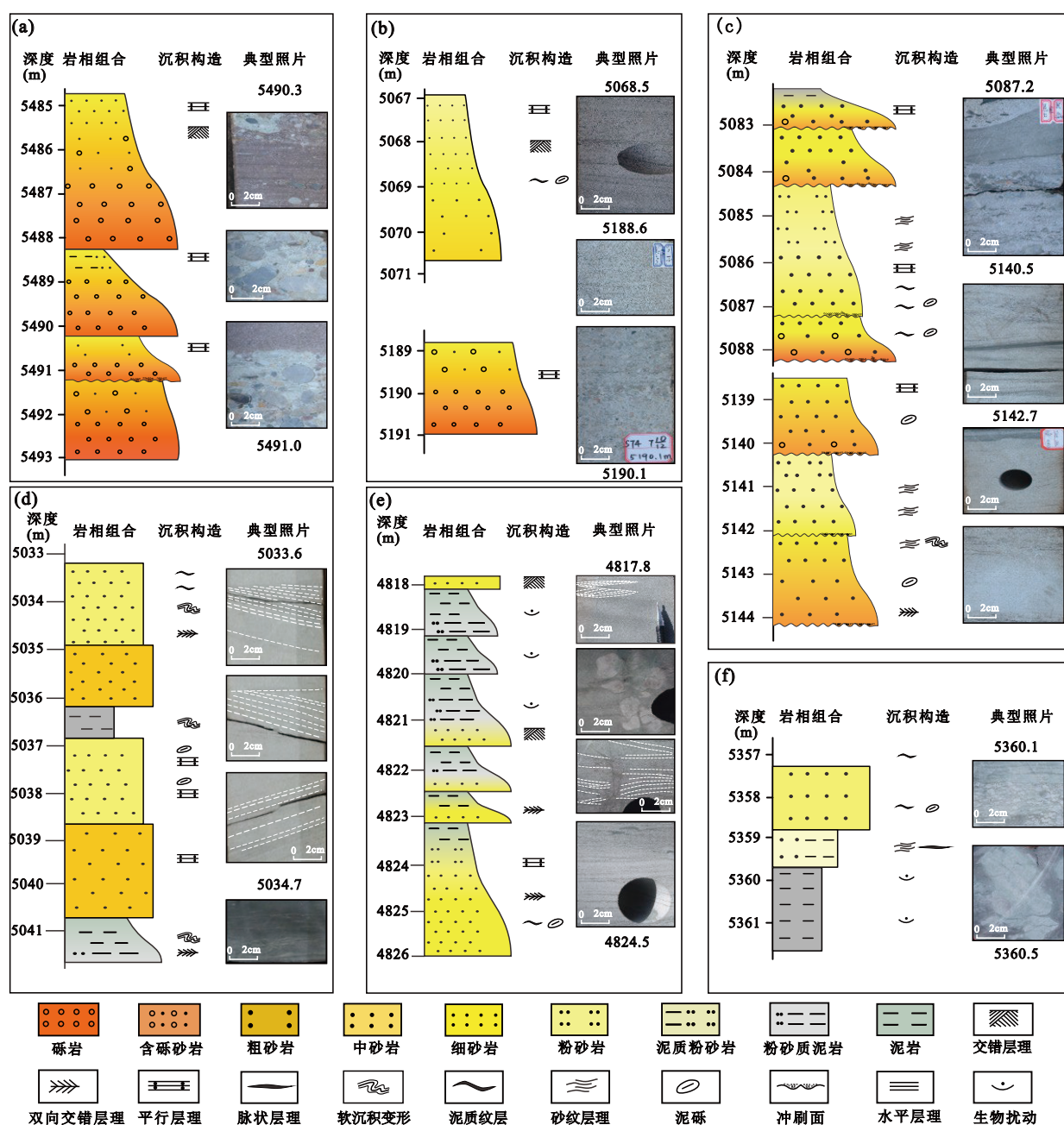
3.1.3 河口坝沉积

河口坝沉积分布范围较窄且规模较小。这是因为辫状河三角洲通常由湍急洪水或山区控制, 水动力较强, 在入水后并不立即发生沉积作用, 而是在水下继续延伸一段距离, 因此河口坝一般只位于水下分流河道的前缘, 并且水下分流河道迁移性较强, 河口不稳定, 难以发育大型河口坝, 形成规模较小。河口坝沉积主要由 F9、F10、F11、F13 几种岩相组成的上粗下细的逆粒序组合构成。可见含砾砂岩, 分选磨圆较好, 砂岩中发育小型交错层理和平行层理, 见少量生物扰动构造。远砂坝沉积为辫状河三角洲前缘边部的末端沉积, 沉积物较河口坝更细, 主要为粉砂岩和泥质粉砂岩, 含有少量黏土和细砂, 极易受潮汐和波浪的淘洗、冲刷、改造而消失, 塔河油田石炭系卡拉沙依组远砂坝沉积并不发育。

3.2 潮坪沉积体系

3.2.1 潮汐水道沉积

潮汐水道沉积主要发育于塔河油田南部, 处于潮间带位置, 向北逐渐演化为改造原先的辫状河三角洲水下分流河道的潮汐水道。由于在靠近研究区北部的潮汐水道沉积又具有某些水下分流河道的沉积特征, 故又称之为受潮汐影响的水下分流河道(河流—潮汐水道), 其中潮汐占主要作用, 沉积构造均反映沉积时期具有较强的水动力和潮汐双向水流特点。研究区的潮汐水道、河流—潮汐水道沉积由 F5、F6、F8、F9 几种岩相组成的下粗上细的正粒序组合(图 3c), 反映了水动力强度由强到弱逐渐变化的特征, 单潮道沉积序列厚度不大, 一般为几十厘米, 最大不超过 50 cm, 砂质含量逐



a. S94 分流河道; b. S74 水下分流河道; c. S76 河流—潮汐水道; d. AT10 砂坪; e. AT15 砂泥混合坪; f. T707 泥坪

图3 塔里木盆地塔河油田石炭系卡拉沙依组典型沉积序列

Fig. 3 Typical sedimentary sequence of Carboniferous Kalashayi Formation in Tahe Oilfield, Tarim Basin

渐减少, 泥质含量向上逐渐增多, 脉状层理、波状层理频繁发育, 底部多见不规则冲刷面, 为片状泥砾或块状泥砾(图2), 由于潮汐水道的水流能量较强, 发育各类丰富的交错层理, 常见的有平行层理、板状交错层理、楔状交错层理, 有的纹层向下收敛, 显示槽状交错层理的特征(图3c)。

3.2.2 砂坪沉积

砂坪沉积发育于低潮线附近, 潮汐水体能量相

对较高, 研究区砂坪岩相组合以F1、F2、F6、F7、F9、F10为主, 粒序特征不明显, 单层较薄, 常见砂岩与泥岩互层, 顶底接触平整, 垂向上砂层孤立分布, 平面上分布范围较大。岩心上平行层理、低角度冲洗交错层理、波状层理、脉状层理等沉积构造发育, 局部含有泥砾或泥质条带(图3d)。

3.2.3 砂泥混合坪沉积

砂泥混合坪沉积代表沉积物悬浮载荷和床沙

载荷交替出现,常位于高潮线与低潮线之间的中潮坪地带,水流能量中等,沉积物粒度较细。岩相组合上以F1、F4、F5、F6、F7、F9、F10为不等厚的韵律性互层为主。在水流活动的涨潮、落潮期和水流停滞的平潮期交替出现时形成的典型潮汐韵律(图3e)。沉积构造主要为低角度冲洗交错层理、波状交错层理、羽状交错层理、生物扰动等。

3.2.4 泥坪沉积

研究区内的泥坪沉积的岩相主要为F1、F2、F8。偶尔可见F1与F2交替出现,代表间歇性的暴露氧化环境。在高潮时被淹没在水下,沉积F1岩相;暴露于水面之上时沉积F2岩相。常见沙纹层理,水平层理,以及由于粉砂沉积在含水的塑性泥层中造成的负荷沉积构造(F8)等,生物扰动构造丰富(图3f)。

4 石炭系卡拉沙依组沉积相带分布特征

4.1 纵向分布特征

卡拉沙依组沉积物源来自北部,研究区处于辫状河三角洲沉积体系与潮坪沉积体系共同作用地区,水动力条件复杂。纵向上,卡拉沙依组砂体从下到上整体揭示了一个逐步海退的过程。不同沉积位置存在不同的纵向相带序列,利用塔河油田钻井资料,以S76井为例(图4),认为从下而上的沉积相带主体可分为四段:下段主要是潮坪沉积(潮汐水道发育为主),岩相上主要是砾岩(F15)—含砾砂岩(F12)—中细砂岩(F9、F10)过渡的正粒序岩相组合;中段为河控和潮控共同作用的混控沉积(河流—潮汐水道发育为主),岩相主要是由砾岩(F14)—含砾砂岩(F12)—细砂岩(F7)组成的正粒序岩相组合;上段发育潮控为主的砂坪、泥坪沉积,潮汐水道不发育,岩相主要是泥岩(F1、F2)—泥质粉砂岩(F4、F6)—细砂岩(F7、F8)—中砂岩(F11)岩相组合;顶部常出现辫状河三角洲沉积体系为主的三角洲前缘沉积,常见水下分流河道,岩相上主要发育砾岩(F13)—中砂岩(F11)—细砂岩(F9、F10)过渡的正粒序岩相组合。总体而言,主要是水下分流河道和潮汐水道沉积受潮汐影响较大。

区域海平面周期性升降的影响为三级层序发育的主控因素,连井剖面上显示卡拉沙依组砂泥岩段沉积相在纵向上具有分期特点(图5)。卡拉沙依组砂泥岩段内部划分了5个三级层序,自下而上经历了5次海侵—海退过程,每次海侵—海退过程先后分别形成海侵体系域(TST)和高位体系域

(HST)。整体上,海侵体系域时期,塔河油田卡拉沙依组砂泥岩段砂体不发育;高位体系域沉积时期,砂体较发育,主体为三角洲沉积,结合岩心分析,水下分流河道发育,还有可能发育砂坝;同时,上泥岩段三级层序 SQC_1k^6 和砂泥岩段的5个三级层序总体上呈现了一次海侵—海退过程。总体上, SQC_1k^6 主要沉积前三角洲泥;砂泥岩段下部 SQC_1k^5 以潮坪沉积为主,主要发育潮汐水道及潮汐砂坝,自下而上逐渐过渡至 SQC_1k^1 的三角洲沉积为主,主要发育三角洲平原的分流河道和三角洲前缘的水下分流河道。南北向沉积特征显示,北部以三角洲沉积为主,由北向南逐步过渡至潮坪沉积,过渡区主要发育受河流—潮汐双重影响的水道以及砂坝。研究区北部遭受严重剥蚀,YQ4井卡拉沙依组顶灰岩段及砂泥岩段 $SQC_1k^1\sim SQC_1k^4$ 地层及T503井卡拉沙依组顶灰岩段及砂泥岩段 $SQC_1k^1\sim SQC_1k^2$ 地层被剥蚀,三角洲成因砂体沉积较薄;TK485井、S1067井、S1066井处于混控作用带,受到的潮汐作用影响逐步增强;研究区南部AT39X井、AT17井以及AT25X井受轻微剥蚀。

4.2 平面分布特征

钻井及地震相资料显示,塔河油田辫状河三角洲主要分布于研究区北东部,范围较小;由于卡拉沙依组砂泥岩段厚度远大于上泥岩段和含灰岩段,因此卡拉沙依组平面相展布特征主要展示的是砂泥岩段的沉积特征。以卡拉沙依组 SQC_1k^3 为例,钻井砂岩百分含量统计得出的砂地比图表明,塔河油田内陆物源方向主要来自北部,其中TH12109井附近砂地比值最高,说明最靠近物源,发育三角洲沉积的主河道;S1066井处发育研究区内第二个砂地比高值区,可以推断该处发育三角洲沉积的分支河道并受南部潮汐作用的影响;AT19井附近发育第三个高值区,且数值较低规模较小,主要为潮坪沉积,受三角洲影响较小。受低物源供给量影响,在S70井附近,砂地比数值减少为12%~15%(图6)。

受强烈剥蚀作用及位处缓坡地势,造成研究区北部砂体厚度总体较薄,砂体厚度呈现北西薄南东厚的特征(图7),厚约214 m(TH12423井)至679 m(AT40)。AT40井附近发育砂体厚度最高值区,可以推断该处发育潮道;AT19井附近发育砂体厚度第二高值区,主要为潮坪沉积;S1067、S72-10、TK485井附近发育砂体厚度第三高值区,发育大规模潮汐砂坝,北东部的砂坝(TK485井、S1067井)

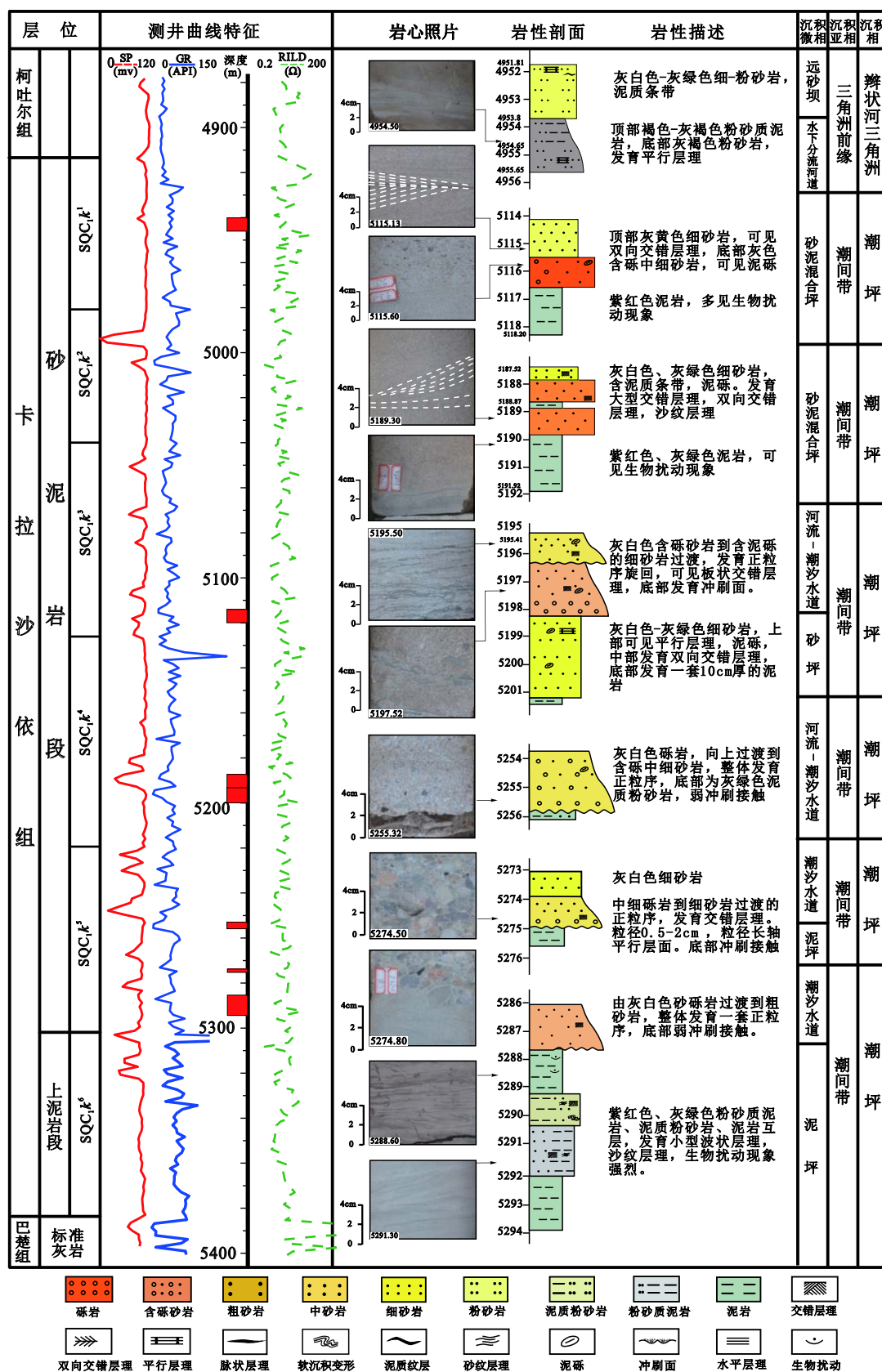


图4 塔里木盆地塔河油田 S76 井卡沙依组受潮汐影响的三角洲相带序列模式

Fig. 4 Sequence model of Tidal influenced delta facies belt in Kalashayi Formation of Well S76 in Tahe Oilfield, Tarim Basin

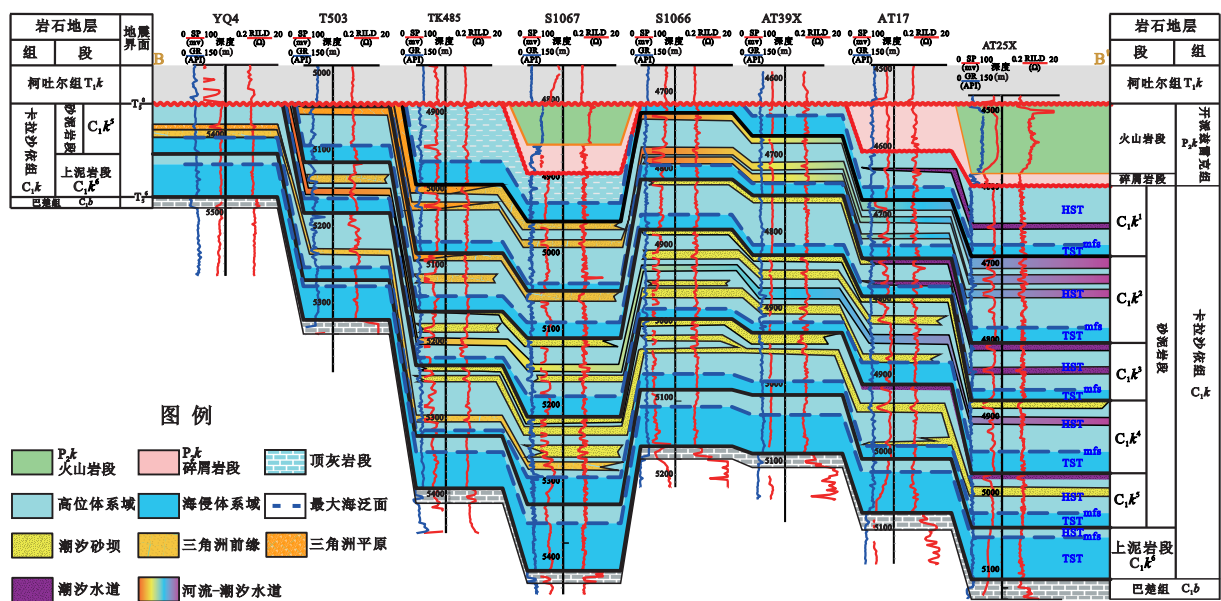


图 5 塔里木盆地塔河油田卡拉沙依组连井剖面 BB' 沉积相对比

Fig. 5 Correlation of sedimentary facies of the connecting-well section BB' of Kalashayi Formation in Tahe Oilfield, Tarim Basin

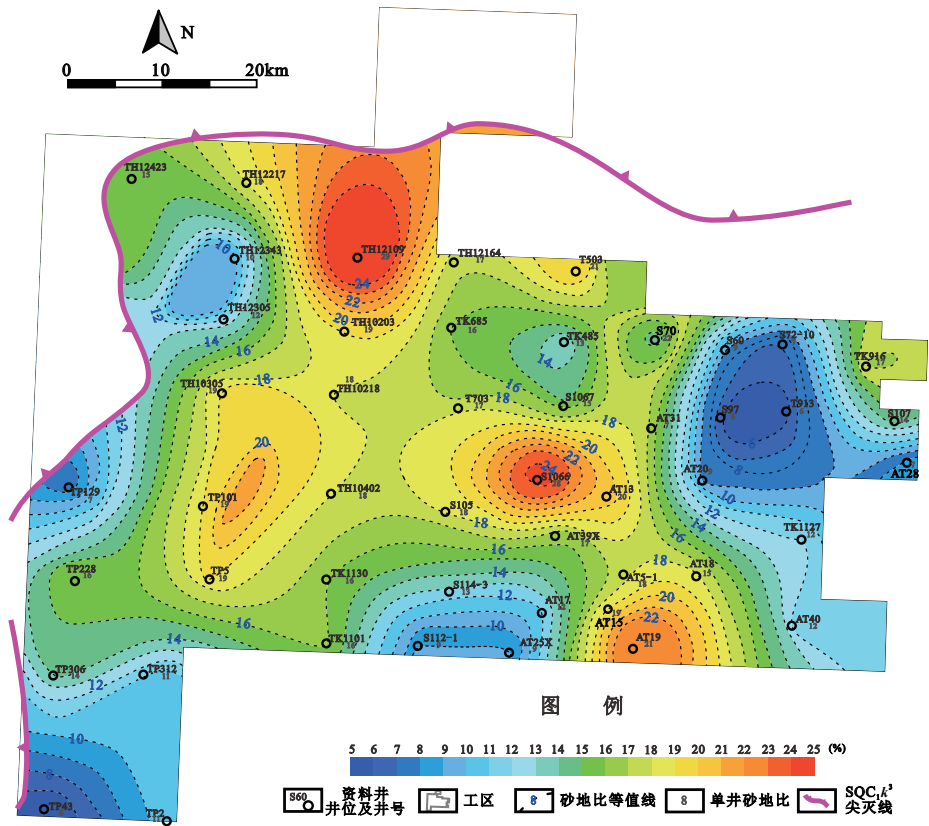


图 6 塔里木盆地塔河油田石炭系卡拉沙依组砂泥岩段 SQC₁k³ 砂地比等值线图

Fig. 6 Contour map of sandstone percent in SQC₁k³, arenaceous mudstone interval of Carboniferous Kalashayi Formation in Tahe Oilfield, Tarim Basin

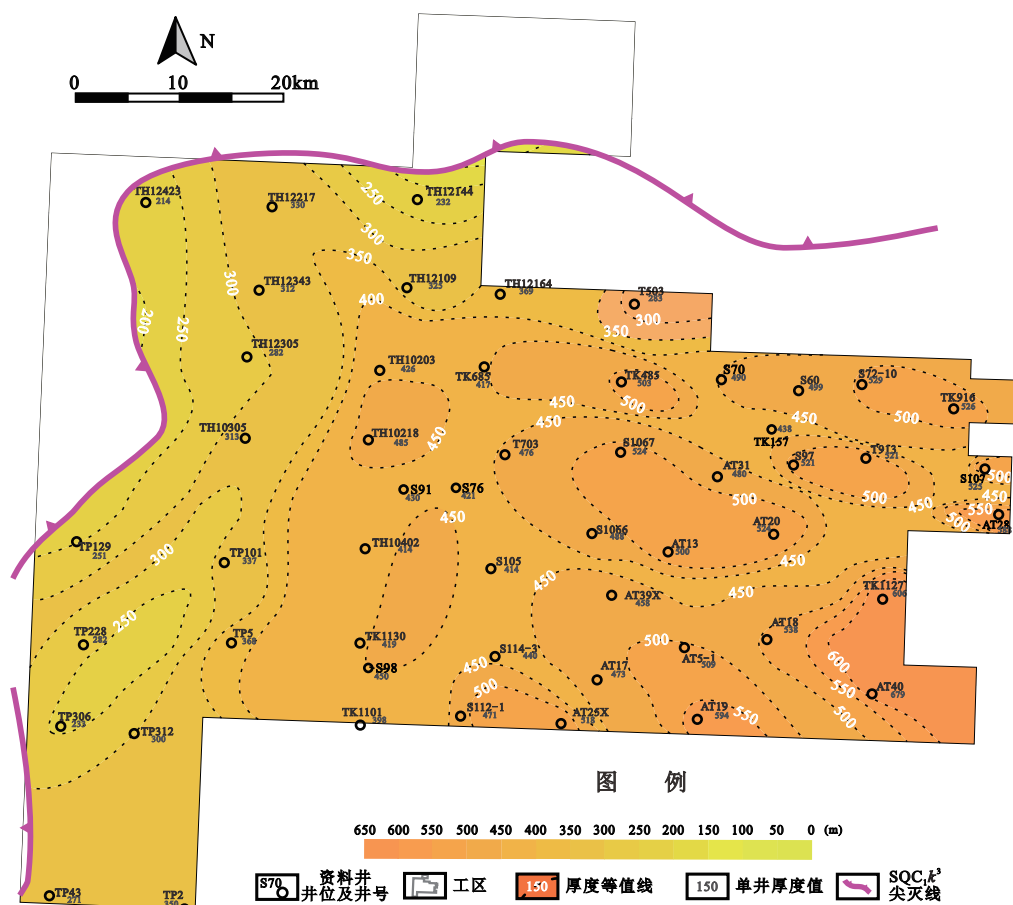


图7 塔里木盆地塔河油田石炭系卡拉沙依组砂泥岩段 SQC_1k^3 砂体厚度等值线图

Fig. 7 Contour map of sand body thickness percent in SQC_1k^3 , arenaceous mudstone interval of Carboniferous Kalashayi Formation in Tahe Oilfield, Tarim Basin

受到河流作用的改造。

综上,塔河油田卡拉沙依组发育的辫状河三角洲有3个特点,一是原始沉积坡度平缓,近源,但物源供给不够充分,沉积明显受海平面升降变化影响;二是发育辫状河三角洲平原水上分流河道,前缘水下分流河道,部分水下分流河道受到潮汐改造,河口坝、远砂坝不发育;三是垂向上砂体孤立分布,常与泥岩互层,砂体厚度较薄。

研究区物源从北部输入,陆架宽广且为缓坡,受到河流和潮汐作用均较强烈,水动力条件复杂。北部(TH10305-TP5-TH10218-T503井以北)发育辫状河三角洲(分流河道-河道间),南部(TK1130-S105-S70井以南)发育潮坪沉积(潮汐水道—砂坪—泥坪—砂泥混合坪),中部发育的三角洲受到河流—潮汐作用双重影响,河道特征体现为早期的河道砂砾岩受改造后与潮坪的粉—细砂岩间互的沉积序列。卡拉沙依组沉积期内,沉积速率随长周期

海平面上升而减小,含粗颗粒三角洲沉积体系向盆地方向(南部)迁移,岩性剖面中的砂岩比例增大。 SQC_1k^3 沉积时期形成了潮汐沉积与辫状河三角洲沉积共同作用的沉积特征,发育水下分流河道砂体和潮道砂体(图8)。由于受到潮汐作用的改造,双黏土层和双向交错层理、潮汐层理等沉积构造特征发育明显。经潮汐改造的水道砂体和分流河道砂体叠置出现,展示了卡拉沙依组复杂的水动力条件和沉积面貌。

4.3 沉积模式及演化

依据塔河油田卡拉沙依组砂泥岩段的岩相类型及组合、沉积类型及纵向、平面分布特征,认为此类受潮汐影响的辫状河三角洲的形成主要受海平面周期性变化与古地貌两大因素影响。通过对目的层段的沉积特征、古地貌特征、砂体及沉积相展布等研究,已明确卡拉沙依组沉积时期塔河北部发育辫状河三角洲沉积,南部为潮控沉积,中部为

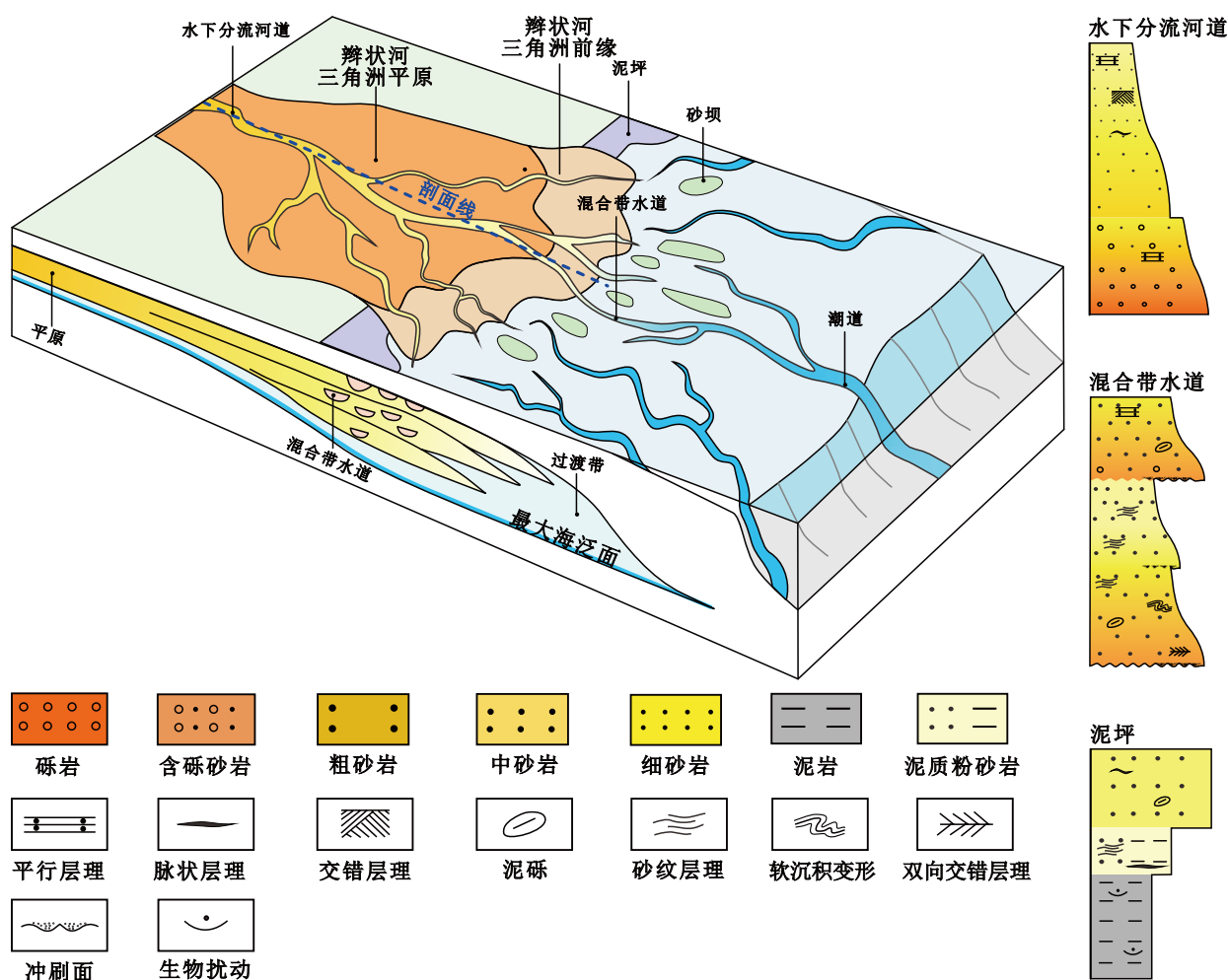


图9 塔里木盆地塔河油田卡拉沙依组受潮汐影响的三角洲沉积模式

Fig. 9 Tidal influenced delta sedimentary model of Kalashayi Formation in Tahe Oilfield, Tarim Basin

口坝、潮汐水道、砂坪、砂泥混合坪、泥坪 7 种沉积。

(2)讨论塔河油田石炭系卡拉沙依组缓坡背景下受潮汐影响的辫状河三角洲平面沉积相展布特征。结果表明研究区北部以辫状河三角洲相为主,南部发育潮坪沉积为主,中部发育大量受潮汐改造的水下分流河道。

(3)通过对塔河油田卡拉沙依组砂泥岩段的沉积特征、砂体及沉积相展布等研究,建立了受潮汐影响的辫状河三角洲混控沉积模式。海退时期研究区沉积主要受河流作用控制,水下分流河道规模较大;海进时期主要受潮汐作用控制,潮道规模更大。该模式可为该层段下一步勘探工作提供参考依据。

References

Chen S, Steel R J, Dixon J F, et al., 2014. Facies and architecture of a

tide-dominated segment of the Late Pliocene Orinoco Delta (Morne L'Enfer Formation) SW Trinidad[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 57: 208–232.

Chen S, Steel R J, Olariu C, 2015. Chapter 7 – Palaeo-Orinoco (Pliocene) channels on the tide-dominated Morne L'Enfer delta lobes and estuaries, SW Trinidad. In: *Developments in Sedimentology*[M]. Amsterdam: Elsevier, 68: 227–281.

Collins D S, Johnson H D, Allison P A, et al., 2018. Mixed process, humid-tropical, shoreline-shelf deposition and preservation: Middle Miocene-modern baram delta province, northwest Borneo[J]. *Journal of Sedimentary Research*, 88 (4): 399–430.

Du W W, Shi Y Y, Hong C J, 2017. A fine scale assessment of favorable exploration areas in the Carboniferous Kalashayi Formation in the Tahe oil field[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 39 (4): 580–586.

Fan H Y, Chen W, Liu B C, 2004. Kalashayi Formation Reserve and Comprehensive Evaluation in Tahe Oil Field[J]. *Xinjiang Geology*, 22 (04): 417–421 (in Chinese with English abstract).

Gu J Y, Zhang X Y, Guo B C, 2006. Characteristics of sedimentation and reservoir of the Donghe Sandstone in Tarim Basin and their synthetic analysis[J]. *Journal of Palaeogeography*, 8 (3): 285–294

- (in Chinese with English abstract).
- Guo Q J, Zhao S M, 2002. Depositional Characteristics of Carboniferous in Tahe Region[J]. *Oil & Gas Geology*, 23 (1) : 99 – 102 (in Chinese with English abstract).
- He F Q, Zhai X X, Yu R L, et al., 2004. Deposition and genetic analysis of Carboniferous Kalashayi Formation in Tahe oilfield[J]. *Oil & Gas Geology*, 25 (03) : 258 – 262 (in Chinese with English abstract).
- Hu X L, 2017. The Closure of the South Tianshan Ocean[D]. Cheng Du: Cheng Du University of Technology.
- Ichaso A A, Dalrymple R W, Martinius A W, 2016. Basin analysis and sequence stratigraphy of the synrift Tilje Formation (Lower Jurassic), Halten terrace giant oil and gas fields, offshore mid-Norway[J]. *AAPG Bulletin*, 100 (8) : 1329 – 1375.
- Jia C Z, Wei G Q, 2002. Structural Characteristics and Petroleum potential of Tarim Basin[J]. *Chinese Science Bulletin*, 47 (S1) : 1 – 8 (in Chinese with English abstract).
- Jia J H, 2019. Sedimentary microfacies and sandbody distribution in the clastic tidal environment of the ancient coastal zone: A case study of Silurian in Tazhong area, Tarim basin[J]. *Journal of China University of Mining & Technology*, 48 (1) : 110 – 123 (in Chinese with English abstract).
- Kumar P, Devi K L, Chakraborty P P, et al., 2022. Depositional architecture of sub-aqueous part of a tide-dominated delta and its palaeogeographic implications: Laisong Formation (Barail Group), Indo-Myanmar Ranges, western Manipur[J]. *Journal of Earth System Science*, 131: 103.
- Kurcinka C, Dalrymple R W, Gugliotta M, 2018. Facies and architecture of river-dominated to tide-influenced mouth bars in the lower Lajas Formation (Jurassic), Argentina[J]. *AAPG Bulletin*, 102 (5) : 885 – 912.
- Li S Z, Zhao S J, Liu X, et al., 2018. Closure of the Proto-Tethys Ocean and Early Paleozoic amalgamation of microcontinental blocks in East Asia[J]. *Earth-Science Reviews*, 186: 37 – 35.
- Li Y H, Yan X B, Zhang T, et al., 2004. Reservoir Characteristics and Their Controlling Factors of Kalashayi Carboniferous Formation in Tahe Oilfield[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 26 (1) : 17 – 22+27 (in Chinese with English abstract).
- Liu H Y, Chen H P, Zhang K X, et al., 2017. Sedimentary evolution characteristics of T Member in north block, Oriente basin, Ecuador[J]. *China Offshore Oil and Gas*, 29 (2) : 53 – 62 (in Chinese with English abstract).
- Liu Z H, Chen R, Song C B, et al., 2012. Cyclostratigraphy and Sequence Stratigraphy on Carboniferous Karashayi Formation of Tarim Basin, China[J]. *Earth Science*, 37 (5) : 1051 – 1065 (in Chinese with English abstract).
- Ma H R, 2017. Reservoir Characteristics and Main Controlling Factors of Carboniferous Kalashayi Formation in Southern Tarim Basin[D]. Chengdu: Southwest Petroleum University.
- Manshor N A, Amir Hassan M H, Madon M H, 2022. Tidally-influenced fluvial channel systems from the Miocene Malay Basin, Malaysia: Evidence from core facies and seismic geomorphological analyses[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 135: 105384 – 1-105384-22.
- Peng Y, Gong C L, Li S L, 2022. Recent Advances in River-Wave-Tide Mixed Processes[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 40 (4) : 957 – 978 (in Chinese with English abstract).
- Rosenstein E S, 1990. The clareholm gas field - A significant gas pool in the deep portion of the southern Alberta basin[J]. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, 38 (1) : 178 – 179.
- Rossi V M, Steel R J, 2016. The role of tidal, wave and river currents in the evolution of mixed-energy deltas: Example from the Lajas Formation (Argentina) [J]. *Sedimentology*, 63 (4) : 824 – 864.
- Tänavsuu-Milkeviciene K, Plink-Björklund P, 2009. Recognizing Tide-Dominated Versus Tide-Influenced Deltas: Middle Devonian Strata of the Baltic Basin[J]. *Journal of Sedimentary Research*, 79 (12) : 887 – 905.
- Tian J, Wang Q H, Yang H J, et al., 2021. Petroleum Exploration History and Enlightenment in Tarim Basin[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 42 (3) : 272 – 282 (in Chinese with English abstract).
- Wang D R, Bai Y L, Jia C Z, 2001, 28. Stable isotopic geochemistry of the Carboniferous marine carbonates in the Tarim basin[J]. *Petroleum Exploration and Development*, (6) : 38 – 41+14-13+6 (in Chinese with English abstract).
- Wang S L, Song S L, 2001. The Sedimentary Characteristics of Carboniferous in Akekule Heave in Northern Tarim Basin[J]. *Xinjiang Oil & Gas*, 13 (1) : 17 – 21 (in Chinese with English abstract).
- Wu G H, Li H W, Xu Y L, et al., 2012. The tectonothermal events, architecture and evolution of Tarim craton basement palaeo-uplifts[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 28 (8) : 2435 – 2452 (in Chinese with English abstract).
- Wu G H, Deng W, Huang S Y, et al., 2020. Tectonic-paleogeographic evolution in the Tarim Basin[J]. *Chinese Journal of Geology (Scientia Geologica Sinica)*, 55 (2) : 305 – 321 (in Chinese with English abstract).
- Wu Q L, Fu H, Huang H P, et al., 2008. Sedimentary evolution of the Lower Carboniferous Bachu Formation in the Tarim River area, Xinjiang[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 28 (3) : 79 – 83 (in Chinese with English abstract).
- Xu W, Wang M, Tian P, et al., 2011. Sequence Stratigraphy and Sedimentary Facies of the Carboniferous Kalashayi Formation in the Tahe Oil Field[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 31 (4) : 1 – 10 (in Chinese with English abstract).
- Zhang L Q, Li Z X, Luo X R, 2020. Sedimentary-diagenetic characteristics and heterogeneity models of sandstone reservoirs: An example of Silurian Kalpintage Formation, Northwestern Tarim Basin, China[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 118: 1 – 9.
- Zhang F S, Qu C, 2019. Superimposition patterns of favorable sandbodies in gentle-slope delta affected by tides: a case study of the Carboniferous Karashayi Formation in Tahe Oilfield[J]. *Journal of Northeast Petroleum University*, 43 (3) : 33 – 42+7 (in Chinese with English abstract).
- Zhang W, 2018. Sandbody genesis and distribution research of Kalashayi Formation in Sangtamu area[D]. Beijing: China University of

Petroleum.

- Zhao X F, Hu D F, Zhang W L, et al., 2013. Tide-dominated estuarine and deltaic deposition of the Upper-Triassic Xujiahe Formation in the Yuanba area, Sichuan Basin[J]. *Acta Geologica Sinica*, 87 (11): 1748–1762 (in Chinese with English abstract).
- Zhao X F, Lü Z G, Zhang W L, et al., 2008, 28. Paralic tidal deposits in the Upper Triassic Xujiahe Formation in Anyue area, the Sichuan Basin[J]. *Natural Gas Industry*, (4): 14–18+134 (in Chinese with English abstract).
- Zhao X F, Zhao T Y, Zhang W L, 2019. An introduction to the developments of tidal rhythmites studies and its implication to the natural gas exploration of Xujiahe Formation[J]. *Natural Gas Exploration and Development*, 42 (2): 29–38 (in Chinese with English abstract).
- Zhong D K, Qi L X, Liu K N, et al., 2009. Study on Sedimentary Facies of Carboniferous Kalashayi Formation in the South of Tahe Oilfield[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 27 (4): 614–621 (in Chinese with English abstract).
- Zhou J Y, Lü H T, Shi Y Y, et al., 2022. Sedimentology and depositional model of a mixed fluvial, wave-and tide-influenced Paleozoic clastic coastal system in the northern Tarim basin[J]. *Acta Geologica Sinica*, 96 (4): 1125–1142 (in Chinese with English abstract).
- 杜伟维, 石媛媛, 洪才均, 2017. 塔河油田石炭系卡拉沙依组勘探有利区带精细评价[J]. *石油实验地质*, 39 (4): 580–586.
- 樊怀阳, 陈文, 刘百春, 2004. 塔河油田卡拉沙依组砂组沉积相与储层研究[J]. *新疆地质*, 22 (04): 417–421.
- 顾家裕, 张兴阳, 郭彬程, 2006. 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*, 8 (3): 285–294.
- 郭齐军, 赵省民, 2002. 塔河地区石炭系沉积特征[J]. *石油与天然气地质*, 23 (1): 99–102.
- 何发岐, 翟晓先, 俞仁连, 等, 2004. 塔河油田石炭系卡拉沙依组沉积与成因分析[J]. *石油与天然气地质*, 25 (03): 258–262.
- 胡小龙, 2017. 南天山洋闭合时限[D]. 成都: 成都理工大学.
- 贾承造, 魏国齐, 2002. 塔里木盆地构造特征与含油气性[J]. *科学通报*, 47 (S1): 1–8.
- 贾进华, 2019. 古海岸带碎屑潮汐环境沉积微相与砂体分布——以塔中地区志留系为例[J]. *中国矿业大学学报*, 48 (1): 110–123.
- 李永宏, 闫相宾, 张涛, 等, 2004. 塔河油田石炭系卡拉沙依组储层特征及其控制因素[J]. *石油实验地质*, 26 (1): 17–22+27.
- 刘慧盈, 陈和平, 张克鑫, 等, 2017. 厄瓜多尔 Oriente 盆地北部区块 T 段地层沉积演化特征[J]. *中国海上油气*, 29 (2): 53–62.
- 刘占红, 陈荣, 宋成兵, 等, 2012. 塔里木盆地石炭系卡拉沙依组旋回地层与层序地层综合研究[J]. *地球科学 (中国地质大学学报)*, 37 (5): 1051–1065.
- 马虎戎, 2017. 塔河南部石炭系卡拉沙依组储层特征及主控因素[D]. 成都: 西南石油大学.
- 彭旸, 龚承林, 李顺利, 2022. 河流—波浪—潮汐混合作用过程研究进展[J]. *沉积学报*, 40 (4): 957–978.
- 田军, 王清华, 杨海军, 等, 2021. 塔里木盆地油气勘探历程与启示[J]. *新疆石油地质*, 42 (3): 272–282.
- 王大锐, 白玉雷, 贾承造, 2001, 28. 塔里木盆地油区石炭系海相碳酸盐岩同位素地球化学研究[J]. *石油勘探与开发*, (6): 38–41+14-13+6.
- 王少立, 宋杉林, 2001. 塔里木盆地北部阿克库勒凸起石炭系沉积特征[J]. *新疆石油学院学报*, 13 (1): 17–21.
- 郭光辉, 李浩武, 徐彦龙, 等, 2012. 塔里木克拉通基底古隆起构造-热事件及其结构与演化[J]. *岩石学报*, 28 (8): 2435–2452.
- 郭光辉, 邓卫, 黄少英, 等, 2020. 塔里木盆地构造—古地理演化[J]. *地质科学*, 55 (2): 305–321.
- 吴其林, 傅恒, 黄海平, 等, 2008. 塔里木盆地塔河地区下石炭统巴楚组沉积演化[J]. *沉积与特提斯地质*, 28 (3): 79–83.
- 徐微, 王明, 田鹏, 等, 2011. 塔河油田石炭系卡拉沙依组层序地层及沉积相研究[J]. *沉积与特提斯地质*, 31 (4): 1–10.
- 张福顺, 瞿长, 2019. 受潮汐影响的缓坡三角洲有利砂体叠置样式——以塔河油田石炭系卡拉沙依组为例[J]. *东北石油大学学报*, 43 (3): 33–42+7.
- 张旺, 2018. 桑塔木地区石炭系卡拉沙依组砂体成因与展布研究[D]. 北京: 中国石油大学.
- 赵霞飞, 胡东风, 张闻林, 等, 2013. 四川盆地元坝地区上三叠统须家河组的潮控河口湾与潮控三角洲沉积[J]. *地质学报*, 87 (11): 1748–1762.
- 赵霞飞, 吕宗刚, 张闻林, 等, 2008, 28. 四川盆地安岳地区须家河组——近海潮汐沉积[J]. *天然气工业*, (4): 14–18+134.
- 赵霞飞, 赵拓宇, 张闻林, 2019. 潮汐韵律岩研究进展及对须家河组沉积相的启示[J]. *天然气勘探与开发*, 42 (2): 29–38.
- 钟大康, 漆立新, 刘康宁, 等, 2009. 塔河油田南部石炭系卡拉沙依组沉积相研究[J]. *沉积学报*, 27 (4): 614–621.
- 周江羽, 吕海涛, 石媛媛, 等, 2022. 塔北古生界滨岸相混控碎屑岩体系沉积学和沉积模式[J]. *地质学报*, 96 (4): 1125–1142.

附中文参考文献