



## 新疆昌吉南部侏罗系头屯河组物源与沉积环境分析

罗居德, 刘云华, 夏昭德, 汪帮耀, 范媛媛

长安大学 地球科学与资源学院, 陕西 西安 710054

**摘要:** 在野外勘察和实测剖面的基础上, 运用粒度分析、碳氧同位素分析及多碎屑三角端元分析等方法, 对新疆昌吉南部侏罗系头屯河组进行研究。认为头屯河组主要发育辫状河三角洲前缘亚相以及滨浅湖亚相。碳氧同位素样品结果显示  $^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}$  值均在  $-9\text{‰}$ ~ $-17.3\text{‰}$  之间, 平均  $-13.275\text{‰}$ ,  $^{18}\text{O}_{\text{V-PDB}}$  值在  $-14.2\text{‰}$ ~ $-16.2\text{‰}$  之间, 平均  $-15.425\text{‰}$ ,  $^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$  值在  $-14.2\text{‰}$ ~ $-16.3\text{‰}$  之间, 平均  $-15.05\text{‰}$ , 表明头屯河组砂岩形成于大气淡水成岩环境。成岩压实的温度范围为  $99.26\sim 114.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 埋深在  $4.34\sim 5.23\text{ km}$  之间, 平均  $4.87\text{ km}$ 。物源分析反映其主要为隆升基底、岛弧造山带的构造背景, 并在沉积后期显示为混合物源区。侏罗纪沉积环境由潮湿型气候逐渐向干旱型气候转变, 在头屯河组沉积时期, 沉积环境发生多次弱还原—弱氧化环境与较强氧化环境之间的交替转换。

**关键词:** 头屯河组; 侏罗纪; 沉积相; 沉积环境; 新疆

## SOURCE AND SEDIMENTARY ENVIRONMENT OF JURASSIC TOUTUNHE FORMATION IN SOUTHERN CHANGJI, XINJIANG

LUO Ju-de, LIU Yun-hua, XIA Zhao-de, WANG Bang-yao, FAN Yuan-yuan

School of Earth Sciences and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, China

**Abstract:** The methods of particle analysis, carbon-oxygen isotope and polyclastic triangular end member analysis are used to study the Jurassic Toutunhe Formation in southern Changji of Xinjiang based on field survey and section measuring. It is considered that the braided river delta front subfacies and shore shallow lake subfacies are mainly developed in Toutunhe Formation. The analysis results of carbon and oxygen isotope samples indicate that the sandstones of Toutunhe Formation were formed in meteoric freshwater diagenetic environment, with the compaction temperature of  $99.26\sim 114.1\text{ }^{\circ}\text{C}$  and burial depth of  $4.34\sim 5.23\text{ km}$  (averagely  $4.87\text{ km}$ ). The provenance analysis reflects the tectonic setting of uplifted basement and island arc orogenic belt, showing mixed source in the late sedimentary stage. The Jurassic sedimentary environment changed from moist to arid climate, and alternated between weak reduction-weak oxidation and strong oxidation environment repeatedly during the sedimentary period of Toutunhe Formation.

**Key words:** Toutunhe Formation; Jurassic; sedimentary facies; sedimentary environment; Xinjiang

### 0 前言

准噶尔盆地是中国西北地区典型的再生前陆盆

地, 油气资源丰富, 具有良好的勘探前景, 其中侏罗系头屯河组是重要的含油气层系<sup>[1-4]</sup>。许多学者对准南侏

收稿日期: 2021-05-21; 修回日期: 2021-08-10。编辑: 张哲。

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“新疆昌吉地区 K45E001012 等六幅 1:5 万区域地质调查”(2019-002)。

作者简介: 罗居德(1998—), 男, 硕士研究生, 从事构造地质学和沉积学研究, 通信地址 陕西省西安市长安大学雁塔校区, E-mail//2915711423@qq.com

通信作者: 刘云华(1965—), 男, 博士, 研究员, 从事地质学教学与研究工作, 通信地址 陕西省西安市长安大学雁塔校区, E-mail//zyhliu@chd.edu.cn

罗系地层的沉积相进行了大量研究并取得巨大成果,普遍认为侏罗系主要发育河流相、三角洲相、湖泊相及少量的冲积相<sup>[5-13]</sup>.前人研究表明头屯河组在准噶尔盆地广泛分布,沉积相丰富,沉积体系多样:东部主要发育辫状河三角洲相、辫状河相、湖泊相<sup>[11,14-18]</sup>;中部2、4区块发育曲流河相-曲流河三角洲相-湖泊相沉积体系<sup>[19-20]</sup>;腹部石南地区发育辫状河三角洲相<sup>[21-22]</sup>;南缘发育辫状河相、曲流河相、辫状河三角洲相、扇三角洲相、湖泊相等<sup>[7-8,10-11,23-27]</sup>.

前人虽对准噶尔盆地头屯河组进行大量研究,但多数研究成果的空间范围与时间尺度较大,或针对单

一的沉积特征进行论述,加之陆相沉积横向变化大,三屯河至呼图壁河一带头屯河组沉积相研究较少.因此,笔者通过野外数条路线与实测剖面,结合粒度分析方法,确定三屯河至呼图壁河一带的头屯河组沉积相,并通过C、O同位素数据确定成岩环境,运用多碎屑三角端元分析法,结合碎屑锆石年代学研究讨论沉积物源,以为区域油气勘查工作提供参考.

### 1 区域地质概述

#### 1.1 区域地质背景

新疆昌吉南部地区位于准噶尔盆地南缘(图1),

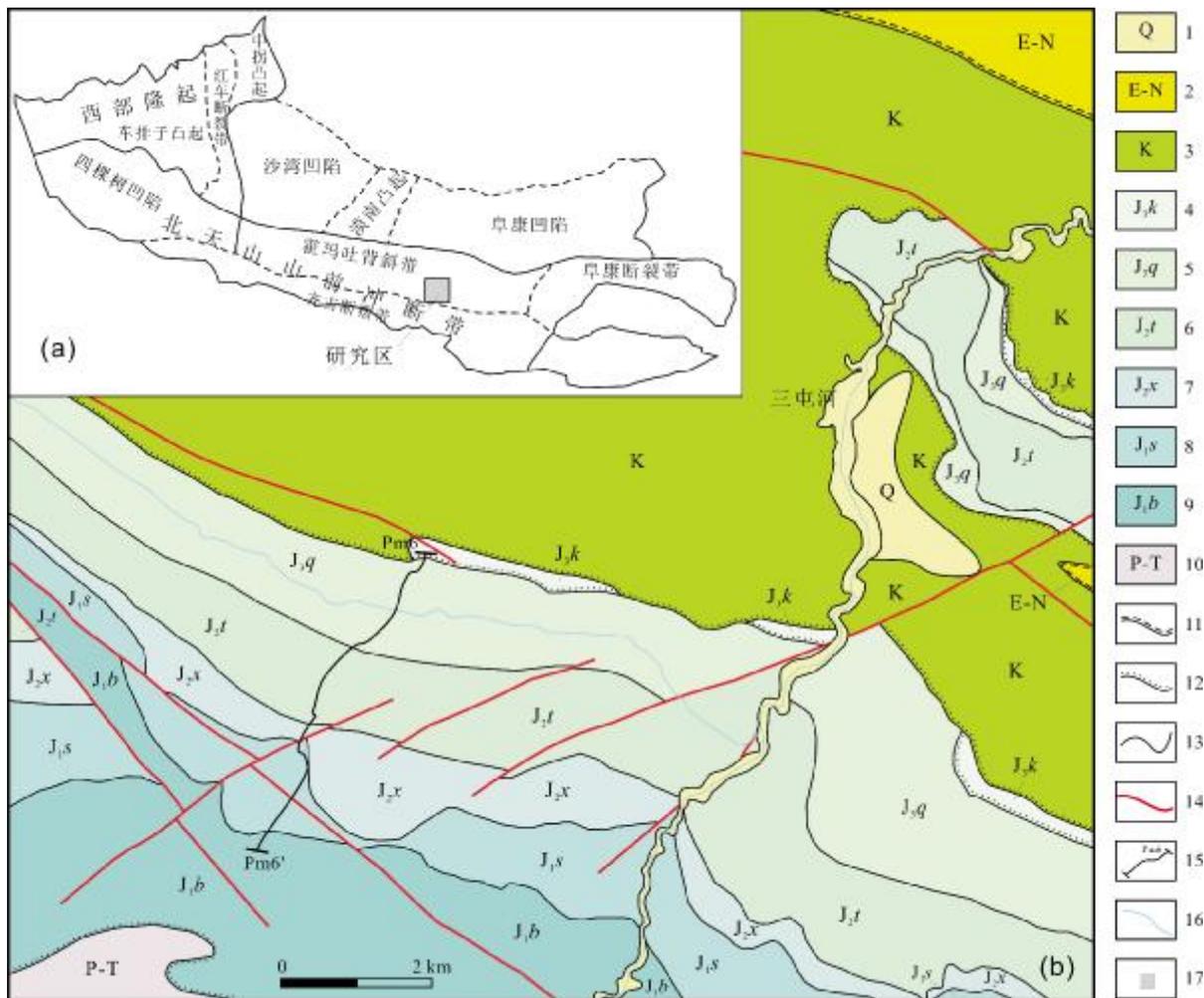


图1 研究区实测地质简图及大地构造位置

Fig. 1 Surveyed geological map and tectonic location of the study area

1—第四系(Quaternary); 2—古近系-新近系(Paleogene-Neogene); 3—白垩系(Cretaceous); 4—喀拉扎组(Kalazha fm.); 5—齐古组(Qigu fm.); 6—头屯河组(Toutunhe fm.); 7—西山窑组(Xishanyao fm.); 8—三工河组(Sangonghe fm.); 9—八道湾组(Badaowan fm.); 10—二叠系-三叠系(Permian-Triassic); 11—平行不整合界线(parallel unconformity); 12—角度不整合界线(angular unconformity); 13—整合接触界线(conformity boundary); 14—断层(fault); 15—剖面位置(section position); 16—河流(river); 17—研究区(study area)

东部为阜康凹陷与阜康断裂带,西部为四棵树凹陷,发育于北天山山前冲断带(图1a)。早泥盆世至晚石炭世,南天山洋向北俯冲导致塔里木克拉通与伊犁克拉通发生由东向西的剪刀式碰撞;北天山洋向南俯冲,北天山岛弧与伊犁-中天山在晚石炭世发生碰撞,碰撞后,天山开始转变为碰撞后伸展环境,准噶尔盆地在此伸展环境下,进入陆缘裂陷盆地阶段<sup>[28-29]</sup>;中生代时期,准噶尔盆地全面进入陆内拗陷阶段<sup>[6,30-34]</sup>,三叠纪—早侏罗世,天山遭受强烈侵蚀进入准平原化,为准南侏罗纪沉积提供了良好的物源<sup>[34-36]</sup>。现今的淮南主要受新生代印度-欧亚板块碰撞的影响,天山强烈隆起,在淮南发育从南到北的三排背斜带,形成再生前陆盆地<sup>[31,36-41]</sup>。

## 1.2 地层剖面描述

头屯河组( $J_2^t$ )位于PM6剖面中部(图1b),三屯河以西,呼图壁河以东。剖面总方位 $25^\circ$ ,起点坐标: $X=15483681$ , $Y=4840882$ ;终点坐标: $X=15485575$ , $Y=4845383$ 。剖面长度5495 m,头屯河组总厚为782.1 m。研究区头屯河组与上覆地层齐古组( $J_3^q$ )、下伏地层西山窑组( $J_2^x$ )均呈整合接触关系(图2)。剖面叙述如下。

上覆地层:上侏罗统齐古组( $J_3^q$ )

整合接触

中侏罗统头屯河组( $J_2^t$ )	782.1 m
120.灰绿色中-厚层状泥质粉砂岩。	32.9 m
119.黄绿色中-厚层状中-细粒长石岩屑砂岩。	3.9 m
118.灰绿色粉砂岩夹黄绿色中-粗粒长石岩屑砂岩,两者比例约为4:1。	64.2 m
117.浅黄绿色中-薄层状中-细粒长石岩屑砂岩,球形风化和斜层理发育。	4.6 m
116.灰绿色中-薄层状粉砂岩。	11.6 m
115.红褐色中-厚层状粉砂质泥岩。	15.9 m
114.红褐色中-厚层状粉砂质泥岩夹浅灰绿色中-薄层状含砾砂岩。	20.1 m
113.红褐色中-厚层状粉砂质泥岩夹黄绿色薄层状含海绿石细粒长石岩屑砂岩。	45.7 m
112.红褐色中-厚层状含海绿石粗粒中粒长石岩屑砂岩。	4.1 m
111.浅灰绿色中-厚层状含砾砂岩,砾石横向上不连续,呈透镜状尖灭。	2.3 m
110.红褐色中-厚层状粉砂质泥岩。	11.2 m
109.浅灰绿色中-厚层状砂质砾岩、中-薄层状含砾砂岩、细砂岩,砾岩厚4 m,含砾砂岩1.3 m,细砂岩1 m,细砂岩交错层理发育。	6.3 m
108.红褐色中-厚层状粉砂质泥岩。	15.4 m
107.浅灰绿色中-厚层状砾岩、含砾砂岩、细砂岩呈韵律层,砂岩发育交错层理。	30.8 m

106.红褐色粉砂质泥岩与浅灰绿色含砾砂岩互层,含砾砂岩发育交错层理。	32.4 m
105.浅灰绿色中-厚层状含砾砂岩,顶部可见厚约1 m的细砂岩,细砂岩中发育斜层理。	13.8 m
104.红褐色粉砂质泥岩夹浅灰绿色中-薄层状中粗粒长石岩屑砂岩,细砂岩中发育交错层理。	30.0 m
103.红褐色中-薄层状粉砂质泥岩,水平层理发育。	15.4 m
102.灰绿色泥质粉砂岩与浅灰绿色中-细粒长石岩屑砂岩互层,砂岩中发育交错层理。	11.7 m
101.紫红色中-薄层状粉砂质泥岩,水平层理发育。	10.0 m
100.浅灰绿色中-厚层状粗中粒长石岩屑砂岩。	4.3 m
99.紫红色中-厚层状粉砂质泥岩夹浅灰绿色中-厚层状细粒长石砂岩互层,互层比例约为3:1,粉砂质泥岩发育水平层理。	22.7 m
98.浅灰绿色厚层状含海绿石细粒长石砂岩,发育波状层理、交错层理和平行层理发育。	1.4 m
97.灰绿色中-薄层状泥质粉砂岩夹灰绿色中-薄层状细粒长石砂岩,泥质粉砂岩水平层理发育。	16.4 m
96.灰绿色中-薄层状中细粒长石砂岩,单层厚度为5~30 cm,发育X节理、交错层理。	4.1 m
95.灰绿色中-薄层状粉砂岩。	2.8 m
94.浅灰绿色中-厚层状中-细粒长石砂岩,含少量砾石,沿冲刷面分布,交错层理发育。	12.2 m
93.紫红色、灰绿色中-薄层状粉砂质泥岩夹灰绿色中-厚层状细粒长石砂岩。	37.7 m
92.黄绿色厚层状细粒长石砂岩。	1.2 m
91.青灰色中-薄层状泥质粉砂岩,水平层理发育。	4.8 m
90.浅土黄色中-厚层状含粗粒中粒长石砂岩,中-粗粒砂岩发育平行层理、斜层理,单层厚度为30~70 cm。	24.1 m
89.灰白色砾岩、含砾砂岩、粉砂岩,形成韵律层,砾岩25 cm、含砾砂岩20 cm、砾岩25 cm、含砾砂岩30 cm、粉砂岩10 cm;含砾砂岩中交错层理发育。	2.2 m
88.浅青灰色砾岩、含砾粗砂岩、细砂岩、粉砂岩,砾岩厚30 cm,含砾粗砂岩厚150 cm,细砂岩厚400 cm,粉砂岩厚20 cm;含砾砂岩中发育交错层理,细砂岩中发育平行层理和波状层理,粉砂岩中发育水平层理。	17.3 m
87.浅青灰色中-薄层状中粒长石砂岩,发育交错层理和平行层理。	3.2 m
86.灰白色巨厚层状中粗粒长石砂岩,主体为中-粗粒含砾砂岩,局部可见砾岩,沿冲刷面分布,滞留沉积的结果;含砾砂岩中发育交错层理、节理,球形风化形成空洞。	10.7 m
85.浅青灰色砾岩、含砾粗砂岩、粗砂岩、中细粒砂岩形成的韵律层,砾岩:含砾粗砂岩:砂岩=1:3:5;含砾粗砂岩中部分砾石沿层理面分布,粗砂岩顶部被砾岩交切,冲刷特征明显,砂岩中发育交错层理。	19.7 m
84.浅青灰色中-厚层状粗砂岩。	2.4 m
83.浅青灰色中层状含砾粗砂岩。	2.5 m
82.浅青灰色中层状砾岩。	2.1 m
81.浅青灰色砾岩、含砾粗砂岩、粗砂岩、细砂岩韵律层,砾岩中砾石粒度	

- 变化不明显,韵律层中总体砾岩少,砂岩多. 7.0 m
- 80.浅青灰色中-厚层状中粗粒砂岩. 4.2 m
- 79.浅青灰色中层状含砾粗砂岩. 2.1 m
- 78.灰白色粗粒长石砂岩,槽模发育. 5.6 m
- 77.黄绿色中-薄层状细粒长石砂岩与灰绿色中层状粉砂岩. 10.3 m
- 76.浅青灰色中-厚层状中粗粒长石砂岩. 2.5 m
- 75.浅青灰色块状砾岩、青灰色中-厚层状中粗粒长石砂岩、浅青色中-厚层状中细粒长石砂岩韵律层,砾岩、含砾砂岩、中细粒砂岩韵律层,三者比为 1:2:3;中细粒砂岩局部可见透镜状泥岩,整体发育交错层理. 30.7 m
- 74.浅青灰色中厚层状中粗粒长石砂岩. 2.1 m
- 73.青灰色中-厚层状粉砂质泥岩与青灰色中厚层状粉砂岩互层,水平层理发育. 22.9 m
- 72.黄绿色中薄层状细粒长石砂岩,细砂岩中平行层理发育. 0.9 m
- 71.青灰色中-薄层状泥质粉砂岩,水平层理发育. 4.1 m
- 70.黄绿色中薄层状含粗粒中细粒长石砂岩,平行层理和斜层理发育. 13.2 m
- 69.灰白色中粗粒长石砂岩、中-厚层状粗砂岩,底部局部可见块状砾岩,呈透镜状,横向上不连续. 35.3 m
- 68.灰白色中层状粗中粒长石砂岩夹浅灰绿色薄层状泥岩. 9.1 m
- 67.灰白色中-厚层状中粗粒长石砂岩与浅灰绿色中-厚层状细砂岩互层,局部夹砾岩,砾岩呈透镜状尖灭,细砂岩中发育平行层理,交错层理. 58.0 m

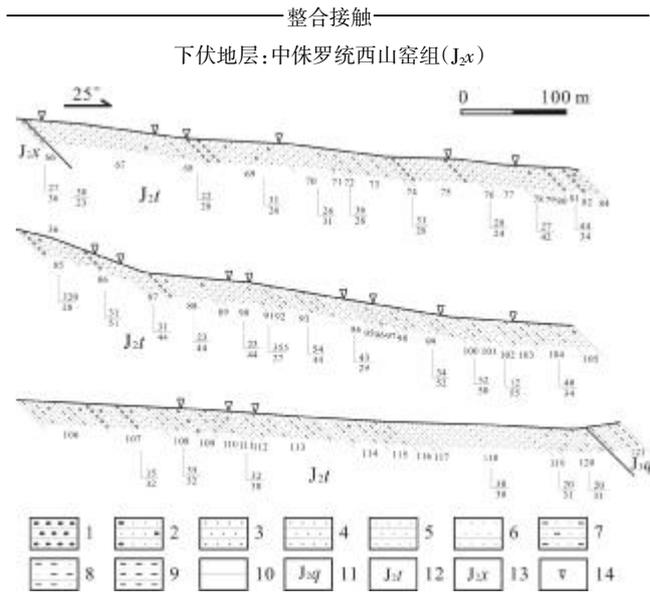


图2 中侏罗统头屯河组剖面图

Fig. 2 Profile of Middle Jurassic Toutunhe Formation

- 1—砾岩(conglomerate); 2—含砾砂岩(pebbly sandstone); 3—粗砂岩(coarse sandstone); 4—中砂岩(medium sandstone); 5—细砂岩(fine sandstone); 6—粉砂岩(siltstone); 7—泥质粉砂岩(argillaceous siltstone); 8—粉砂质泥岩(silty mudstone); 9—泥岩(mudstone); 10—整合接触(conformity boundary); 11—齐古组(Qigu fm.); 12—头屯河组(Toutunhe fm.); 13—西山窑组(Xishanyao fm.); 14—采样点(sampling site)

## 2 沉积相标志

### 2.1 岩性标志

新疆昌吉南部地区头屯河组主要岩石组合为一套稳定的青灰色、灰绿色粉砂岩-砂岩-含砾砂岩-砾岩和紫红色、红褐色、灰绿色粉砂质泥岩为主的岩石组合,由底到顶整体变细,局部变粗. 偶见薄层状膏盐(出露宽度为 3~5 mm). 部分含砾砂岩和砾岩为灰白色,砂岩为黄绿色. 砾岩中砾石多呈次圆状-一次棱角状,分选差,最大粒径为 30 mm,最小为 2 mm,砾石由底到顶粒径变小,砾岩中发育核膜构造. 含砾砂岩中发育大量铁质结核(4~12 mm). 16 件砂岩样品岩矿鉴定(图 3)显示:剖面中下部为长石砂岩(图 4a、b、c),上部为长石岩屑砂岩(图 4d、f),岩屑以流纹岩、安山岩为主,少量玄武岩、凝灰岩、千枚岩、细砂岩、黏土岩等,部分砂岩含海绿石;碎屑磨圆整体一般,次棱角状、次圆状均常见;分选整体较好,局部分选一般;充填物主要为黏土质杂基及硅质、铁质胶结物等,多属颗粒支撑,胶结类型以接触式为主,孔隙式次之.

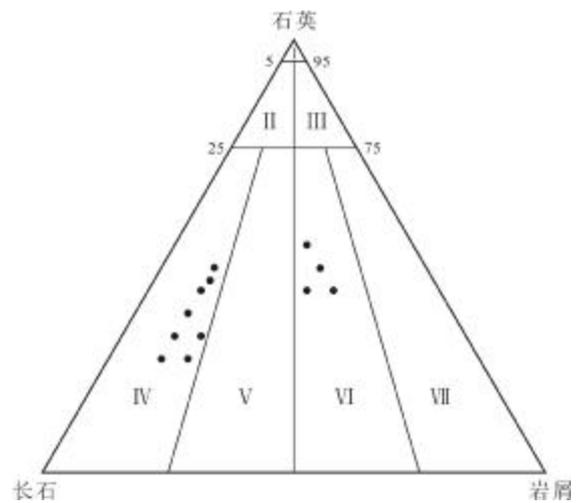


图3 头屯河组砂岩样品岩性分类三角图

(底图据文献[42])

Fig. 3 Lithologic classification diagram for sandstone samples of Toutunhe Formation

(After Reference [42])

- I—石英砂岩(quartz sandstone); II—长石石英砂岩(feldspar quartz sandstone); III—岩屑石英砂岩(lithic quartz sandstone); IV—长石砂岩(feldspar sandstone); V—岩屑长石砂岩(lithic feldspar sandstone); VI—长石岩屑砂岩(feldspar lithic sandstone); VII—岩屑砂岩(lithic sandstone)

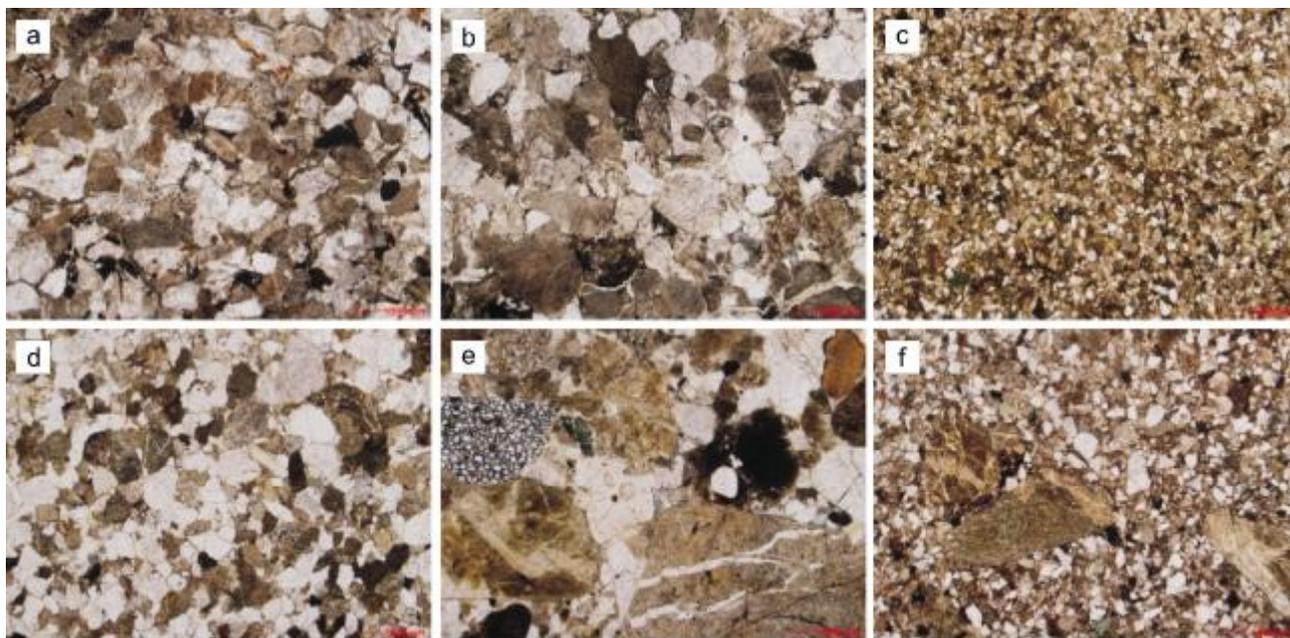


图4 中侏罗统头屯河组砂岩显微特征(正交偏光)

Fig. 4 Microphotographs of sandstones from Middle Jurassic Toutunhe Formation (under cross-polarized light)

a—中粗粒长石砂岩(medium-coarse feldspar sandstone); b—粗粒长石砂岩(coarse feldspar sandstone); c—细粒长石砂岩(fine feldspar sandstone); d—粗中粒长石岩屑砂岩(medium-coarse feldspar lithic sandstone); e—砂质砾岩(sandy conglomerate); f—含海绿石粗粒/细中粒长石岩屑砂岩(glauconite-bearing fine-medium/coarse feldspar lithic sandstone)

## 2.2 颜色标志

研究区头屯河组的碎屑岩颜色多为青灰色、灰绿色、紫红色、红褐色等。剖面下部以青灰色、灰绿色为主,推测这一阶段沉积物长时间处于弱氧化弱还原环境;剖面上部为红褐色、紫红色与灰绿色交替出现,反映湖水升降频繁。

## 2.3 原生沉积构造标志

研究区头屯河组常见的沉积构造有平行层理、水平层理、交错层理、楔状层理、波状层理和冲刷面等。

(1)冲刷面构造(图 5f)。冲刷面主要出现在水下分流河道微相中,头屯河组砂岩表面的凹坑被细小的砾石充填形成冲刷面。

### (2)层理构造

平行层理:常发育在头屯河组砂岩中,形成于平坦层面、急流高能环境。

水平层理(图 5e):常发育于头屯河组粉砂岩、泥岩中,一般形成于稳定的水动力条件。

交错层理(图 5a、b):在区头屯河组砂岩、粉砂岩中广泛发育,层理内部的细纹层之间相互交错或者切割,并与层面相切。一般形成于单向流动、能量较低的

介质环境中。

楔形层理(图 5c):单层砂岩呈楔状,细纹层相互交错,形成楔形层理,常见于头屯河组砂岩中。

斜层理(图 5d):常发育在头屯河组细砂岩中,一般形成在单向流动的搬运介质中,沉积物单向堆积而形成与层面斜交的层理。

波状层理:头屯河组砂岩中可见,但剖面中出现较少,其特点是单层内部细纹层呈波状起伏,波状纹层呈断续近平行排列。一般形成于震荡的流动介质中,导致沉积物呈波状堆积。

## 2.4 粒度分布标志

样品采集位置见图 2,样品编号对应相应的层位。粒度分析方法采用岩石薄片粒度图像分析,得出粒度参数(表 1)和粒度曲线(图 6)。

标准偏差( $\sigma_1$ )可表示沉积物分选程度,依据前人标准<sup>[42]</sup>,样品 $\sigma_1$ 范围在 0.46~0.64 之间,总体来看分选较好;偏态(SK1)可以判别粒度分布的不对称程度,除 VI-78-1b 号样品偏度为-0.11 的负偏态外,其余均处在 0.1~0.14 之间的正偏态,表明粗组分沉积物偏多;峰度(KG)是衡量粒度频率曲线尖锐程度的指标,

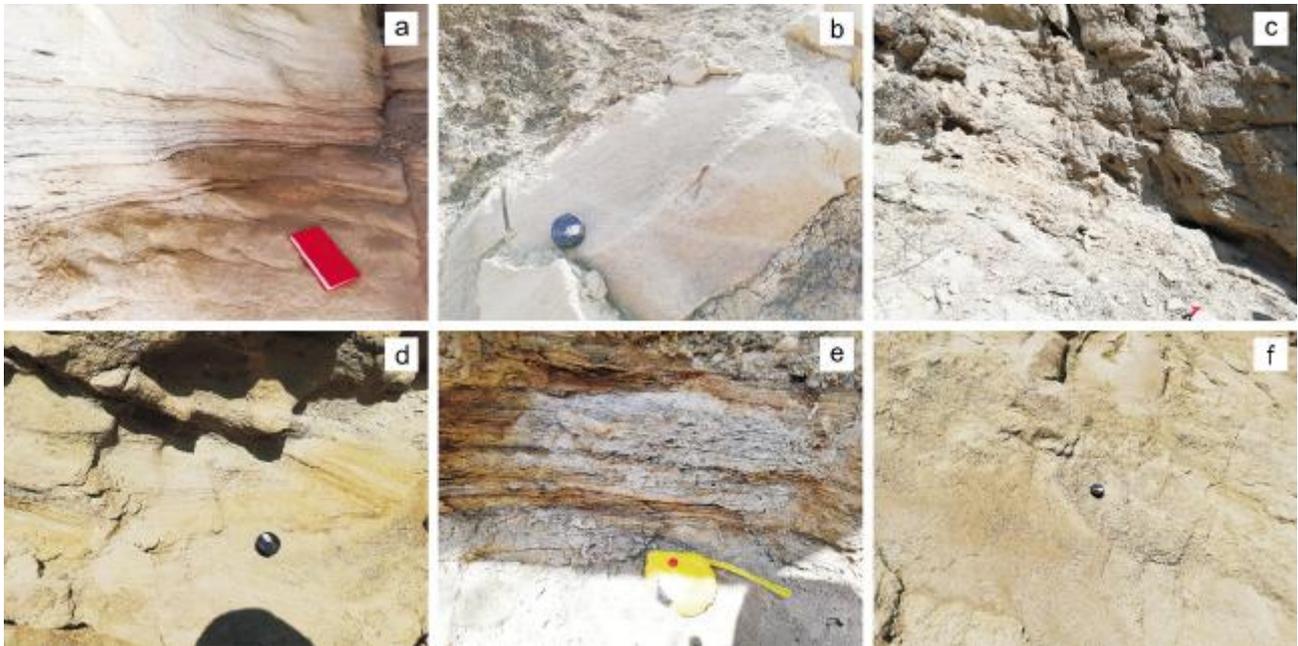


图5 头屯河组典型沉积构造

Fig. 5 Typical sedimentary structures of Toutunhe Formation

a—粉砂质泥岩, 含煤线, 发育交错层理 (cross-bedding developed in coal streak-bearing silty mudstone); b—细砂岩, 发育交错层理 (cross-bedding developed in fine sandstone); c—中-细粒砂岩中发育楔形层理 (wedge-bedding developed in fine-medium sandstone); d—细砂岩中发育斜层理 (oblique bedding developed in fine sandstone); e—粉砂岩, 发育水平层理 (horizontal bedding developed in siltstone); f—冲刷面构造 (scour surface structure)

表1 头屯河组砂岩粒度参数表

Table 1 Grain size parameters for sandstones of Toutunhe Formation

样品编号	标准偏差( $\sigma_1$ )	分选性	偏度(SK1)	偏态	峰度(KG)	等级	C 值	M 值
VI-113-1b	0.47	好	0.12	正	1.33	尖锐	0.1401	0.0745
VI-109-1b	0.64	较好	0.1	正	1	中等	1.609	0.7415
VI-96-1b	0.63	较好	0.18	正	1.26	尖锐	0.23	0.0991
VI-90-1b	0.54	较好	0.2	正	1.1	中等	0.3995	0.177
VI-78-1b	0.54	较好	-0.11	负	1.02	中等	1.3187	0.4545
VI-67-1b	0.46	好	0.14	正	1	中等	0.5767	0.3354

样品峰度在 1~1.33 之间, 其尖锐程度处于中等—尖锐之间; 砂岩样品频率曲线多呈多峰不对称曲线; 概率值累计曲线以跳跃和悬浮总体为主, 其中跳跃次总体占主体; C 值代表了水动力开始搬运沉积物的最大能量, 变化范围在 140.1~1 609  $\mu\text{m}$ ; M 值代表了平均能量, 为 74.5~741.5  $\mu\text{m}$ , 水动力由底到顶整体呈变弱趋势, 局部变强. 综合分析粒度参数认为样品以河砂为主, 显示河流沉积环境, 仅 VI-113-1b 显示为滨湖砂特征.

### 3 沉积相类型与特征

通过野外路线观察与实测剖面资料(图 7), 综合分析头屯河组相标志, 认为新疆昌吉南部地区头屯河组主要发育辫状河三角洲前缘亚相以及滨浅湖亚相, 具体微相特征如下.

#### 3.1 水下分流河道微相

此相为辫状河三角洲前缘沉积的主体, 约占剖面厚度的 43.37%. 主要岩性为灰白色、浅青灰色、灰绿色砾岩, 含砾砂岩, 中、粗砂岩, 细砂岩次之, 常呈下粗上

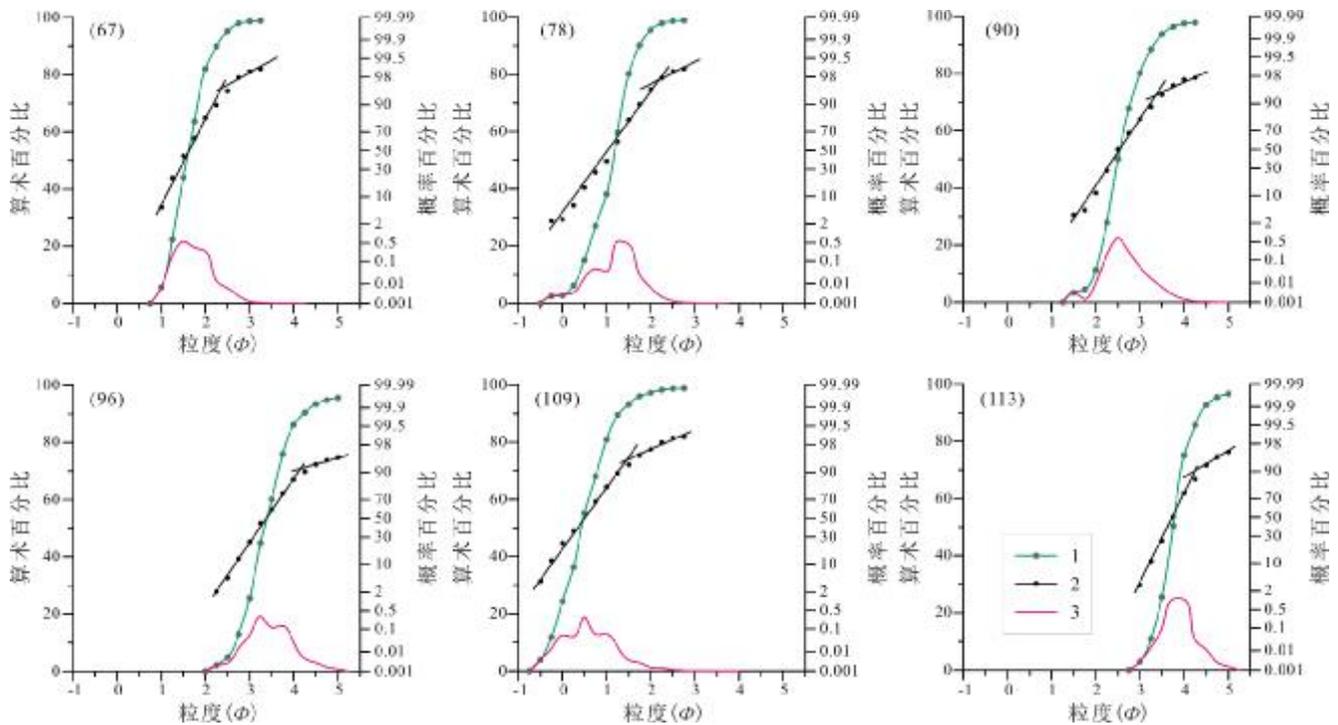


图6 昌吉地区头屯河组砂岩粒度曲线图

Fig. 6 Granularity curves for sandstones of Toutunhe Formation in Changji area

1—累积曲线(cumulative curve); 2—概率值累积曲线(probability cumulative curve); 3—频率曲线(frequency curve)

细的韵律层. 砂岩填隙物中杂基含量极少, 多呈颗粒支撑结构. 地层以中厚层状为主, 薄层少见, 交错层理最为发育, 也可见平行层理、波状层理及冲刷面等构造.

### 3.2 分流河道间微相

该微相发育于水下分流河道之间, 沉积物较细, 水动力条件相对较弱, 约占剖面厚度的 18.64%. 主要岩性为黄绿色-青灰色粉砂岩、粉砂质泥岩、泥质粉砂岩以及少量中、细砂岩. 水平层理、平行层理、斜层理较为发育. 地层以中薄层状为主, 厚层状较少, 可见透镜状砂岩, 是受水下分流河道改道侵蚀而成.

### 3.3 滨浅湖亚相

滨湖沉积位于湖盆边缘, 接近水面, 氧化作用强烈; 浅湖沉积水位较滨湖沉积深, 沉积环境处于弱氧化-弱还原环境. 发育于剖面 99—104、112—120 层, 约占剖面厚度的 37.99%. 主要岩性为紫红色-红褐色粉砂质泥岩、砂岩, 以及浅灰绿色-灰绿色-黄绿色含砾砂岩、砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩等, 水平层理、交错层理发育. 地层以中厚层状为主, 薄层极少见.

## 4 成岩环境与物源

### 4.1 成岩环境分析

对研究区头屯河组砂岩中 5 件样品做了 C、O 同位素分析 (表 2). 除 VI-98-1b 样品未检测到碳酸盐外, 其余样品  $^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}$  值均在  $-9\text{‰}$ ~ $-17.3\text{‰}$  之间, 平均  $-13.275\text{‰}$ ;  $^{18}\text{O}_{\text{V-PDB}}$  值均在  $-14.2\text{‰}$ ~ $-16.2\text{‰}$  之间, 平均  $-15.425\text{‰}$ ;  $^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$  值均在  $-14.2\text{‰}$ ~ $-16.3\text{‰}$  之间, 平均  $-15.05\text{‰}$ . 数据整体规律性不强.

依据 Keith 等<sup>[43]</sup>提出的古盐度计算公式, 得出头屯河组样品中古盐度 Z 值为 83.802~101.7964, 平均 92.431, 且均小于 120, 认为砂岩样品形成于受大气淡水影响的成岩环境. 将样品 Z 值与  $^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}$  值投点于图 8, 结果表明二者相关性很高:  $^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}$  越高, 古盐度越高.

运用 Shackleton 等<sup>[44]</sup>提出的古温度公式, 通常假定古海水的 O 同位素组成与现代海水相同,  $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}} = 0$ , 得出埋深压实的成岩温度范围为 99.26~114.1  $^{\circ}\text{C}$ , 平均 108.310  $^{\circ}\text{C}$ . 前人得出北天山山前拗陷的地温梯度平均为 17.1  $^{\circ}\text{C}/\text{km}$ <sup>[45]</sup>, 按地表温度 25  $^{\circ}\text{C}$  计算, 埋深在 4.34~5.23 km 之间, 平均 4.87 km.

地层		层号	层厚/m	柱状图	岩性描述	沉积构造	沉积相	
系	统						组	
侏罗系	中侏罗统	头屯河组	121	22.8		灰绿色中层状粉砂岩与紫红色中层状泥岩互层	滨湖相	湖泊相
			120	32.9		灰绿色中-厚层状泥质粉砂岩		
			119	3.9		黄绿色中-厚层状中-细粒砂岩		
			118	64.2		灰绿色粉砂岩夹黄绿色中-粗粒砂岩		
			117	4.6		浅黄绿色中-薄层状中-细粒砂岩		
			116	11.6		灰绿色中-薄层状粉砂岩		
			115	15.9		红褐色中-厚层状粉砂质泥岩		
			114	20.1		红褐色中厚层粉砂质泥岩夹浅灰绿色中薄层含砾砂岩		
			113	45.7		红褐色中-厚层粉砂质泥岩夹黄绿色薄层细砂岩		
			112	4.1		红褐色中-厚层状中-粗粒砂岩		
			111	2.3		浅灰绿色中-厚层状含砾砂岩		
			110	11.2		红褐色中-厚层状粉砂质泥岩		
			109	6.3		浅灰绿色中-厚层状粉砂质泥岩、中-薄层状含砾砂岩、细砂岩早前律层		
			108	15.4		红褐色中-厚层状粉砂质泥岩		
			107	30.8		浅灰绿色中-厚层状粉砂岩、含砾砂岩、细砂岩早前律层		
			106	32.4		红褐色粉砂质泥岩夹浅灰绿色含砾砂岩		
			105	13.8		浅灰绿色中-厚层状含砾砂岩，顶部可见宽约1m的细砂岩		
			104	30.0		红褐色粉砂质泥岩夹浅灰绿色中-薄层状中粗粒砂岩		
			103	15.4		红褐色中-薄层状粉砂质泥岩		
			102	11.7		灰绿色泥质粉砂岩与浅灰绿色中-细粒砂岩		
			101	10.0		紫红色中-薄层状粉砂质泥岩		
			100	4.3		浅灰绿色中-厚层状中粗粒砂岩		
			99	22.7		紫红色中-厚层状粉砂质泥岩夹浅灰绿色中-厚层状细砂岩		
			98	1.4		浅灰绿色厚层状细砂岩		
			97	16.4		灰绿色中薄层泥质粉砂岩夹灰绿色中薄层细砂岩		
			96	4.1		灰绿色中-薄层状中粗粒砂岩，发育X节理		
			95	2.8		灰绿色中-薄层状粉砂岩		
			94	12.2		浅灰绿色中-厚层状中-细粒砂岩		
			93	37.7		灰绿色中薄层粉砂质泥岩夹灰绿色中厚层细砂岩		
			92	1.2		黄绿色厚层状细砂岩		
			91	4.8		青灰色中-薄层状泥质粉砂岩		
			90	24.1		浅黄绿色中-厚层状含粗粒中粗粒砂岩		
			89	2.2		灰白色砾岩、含砾砂岩、粉砂岩形成前律层		
			88	17.3		浅青灰色砾岩，含砾粗砂岩、细砂岩、粉砂岩早前律层		
			87	3.2		浅青灰色中-薄层状中粗粒砂岩		
			86	10.7		灰白色巨厚层状中粗粒砂岩		
			85	19.7		浅青灰色砾岩，含砾粗砂岩、粗砂岩、中粗粒砂岩形成的前律层		
			84	2.4		浅青灰色中-厚层状粗砂岩		
			83	2.5		浅青灰色中厚层状含砾粗砂岩		
			82	2.1		浅青灰色中厚层状砾岩		
81	7.0		浅青灰色砾岩，含砾粗砂岩、粗砂岩、细砂岩前律层					
80	4.2		浅青灰色中-厚层状中粗粒砂岩					
79	2.1		浅青灰色中厚层状含砾粗砂岩					
78	5.6		灰白色粗粒砂岩					
77	10.3		黄绿色中-薄层状细砂岩与灰绿色中厚层状粉砂岩					
76	2.5		浅青灰色中-厚层状中粗粒砂岩					
75	30.7		浅青灰色块状砾岩、中-厚层状中粗粒砂岩、中厚层中粗粒砂岩前律层					
74	2.1		浅青灰色中厚层状中粗粒砂岩					
73	22.9		青灰色中-厚层状粉砂质泥岩与青灰色中厚层状粉砂岩互层					
72	0.9		黄绿色中薄层状细砂岩					
71	4.1		青灰色中-薄层状泥质粉砂岩					
70	13.2		黄绿色中薄层状含粗粒中粗粒砂岩					
69	35.3		灰白色中粗粒砂岩，中厚层状粗砂岩，底部局部可见块状砾岩					
68	9.1		灰白色中厚层状中粗粒砂岩夹浅灰绿色薄层泥岩					
67	58		灰白色中-厚层状中粗粒砂岩与浅灰绿色中厚层状细砂岩互层，局部夹砾岩					
西山窑组	66	3.6		砖红色中-薄层状泥岩				

图7 昌吉地区头屯河组柱状图

Fig. 7 Lithological column of Toutunhe Formation in Changji area

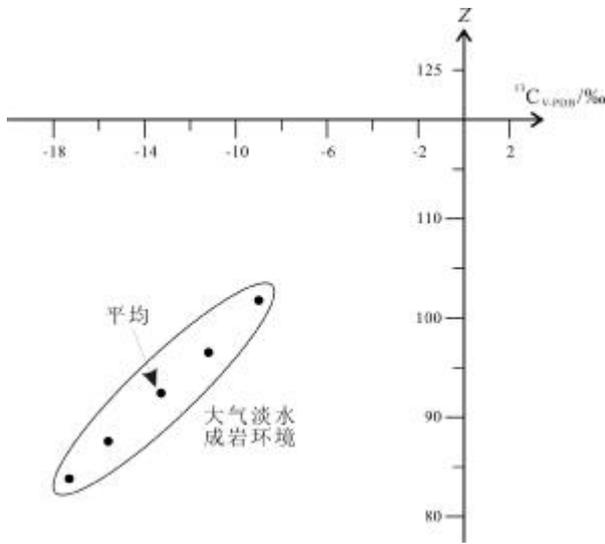


图 8  $^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}-Z$  值与成岩环境的关系  
(底图据文献[46])

Fig. 8 Relationship between  $^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}-Z$  value and diagenetic environment  
(After Reference [46])

4.2 物源分析

前人提出通过多碎屑矿物作 Dickinson 图解来判  
别物源区构造背景<sup>[47-48]</sup>,此前也有许多学者将此方法

表 2 头屯河组砂岩 C、O 同位素分析

Table 2 C and O isotope analysis of sandstones from Toutunhe Formation

样品编号	岩性	$^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}/\text{‰}$	$^{18}\text{O}_{\text{V-PDB}}/\text{‰}$	$^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}/\text{‰}$	古盐度 Z 值	古温度/ ℃
VI-68-1b	粗中粒长石砂岩	-17.3	-16.2	14.2	83.802	114.1
VI-75-1b	中粗粒长石砂岩	-15.6	-15.6	14.9	87.582	109.564
VI-78-1b	粗粒长石砂岩	-9	-14.2	16.3	101.796	99.26
VI-98-1b	含海绿石细粒长石砂岩	/	/	/	/	/
VI-109-1b	砂质砾岩	-11.2	-15.7	14.8	96.544	110.315
平均		-13.275	-15.425	15.05	92.431	108.310

运用到准噶尔盆地沉积地层中<sup>[49-51]</sup>. 笔者统计研究区内 16 件砂岩样品中碎屑颗粒,并作多碎屑矿物三角图(图 9). 结果表明区内砂岩成分成熟度较低,长石与岩屑含量高,其中以火山岩在岩屑中占比最大;石英含量不高,以单晶为主,多晶石英含量普遍很低,碎屑成分三角图显示头屯河组物源主要为隆升基底、岛弧造山带. Qm-F-Lt 三角图显示,104、109、112、113 层位的样品岩屑含量增加,致使物源显示为混合物源区.

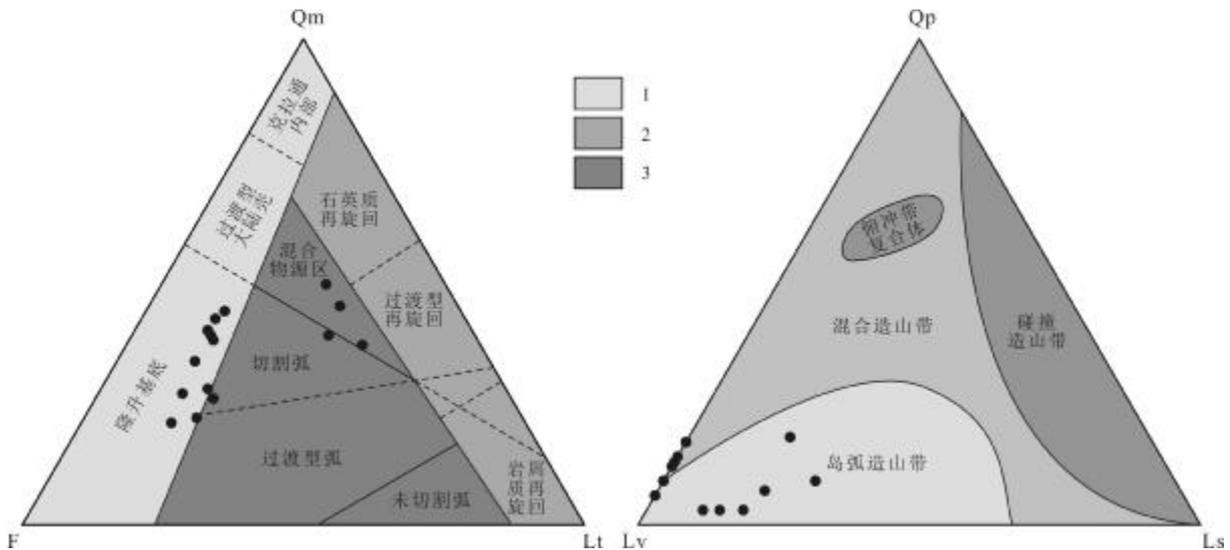


图 9 新疆昌吉南部头屯河组砂岩碎屑组分与物源类型三角图解  
(底图据文献[46-48])

Fig. 9 Triangle diagrams of sandstone detrital components and source types of Toutunhe Formation in southern Changji, Xinjiang  
(After References [46-48])

Qm—单晶石英 (monocrystalline quartz); F—长石 (feldspar); Lt—不稳定岩屑+多晶石英 (unstable debris + polycrystalline quartz); Qp—多晶石英 (polycrystalline quartz); Lv—火成岩岩屑 (igneous rock debris); Ls—沉积岩岩屑 (sedimentary rock debris); 1—大陆板块 (continental plate); 2—再旋回造山带 (recycled orogenic belt); 3—岩浆岛弧 (magmatic island arc)

## 5 讨论

侏罗纪时期,准噶尔盆地处于陆内拗陷阶段,天山山脉已被剥蚀到一个较低的高度,天山及淮南的构造活动较为平稳或减弱.三叠纪至早侏罗世,天山遭受强烈侵蚀进入准平原化,为南北麓盆地提供了良好的物源<sup>[30-36,52]</sup>.前人通过大量研究表明,淮南在头屯河沉积时期古水流方向绝大多数由南向北<sup>[8,24,28,39,53]</sup>,佐证了天山为淮南重要的物源区.再结合 Dickinson 图解推测物源可能是天山中部3种源岩:晚石炭世碰撞后火山岩、与俯冲有关的岩浆岩和基底岩系、晚泥盆世和晚石炭世与俯冲有关的岛弧火山岩<sup>[28]</sup>.

淮南早一中侏罗世处于温暖湿润气候<sup>[5-6]</sup>,研究区头屯河组剖面下部发育青灰色、灰绿色粉砂岩、砂岩、含砾砂岩、砾岩,上部交替出现紫红色、红褐色粉砂质泥岩等,表明头屯河组沉积期保持温暖湿润气候,在后期显示为干旱与温暖湿润气候交替出现<sup>[8]</sup>.晚侏罗世开始气候逐渐干旱<sup>[6]</sup>.研究区头屯河组发育辫状河三角洲相-滨湖亚相-浅湖亚相的沉积体系<sup>[7,9]</sup>.在头屯河组早期,气候条件较为干旱,研究区整体上发育辫状河三角洲相<sup>[8,23]</sup>,其中以水下分流河道微相最为发育.头屯河组中期,研究区发生较小的湖水上侵,致使沉积相由三角洲相向滨浅湖亚相转变.头屯河组晚期该地区发生大范围的湖水下降与上侵事件<sup>[11]</sup>,导致研究区辫状河三角洲相与湖泊相交替出现,并在末期最终形成了广泛的湖泊相.

新疆昌吉南部地区沉积相的演化受多种因素影响,从研究区侏罗系各组地层特征来看,八道湾组沉积时期,岩石颜色主要呈青灰色和灰绿色;三工河组沉积时期,岩石颜色呈青灰色、灰绿色以及土黄色等,反映侏罗世早期淮南发生大规模的湖侵,气候湿润<sup>[6-7,13]</sup>;西山窑组岩石颜色则逐渐偏向红褐色、砖红色、浅红色,且含黑色煤层,部分泥质岩和砂岩为灰绿色、白色等,但整体颜色为红色调;而头屯河组岩石颜色以青灰色、灰绿色和紫红色、红褐色为主,表明中侏罗世是湖退期,是气候由湿润转向干旱的过渡阶段<sup>[6]</sup>;齐古组地层则可分为上、下两段,下段红绿相间,主要为紫红色、泥质岩、灰绿色粉砂质岩以及浅灰绿色砂岩,上段主要为砖红色、紫红色粉砂质泥岩、泥质岩、细砂岩以及灰绿色粉砂岩和浅灰绿色砂岩;喀拉扎组的岩石则又逐渐以浅灰绿色砾岩为主,显示的沉积环境为干旱型冲

积扇相<sup>[5]</sup>.整体来看,侏罗系沉积环境逐渐由干旱型气候转变为潮湿型后又变为干旱型,基准面经历了低—高一低的变化,对应的湖平面先涨后降<sup>[5-6,11,13]</sup>.

## 6 结论

(1)侏罗系头屯河组主要发育辫状河三角洲前缘亚相以及滨浅湖亚相,三角洲相还可以细分出水下分流河道、分流河道间两个微相,具有辫状河三角洲相-滨湖亚相-浅湖亚相的沉积相沉积体系.头屯河组沉积期气候向温暖湿润发展,并在后期显示为干旱与温暖湿润气候交替出现,该时期发生多次湖水上侵及下降的变化,导致三角洲相与湖泊相交替出现.

(2)研究区头屯河组砂岩主要形成于大气淡水成岩环境,并埋深在4.34~5.23 km之间成岩.

(3)头屯河组物源主要来自隆升基底、岛弧造山带,具体由天山中部晚泥盆世和晚石炭世碰撞后火山岩、与俯冲有关的岩浆岩和基底岩、岛弧火山岩组成.

## 参考文献(References):

- [1]宋岩,方世虎,赵孟军,等.前陆盆地冲断带构造分段特征及其对油气成藏的控制作用[J].地学前缘,2005,12(3):31-38.  
Song Y, Fang S H, Zhao M J, et al. The structural segmentation of foreland thrust belts and its implications for hydrocarbon accumulation in foreland basins in central and western China[J]. Earth Science Frontiers, 2005, 12(3): 31-38.
- [2]贾承造,宋岩,魏国齐,等.中国中西部前陆盆地的地质特征及油气聚集[J].地学前缘,2005,12(3):3-13.  
Jia C Z, Song Y, Wei G Q, et al. Geological features and petroleum accumulation in the foreland basins in central and western China[J]. Earth Science Frontiers, 2005, 12(3): 3-13.
- [3]李学义,邵雨,李天明.准噶尔盆地南缘三个油气成藏组合研究[J].石油勘探与开发,2003,30(6):32-34.  
Li X Y, Shao Y, Li T M. Three oil-reservoir combinations in south marginal of Jungar Basin, Northwest China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2003, 30(6): 32-34.
- [4]邵雨.准噶尔盆地南缘深层下组合侏罗系油气成藏研究[J].高校地质学报,2013,19(1):86-94.  
Shao Y. Hydrocarbon accumulation of the Jurassic deeply-buried lower assemblage in the Southern Junggar Basin[J]. Geological Journal of China Universities, 2013, 19(1): 86-94.
- [5]关旭同,吴朝东,吴鉴,等.准噶尔盆地南缘上侏罗统一白垩统沉积序列及沉积环境演化[J].新疆石油地质,2020,41(1):67-79.

- Guan X T, Wu C D, Wu J, et al. Sedimentary sequence and depositional environment evolution of Upper Jurassic-Lower Cretaceous strata in the southern margin of Junggar Basin [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2020, 41(1): 67-79.
- [6] 房亚男, 吴朝东, 王熠哲, 等. 准噶尔盆地南缘中一下侏罗统浅水三角洲类型及其构造和气候指示意义[J]. *中国科学: 技术科学*, 2016, 46(7): 737-756.
- Fang Y N, Wu C D, Wang Y Z, et al. Lower to Middle Jurassic shallow-water delta types in the southern Junggar Basin and implications for the tectonic and climate [J]. *Scientia Sinica Technologica*, 2016, 46(7): 737-756.
- [7] 周经才, 史宣玉, 马孝祥, 等. 准噶尔盆地南缘侏罗纪沉积相研究[J]. *新疆石油地质*, 1989, 10(1): 39-51, 53-54.
- Zhou J C, Shi X Y, Ma X X, et al. Study on Jurassic sedimentary facies in Southern Margin of Junggar Basin [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 1989, 10(1): 39-51, 53-54. (in Chinese)
- [8] 方世虎, 郭召杰, 宋岩, 等. 准噶尔盆地南缘侏罗纪沉积相演化与盆地格局[J]. *古地理学报*, 2005, 7(3): 347-356.
- Fang S H, Guo Z J, Song Y, et al. Sedimentary facies evolution and basin pattern of the Jurassic in southern margin area of Junggar Basin [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2005, 7(3): 347-356.
- [9] 鲍志东, 刘凌, 张冬玲, 等. 准噶尔盆地侏罗系沉积体系纲要[J]. *沉积学报*, 2005, 23(2): 194-202.
- Bao Z D, Liu L, Zhang D L, et al. Depositional system frameworks of the Jurassic in Junggar Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2005, 23(2): 194-202.
- [10] 胡惟元, 周经才, 史宣玉. 准噶尔盆地南缘西部中上侏罗统沉积岩脉特征[J]. *新疆石油地质*, 1988, 9(1): 9-15.
- Hu W Y, Zhou J C, Shi X Y. Characteristics of Middle-Upper Jurassic sedimentary rock veins in the western margin of Junggar Basin [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 1988, 9(1): 9-15. (in Chinese)
- [11] 金若时, 程银行, 杨君, 等. 准噶尔盆地侏罗纪含铀岩系的层序划分与对比[J]. *地质学报*, 2016, 90(12): 3293-3309.
- Jin R S, Cheng Y H, Yang J, et al. Classification and correlation of Jurassic uranium-bearing series in the Junggar Basin [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2016, 90(12): 3293-3309.
- [12] 柳永清, 李寅. 准噶尔盆地侏罗系露头层序地层及沉积学特征[J]. *地球学报*, 2001, 22(1): 49-54.
- Liu Y Q, Li Y. Research on the terrigenous outcrop sequence stratigraphy and sedimentology in the Jurassic Junggar Basin [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 2001, 22(1): 49-54.
- [13] W. 施奈德, 赵霞飞, 龙能礼, 等. 准噶尔盆地头屯河地区侏罗系沉积环境与构造意义[J]. *新疆地质*, 1992, 10(3): 191-203.
- Schneider W, Zhao X F, Long N L, et al. Sedimentary environment and tectonic implication of Jurassic in Toutunhe area, Junggar Basin [J]. *Xinjiang Geology*, 1992, 10(3): 191-203.
- [14] 于景维, 郑荣才, 刘自军, 等. 准噶尔东部阜东及西泉地区头屯河组沉积特征及相模式[J]. *新疆地质*, 2014, 32(2): 225-230.
- Yu J W, Zheng R C, Liu Z J, et al. Sedimentary characteristic and model of Toutunhe Formation in east of Fukang slope and Xiquan area, eastern Jungar Basin [J]. *Xinjiang Geology*, 2014, 32(2): 225-230.
- [15] 于景维, 郑荣才, 祁利祺, 等. 准噶尔盆地阜康凹陷东部斜坡带中侏罗统头屯河组高分辨层序与沉积微相精细分析[J]. *地质论评*, 2014, 60(6): 1337-1347.
- Yu J W, Zheng R C, Qi L Q, et al. Precise analysis on high-resolution sequence stratigraphy and micro-facies of Toutunhe Formation of Middle Jurassic in the east slope zone, Fukang Sag, Junggar Basin [J]. *Geological Review*, 2014, 60(6): 1337-1347.
- [16] 钟灵, 聂逢君, 王果. 准噶尔盆地东缘卡姆斯特地区中侏罗统头屯河组砂体沉积特征及其与铀成矿关系[J]. *科学技术与工程*, 2019, 19(26): 75-82.
- Zhong L, Nie F J, Wang G. The relationship between the characteristics of sandbody and uranium mineralization of Toutunhe Formation of the Middle Jurassic in Kamster area, eastern margin of Junggar Basin [J]. *Science Technology and Engineering*, 2019, 19(26): 75-82.
- [17] 李欢, 邹灏, 李欣宇, 等. 准噶尔盆地东缘中侏罗统头屯河组层序地层与沉积演化[J]. *沉积与特提斯地质*, 2018, 38(1): 41-52.
- Li H, Zou H, Li X Y, et al. Sequence stratigraphy and sedimentary evolution of the Middle Jurassic Toutunhe Formation on the eastern margin of the Junggar Basin, Xinjiang [J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 2018, 38(1): 41-52.
- [18] 毛广振. 准噶尔盆地东部大井坳陷中侏罗统头屯河组沉积特征及对铀成矿的控制[C]//中国核科学技术进展报告(第六卷)——中国核学会2019年学术年会论文集第1册(铀矿地质分卷(上)). 北京: 中国原子能出版社, 2019: 8.
- Mao G Z. The sedimentary characteristics of the Middle Jurassic Toutunhe Formation and its controls on uranium mineralization in the Dajing depression, eastern Junggar Basin [C]//Geologic Party No. 216, CNNC. Beijing: China Atomic Energy Press, 2019: 8. (in Chinese)
- [19] 胡宇斌, 高先志, 罗龙, 等. 准噶尔盆地中4区中侏罗统头屯河组曲流河-浅水三角洲砂体微相分布特征研究[J]. *地球学报*, 2019, 40(5): 725-736.
- Hu Y B, Gao X Z, Luo L, et al. Microfacies distribution characteristics of meandering river-shallow water delta sandbodies in Toutunhe Formation of Middle Jurassic strata of Block 4, middle Junggar Basin [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 2019, 40(5): 725-736.
- [20] 张敏, 修金磊, 陈林, 等. 准噶尔盆地中部2、4区块侏罗系头屯河组物源体系及沉积演化特征[J]. *石油天然气学报*, 2014, 36(6): 45-50.
- Zhang M, Xiu J L, Chen L, et al. The provenance systems and characteristics of sedimentary evolution of Jurassic Toutunhe formation in the 2nd and 4th blocks of central Junggar Basin [J]. *Journal of Oil*

- and Gas Technology, 2014, 36(6): 45–50.
- [21] 邹阳, 韦盼云, 朱涛, 等. 准噶尔盆地石西油田石南 4 井区侏罗系头屯河组储层特征及有利区展望[J]. 西北地质, 2020, 53(2): 235–243.
- Zou Y, Wei P Y, Zhu T, et al. The reservoir characteristics and favorable zone prospect of the Jurassic Toutunhe Formation in Well Block Shinan-4, Shixi Oilfield, Junggar Basin [J]. *Northwestern Geology*, 2020, 53(2): 235–243.
- [22] 邹妞妞, 张大权, 史基安, 等. 准噶尔盆地石南地区中侏罗统头屯河组沉积特征及演化[J]. 古地理学报, 2016, 18(6): 951–960.
- Zou N N, Zhang D Q, Shi J A, et al. Sedimentary characteristics and evolution of the Middle Jurassic Toutunhe Formation in Shinan area of Junggar Basin[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2016, 18(6): 951–960.
- [23] 袁波, 董雪梅, 关旭同, 等. 准噶尔盆地四棵树凹陷头屯河组孔-缝双重介质致密砂岩储层特征分析[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2020, 56(3): 449–459.
- Yuan B, Dong X M, Guan X T, et al. Analysis of characteristics of tight sandstone reservoir with porous-fissure dual medium in Toutunhe Formation of Sikesu Sag[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2020, 56(3): 449–459.
- [24] 杨潮, 赵霞飞. 新疆昌吉南部侏罗系中统头屯河组河流沉积特征及古河流的重塑[J]. 沉积学报, 1988, 6(4): 33–43, 141.
- Yang C, Zhao X F. Depositional features and palaeohydraulic conditions of the fluvial sediments of Toutunhe Formation, Middle Jurassic, in southern Changji Prefecture, Xinjiang [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1988, 6(4): 33–43, 141.
- [25] 赵晓林, 单玄龙, 郝国丽, 等. 准噶尔盆地喀拉扎背斜侏罗系头屯河组油砂储层沉积相与储层评价[J]. 地球科学与环境学报, 2017, 39(3): 419–427.
- Zhao X L, Shan X L, Hao G L, et al. Sedimentary facies and evaluation of oil sand reservoirs from Jurassic Toutunhe Formation in Kalazha anticline of Junggar Basin, China [J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 2017, 39(3): 419–427.
- [26] 谭程鹏, 于兴河, 李胜利, 等. 辫状河-曲流河转换模式探讨——以准噶尔盆地南缘头屯河组露头为例[J]. 沉积学报, 2014, 32(3): 450–458.
- Tan C P, Yu X H, Li S L, et al. Discussion on the model of braided river transform to meandering river: As an example of Toutunhe Formation in Southern Junggar Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2014, 32(3): 450–458.
- [27] 陈彬滔, 于兴河, 潘树新, 等. 准噶尔盆地南缘头屯河组曲流河沉积特征与成因砂体对比方法[J]. 天然气地球科学, 2013, 24(6): 1132–1139.
- Chen B T, Yu X H, Pan S X, et al. Sedimentary characteristics and sedimentogenic-based sandbodies correlation methods of meandering river in Toutunhe Formation, southern margin of Junggar Basin [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2013, 24(6): 1132–1139.
- [28] Fang Y N, Wu C D, Guo Z J, et al. Provenance of the southern Junggar Basin in the Jurassic: Evidence from detrital zircon geochronology and depositional environments [J]. *Sedimentary Geology*, 2015, 315: 47–63.
- [29] Yang W, Jolivet M, Dupont-Nivet G, et al. 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*, 2014, 26(3/4): 986–1008.
- [30] 陈熠, 方小敏, 宋春晖, 等. 准噶尔盆地南缘新生代沉积物碎屑锆石记录的天山隆升剥蚀过程[J]. 地学前缘, 2012, 19(5): 225–233.
- Chen Y, Fang X M, Song C H, et al. The uplift and erosion of the Tianshan Mountains recorded by detrital zircon geochronology from the Cenozoic sediments in the southern Junggar Basin [J]. *Earth Science Frontiers*, 2012, 19(5): 225–233.
- [31] 陈书平, 漆家福, 于福生, 等. 准噶尔盆地南缘构造变形特征及其主控因素[J]. 地质学报, 2007, 81(2): 151–157.
- Chen S P, Qi J F, Yu F S, et al. Deformation characteristics in the southern margin of the Junggar Basin and their controlling factors [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2007, 81(2): 151–157.
- [32] 张凤奇, 鲁雪松, 卓勤功, 等. 准噶尔盆地南缘下组合储层异常高压成因机制及演化特征[J]. 石油与天然气地质, 2020, 41(5): 1004–1016.
- Zhang F Q, Lu X S, Zhuo Q G, et al. Genetic mechanism and evolution characteristics of overpressure in the lower play at the southern margin of the Junggar Basin, northwestern China [J]. *Oil & Gas Geology*, 2020, 41(5): 1004–1016.
- [33] 孙自明, 何治亮, 牟泽辉. 准噶尔盆地南缘构造特征及有利勘探方向[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(2): 216–221.
- Sun Z M, He Z L, Mou Z H. Structural features and favorable exploration areas in southern margin of Junggar Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2004, 25(2): 216–221.
- [34] Yang W, Jolivet M, Dupont-Nivet G, et al. Source to sink relations between the Tian Shan and Junggar Basin (Northwest China) from Late Palaeozoic to Quaternary: Evidence from detrital U-Pb zircon geochronology [J]. *Basin Research*, 2013, 25(2): 219–240.
- [35] 舒良树, 郭召杰, 朱文斌, 等. 天山地区碰撞后构造与盆山演化[J]. 高校地质学报, 2004, 10(3): 393–404.
- Shu L S, Guo Z J, Zhu W B, et al. Post-collision tectonism and basin-range evolution in the Tianshan belt [J]. *Geological Journal of China Universities*, 2004, 10(3): 393–404.
- [36] Yang W, Spiro B, Guo Z J, et al. Cenozoic lacustrine stromatolites from the southern margin of the Junggar Basin, NW China and adjacent areas: Indicators for palaeoclimatic and tectonic evolution [J]. *Geological Journal*, 2017, 52(2): 249–262.
- [37] 陈正乐, 鲁克改, 王果, 等. 准噶尔盆地南缘新生代构造特征及其

- 与砂岩型铀矿成矿作用初析[J]. 岩石学报, 2010, 26(2): 457-470.
- Chen Z L, Lu K G, Wang G, et al. Characteristics of Cenozoic structural movements in southern margin of Junggar Basin and its relationship to the mineralization of sandstone-type uranium deposits [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2010, 26(2): 457-470.
- [38] 宋明, 汪新, 肖立新. 准噶尔盆地南缘构造特征与演化[J]. 新疆石油地质, 2020, 41(1): 9-17.
- Zhu M, Wang X, Xiao L X. Structural characteristics and evolution in the southern margin of Junggar Basin [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2020, 41(1): 9-17.
- [39] 耿英英, 刘章月, 何中波, 等. 准噶尔盆地南缘头屯河地区砂岩型铀矿铀源区及其成矿构造背景分析——来自碎屑锆石 U-Pb 年龄及 Hf 同位素的证据[J]. 地质论评, 2020, 66(2): 393-409.
- Geng Y Y, Liu Z Y, He Z B, et al. Provenance and ore-forming tectonic setting of sandstone-type uranium deposits in the southern margin of Junggar Basin: Insights from U-Pb ages and Hf isotopes of detrital zircons[J]. *Geological Review*, 2020, 66(2): 393-409.
- [40] 胡瀚文, 张元元, 郭召杰, 等. 准噶尔盆地南缘深层侏罗系储层沥青成因及其对油气成藏的启示[J]. 地质学报, 2020, 94(6): 1883-1895.
- Hu H W, Zhang Y Y, Guo Z J, et al. Origins and hydrocarbon accumulation significance of bitumen in the deeply buried Jurassic reservoirs in the southern Junggar Basin[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2020, 94(6): 1883-1895.
- [41] Jolivet M, Dominguez S, Charreau J, et al. Mesozoic and Cenozoic tectonic history of the central Chinese Tian Shan: Reactivated tectonic structures and active deformation[J]. *Tectonics*, 2010, 29(6): TC6019.
- [42] 宋筱敏. 沉积岩石学[M]. 4版. 北京: 石油工业出版社, 2010: 64-71, 109-114. (in Chinese)
- [43] Keith M L, Weber J N. Carbon and oxygen isotopic composition of selected limestones and fossils [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1964, 28(10/11): 1787-1816.
- [44] Shackleton N J, Opdyke. Oxygen isotope and palaeomagnetic stratigraphy of Equatorial Pacific Core V28-239, Late Pliocene to Latest Pleistocene[C]//Cline R M, Hays J D. Investigations of Late Quaternary Paleoclimatology and Paleoclimatology. Mclean: Geological Society of America, 1976: 449-464.
- [45] 饶松, 胡圣标, 朱传庆, 等. 准噶尔盆地大地热流特征与岩石圈热结构[J]. 地球物理学报, 2013, 56(8): 2760-2770.
- Rao S, Hu S B, Zhu C Q, et al. The characteristics of heat flow and lithospheric thermal structure in Junggar Basin, Northwest China[J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2013, 56(8): 2760-2770.
- [46] 潘立银, 黄革萍, 寿建峰, 等. 柴达木盆地南翼山地区新近系湖相碳酸盐岩成岩环境初探——碳、氧同位素和流体包裹体证据[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2009, 28(1): 71-74.
- Pan L Y, Huang G P, Shou J F, et al. A preliminary study of formation environment of the Neogene lacustrine carbonates in Nanyishan area of Qaidam Basin: Constrains from carbon-oxygen isotope and fluid inclusion analysis [J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2009, 28(1): 71-74.
- [47] Dickinson W R, Suczek C A. Plate tectonics and sandstone compositions[J]. *AAPG Bulletin*, 1979, 63(12): 2164-2182.
- [48] Dickinson W R, Beard L S, Brakenridge G R, et al. Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting [J]. *GSA Bulletin*, 1983, 94(2): 222-235.
- [49] 蔚远江, 胡素云, 何登发. 准噶尔盆地西北缘二叠系一下侏罗统碎屑岩骨架组分及其物源与构造背景演化示踪[J]. 地质学报, 2020, 94(5): 1347-1366.
- Yu Y J, Hu S Y, He D F. Skeleton components of Permian-Lower Jurassic clastic rocks in NW margin of Junggar Basin: Tracing to provenance and tectonic settings evolution[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2020, 94(5): 1347-1366.
- [50] 方世虎, 贾承造, 宋岩, 等. 准噶尔盆地南缘中—新生代碎屑成份特征与构造期次[J]. 地质科学, 2007, 42(4): 753-765.
- Fang S H, Jia C Z, Song Y, et al. Meso-Cenozoic tectonic events and structural constraints in the southern Junggar Basin: Evidence from detrital compositions[J]. *Chinese Journal of Geology*, 2007, 42(4): 753-765.
- [51] 方世虎, 宋岩, 贾承造, 等. 新疆博格达地区中—新生代碎屑成分特征与盆山分异过程[J]. 地质学报, 2007, 81(9): 1229-1237.
- Fang S H, Song Y, Jia C Z, et al. The Mesozoic-Cenozoic clastic composition of Bogda area, Xinjiang: Implications on the evolution of basin-range pattern[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2007, 81(9): 1229-1237.
- [52] 李忠, 彭守涛. 天山南北麓中—新生代碎屑锆石 U-Pb 年代学记录、物源体系分析与陆内盆山演化[J]. 岩石学报, 2013, 29(3): 739-755.
- Li Z, Peng S T. U-Pb geochronological records and provenance system analysis of the Mesozoic-Cenozoic sandstone detrital zircons in the northern and southern piedmonts of Tianshan, Northwest China: Responses to intracontinental basin-range evolution[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2013, 29(3): 739-755.
- [53] 高志勇, 周川闽, 冯佳睿, 等. 中新生代天山隆升及其南北盆地分异与沉积环境演化[J]. 沉积学报, 2016, 34(3): 415-435.
- Gao Z Y, Zhou C M, Feng J R, et al. Relationship between the Tianshan mountains uplift and depositional environment evolution of the basins in Mesozoic-Cenozoic [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2016, 34(3): 415-435.