

柯坪露头区早志留世三角洲及碎屑海岸沉积

邢凤存^{1,2} 李 祯³ 李思田³

(1.成都理工大学沉积地质研究所,四川成都 610059;2.中国地质大学(北京)海洋学院,北京 100083;
3.中国地质大学(北京)能源学院,北京 100083)

摘要:塔里木盆地阿克苏市柯坪露头区下志留统地层出露连续、完整,是较好的海相碎屑岩沉积露头研究区,其沉积体系类型有待进一步探讨。笔者通过多次精细的露头沉积学观察及室内研究,对柯坪露头区下志留统海相碎屑岩沉积体系类型及其特征进行了分析研究。识别出三角洲及碎屑海岸沉积(潮坪),并在该区提出了河流作用为主的三角洲和潮汐影响三角洲两种三角洲类型。柯坪塔格组主要为河流作用为主的三角洲沉积,而塔塔埃尔塔格组则主要发育潮汐影响三角洲及潮坪沉积。探讨和对比了各类型沉积体系的沉积特征及其之间的差异性。

关键词:河流作用为主的三角洲;潮汐影响三角洲;潮坪;下志留统;柯坪地区;塔里木盆地

中图分类号: P534.52 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2011)04-0996-12

1 前 言

塔里木盆地志留系因存在广泛分布的沥青砂岩^[1-5]而备受关注,是塔里木盆地一个重要的油气勘探目标及远景层位,目前,已在塔中和塔北地区发现了志留系油气藏^[6,7]。随着油气勘探的逐渐深入,近些年来开展了一些有关志留系海相碎屑岩沉积体系及储层的研究工作^[8-13],但研究程度有待深入。

柯坪露头区位于阿克苏市西部,该区志留系发育海相碎屑岩沉积,其沉积序列连续,下志留统柯坪塔格组和塔塔埃尔塔格组砂体发育,并具有丰富、清晰的沉积现象,是研究塔里木盆地下志留统沉积的一个重要窗口,也是古代海相碎屑岩沉积研究非常难得的露头区。前人在该区开展了一些沉积体系的研究工作,总体认为志留纪主要为无障碍海岸和有障壁海岸两种沉积环境^[8-10],其中,柯坪塔格组以滨岸(前滨和临滨)^[11]-陆棚^[12,13]沉积为主,塔塔埃尔塔格组主要为潮坪沉积(包括砂坪、砂泥混合坪和泥坪^[10,13],以及潮汐砂坝、潮沟或潮汐水道(潮道)等沉积^[13]),依木干他乌组主要为潮上带沉积^[13]。但对于该区志留系是

否存在三角洲沉积尚存争议,多数研究未有提及。

本次研究中,通过对柯坪大湾沟剖面和阿克苏四石场剖面的多次精细的野外沉积学观察、写实及室内分析研究工作,对该区早志留世沉积体系类型及特征进行了探讨,重点对区内发育的不同类型三角洲沉积进行了识别和重点研究。

2 地质背景

寒武纪和早奥陶世塔里木盆地中东部显示了较稳定的克拉通性质,多个碳酸盐台地发育。中晚奥陶世之间出现明显的构造变革,周缘的板块汇聚拼贴形成挤压拗曲的构造背景,古隆起面积扩大,遭受剥蚀并形成大面积岩溶化的古暴露面。晚奥陶世由于盆地周围构造单元的汇聚拼贴形成物源区,在满加尔和塘南形成巨厚的深水浊流沉积^[14]。奥陶纪末发生大规模的周缘造山作用,构造和沉积格局发生了明显的变化,盆地南北两侧地区隆升、剥蚀,沉积盆地缩小并发生挠曲,由早古生代以碳酸盐岩和深水碎屑岩为主的沉积环境转变为志留纪浅海-海岸带为主的碎屑岩沉积环境。泥盆纪早、中期发生的早海

收稿日期:2011-04-20;改回日期:2011-05-04

基金项目:中石化前瞻性项目“塔里木盆地台盆区古构造古环境及其动态演化”(YPH08114)资助。

作者简介:邢凤存,男,1978年生,博士后,主要从事沉积学、层序地层学及油气储层的研究工作;E-mail:xingfengcun@163.com。

西构造运动波及全盆,剥蚀过程使隆升区夷平化。石炭纪再次海侵,主体部分演变为克拉通内陆表海型盆地^①。受海西运动、印支-燕山运动及喜山运动影响,塔里木盆地古生代原始沉积格局遭受了大范围的剥蚀和改造,志留纪的古构造和古地理格局已保存不完整。

柯坪露头区位于塔里木盆地西北边缘,区域构造单元上归属于柯坪断隆(图 1)^[5]。受晚加里东运动影响,晚奥陶世末期深水泥页岩或钙质泥岩沉积向上突变为志留纪浅海-海岸带碎屑岩沉积。

3 沉积体系类型及沉积特征

下志留统柯坪塔格组与塔塔埃尔塔格组具有明显的沉积差异性,前者主要为灰色、深灰色泥岩和灰色、浅灰色砂岩沉积,后者则主要为紫红色泥岩和紫红色或灰色、灰白色砂岩沉积。柯坪塔格组砂岩成分成熟度低,主要为岩屑砂岩,而塔塔埃尔塔格组砂岩成分成熟度较高,主要为次岩屑砂岩(图 2)。

柯坪露头区下志留统主要可识别出三角洲及碎屑海岸等沉积类型。其中三角洲可进一步细分为河流作用为主的三角洲及潮汐影响三角洲,碎屑海岸沉积则主要为潮坪和滨岸沉积。本文将针对潮坪、河流作用为主的三角洲及潮汐影响三角洲沉积特征开展分析对比研究和探讨。

3.1 潮坪沉积

3.1.1 沉积标志

研究区潮坪体系发育(图 3),主要分布在下志留统柯坪塔格组顶部和塔塔埃尔塔格组。岩石学特征上主要表现为细-中粒次岩屑砂岩,砂岩成分成熟

度高,分选较好。潮坪沉积的薄层砂泥质岩互层结构特征普遍(图 3),沉积构造现象丰富,可见及潮汐层理(脉状层理、波状复合层理及透镜状层理)、羽状交错层理(图 4-b)、潮汐双粘土层(图 4-c)、潮汐束序列^[6](图 4-d)、泥披盖^[7](图 4-b)和再作用面(图 4-b)等典型的潮坪沉积标志。流水波痕发育,遗迹化石丰富(图 4-a),见螺和双壳类等化石。

3.1.2 构成及垂向组合特征

1) 构成特征

潮坪沉积可识别出潮上带、潮间带和潮下带,潮上带主要为泥坪沉积,潮间带主要为泥坪、砂泥混合坪、潮道、潮沟和砂坪沉积(图 3),潮下带可识别出潮道和潮汐沙坝等沉积类型。

潮下带潮道沉积构造丰富,发育板状交错层理(图 4-d)、羽状交错层理(图 4-b)及 S 形交错层理等,普遍见及泥披盖、双粘土层、潮汐束序列和再作用面(图 4-b)及生物扰动构造。一般纹层组顶部削截不明显,底部泥质含量高,并与下部岩层呈切线相交,可见生屑或泥砾(图 4-b,d)。总体上,潮道内部粒度变化不明显,不具有典型河流二元结构特征,可见由大型交错层理向上过渡为小型交错层理的向上变细结构。潮道横向延伸幅度小,普遍小于 10 m,厚度一般在 2 m 以下,侧向迁移明显。潮道一般与砂坪或砂泥混合坪构成空间组合。

潮下带潮汐沙坝横向具有起伏性,单砂体厚度可达到 1 m,具有向上变粗的结构特征,可见丘状特征,生物扰动构造发育,与中薄层泥岩组合。

潮间带砂坪横向上延伸远且厚度稳定,单砂体厚度一般小于 1 m(图 3),可夹薄层紫红色泥岩,与

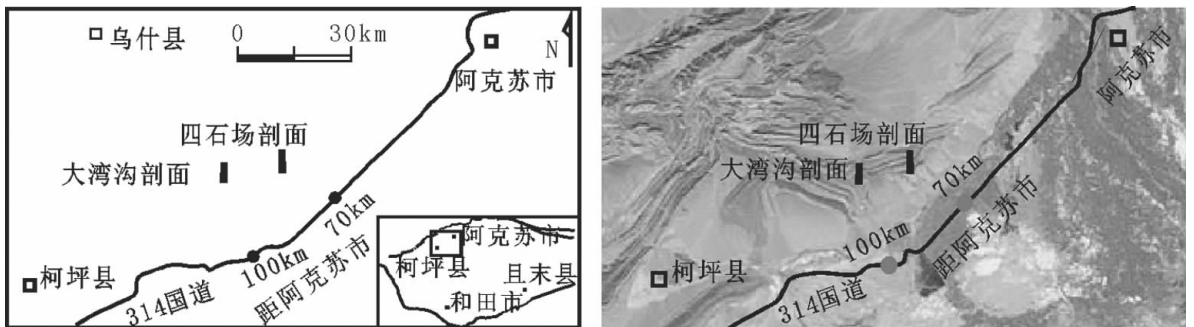


图 1 柯坪露头区区域位置图
Fig.1 Location of Keping outcrop area

① 中国地质大学,塔里木盆地古构造、古环境及其动态演化研究报告,2009.

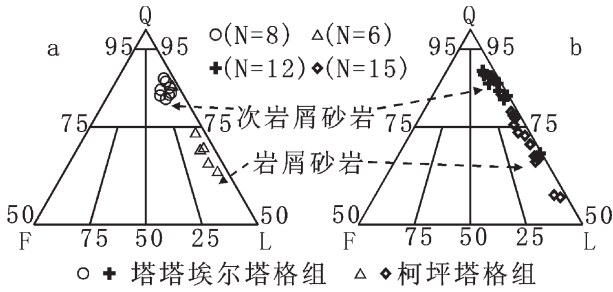


图2 柯坪露头区下志留统砂岩类型

a—大湾沟剖面;b—四石场剖面

Fig.2 Classification of Lower Silurian sandstones in Keping area
a—Dawangou section;b—Sishichang section

砂泥混合坪和潮道组合。

潮间带砂泥混合坪主要表现为薄(cm级)的砂泥质岩互层(图3),一般砂岩内可见小型波纹层理、流

水波痕和生物扰动现象,砂层平直,横向尖灭普遍。

潮间带上部—潮上带泥坪主要为紫红色泥岩,波浪和遗迹化石发育,见双壳类及螺化石,可见泥裂。

2)垂向组合序列特征

潮坪沉积由下向上具有明显海退进积序列结构,表现为潮下带向潮上带演化的特征,向上砂泥比减少,砂层减薄和泥岩层增厚。

3.2 三角洲沉积

前人对柯坪露头区下志留统三角洲沉积体系的论述很少,塔塔埃尔塔格组还未见及三角洲沉积体系的描述。本次研究中,在柯坪塔格组识别出河流作用为主的三角洲沉积,在塔塔埃尔塔格组地层中识别出潮汐影响三角洲沉积。

3.2.1 潮汐影响三角洲沉积

1)沉积标志

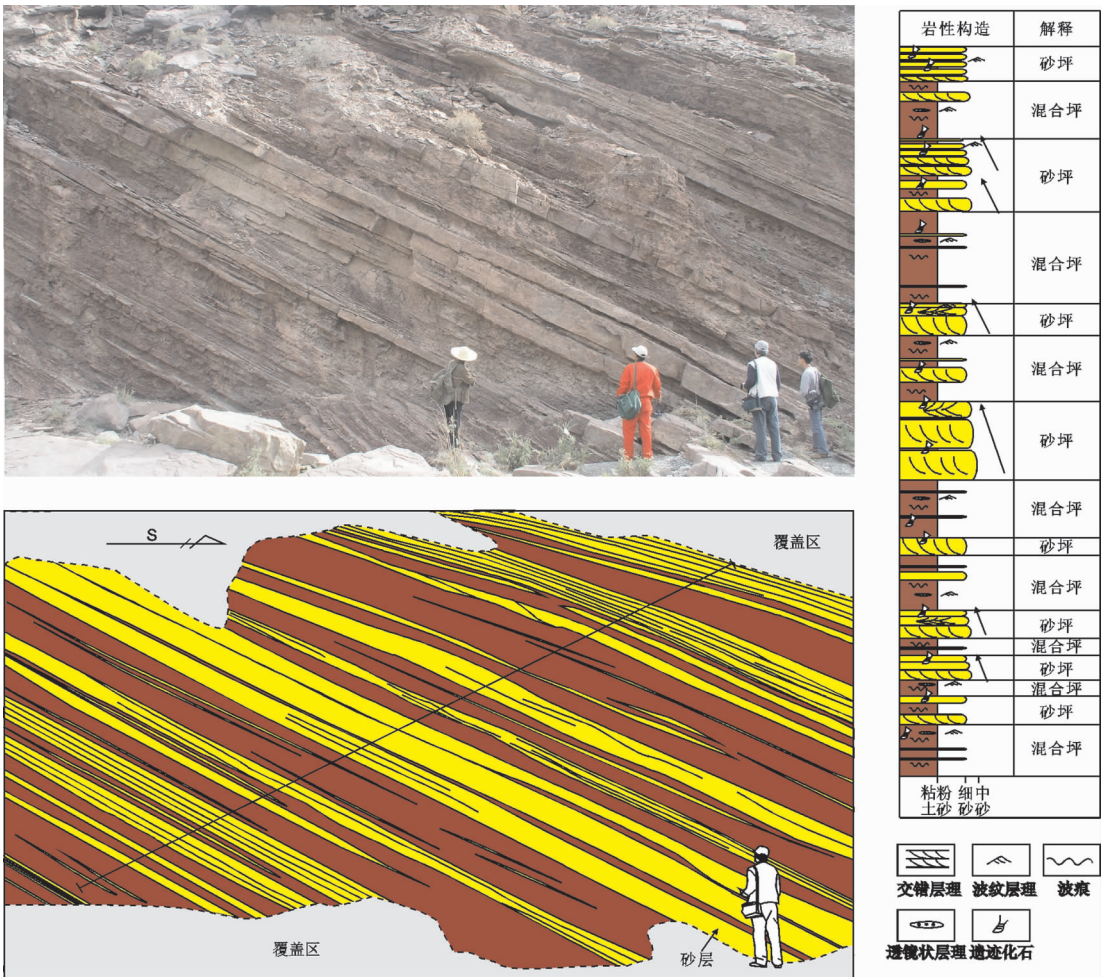


图3 柯坪大湾沟剖面塔塔埃尔塔格组潮坪沉积野外照片及解释

Fig.3 Outcrop photographs and interpretations of tidal flat systems of Tataertage Formation in Keping area

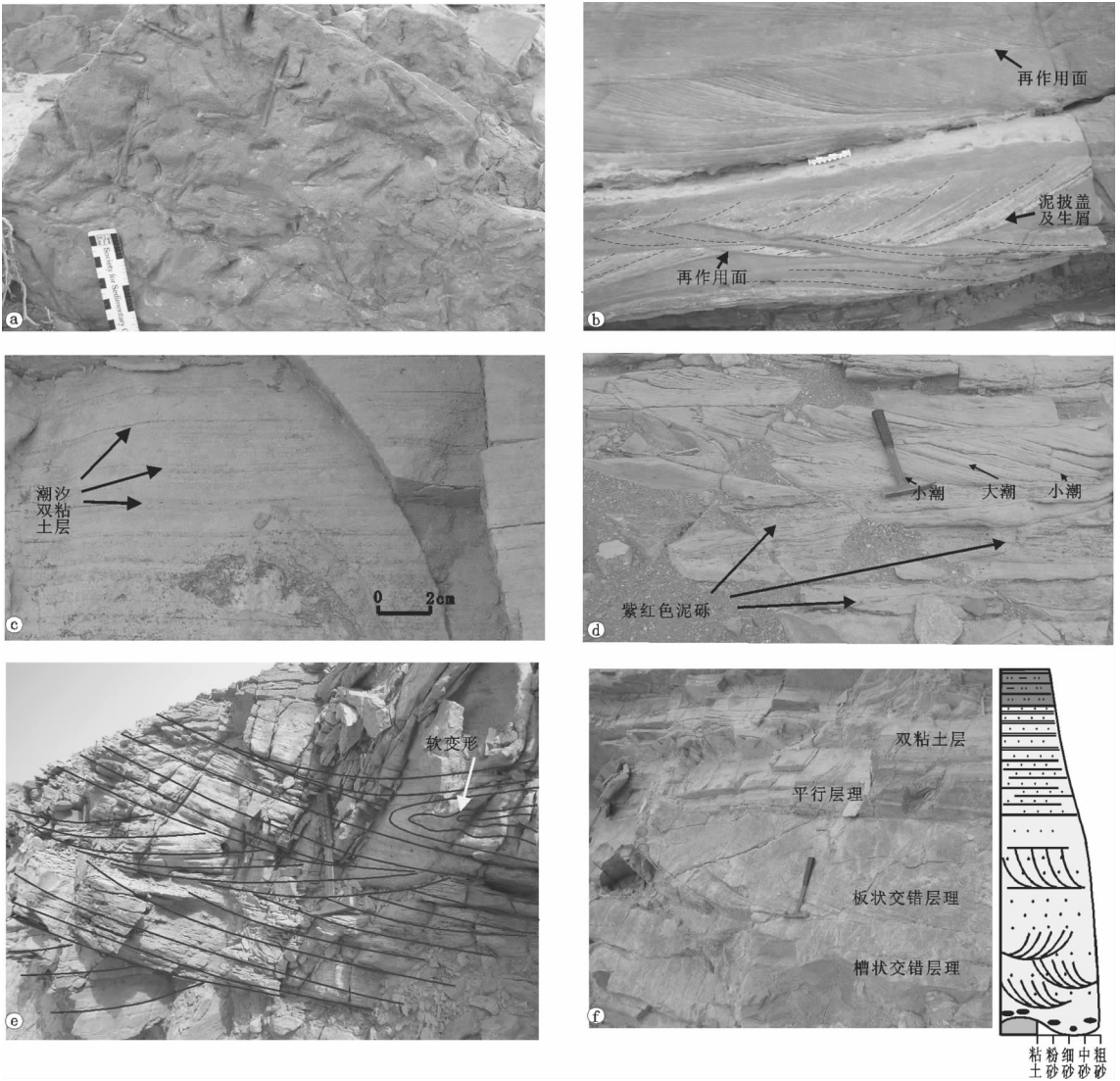


图 4 潮坪及潮汐影响三角洲体系典型沉积特征

a—生物扰动;b—双向交错层理、再作用面和泥披盖;c—潮汐双粘土层;d—潮道内潮汐束序列及泥砾; e—河道内大型槽状交错层理及软沉积物变形;f—潮汐影响三角洲水下分流河道垂向序列结构

Fig.4 Typical outcrop photographs showing tidal flat systems and tide-influenced delta systems a- Bioturbation; b-Bidirectional cross-bedding, reactivation surfaces and mud drapes; c-Tidal double mud layers; d- Tidal bundle sequences and mud pebbles in tidal channel; e-Large scale trough cross-bedding and soft-sediment deformation in fluvial channel; f-Vertical depositional succession of subsea distributary channel in tide-influenced delta systems

Milkeviciene 根据潮汐影响的程度提出了潮控三角洲和潮汐影响三角洲^[20],认为潮控三角洲^[18]主要指潮汐起主要控制作用的三角洲,潮汐影响三角洲则以河控为主,其次受潮汐影响,但保存了三角洲的典型结构特征。目前,国际上开展了很多现代潮控和潮汐影响的三角洲沉积的研究工作,主要是现代沉积研究^[19,20]。对相关古代三角洲沉积序列及结构的研究有待深入。

在柯坪露头区下志留统塔塔埃尔塔格组识别出潮汐影响三角洲沉积,其沉积背景主要为潮坪环境,结构与河流作用为主的三角洲类似^[20],具有完整、典型的三角洲沉积序列(图 5),底积层、前积层及顶积层结构清晰。需要指出的是,海退期三角洲的下细上粗的反旋回^[21,22]进积结构与海退形成的潮坪和河口湾的向上变细的正旋回结构^[23]具有明显差异性,在柯坪露头区可见及这种下细上粗的反旋回与潮坪的

正旋回在横向上的组合共存现象，这能很好地说明三角洲沉积的存在。

沉积构造中可见大型槽状交错层理 (图 4-e)，并具有河道二元结构特点(图 4-f)，由下部的河床滞留的泥砾沉积及大型槽状交错层理砂岩向上过渡为平行层理砂岩-波状或水平纹层粉砂岩沉积 (图 4-f)，河道底部发育槽模，层面见高流态成因的水流线理。河床滞留沉积的泥砾一般是紫红色和灰绿色，

具有定向排列特点。河道顶部砂岩内可见双粘土层 (图 4-f)、泥披盖和再作用面等潮汐改造标志。厚层砂体间是较纯的紫红色或灰绿色泥岩。

以上沉积特征显示了河流作用为主但潮汐影响明显，且沉积背景具有潮坪沉积环境特点，不能代表典型潮控三角洲沉积，也与典型河流三角洲具有明显区别，所以文中提出潮汐影响三角洲，以与潮控三角洲和河流三角洲加以区别。

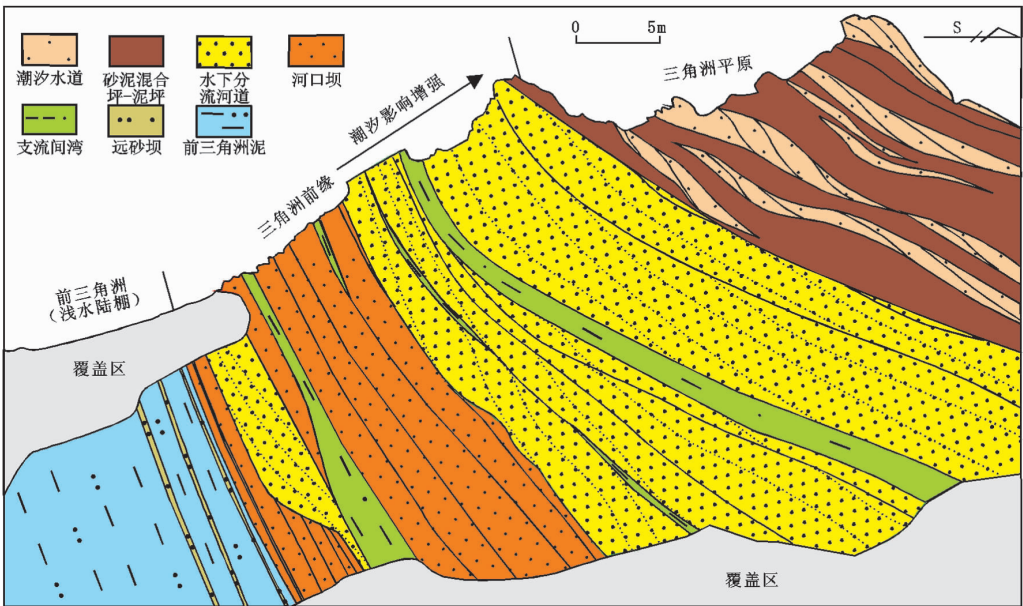
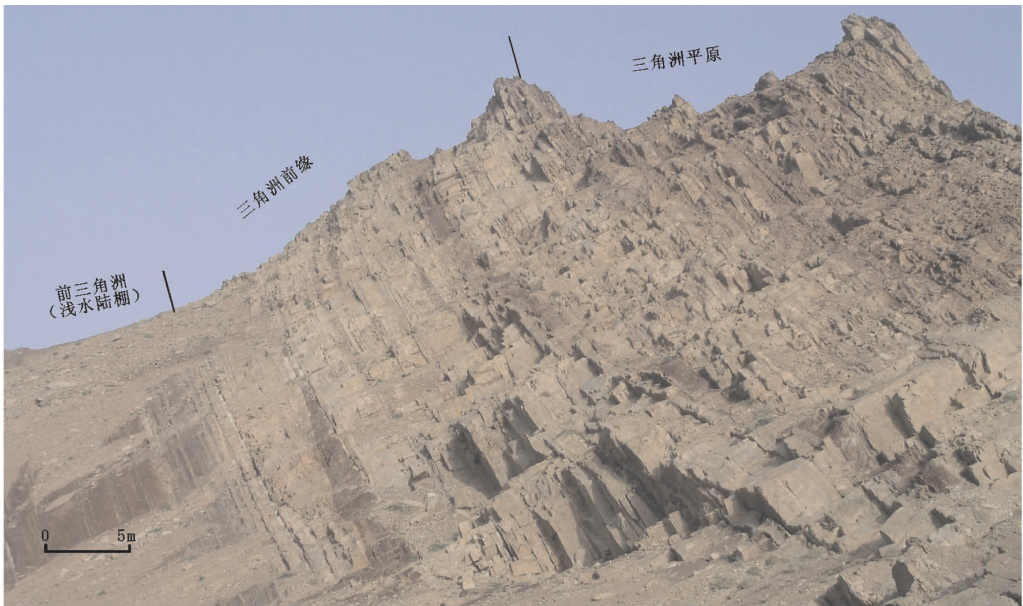


图 5 阿克苏四石场剖面塔塔埃尔塔格组潮汐影响三角洲体系典型垂向沉积序列
Fig.5 Outcrop photographs showing sedimentary successions of tide-influenced delta systems in Tataertage Formation on Sishichang outcrop in Keping area

2)构成及垂向组合特征

潮汐影响三角洲主要可识别出三角洲平原、三角洲前缘和前三角洲沉积。其中三角洲前缘可识别出远砂坝、潮汐影响的河口坝、支流间湾、潮汐影响的水下分流河道(或者潮汐影响的水下分流河道与潮道复合体)等沉积类型(图 6);三角洲平原主要为潮汐水道及潮间-潮上带的砂泥混合坪、潮沟及泥坪沉积。

前三角洲沉积主要位于浅水陆棚及潮下带下部,一般以紫红色泥岩沉积为主,夹薄层灰色细砂岩,层内遗迹化石丰富,见垂直、倾斜及水平的生物钻孔,并可见到小型浪成波痕。

三角洲前缘发育潮汐影响的水下分流河道和河

口坝沉积^[9](图 6),水下分流河道内可见及典型的河流成因的槽状交错层理,但与河流相河道及潮道具有一定差异性,一般河道底部为大型槽状交错层理及河床滞留沉积,向上可依次出现板状交错层理-平行层理-潮汐影响的水平纹层或波状层理,顶部可见潮汐双粘土层,部分板状交错层理内可见潮汐束序列或再作用面,上部也可见小型潮道切割,这也反映了河道下部河流控制及上部受潮汐影响的结构特点。河口坝沉积横向延伸较远,垂向上具有向上变粗的旋回结构,一般底部生物扰动强烈。

三角洲平原沉积主要表现为潮间带-潮上带的泥坪和砂泥坪背景下发育的潮汐水道沉积,由于向上构造更加稳定,填平补齐及物源供给的减少,造成

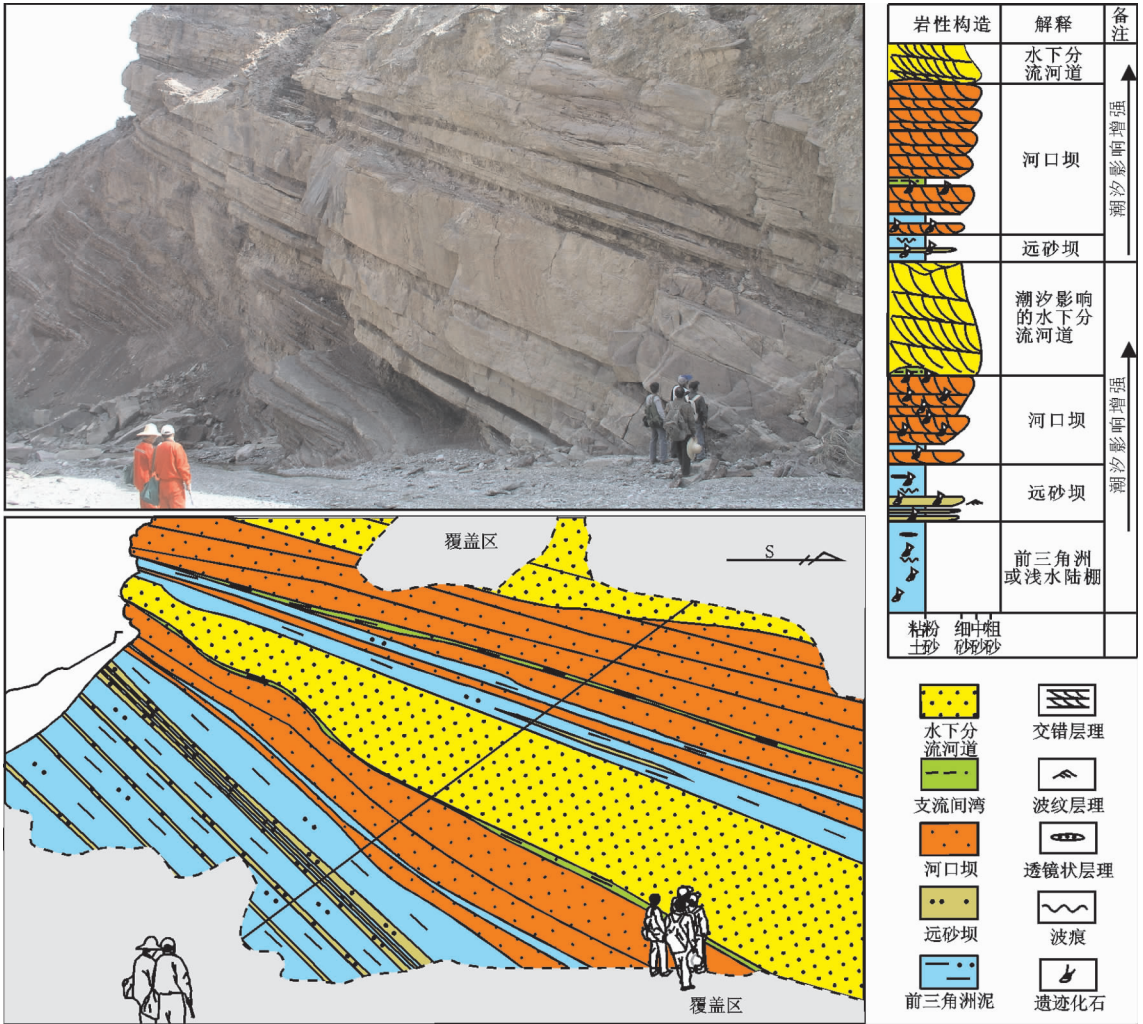


图 6 柯坪大湾沟剖面塔塔埃尔塔格组潮汐影响三角洲体系野外照片及解释

Fig.6 Outcrop photographs and interpretations of tide-influenced delta systems of Tataertage Formation on Dawangou outcrop in Keping area

了垂向上潮汐影响逐渐增强,并逐渐过渡为潮汐作用为主的沉积环境。

潮汐影响三角洲垂向表现出明显海退的进积型结构,由下至上依次发育前三角洲-三角洲前缘(图6)-三角洲平原沉积(图5)。三角洲前缘由潮汐影响的河口坝、潮汐影响的水下分流河道和水下分流河道-潮道复合体组合等沉积构成,三角洲平原具有典型的潮间-潮上带沉积背景特征。

3.2.2 河流作用为主的三角洲沉积特征

1) 沉积标志

河流作用为主的三角洲沉积主要发育在柯坪塔格组中下部,背景相主要为一套灰色、深灰色泥岩沉积,泥岩中见笔石化石,水平层理发育,亦可见浪成波痕,总体反映了下临滨-浅水陆棚的沉积环境背景。

砂岩成分成熟度低,主要为岩屑砂岩。

沉积序列上具有典型的三角洲底积-前积结构(图7)。下部薄的、不连续的透镜状砂岩镶嵌在灰色泥岩中,向上变为连续的、丘状-板状的厚度稳定的砂体,进一步向上出现下切的河道结构(图7),反映了前三角洲-三角洲前缘的进积结构特征。同时,柯坪大湾沟剖面见大型下切水下分流河道结构(图8-a,b),表现为河道与底部陆棚泥岩突变接触的特点(图8-a)。

沉积构造现象丰富,发育单向水流为主的板状交错层理(图8-c),并发育槽状交错层理和楔状交错层理,可见宽缓的介于槽状-平行层理水动力条件之间的高流态层理,其纹层呈宽缓的单向倾斜特点,单个纹层延伸可达到3m以上。除此之外,局部可见浪成交错层理(图8-d)。

2) 构成及垂向组合特征

研究区柯坪塔格组可识别出前三角洲和三角洲前缘两个成因相组合。其中前三角洲主要为浅水陆棚泥岩,三角洲前缘主要可识别出远砂坝、河口坝、水下分流河道及支流间湾沉积(图7)。前三角洲沉积特征见上文描述。远砂坝一般表现为透镜状-丘状的、横向延伸短、砂层较薄的形态特征(图7)。河口坝一般厚度可达到2m以上,横向延伸稳定或具有丘状特征,可见及大型交错层理及平行层理,具有向上变粗的旋回结构。水下分流河道一般下切明显(图8-a,b),其内可见大型槽状交错层理、板状交错层理(图8-c)、楔状交错层理及浪成交错层理(图8-d),一般河道内具有明显的软变形及滑塌结构(图8-b),推测与加里东晚期较强的构造活动相关。水下分流河道一般与河口坝或支流间湾组合(图7),垂向序列上一般表现为明显的海退进积序列结构,由下部前三角洲的陆棚泥岩-三角洲前缘远砂坝沉积向上演化

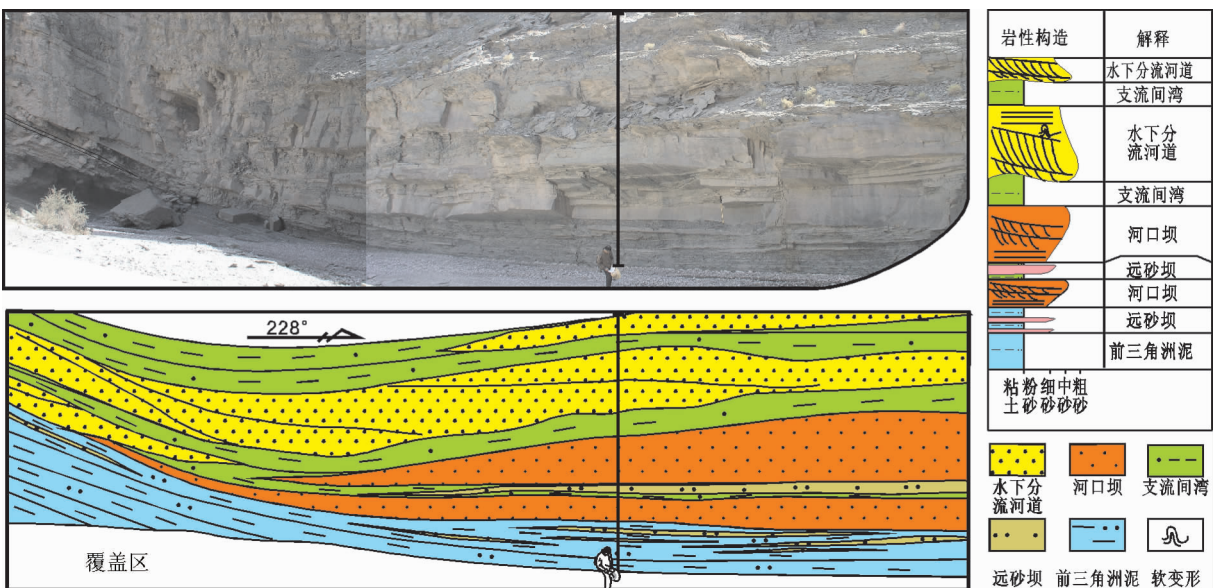


图7 柯坪大湾沟剖面柯坪塔格组河流作用为主的三角洲体系野外照片及解释
Fig.7 Outcrop photographs and interpretations of river-dominated delta systems of Kepingtage Formation on Dawangou outcrop in Keping area

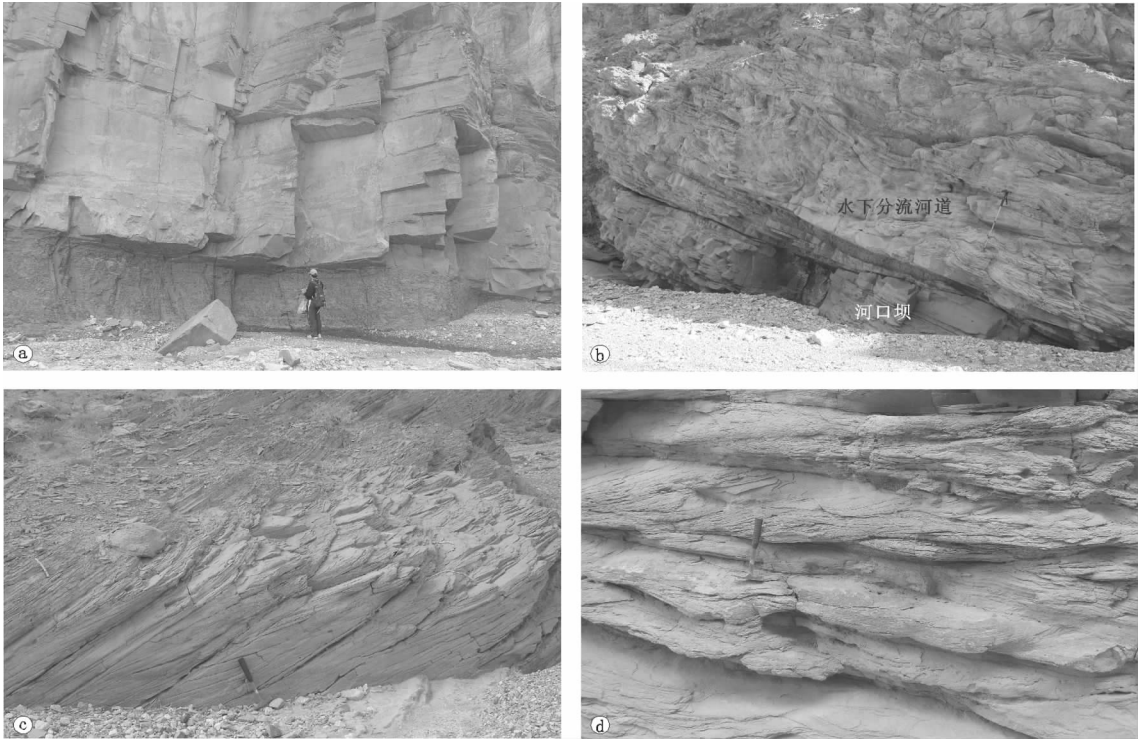


图 8 柯坪地区柯坪塔格组河流作用为主的三角洲水下分流河道沉积特征

a—大型水下分流河道;b—水下分流河道下切河口坝,软变形构造;c—板状交错层理;d—浪成交错层理

Fig.8 Typical outcrop photographs showing subsea distributary channels in river-dominated delta systems

a—Large-scale subsea distributary channel;b—Subsea distributary channel with soft-sediment deformation incising into mouth bar;
c—Tabular cross bedding;d—Wave ripple cross-bedding

为三角洲前缘的河口坝—河口坝与水下分流河道组合的垂向序列特征(图 7)。

4 讨论

结合现有研究成果,对露头区识别出的不同沉积体系类型间的沉积异同性进行对比探讨分析(表 1)。

4.1 潮汐影响三角洲与潮坪体系差异性分析

研究区潮汐影响三角洲沉积与潮坪沉积虽然均发育在塔塔埃尔塔格组地层内,但两者特征具有一定的差异性(表 1)。

水动力机制:潮汐影响三角洲一般以河流控制为主,其次为潮汐影响;潮坪沉积则主要受潮汐控制。

垂向序列结构:潮坪和潮道沉积组合普遍表现为向上变细(图 3),砂层变薄,泥岩增厚的正旋回结构;潮汐影响三角洲的前缘和前三角洲组合主要表现为下细上粗的反旋回结构(图 5)。

岩矿特征:岩石薄片分析也显示了两者的明显

差异,总体上三角洲水下分流河道沉积不稳定岩屑含量较高,且泥质含量高。而潮坪及潮道砂体由于反复的潮汐改造,一般泥质含量较低^[24],且不稳定岩屑和长石含量相对较低,颗粒一般具有较好的磨圆度,薄层砂层与泥岩互层,呈周期性出现^[25](图 3)。

潮道与潮汐影响水下分流河道差异:总体上,水下分流河道水动力条件较潮道的强。潮道内普遍发育羽状交错层理、潮汐双粘土层、潮汐束序列及泥披盖,普遍见及生屑层和再作用面^[21],且生物扰动发育;潮汐影响的水下分流河道沉积,主要发育大型槽状交错层理(图 4-e),并发育板状交错层理和平行层理等沉积构造(图 4-f),较少见及羽状交错层理,受潮汐影响,水下分流河道顶部可见及潮坪的一些沉积特征,如双粘土层及再作用面^[21](图 4-c,d),此外,由于潮道和潮沟会聚到水下分流河道内,也可在水下分流河道内见及潮道和潮沟的沉积标志。同时,水下分流河道一般具有河流二元结构(图 4-f),并

表 1 柯坪露头区下志留统不同沉积体系沉积特征对比
Table 1 Sedimentary features comparisons of different depositional systems in the Lower Silurian in Keping area

特征	河流作用为主的三角洲	碎屑海岸(潮坪)	潮汐影响三角洲
发育层位	柯坪塔格组	柯坪塔格组顶部和塔塔埃尔塔格组	塔塔埃尔塔格组中、下部
背景环境	陆棚-临滨	潮上-潮下带	潮上带-浅水陆棚
岩矿特征	岩屑含量高, 成分成熟度低	岩屑含量低, 成分成熟度高	岩屑含量低, 总体上成分成熟度高, 可见低成分成熟度
水流及沉积构造	以单向水流作用为主, 见双向或多向波浪影响。发育大型槽状、板状及楔状等交错层理, 见平行层理、浪成交错层理及液化变形构造, 见浪成和流水波痕及重荷模	以双向和多向水流为主。发育潮汐层理、再作用面和泥岩披盖, 见羽状交错层理、双粘土层和潮汐束序列结构, 流水波痕发育	以河流作用为主, 受潮汐水流影响, 可见波浪改造。一般河道底部以单向水流为主, 上部可见潮汐沉积结构(潮汐层理、再作用面、双粘土层及潮汐束结构), 见浪成和流水波痕
含有物	铁质结核	生屑、紫红色泥砾	石英砾石、生屑、紫红色和灰绿色泥砾
化石	遗迹化石不发育, 见笔石和腕足类化石	遗迹化石发育, 见双壳类和腹足类化石	遗迹化石发育, 见双壳类和腹足类化石
垂向序列结构	海退进积序列, 向上砂体发育, 以底积层和前积层为主, 顶积层未见。具典型的河口坝和下水分流河道沉积结构及其垂向组合	海退进积序列, 总体具岩性向上变细特征, 砂岩厚度变薄, 泥岩层增厚	海退进积序列, 可见底积层、前积层和顶积层, 向上潮汐影响增强
主要成因相构成	水下分流河道、河口坝、远砂坝、支流间湾及陆棚泥岩	泥坪、砂泥混合坪、砂坪、潮道、潮沟、潮汐沙坝	潮汐水道、泥坪、砂泥坪、潮汐影响的水下分流河道(或与潮道的复合体)、河口坝、支流间湾、远砂坝、浅水陆棚泥等

具有向上变粗的河口坝与向上变细的水下分流河道的空间组合结构, 而单个潮道和砂坪沉积岩性垂向变化不明显。

4.2 河流作用为主的三角洲与滨岸沉积差异性分析

水动力机制: 河流作用为主的三角洲主要为河流物源供给, 一般以单向水流或大体单向水流为主(图 8-a), 河流惯性较强, 在陆棚-近滨背景下, 见波浪改造现象(图 8-d)(表 1)。而海岸前滨和近滨沉积则主要表现为波浪改造为主的特点, 这也是两者的主要区别之一。

垂向序列结构: 研究区河流作用为主的三角洲具有典型的海退进积型结构, 由下部前三角洲泥向上逐渐出现远砂坝-河口坝-水下分流河道(图 7)沉积组合序列, 上部则以水下分流河道沉积为主, 垂向上, 砂体间具明显的泥质夹层。滨岸沉积一般以砂岩沉积为主, 海退进积型滨岸也表现为进积结构特征, 但垂向结构及沉积特征具有差异性(参见层理结构论述), 河流作用为主的三角洲进积结构内一般向上水下分流河道逐渐发育, 且下切明显(图 8-a,b), 可见及大型的水下分流河道与陆棚泥岩的突变接触结构(图 8-a), 而滨岸沉积上述结构特点不明显, 这

也可以作为二者的差异性之一。

岩石成分: 研究区河流作用为主的三角洲碎屑成分成熟度一般偏低, 岩屑含量高, 而海岸(前滨和近滨)由于波浪改造一般岩石成分成熟度高。

层理结构: 滨岸带的前积结构中从底部向上可出现水平层理、交错层理、冲洗层理、平行层理、风成交错层理的总体序列特征, 而区内滨岸背景下的河流作用为主的三角洲中普遍见及槽状交错层理、板状交错层理(图 8-c)、楔状交错层理和平行层理等层理结构, 未见及冲洗层理-水平层理-风成交错层理的垂向演化序列。

4.3 河流作用为主的三角洲与潮汐影响三角洲差异性分析

研究区河流作用为主的三角洲主要发育在柯坪塔格组的中下部, 而潮汐影响三角洲则主要发育在塔塔埃尔塔格组(表 1)。

沉积背景: 研究区两种三角洲的沉积背景具有差异性, 河流作用为主的三角洲主要发育在下临滨-陆棚背景下, 而潮汐影响三角洲则主要发育在潮坪沉积背景下。

水动力机制: 研究区两种类型三角洲总体均以

河控为主,前者可具有波浪影响,后者受潮汐影响,也可见波浪影响。总体上,河流作用为主的三角洲动力条件上,前者明显强于潮汐影响三角洲。

垂向结构:相近^[20],均具有清晰的三角洲底积-前积结构(图 5~7)。

岩石学特征:河流作用为主的三角洲砂岩岩屑含量普遍较高,成分成熟度明显低于潮汐影响的三角洲砂岩。这也与两者的构造背景具有一定关系,河流作用为主的三角洲主要发育在构造活动期,受晚加里东运动影响明显,物源区较近,而潮汐影响三角洲则主要处于构造稳定期,地貌平缓条件下,物源区较远。

沉积构造:河流作用为主的三角洲普遍发育砂岩软变形结构,可见槽状、板状、楔状及浪成交错层理,而潮汐影响三角洲则主要可见大型槽状交错层理、平行层理、板状交错层理,同时还具有潮汐相关层理构造,可见软变形结构,但发育程度明显低于前者。此外,二者遗迹化石发育程度具有明显差异,河流作用为主的三角洲生物遗迹化石较少见(图 7),而潮汐影响的三角洲可见丰富的生物遗迹化石(图 6),尤其发育生物钻孔及生物扰动构造。

发育规模:河流作用为主的三角洲发育规模较大,而潮汐影响三角洲明显较小。

以上研究仅代表柯坪露头区现有的研究成果和认识,还有待进一步深入探讨和补充。

致谢:野外露头初次踏勘得到了中石化西北分公司陈跃同志的帮助,特此表示感谢。

参考文献(References):

- [1] 张景廉,朱炳泉,张平中,等.塔里木盆地北部沥青、干酪根 Pb-Sr-Nd 同位素体系及成因演化[J].地质科学,1998,33(3):310-317.
Zhang Jinlian, Zhu Bingquan, Zhang Pingzhong, et al. Pb-Sr-Nd isotopic systematics of kerogen and bitumen in the Tarim basin and their implications for its origin and evolution[J]. Chinese Journal of Geology, 1998, 33(3):310-317(in Chinese with English abstract).
- [2] 钟大康,朱筱敏,周新源,等.次生孔隙形成期次与溶蚀机理——以塔中地区志留系沥青砂岩为例[J].天然气工业,2006,26(9):21-24.
Zhong Dakang, Zhu Xiaomin, Zhou Xinyuan, et al. Phases of secondary pore generation and dissolution mechanism:taking Silurian asphaltic sandstone in central tarim basin as an example[J]. Natural Gas Industry, 2006, 26(9):21-24(in Chinese with English abstract).
- [3] 刘洛夫,赵建章,张水昌,等.塔里木盆地志留系沉积构造及沥青砂岩的特征[J].石油学报,2001,22(6):11-17
Liu Luofu, Zhao Jianzhang, Zhang Shuichang, et al. The depositional and structural settings and the bituminous sandstone distribution characters of the silurian in tarim basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2001, 22(6):11-17(in Chinese with English abstract).
- [4] 陈强路,范明,尤东华.塔里木盆地志留系沥青砂岩储集性非常规评价[J].石油学报,2006,27(1):30-33.
Chen Qianglu, Fan Ming, You Donghua, et al. Non-traditional method for evaluating physical property of Silurian bitumen sandstone reservoirs in Tarim Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2006, 27(1):30-33(in Chinese with English abstract).
- [5] 刘洛夫,赵建章,张水昌,等.塔里木盆地志留系沥青砂岩的成因类型及特征[J].石油学报,2000,21(6):12-17.
Liu Luofu, Zhao Jianzhang, Zhang Shuichang, et al. Genetic types and characteristics of the Silurian asphaltic sandstones in Tarim basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2000, 21(6):12-17(in Chinese with English abstract).
- [6] 丁勇,王允诚,徐明军.塔河油田志留系成藏条件分析[J].石油实验地质,2005,27(3):232-237.
Ding Yong, Wang Yuncheng, Xu Mingjun. Analysis of Silurian reservoir formation condition in Tahe oilfield[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2005, 27(3):232-237(in Chinese with English abstract).
- [7] 金晓辉,闫相宾,张哨楠,等.塔里木盆地志留系成藏条件与勘探方向探讨[J].西安石油大学学报(自然科学版),2006,21(2):1-4.
Jin Xiaohui, Yan Xiangbin, Zhang Shaonan, et al. Discussion on oil reservoir forming conditions and exploration targets of the Silurian in Talimu Basin[J]. Journal of Xi'an Shiyou University(Natural Science Edition), 2006, 21(2):1-4(in Chinese with English abstract).
- [8] 刘万涿,杜小弟,王璞珺,等.论露头剖面层序地层学研究方法——以柯坪县印干村志留系剖面为例[J].岩相古地理,1995,15(5):29-32.
Liu Wanzhu, Du Xiaodi, Wang Pujun, et al. A unique research method of the outcrop sequence stratigraphy:an example from the Silurian section in Yingan village, Keping, Xinjiang[J]. Sedimentary Facies and Palaeogeography, 1995, 15(5):29-32(in Chinese with English abstract).
- [9] 刘家铎,张哨楠,田景春,等.塔里木盆地志留-泥盆系沉积体系及勘探方向讨论[J].成都理工大学学报(自然科学版),2004,31(6):654-657.
Liu Jiaduo, Zhang Shaonan, Tian Jingchun, et al. Discussion on exploration direction and depositional system of Silurian-Devonian in Tarim Basin, China[J]. Journal of Chengdu University of Technology(Science & Technology Edition), 2004, 31(6):654-657(in Chinese with English abstract).
- [10] 张翔,田景春,彭军.塔里木盆地地下志留统塔塔埃塔格组沉积体系及沉积模式[J].沉积学报,2006,24(3):370-377.
Zhang Xiang, Tian Jingchun, Peng Jun. Study on sedimentary system and models for Tataertage Formation (Lower Silurian) in

- Tarim Basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2006, 24(3):370-377 (in Chinese with English abstract).
- [11] 张惠良, 王招明, 张荣虎, 等. 柯坪地区下志留统储层性质及控制因素[J]. *海相油气地质*, 2005, 10(2):23-30.
Zhang Huiliang, Wang Zhaoming, Zhang Ronghu, et al. Properties and controlling factors of Lower Silurian reservoir in Kalpin area, Tarim basin [J]. *Marine Origin Petroleum Geology*, 2005, 10(2): 23-30(in Chinese with English abstract).
- [12] 郭少斌, 洪克岩. 塔里木盆地志留系—泥盆系层序地层及有利储层分布[J]. *石油学报*, 2007, 28(3):44-50.
Guo Shaobin, Hong Keyan. Silurian -Devonian sequence stratigraphy and favorable reservoir distribution in Tarim Basin[J]. *Acta Petrolei Sinica* 2007, 28(3):44-50(in Chinese with English abstract).
- [13] 贾进华, 张宝民, 朱世海, 等. 塔里木盆地志留纪地层、沉积特征与岩相古地理[J]. *古地理学报*, 2006, 8(3):339-352.
Jia Jinhua, Zhang Baomin, Zhu Shihai, et al. Stratigraphy, sedimentary characteristics and lithofacies palaeo-geography of the Silurian in Tarim Basin[J]. *Journal of Palaeogeography* 2006, 8(3): 339-352(in Chinese with English abstract).
- [14] 赵宗举, 吴兴宁, 潘文庆, 等. 塔里木盆地奥陶纪层序岩相古地理[J]. *沉积学报*, 2009, 27(5):939-955.
Zhao Zongju, Wu Xingning, Pan Wenqing, et al. Sequence lithofacies paleogeography of Ordovician in Tarim basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2009, 27 (5):939- 955 (in Chinese with English abstract).
- [15] 邢凤存, 张文淮, 李思田. 热流体对深埋白云岩储集性影响及其油气勘探意义—塔里木盆地柯坪露头区研究[J]. *岩石学报*, 2011, 27(1):266-276.
Xing Fengcun, Zhang Wenhui, Li Sitian. Influence of hot fluids on reservoir property of deep buried dolomite strata and its significance for petroleum exploration:A case study of Keping outcrop in Tarim basin [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2011, 27(1): 266-276(in Chinese with English abstract).
- [16] Tape C H, Cowan C H, Rnkel A C. Tidal-bundle sequences in the Jordan Sandstone (Upper Cambrian), Southeastern Minnesota, U.S.A.:evidence for tides along inboard shorelines of the Sauk epicontinental sea [J]. *Journal of Sedimentary Research*, 2003, 73 (3):354-366.
- [17] Shanmugam G, Poffenberger M, Ólava J T. Tide - dominated dstuarine facies in the Hollin and Napo (“T”and“U”) Formations (Cretaceous), Sacha Field, Oriente basin, Ecuador [J]. *AAPG Bulletin*, 2000, 84(5):652-682.
- [18] Ta O T K, Nguyen V L, Tateishi M, et al. Sediment facies and Late Holocene progradation of the Mekong River Delta in Bentre Province, southern Vietnam:an example of evolution from a tide-dominated to a tide- and wave-dominated delta [J]. *Sedimentary Geology*, 2002, 152:313-325.
- [19] Bridge J S, Willis B J. Marine transgressions and regressions recorded in Middle Devonian shore-zone depositis of the Catskill clastic wedge [J]. *Geollogical Society of America Bulletin*, 1994, 106:1440-1458.
- [20] Milkeviciene K N, Björklund P P. Recognizing tide-dominated versus tide-influenced deltas:Middle Devonian strata of the Baltic basin[J]. *Journal of Sedimentary Research*, 2009, 79:887-905.
- [21] Brettle M J , Mcilroy D, Elliott T. Identifying cryptic tidal influences within deltaic successions:an example from the Marsdenian (Namurian) interval of the Pennine Basin, UK [J]. *Journal of the Geological Society*, 2002, 159:379 - 391.
- [22] Lee K, Gani M R, McMechan G A, et al. Three - dimensional facies architecture and three -dimensional calcite concretion distributions in a tide-influenced delta front, Wall Creek Member, Frontier Formation, Wyoming [J]. *AAPG Bulletin*, 2007, 91(2): 191-214.
- [23] Pontén A , Björklund P P. Regressive to transgressive transits reflected in tidal bars, Middle Devonian Baltic Basin [J]. *Sedimentary Geology*, 2009, 218:48-60.
- [24] Johnson H D, Levell B K. Sedimentology of a transgressive estuarine sand complex;the Lower Cretaceus Woburn Sands(Lower Greenland),southern England [C]//Plint G. *Sedimentary Facies Analysis*. IAS Special Publication, 1995, 22:17-46.
- [25] Boer P L, Oost A P, Visser M J. The diurnal inequality of the tide as a parameter for recongnizing tidal influences [J]. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1989, 59:912-921.

A study of Early Silurian deltas and clastic coastal sediments from outcrops in Keping area, Tarim basin

XING Feng-cun^{1,2}, LI Zhen³, LI Si-tian³

(1. Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 2. School of Ocean Sciences, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 3. School of Energy Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: The outcrops of Keping area in Tarim basin, where the lower Silurian depositional sequence is continuous and perfectly exposed, constitute a preferable study area for marine clastic deposition. However, depositional system types of the lower Silurian sediments deserve further discussion. Based on detailed outcrop observation and laboratory tests, the authors analyzed the lower Silurian depositional system types and their characteristics in Keping area. As a result, deltas and clastic coast systems composed of tidal flat and offshore were detected, and river-dominated deltas and tide-influenced deltas were recognized from the Lower Silurian strata in Keping area. Large scale river-dominated delta systems are developed in Kepingtage Formation, whereas tide-influenced delta systems and tidal flat systems are developed in Tataertage Formation. On such a basis, the depositional characteristics and differences of various depositional systems are studied and compared with each other.

Key words: river-dominated deltas; tide-influenced deltas; tidal flat; Lower Silurian; Keping area; Tarim basin

About the first author: XING Feng-cun, male, born in 1978, doctor and postdoctoral researcher, engages in the study of sedimentology, sequence stratigraphy and hydrocarbon reservoir; E-mail: xingfengcun@163.com.