

文章编号:1000-0550(2014)06-1060-12

干旱气候环境下季节性河流沉积特征^① ——以库车河剖面下白垩统为例

高志勇^{1,2} 冯佳睿^{1,2} 周川闽^{1,2} 崔京钢^{1,2} 李小陪³ 赵雪松³ 郭美丽³ 吴昊³
(1.中国石油勘探开发研究院实验研究中心 北京 100083;2.提高石油采收率国家重点实验室(中国石油勘探开发研究院) 北京 100083;
3.中国地质大学地球科学与资源学院 北京 100083)

摘要 通过对库车河剖面下白垩统巴西改组—古近系库姆格列木群底部的沉积露头实测,分析砂岩岩性组合、沉积构造特征、砾岩特征及沉积古环境,并结合现代天山南北季节性河流沉积特征,认为干旱气候条件下发育的季节性河流及季节性河流三角洲是白垩统库车坳陷发育的重要沉积体系。下白垩统巴什基奇克组砂岩特征与现今广泛发育的季节性河流沉积特征极为相似,既有较为典型的河流相正韵律砂体大面积沉积,河道底部内碎屑泥砾与厚层块状的大型交错层理等砂岩,又显示出高能细砂岩和高能粉砂岩沉积,并具有较低的成分成熟度和较高的结构成熟度基本特征。在此基础上,建立了库车河剖面下白垩统巴西改组—巴什基奇克组沉积相模式:巴西改组沉积时期,库车坳陷发育面积较大的宽浅型湖泊,天山前发育的季节性河流进入湖泊后形成季节性河流三角洲;巴什基奇克组沉积时期,古天山前出现了多个小型湖泊,古天山山前发育大量的季节性辫状河与多个小型季节性辫状三角洲沉积。

关键词 干旱气候 季节性河流 季节性河流三角洲 库车河剖面 下白垩统 巴什基奇克组

第一作者简介 高志勇 男 1974年出生 高级工程师 沉积学及油气储层地质 E-mail: gzybox@163.com

中图分类号 TE122.2 **文献标识码** A

0 引言

我国西部前陆盆地油气勘探获得了重大成功,塔里木盆地库车坳陷克拉2气田的产气层为下白垩统的厚层状砂岩^[1]。前人针对此套巨厚砂岩开展了大量的沉积相研究,认为巴西改组—巴什基奇克组砂岩主要为三角洲沉积。如朱玉新等^[2]认为巴西改组为湖泊三角洲沉积体系,巴什基奇克为扇三角洲—辫状三角洲沉积体系,主要微相类型为正韵律的分流河道等,反韵律的河口坝和远砂坝不发育。贾进华等^[1]认为该套地层为辫状三角洲沉积砂体,由一系列辫状河道组成的辫状河三角洲,从而形成大面积分布的稳定砂体。李忠等^[3]认为晚侏罗世至白垩纪发育库车坳陷发育辫状河三角洲—宽浅湖泊沉积体系。严德天等^[4]认为辫状河三角洲体系发育于巴什基奇克组砂岩夹泥岩段,三角洲沉积发育于舒善河组上部和巴西改组。王西宁等^[5]通过对库车河—克拉苏河地区白垩系储集砂体特征研究认为,巴什基奇克组主要是属于三角洲前缘水下分流河道沉积。但是,有些学者对白垩系巴什基奇克组辫状河三角洲沉积提出了质

疑,张英志等^[6]通过地球化学资料分析与大量海相钙质超微化石发现,认为塔北地区晚白垩世发生海侵作用,海水分布范围可达库车河地区,沉积环境比较闭塞。梅冥相等^[7]通过对库车河剖面下白垩统红层中砂岩的岩性、碎屑颗粒结构及砂体沉积构造研究,认为巴西改组—巴什基奇克组多发育风成砂岩沉积。笔者分析造成上述沉积相研究分歧的原因,主要是由巴西改组—巴什基奇克组砂岩的特殊性造成的:①砂岩厚度大、分布广、连续性好、正韵律为主反韵律不发育和砂岩隔夹层少;②砂岩中发育大型槽状交错层理和斜层理;③多套砂岩底部的滞留砾石为不规则的块状泥砾沉积,且砂岩底部发育大量虫孔等反应流水成因的重要标志;④厚层块状的高能细砂岩和高能粉砂岩,及其良好的分选性和较高的结构成熟度;⑤干旱气候条件下的红层沉积。特别是,将库车河剖面白垩系巴什基奇克组上段高能细砂岩和高能粉砂岩归为水流沉积作用下的产物,部分学者并不赞同^[7]。

我国西部现今为半干旱—干旱气候环境,白垩纪同样为半干旱—干旱气候环境^[8],且大气环流强度与现今大致相似^[7]。现今中国西部的新疆及内蒙古

^①国家科技重大专项课题“中西部前陆盆地构造地质、储层特征及有利区评价”(编号:2011ZX05003-002)与中国石油股份公司科技项目“中西部前陆盆地沉积体系与有效储层评价研究”(编号:2014B-0408)联合资助
收稿日期:2013-09-16;收修改稿日期:2013-12-12

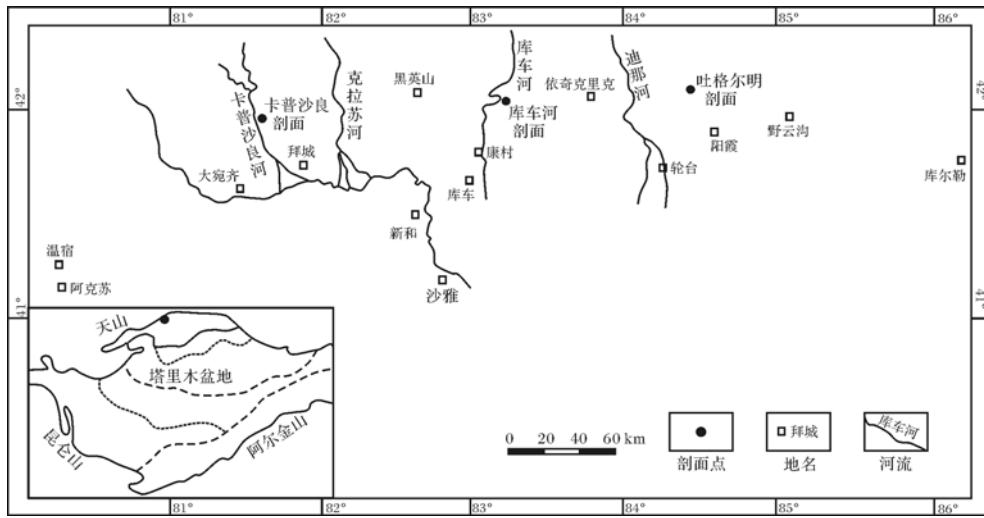


图1 新疆南天山前库车河剖面位置图(据高志勇等,2013^[9])

Fig.1 The location of Kuche river outcrop in Xinjiang(after Gao Zhiyong, *et al.*,2013^[9])

等地区发育多条干旱气候条件下的季节性河流沉积。大量学者对北天山前的玛纳斯河、南天山前的塔里木河、渭干河等典型的季节性河流均开展了丰富的研究,季节性河流是现今天山南北主要的沉积类型,河流相砂泥岩沉积面积广,厚度大,造就了广泛的冲积平原与绿洲。笔者认为现今广泛发育的季节性河流沉积特征与下白垩统巴什基奇克组砂岩特征极为相似,既有较为典型的河流相正韵律砂体大面积沉积,厚层块状的大型交错层理砂岩发育,又显示出高能细砂岩和高能粉砂岩沉积,具有较低的成分成熟度和较高的结构成熟度的基本特征。因此,笔者认为早白垩世南天山前也如现今一样发育广泛的季节性河流沉积。

1 季节性河流定义与特征

1.1 季节性河流的定义

许炯心(2000)^[10]将天然河流可以划分为常流河与季节河,常流河是指河道中常年维持一定流量的河

流;季节河是指一年中某一季节或一个较长的时间干涸无水的河流。一般而言,干旱区的河流多为季节性河流,半干旱区的较大河流可以为常流河,较小河流则为季节河。季节性河流分布地区大多呈现出植被稀疏与地表裸露的荒凉景象^[10]。

1.2 季节性河流特征

如表1所示,我国现代季节性河流沉积在内陆地区广泛发育,其所在气候环境为半干旱—干旱气候,河流长度可达数百公里甚至上千公里,其流域面积巨大,可达 $1 \times 10^4 \text{ km}^2$ 以上,河流所携带砂泥量巨大,河谷宽度可超过1 000 m。季节性河流径流水源主要来自冰川融雪水以及雨水等^[11-16]。

2 季节性河流沉积特征

2.1 物源与径流来源

季节性河流基本上以山口为界,出山口以上为河流的补给区,出山口以下为河流的消散区^[17]。季节性河流的径流主要来自夏季的洪水,水源主要有如下

表1 中国中西部主要季节性河流特征统计表

Table 1 The main characteristics of seasonal rivers statistics in China

河流名称	位置	河流长度/km	流域面积/km ²	输沙量万吨/年	河谷宽度/m	径流水源	参考作者
头屯河	淮南	190	2 885	87.7	—	冰川融雪水雨水	李卫红等 ^[11]
玛纳斯河	淮南	324	4 637	巨大	100~700	冰川融雪水雨水	史兴民等 ^[12]
奎屯河	淮南	359.6	1 909	59.7	—	冰川融雪水雨水	刘月兰 ^[13]
渭干河	库车	452	16 637	90.3	—	冰川融雪水雨水	满苏尔·沙比提等 ^[14]
塔里木河	塔里木	干流 1 321	17 600	巨大	100~3 000	冰川融雪水雨水	王延贵等 ^[15]
塔布河	内蒙	323	11 191	56.2	300~1 000	雨水	王心源等 ^[16]

类型^[18,19]:①冰雪融水洪水,其特点是洪峰与气温变化趋势一致,一次洪水过程较长,洪峰不高但洪量较大;②暴雨洪水,其特点是洪水比重较小,峰量不大,峰型陡涨陡落且历时短;③混合洪水,主要指暴雨与冰雪融水的组合或冰雪融水和冰川突发洪水组合。现今塔里木河流域中国境内共发育冰川 11 665 条,冰川面积 19 877.65 km²,是全国冰川数量最多和规模最大的水系^[20,21]。

2.2 沉积物粒度与沉积构造

梁俊红等^[22]通过对辽西义县盆地义县组底部沉积相与沉积环境研究后认为,早白垩世义县盆地内区域气候为干旱型,受季节性洪水作用,发育盆地边缘洪(冲)积扇相和盆缘向盆地中心过渡区季节性河流相沉积,在线状流水的河床内,形成含砾粗砂岩—粗砂岩—泥粉砂岩。李开封等^[23]通过对塔里木河古河道表层沉积物进行粒度分析后发现,塔里木河中下游地区全新世古河道表层沉积物以细粉沙—中粉沙—粗粉沙—极粗粉沙 4 个粒度为主,表明表层沉积物颗粒较细,且细颗粒组分集中分布。在塔里木河干流南岸部分古河道表层沉积物中,可见风成沙夹层,反映了其沉积环境受风水两相作用^[23]。李华启等^[24]通过对塔里木盆地西南缘柯克亚凝析气田中新统西河甫组沉积相研究后认为,西河甫组上部为一套以紫红色、褐红色砂岩、粉—细砂岩和泥岩为主的沉积物。每个单元底部为具有冲刷构造及内碎屑的细砾岩,向上变为细砂岩、粉砂岩,顶部为泥岩或粉砂质泥岩,具有典型二元结构。砂岩层理构造以单向水流的曲流河沉积为主,具大型平行层理、板状交错层理、槽状交错层理等,并出现上攀层理、波状层理及粒序层理等^[24],并见暴露成因的干裂、雨痕构造。

干旱气候下的季节性曲流河沉积与正常的曲流河较为相似,但也具有特殊性^[24]:①植物根迹、每层等不发育,在河漫滩亚相中缺少沼泽微相;②存在异常水流活动及指示洪水重力流作用的沉积构造,如槽模底面构造。其原因在于季节性曲流河流程较短,时常发生季节性暴雨导致的山洪爆发和河水猛涨,以及高山区积雪随着夏季来临融化所致的河水爆涨,由于此类洪水事件可形成类似于重力流等异常水流沉积构造和沉积物^[24];③存在反映氧化、河流季节性活动及干旱气候环境的遗迹化石组合^[25]。

3 下白垩统季节性河流(三角洲)沉积

通过上述现代季节性河流沉积特征的分析,采用

“将今论古”的方法,笔者对比分析了南天山前库车河剖面下白垩统巴西改组—巴什基奇克组砂泥岩沉积特征,认为巴西改组为季节性河流三角洲沉积,巴什基奇克组为季节性辫状河沉积。

3.1 岩性特征

库车河剖面下白垩统巴西改组实测地层厚度约 157.6 m,该组岩石碎屑颗粒粒级较细,下部岩性为紫红色、褐红色厚层状块状细砂岩并夹紫红色泥岩透镜体,粉砂岩、含泥粉砂岩及粉砂质泥岩;中部岩性为紫红色、浅绿灰色厚层状、块状含灰、含粉砂细砂岩与紫红色厚层状泥岩不等厚、不均匀互层;上部岩性为紫红色块状粉砂岩、泥质粉砂岩。下白垩统巴什基奇克组实测地层厚度约 230.7 m,底界为紫灰色、褐色块状砾岩与巴西改组黄褐色块状砂岩假整合接触。该组岩性分为两段,下段为紫灰色厚层、块状中—细砾岩夹紫红色、浅紫红色泥质粉砂岩、砾状粗砂岩;上段岩性为紫红色、粉红色厚层、块状中砂岩、细砂岩夹同色含砾砂岩、泥质粉砂岩以及含钙质泥岩条带或透镜体。古近系库姆格列木组底部岩性为灰色、灰白色灰质砾岩、灰岩,紫红色砾岩、砂岩及泥岩。

3.2 沉积构造

巴西改组沉积构造较为丰富,剖面中第 1 层~第 8 层沉积砂体的正韵律性明显,每个正韵律大多由小型冲刷面—块状细砂岩—粉砂岩构成(图 2A),单期河道砂体厚度 3~5 m 为主,细砂岩内发育槽状交错层理、平行层理等沉积构造(图 3A, B, C),反映了季节性河流三角洲多期分流河道砂体的叠置;由第 9 层开始,砂泥岩沉积的韵律性发生较明显变化,第 9 层~第 10 层以砂泥岩互层的加积为主,单层泥粉砂岩沉积较厚,一般 3~4 m 为主,单层细砂岩沉积砂体较薄,一般<0.5 m(图 2B, C)。第 11 层~第 12 层以反韵律沉积为主,每个韵律层由泥粉砂岩—细砂岩构成,并见砂体顶面的波痕沉积(图 3D),由沉积特征显示为季节性河流三角洲前缘的河口坝沉积。

巴什基奇克组下段岩石颗粒较粗,第 13 层~第 18 层以粗粒的冲积扇沉积为主,第 13 层~第 14 层以紫红色、褐色砾岩沉积为主,冲积扇中河道底部大量砾石沉积(图 2D);第 15 层为冲积扇中辫状河道砂体沉积,岩性为含砾粗中砂岩,砂体呈板状构造(图 2E),可见平行层理。巴什基奇克组上段岩石颗粒较细,岩性主要为细砂岩、粉砂岩。第 19 层~24 层以季节性辫状河多期正韵律河道砂体叠置为特征(图 2F, G),反韵律沉积现象极不发育。季节性辫状

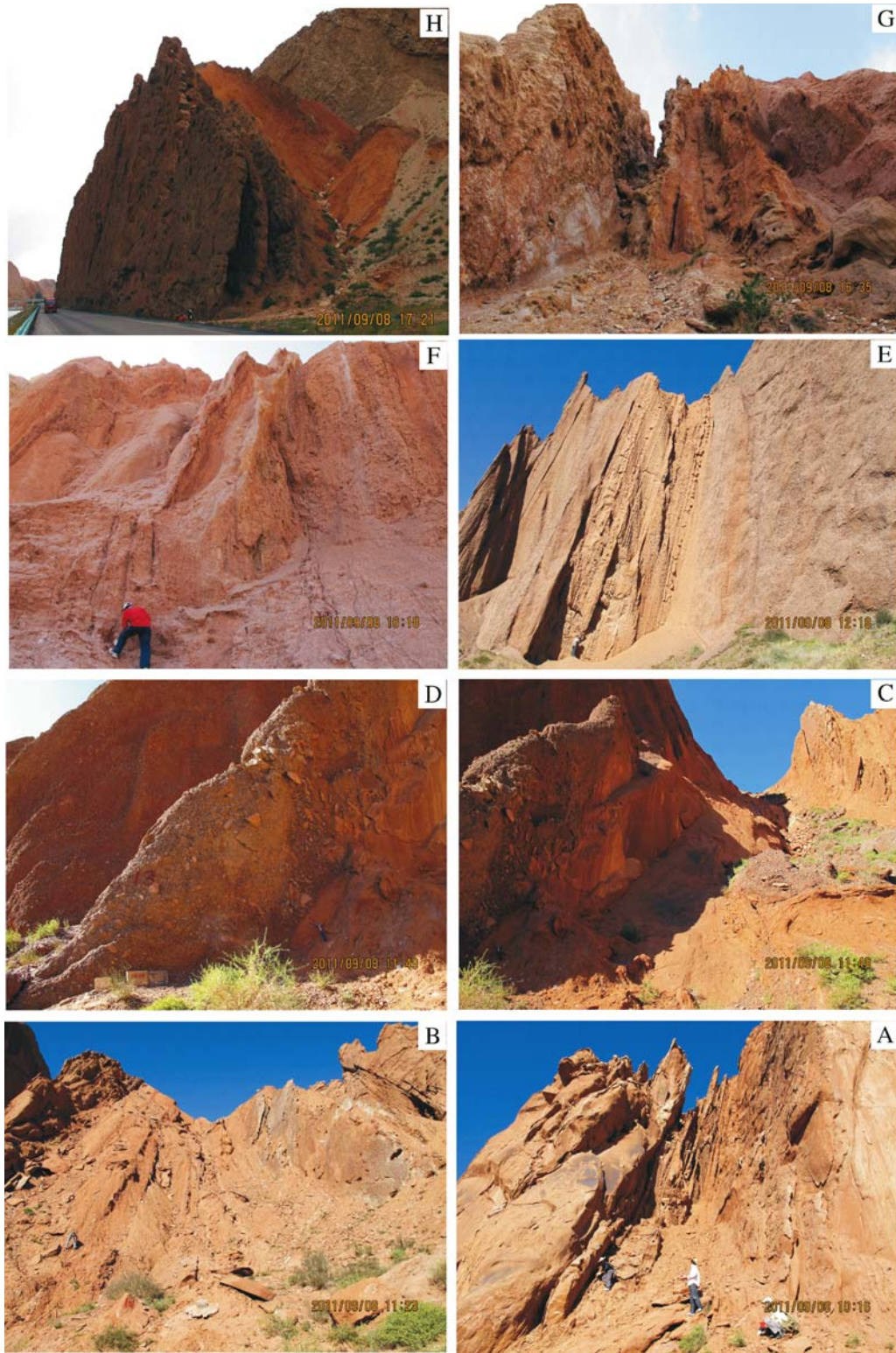


图 2 库车河剖面巴西改组—巴什基奇克组野外露头宏观沉积特征

A.巴西改组第 5~6 层季节性河流三角洲分流河道砂体正韵律,多期河道叠置;B.巴西改组第 9 层~10 层季节性河流三角洲河口坝砂体呈反韵律特征;C.巴西改组第 12 层与巴什基奇克组假整合接触;D.巴什基奇克组底部第 13 层冲积扇砾岩沉积;E.巴什基奇克组第 15 层冲积扇河道砂体平行层理;F.巴什基奇克组第 22 层季节性辫状河道砂体叠置;G.白垩系与古近系不整合接触(第 24 与第 25 层之间);H.古近系第 26~27 层浅湖泥与冲积扇。

Fig.2 The Kuche river outcrop of Baxigai-Bashijiqike Formation showing depositional characteristics

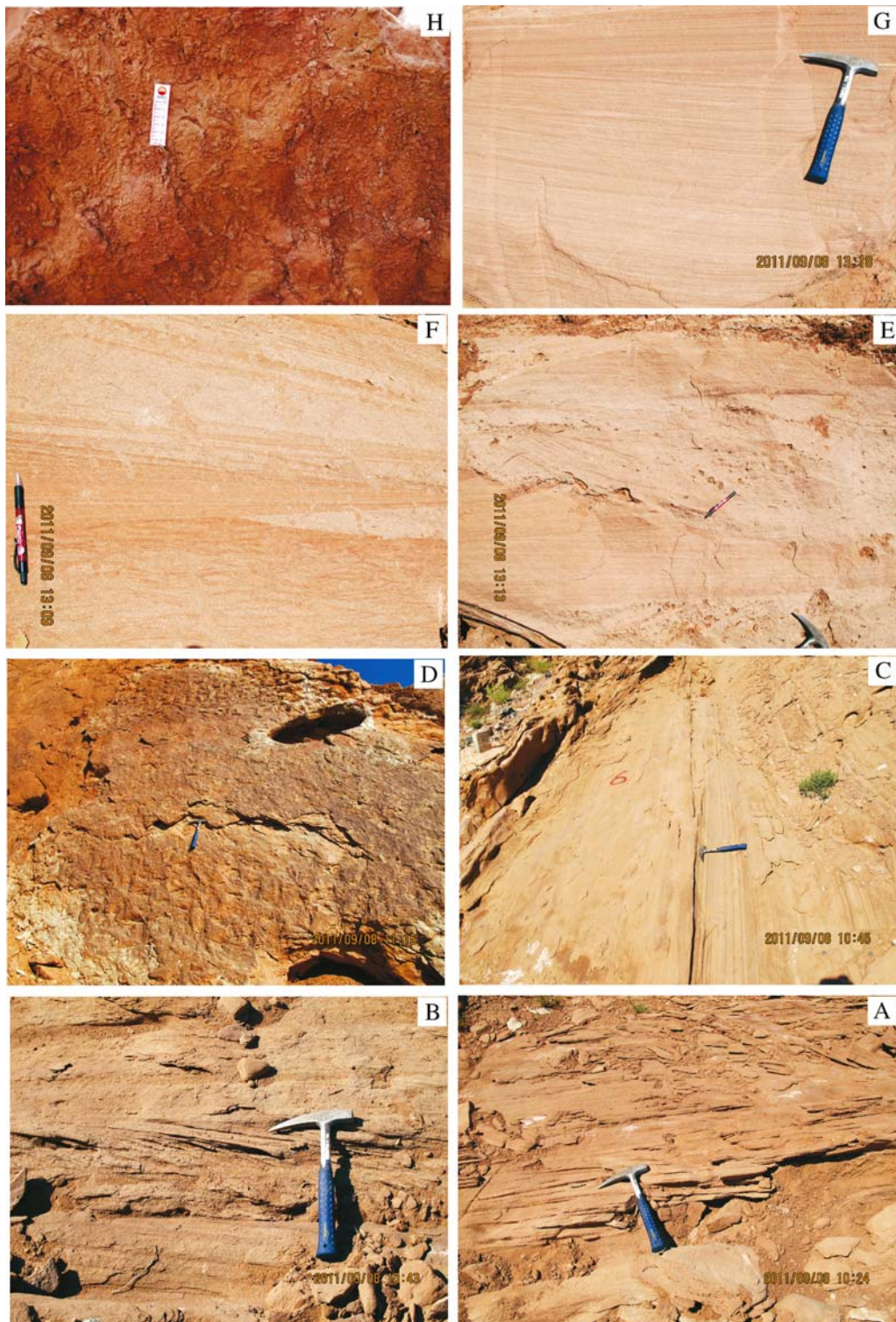


图 3 库车河剖面巴西改组—巴什基奇克组野外露头宏观沉积构造特征

A. 巴西改组第 4 层季节性河流三角洲河道砂体平行层理; B. 巴西改组第 5 层季节性河流三角洲河道砂体交错层理—平行层理; C. 巴西改组第 6 层季节性河流三角洲河道厚层砂体内平行层理; D. 巴西改组季节性河流三角洲河口坝砂体波痕; E. 巴什基奇克组第 19 层季节性辫状河道交错层理—平行层理—交错层理相互切割, 交错层理面发育泥砾; F. 巴什基奇克组第 19 层季节性辫状河道交错层理切割上攀层理, 见虫孔; G. 巴什基奇克组第 22 层季节性辫状河道细砂岩交错层理; H. 巴什基奇克组第 22 层季节性辫状河道细砂岩内大量虫孔。

Fig. 3 The Kuche river outcrop of Baxigai-Bashijiqi Formation showing macroscopic sedimentary structures

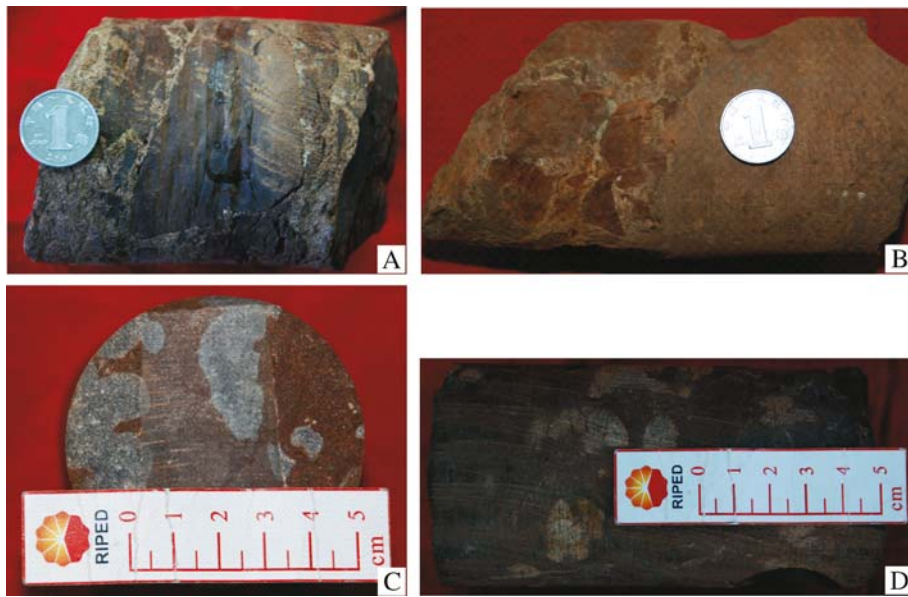


图4 库车坳陷部分井中巴西改组—巴什基奇克组沉积构造特征

A.吐北2井,4 226.80 m,巴什基奇克组季节性河流河道底部滞留泥砾,呈棱角状,大小不一;B.羊塔2井,5 403.50 m,巴什基奇克组季节性河流河道底部滞留泥砾,呈棱角状;C.大北302井,7 242.00 m,巴什基奇克组季节性河流河道砂体上部褐色砂岩中的生物虫孔遗迹;D.克深205井,6 933.70 m,巴什基奇克组季节性河流河道顶部砂岩中发育的钙质结核,受暴露影响。

Fig.4 Kuche depression part of wells of Baxigai-Bashijiqike Formation showing sedimentary structures

河的单期河道砂体较薄,厚度主要为1~3 m,部分河道砂体厚可达3~5 m。每期河道砂体大多由底部冲刷面—泥岩或粉砂岩砾石(图4A,B)—槽状交错层理(层理面发育小型泥砾)—平行层理—上攀层理等构成,有的河道砂体内上述层理类型有缺失,河道砂体顶部的泥粉砂岩等沉积物不发育,反映了多期河道砂体相互切割叠置(图3E,F,G)的特征。河道砂体内虫孔比较发育,虫孔呈水平状、倾斜状,部分垂直状(图3H、图4C),反映了沉积水体较浅或氧气充足。同时,在季节性河流河道沉积的顶部可见钙质结核沉积(图4D),表示有间歇暴露的沉积环境。库车河剖面古近系库姆格列木组底部沉积时受短期的海侵影响,发育局限台地相的潟湖及滩坝沉积,以及陆相浅湖—冲积扇沉积(图2H)。

3.3 砾岩特征

库车河剖面下白垩统巴西改组多期叠置的水下分流河道以细砂岩—粉砂岩沉积为主,未见砾岩沉积,反映了远源的季节性河流三角洲沉积。巴什基奇克组下段发育厚层状的冲积扇沉积,砾岩单层厚度6~17 m不等,自下而上,单层厚度减薄,单层砾岩顶部常发育2~3 m厚的粗砂岩。砾岩呈褐色、红褐色,中细粒砾状结构,块状构造,砾石支撑(图5A,B,C)。砾石成份主要为石英岩,其次为硅质岩、碳酸盐岩、火

成岩,并含少量千枚岩砾石,偶见砂岩砾石。本套砾岩砾石磨圆中等,次圆状为主,次棱角状次之,分选差,砾径为17~43 mm 砾石最多,最大砾径可达600 mm。巴什基奇克组上段的砾岩沉积与下段区别明显,主要表现为季节性辫状河河道的滞留沉积,滞留砾石沉积分为两类:①反映较远搬运距离的砾石,砾石成份主要为石英岩、火山岩、硅质岩及少量砂岩砾石等,砾石径一般<15 mm,砾石磨圆中等,次圆状为主,次棱角状次之(图5D)。此种类型的砾石不甚发育。②反映近源内碎屑沉积的泥质粉砂岩砾石、粉砂质泥岩砾石及粉细砂岩砾石,砾石径较大,一般40~120 mm,砾石呈棱角状(图5E,F)。大部分泥质砾石赋存于河道砂体底部,少量砾石径<20 mm的泥砾赋存与砂岩槽状交错层理面之上(图3E)。此种类型的砾石广泛分布与多期河道砂体的底部,是该组上段砾石沉积的主体。如图(图5G,H)所示,古近系库姆格列木组底部发育两种类型的砾岩,反映局限台地潟湖滩坝沉积的灰质砾岩和陆相冲积扇砾岩。滩坝砾岩中的砾石径较小,砾径一般<15 mm,砾石成分主要为变质石英岩、火山岩、硅质岩及少量砂岩砾石等,砾石磨圆中等,次圆状为主,次棱角状次之(图5G)。冲积扇砾岩砾石呈棱角状为主,杂基支撑,砾石径较大,一般20~50mm,表现为冲积扇扇根的泥石流沉积

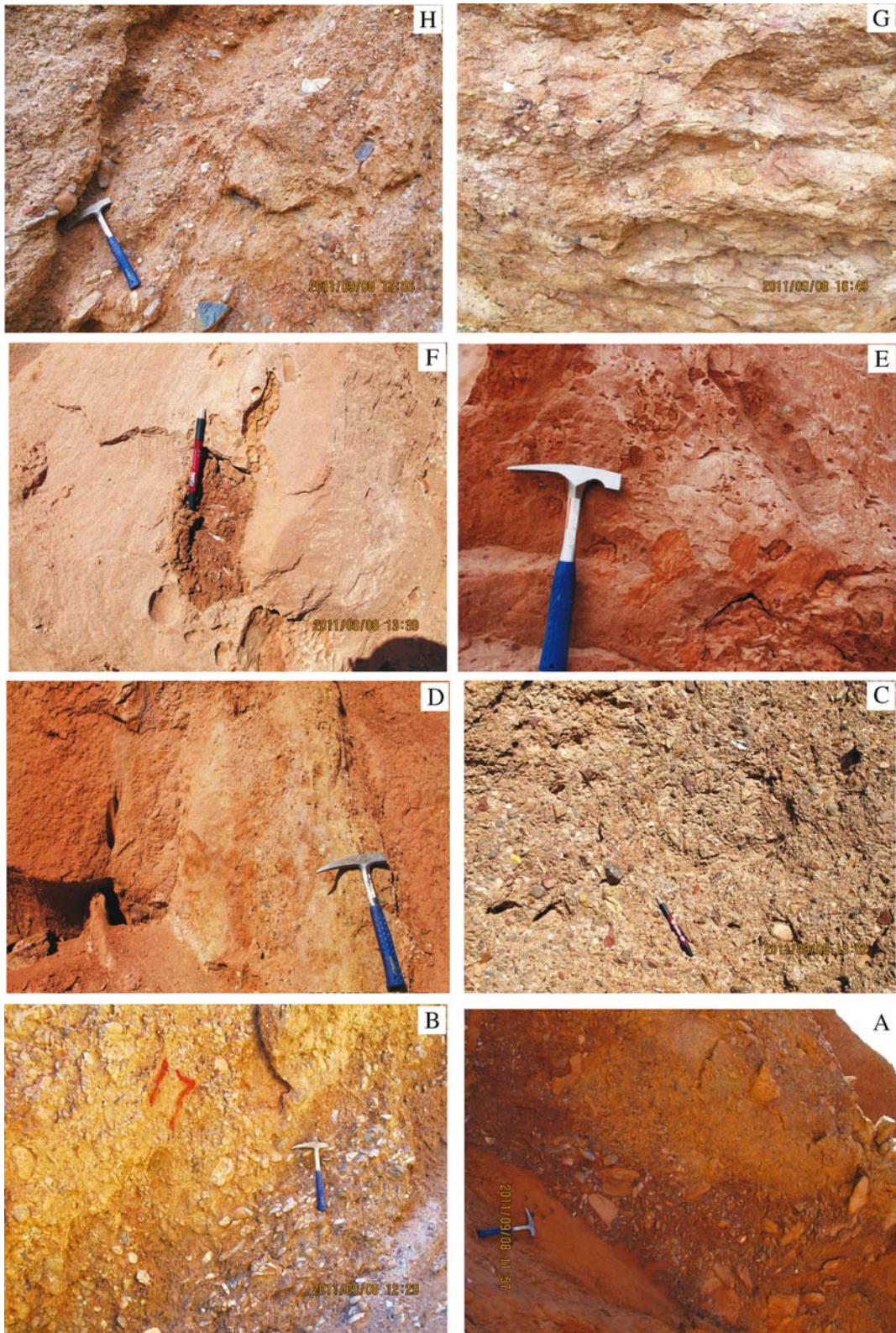


图 5 库车河剖面巴什基奇克组—库姆格列木组野外露头砾岩宏观沉积特征

A.巴什基奇克组底部第 13 层冲积扇砾石特征;B.巴什基奇克组底部第 17 层冲积扇砾石特征;C.巴什基奇克组第 18 层冲积扇砾石特征;D.巴什基奇克组第 19 层下部季节性辫状河道底部滞留砾石;E.巴什基奇克组第 20 层季节性辫状河道底部粉细砂岩砾石、泥砾;F.巴什基奇克组第 22 层季节性辫状河道底部大泥砾石、粉细砂岩砾石;G.古近系底部第 25 层局限台地灰质砾岩;H.古近系底部第 27 层冲积扇砾岩。

Fig.5 Characteristics of outcrop conglomerate macroscopic sedimentary in Kuche river section of Bashijiqike-Kumugeliemu Formation

(图5H)。

纵观巴什基奇克组—库姆格列木组砾岩的沉积特征,巴什基奇克组上段沉积的内碎屑砾石特点鲜明,存在明显的两种类型:其一为反映较远搬运距离的砾石,其成因为正常河流中流水长期冲刷河床,河道底部泥质粉砂岩、粉砂质泥岩等内碎屑砾石不易保存,故而主要为反映远源的石英岩、火山岩等砾石为主。其二为近源内碎屑沉积的泥质粉砂岩砾石、粉砂质泥岩砾石及粉细砂岩砾石,此种砾石广泛发育于河道砂体的底部(图4A,B、图5E,F),其充分反映了季节性河流的沉积特点。季节性的洪水携带大量砂泥沉积于河床之上,洪水过后河水携沙能力较弱,只能搬运颗粒较细的碎屑物质,故河道顶部主要为细粒的粉砂岩、泥质粉砂岩、粉细砂岩等沉积。当再次的洪水来临时,河水将早期河道顶部未固结的粉砂岩、泥质粉砂岩、粉细砂岩等冲刷、打碎,形成内碎屑砾石沉积于河道底部。可以说,近源内碎屑砾石的大量发育,是季节性河流沉积的重要特征之一。

3.4 沉积古环境

沉积岩石中的微量元素不仅受控于其本身的物理化学性质,而且受到古气候和古环境的极大影响,因此可利用微量元素和常量元素的相对含量及其比值进行古气候与古水深等的恢复^[26~31]。钾/钛(K/Ti)比值的高值可体现强的化学侵蚀,低值体现弱的化学侵蚀,因此,此比值可以指示源区古气候环境的变化^[26~28]:相对高的K/Ti比值代表了较强的化学侵蚀以及更为湿热的气候。由下白垩统巴西改组—古近系库姆格列木组底部岩石颜色以紫红色、褐色、褐红色为主,由岩石颜色可初步判断其沉积时期古气候以干旱为主。虽然库车河剖面在早白垩世—古近纪沉积时期属亚热带干燥型气候^[8],但由K/Ti比值(图6)反映的古气候变化表明,巴西改组第1~8层季节性河流三角洲分流河道沉积时期,K/Ti比值曲线左偏且变化幅度不大,表示当时古气候以干冷为主;第9~12层较广泛的季节性河流三角洲前缘河口坝、远砂坝沉积时期,K/Ti比值曲线整体向右偏移且变化幅度不大,表明巴西改组沉积后期古气候趋向于湿热。巴什基奇克组下段(第13~18层)冲积扇沉积时期,K/Ti比值曲线整体向左偏移且变化幅度不大,表明该时期古气候又趋于干冷。巴什基奇克组上段(第19~24层)季节性辫状河沉积时期,K/Ti比值曲线出现了整体向右偏移且具有小幅震荡,上段顶部则出现明显的右偏移,表明巴什基奇克组上段沉积时期

古气候区域湿热,这也为季节性洪水的发育提供了条件。古近系库姆格列木组底部短期海侵—陆相浅湖及冲积扇沉积时期,K/Ti比值曲线明显的整体向左偏移且变化幅度不大,表明该时期古气候以干旱背景下的干冷为主。

微量元素锶(Sr)主要从海水中沉淀而来,钡(Ba)极易被黏土及细碎屑沉积物以吸附的形式富集^[32]。在水动力条件变化较大地带,锶(Sr)离子以生物堆积作用为主的方式沉淀下来,形成较高的锶/钡(Sr/Ba)比值^[32]。随着沉积盆地水体不断加深,黏土及细碎屑物质对钡(Ba)离子的吸附能力增强,锶/钡(Sr/Ba)比值降低^[32,33]。因此,可通过锶/钡(Sr/Ba)比值来判断沉积水体的深与浅^[9,31~33]。如图6所示反映古水深的Sr/Ba比值曲线可知,巴西改组Sr/Ba比值曲线横向变化幅度较大,存在多期由高Sr/Ba比值向低Sr/Ba比值变化情况,反映了明显的季节性河流三角洲前缘受季节性洪水的影响,湖平面多期升降变化的特征。巴什基奇克组下段(第13~18层)冲积扇沉积时期,Sr/Ba比值曲线垂向及横向变化幅度小且Sr/Ba比值较高,表明黏土及细碎屑沉积物含量较低,大规模的陆上冲积扇沉积造成了较高的Sr/Ba比值。巴什基奇克组上段(第19~24层)季节性辫状河沉积时期,Sr/Ba比值曲线横向上出现了小幅度震荡变化,但垂向、横向的变化幅度比巴西改组季节性河流三角洲前缘Sr/Ba比值曲线要弱很多,且Sr/Ba比值整体处于较高值区。由此表明,季节性辫状河沉积时期,受季节性洪水的影响,水体出现深浅变化,但总体显示属于较浅水的河流相沉积特征。古近系库姆格列木组底部短期海侵—陆相浅湖及冲积扇沉积时期,Sr/Ba比值曲线表明出现了水体由浅到深又变浅的演化过程。

4 季节性河流(三角洲)沉积相模式

推测古代季节性河流—三角洲沉积相模式与现今天山前的季节性河流—三角洲沉积模式相近,史兴民等^[12]对位于准噶尔南缘的玛纳斯河水系进行了研究,冰川与高山积雪是径流的主要补给源,玛纳斯河由南向北横穿流域内共发育了3个沉积相带,即串珠状冲积扇带,平原曲流带,玛纳斯河尾间沙漠、湖泊带。依据现今季节性河流的沉积体系特征,采用“将今论古”的方法,认为库车河剖面下白垩统巴西改组—古近系库姆格列木组沉积相模式如图7所示,巴西改组沉积时期,库车前陆盆地发育面积较大的宽浅

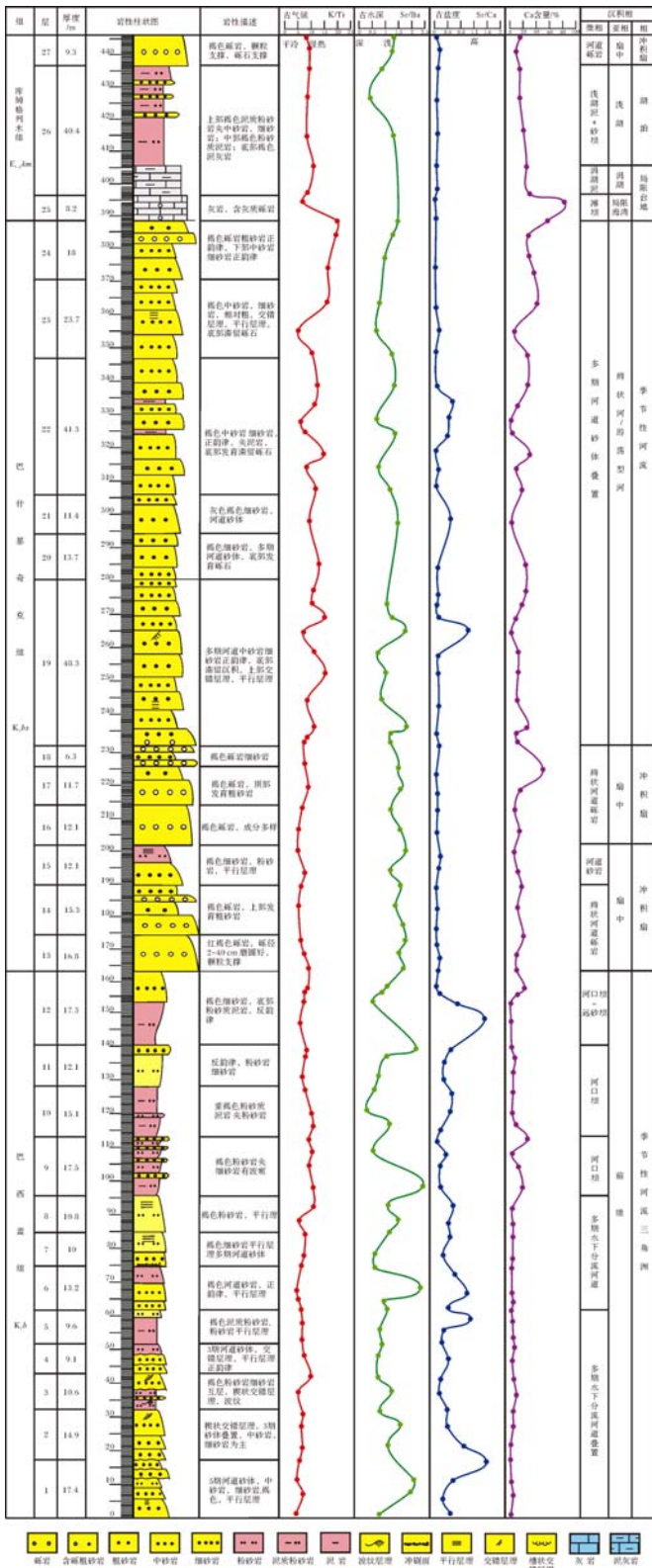


图 6 库车河剖面白垩系巴西改组—古近系库姆格列木组下部野外剖面实测柱状图

Fig.6 Histograms of the Kuche river section of Cretaceous Baxigai Formation-Paleogene Kumugeliemu Formation showing sedimentary feature

型湖泊,天山前发育的季节性河流流入湖泊后形成季节性河流三角洲,由于当时湖泊面积可能较大,故季节性河流三角洲的规模也较大,这与现今的玛纳斯河小型三角洲有所不同。下白垩统巴什基奇克组沉积时期,由于巴西改组沉积后库车河一带发生了构造抬升剥蚀^[34],湖平面下降导致原先沉积的宽浅型湖泊出现了分化,在天山前出现了多个小型湖泊(图 7)。天山前季节性河流沉积大规模出现,河流进入小型湖泊后也可形成大量的小型季节性河流三角洲。总之,推测巴什基奇克组沉积时期,古天山山前发育大量的季节性辫状河流与多个季节性小型辫状三角洲沉积(图 7)。古近系库姆格列木组沉积早期,受短期的海侵影响,发育局限台地相的泻湖及滩坝沉积,之后库车河一带进入陆相沉积阶段,发育陆相浅湖—冲积扇沉积。此时的沉积环境以统一的宽浅型湖泊为主,间歇的发育冲积扇及季节性河流相沉积(图 7)。

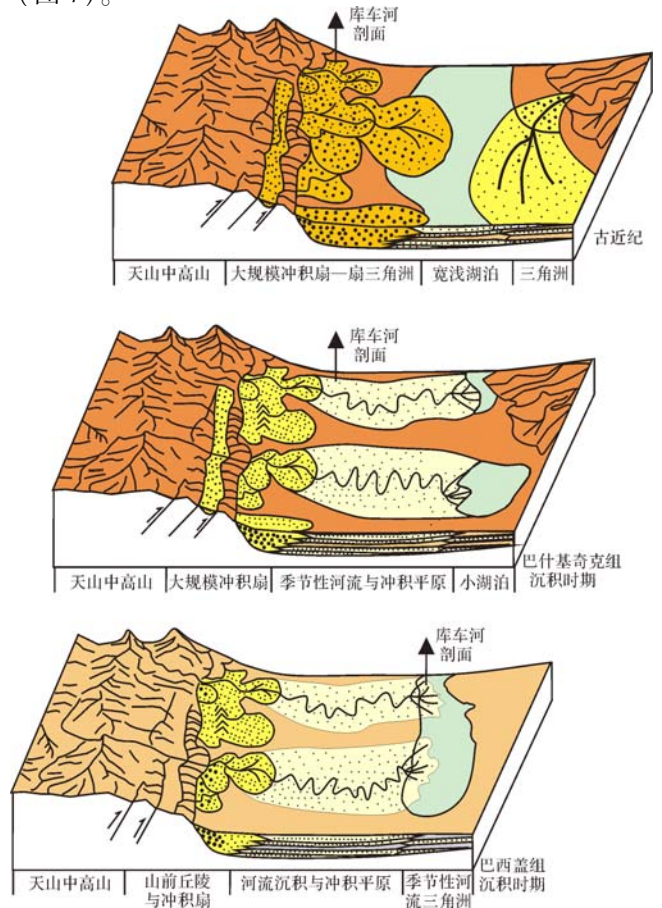


图 7 库车坳陷发育的由季节性河流三角洲—季节性河流—冲积扇的沉积演化模式图

Fig.7 Pattern of seasonal river delta, seasonal river and alluvial fan sedimentary evolution of Kuche depression

5 结论

在库车河剖面下白垩统巴西改组—巴什基奇克组野外露头实测工作的基础上,结合现今天山南北主要的季节性河流的沉积特征,认为干旱气候条件下发育的季节性河流以及季节性河流三角洲是白垩纪库车坳陷发育的重要沉积体系。季节性河流沉积既有较为典型的河流相正韵律砂体大面积沉积,厚层块状的大型交错层理砂岩发育,又显示出高能细砂岩和高能粉砂岩沉积,具有较低的成分成熟度和较高的结构成熟度的基本特征。

同时,建立了库车河剖面下白垩统巴西改组—巴什基奇克组沉积相模式:巴西改组沉积时期,库车前陆盆地发育面积较大的宽浅型湖泊,天山前发育的季节性河流流入湖泊后形成季节性河流三角洲。下白垩统巴什基奇克组沉积时期,由于库车河一带发生了构造抬升剥蚀,湖平面下降导致早先沉积的宽浅型湖泊出现分化,在古天山前出现了多个小型湖泊。天山前季节性河流沉积大规模出现,河流进入小型湖泊后形成大量的小型季节性河流三角洲。推测巴什基奇克组沉积时期,古天山山前发育大量的季节性辫状河与多个季节性小型辫状三角洲沉积。

参考文献 (References)

- 贾进华,顾家裕,郭庆银,等. 塔里木盆地克拉2气田白垩系储层沉积相[J]. 古地理学报,2001,3(3):67-75 [Jia Jinhua, Gu Jiayu, Guo Qingyin, *et al.* Sedimentary facies of Cretaceous reservoir in Kela-2 gas field of Tarim Basin[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2001, 3(3): 67-75]
- 朱玉新,郭庆银,邵新军,等. 新疆塔里木盆地库车坳陷北缘白垩系储层沉积相研究[J]. 古地理学报,2000,2(4):58-65 [Zhu Yuxin, Guo Qingyin, Shao Xinjun, *et al.* Study on reservoir sedimentary facies of the Cretaceous in the north of Kuqa depression, Tarim Basin, Xinjiang[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2000, 2(4): 58-65]
- 李忠,王道轩,林伟,等. 库车坳陷中—新生界碎屑组分对物源类型及其构造属性的指示[J]. 岩石学报,2004,20(3):655-666 [Li Zhong, Wang Daoxuan, Lin Wei, *et al.* Mesozoic-Cenozoic clastic composition in Kuqa depression, northwest China: Implication for provenance types and tectonic attributes [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2004, 20(3): 655-666]
- 严德天,王华,王家豪,等. 库车坳陷东部白垩系沉积体系分析及有利油气勘探区带预测[J]. 地质学报,2006,80(3):382-389 [Yan Detian, Wang Hua, Wang Jiahao, *et al.* Analysis of depositional systems and prediction of favorable regions of the Cretaceous in the east part of the Kuqa depression, Tarim Basin, Xinjiang[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2006, 80(3): 382-389]
- 王西宁,胡湘瑜,旷红伟,等. 塔里木盆地库车河—克拉苏河地区白垩系储集砂体特征精细研究[J]. 石油天然气学报,2012,34(2):19-26 [Wang Xining, Hu Xiangyu, Kuang Hongwei, *et al.* A fine study on deposition characteristics of the Cretaceous reservoirs of Kuqa river - Kelasu river area [J]. *Journal of Oil and Gas Technology*, 2012, 34(2): 19-26]
- 张英志,丁孝忠,韩坤英,等. 新疆库车坳陷晚白垩世沉积的地球化学特征及意义[J]. 地球学报,2006,27(2):129-134 [Zhang Yingzhi, Ding Xiaozhong, Han Kunying, *et al.* Geochemical characteristics and significance of Late Cretaceous deposits in the Kuqa depression, Xinjiang[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 2006, 27(2): 129-134]
- 梅冥相,于炳松,靳卫广. 塔里木盆地北缘库车盆地白垩系风成砂岩研究——以库车河剖面为例[J]. 地质通报,2004,23(12):1221-1227 [Mei Mingxiang, Yu Bingsong, Jin Weiguang. Cretaceous eolian sandstones in the Kuqa Basin on the northern margin of the Tarim Basin: A case study of the Kuqa river section [J]. *Geological Bulletin of China*, 2004, 23(12): 1221-1227]
- 江德昕,王永栋,魏江. 新疆拜城早白垩世孢粉植物群及其环境意义[J]. 古地理学报,2008,10(1):77-86 [Jiang Dexin, Wang Yongdong, Wei Jiang. Palynoflora and its environmental significance of the Early Cretaceous in Baicheng, Xinjiang Autonomous Region [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2008, 10(1): 77-86]
- 高志勇,冯佳睿,安海亭,等. 库车前陆盆地白垩系亚格列木组浊流沉积特征与意义[J]. 沉积学报,2013,31(2):237-247 [Gao Zhiyong, Feng Jianrui, An Haiting, *et al.* Sedimentary process and reservoir characteristics of turbidite fan of Cretaceous Yageliemu Formation in Kuqa foreland basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2013, 31(2): 237-247]
- 许炯心. 人为季节性河流的初步研究[J]. 地理研究,2000,19(3):234-242 [Xu Jiongxin. A preliminary study of human-induced seasonal rivers: Examples from China [J]. *Geographical Research*, 2000, 19(3): 234-242]
- 李卫红,陈亚宁,郝兴明,等. 新疆天山北坡河川径流对气候变化的响应研究——以头屯河为例[J]. 中国科学(D辑):地球科学,2006,36(增刊II):39-44 [Li Weihong, Chen Yaning, Hao Xingming, *et al.* Response of runoff to climate change in Xinjiang, the northern slope of the Tianshan Mountains in Toutun River as an example [J]. *Science China (Seri.D): Earth Science*, 2006, 36(Suppl. 2): 39-44]
- 史兴民,李有利,杨景春. 玛纳斯河流域地貌初步研究[J]. 四川师范大学学报:自然科学版,2007,30(3):406-410 [Shi Xingmin, Li Youli, Yang Jingchun. Study on the landform of Manas River Valley [J]. *Journal of Sichuan Normal University: Natural Science*, 2007, 30(3): 406-410]
- 刘月兰. 新疆奎屯河水文特征分析[J]. 安徽农业科学,2008,36(15):6460-6461 [Liu Yuelan. Analysis of the hydrological characteristics of Xinjiang Kuitun river [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2008, 36(15): 6460-6461]
- 满苏尔·沙比提,玉素甫江·如素力,阿布拉江·苏来曼. 渭干河流域水资源及其水文特征分析[J]. 山地学报,2003,21(2):195-200 [Mansur Sabit, Yusupjan Rusul, Ablajan Sulayman. Analysis of

- water resources and it's hydrological characteristics of Weigan river basin[J]. *Journal of Mountain Research*, 2003, 21(2): 195-200]
- 15 王延贵,胡春宏,周文浩,等.塔里木河干流河道的河型及其成因[J].泥沙研究,2002(6):19-25 [Wang Yangui, Hu Chunhong, Zhou Wenhao, *et al.* Study on river patterns of the Tarim River[J]. *Journal of Sediment Research*, 2002(6): 19-25]
 - 16 王心源,常月明,高超,等.半干旱区季节性河流在荒漠化发育中的作用——以内蒙古四子王旗塔布河流域为例[J].地理研究,2004,23(4):440-446[Wang Xinyuan, Chang Yueming, Gao Chao, *et al.* The role of seasonal river in the evolution of desertification in semiarid region: Taking Tabu river basin of Inner Mongolia as an example[J]. *Geographical Research*, 2004, 23(4): 440-446]
 - 17 许有鹏,杨茂.塔克拉玛干沙漠周围主要河流水文序列特性分析[J].干旱区资源与环境,1994,8(4):17-25 [Xu Youpeng, Yang Wu. Hydrologic series characteristics analysis of the major rivers around the Taklimakan desert[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 1994, 8(4): 17-25]
 - 18 王润.塔里木河的洪水及其对环境的影响[J].干旱区资源与环境,1996,10(1):52-57 [Wang Run. Some problems about floods of the Tarim river[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 1996, 10(1): 52-57]
 - 19 李香云,杨力行,关昕.一种突发性洪水频率分析计算方法——以叶尔羌河为例[J].西北水资源与水工程,2002,13(3):5-8 [Li Xiangyun, Yang Lixing, Guan Xin. A method for the frequency analysis of flash flood —A case study of Yerqiang river[J]. *Northwest Water Resources & Water Engineering*, 2002, 13(3): 5-8]
 - 20 刘时银,丁永建,张勇,等.塔里木河流域冰川变化及其对水资源影响[J].地理学报,2006,61(5):482-490 [Liu Shiyin, Ding Yongjian, Zhang Yong, *et al.* Impact of the glacial change on water resources in the Tarim River Basin [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2006, 61(5): 482-490]
 - 21 艾尔肯·吐拉克,艾斯卡尔·买买提,吐尔逊·肉苏力,等.塔里木河流域水文特性分析[J].冰川冻土,2007,29(4):543-552 [Arkin Turak, Askar Mamat, Tursun Rusul, *et al.* Recent changes in the river hydrological characteristics of the Tarim River Basin [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2007, 29(4): 543-552]
 - 22 梁俊红,巩恩普,董旭明,等.辽西义县盆地义县组底部沉积相与沉积环境分析[J].沉积学报,2007,25(4):545-553 [Liang Junhong, Gong Enpu, Dong Xuming, *et al.* Sedimentary facies and palaeoenvironment analyses on Yixian Formation bottom layers of Yixian Basin in western Liaoning province [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2007, 25(4): 545-553]
 - 23 李开封,穆桂金,徐立帅,等.塔里木河干流古河道表层沉积物粒度特征及其意义[J].水土保持通报,2012,32(1):161-164 [Li Kaifeng, Mu Guijin, Xu Lishuai, *et al.* Grain size characteristics and their significance for surface sediment of paleochannels along main stream of Tarim River [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2012, 32(1): 161-164]
 - 24 李华启,姜在兴,邱隆伟,等.柯克亚凝析气田中新统西河甫组季节性河流沉积特征研究[J].新疆地质,2003,21(1):69-73 [Li Huaqi, Jiang Zaixing, Qiu Longwei, *et al.* Seasonal river sedimentation of Xihefu Formation in Kekeya Gas condensate field [J]. *Xingjiang Geology*, 2003, 21(1): 69-73]
 - 25 胡斌,吴贤涛,潘丽敏.川西峨眉晚古生代和中生代河流沉积中的痕迹化石群落[J].沉积学报,1991,9(4):128-135 [Hu Bin, Wu Xiantao, Pan Limin. Ichnocoenoses of the Late Paleozoic and Mesozoic fluvial deposits of Emei area, western Sichuan, China [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1991, 9(4): 128-135]
 - 26 陈建芳.古海洋学研究中的地球化学新指标[J].地球科学进展,2002,17(3):402-410 [Chen Jianfang. A new geochemical indicators of paleoceanography study [J]. *Advances in Earth Science*, 2002, 17(3): 402-410]
 - 27 Nesbitt H W, Young G M. Early Proterozoic climate an plate motions inferred from major element chemistry olutite [J]. *Nature*, 1982, 299: 715-717
 - 28 Yang Shouye, Li Congxian, Cai Jingong. Geochemical compositions of core sediments in eastern China: Implication for Late Cenozoic palaeoenvironmental changes [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2006, 229: 287-302
 - 29 谭红兵,于升松.我国湖泊沉积环境演变研究中元素地球化学的应用现状及发展方向[J].盐湖研究,1999,7(3):58-65 [Tan Hongbing, Yu Shengsong. Present situation and future development of elemental geochemistry in the study of lake sediments' evolution [J]. *Journal of Salt Lake Research*, 1999, 7(3): 58-65]
 - 30 陶树,汤达祯,周传祯,等.川东南—黔中及其周边地区下组合烃源岩元素地球化学特征及沉积环境意义[J].中国地质,2009,36(2):397-403 [Tao Shu, Tang Dazhen, Zhou Chuanyi, *et al.* Element geochemical characteristics of the lower assemblage hydrocarbon source rocks in southeast Sichuan-central Guizhou (Chuangongnan-Qianzhong) region and its periphery areas and their implications to sedimentary environments [J]. *Geology in China*, 2009, 36(2): 397-403]
 - 31 高志勇,白斌,朱如凯,等.大巴山与龙门山前晚三叠世构造运动的储集层沉积学响应[J].古地质量,2012,14(6):801-812 [Gao Zhiyong, Bai Bin, Zhu Rukai, *et al.* Reservoir sedimentary response to tectonic movement of the Late Triassic in front of Dabashan and Longmen Mountains [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2012, 14(6): 801-812]
 - 32 朱立军,赵元龙.贵州台江中、下寒武统界线剖面微量元素地球化学特征[J].古生物学报,1996,35(5):623-629 [Zhu Lijun, Zhao Yuanlong. Studies of trace elements and REE geochemistry of sedimentary rocks in Middle-Lower Cambrian boundary section of Taijiang, Guizhou [J]. *Acta Palaeontologica Sinica*, 1996, 35(5): 623-629]
 - 33 王成,龚庆杰,李刚,等.从南海沉积物中的主量元素比值变化看沉积物源区化学侵蚀变化[J].海洋地质动态,2007,23(1):1-5 [Wang Cheng, Gong Qingjie, Li Gang, *et al.* From the South China Sea sediments in the major element ratios of chemical weathering changes in sediment source areas [J]. *Marine Geology Letters*, 2007, 23(1): 1-5]
 - 34 彭守涛,宋海明.库车坳陷北部白垩系沉积速率分析[J].沉积学报,2006,24(5):641-649 [Peng Shoutao, Song Haiming. The Sedi-

mentation rates analysis of Cretaceous depositional succession in the northern Kuqa depression, Northwest China[J]. Acta Sedimentologica

Sinica, 2006, 24(5): 641-649]

Arid Climate Seasonal Rivers Deposition: A case of Lower Cretaceous in Kuche river outcrop

GAO Zhi-yong^{1,2} FENG Jia-rui^{1,2} ZHOU Chuan-min^{1,2} CUI Jing-gang^{1,2}

LI Xiao-pei³ ZHAO Xue-song³ GUO Mei-li³ WU Hao³

(1. Petroleum Geology Research and Laboratory Center RIPED, Beijing 100083;

2. State Key Laboratory of Enhanced Oil Recovery(Research Institute of Petroleum Exploration and Development), Beijing 100083;

3. China University of Geosciences, Beijing 100083)

Abstract: Through the restructuring of the Kuche river section of Lower Cretaceous-Paleogene Kumugeliemu group sedimentary outcrop observation, analysis of sandstone lithology combination, sedimentary structure, gravel characteristics and sedimentary environment, combined with the sedimentary features of seasonal river in Tianshan north and south. It is an important depositional system that the seasonal rivers and seasonal river delta developed under arid climatic conditions in Cretaceous of Kuche depression. The seasonal river sedimentary characteristics of the lower Cretaceous Bashijiqike Formation and the extensive development is very similar, both typical fluvial facies sedimentary rhythm sand body is widespread, the river bottom mud gravel and detritus thick massive large-scale cross bedding sandstone, but also show a high-energy fine sandstones and silty sandstone, with higher structural maturity and lower compositional maturity. On this basis, the establishment of the Kuche river section of Lower Cretaceous Basi Group restructuring of sedimentary facies model. In Baxigai Formation sedimentary period, development area wide shallow lakes larger in Kuche depression, the development of seasonal rivers into the lakes formed seasonal rivers Delta. In Bashijiqike Formation sedimentary period, a number of small lakes emergence in front of the ancient Tianshan Mountains, ancient Tianshan Piedmont seasonal braided river and a large number of multiple seasonal small braided delta were deposited.

Key words: arid climate; seasonal rivers; seasonal river delta; Kuche river outcrop; Lower Cretaceous; Bashijiqike Formation