

引用格式: 董尧, 朱世发, 崔航, 索义虎, 佟欢, 马维泽, 陈才. 塔西南山前地区侏罗系物源特征与沉积演化[J/OL]. 沉积学报, 2025, DOI: 10.14027/j.issn.1000-0550.2025.022. CSTR: 32268.14/j.cjxb.62-1038.2025.022 [DONG Yao, ZHU ShiFa, CUI Hang, SUO YiHu, TONG Huan, MA WeiZe, CHEN Cai. Provenance Characteristics and Sedimentary Evolution of the Jurassic in the Piedmont Area, SW Tarim Basin [J/OL]. Acta Sedimentologica Sinica, 2025, DOI: 10.14027/j.issn.1000-0550.2025.022. CSTR: 32268.14/j.cjxb.62-1038.2025.022]

塔西南山前地区侏罗系物源特征与沉积演化

董尧^{1,2}, 朱世发^{1,2}, 崔航^{1,2}, 索义虎^{1,2}, 佟欢^{1,2}, 马维泽^{1,2}, 陈才³

1. 油气资源与工程全国重点实验室, 中国石油大学(北京), 北京 102249

2. 中国石油大学(北京)地球科学学院, 北京 102249

3. 中国石油塔里木油田公司, 新疆库尔勒 841000

摘要 【目的】塔西南山前地区甫沙 8 井侏罗系的成功突破标志着一个新的含油层系的出现, 展现了良好的油气勘探前景。目前对于侏罗系物源特征及沉积演化的认识不足已成为制约油气勘探的关键问题。【方法】以塔西南山前地区侏罗系为研究对象, 基于野外露头、钻井等资料, 开展物源体系、沉积相类型及沉积演化过程研究。【结果】侏罗系主要由西昆仑山和西天山供源, 斜坡区供源较弱。其中甫沙断陷和阿克陶断陷均发育南部(西昆仑山)和北部(斜坡区)两大物源体系, 库孜贡苏断陷则以西天山供源为主。侏罗系发育 14 种岩相和 14 种岩相组合, 确定了 7 种沉积相类型。西昆仑山前甫沙断陷和阿克陶断陷在早一中侏罗世经历了初始断陷期→强烈断陷期→断—拗转换期的演化过程, 南部陡坡带主要发育冲积扇—扇三角洲沉积体系, 北部缓坡带发育小型辫状河三角洲和扇三角洲。西天山前库孜贡苏断陷早一中侏罗世控陷断层持续活动, 主洼发育冲积扇—扇三角洲沉积体系, 次洼早期被冲积扇砾岩填平补齐, 后期裂陷活动西扩, 主要形成辫状河—曲流河沉积。晚侏罗世挤压作用和区域性的干旱事件造成了盆地基底隆升和物源供给能力的增强, 发育冲积扇沉积, 标志着断陷发育的末期阶段。【结论】塔西南山前地区侏罗系经历了早一中侏罗世湖侵和中一晚侏罗世湖退的过程, 呈现出多阶段的沉积演化特征。该研究不仅恢复了研究区侏罗系沉积充填演化过程, 也为残留盆地沉积区古地理重建提供借鉴和参考。

关键词 侏罗系; 物源分析; 断陷盆地; 沉积演化; 沉积模式; 塔里木盆地

第一作者简介 董尧, 男, 1999 年出生, 博士研究生, 沉积学, E-mail: dongyaohs@163.com

通信作者 朱世发, 男, 博士, 教授, 沉积学和储层地质学, E-mail: zhushifa_zsf@163.com

中图分类号: P512.2 文献标志码: A 文章编号: 1000-0550 (2025) 00-0000-00

0 引言

塔西南山前地区位于特提斯构造域与古亚洲构造域的叠合部位, 构造活动强烈(潘裕生, 1990)。受新生代构造改造的影响, 侏罗系现今呈残留盆地的特征, 盆地靠近造山带一侧地层遭受剥蚀, 同时物源区的信息也难以保留下来。塔西南山前地区油气资源丰富, 第 4 次油气资源评价显示天然气资源量 $1\,900\times 10^8\text{ m}^3$ 、石油资源量 $4.5\times 10^8\text{ t}$, 但勘探程度整体较低(蔚远江等, 2019; 王清华等, 2023)。勘探早期该区以白垩系为主要目的层, 相继发现阿克莫木气田和柯东 1 凝析气藏(何登发和李洪辉, 1998; 金之钧和吕修祥, 2000; 王招明等, 2005),

后期陷入勘探停滞（王清华等，2023）。2021 年恰探 1 井在石炭—二叠系塔哈奇组获得重大突破，打开了勘探新局面（王清华等，2023）。而侏罗系长期以来聚焦于烃源岩的系统分析（曾昌民等，2007），勘探程度低且基础地质研究较为薄弱。直至 2021 年甫沙 8 井侏罗系取得突破（王清华等，2024），才推动了该层系沉积学研究的开展。

众多学者针对塔西南山前地区侏罗系开展了大量的研究工作，涉及原型盆地性质（秦都，2005；曾昌民等，2007；陈延贵等，2018）、层序地层划分（孙铭赫，2013；杜世涛等，2017）、古环境（钟大康等，2002，2003）、物源体系（黎立等，2025）及沉积体系（李文厚，1998；张春生等，2000；刘海兴等，2003；孙铭赫，2013；黎立等，2025）等方面。研究表明，侏罗纪发育两类断陷盆地：西昆仑山前的箕状断陷盆地（陈延贵等，2018）以山前快速堆积充填和地层向塔里木盆地超覆为特征，指示了控陷断层位于山前（张春生等，2000；吴鸿翔，2018）；西天山前沿塔拉斯—费尔干纳右行走滑断裂形成的走滑拉分断陷盆地（库孜贡苏断陷）则表现为沉积规模小、厚度大、近源沉积等特征（秦都，2005；曾昌民等，2007）。侏罗系主要发育三角洲—湖泊沉积体系，下侏罗统以山前近源冲积扇—扇三角洲沉积为主，中侏罗统为湖泊沉积，上侏罗统再次发育近源冲积扇，形成水深由浅到深再到浅的沉积序列（李文厚，1998；张春生等，2000；钟大康等，2002，2003）。自甫沙 8 井在侏罗系获得油气突破以来，近年来以该层系为目的层的勘探实践表明区内砂体厚度普遍较薄。目前该地区侏罗系物源方向、母岩类型、沉积相带展布等认识不足，已成为制约油气勘探的关键性问题。现有研究受钻井等资料限制，多局限于局部地区的部分层段。因此，亟需开展全盆地尺度的物源—沉积体系的综合研究。

在前人研究的基础上，整合侏罗系 23 条野外露头剖面 and 11 口钻井资料，通过砾石成分、砂岩碎屑组分、重矿物组合及剖面相对比分析，系统阐明了塔西南山前地区侏罗系物源体系特征、沉积相展布规律及其演化模式。研究成果不仅为塔西南山前地区侏罗系油气勘探提供地质依据，也为残留盆地沉积区古地理重建提供借鉴和参考。

1 地质背景

塔西南山前地区位于塔里木盆地西南缘（图 1a），构造上处于西天山造山带、西昆仑山造山带、青藏高原和阿尔金断裂交汇部位（Chang *et al.*，2024）。研究区位于塔西南山前的西昆仑山冲断带和西天山冲断带（图 1b），面积约为 13 000 km²，是塔西南油气勘探的重点区域（何登发等，2013）。

晚石炭世—早二叠世古亚洲洋的消亡导致塔里木板块与伊利—中天山板块发生碰撞，莫

定了西天山造山带的基本构造格架（吴鸿翔，2018）。晚三叠世古特提斯洋的闭合造成了羌塘地体与南昆仑地块碰撞（Cao *et al.*, 2015），该事件促使西昆仑山大规模构造隆升，同时西天山也随之发生隆升，研究区由此进入了内陆盆地演化阶段（方爱民等，2009）。这两大造山带的隆升为侏罗系的沉积建造提供了充足的物质供给。

在特提斯造山带后伸展作用与塔拉斯—费尔干纳走滑断裂的共同控制下（廖林等，2010；程晓敢等，2019），侏罗纪发育了三大断陷盆地：西昆仑山前的阿克陶断陷和甫沙断陷，以及西天山前的库孜贡苏断陷（图 1a）。三叠纪末期强烈的挤压作用在西昆仑山前形成了多排 NW—SE 向的背斜构造，其中阿克陶断陷缓坡带发育大型背斜构造，甫沙断陷缓坡带及斜坡区则以中小型背斜为主（程晓敢等，2012，2019；Wu *et al.*, 2021；卢启业，2022）。这一古地貌格局对侏罗系沉积体系的展布和岩相古地理演化具有显著的控制作用。研究区侏罗系沉积前发育 3 个重要古隆起（图 1a），位于西天山与西昆仑山造山带之间的乌拉根古隆起分割了库孜贡苏断陷和阿克陶断陷的沉积体系（孙铭赫，2013；吴鸿翔，2018），位于阿克陶断陷缓坡带且呈 NW—SE 向展布的苏盖特古隆起和七美干古隆起可能为阿克陶断陷供源（吴鸿翔，2018；程晓敢等，2019）。新生代喜山期强烈的构造变形使研究区侏罗系遭受显著改造（程晓敢等，2012），造成甫沙断陷接受深埋，而阿克陶断陷与库孜贡苏断陷侏罗系普遍出露地表。

侏罗系下统莎里塔什组（J_{1s}）以灰色粗碎屑岩为主，向上过渡为康苏组（J_{1k}）的含煤碎屑岩；中统杨叶组（J_{2y}）和塔尔尕组（J_{2t}）发育暗色—杂色细碎屑岩；上统库孜贡苏组（J_{3k}）与下伏塔尔尕组（J_{2t}）呈角度不整合和平行不整合接触，岩性为红色粗碎屑岩。整体构成了由粗变细再变粗的粒序组合（图 1c）。地层识别标志及时限的确定方面，康苏组广泛分布的煤层是侏罗系的典型特征（钟大康等，2002）。奥依塔克剖面东北 30 km 处塔尔尕组发现的 *Podocarpidites multesimus* 孢粉为侏罗纪定年提供了可靠依据（刘兆生，2002）。目前对于塔西南山前地区侏罗系的沉积时代仍存争议，现有的定年数据显示其沉积时限为早侏罗世托阿尔阶至中侏罗世巴通阶：奥依塔克剖面西南 40 km 处凝灰岩 Rb-Sr 年龄（ 180 ± 10 Ma）与此剖面侏罗系底部砾岩中相同成分的火山碎屑共同指示了侏罗系最大沉积期大致与托阿尔阶同期（Arnaud *et al.*, 1992；Sobel, 1999）；西天山萨热克巴依盆地库孜贡苏组砂岩型铜矿 Re-Os 年龄（ 166.3 ± 2.8 Ma）则对应于巴通阶（方维萱等，2018）。

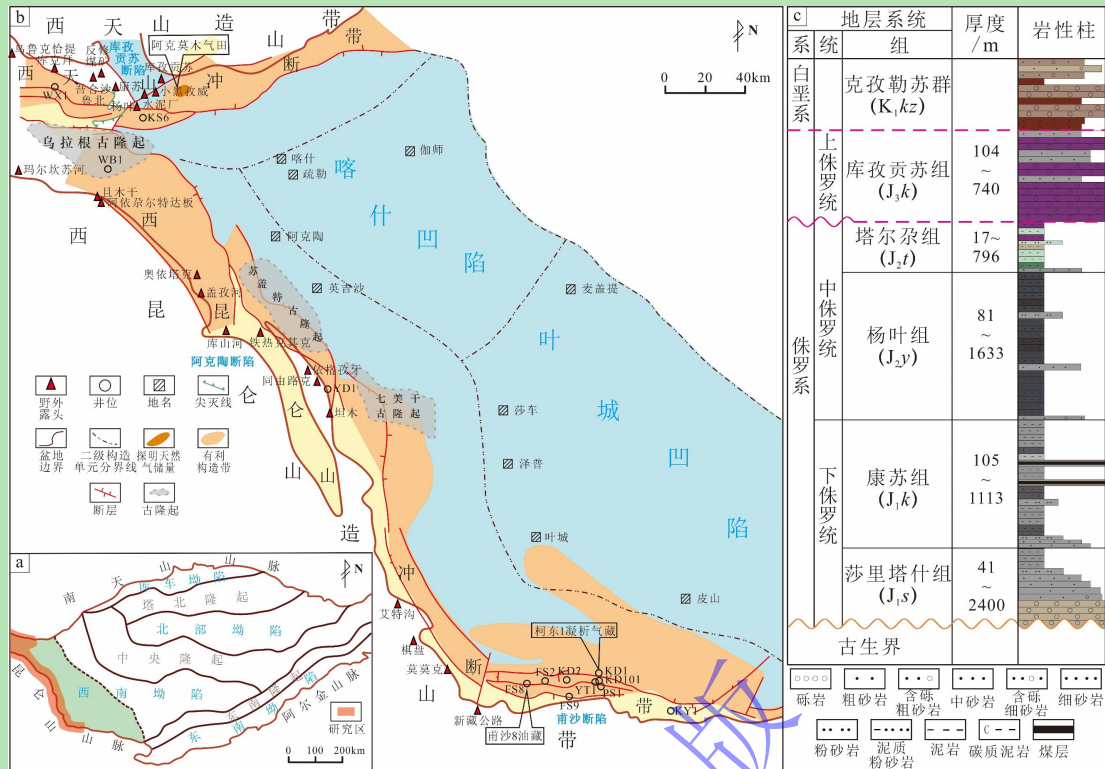


图 1 塔西南山前地区区域地质概况及侏罗纪地层发育特征

(a) 塔里木盆地轮廓(据王清华等, 2023 修改); (b) 塔西南构造单元划分(据王清华等, 2023 修改); (c) 地层柱状图

Fig.1 Regional geological outline and stratigraphic development of Jurassic strata in the piedmont area of southwestern Tarim Basin

(a) outline of the Tarim Basin (modified from Wang *et al.*, 2023); (b) division of tectonic units in the southwestern Tarim Basin (modified from Wang *et al.*, 2023); (c) stratigraphic column

2. 样品与测试方法

本次研究系统采集了塔西南山前地区侏罗系 10 条剖面及 9 口钻井的 497 件砂岩样品, 其中 384 件用于岩石薄片制备, 233 件用于重矿物分析测试。

2.1 重矿物分离与鉴定

对 233 件侏罗系砂岩样本进行了重矿物分析测试。每个样品经过浸泡在 10% 的盐酸溶液中、研磨、用水淘洗和干燥等一系列处理后, 筛选出 63~250 μm 的颗粒作为子样本。为了进行重矿物分离, 这些子样本用密度为 2.86 g/cm^3 的溴仿 (CHBr_3) 溶液处理。分离出的重矿物随后用环氧树脂固定在 2 mm 厚的玻璃载玻片上, 并使用蔡司光学显微镜 (Axio Imager A1) 进行鉴定, 最终统计每种重矿物的数量。数据分析过程中去除了菱铁矿、重晶石等自生矿物, 选取稳定重矿物如锆石、电气石、白钛石、石榴石、磷灰石, 将其数据归一化处理之后进行重矿物分析, 分离和鉴定工作在北京木石天成科技有限公司和中国石油塔里木油田公司实验检测研究院完成。

2.2 砾石成分分析

针对三大断陷内的 8 个典型含砾岩剖面开展系统的砾石成分分析。在面积大于 1 m^2 的砾岩露头面上随机选取至少 150 颗砾石，进行成分鉴定并计算各类砾石的百分含量（王建强等，2011）。

2.3 砂岩碎屑骨架成分统计

对 384 件砂岩样品进行岩石薄片制备，采用 Gazzi-Dickinson 法（Ingersoll *et al.*, 1984）统计碎屑骨架成分。统计时仅对粒径大于 $62.5\text{ }\mu\text{m}$ 且落在栅格结点上的碎屑颗粒进行鉴定与计数，忽略落在基质或胶结物上的点数，栅格间距设置需要大于最大砂粒直径以避免重复计数（董小龙等，2022）。为确保数据的可靠性，每个薄片统计的点数不少于 200 个。

3. 物源分析

本次研究通过砾石成分、砂岩碎屑组成、重矿物组合等方法进行物源体系综合分析，将研究区在平面上划分为 6 个物源区（图 2）：甫沙断陷南部（I 区）、甫沙断陷北部（II 区）、阿克陶断陷南部（III 区）、阿克陶断陷北部（IV 区）、库孜贡苏断陷主洼和次洼北部（V 区）、库孜贡苏断陷次洼南部（VI 区）。结合古水流、碎屑锆石 U-Pb 定年资料系统开展研究区的物源对比分析。分析认为，塔西南山前地区侏罗纪各时期物源体系并未发生显著的变化。

3.1 重矿物组合特征

甫沙断陷侏罗系重矿物类型主要为白钛石（平均为 60.6%）和锆石（平均为 28.0%），电气石（平均为 7.5%）次之（黎立等，2025）。I 区的 FS8 井与 FS801 井重矿物组合特征相似，而 FS2 井的白钛石含量偏高（平均为 72.3%），表明两者应为同一源区不同分支水系；FS9 井与 KY1 井重矿物组合特征存在差异（黎立等，2025）。II 区的 KD101 井白钛石含量较高（平均为 70.6%），KD2 井重矿物组合特征与 I 区相似。III 区重矿物以白钛石（平均为 47.3%）和锆石（平均为 39.7%）为主，含有少量的石榴石（平均为 12.0%）（图 2）；而 IV 区各露头剖面重矿物组成及含量差异显著，可能为不同类型的母岩供源所致。V 区重矿物组合特征较为一致，以白钛石为主（平均为 68.9%），锆石次之（平均为 24.1%）（图 2）；VI 区康苏剖面的白钛石（平均为 46.5%）与锆石（平均为 38.6%）含量接近，而杨叶剖面 and V 区的重矿物组合特征相似（图 2）。

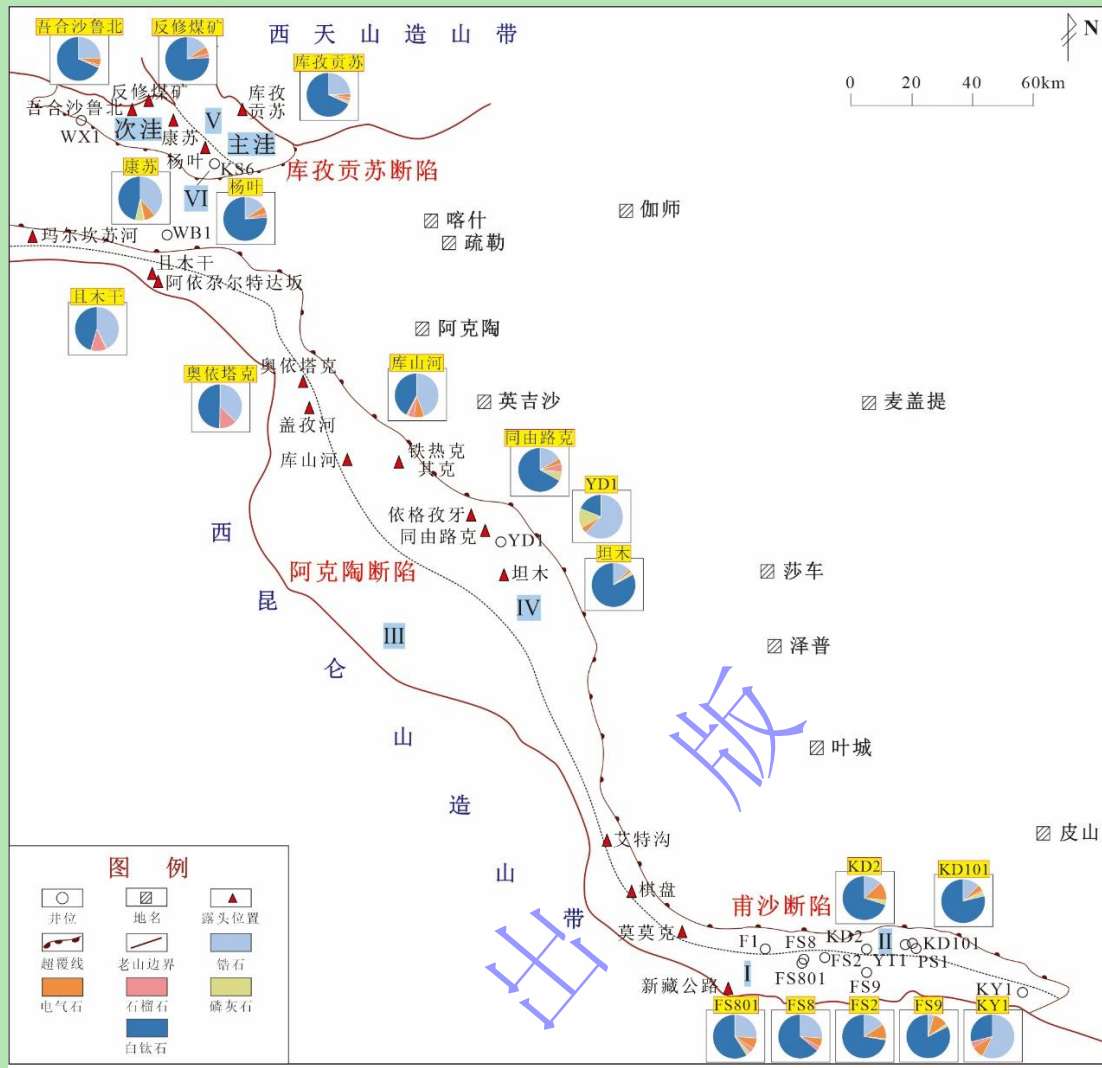


图2 塔西南山前地区侏罗系重矿物组合平面分布图

Fig.2 Plane distribution map of Jurassic heavy minerals assemblages in the piedmont area of the southwestern Tarim Basin

3.2 砂岩岩石学特征

砂岩碎屑组分可以反映沉积物的来源及母岩性质,通过对砂岩碎屑骨架成分的统计以及三角图投点显示,塔西南山前地区侏罗系砂岩类型以岩屑砂岩为主,仅康苏组和杨叶组含有少量的石英砂岩、长石质石英砂岩和岩屑质石英砂岩(图3),整体上表现出较低的成分成熟度。碎屑组分中石英含量最高(平均为55.0%),岩屑次之(平均为39.5%),长石最少(平均为5.4%)。

研究区侏罗系砂岩岩屑组分鉴定显示,沉积岩、岩浆岩和变质岩三大类岩屑均有存在。其中,沉积岩岩屑包括泥岩、砂岩和灰岩;岩浆岩岩屑以玄武岩、安山岩、流纹岩、凝灰岩和隐晶岩为主;变质岩岩屑包括石英岩、板岩、片岩和千枚岩等。

岩屑含量统计结果显示,I区岩屑类型主要为变质岩(平均为67.0%),岩浆岩次之(平

均为 21.3%)，沉积岩最少（平均为 11.7%），FS801 井、FS8 井和 FS2 井的岩屑含量特征具有较高一致性（图 4）。相对于 I 区而言，II 区含有更多的沉积岩岩屑（平均为 33.1%）（图 4）。

III 区岩屑以喷出岩（安山岩和玄武岩）为主（图 5a~d），平均含量为 73.6%（图 4），与露头剖面所观察到的砾石成分组成一致。IV 区各露头剖面岩屑特征差异显著（图 4），揭示了物源体系的多源性与复杂的母岩组成；相较于 III 区，IV 区变质岩岩屑（平均 45.5%）（图 5e~g）和沉积岩岩屑（平均 27.6%）含量较高（图 5h, i、图 4）。早侏罗世至晚侏罗世，同由路克剖面 and 坦木剖面的岩浆岩岩屑含量逐渐增加（图 4），推测为物源区早期沉积物风化剥蚀后，下伏岩浆岩暴露供源所致。

V 区的喷出岩岩屑含量极高，平均为 60.2%（图 5j~l），其中主洼的库孜贡苏剖面还存在一定比例的变质岩（平均为 25.7%）和沉积岩岩屑（平均为 24.9%）（图 4）。VI 区以变质岩岩屑（平均为 54.4%）（图 5m, n）和沉积岩岩屑（平均为 42.9%）为主（图 5o, p、图 4）。莎里塔什组近源堆积的厚层砾岩（图 3l）指示 V 区和 VI 区可能均为北部的西天山供源，但两者的母岩类型有所不同。

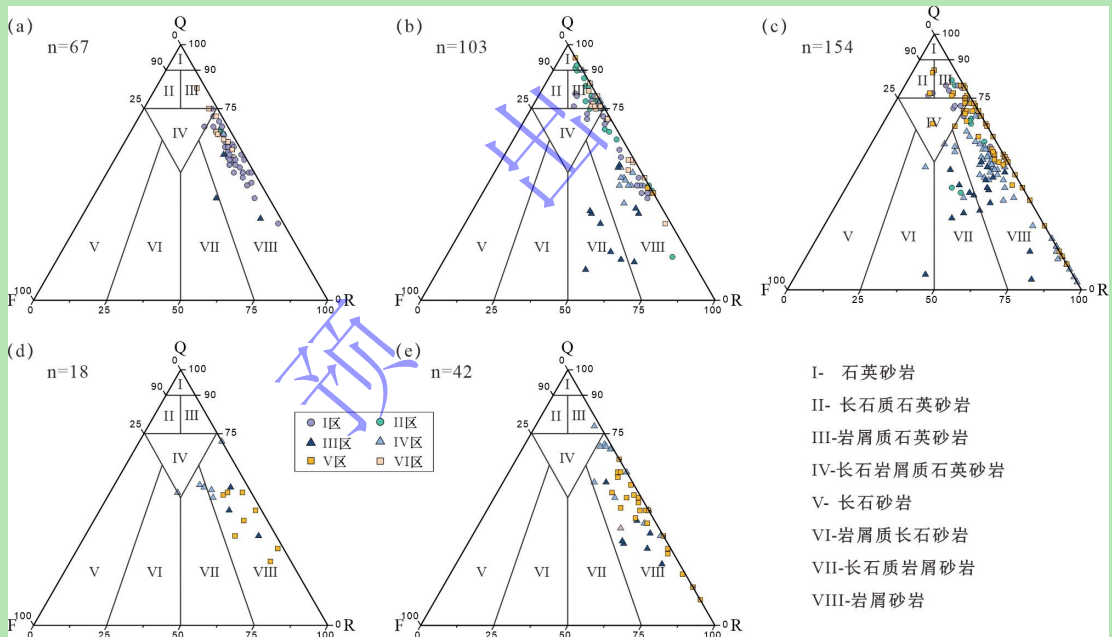


图 3 塔西南山前地区侏罗系砂岩类型分类图

(a) 莎里塔什组; (b) 康苏组; (c) 杨叶组; (d) 塔尔杂组 (e) 库孜贡苏组; Q. 石英; F. 长石; R. 岩屑

Fig.3 Classification of Jurassic sandstone types in the piedmont area of the southwestern Tarim Basin

(a) Shalitashi Formation; (b) Kangsu Formation; (c) Yangye Formation; (d) Targa Formation; (e) Kuzigongsu Formation; Q. quartz; F. feldspar; R. rock fragments

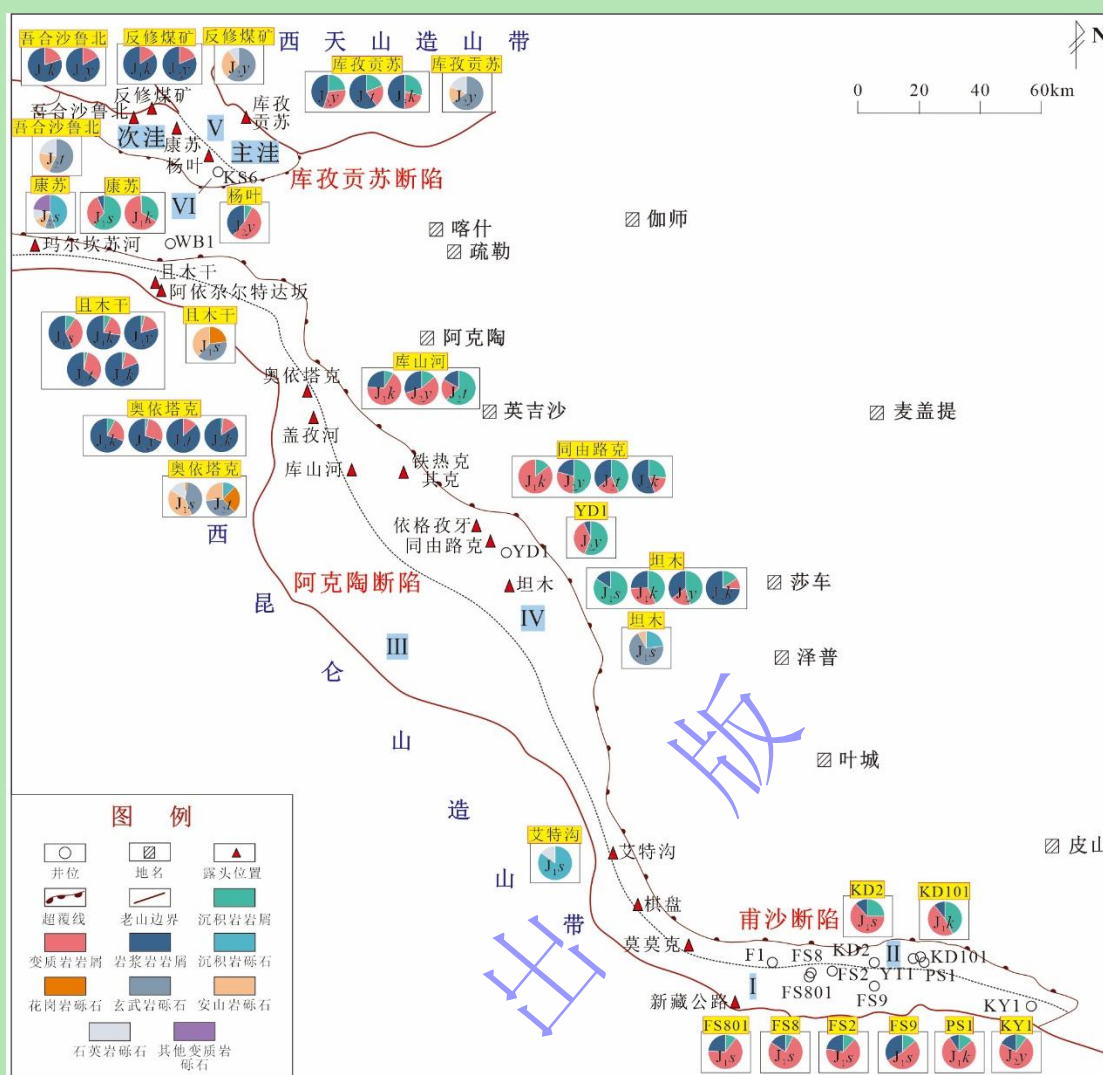


图 4 塔西南山前地区侏罗系岩屑及砾石成分平面分布图

Fig.4 Plane distribution map of Jurassic rock debris and pebble components in the piedmont area, southwestern Tarim Basin

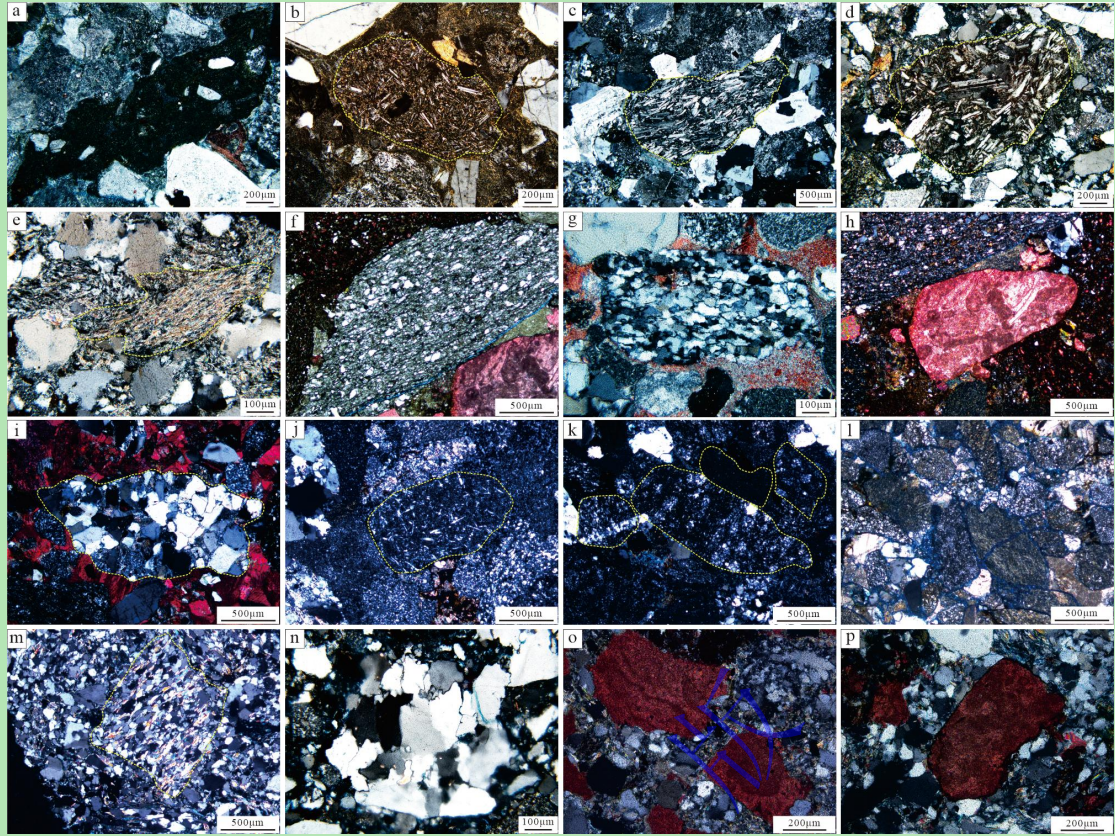


图5 塔西南山前地区侏罗系典型岩屑照片

(a) 凝灰岩岩屑，且木干剖面， J_1k ；(b) 玄武岩岩屑，且木干剖面， J_2y ；(c) 安山岩岩屑，且木干剖面， J_3k ；(d) 安山岩岩屑，奥依塔克剖面， J_3k ；(e) 千枚岩岩屑，库山河剖面， J_1k ；(f) 片岩岩屑，同由路克剖面， J_2y ；(g) 石英片岩岩屑，坦木剖面， J_3k ；(h) 灰岩岩屑，同由路克剖面， J_2y ；(i) 中砂岩岩屑，同由路克剖面， J_3k ；(j) 玄武岩岩屑，反修煤矿剖面， J_2y ；(k) 隐晶岩岩屑，吾合沙鲁北剖面， J_2y ；(l) 隐晶岩岩屑，库孜贡苏剖面， J_3k ；(m) 片岩岩屑，康苏剖面， J_1k ；(n) 石英岩岩屑，杨叶剖面， J_2y ；(o) 灰岩岩屑，康苏剖面， J_1k ；(p) 灰岩岩屑，康苏剖面， J_1k （图中照片均在正交偏光下拍摄）

Fig.5 Photographs under cross-polarized light of rock debris from the Jurassic Fusha Fault Depression, piedmont area of southwestern Tarim Basin

(a) tuff fragment, Qimgan section, J_1k ; (b) basalt fragment, Qimgan section, J_2y ; (c) andesite fragment, Qimgan section, J_3k ; (d) andesite fragment, Oyttag section, J_3k ; (e) phyllite fragment, Kushanhe section, J_1k ; (f) schist fragment, Tongyouluke section, J_2y ; (g) quartz schist fragment, Tanmu section, J_3k ; (h) limestone fragment, Tongyouluke section, J_2y ; (i) medium sandstone fragment, Tongyouluke section, J_3k ; (j) basalt fragment, Fanxiumeikuang section, J_2y ; (k) cryptomere fragment, Wuheshalubei section, J_2y ; (l) cryptomere fragment, Kuzigongsu section, J_3k ; (m) schist fragment, Kangsu section, J_1k ; (n) quartzite fragment, Yangye section, J_2y ; (o) limestone fragment, Kangsu section, J_1k ; (p) limestone fragment, Kangsu section, J_1k

3.3 砾石成分特征

研究区侏罗系砾岩集中发育在下统莎里塔什组和上统库孜贡苏组，具有分布范围广、沉积厚度大的特征。区内可识别出沉积岩、花岗岩、玄武岩、安山岩、石英岩及各类变质岩等多种砾石成分（图3）。统计结果表明（表1），各露头剖面砾石成分的差异指示了多物源体系供给。

表1 塔西南山前地区侏罗系砾岩砾石成分含量

Table 1 Content of Jurassic pebble components of conglomerates in piedmont area, SW Tarim Basin

位置	GPS 坐标		剖面	层位	砾石成分/%					
	纬度 (N)	经度 (E)			沉积岩	花岗岩	玄武岩	安山岩	石英岩	其他变质岩
I区	37°30'06.72"	76°39'12.72"	艾特沟	J _{1s}	85	0	0	0	15	0
	39°16'14.29"	74°57'37.94"	且木干	J _{1s}	0	23	39	38	0	0
III区	38°58'15.29"	75°28'09.50"	奥依塔克	J _{1s}	0	2	42	40	14	2
	38°58'24.39"	75°28'21.90"		J _{2t}	12	26	36	25	0	1
IV区	38°24'41.49"	76°14'14.02"	坦木	J _{1s}	23	0	69	6	0	2
	39°47'07.28"	75°14'34.38"	库孜贡苏	J _{2y}	0	0	66	15	18	1
V区	39°49'09.71"	74°51'25.99"	吾合沙鲁北	J _{2t}	0	0	57	21	19	3
	39°48'36.91"	74°56'25.16"	反修煤矿	J _{2y}	0	0	62	28	10	0
VI区	39°45'20.81"	75°03'47.91"	康苏	J _{1s}	45	0	10	12	10	23

I区的艾特沟剖面莎里塔什组发育一套厚度为 16.71 m 的砾岩层，砾石成分以细砂岩（85%）为主，石英岩（15%）次之（图 4、表 1），平均粒径为 8 cm。次圆状的磨圆度（图 6a, b）揭示了物源主要来自西昆仑山造山带的再旋回沉积岩。

III区的且木干剖面和奥依塔克剖面可观察到大量的火山岩（玄武岩和安山岩）（图 6c, d）和浅成侵入岩（花岗岩）砾石（图 6e），整体分选较差但两剖面砾石磨圆度存在显著差异。具体而言，且木干剖面砾石平均直径（15 cm）远大于奥依塔克剖面（3 cm），且砾石磨圆为圆状—次圆状，而奥依塔克剖面多见次棱角—棱角状的砾石。研究表明，两者物源均来自南部的西昆仑山造山带，但母岩性质有所不同：且木干剖面莎里塔什组以砾级岩浆岩碎屑为主，属再旋回沉积岩供源；而奥依塔克剖面则直接由岩浆岩供源。IV区坦木剖面的砾石由平均粒径为 5 cm 的玄武岩、灰岩和细砂岩组成（图 6f, g），其较差的分选性和次圆状的磨圆度，揭示其物源可能为北部古隆起的再旋回沉积物。相较于III区，IV区沉积岩的贡献显著增加。

V区的库孜贡苏剖面、吾合沙鲁北剖面及反修煤矿剖面的砾石成分以火山岩（玄武岩、安山岩）（图 6h, i）为主，此外还含有少量石英岩（图 6j）。砾石表现为“分选中等、磨圆较差”的特征，平均粒径介于 3~5 cm，其物源可能来自北部西天山造山带。而VI区紧邻控陷断裂的康苏剖面莎里塔什组砾石由细砂岩和一些变质岩组成（图 6k, l），同时也含有少量玄武岩和安山岩（图 6m），平均粒径为 8 cm。此外，康苏剖面的砾石普遍发育球形风化，切面可见显著的风化包壳（图 6n），风化解理极为发育（图 6o），揭示了其在物源区经历了长期的风化作用，与研究区三叠纪长期风化剥蚀的地质背景一致。

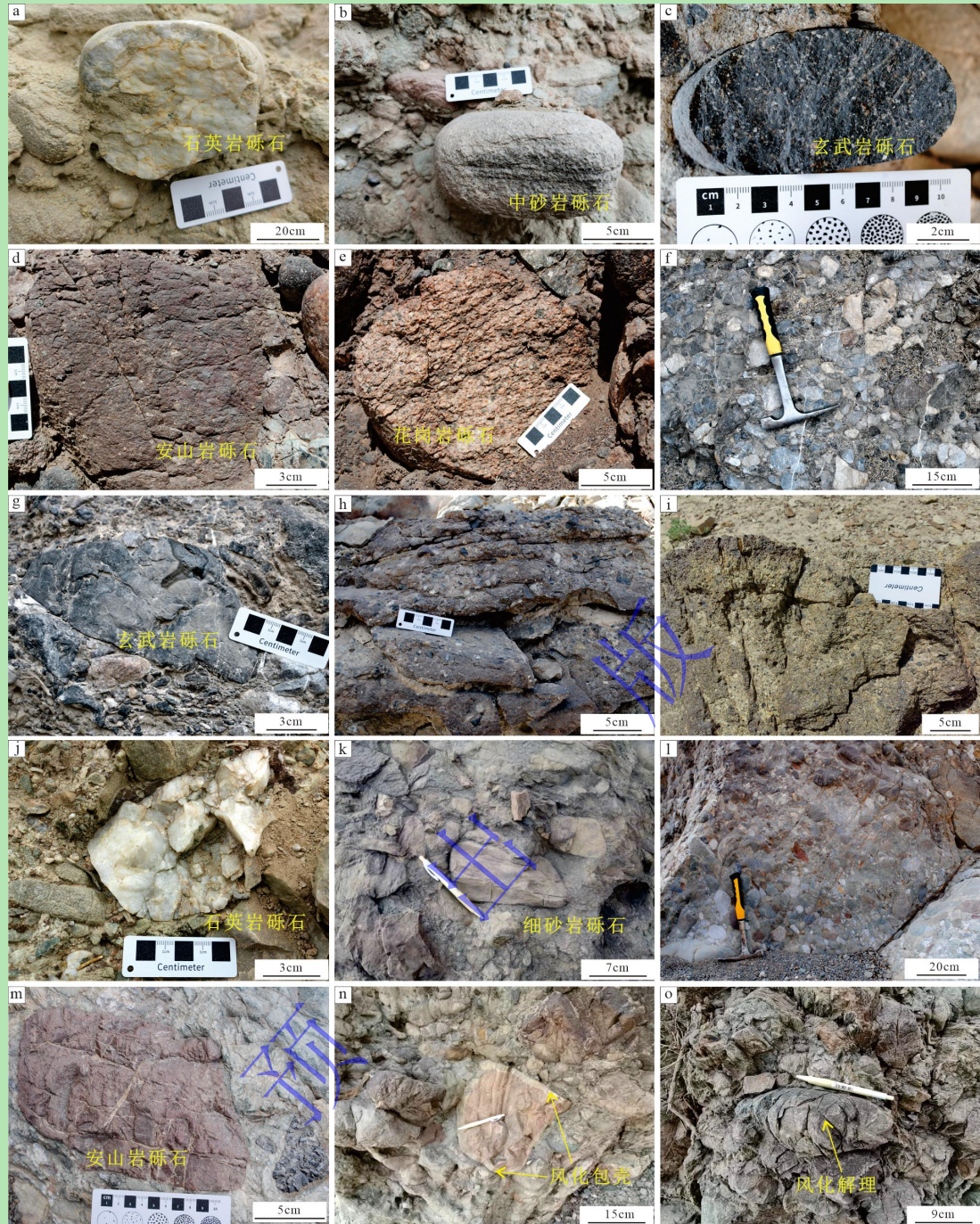


图6 塔西南山前地区侏罗系砾岩露头典型特征

(a) 石英岩砾石, 艾特沟剖面, J₁S; (b) 中砂岩砾石, 艾特沟剖面, J₁S; (c) 玄武岩砾石, 且木干剖面, J₁S; (d) 安山岩砾石, 且木干剖面, J₁S; (e) 花岗岩砾石, 且木干剖面, J₁S; (f) 砾岩, 成分复杂, 坦木剖面, J₁S; (g) 玄武岩砾石, 坦木剖面, J₁S; (h) 砾岩, 库孜贡苏剖面, J₂Y; (i) 玄武岩砾石, 反修煤矿剖面, J₂Y; (j) 石英岩砾石, 吾合沙鲁北剖面, J₂T; (k) 细砂岩砾石, 康苏剖面, J₁S; (l) 砾岩, 砾石成分复杂, 康苏剖面, J₁S; (m) 安山岩砾石, 康苏剖面, J₁S; (n) 砾石见风化包壳, 康苏剖面, J₁S; (o) 砾石见球形风化解理, 康苏剖面, J₁S

Fig.6 Typical Jurassic conglomerate outcrops in piedmont area of the southwestern Tarim Basin

(a) quartzite gravel, Aitegou section, J₁S; (b) medium sandstone gravel, Aitegou section, J₁S; (c) basalt gravel, Qimgan section, J₁S; (d) andesite gravel, Qimgan section, J₁S; (e) granite gravel, Qimgan section, J₁S; (f) conglomerate, complex composition, Tanmu section, J₁S; (g) basalt gravel, Tanmu section, J₁S; (h) conglomerate, Kuzigongsu section, J₂Y; (i) basalt gravel, Fanxiemeikuang section, J₂Y; (j) quartzite gravel, Wuheshalubei section, J₂T; (k) fine sandstone gravel, Kangsu section, J₁S; (l) conglomerate, complex composition, Kangsu section, J₁S; (m) andesite gravel, Kangsu section, J₁S; (n) gravel with weathered coating, Kangsu section, J₁S; (o) gravel with spherical weathering cleavage, Kangsu section, J₁S

Kangsu section, J₁S; (m) andesite gravel, Kangsu section, J₁S; (n) gravel with weathering rind, Kangsu section, J₁S; (o) gravel with spheroidal weathering joints, Kangsu section, J₁S

3.4 物源区讨论

基于岩屑特征、重矿物组合特征和古水流分析(图7),黎立等(2025)认为甫沙断陷侏罗系存在南、北两大物源体系:I区存在FS8井区(FS801、FS8、FS2)、FS9井和KY1井三个物源子系统。其中,FS8井、FS9井和KY1井侏罗系碎屑锆石年龄谱显示出~439 Ma(奥陶纪—志留纪)和~803 Ma(新元古代)双峰分布特征(Cui *et al.*, 2025)。而南部西昆仑造山带出露的花岗岩锆石年龄谱显示出了早古生代和三叠纪两个时期(卢启业, 2022),指示酸性岩浆岩的重矿物组合(白钛石—锆石—电气石)(朱世发等, 2021)和高级变质岩岩屑与大量石英颗粒的存在(黎立等, 2025; Cui *et al.*, 2025),揭示了I区物源来自北昆仑和南昆仑地体上元古界的变质岩基底、奥陶系—志留系花岗岩及其再旋回的沉积岩(Cui *et al.*, 2025)。II区KD2井和KD101井分别由北部斜坡区不同水系供源,母岩主要为元古界变质岩和二叠系沉积岩(黎立等, 2025)。尽管西昆仑造山带发育大规模三叠纪陆陆碰撞形成的花岗岩带(Zhang *et al.*, 2016; 魏小鹏等, 2017; 隋清霖, 2021),但侏罗系碎屑锆石中未见三叠纪的组分,表明三叠纪花岗岩并未参与供源。

III区的且木干剖面莎里塔什组—杨叶组的碎屑锆石年龄谱呈单峰分布,峰值年龄为~230 Ma(三叠纪),其他年代的锆石几乎不存在(Cui *et al.*, 2025)。奥依塔克剖面康苏组—杨叶组的碎屑锆石年龄谱同样显示出242 Ma(三叠纪)的一组主峰,并伴随着少量分布在晚古生代的次峰,与之相似,库孜贡苏组同样显示出~247 Ma(三叠纪)的主峰及二叠纪的次峰(Bershaw *et al.*, 2012; Cui *et al.*, 2025)。北帕米尔的年龄谱(230~190 Ma)与这两个剖面非常相似,目前该区三叠系花岗岩广泛出露,古生界花岗岩少量发育,但未见喷出岩的存在(Cui *et al.*, 2025)。III区的且木干与奥依塔克剖面重矿物和岩屑组成相似,指示了两者具有相同的物源区。且木干剖面莎里塔什组可以观察到磨圆良好的花岗岩、玄武岩和安山岩砾石,与石炭系乌鲁阿特组双峰式洋底喷发的枕状玄武岩、杏仁状玄武岩和安山岩一致,乌鲁阿特组玄武岩的锆石年龄为348~354 Ma(隋清霖, 2021),但未见于且木干剖面的碎屑锆石中,而与奥依塔克剖面古生代锆石年龄吻合。两剖面侏罗系砂岩中喷出岩岩屑非常发育,但奥依塔克剖面的玄武岩砾石磨圆较差且含有少量的花岗岩砾石,反映了两个剖面的物源存在差异。结合前人提出的奥依塔克剖面NE向的古流向(Sobel, 1999),认为III区的物源主要来自西南部北帕米尔的三叠系基性喷出岩(现今已剥蚀或未识别)。且木干剖面磨圆较好的砾石以及较高的长石含量表明,以古生界的花岗岩和石炭系乌鲁阿特组的喷出岩为母岩的

再旋回沉积岩以及三叠系花岗岩也有少量供源。奥依塔克剖面晚古生代的锆石主要来自北帕米尔东北缘的石炭系乌鲁阿特组的双峰式火山岩 (Cui *et al.*, 2025)。

IV区各露头剖面岩屑和重矿物组合差异显著, 总体上沉积岩岩屑含量多。北部斜坡区背斜和古隆起上泥盆系—二叠系沉积岩发育 (吴鸿翔, 2018), 结合依格孜牙剖面康苏组和杨叶组碎屑锆石的主峰年龄 (~446 Ma 和 ~414 Ma) (奥陶纪—志留纪) 及次峰年龄 (~784 Ma、~800 Ma) (新元古代) (卢启业, 2022), 推测物源可能来自北部上元古界基底变质岩、奥陶系—志留系花岗岩及其再旋回的泥盆—二叠系沉积岩。

V区的库孜贡苏剖面库孜贡苏组碎屑锆石年龄谱显示 ~300 Ma (石炭纪—二叠纪)、~440 Ma (志留纪) 和 ~809 Ma (新元古代) 三组峰值。VI区的康苏剖面莎里塔什组以 231 Ma (三叠纪) 为主峰, 401 Ma (泥盆纪) 为次峰, 康苏组和杨叶组则呈现 ~443 Ma (奥陶—志留纪) 和 ~813 Ma (新元古代) 两组主峰 (锆石数据另文发表)。这些年龄谱特征与区域构造演化密切相关, ~300 Ma 峰值对应晚石炭世—早二叠世古亚洲洋闭合相关的碰撞花岗岩 (Yang *et al.*, 2014; De Pelsmaecker *et al.*, 2018; 霍海龙, 2019), 440 Ma 左右的峰代表奥陶纪—志留纪的岩浆活动, 而 810 Ma 左右的峰指示西天山的元古界基底 (Yang *et al.*, 2014)。此外, 锆石 CL 图像显示古生代的大部分锆石具有明显的震荡环带, 指示岩浆成因, 而元古代的锆石内部环带结构模糊或发育继承性的锆石核, 反映变质成因。V区各露头剖面的重矿物组合高度一致 (图 2), 岩屑以酸性喷出岩为主; 而VI区变质岩、沉积岩岩屑以及沉积岩砾石相对较多。库孜贡苏剖面 and 康苏剖面 SE—SW 向的古流向 (图 7) (Sobel, 1999) 共同指示北部的西天山造山带为主要物源区。综合研究认为, 库孜贡苏断陷物源主要来自西天山造山带的元古界基底变质岩、奥陶系—中志留统的岩浆岩以及石炭系—下二叠统的花岗岩。VI区康苏剖面莎里塔什组 231 Ma 的峰值可能反映了中晚三叠世羌塘板块—南昆仑地块的碰撞在西天山的响应, 在此期间可能发生了岩浆活动, 401 Ma 的峰值表明还有其他物源输入。此外, 西天山晚二叠世的前陆盆地中发育有大量的陆相磨拉石 (吴鸿翔, 2018), 康苏剖面莎里塔什组的砾石极有可能来自于二叠系, 逆冲推覆导致暴露的古生界再旋回沉积岩和元古界基底也为康苏剖面提供了物源。



图7 塔西南山前地区侏罗系古流向平面分布图(据 Sobel, 1999; 黎立等, 2025 修改)

Fig.7 Plane distribution map of Jurassic paleocurrent direction in piedmont area, southwestern Tarim Basin (modified from Sobel, 1999; Li et al., 2025)

4 沉积相类型及特征

基于岩心精细观察与描述、野外露头的详细解剖,并结合测录井资料,认为研究区侏罗系主要发育7种沉积相类型,近源的冲积扇和扇三角洲广泛发育,湖泊沿山前狭长分布,局部地区发育辫状河三角洲沉积,湖底扇、辫状河和曲流河零星分布。

4.1 岩相组合特征

基于塔西南山前地区侏罗系沉积物的粒度、岩性、颜色、沉积结构及构造等特征,通过对包括3条野外实测剖面(同由路克剖面、吾合沙鲁北剖面、反修煤矿剖面)在内的13条野外露头剖面的精细观察与详细解剖,以及5口取心井(累计24 m岩心)的精细描述与分

析，共识别出 14 种岩相，包括 4 种砾岩岩相（图 8，C1~C4）、7 种砂岩岩相（图 8，S1~S7）和 3 种泥岩岩相（图 8，M1~M3），根据岩相垂向组合特征，进一步归纳出 14 种岩相组合（表 2），基于上述岩相及岩相组合特征识别出冲积扇、扇三角洲、辫状河三角洲、湖泊、湖底扇、辫状河和曲流河 7 种沉积相类型。

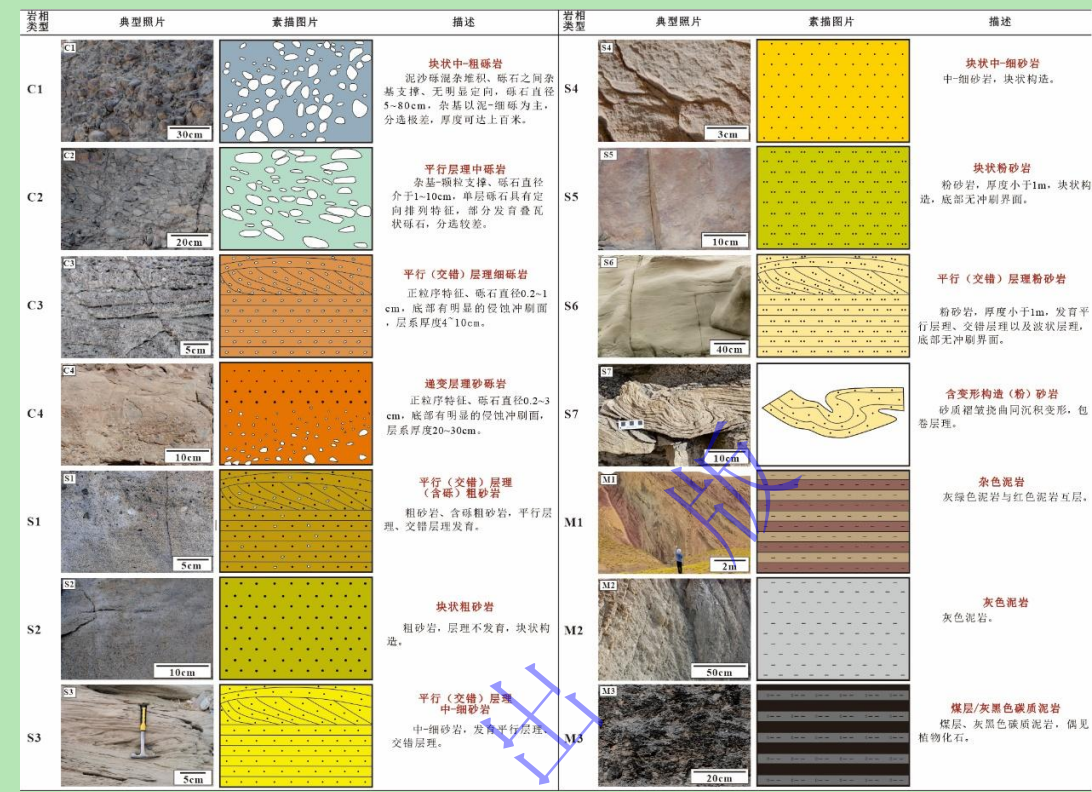


图 8 塔西南山前地区侏罗系主要沉积体系岩相特征

Fig.8 Lithofacies of major Jurassic sedimentary systems in piedmont area, southwestern Tarim Basin

表 2 塔西南山前地区侏罗系岩相组合类型

Table 2 Classification of Jurassic lithofacies associations in piedmont area, southwestern Tarim Basin

岩相组合	沉积特征	沉积相解释
FA1	厚层块状中粗砾岩（C1）夹块状粗砂岩透镜体（S2）及交错层理粗砂岩（S1）（图 9a）	冲积扇扇根泥石流 和河道
FA2	多期中层平行层理中砾岩（C2）垂向叠置，每期底部见小型冲刷界面，中砾岩内部夹有块状中细砂岩（S4）（图 9b）	冲积扇扇中泥石流 和河道
FA3	多期中层递变层理砂砾岩（C4）垂向叠置，底部砾岩层厚度为 5~10cm，砾石略定向；中层块状中粗砾岩（C1）—递变层理砂砾岩（C4）—块状中细砂岩（S4），垂向上为正粒序特征（图 9c）	冲积扇扇中河道
FA4	中层块状中粗砾岩（C1）/递变层理砂砾岩（C4）（图 9d）/交错层理粗砂岩（S1）夹薄层灰色泥岩（M2）或灰黑色泥岩和煤层（M3），递变层理砂砾岩底部冲刷特征显著，砂岩顶界面偶见植物茎秆化石或叶片化石（图 9e）	辫状河/扇三角洲平原
FA5	中厚层平行层理/楔状交错层理/槽状交错层理细砾岩（C3）、中细砂岩（S3）、递变层理砂砾岩（S4）夹薄层暗色泥岩（M3），底部见明显的冲刷界面（图 9f）	辫状河/扇三角洲前缘 水下分流河道
FA6	中薄层灰色泥岩（M2）/灰黑色泥岩（M3），常夹在中层块状砂岩和交错层理砂岩中	三角洲平原分流河道间/前缘支流间湾
FA7	灰黑色碳质泥岩和薄层煤层（M3）夹中薄层块状/交错层理/平行层理粉—细砂岩（S3—S6），砂岩顶底界面平直且底部无冲刷界面（图 9g），底界面见波痕构造（图 9h）	滨浅湖滩坝
FA8	厚层杂色泥岩（M1）/灰色泥岩（M2）夹中薄层块状/交错层理/平行层理粉—细砂岩（S3—S6）（图 9i），底界面见波痕构造（图 9h），有时可见恐龙足迹化石（图 9j）	滨浅湖滩坝
FA9	厚层灰黑色泥岩/页岩（M3）夹薄层变形构造粉砂岩（S7）（图 9k）、递变层理砂砾岩（C4）、平行层理粉—细砂岩（S3、S6）（图 9l），砂岩底界面常发育沟模（图 9m）	湖底扇

FA10	底部为薄层块状粗砂岩（S2），其上红褐色泥岩（M1）与槽状交错层理中细砂岩（S1）等厚沉积，砂岩底部具有冲刷界面（图 9n）	曲流河
FA11	中层楔状交错层理粗砂岩（S1）夹薄层红褐色泥岩（M1），岩性以中-粗砂岩为主，砂体纵向上多期叠置发育，呈现“砂包泥”的典型特征（图 9o）	辫状河
FA12	厚层灰黑色碳质泥岩夹薄层煤层（M3）	滨岸沼泽
FA13	厚层块状杂色和灰色泥岩或粉砂质泥岩（M1、M2）	滨浅湖泥
FA14	厚层块状灰黑色泥岩/碳质泥岩或纹层状页岩（M3）	半深湖泥

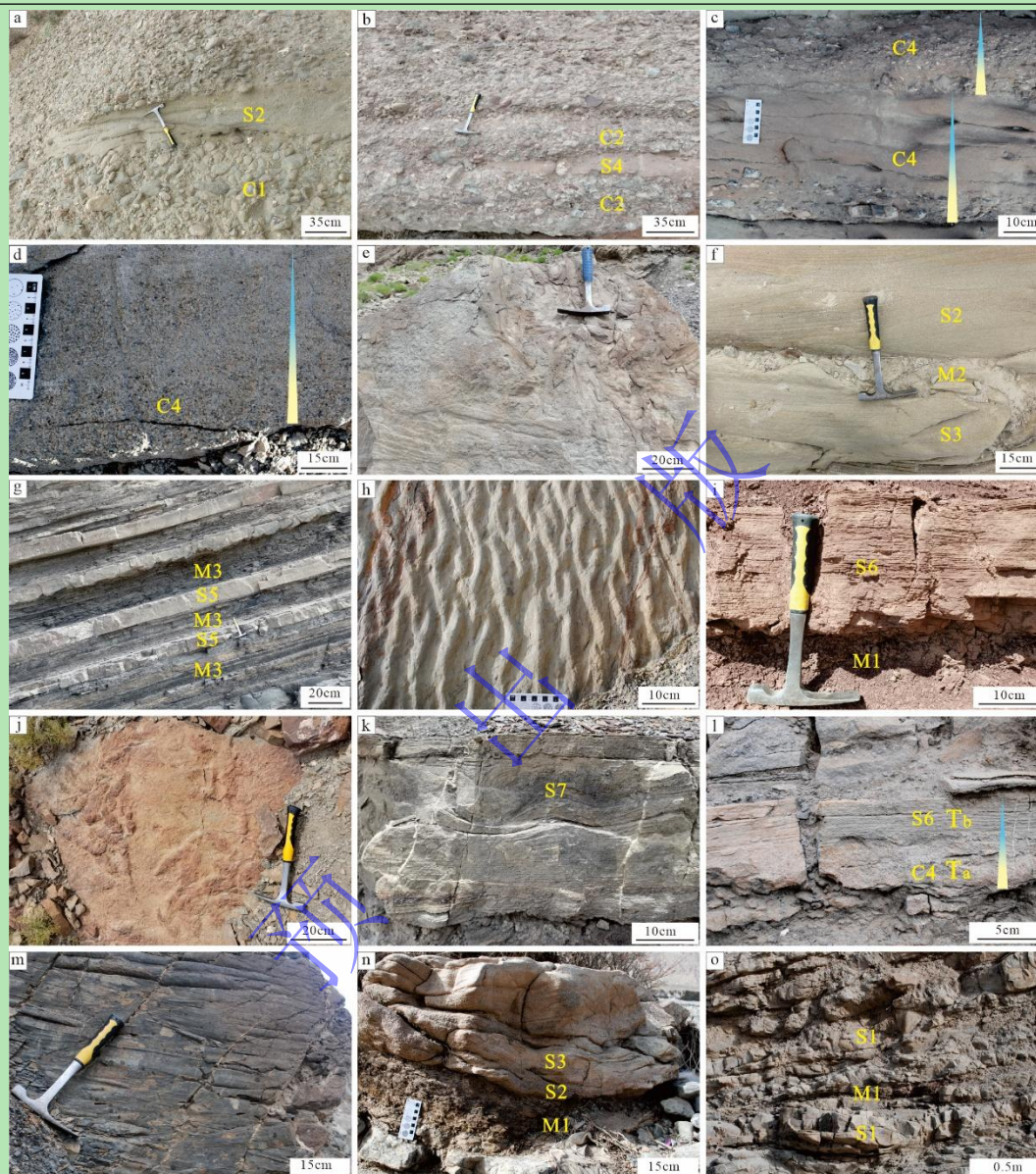


图9 塔西南山前地区侏罗系主要沉积体系岩相组合特征

（a）厚层块状中粗砂岩夹块状粗砂岩透镜体，FA1，艾特沟剖面，J₁S；（b）平行层理中砾岩夹块状中细砂岩，FA2，同由路克剖面，J₃k；（c）渐变层理砂砾岩垂向叠置，FA3，库孜贡苏剖面，J₃k；（d）渐变层理砂砾岩，FA4，奥依塔克剖面，J₁k；（e）植物茎秆化石，库山河剖面，J₁k；（f）槽状交错层理细砂岩夹灰色泥岩，FA5，反修煤矿剖面，J₂y；（g）碳质泥岩夹块状粉砂岩条带，FA7，同由路克剖面，J₁k；（h）波痕，库孜贡苏剖面，J₂y；（i）红褐色泥岩夹平行层理粉砂岩，FA8，同由路克剖面，J₂t；（j）恐龙脚印化石，库山河剖面，J₂t；（k）变形构造粉砂岩，FA9，同由路克剖面，J₂y；（l）渐变层理砂砾岩与平行层理粉砂岩，FA9，库山河剖面，J₂y；（m）沟模，FA9，同由路克剖面，J₂y；（n）红褐色泥岩与槽状交错层理粗砂岩等厚沉积，FA10，康苏剖面，J₁k；（o）砂体叠置发育，FA11，康苏剖面，J₁k

Fig.9 Jurassic lithofacies combinations in piedmont area, southwestern Tarim Basin

(a) thick layered medium-coarse conglomerate interbedded with lenticular coarse sandstone bodies, FA1, Aitegou section, J_{1s}; (b) parallel-bedded conglomerate intercalated with blocky medium-fine sandstone, FA2, Tongyouluke section, J_{3k}; (c) vertically stacked graded-bedded sandy conglomerate, FA3, Kuzigongsu section, J_{3k}; (d) graded-bedded sandy conglomerate, FA4, Oyttag section, J_{1k}; (e) plant stem fossils, Kushanhe section, J_{1k}; (f) trough cross-bedded fine sandstone interbedded with gray mudstone, FA5, Fanxiemeikuang section, J_{2y}; (g) carbonaceous mudstone interbedded with massive siltstone bands, FA7, Tongyouluke section, J_{1k}; (h) ripple marks, Kuzigongsu section, J_{2y}; (i) reddish-brown mudstone interbedded with parallel-bedded siltstone, FA8, Tongyouluke section, J_{2t}; (j) dinosaur footprint fossils, Kushanhe section, J_{2t}; (k) deformation structures in siltstone, FA9, Tongyouluke section, J_{2y}; (l) graded-bedded sandy conglomerate and parallel-bedded siltstone, FA9, Kushanhe section, J_{2y}; (m) flute casts, FA9, Tongyouluke section, J_{2y}; (n) reddish-brown mudstone and trough cross-bedded coarse sandstone in equal-thickness deposits, FA10, Kangsu section, J_{1k}; (o) vertically stacked sand bodies, FA11, Kangsu section, J_{1k}

4.2 沉积相类型

4.2.1 冲积扇

冲积扇是沉积物在地势高、坡度大的地貌背景下快速堆积形成的陆上沉积体。根据沉积物特征差异,可将其划分为扇根、扇中、扇缘 3 个亚相。洪水期和间洪期冲积扇沉积物存在明显差异:洪水期多以重力流沉积为主,而间洪期则表现为牵引流沉积特征。扇根主要发育 FA1 岩相组合,且木干剖面莎里塔什组洪水期沉积物以洪流带泥石流沉积的块状中粗砂岩为主,间洪期发育槽间带块状粗砂岩及交错层理粗砂岩(图 10a),横向上连续性差,多呈透镜状产出。库孜贡苏剖面库孜贡苏组扇中岩相组合为 FA2—FA3,洪水期沉积物为片流带平行层理的砾岩,间洪期发育交错层理和递变层理的粗砂岩(图 10b)。扇缘多发育扇缘湿地的块状泥岩。

4.2.2 扇三角洲

扇三角洲是冲积扇进入稳定水体中形成的沉积体,主要发育平原和前缘 2 个亚相。奥依塔克剖面杨叶组扇三角洲平原岩相组合为 FA4,底部为杂基含量高、分选差的中砾岩,上部发育槽状交错层理中—细砂岩及递变层理的砂砾岩(图 10c)。与辫状河三角洲平原相比,扇三角洲平原砾岩的砾径更大,结构成熟度和成分成熟度更低。扇三角洲前缘发育细砾岩和楔状、槽状交错层理粗砂岩,内部具有多期冲刷界面,砂砾岩沉积规模较平原相小,砾石磨圆较好且具定向性,泥质杂基含量较少,砂砾岩夹层中的泥岩颜色多呈黑色、灰黑色(图 10d)。

4.2.3 辫状河三角洲

辫状河三角洲是沉积物在地势较低、坡度较缓的地貌背景下进入稳定水体中形成的沉积体。根据泥岩颜色以及煤层发育特征,研究区辫状河三角洲可划分为平原和前缘 2 个组成部分,前辫状河三角洲因与湖相泥岩难以区分,故未单独划分。辫状河三角洲平原可进一步划分为分流河道和分流河道间 2 个微相。且木干剖面康苏组分流河道发育碎屑颗粒分选中等且

磨圆较好的递变层理的砂砾岩，底部冲刷构造发育，砂岩厚度小于 1 m（图 10e），岩相组合为 FA4；分流河道间以灰色泥岩夹煤层为主。辫状河三角洲前缘可识别出水下分流河道、支流间湾及河口坝 3 种沉积微相。支流间湾位于水下分流河道之间的低能环境，岩性主要为中薄层灰黑色泥岩。以反修煤矿剖面侏罗系杨叶组为例，水下分流河道发育交错层理中细砂岩（图 9f），砂岩分选较好，磨圆为次圆状，岩相组合为 FA5；河口坝位于分流河道河口处，沉积粒度呈下细上粗的反旋回，岩性由分选好的细砂和粉砂岩组成。

4.2.4 湖泊与湖底扇

研究区侏罗系湖泊相可划分为滨浅湖和半深湖 2 种亚相类型。滨浅湖亚相位于正常浪基面之上，进一步分为**滨岸沼泽**、**滨浅湖泥**和**滩坝** 3 种微相。滨岸沼泽发育于湖盆边缘滨湖滞留水体中，以悬浮沉积的泥质物质为主要特征，岩性为灰黑色碳质泥岩夹煤层，缺乏氧化色泥岩沉积，岩相组合为 FA12。滨浅湖泥微相岩相组合为 FA13，岩性以厚层块状杂色和灰色泥岩或粉砂质泥岩为主。**滩坝**发育在滨岸沼泽和正常的**滨浅湖**环境，砂岩顶底界面平直且无典型的冲刷特征，波痕构造极为发育（图 9h），砂岩中常见**砂纹**交错层理、平行层理和块状构造。滨岸沼泽环境下的**滩坝**顶底界面偶见植物化石，与灰黑色碳质泥岩和煤层共生（图 9g），岩相组合为 FA7；正常的滨浅湖环境下的滩坝岩相组合为 FA8。半深湖泥为正常浪基面之下的静水沉积产物，岩性为灰黑色**水平层理**泥岩和泥页岩，岩相组合为 FA14。

半深湖沉积环境中可识别出**滑塌成因的湖底扇**沉积，主要发育于阿克陶断陷缓坡带的同由路克剖面和库山河剖面杨叶组，以粉—细砂岩与深水暗色泥岩伴生为主要鉴别特征。砂岩中可见包卷层理等同沉积变形构造、块状构造及递变层理和平行层理发育的不完整的鲍马序列 T_{ab} 段（图 9i），砂岩**整体**颗粒分选较差，为外扇席状朵叶沉积环境，岩相组合为 FA9。

4.2.5 曲流河与辫状河

曲流河和辫状河仅发育在库孜贡苏断陷次洼的康苏剖面康苏组。曲流河底部发育河床滞留沉积的粗砂岩，上部边滩可见槽状交错层理的中细砂岩及泛滥平原的红褐色泥岩，具有典型的河流“二元结构”特征（图 9n），岩相组合为 FA10。辫状河纵向上表现为多个下细上粗的正韵律叠置而成的复合旋回（图 10f），呈现“砂包泥”的沉积特征，单层砂体厚度为 0.25~1 m。底部为河床滞留沉积的含砾粗砂岩，与下部的泥岩呈突变接触，上部发育反韵律且层理丰富的心滩粗砂岩，顶部为河漫红褐色泥岩或灰黑色碳质泥岩形成的沼泽沉积，整体上砂岩底部冲刷构造极为发育，岩相组合为 FA11。

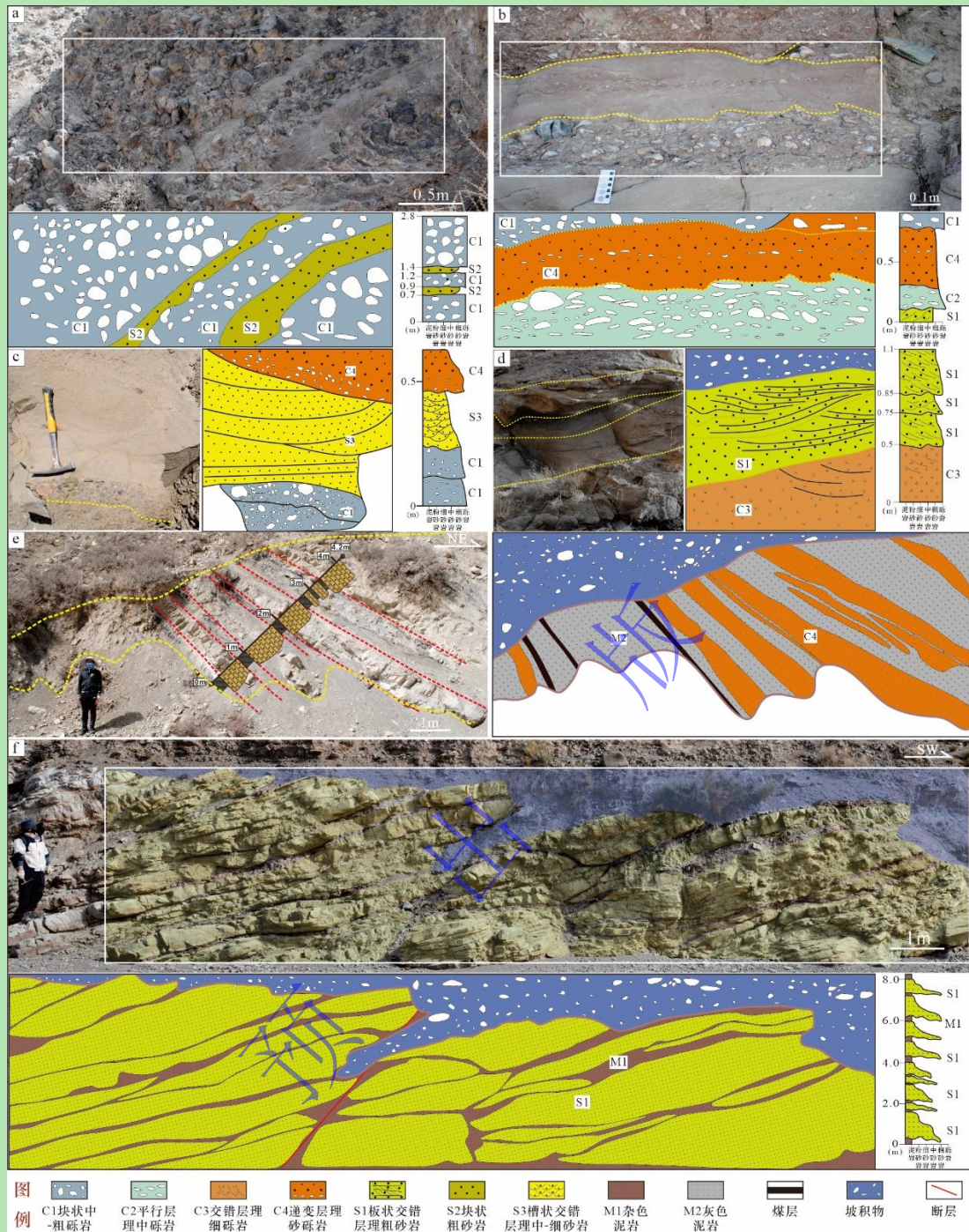


图 10 塔西南山前地区侏罗系主要沉积体系解析

(a) 冲积扇扇根, 且木干剖面, J_{1s} ; (b) 冲积扇扇中, 库孜贡苏剖面, J_{3k} ; (c) 扇三角洲平原, 奥依塔克剖面, J_{2y} ; (d) 扇三角洲前缘, 库孜贡苏剖面, J_{2y} ; (e) 辫状河三角洲平原, 且木干剖面, J_{1k} ; (f) 辫状河, 康苏剖面, J_{1k}

Fig.10 Major Jurassic sedimentary systems in piedmont area, southwestern Tarim Basin

(a) proximal alluvial fan, Qimgan Section, J_{1s} ; (b) mid-alluvial fan, Kuzigongsu Section, J_{3k} ; (c) fan-delta plain, Oytagek Section, J_{2y} ; (d) fan-delta front, Kuzigongsu Section, J_{2y} ; (e) braided river delta plain, Qimgan Section, J_{1k} ; (f) braided river, Kangsu Section, J_{1k}

5 沉积相展布特征

5.1 剖面相对比分析

本次研究重点选取了阿克陶断陷和库孜贡苏断陷具有代表性的剖面和部分单井进行垂直物源方向的剖面相对比分析,进一步揭示沉积体系发育规律及纵向演化特征。阿克陶断陷选取了玛尔坎苏河剖面、且木干剖面、阿依尕尔特达坂剖面、盖孜河剖面、库山河剖面、依格孜牙剖面、同由路克剖面、YD1井,库孜贡苏断陷选取乌鲁克恰提剖面、库克拜剖面、吾合沙鲁北剖面、反修煤矿剖面、康苏剖面、杨叶剖面、KS6井、库孜贡苏剖面。

5.1.1 阿克陶断陷

基于沉积特征的差异,阿克陶断陷可划分为且木干和阿克陶两个次级洼陷(图11a)。其中,且木干地区邻近造山带物源区,以粗粒沉积为典型特征,阿克陶地区为断陷沉积中心,地层厚度相对较大(图11a)。阿克陶断陷莎里塔什组沉积范围局限,仅在且木干剖面和盖孜河剖面有所出露,自下而上呈现由洪流带、片流带和槽间带构成的冲积扇扇根亚相向扇中的辫状流沟含砾粗砂岩的相变,显示出退积式的叠加样式,反映了沉积基准面上升的过程。康苏组沉积范围的扩大和砂地比的降低指示了相对湖平面的上升,以辫状河三角洲沉积为主,其中且木干地区表现为多期平原分流河道的垂向叠置,而阿克陶地区因物源供给受限,主要发育薄层的平原分流河道及前缘水下分流河道砂体。杨叶组沉积期,且木干地区的且木干剖面发育冲积扇扇中辫状流沟夹扇根洪流带砂砾岩,奥依塔克和盖孜河剖面则以扇三角洲平原分流河道沉积为主,整体呈现先退积后进积的叠加样式;阿克陶地区的库山河剖面发育半深湖灰黑色泥页岩与湖底扇外扇席状朵叶薄层砂岩的互层沉积,反映了相对湖平面的上升,缓坡带仅局部地区发育辫状河/扇三角洲前缘水下分流河道砂体。至塔尔尕组沉积期,且木干地区转变为冲积扇扇根洪流带和扇三角洲平原沉积,地层厚度明显减薄;阿克陶地区则广泛发育滨浅湖杂色泥岩夹薄层粉砂岩(滩坝沉积),指示了相对湖平面的下降。库孜贡苏组沉积期,阿克陶断陷普遍发育冲积扇扇中辫状流沟和扇三角洲平原分流河道沉积,标志着沉积基准面的进一步下降。综合来看,阿克陶断陷的阿克陶地区经历了辫状河三角洲—湖泊—冲积扇的演化过程,对应湖盆水体由浅变深再变浅的过程;而且木干地区表现为冲积扇—辫状河三角洲—冲积扇/扇三角洲的演化序列,显示出更显著的近源沉积特征。

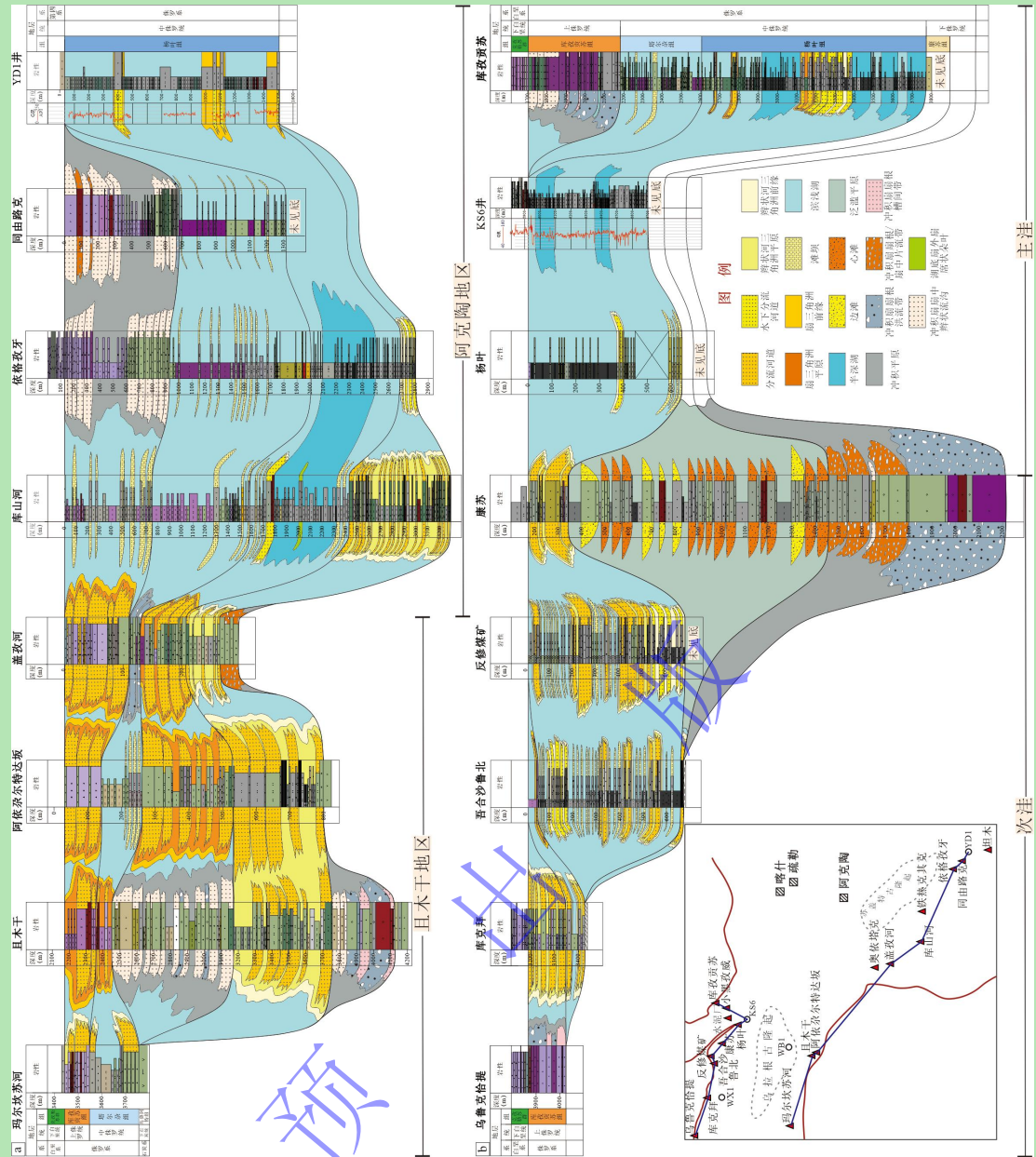


图 11 塔西南山前地区侏罗系剖面相对比图

(a) 阿克陶断陷 (注: 因地层厚度差异较大, 纵向比例尺并不统一); (b) 库孜贡苏断陷

Fig.11 Comparative Jurassic sedimentary facies profiles in the piedmont area, southwestern Tarim Basin

(a) Aketao Fault Depression (Note: Due to significant variations in stratigraphic thickness, the vertical scale is not uniform); (b)

Kuzigongsu Fault Depression

5.1.2 库孜贡苏断陷

库孜贡苏断陷侏罗系存在主洼和次洼两个沉积中心 (图 11b)。莎里塔什组沉积期, 主洼沉积厚度达数千米, 而次洼的康苏剖面沉积了 696 m 厚的冲积扇扇根洪流带一片流带砾岩, 整体上呈现退积特征。康苏组沉积期, 沉积范围向次洼西部超覆至吾合沙鲁北剖面, 康苏剖面发育 755 m 厚的辫状河边滩和曲流河心滩砂体, 夹有多期泛滥平原泥质沉积。杨叶组沉积期, 主洼库孜贡苏剖面发育的半深湖泥岩和页岩, 指示相对湖平面上升, 在浅水期发育辫状

河/扇三角洲前缘水下分流河道砂体；次洼沉积范围继续向西部扩展至库克拜剖面，北部发育西天山供源的辫状河三角洲平原分流河道砂体，康苏剖面砂岩层底部的波痕构造指示浅水沉积环境。受后期构造抬升影响，塔尔尕组至库孜贡苏组分布局限，塔尔尕组的滨浅湖杂色泥岩揭示了沉积基准面的下降，至库孜贡苏组沉积期，整体以退积型冲积扇根洪流带和扇中辫状流沟沉积为主，标志着基准面进一步下降。整体上，主洼经历了冲积扇—湖泊—冲积扇的演化过程，反映水体由浅到深再到浅的变化过程；而次洼则经历了冲积扇—曲流河/辫状河—辫状河三角洲—冲积扇的演化过程，湖盆始终维持浅水的沉积特征。

5.2 沉积相平面展布

基于物源分析、沉积相类型识别与划分以及剖面相对比分析研究，结合地震属性图等资料，系统编制了研究区侏罗系各组沉积相平面图，揭示了各层位沉积相的空间展布特征。

5.2.1 莎里塔什组

莎里塔什组沉积期湖盆具有“水体浅、多沉降中心、分布局限”的特征，主要发育冲积扇沉积。三叠纪末造山带的隆升导致西昆仑山前物源供给充足，陡坡带主要发育冲积扇—扇三角洲沉积体系，仅 FS8 井区发育转换带控制的远源辫状河三角洲，其前缘可延伸至湖盆中心（黎立等，2025）；甫沙断陷柯东地区北部缓坡带发育点状物源的辫状河三角洲，湖泊呈狭长带状分布，棋盘地区北部陆源碎屑供给匮乏（图 12a），难以形成规模砂体。阿克陶断陷缓坡带发育斜坡区局部古隆起供源的冲积扇（图 12a）。西天山前库孜贡苏断陷主洼和次洼则沉积了北部西天山供源的厚层冲积扇砾岩（图 12a）。

5.2.2 康苏组

康苏组沉积期湖平面上升，湖盆范围显著扩大（图 12b），但西昆仑山前甫沙断陷的柯东地区、棋盘地区以及阿克陶断陷的且木干地区和阿克陶地区的湖盆仍保持分隔状态（图 12b）。西昆仑山前陡坡带发育冲积扇—扇三角洲沉积体系，局部发育转换带控制的辫状河三角洲；甫沙断陷北部缓坡带广泛发育滨岸沼泽沉积；阿克陶断陷北部缓坡带则发育冲积扇、辫状河三角洲、滨岸沼泽及滩坝等多种类型的沉积体系（图 12b）。西天山前库孜贡苏断陷次洼北部为辫状河三角洲沉积，南部康苏剖面发育曲流河—辫状河沉积（图 12b）。

5.2.3 杨叶组

杨叶组沉积期湖平面急剧上升，湖盆沉积区范围扩张至最大（图 12c）。西昆仑山前侏罗系呈连续条带状分布，广泛发育半深湖泥岩（图 12c）。西昆仑山前陡坡带继承性发育退积型冲积扇—扇三角洲沉积体系，转换带控制的辫状河三角洲规模显著减小；甫沙断陷缓坡带发育小规模辫状河三角洲；阿克陶断陷缓坡带辫状河三角洲和扇三角洲面积缩减，同时

发育滑塌型湖底扇、**滩坝**及滨岸沼泽沉积（图 12c）。西天山前库孜贡苏断陷主洼沉积范围向西扩展至次洼，湖盆边缘发育扇三角洲平原—滨岸沼泽—滨浅湖滩坝沉积体系；次洼地层持续向西超覆，山前发育退积型辫状河三角洲（图 12c）。

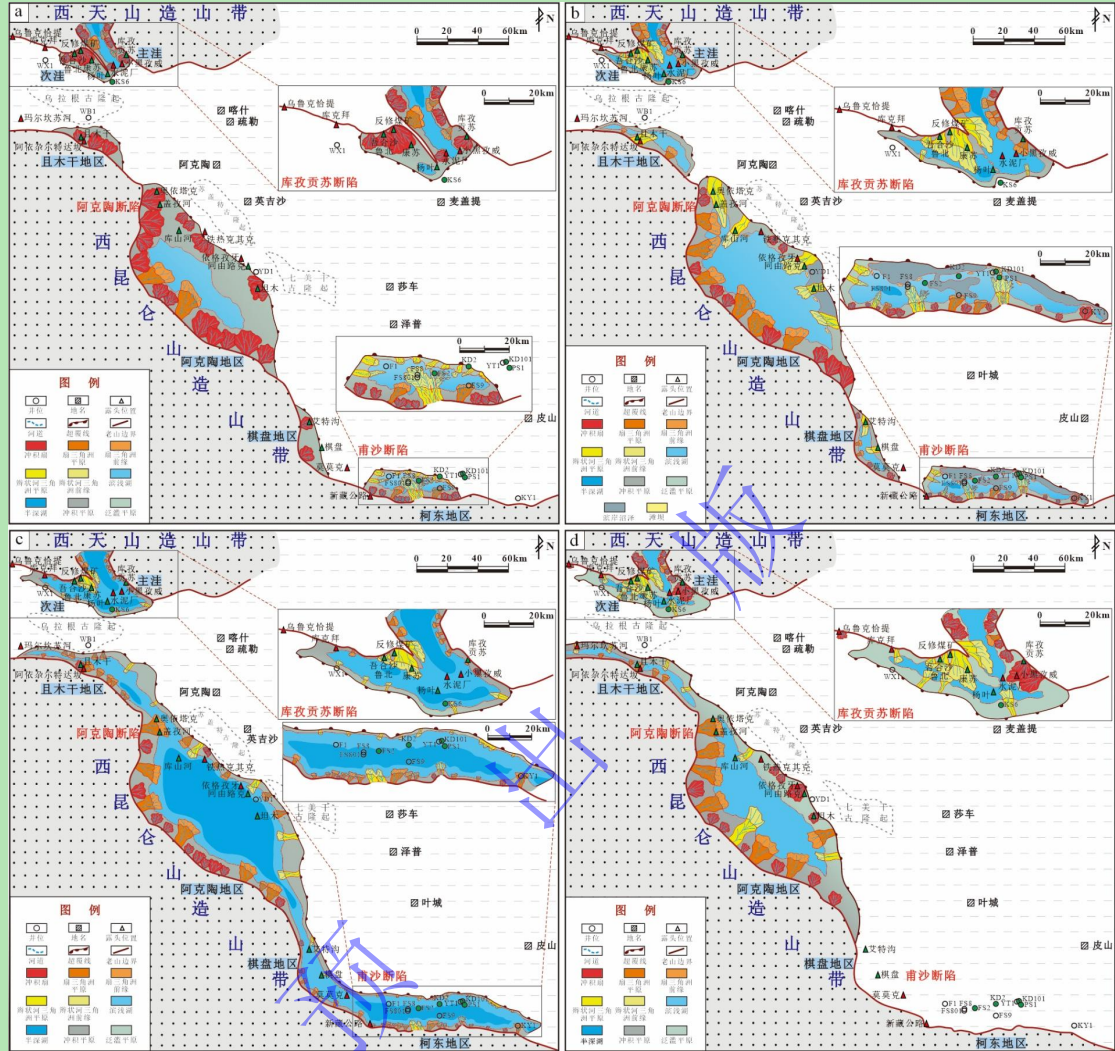


图 12 塔西南山前地区侏罗系沉积相平面图（绿色标记为本次研究精细解剖的井位和露头）

(a) 莎里塔什组；(b) 康苏组；(c) 杨叶组；(d) 库孜贡苏组

Fig.12 Jurassic sedimentary facies in the piedmont area, southwestern Tarim Basin (green markers indicate wells and outcrops subjected to detailed analysis in this study)

(a) Shalitashi Formation; (b) Kangsu Formation; (c) Yangye Formation; (d) Kuzigongsu Formation

5.2.4 塔尔杂组

塔尔杂组沉积期湖盆水体变浅，沉积区范围逐渐萎缩，以杂色泥岩夹薄层粉—细砂岩的滨浅湖沉积为主。

5.2.5 库孜贡苏组

库孜贡苏组沉积期湖盆沉积范围持续萎缩，物源供给充足（图 12d）。西昆仑山前甫沙断陷侏罗系遭受全面剥蚀，阿克陶断陷陡坡带和缓坡带均发育冲积扇—扇三角洲沉积体系，

湖泊维持滨浅湖沉积环境（图 12d）。西天山前库孜贡苏断陷主洼发育冲积扇沉积，次洼山前为辫状河三角洲沉积，湖泊相带范围缩小，泛滥平原面积扩大（图 12d）。

6 沉积演化模式

塔西南山前地区侏罗纪为断陷湖盆发育阶段，物源主要来自西昆仑山和西天山，斜坡区的盆缘古隆起供源有限，垂向上构成了一个完整的湖侵—湖退旋回。晚三叠世末期板块碰撞导致西昆仑山快速隆升，叠加了长期的风化剥蚀作用，为侏罗系早期沉积提供了充足的物质来源。莎里塔什组沉积期的干旱气候条件（钟大康等，2002）进一步促进了母岩的风化，使西昆仑山前广泛发育近源冲积扇—扇三角洲沉积体系，陡坡带控陷断层活动的差异性使得局部地区发育辫状河三角洲（图 13a）。其中甫沙断陷柯东地区的重点勘探层系莎里塔什组可划分为上、中、下三个亚段，地层呈现自西向东超覆减薄的发育特征，伴随着湖盆持续扩张和湖平面的上升，构造转换带控制的辫状河三角洲扇体规模逐渐增大（黎立等，2025）。裂陷活动的差异性导致西昆仑山前莎里塔什组分布局限且地层厚度变化显著，沿山前形成了多个沉降中心。总体上来看，西昆仑山前莎里塔什组具有初始断陷期的沉积充填特征。西天山前莎里塔什组沉积时期，控制库孜贡苏断陷发育的塔拉斯—费尔干纳走滑断裂活动强烈（De Pelsmaecker *et al.*, 2018），可容空间大，在主洼塔塔村附近沉积了厚达 2 400 m 的扇根砾岩（曾昌民等，2007）。次洼裂陷活动强烈，盆地呈现“北东断、西南超”的箕状断陷特征（吴鸿翔，2018），充填了由西天山供源的冲积扇砾岩，形成主洼和次洼两大沉积中心（图 13a）。

康苏组沉积期广泛发育的煤层及库孜贡苏断陷次洼康苏剖面的孢粉化石指示了温暖湿润的古气候条件（钟大康等，2002）。受西昆仑山前裂陷活动及气候因素的影响，湖平面持续上升，陡坡带继承了莎里塔什组的沉积格局，甫沙断陷柯东地区南部控陷断层向东延伸至 KY1 井附近（黎立等，2025），缓坡带发育滨岸沼泽和滩坝沉积；阿克陶断陷缓坡带周缘古隆起供源形成冲积扇和扇三角洲，地形平坦区发育辫状河三角洲，局部地区出现滨岸沼泽和滩坝沉积，整体处于强烈断陷早期阶段。西天山前库孜贡苏断陷主洼湖平面上升；次洼北部裂陷活动向西扩展，地层向西超覆，形成辫状河三角洲沉积；次洼南部康苏剖面经莎里塔什组沉积期冲积扇砾岩的填平补齐过程，地貌趋于平缓，发育曲流河和辫状河河道砂体。

杨叶组沉积期研究区经历了快速湖侵的过程，三大断陷继承了康苏组的沉积格局（图 13b）。西昆仑山前裂陷活动增强导致可容空间快速增大，甫沙断陷与阿克陶断陷湖盆连通，主要沉积半深湖灰黑色泥岩和泥页岩，代表山前地区进入强烈断陷晚期阶段。阿克陶断陷阿克陶地区缓坡带的沉积明显受湖平面变化的控制，深水期北部供源形成滑塌型湖底扇，浅水

期**滩坝**—**滨岸沼泽**交替发育。库孜贡苏断陷主洼在浅水弱物源期形成**滨岸沼泽**和**滩坝**沉积，强物源期则发育扇三角洲，深水期则以半深湖沉积为主。次洼山前裂陷活动持续西扩，显著影响了区域沉积格局演化。塔尔尕组沉积期表现为快速湖退过程，沉积基准面下降，全区发育厚层杂色泥岩，反映了半干旱—半湿润气候条件，标志着断陷湖盆的演化进入了断—**拗转**换阶段。

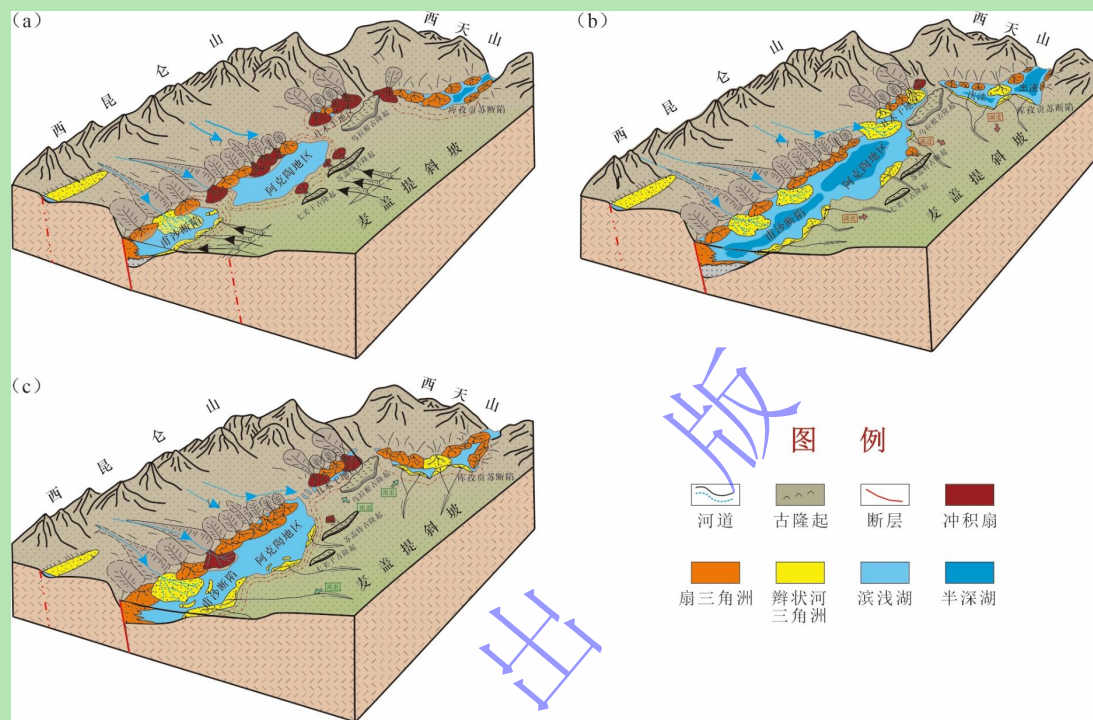


图 13 塔西南山前地区侏罗系沉积演化模式

(a) 莎里塔什组+康苏组；(b) 杨叶组；(c) 库孜贡苏组

Fig.13 Model of Jurassic sedimentary evolution in the piedmont area, southwestern Tarim Basin

(a) Shalitashi Formation and Kangsu Formation; (b) Yangye Formation; (c) Kuzigongsu Formation

库孜贡苏组沉积期，甫沙断陷侏罗系遭受全面剥蚀，库孜贡苏组与塔尔尕组之间在西昆仑山前表现为平行不整合接触，而在西天山前呈微角度不整合接触（吴鸿翔，2018）。沉积物以红色粗粒碎屑岩建造为主，代表了氧化沉积环境，同时孢粉组合中 *Classopollis* 含量显著增加指示干旱的气候条件（钟大康等，2002）。这一不整合界面和沉积建造表明了晚侏罗世塔西南山前地区发生了一次构造抬升事件，而低温热年代学的证据也证明了这一观点（廖晓，2018）。晚侏罗世这一沉积建造可能是欧亚板块南部边缘拉萨地体拼合形成的远程挤压作用和区域性干旱事件共同作用的结果（Hendrix, 2000; Jolivet *et al.*, 2013; De Pelsmaecker *et al.*, 2018）。构造挤压引起盆地基底的隆升和湖平面的下降，在干旱氧化的环境之下，周缘造山带遭受强烈的风化剥蚀，陆源碎屑输入量的增加促使冲积扇大规模发育，标志着断陷湖盆进入了发育末期（图 13c）。

7 结论

(1) 塔西南山前地区侏罗系物源主要来自西昆仑山和西天山。其中, 甫沙断陷和阿克陶断陷物源来自南部西昆仑山和北部斜坡区: 甫沙断陷南部物源主要来自北昆仑和南昆仑地体的上元古界基底变质岩、奥陶系—志留系花岗岩及其再旋回沉积岩, 北部物源主要来自元古界变质岩和二叠系沉积岩; 阿克陶断陷南部物源主要为北帕米尔三叠系喷出岩, 北部则来自上元古界基底变质岩、奥陶系—志留系花岗岩及其再旋回的泥盆系—二叠系沉积岩。库孜贡苏断陷侏罗系物源主要来自西天山造山带, 包括元古界基底变质岩、奥陶系—中志留统岩漿岩以及石炭系—下二叠统花岗岩。

(2) 塔西南山前地区侏罗系识别出 14 种岩相及 7 种沉积相类型, 揭示了冲积扇、扇三角洲、辫状河三角洲、湖泊、湖底扇、辫状河和曲流河沉积体系的发育特征。早—中侏罗世, 西昆仑山前甫沙断陷和阿克陶断陷经历了从初始断陷期到强烈断陷期, 再到断—拗转换期的演化过程, 地层沉积范围由局限分布到连片发育。南部陡坡带以冲积扇—扇三角洲沉积为主, 北部缓坡带则发育小型辫状河三角洲和扇三角洲, 康苏组沉积期受气候条件影响, 缓坡带局部存在滨岸沼泽沉积。

(3) 西天山前库孜贡苏断陷在早—中侏罗世控陷断层持续活动, 主洼发育冲积扇—扇三角洲沉积体系, 次洼被早期的莎里塔什组砾岩填平补齐, 以辫状河和曲流河沉积为主, 反映了断陷盆地沉积演化的差异性。晚侏罗世, 受欧亚板块南部边缘拉萨地体拼合形成的远程挤压作用的影响, 塔西南山前地区盆地基底隆升导致甫沙断陷的侏罗纪地层被剥蚀殆尽, 西昆仑和西天山两大山系的构造抬升加之干旱的气候条件使得物源供给充足, 广泛发育冲积扇沉积, 标志着断陷湖盆演化进入了末期发育阶段。

致谢 感谢三位审稿专家及编辑部老师对本文提出的宝贵意见!

参考文献 (References)

- 陈延贵, 吴鸿翔, 张亮, 等. 2018. 西昆仑山前晚三叠世古构造特征及对侏罗—白垩纪沉积的控制[J]. 地质科学, 53(4): 1405-1418. [Chen Yangui, Wu Hongxiang, Zhang Liang, et al. 2018. Characteristics of the Late Triassic paleo-structure in the mountain front region of western Kunlun and its control of Jurassic-Cretaceous deposition[J]. Chinese Journal of Geology, 53(4): 1405-1418.]
- 程晓敢, 陈汉林, 师骏, 等. 2012. 西昆仑山前侏罗—白垩系分布特征及其控制因素[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 37(4): 635-644. [Cheng Xiaogan, Chen Hanlin, Shi Jun, et al. 2012. Distribution characteristics and controlling factors of Jurassic-Cretaceous in the front of West Kunlun mountains[J]. Earth Science: Journal of China University of Geosciences, 37(4): 635-644.]
- 程晓敢, 吴鸿翔, 李勇, 等. 2019. 西昆仑山前印支运动期构造对后期构造和沉积的影响[J]. 新疆石油地质, 40(1): 27-33. [Cheng Xiaogan, Wu Hongxiang, Li Yong, et al. 2019. Influences of indosinian structures on later structural deformation and sedimentation in piedmont of western Kunlun Mountains[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 40(1): 27-33.]

- 董小龙, 胡修棉, 郭荣华, 等. 2022. 河流砂屑统计方法的对比实验研究[J]. 沉积学报, 40 (4): 871-882. [Dong Xiaolong, Hu Xiumian, Guo Ronghua, et al. 2022. Comparative experimental research on detrital statistics of river sand[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 40(4): 871-882.]
- 杜世涛, 田继军, 李佳秀, 等. 2017. 塔西南中-下侏罗统层序地层特征与聚煤规律[J]. 煤田地质与勘探, 45 (6): 7-13. [Du Shitao, Tian Jijun, Li Jiashou, et al. 2017. Sequence stratigraphy characteristics and coal accumulation law in Mid-Lower Jurassic in southwest Tarim[J]. Coal Geology & Exploration, 45(6): 7-13.]
- 方爱民, 马建英, 王世刚, 等. 2009. 西昆仑-塔西南拗陷晚古生代以来的沉积构造演化[J]. 岩石学报, 25 (12): 3396-3406. [Fang Aimin, Ma Jianying, Wang Shigang, et al. 2009. Sedimentary tectonic evolution of the southwestern Tarim Basin and west Kunlun orogen since Late Paleozoic[J]. Acta Petrologica Sinica, 25(12): 3396-3406.]
- 方维萱, 王磊, 郭玉乾, 等. 2018. 新疆萨热克巴依盆内构造样式及对萨热克大型砂砾岩型铜矿床控制规律[J]. 地学前缘, 25 (3): 240-259. [Fang Weixuan, Wang Lei, Guo Yuqian, et al. 2018. Tectonic patterns in the Sarekebayi apart-pull Basin and their ore-controlling regularities for the Sareke glutenite-type copper deposit in Xinjiang, China[J]. Earth Science Frontiers, 25(3): 240-259.]
- 何登发, 李洪辉. 1998. 塔西南拗陷油气勘探历程与对策[J]. 勘探家, 3(1): 37-42. [He Dengfa, Li Honghui. 1998. History and counter measures of petroleum exploration in Tarim South-west Depression[J]. Petroleum Explorationist, 3(1): 37-42.]
- 何登发, 李德生, 何金有, 等. 2013. 塔里木盆地库车坳陷和西南拗陷油气地质特征类比及勘探启示[J]. 石油学报, 34 (2): 201-218. [He Dengfa, Li Desheng, He Jinyou, et al. 2013. Comparison in petroleum geology between Kuqa Depression and Southwest Depression in Tarim Basin and its exploration significance[J]. Acta Petrologica Sinica, 34(2): 201-218.]
- 霍海龙. 2019. 西南天山晚古生代构造变形与岩浆作用[D]. 北京: 中国地质科学院, 1-181. [Huo Hailong. 2019. Late Paleozoic tectonic evolution and magmatism of Southwest Tianshan, Northwest China[D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences, 1-181.]
- 金之钧, 吕修祥. 2000. 塔西南前陆盆地油气资源与勘探对策[J]. 石油与天然气地质, 21(2): 110-113, 117. [Jin Zhijun, Lü Xiuxiang. 2000. Hydrocarbon resources and exploration strategy of foreland basins in southwest Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 21(2): 110-113, 117.]
- 黎立, 孙春燕, 董尧, 等. 2025. 塔西南山前地区甫沙断陷侏罗系物源与沉积相[J]. 古地理学报, 27(4): 870-885. [Li Li, Sun Chunyan, Dong Yao, et al. 2025. Provenance and sedimentary facies of the Jurassic in Fusha Fault Depression, the piedmont area of southwest Tarim Basin[J]. Journal of Palaeogeography (Chinese Edition), 27(4): 870-885.]
- 李文厚. 1998. 塔西南拗陷侏罗系的扇三角洲沉积[J]. 沉积学报, 16 (2): 150-153. [Li Wenhou. 1998. Fan delta deposits in Jurassic in the Depression of the SW Tarim Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 16(2): 150-153.]
- 廖林, 程晓敢, 王步清, 等. 2010. 塔里木盆地西南缘中生代沉积古环境恢复[J]. 地质学报, 84 (8): 1195-1207. [Liao Lin, Cheng Xiaogan, Wang Buqing, et al. 2010. Reconstruction of Mesozoic sedimentary paleoenvironment in the southwestern Tarim Basin, northwestern China[J]. Acta Geologica Sinica, 84(8): 1195-1207.]
- 廖晓. 2018. 塔里木盆地西南拗陷中新代构造演化特征及对油气成藏的控制作用[D]. 西安: 西北大学, 1-138. [Liao Xiao. 2018. Meso-Cenozoic tectonic evolution characteristics and its controlling effects on hydrocarbon accumulation in the Southwest Depression of Tarim Basin[D]. Xian: Northwest University, 1-138.]
- 刘海兴, 秦天西, 杨志勇. 2003. 塔里木盆地三叠-侏罗系沉积相[J]. 沉积与特提斯地质, 23 (1): 37-44. [Liu Haixing, Qin Tianxi, Yang Zhiyong. 2003. Sedimentary facies of the Triassic-Jurassic strata in the Tarim Basin, Xinjiang[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 23(1): 37-44.]
- 刘兆生. 2002. 塔里木盆地侏罗纪孢粉植物地理区系[J]. 地层学杂志, 26 (1): 18-26. [Liu Zhaosheng. 2002. Jurassic palynofloral Provinces of Tarim Basin[J]. Journal of Stratigraphy, 26(1): 18-26.]
- 卢启业. 2022. 塔西南中生代构造过程及其对古特提斯造山带动力学演化的制约[D]. 杭州: 浙江大学, 1-104. [Lu Qiye. 2022. Mesozoic tectonic process in southwestern Tarim Basin and its constraints on the dynamic evolution of the Paleo-Tethys orogenic belt[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 1-104.]
- 潘裕生. 1990. 西昆仑山构造特征与演化[J]. 地质科学, 25 (3): 224-232. [Pan Yusheng. 1990. Tectonic features and evolution of the

- western Kunlun Mountain region[J]. Chinese Journal of Geology, 25(3): 224-232.]
- 秦都. 2005. 塔里木盆地西南地区侏罗纪原型盆地类型与特征[J]. 石油与天然气地质, 26(6): 831-839. [Qin Du. 2005. Types and characteristics of Jurassic prototype basins in southwestern Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 26(6): 831-839.]
- 隋清霖. 2021. 西昆仑岩浆岩成因及其对原—古特提斯洋演化的指示[D]. 青岛: 中国科学院大学(中国科学院海洋研究所), 1-198. [Sui Qinglin. 2021. Genesis of magmatic rocks in western Kunlun Orogenic Belt and implications on the evolution of Proto-PalaeoTethys Ocean[D]. Qingdao: Chinese Academy of Sciences (Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences), 1-198.]
- 孙铭赫. 2013. 塔西南侏罗系中下统层序地层格架与沉积体系研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 1-65. [Sun Minghe. 2013. The study on sequence stratigraphy and sedimentary system of mid-Lower Jurassic in Southwestern Tarim[D]. Urumqi: Xinjiang University, 1-65.]
- 王建强, 贾楠, 刘池洋, 等. 2011. 鄂尔多斯盆地西南部下白垩统宜君组砾岩砾组分析及其意义[J]. 沉积学报, 29(2): 226-234. [Wang Jianqiang, Jia Nan, Liu Chiyang, et al. 2011. Fabric analysis of Yijun gravels of Lower Cretaceous in the Southwestern Ordos Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 29(2): 226-234.]
- 王清华, 杨海军, 李勇, 等. 2023. 塔西南山前地区恰探1井石炭系一二叠系重大突破与勘探前景[J]. 中国石油勘探, 28(4): 34-45. [Wang Qinghua, Yang Haijun, Li Yong, et al. 2023. Major breakthrough in the Carboniferous-Permian in Well Qitan 1 and exploration prospect in the piedmont southwestern Tarim Basin[J]. China Petroleum Exploration, 28(4): 34-45.]
- 王清华, 杨海军, 李勇, 等. 2024. 塔西南山前地区柯克亚周缘叶探1井油气勘探重大突破及意义[J]. 中国石油勘探, 29(4): 1-16. [Wang Qinghua, Yang Haijun, Li Yong, et al. 2024. Major oil and gas discovery and significance of Well Yetan 1 in the peripheral Kekeya area in the piedmont of the southwestern Tarim Basin[J]. China Petroleum Exploration, 29(4): 1-16.]
- 王招明, 赵孟军, 张水昌, 等. 2005. 塔里木盆地西部阿克莫木气田形成初探[J]. 地质科学, 40(2): 237-247. [Wang Zhaoming, Zhao Mengjun, Zhang Shuichang, et al. 2005. A Preliminary study on Formation of Akemo gas field in the Kashi Sag, Tarim Basin[J]. Chinese Journal of Geology, 40(2): 237-247.]
- 魏小鹏, 王核, 胡军, 等. 2017. 西昆仑大红柳滩二云母花岗岩地球化学和地质年代学研究及其地质意义[J]. 地球化学, 46(1): 66-80. [Wei Xiaopeng, Wang He, Hu Jun, et al. 2017. Geochemistry and geochronology of the Dahongliutan two-mica granite pluton in western Kunlun orogen: Geotectonic implications[J]. Geochimica, 46(1): 66-80.]
- 蔚远江, 杨涛, 郭彬程, 等. 2019. 前陆冲断带油气资源潜力、勘探领域分析与有利区带优选[J]. 中国石油勘探, 24(1): 46-59. [Yu Yuanjiang, Yang Tao, Guo Bincheng, et al. 2019. Oil and gas resources potentials, exploration fields and favorable zones in foreland thrust belts[J]. China Petroleum Exploration, 24(1): 46-59.]
- 吴鸿翔. 2018. 塔西南山前古构造—古地貌特征及对侏罗—白垩系沉积的控制[D]. 杭州: 浙江大学, 1-69. [Wu Hongxiang. 2018. Characteristics of paleostructure in the Mountain Front Region of Southwestern Tarim Basin and its control of Jurassic-Cretaceous deposition[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 1-69.]
- 曾昌民, 马德民, 冯晓军, 等. 2007. 喀什凹陷侏罗纪沉积环境及其对油气成藏的意义[J]. 新疆石油地质, 28(3): 327-331. [Zeng Changmin, Ma Demin, Feng Xiaojun, et al. 2007. Jurassic sedimentary environment and its significance for oil-gas accumulation in Kashi Depression, Tarim Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 28(3): 327-331.]
- 张春生, 肖安成, 李景义, 等. 2000. 塔西南坳陷侏罗系断陷盆地沉积特征[J]. 矿物岩石, 20(3): 41-45. [Zhang Chunsheng, Xiao Ancheng, Li Jingyi, et al. 2000. Depositional feature of Jurassic fault Basin in Southwest Tarim Depression[J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 20(3): 41-45.]
- 钟大康, 朱筱敏, 王贵文, 等. 2002. 塔里木盆地喀什凹陷侏罗纪古环境[J]. 地理学报, 4(4): 47-54. [Zhong Dakang, Zhu Xiaomin, Wang Guiwen, et al. 2002. Paleoenvironments of Jurassic of Kashi Sag in Tarim Basin[J]. Journal of Palaeogeography, 4(4): 47-54.]
- 钟大康, 朱筱敏, 沈昭国, 等. 2003. 塔里木盆地喀什凹陷侏罗系沉积特征及其演化[J]. 地质科学, 38(3): 385-391. [Zhong Dakang, Zhu Xiaomin, Shen Zhaoguo, et al. 2003. Sedimentation and evolution of the Jurassic in the Kashi Depression, Tarim Basin[J]. Chinese Journal of Geology, 38(3): 385-391.]
- 朱世发, 崔航, 陈嘉豪, 等. 2021. 浅水三角洲沉积体系与储层岩石学特征: 以鄂尔多斯盆地西部地区山1—盒8段为例[J]. 沉积学报, 39(1): 126-139. [Zhu Shifa, Cui Hang, Chen Jiahao, et al. 2021. Sedimentary system and sandstone reservoir petrology of a

- shallow water delta: Case study of the Shan-1 and He-8 members in the western Ordos Basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 39(1): 126-139.]
- Arnaud N O. 1992. Apport de la thermochronologie $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ sur feldspath potassique à la connaissance de la tectonique Cenozoïque d'Asie: étude des mécanismes d'accommodation de la collision continentale[D]. Clermont-Ferrand: Université Blaise Pascal, 1-161.
- Bershaw J, Garzione C N, Schoenbohm L, et al. 2012. Cenozoic evolution of the Pamir Plateau based on stratigraphy, zircon provenance, and stable isotopes of foreland Basin sediments at Oytay (Wuyitake) in the Tarim Basin (west China)[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 44: 136-148.
- Cao K, Wang G C, Bernet M, et al. 2015. Exhumation history of the West Kunlun Mountains, northwestern Tibet: Evidence for a long-lived, rejuvenated orogen[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 432: 391-403.
- Chang J, Liu K Y, Yuan W F, et al. 2024. Tectono-sedimentary evolution of the southwestern Tarim Basin in the Cretaceous in response to Basin-range coupling: New insights from Basin and landscape dynamics modeling[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 637: 112017.
- Cui H, Zhu S F, Mountney N P, et al. 2025. Tectonic evolution records closure of the western Kunlun-Pamir Paleo-Tethys Realm: Insights from provenance analyses of Jurassic siliciclastic strata[J]. *The Geological Society of America Bulletin*.
- De Pelsmaecker E, Jolivet M, Laborde A, et al. 2018. Source-to-sink dynamics in the Kyrgyz Tien Shan from the Jurassic to the Paleogene: Insights from sedimentological and detrital zircon U-Pb analyses[J]. *Gondwana Research*, 54: 180-204.
- Hendrix M S. 2000. Evolution of Mesozoic sandstone compositions, southern Junggar, northern Tarim, and western Turpan basins, northwest China: A detrital record of the ancestral Tian Shan[J]. *Journal of Sedimentary Research*, 70(3): 520-532.
- Ingersoll R V, Bullard T F, Ford R L, et al. 1984. The effect of grain size on detrital modes: A test of the Gazzi-Dickinson point-counting method[J]. *Journal of Sedimentary Petrology*, 54(1): 103-116.
- Jolivet M, Heilbronn G, Robin C, et al. 2013. Reconstructing the Late Palaeozoic - Mesozoic topographic evolution of the Chinese Tian Shan: Available data and remaining uncertainties[J]. *Advances in Geosciences*, 37: 7-18.
- Sobel E R. 1999. Basin analysis of the Jurassic - Lower Cretaceous southwest Tarim Basin, northwest China[J]. *GSA Bulletin*, 111(5): 709-724.
- Wu H X, Cheng X G, Chen H L, et al. 2021. Tectonic switch from Triassic contraction to Jurassic-Cretaceous extension in the western Tarim Basin, Northwest China: New insights into the evolution of the Paleo-Tethyan orogenic belt[J]. *Frontiers in Earth Science*, 9: 636383.
- Yang W, Jolivet M, Dupont-Nivet G, et al. 2014. Mesozoic - Cenozoic tectonic evolution of southwestern Tian Shan: Evidence from detrital zircon U/Pb and apatite fission track ages of the Ulugqat area, Northwest China[J]. *Gondwana Research*, 26(3/4): 986-1008.
- Zhang Y, Niu Y L, Hu Y, et al. 2016. The syncollisional granitoid magmatism and continental crust growth in the West Kunlun Orogen, China - Evidence from geochronology and geochemistry of the Arkarz Pluton[J]. *Lithos*, 245: 191-204.

Provenance Characteristics and Sedimentary Evolution of the Jurassic in the Piedmont Area, SW Tarim Basin

DONG Yao^{1,2}, ZHU ShiFa^{1,2}, CUI Hang^{1,2}, SUO YiHu^{1,2}, TONG Huan^{1,2}, MA WeiZe^{1,2}, CHEN Cai³

1. State Key Laboratory of Petroleum Resources and Engineering, China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249, China

2. College of Geosciences, China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249, China

3. Tarim Oilfield Company, PetroChina, Korla, Xinjiang 841000, China

Foundation: 补充翻译

Corresponding author: ZHU ShiFa: zhushifa_zsf@163.com

Abstract: [Objective] A successful breakthrough in the Jurassic strata of Well Fusha 8 in the piedmont area of the southwestern Tarim Basin marks the emergence of a new oil-bearing series, demonstrating promising prospects for oil and gas exploration. Currently, an insufficient understanding of the provenance characteristics and sedimentary evolution of the Jurassic system has become a critical issue constraining oil and gas exploration. [Methods] The research object was the Jurassic in the piedmont area of the southwestern Tarim Basin. Field outcrops, drilling data and other relevant materials were investigated to determine the provenance systems, sedimentary facies types and sedimentary evolution processes of the region. [Results] The Jurassic strata were primarily sourced from the West Kunlun Mountains and the West Tianshan Mountains, with lesser contributions from the slope areas. Two major provenance systems are present in both the Fusha and Aketao Fault Depressions: the southern (West Kunlun Mountains) and the northern (slope area). The Kuzigongsu Fault Depression was mainly sourced from the West Tianshan Mountains. Fourteen lithofacies and fourteen lithofacies associations were found in the Jurassic, with seven sedimentary facies types being determined. The Fusha and Aketao Fault Depressions in the piedmont area of the West Kunlun Mountains evolved during the Lower to Middle Jurassic, progressing from initial rifting to an intense rifting stage, and finally to a rift-sag transition stage. The steep slope zone to the south primarily resulted in the development of alluvial-fan to fan-delta sedimentary systems; the gentle slope zone to the north developed small-scale braided river deltas and fan deltas. Boundary faults remained active during the Lower to Middle Jurassic in the Kuzigongsu Fault Depression anterior to the West Tianshan Mountains. An alluvial-fan to fan-delta sedimentary system developed in the main subdepression, while a secondary subdepression was initially filled and leveled by alluvial fan conglomerates. Rifting activity expanded westward at a later stage, predominantly forming braided- to meandering-river deposits. During the Upper Jurassic, compression and regional aridification triggered basin basement uplift and enhanced sediment supply, resulting in widespread development of alluvial fan deposits across the study area, and marking the terminal stage of rifted lake basin evolution. [Conclusions] Overall, the Jurassic strata in the piedmont area of the southwestern Tarim Basin experienced a transgression during the Lower to Middle Jurassic and a regression during the Middle to Upper Jurassic, reflecting a multi-stage sedimentary evolution. This study not only reconstructed the filling and evolution process of the Jurassic in the region but also provides valuable insights for the paleogeographic reconstruction of sedimentary areas in residual basins.

Key words: Jurassic; provenance analysis; rifted lake basin; sedimentary evolution; sedimentary model; Tarim Basin