

# 准噶尔盆地西北缘三叠系重矿物特征 及其物源指示意义

何苗<sup>1)</sup>, 姜勇<sup>1)</sup>, 张恒<sup>2)</sup>, 李泽超<sup>1)</sup>, 李峻颀<sup>1)</sup>

1) 中海石油(中国)有限公司上海分公司, 上海, 200335; 2) 中国地质科学院地质研究所, 北京, 100037

**内容提要:** 重矿物是物源变化极为敏感的指示剂。本次研究运用重矿物组合、重矿物百分含量统计分布、SPSS统计—因子分析及相关分析方法对准噶尔盆地西北缘三叠系地层中采集的20件砂岩、砂砾岩样品进行研究。通过重矿物特征及指示参数分析得到4类重矿物组合: 锆石—电气石—锐钛矿—独居石—磷灰石组合, 金红石—钛铁矿—白钛石—辉石组合, 方铅矿—赤褐铁矿—黄铁矿组合以及磁铁矿—绿帘石—角闪石组合, 推测母岩组合为中—酸性岩浆岩+沉积岩+变质岩; 认为这套碎屑岩的源区为西北—北部的齐尔山—哈拉阿拉特山一带(属扎伊尔山前), 物源为下石炭统太勒古拉组肉红色花岗岩, 灰色—灰绿色安山岩、安山玢岩及灰色—灰黑色凝灰岩、粉—细砂岩, 并且成岩显示为近源物质和远源物质混杂堆积。

**关键词:** 准噶尔; 三叠系; 石炭系; 物源; 重矿物

物源分析有多种方法, 如地震、砂砾岩体厚度、重矿物指数、岩屑组分、地球化学、裂变径迹、孢粉等(Yang Shouye, 2009; 侯伟等, 2010; 魏亮等, 2010; Carroll et al., 2010; 崔永北等, 2011; 郑勇等, 2013; 许欢等, 2013; 张有平, 2014; 康春国等, 2014; 杨甫等, 2015; 周博等, 2016)。其中, 利用碎屑岩重矿物组合及含量变化追索物源和恢复母岩已被大量应用, 基于野外露头原始资料采集与鉴定的重矿物研究方法得到了广泛认可(陈全红等, 2012; 杨仁超等, 2013; 于鑫等, 2017)。近年来, 前人对准噶尔盆地中生代陆源碎屑沉积物做了大量研究, 众多学者大多针对盆地北部、东部、南部地区的物源体系进行研究, 采用了碎屑组分、重矿物 ZTR 指数、稳定系数、重矿物组合平面分布以及稀土元素配分型式等方法推断出研究区物源大都来源于毗邻山系(林潼等, 2013; 何景文等, 2015; 裴磊等, 2017); 部分学者对盆地西北缘侏罗系古水流、岩屑组成等也有一定研究, 认为其物源来自扎伊尔山, 古水流主要自北西到东南, 母岩类型包括变质岩、中—基性岩浆岩、酸性岩浆及再造沉积岩四大类(胡宗全等, 2001; 德勒恰提等, 2011)。目前, 针对该区域三叠系沉积相、构

造背景方面的研究较多, 认为区域三叠系发育于较为稳定的大地构造背景下, 以山前冲积扇、扇三角洲以及少量河流相组合为主, 而岩矿组合以及母岩类型方面的研究较少, 尤其针对准噶尔西北缘地区的重矿物以及物源的研究仍有待深入。

本次研究选取野外露头发育较好的5条剖面进行踏勘, 并对其中的砂砾岩、砂岩进行采样分析, 将重矿物特征分析与多种统计学手段相结合, 如运用单矿物分析、重矿物组合、重矿物百分含量分布以及主因子分析、相关分析方法系统的分析了准噶尔盆地西北缘中上三叠统的重矿物之间的关系及其组合型式, 并对其母岩组合和源区特征进行了详细描述, 为进一步阐明物源类型及其大地构造背景提供了有利证据。

## 1 区域地质背景

准噶尔盆地位于哈萨克斯坦板块、西伯利亚板块和天山造山带之间, 为晚古生代—中、新生代的大型叠加盆地, 其周缘为古生代褶皱山系(肖序常等, 1992; 李玮等, 2009; 冯文杰等, 2017)。研究区位于新疆克拉玛依市以北(图1), 自古生代以来该

注: 本文为中国地质调查局地调项目(编号: DD20160345)和科技部基础项目(编号: 2015FY310100)的成果。

收稿日期: 2018-03-21; 改回日期: 2019-01-31; 责任编辑: 刘志强。Doi: 10.16509/j.georeview.2019.02.016

作者简介: 何苗, 女, 1988年生, 博士, 工程师, 主要从事沉积学、石油地质学研究, Email: hemiao3@cnooc.com.cn。通讯作者: 张恒, 男, 1985年生, 博士, 主要从事沉积和大地构造学的相关研究, Email: heng0520@126.com。

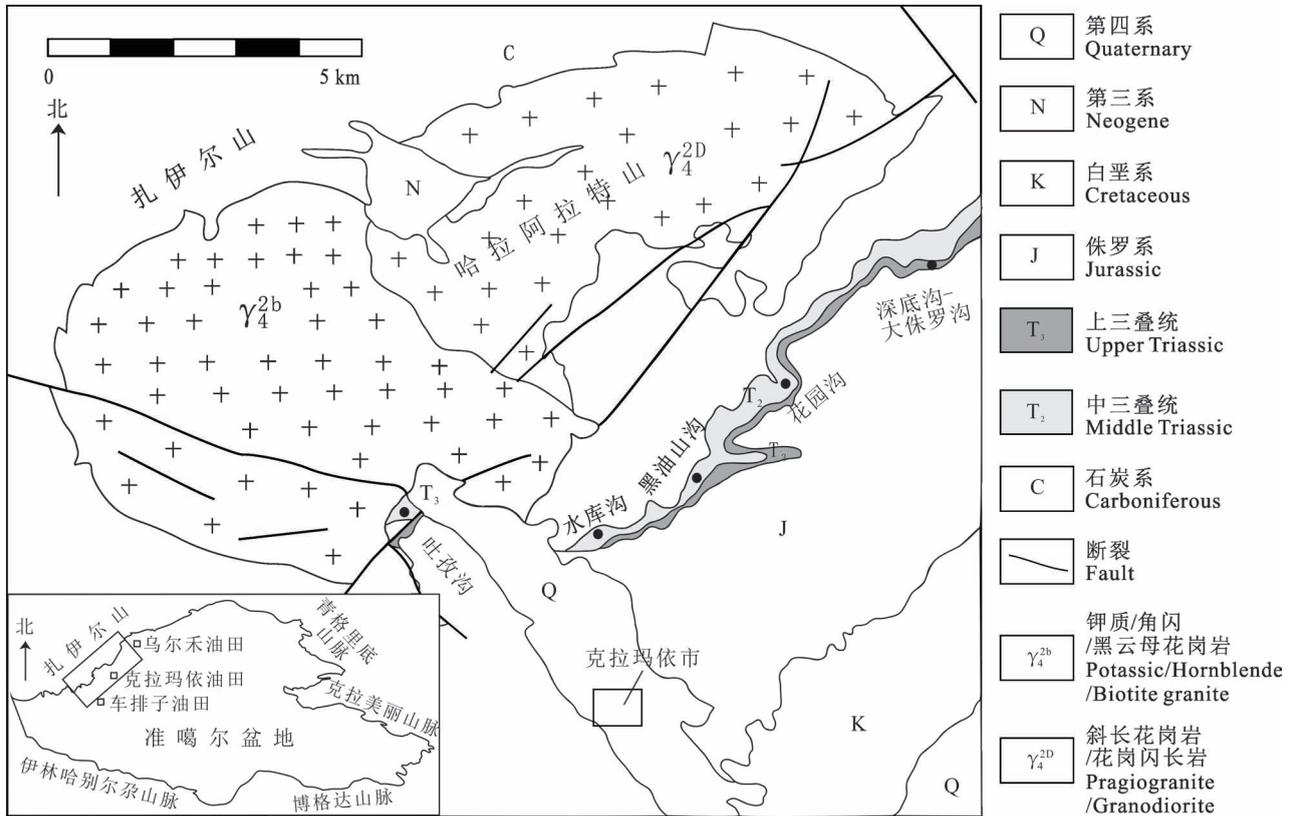


图 1 准噶尔盆地西北缘三叠系露头分布图

Fig.1 Outcrop distribution of Triassic in NW Junggar

地区长期发生差异性升降运动和俯冲碰撞,形成一系列北东—南西向断裂(Choulet et al., 2013; 李涛等, 2015),构造位置上处于晚古生代晚期—中生代早期的前陆冲断带区域。二叠纪末期准噶尔盆地发生大规模造山运动,使得盆地西北石炭纪形成的山脉再次隆起,此后地壳活动逐渐趋于稳定,三叠纪时期地势不断被夷平,此时准噶尔盆地为挤压凹陷盆地,盆地西北缘相对于研究区为地势高隆起区。

准噶尔盆地西北出露中—上三叠统,缺失下三叠统,三叠系与其下伏的石炭系呈角度不整合接触(图 2),以石炭系顶部薄层风化壳泥岩为标志层,上覆为三叠系多套厚层块状砂砾岩,白碱滩组发育大套的湖泊泥岩。研究区西北毗邻齐尔山—哈拉阿拉特山区(属扎伊尔山前),广泛出露石炭系太勒古拉组(C<sub>1t</sub>)火山碎屑岩,发育钾质花岗岩—角闪花岗岩—黑云母花岗岩和斜长花岗岩—花岗闪长岩—花岗岩等大型海西晚期侵入岩系。准噶尔盆地西北地区岩浆岩极为发育,按形成时代分为早石炭世(340~320 Ma)和晚石炭—早二叠世(310~290 Ma)两期(童英等, 2010; 高睿等, 2013)。早石炭世花岗岩主

要分布与扎尔玛、萨吾尔、塔尔巴哈台、森塔斯地区,岩石类型包括二长闪长岩、花岗闪长岩、二长花岗岩和钾长花岗岩;晚石炭—早二叠世岩体类型多样,并以钾长花岗岩为主,大量的 A 型花岗岩在该时期集中发育(Chen Bin et al., 2004; Geng Hongyan et al., 2009; Chen Jiafu et al., 2010)。

## 2 样品采集和鉴定

本次研究取样层位为中—上三叠统,取样地点为深底沟—大侏罗沟、花园沟、黑油山沟、水库沟和吐孜沟剖面(图 1)。其中选取 20 件砂砾岩、砂岩样品于河北省区域地质矿产调查研究所廊坊实验室用作重矿物分析,将样品粉碎至 200 目,经摇床及多次淘洗(人工重砂)获得重矿物,用显微镜进行矿物鉴定并通过颗粒统计得出不同矿物所占重量百分含量。随后利用 SPSS 软件的多元统计原理对重矿物进行因子分析和相关分析,从而获得相对准确的重矿物组合。

## 3 重矿物分析

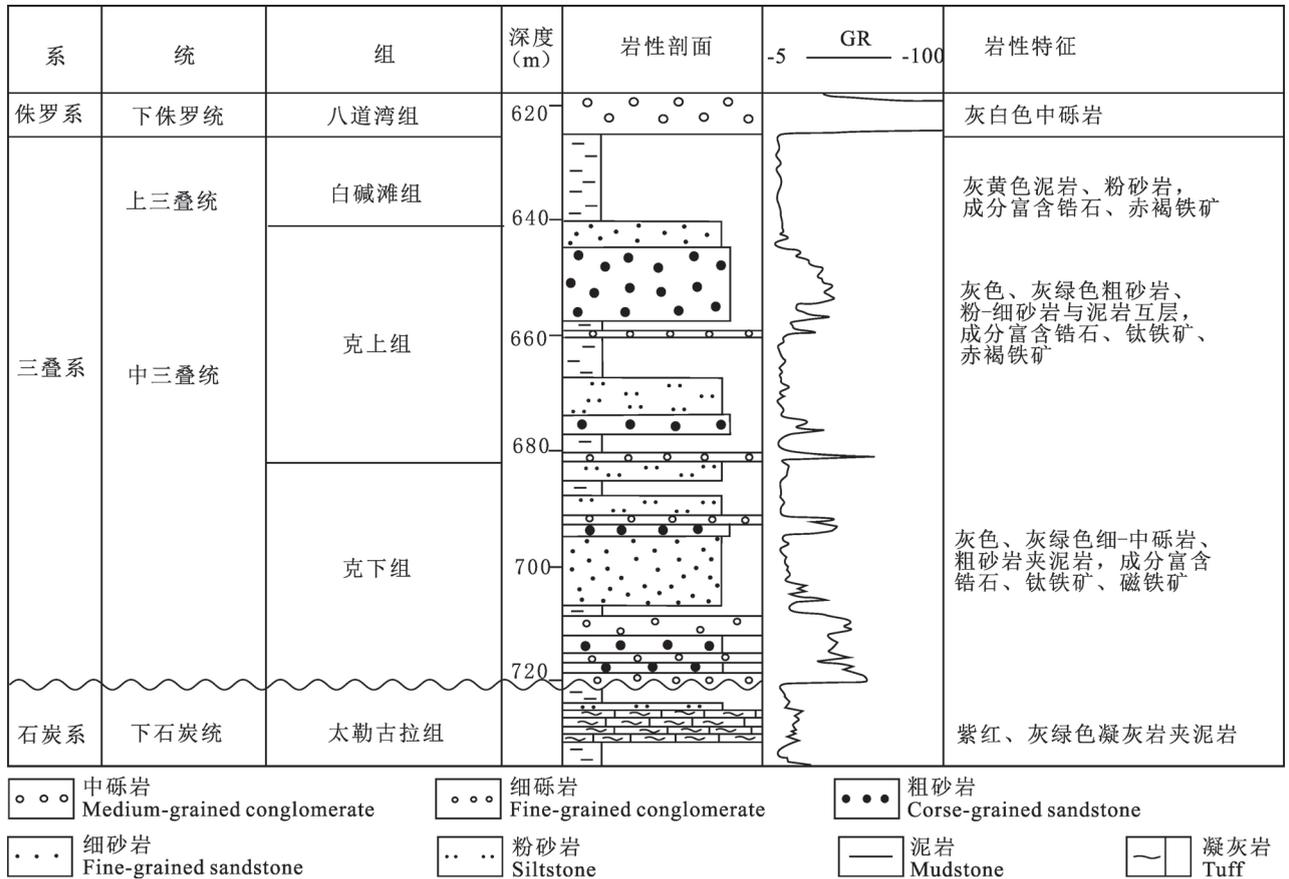


图2 克拉玛依油田 A 井岩性及矿物特征

Fig. 2 Lithology and mineral characteristics of well A, Karamay Oilfield

表 1 准噶尔盆地西北缘中—上三叠统重矿物分类

Table 1 Heavy mineral classification of Middle—Upper Triassic, NW Junggar

地点	主要矿物(>10%)	次要矿物(1%~10%)	少量矿物(≤1%)
深底沟—大侏罗沟	锆石、赤褐铁矿	白钛石、磁铁矿、钛铁矿	黄铁矿、锐钛矿、金红石、铬铁矿、石榴子石、方铅矿、锐钛矿
花园沟	锆石、黄铁矿、赤褐铁矿、磁铁矿、钛铁矿	褐帘石、角闪石	方铅矿、电气石、锐钛矿、辉钼矿
黑油山沟	锆石、钛铁矿、电气石、石榴子石、铬铁矿	赤褐铁矿、独居石	磁铁矿、黄铁矿、磷灰石、绿帘石、金红石、辉石
水库沟	锆石、赤褐铁矿	方铅矿、磁铁矿、锆石、黄铁矿	电气石、石榴子石、辉石
吐孜沟	锆石、钛铁矿、白钛石	赤褐铁矿	电气石、磁铁矿、辉石、金红石、黄铁矿、铬铁矿、锐钛矿、方铅矿

### 3.1 重矿物类型及特征

重矿物是物源变化极为敏感的指示剂,因此根据碎屑岩内重矿物出现的类型及组合,可以确定砂岩的物源及源区岩石类型(Svendson et al., 2002; 赵红格等, 2012; 林洪等, 2014)。本次研究在准噶尔盆地西北缘 5 条野外剖面所采取的 20 件砂砾岩、砂岩样品中共鉴定出 18 种重矿物: 锆石、电气石、金红石、赤褐铁矿、磁铁矿、钛铁矿、白钛石、锐钛矿、石榴

子石、铬铁矿、黄铁矿、方铅矿、磷灰石、褐帘石、绿帘石、辉石、角闪石和独居石(表 1、表 2)。其中, 锆石有两种, 95% 以上为黄粉色锆石, 呈自形—半自形柱状(图 3a)、短柱状, 透明, 具弱金刚光泽, 磨圆度低—中等, 分选较好; 1%~5% 为玫瑰色锆石, 次滚圆柱状—粒状, 透明—半透明, 具毛玻璃光泽, 分选、磨圆较好; 各类铁矿在重矿物中所占比重较高(表 1), 铁矿颗粒多为半自形, 棱角—次棱角状, 黄铁矿

表 2 准噶尔盆地西北缘中-上三叠统样品重矿物颗粒百分含量累计 (%)

Table 2 Heavy mineral grains statistics of samples of Middle–Upper Triassic, NW Junggar

剖面	样品号	锆石	电气石	金红石	赤褐铁矿	磁铁矿	钛铁矿	白钛石	锐钛矿	石榴子石	铬铁矿	独居石	黄铁矿	方铅矿	磷灰石	褐帘石	绿帘石	辉石	角闪石	其余
深底沟- 大罗沟	130523-4	33.33	0.00	0.00	30.67	16.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	19.33
	130523-6	0.59	0.00	0.00	0.00	0.00	2.21	1.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	96.17
	130523-8	6.86	0.00	0.00	10.71	35	30	1.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.11
	130523-17	18.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	82.37
	130523-21	14.38	0.00	0.00	0.00	7.5	15	2.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	60.59
花园沟	130523-24	9.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	90.67
	130602-1	10.27	0.00	0.00	57.37	0.00	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.12	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.88
	130602-4	35	0.00	0.00	0.00	0.00	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10	0.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	53.5
	130602-5	18.92	0.00	0.00	1.08	15.92	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.78	0.00	0.00	3.54	0.00	0.00	0.00	59.71
	130602-9	2.19	0.03	0.00	28.71	27.06	12.82	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.19	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00	1.58	27.22
黑油山沟	130603-1	8	27.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.83	1.83	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	60.83
	130603-2	11.3	9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.9	0.00	0.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	78.25
	130603-7	30.85	28.41	0.00	0.00	0.2	0.00	0.00	0.32	2.3	1.73	7.07	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	29.11
	130604-1	0.00	0.00	0.00	3	0.00	0.00	0.00	0.00	10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	86.99
	130604-5	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	99.94
	130604-6	19.6	0.00	0.00	0.00	0.00	40	0.00	0.00	0.00	32	0.00	1.6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.8
	130604-7	13.67	0.00	0.00	0.00	0.00	36.6	0.00	0.00	0.00	13.27	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	36.44
水库沟	130604-11	3	0.1	0.00	67.65	4.6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.65	5	0.00	0.00	0.00	0.00	18	
吐孜沟	130605-4	6.94	0.29	0.14	0.00	0.17	70.34	14.99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.12
	130605-8	10.79	0.95	0.17	3.53	0.09	69.31	5.86	0.08	0.00	0.00	0.00	0.24	0.01	0.00	0.00	0.00	0.38	0.00	8.59

等不稳定矿物赤褐铁矿化严重(图 3b); 电气石作为少量矿物, 由于含 Fe 多而呈茶褐色, 半自形柱状(图 3c), 透明, 具玻璃光泽和高硬度; 也有一些电气石呈孺状, 正交镜下呈蓝绿色, 纵纹及横节理发育(图 3d); 棕红色金红石多为半自形次滚圆粒状(图 3e), 具油脂光泽和高硬度; 石榴子石多为粉色, 次棱角状, 透明, 具玻璃光泽和高硬度。此外, 岩样中亦可见蚀变矿物如褐帘石、绿帘石以及大量蚀变矿物碎屑、铁屑等。岩样中轻矿物以棱角状—次棱角状石英为主(图 3f)。

从所有样品的重矿物百分含量分布图中可以看出每种矿物的贡献情况(图 4a), 锆石、赤褐铁矿、磁铁矿、钛铁矿和铬铁矿含量普遍较高, 电气石、白钛石、石榴子石、独居石、黄铁矿、方铅矿和褐帘石含量相对较低, 此外, 金红石、锐钛矿、磷灰石、绿帘石、辉石和角闪石也在样品中占有一定的含量。不同剖面、不同深度埋藏的样品所含重矿物组合的一致性表明研究区物质在沉积过程中保持着稳定的物源(康春国等, 2014)。

### 3.2 主因子分析

主因子分析(因子分析, 成分分析)是一种多元统计数学方法, 从大量的数据中“由表及里”、“去粗取精”, 寻找影响或支配变量的多变量统计方法, 其目的在于对大量观测数据用较少的有代表性的因子来说明众多变量所提取的主要信息。其中常用的聚类分析中, Q 型聚类分析和 R 型聚类分析都是利用聚类谱系图明确、清楚、全面地表达其数值分类结果, 从而达到对样本进行分类处理的效果。因子分析就是要找到具有本质意义的少量因子, 用一定的结构/模型, 去表达或解释大量可观测的变量, 并且用相对少量的几个因子解释原来许多相互关联的变量之间的关系。在对本次研究采集 20 件样品中的 18 种重矿物采用 R 型分析发现, 前 6 个因子的累积方差百分数大于 77.62%, 且碎石图上曲线陡坡自第 6 个因子点开始变缓, 直到第 14 个

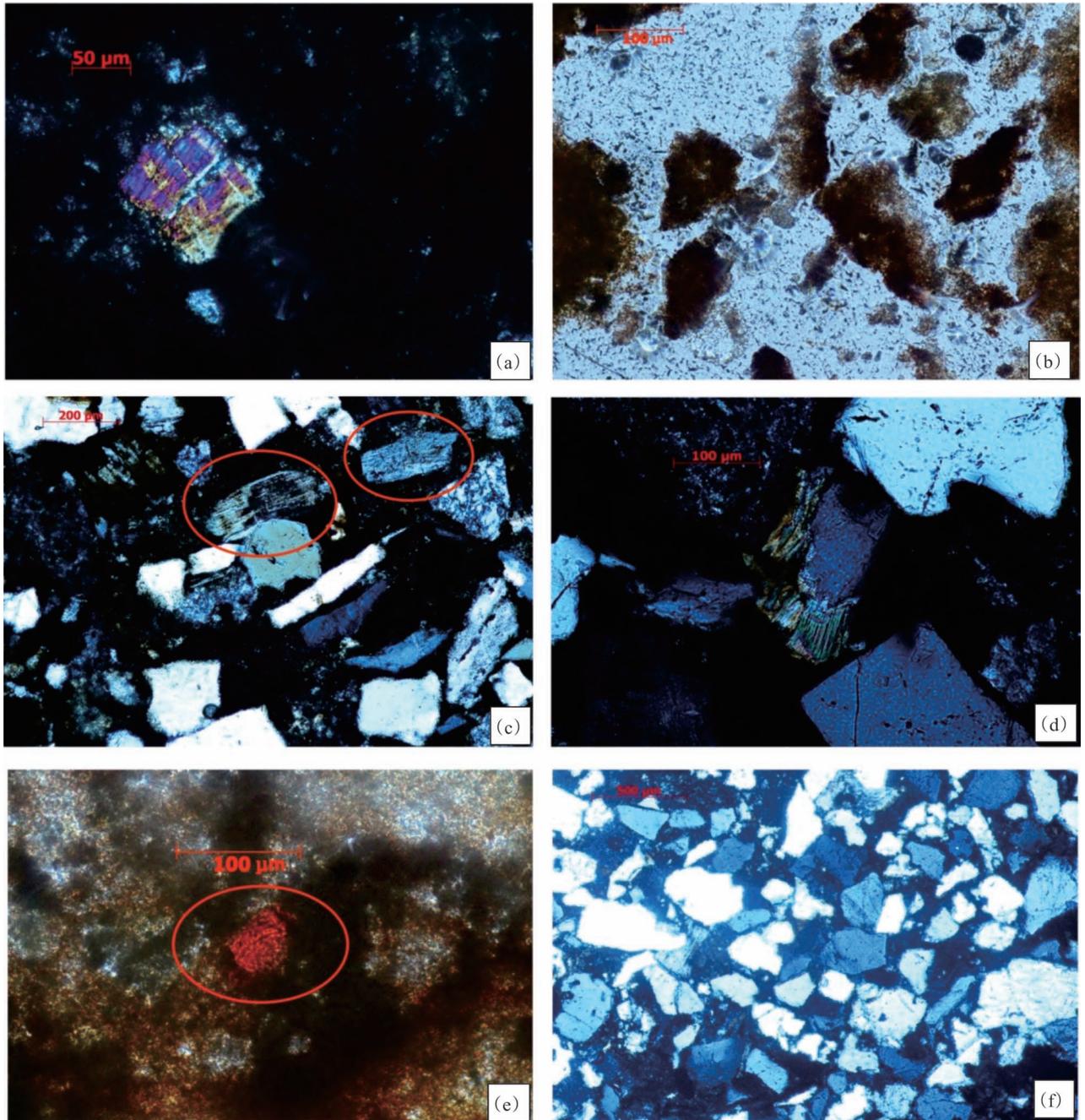


图3 准噶尔盆地西北缘矿物镜下特征

Fig.3 Microscopic characteristics of minerals in NW Junggar

(a) 锆石—中三叠统,黑油山沟(正交光);(b) 铁矿侵染—上三叠统,深底沟—大侏罗沟(单偏光);(c) 电气石—中三叠统,花园沟(正交光);(d) 电气石—中三叠统,黑油山沟(正交光);(e) 金红石—中三叠统,花园沟(单偏光);(f) 矿物颗粒—中三叠统,深底沟—大侏罗沟(正交光)

(a) Zircon—T<sub>2</sub>, Heiyoushangou (crossed polars); (b) Iron infection—T<sub>3</sub>, Shendigou—Dazhuluogou (single polar); (c) Tourmaline—T<sub>2</sub>, Huayangou (crossed polars); (d) Tourmaline—T<sub>2</sub>, Heiyoushangou (crossed polars); (e) Rutile—T<sub>2</sub>, Huayangou (single polars); (f) Mineral grains—T<sub>2</sub>, Shendigou—Dazhuluogou (crossed polars)

因子点曲线几乎平坦(图 4b),说明仅前 6 个因子具有较强变异性,而后 12 个因子仅占小部分变异性,可能影响不大。提取前 6 个因子作为主因子,利用

Kaiser 标准化的正交旋转法,进行极大方差旋转,得到因子载荷矩阵(表 3)。

第一主因子 F1 解释信息的 20.12%是影响研

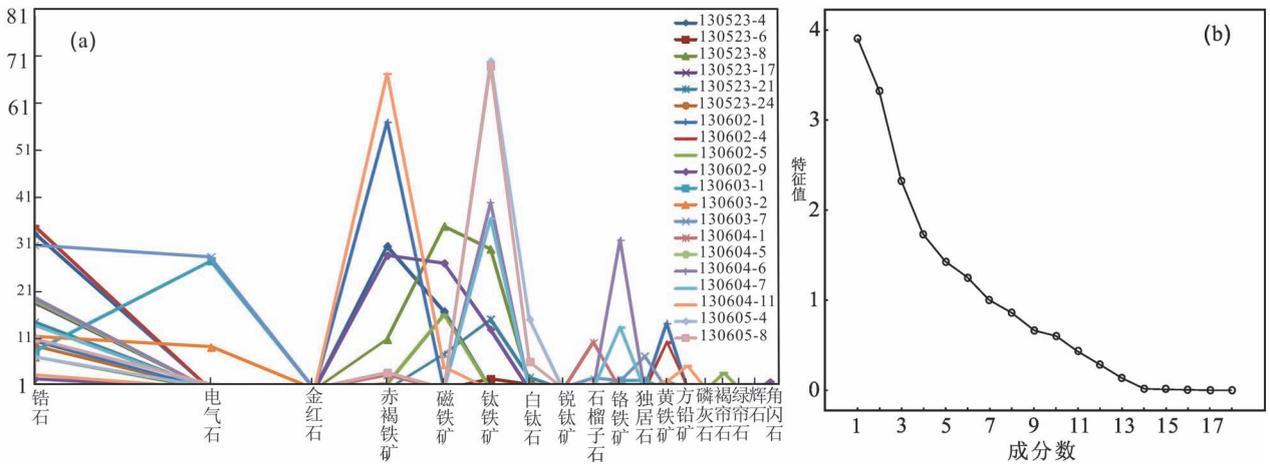


图 4 准噶尔盆地西北缘样品重矿物百分含量分布图  
Fig.4 Distribution of heavy mineral percentage, NW Junggar

究区沉积物中重矿物分布的主要地质因素。而 F1 表 3 准噶尔盆地西北缘样品因子载荷矩阵(经过方差极大旋转)

Table 3 Component matrix (after varimax rotation) of samples, NW Junggar

矿物\因子	F1	F2	F3	F4	F5	F6
独居石	0.97	-0.07	-0.03	-0.05	0.03	-0.02
磷灰石	0.92	-0.11	-0.05	-0.06	-0.06	-0.09
电气石	0.91	-0.11	-0.06	-0.08	-0.08	-0.09
锐钛矿	0.88	0.13	-0.04	-0.06	0.11	0.15
金红石	-0.01	0.98	-0.07	-0.02	-0.03	0.01
钛铁矿	-0.16	0.86	0.05	-0.24	0.14	-0.25
白钛石	-0.09	0.84	-0.07	-0.08	-0.09	0.00
辉石	0.05	0.76	-0.04	0.04	0.04	0.05
角闪石	-0.03	-0.04	0.96	0.03	-0.05	-0.07
绿帘石	-0.03	-0.05	0.96	0.03	-0.09	-0.07
磁铁矿	-0.16	-0.09	0.68	-0.03	0.13	0.43
赤褐铁矿	-0.13	-0.11	0.23	0.89	0.10	0.00
方铅矿	-0.06	-0.05	-0.07	0.79	-0.09	-0.02
黄铁矿	-0.12	-0.16	-0.17	0.50	0.45	-0.09
锆石	0.34	-0.13	-0.22	-0.13	0.72	0.12
石榴子石	0.12	-0.17	-0.13	-0.11	-0.65	-0.02
褐帘石	-0.08	-0.11	-0.03	-0.21	0.21	0.76
铬铁矿	-0.11	-0.10	-0.07	-0.36	0.40	-0.63
方差贡献	21.12	17.51	13.08	10.89	8.07	7.23
累计方差						
百分数 (%)	20.12	37.64	51.44	62.32	70.40	77.62

代表的矿物组合为独居石—磷灰石—电气石—锐钛矿; F2 解释信息的 17.51%代表重矿物组合为金红石—钛铁矿—白钛石—辉石;前两个主因子中,辉石属不稳定矿物,磷灰石、独居石、钛铁矿和白钛石属于稳定矿物,其余为超稳定矿物; F3 解释信息的

13.08%代表重矿物组合为角闪石—绿帘石—磁铁矿, F4 解释信息的 10.89%代表重矿物组合为赤褐铁矿—方铅矿—黄铁矿;这两个组合中角闪石、绿帘石、方铅矿和黄铁矿属中等—不稳定矿物,磁铁矿和赤褐铁矿属稳定矿物; F5 和 F6 解释信息分别为 8.07%和 7.23%,代表锆石—石榴子石和褐帘石—铬铁矿组合,其中锆石为超稳定矿物,铬铁矿为稳定型矿物,石榴子石和褐帘石为中等稳定矿物。

由于因子 F5、F6 贡献率偏小不适于作图,因此只选取 F1—F4 因子进行投图比较分析。可以看出, F1—F2 关系图中相对明显的组合有两个,即金红石—钛铁矿—白钛石—辉石,锐钛矿—独居石—电气石—磷灰石(图 5a); F1—F3 关系图中相对明显的组合为角闪石—绿帘石—磁铁矿,锐钛矿—独居石—电气石—磷灰石—锆石—钛铁矿(图 5b); F3—F4 关系图中相对明显的组合为赤褐铁矿—方铅矿—黄铁矿,角闪石—绿帘石—磁铁矿(图 5c); F2—F3 关系图中相对明显的组合为角闪石—绿帘石—磁铁矿,金红石—钛铁矿—白钛石—辉石(图 5d)。

### 3.3 相关分析

相关分析是用适当的统计指标来衡量事物之间,以及变量之间线性相关程度的强弱。相关关系是一种非确定性的关系,包括简单相关分析、偏相关分析和距离相关分析三种。本次研究运用的是距离相关分析,即相似性分析。相关系数是用以反映变量之间相关关系密切程度的统计指标。不同物源来源的重矿物组合存在着差异,利用多元统计原理的

表4 准噶尔盆地西北缘中—上三叠统重矿物相关系数

Table 4 Heavy mineral correlation coefficient of Middle-Upper Triassic, NW Junggar

重矿物类型	锆石	电气石	金红石	赤褐铁矿	磁铁矿	钛铁矿	白钛石	锐钛矿	石榴子石	铬铁矿	独居石	黄铁矿	方铅矿	磷灰石	褐帘石	绿帘石	辉石	角闪石
锆石	1.00	0.21	-0.12	-0.14	-0.04	-0.11	-0.16	0.40	-0.19	0.17	0.37	0.25	-0.17	0.22	0.14	-0.25	-0.04	-0.23
电气石	0.21	1.00	-0.10	-0.20	-0.21	-0.22	-0.13	0.64	0.07	-0.05	0.84	-0.15	-0.10	0.97	-0.09	-0.10	-0.06	-0.09
金红石	-0.12	-0.10	1.00	-0.14	-0.17	0.82	0.84	0.10	-0.09	-0.11	-0.09	-0.12	-0.08	-0.11	-0.08	-0.08	0.76	-0.08
赤褐铁矿	-0.14	-0.20	-0.14	1.00	0.23	-0.21	-0.17	-0.15	-0.11	-0.17	-0.15	0.44	0.68	-0.17	-0.11	0.21	-0.08	0.22
磁铁矿	-0.04	0.23	-0.17	0.23	1.00	0.01	-0.10	-0.11	-0.15	-0.18	-0.15	-0.18	-0.03	-0.18	0.24	0.49	-0.12	0.50
钛铁矿	-0.11	0.01	0.82	-0.21	0.01	1.00	0.77	-0.02	-0.17	0.32	-0.17	-0.19	-0.16	-0.21	-0.14	-0.02	0.56	-0.01
白钛石	-0.16	-0.13	0.84	-0.17	-0.10	0.77	1.00	-0.02	-0.10	-0.13	-0.11	-0.14	-0.10	-0.12	-0.09	-0.09	0.31	-0.09
锐钛矿	0.40	0.64	0.10	-0.15	-0.11	-0.10	-0.02	1.00	0.15	-0.05	0.92	-0.12	-0.08	0.64	0.09	-0.08	0.19	-0.07
石榴子石	-0.19	0.07	-0.08	-0.17	-0.18	0.32	-0.13	0.15	1.00	1.00	0.15	-0.11	-0.07	0.08	-0.06	0.01	-0.06	-0.06
铬铁矿	0.17	-0.05	-0.11	-0.17	-0.18	1.00	-0.10	-0.08	-0.08	1.00	-0.03	-0.04	-0.09	-0.03	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08
独居石	0.37	0.84	-0.09	-0.15	-0.15	-0.17	-0.11	0.92	1.00	1.00	0.15	-0.11	-0.07	0.85	-0.06	-0.07	-0.06	-0.06
黄铁矿	0.25	-0.15	-0.12	-0.12	-0.12	-0.04	-0.04	1.00	0.09	0.09	0.92	-0.12	0.09	-0.03	-0.08	-0.09	-0.08	-0.08
方铅矿	-0.17	-0.10	-0.08	-0.08	-0.08	-0.09	-0.09	0.09	1.00	1.00	0.15	-0.11	1.00	0.85	-0.06	-0.07	-0.06	-0.06
磷灰石	0.22	0.97	-0.11	0.68	-0.18	-0.17	-0.14	-0.12	-0.11	-0.04	-0.11	0.09	0.09	-0.13	-0.04	-0.09	-0.08	-0.08
褐帘石	0.14	-0.09	-0.08	-0.11	0.24	-0.14	-0.10	0.64	0.08	-0.09	0.85	-0.13	1.00	1.00	-0.06	-0.06	-0.06	-0.08
绿帘石	-0.25	-0.10	-0.08	0.21	0.49	-0.02	-0.09	0.09	-0.06	-0.08	-0.06	-0.04	-0.06	-0.08	-0.08	-0.06	-0.05	-0.05
辉石	-0.04	-0.06	-0.08	-0.08	-0.12	0.56	-0.09	-0.08	0.01	-0.08	-0.07	-0.09	-0.06	-0.08	1.00	1.00	-0.06	1.00
角闪石	-0.23	-0.09	-0.08	0.22	0.50	-0.01	-0.09	-0.07	-0.06	-0.08	-0.06	-0.08	-0.06	-0.08	-0.05	-0.06	-0.05	-0.05

相关分析(相似性分析)研究各重矿物之间的相关关系(杜强等,2011;张焱等,2016),进而依据重矿物组合类型判断母岩类型。重矿物相关分析结果显示研究区存在4类组合(表4)。

锆石—电气石—锐钛矿—独居石—磷灰石组合:电气石与独居石、电气石与磷灰石、锐钛矿与独居石、独居石与磷灰石之间相关系数为0.80~0.97,呈最高正相关;电气石与锐钛矿相关系数为0.64次之;锆石与锐钛矿、锆石与独居石相关系数小于0.5为正相关最低。

金红石—钛铁矿—白钛石—辉石组合:除了钛铁矿与辉石相关系数0.56呈较低正相关以外,其余相关系数处于0.70~0.85的高正相关范围内。

方铅矿—赤褐铁矿—黄铁矿组合:方铅矿与赤褐铁矿的相关系数为0.68具较高正相关,赤褐铁矿和黄铁矿相关系数小于0.5为低正相关。

磁铁矿—绿帘石—角闪石组合:各矿物间相关系数为0.5左右,具较低正相关。

同时,所有重矿物之间负相关程度较低大多-0.2~-0.01,因此这4类重矿物组合很可能属于某一大物源环境下的不同母岩组合,且母岩组合中各有交叉。

#### 4 母岩及物源区探讨

此前,对准噶尔盆地区域物源研究的原始资料通常来源于油田勘探信息、录井资料,或者建立在沉积相展布基础上进行的古流向研究,对盆地西北缘三叠系沉积物来源的研究相对匮乏,利用碎屑岩重矿物特征及其多种研究方法进行母岩组合描述,并对物源区方位预测的实例更少。

对盆地西北缘三叠系中获得的20件碎屑岩样品进行研究,识别出的两种锆石分别来源于不同母岩。黄粉色自形—半自形柱状锆石具岩浆岩锆石特征,磨圆较差分选一般,说明可能距离物源区近;而含量少的玫瑰色锆石具沉积岩锆石特征,磨圆分选较好,说明经历了一定搬运距离。茶褐色—黑褐色自形—半自形柱状电气石具高温岩浆成因,可能来自于附近花岗岩,另还可识别出少量

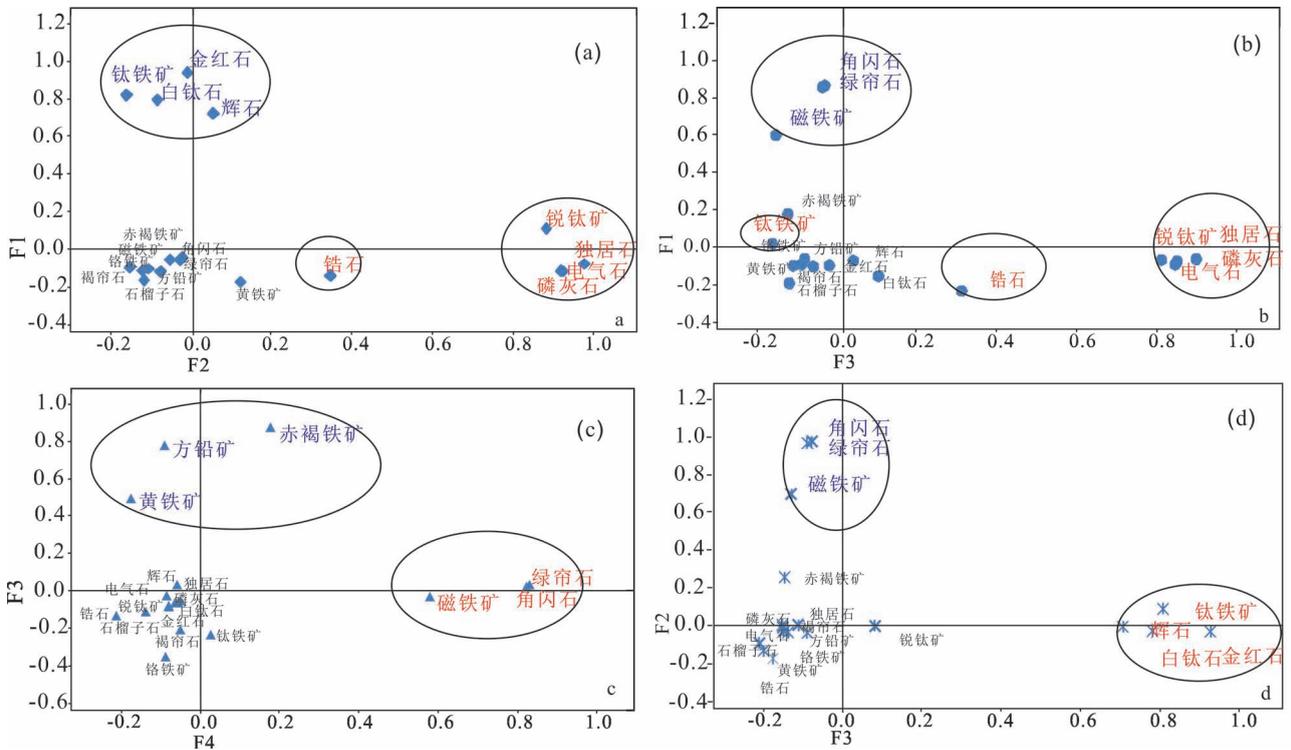


图 5 F1~F4 间旋转空间中的因子关系图  
Fig.5 Component correlation plots in rotated space

沉积成因的次滚圆—滚圆粒状电气石和金红石。此外,中—酸性岩浆岩中常伴生铁、铜矿床,进一步解释了钛铁矿、赤褐铁矿、磁铁矿等的富集原因;一定含量的角闪石、云母碎片、磷灰石、独居石也可以证明中—酸性岩浆岩作为母岩的极大可能。因此,二叠纪末期准噶尔地区发生大规模造山运动,使得盆地西北缘石炭纪形成的山脉再次隆起,三叠纪时期盆地东南缘开始接受来自西北隆起区剥蚀物的沉积,而含少量的变质矿物如石榴子石及蚀变矿物碎屑等则说明成分可能有来自变质岩(Xie Jing et al., 2007)。

不同的重矿物组合代表了不同的物源区或者不同母岩类型(李增学等,2010)。上述多种重矿物方法研究的结果表明,准噶尔盆地西北缘主要发育 4 类重矿物组合:锆石—电气石—锐钛矿—独居石—磷灰石,金红石—钛铁矿—白钛石—辉石,方铅矿—赤褐铁矿—黄铁矿,磁铁矿—绿帘石—角闪石。前两个组合中均以稳定重矿物为主,后两个组合中不稳定矿物含量相对较高。从矿物颗粒磨圆、分选、圆度以及重矿物稳定程度可以看出,研究区沉积物很可能为近源堆积物质和远源搬运物质的叠加。但是总体来看,不论重矿物还是轻矿物,大多颗粒都呈现

次棱角状—棱角状、次棱角状—次圆状的特征(图 3f),次圆状—滚圆状颗粒所占比例小于 10%左右,因此研究区沉积物应该以近源堆积为主。

综合以上研究,推测准噶尔盆地西北缘中—上三叠统母岩组合为中—酸性岩浆岩+沉积岩+变质岩,并以中—酸性岩浆岩为主。物源区为西北—北部的齐尔山—哈拉阿拉特山区一带(属扎伊尔山前)(图 6),下石炭统太勒古拉组大套灰色—灰黑色薄层凝灰岩及安山岩、安山玢岩夹层可能为中—酸性岩浆岩碎屑来源之一,粉—细砂岩薄互层可作为沉积岩母岩,此外,研究区西北方位早石炭纪—早二叠世花岗岩、花岗闪长岩能够为研究区提供大量物源(张关龙等,2018)。结合对以上野外地质剖面中交错层理以及扁平砾石的统计观测发现,古流向以西北—东南方向为主(图 6)。

进行物源分析时,应考虑构造背景、构造运动等方面的相互印证。准噶尔盆地三叠系为一个持续缓慢沉降的拗陷盆地,其西北缘西南—东北向逆冲断裂发育,使得碎屑物质充分混合,物源区向盆地推进,可能会出现多种母岩成分。尤其受到区域动力变质作用的影响,物源区岩石发生了不同程度的绿泥石化、绿帘石化。然而,重矿物组合分析法对源区

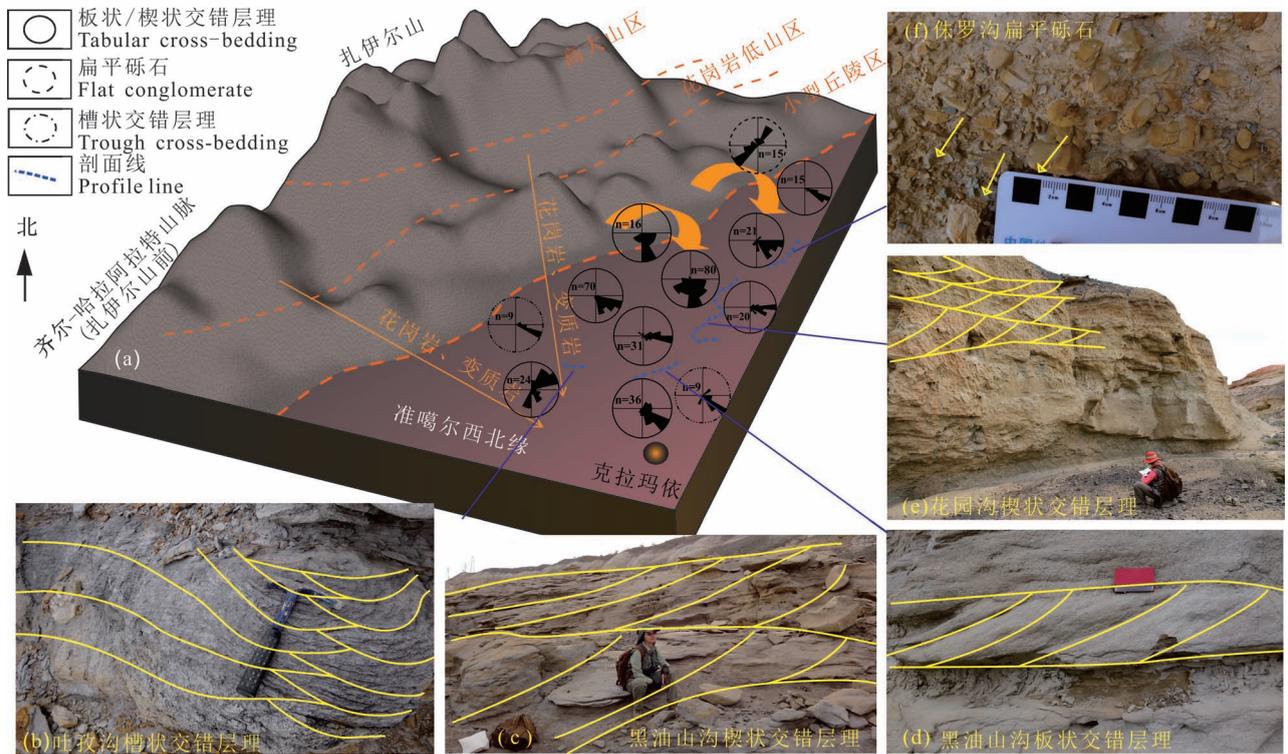


图6 古物源及古流向示意图

Fig.6 The map of provenance and paleo current

的精确判别仍存在一定缺陷,如水动力会影响沉积时重矿物性质等。因此,对于碎屑重矿物在物源分析中的应用,应注意多种方法的结合及验证,以达到准确判断母岩及物源区的目的。

## 5 结论

本文结合重矿物组合、重矿物百分含量统计分布、SPSS 统计—因子分析及相关分析方法对准噶尔盆地西北缘重矿物特征进行了研究并论述了其母岩组合及物源指示意义,得出了以下 4 点认识:

(1) 盆地西北缘中—上三叠统样品中共鉴别出重矿物 18 种,多以次棱角—棱角状、次棱角—次圆状为主,锆石、电气石及各类铁矿含量普遍较高。其中锆石有黄粉色和玫瑰色两个变种,电气石为茶褐色的镁电气石,同时含有一定量的角闪石、云母碎片、磷灰石、独居石等以及少量变质矿物和蚀变矿物碎屑,局部褐铁矿化明显。

(2) 盆地西北缘主要有 4 类重矿物组合: 锆石—电气石—锐钛矿—独居石—磷灰石,金红石—钛铁矿—白钛石—辉石,方铅矿—赤褐铁矿—黄铁矿,磁铁矿—绿帘石—角闪石。前 2 个组合中均以

稳定重矿物为主,后两个组合不稳定矿物含量相对较高,说明研究区沉积物可能为近源堆积物质和远源搬运物质的叠加,并以近源堆积为主。

(3) 重矿物组合中含大量自形—半自形、磨圆差柱状锆石和柱状、蠕状电气石,具岩浆成因特征;具有一定含量的金红石、独居石、磷灰石、普通辉石、角闪石,以及较丰富的磁铁矿、钛铁矿,推测母岩包括中—酸性岩浆岩;而少量的次滚圆—滚圆状碎屑锆石和电气石说明母岩中含有沉积岩;另重矿物组合中含有少许变质岩标志矿物石榴子石、褐帘石、绿帘石等,推测母岩中也含有少量变质岩。

(4) 物源区为西北—北部的齐尔山—哈拉阿拉特山区(属扎伊尔山前),物源区母岩组合为下石炭统太勒古拉组中—酸性岩浆岩+沉积岩+变质岩,并以中—酸性岩浆岩为主。中—酸性岩浆岩母岩可能为大套凝灰岩、安山岩、安山玢岩以及花岗岩、花岗闪长岩侵入体;沉积岩母岩可能以粉—细砂岩为主,变质岩成分则可能由于来自受区域动力变质作用影响具有局部绿泥石化、绿帘石化的碎屑岩。

致谢:感谢河北省区域地质矿产调查研究所实验室对本研究区重矿物样品的处理和鉴定工作!感

谢中国地质科学院地质研究所李廷栋院士、姚建新研究员对本文提出的意见与建议!

## 参 考 文 献 / References

(The literature whose publishing year followed by a “&” is in Chinese with English abstract; The literature whose publishing year followed by a “#” is in Chinese without English abstract)

- 陈家富, 韩宝福, 张磊. 西准噶尔北部晚古生代两期侵入岩的地球化学、Sr-Nd 同位素特征及其地质意义. 2010. 岩石学报, 26(8): 2317~2335.
- 陈全红, 李文厚, 胡孝林, 李克永, 庞军刚, 郭艳琴. 2012. 鄂尔多斯盆地晚古生代沉积岩源区构造背景及物源分析. 地质学报, 86(7): 1150~1162.
- 崔永北, 王风华, 谭滨田, 弭连山, 阎燕. 2011. 胜坨地区沙四上亚段物源体系分析. 中国地质, 38(5): 1324~1333.
- 德勒恰提, 马新明, 王威. 2011. 准噶尔盆地西北缘九区八道湾组油藏物源及古流向分析. 新疆大学学报:自然科学版, 28(3): 366~370.
- 杜强, 贾丽艳. 2011. SPSS 统计分析从入门到精通. 北京: 人民邮电出版社: 234~288.
- 冯文杰, 吴胜和, 印森林, 张莉, 李俊飞, 夏钦禹. 2017. 准噶尔盆地西北缘三叠系干旱型冲积扇储层内部构型特征. 地质论评, 63(1): 219~233.
- 高睿, 肖龙, 王国灿, 贺新星, 杨刚, 鄢圣武. 2013. 西准噶尔晚古生代岩浆活动和构造背景. 岩石学报, 29(10): 3413~3434.
- 何景文, 朱文斌, 郑碧海, 吴海林, 葛荣峰, 罗梦. 2015. 塔里木西北缘阿克苏地区震旦系苏盖特布拉克组沉积物源分析: 碎屑锆石年代学证据. 地质学报, 89(1): 149~162.
- 和钟铨, 刘招君, 张峰. 2001. 重矿物在盆地分析中的应用研究进展. 地质科技情报, (4): 29~32.
- 侯伟, 刘招君, 何玉平, 何钟铨, 张月巧, 张雷. 2010. 漠河盆地上侏罗统物源分析及其地质意义. 地质论评, 56(1): 71~81.
- 胡宗全, 朱筱敏, 彭勇民. 2001. 准噶尔盆地西北缘车排子地区侏罗系物源及古水流分析. 古地理学报, 3(3): 49~54.
- 王振涛, 周洪瑞, 王训练, 景秀春. 2014. 贺兰山地区中奥陶统樱桃沟组物源及构造背景分析. 沉积学报, 32(2): 205~217.
- 康春国, 李长安, 张玉芬, 邵磊, 江华军. 2014. 宜昌砾石层重矿物组合特征及物源示踪分析. 地质学报, 88(2): 254~262.
- 李双建, 石永红, 王清晨. 2006. 碎屑重矿物分析对库车拗陷白垩—第三纪物源变化的指示. 沉积学报, 24(1): 28~35.
- 李玮, 胡健民, 瞿洪杰. 2009. 新疆准噶尔盆地西北缘中生代盆地边界探讨. 西北大学学报(自然科学版), 39(5): 821~830.
- 李增学, 常象春, 赵秀丽. 2010. 岩相古地理学. 北京: 地质出版社.
- 李涛, 赵淑娟, 李三忠, 余珊, 楼达, 索艳慧, 王学斌, 孙文军, 杨朝, 戴黎明. 2015. 准噶尔盆地东北部逆冲推覆构造特征. 地质论评, 61(2): 356~366.
- 林洪, 李凤杰, 李磊, 杨豫川, 李俊武. 2014. 柴达木盆地北缘古近系重矿物特征及物源分析. 天然气地球科学, 25(4): 532~541.
- 林潼, 王东良, 王岚, 沈英. 2013. 准噶尔盆地南缘侏罗系齐古组物源特征及其对储层发育的影响. 中国地质, 40(3): 909~918.
- 刘立, 胡春燕. 1991. 砂岩中主要碎屑成分的物源区意义. 岩相古地理, (6): 48~53.
- 欧浩文, 吕嵘, 李宇志. 2008. 准噶尔盆地南缘地区中新代物源分析. 内蒙古石油化工, (24): 183~185.
- 裴磊, 李瑞保, 裴先治, 刘俊来, 李佐臣, 刘成军, 陈有焯, 刘战庆, 陈国超, 胡楠, 高峰. 2017. 东昆仑南缘哥日卓托地区马尔组

- 沉积物源分析: 碎屑锆石 U-Pb 年代学证据. 地质学报, 91(6): 1326~1344.
- 曲国胜, 马宗晋, 陈新发, 李涛, 张宁. 2009. 论准噶尔盆地构造及其演化. 新疆石油地质, 30(1): 1~5.
- 石永红, 李忠, 卜香萍, 许承武. 2009. 博兴洼陷新生代砂岩碎屑石榴石的物源示踪及对鲁西隆起的指示. 沉积学报, 27(5): 967~975.
- 苏朝光, 仲维莘. 2010. 准噶尔盆地车排子凸起新近系沙湾组物源分析. 石油与天然气地质, 31(5): 648~655.
- 苏玉平, 唐红峰, 侯广顺, 刘丛强. 2006. 新疆西准噶尔达拉布特构造带铝质 A 型花岗岩的地球化学研究. 地球化学, 35(1): 55~67.
- 童英, 王涛, 洪大卫, 韩宝福, 张建军, 史兴俊. 2010. 北疆及邻区石炭—二叠纪花岗岩时空分布特征及其构造意义. 岩石矿物学杂志, 29(6): 619~641.
- 王明磊, 张廷山, 王兵, 支东明. 2009. 重矿物分析在古地理研究中的应用——以准噶尔盆地南缘中段古近系紫泥泉子组紫三段为例. 中国地质, 36(2): 456~464.
- 魏亮, 郭华明, 谢振华, 李志萍. 2010. 北京平原沉积物稀土元素地球化学特征及物源意义. 地质学前沿, (6): 72~80.
- 吴湘滨, 刘义福, 邱冬生. 2002. 湘西南元古宙高洞群微量元素主成分分析. 岩石矿物学杂志, 21(1): 55~61.
- 肖序常, 汤耀庆, 冯益民. 1992. 新疆北部及邻区大地构造演化. 北京: 地质出版社.
- 许欢, 柳永清, 旷红伟, 刘燕学, 彭楠, 董超, 薛沛霖. 2013. 阴山—燕山地区大青山组/后城组/土城子组沉积物源与盆地演化. 地质通报, 32(2~3): 502~524.
- 杨东宁, 袁东星, 邓永智, 李权龙. 1998. 主成分分析法用于厦门西港和香港维多利亚港沉积物样品分类研究. 海洋环境科学, 17(3): 61~66.
- 杨甫, 陈刚, 章辉若, 侯斌, 张甲明, 丁超. 2013. 准噶尔盆地东北部 DB1 井中生界碎屑锆石 LA-ICP-MSU-Pb 定年. 兰州大学学报: 自然科学版, 49(3): 313~319.
- 杨甫, 陈刚, 陈强, 丁超, 高磊, 雷盼盼, 张文龙, 师晓林, 童明军. 2015. 鄂尔多斯盆地西南缘上奥陶统平凉组碎屑岩锆石 U-Pb 年龄及物源分析. 地质论评, 61(1): 172~182.
- 杨仁超, 李进步, 樊爱萍, 宗敏, 张涛. 2013. 陆源沉积岩物源分析研究进展与发展趋势. 沉积学报, 31(1): 99~107.
- 杨守业, 李从先. 1999. REE 示踪沉积物物源研究进展. 地球科学进展, 14(2): 164~167.
- 余朝丰, 沈金龙. 准噶尔盆地三台和北三台地区中三叠统克拉玛依组物源分析. 2011. 地质科技情报, 30(1): 51~54.
- 于鑫, 杨江海, 刘建中, 杜远生, 柴嵘. 2017. 黔西南晚二叠世龙潭组物源分析及区域沉积古地理重建. 地质学报, 91(6): 1374~1385.
- 岳艳. 2010. 浅谈重矿物物源分析方法. 科技情报开发与经济, 20(12): 138~139.
- 张有平. 2014. 百 21 井区夏子街组二段沉积物源方向及沉积相特征. 新疆石油地质, 35(2): 153~157.
- 张关龙, 林会喜, 张奎华, 许文国. 2018. 准噶尔盆地陆西地区石炭纪火山岩岩石学特征及其地质意义. 地质论评, 64(1): 77~90.
- 赵红格, 刘海洋. 2003. 物源分析方法及研究进展. 沉积学报, 21(3): 409~415.
- 赵红格, 刘海洋, 王海然, 乔建新, 王建强, 冯晓博. 2012. 贺兰山北段晚三叠世沉积物源分析. 沉积学报, 30(4): 654~660.
- 张焱, 裴健翔, 周永章, 朱继田, 陈杨. 2016. 非线性技术在琼东南盆地深水陵区水 17-2 气田物源分析和储层预测中的应用. 地质学报, 90(3): 559~568.

- 郑勇, 孔屏. 2013. 四川盆地西缘晚新生代大邑砾岩的物源及其成因: 来自重矿物和孢粉的证据. *岩石学报*, 29(8): 2949~2958.
- 周博, 胡修棉, 安慰, 马安林, 赖文. 2018. 印度—亚洲大陆碰撞初期的海沟沉积: 藏东南南宗组沉积岩石学与物源分析. *地质学报*, 92(1): 1~14.
- 新疆维吾尔自治区地质矿产局. 1993. 新疆维吾尔自治区区域地质志. 北京: 地质出版社: 196~205, 753~754.
- Carroll A R, Graham S A, Smith M E. 2010. Walled sedimentary basins of China. *Basin Research*, 22(1): 11~32.
- Chen Bin, Jahn Bor-ming. 2004. Genesis of post-collisional granitoids and basement nature of the Junggar terrane, NW China: Nd - Sr isotope and trace element evidence. *Journal of Asian Earth Sciences*, 23(5): 691~703.
- Chen Jiafu, Han Baofu, Ji Jianqing, Zhang Lei, Xu Zhao, He Guoqi, Wang Tao. 2010. Zircon U - Pb ages and tectonic implications of Paleozoic plutons in northern West Junggar, North Xinjiang, China. *Lithos*, 115(1~4): 137~152.
- Chen Quanhong, Li Wenhong, Hu Xiaolin, Li Keyong, Pang Jungang, Guo Yanqin. 2012. Tectonic setting and provenance analysis of Late Paleozoic sedimentary rocks in Ordos Basin. *Acta Geologica Sinica*, 86(7): 1150~1162.
- Choulet Flavien, Chen Yan, Cogné Jean-Pascal, Rabillard Aurelien, Wang Bo, Lin Wei, Faure Michel, Cluzel Dominique. 2013. First Triassic palaeomagnetic constraints from Junggar (NW China) and their implications for the Mesozoic tectonics in central Asia. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2: 1~24.
- Geng Hongyan, Sun Min, Yuan Chao, Xiao Wenjiao, Xian Weisheng, Zhao Guochun, Zhang Lifei, Wong Kenny, Wu Fuyuan. 2009. Geochemical, Sr-Nd and zircon U—Pb—Hf isotopic studies of Late Carboniferous magmatism in the West Junggar, Xinjiang: implications for ridge subduction. *Chemical Geology*, 266(3~4): 364~389.
- He Jingwen, Zhu Wenbin, Zheng Bihai, Wu Hailin, Ge Rongfeng, Luo Meng. 2015. Provenance of Sinian Sugetbrak sedimentary rocks in the Aksu area NW Tarim: Evidence from detrital zircon geochronology. *Acta Geologica Sinica*, 89(1): 149~162.
- Cao Licheng, Jiang Tao, Wang Zhenfeng, Zhang Daojun, Sun Hui. 2013. Characteristics of heavy minerals and their implications for Neogene provenances evolution in Qiongdongnan Basin. *Journal of Central South University (Science and Technology)*, 44(5): 1971~1981.
- Chen Jiafu, Han Baofu, Zhang Lei. 2010. Geochemistry, Sr—Nd isotopes and tectonic implications of two generations of Late Paleozoic plutons in northern West Junggar, Northwest China. *Acta Petrologica Sinica*, 26(8): 2317~2335.
- Cui Yongbei, Wang Fenghua, Tan Bintian, Mi Lianshan, Yan Yan. 2011. Research on the source direction in Upper 4th Member of Shahejie Formation in Shengtu area. *Geology in China*, 38(5): 1324~1333.
- Deleqati, Ma Xinming, Wang Wei. 2011. Provenance and palaeocurrent direction analysis of the oil reservoir of Badaowan Formation of the 9 well field in the northwest edge of the Junggar Basin. *Journal of Xinjiang University (Natural Science Edition)*, 28(3): 366~370.
- Du Qiang, Jia Liyan. 2011. SPSS Statistical Analysis from Entry to Proficient. Beijing: Posts & Telecom Press: 234~288.
- Feng Wenjie, Wu Shenghe, Yin Senlin, Zhanli, Li Junfei, Xia Qinyu. 2017. The internal configuration characteristics of Triassic arid alluvial fan in the northwestern margin of Junggar Basin. *Geological Review*, 63(1): 219~233.
- Gao Rui, Xiao Long, Wang Guocan, He Xinxing, Yang Gang, Yan Shengwu. 2013. Paleozoic magmatism and tectonic setting in West Junggar. *Acta Petrologica Sinica*, 29(10): 3413~3434.
- He Zhonghua, Liu Zhaojun, Zhang Feng. 2001. Latest progress of heavy mineral research in the basin analysis. *Geological Science and Technology Information*, (4): 29~32.
- Hou Wei, Liu Zhaojun, He Yuping, He Zhongye, Zhang Yueqiao, Zhang Lei. 2010. Provenance analysis of Upper Jurassic and its geological significances in Mohe Basin. *Geological Review*, 56(1): 71~81.
- Hu Zongquan, Zhu Xiaomin, Peng Yongmin. 2001. Analysis of provenance and palaeocurrent direction of Jurassic at Chepaizi region in northwest edge of Junggar Basin. *Journal of Palaeogeography*, 3(3): 49~54.
- Wang Zhentao, Zhou Hongrui, Wang Xunlian, Jing Xiuchun. 2014. Provenance and tectonic settings analysis of Yingtaogou Formation of Middle Ordovician in Helan Mountain area. *Acta Sedimentologica Sinica*, 32(2): 205~217.
- Kang Chunguo, Li Chang'an, Zhang Yufen, Shao Lei, Jiang Huajun. 2014. Heavy mineral characteristics of the Yichang gravel layers and provenance tracing. *Acta Geologica Sinica*, 88(2): 254~262.
- Li Shuangjian, Shi Yonghong, Wang Qingchen. 2006. The analysis of detrital heavy minerals in Cretaceous—Tertiary sandstones, Kuqa Depression and their implications for provenance. *Acta Sedimentologica Sinica*, (1): 28~35.
- Li Wei. 2007. The formulation mechanism and tectonic evolution of Mesozoic basin along orogenic belt in northwest margin of Junggar Basin. *Chinese Academy of Geological Sciences*.
- Li Wei, Hu Jianmin, Qu Hongjie. 2009. Discussion on Mesozoic basin boundary of the northern Junggar Basin, Xinjiang. *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)*, 39(5): 821~830.
- Li Tao, Zhao Shu Juan, Li Sanzhong, Yu Shan, Lou Da, Suo Huiyan, Wang Xuebin, Sun Wenjun, Yang Zhao, Dai Liming. 2015. Characteristics of the thrust structure in northeast Junggar Basin. *Geological Review*, 61(2): 356~366.
- Li Zengxue, Chang Xiangchun, Zhao Xiuli. 2010. Lithofacies Paleogeography. Beijing: Geological Publishing House.
- Lin Hong, Li Fengjie, Li Lei, Yang Yuchuan, Li Junwu. 2014. Characteristics of paleogene heavy mineral and its source in northern margin of Qaidam Basin. *Natural Gas Geoscience*, 25(4): 532~541.
- Lin Tong, Zou Caineng, Wang Lan, Shen Ying. 2013. The provenance feature of Jurassic Qigu Formation and its effect on reservoir development in the southern margin of Junggar basin. *Geology in China*, 40(3): 909~918.
- Liu Li, Hu Chunyan. 1991. The geological significance on provenance in major clastic composition in sandstone. *Sedimentary Facies and Palaeogeography*, (6): 48~53.
- Ou Haowen, Lü Rong, Li Yuzhi. 2008. Analysis of provenance in Mesozoic—Cenozoic era along south margin of Junggar Basin. *Inner Mongolia Petrochemical Industry*, (24): 183~185.
- Pei Lei, Li Ruibao, Pei Xianzhi, Liu Junlai, Li Zuochen, Liu Chengjun, Chen Youxin, Liu Zhanqing, Chen Guochao, Hu Nan, Gao Feng. 2017. Sediment source analysis for the Maérzheng Formation sandstone in Gerizhuotuo area, southern margin of east Kunlun region: Evidence for detrital zircon U - Pb geochronology. *Acta Geologica Sinica*, 91(6): 1326~1344.
- Qu Guosheng, Ma Zongjin, Chen Xinfu, Li Tao, Zhang Ning. 2009. On structures and evolutions in Junggar Basin. *Xinjiang Petroleum Geology*, 30(1): 1~5.

- Shi Yonghong, Li Zhong, Bu Xiangping, Xu Chengwu. 2009&. Detrital garnets from cenozoic sandstones across Boxing Sag for provenance indicator and its implication for the Luxi Uplift. *Acta Sedimentologica Sinica*, 27(5): 967~975.
- Svendsen Johan B, Hartley Neil R. 2002. Synthetic heavy mineral stratigraphy: applications and limitations. *Marine and Petroleum Geology*, 19(4): 389~405.
- Su Chaoguang, Zhong Weiping. 2010&. An analysis on the provenance of the Neogene Shawan Formation in the Chepaizi Uplift of the Junggar Basin. *Oil & Gas Geology*, 31(5): 648~655.
- Su Yuping, Tang Hongfeng, Hou Guangshun, Liu Congqiang. 2006&. Geochemistry of aluminous A-type granites along darabut tectonic belt in West Junggar, Xinjiang. *Geochimica*, 35(1): 55~67.
- Tong Ying, Wang Tao, Hong Dawei, Han Baofu, Zhang Jianjun, Shi Xingjun, Wang Chao. 2010&. Spatial and temporal distribution of the Carboniferous—Permian granitoids in northern Xinjiang and its adjacent areas, and its tectonic significance. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 29(6): 619~641.
- Wang Minglei, Zhang Tingshan, Wang Bing, Zhi Dongming. 2009&. The application of heavy mineral analysis to palaeogeographic research; a case study of the 3rd Member of Ziniqianzi Formation in the central southern margin of Junggar Basin. *Geology in China*, 36(2): 456~464.
- Wei Liang, Guo Huaming, Xie Zhenhua, Li Zhiping. 2010&. Rare earth elements geochemistry and its implication for sediment provenance in the Beijing Plain. *Earth Science Frontiers*, (6): 72~80.
- Wu Xiangbin, Liu Yifu, Qiu Dongsheng. 2002&. Principal component analysis of trace elements in Proterozoic Gaojian Group of southwestern Hunan. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 21(1): 55~61.
- Xiao Xuchang, Tang Yangqing, Feng Yimin. 1992#. *Tectonic Evolution of Northern Xinjiang and Adjacent Regions*. Beijing: Geological Publishing House.
- Xie Jing, Ding Zhongli. 2007. Compositions of heavy minerals in Northeastern China sandlands and provenance analysis. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 50(11): 1715~1723.
- Xu Huan, Liu Yongqing, Kuang Hongwei, Liu Yanxue, Pen Nan, Dong Chao, Xue Peilin, Xu Jialin, Chen Jun, Liu Hai. 2013&. Sidimentary provenance and basin evolution of Daqingshan Formation, Houcheng Formation and Tuchengzi Formation in Yishan—Yanshan area. *Geological Bulletin of China*, 32(2~3): 502~524.
- Yang Dongning, Yuan Dongxing, Deng Yongzhi, Li Quanlong. 1998&. Application of principal component analysis to sediment sample classification. *Marine Environmental Science*. 17(3): 61~66.
- Yang Fu, Chen Gang, Zhang Huiruo, Hou Bin, Zhang Jiaming, Ding Chao, Hu Yanxu, Lei Panpan. 2013&. LA-ICP-MS U-Pb dating of detrital zircon from the Mesozoic sandstone core-samples in well DB1 of Northeast Junggar Basin. *Journal of Lanzhou University (Natural Sciences)*, 49(3): 313~319.
- Yang Fu, Chen Gang, Chen Qiang, Ding Chao, Gao Lei, Lei Panpan, Zhang Wenjun, Shi Xiaolin, Tong Mingjun. Dating of detrital zircon from Upper Ordovician Pingliang Formation in southwest margin of the Ordos Basin and provenance analysis. *Geological Review*, 61(1): 172~182.
- Yang Shouye, Li Congxian. 1999&. Research progress in REE tracer for sediment source. *Advances in Earth Science*, 14(2): 164~167.
- Yang Shouye, Wang Zhongbo, Guo Yun, Li Congxian, Cai Jinggong. 2009. Heavy mineral compositions of the Changjiang (Yangtze River) sediments and their provenance-tracing implication. *Journal of Asian Earth Sciences*, 35(1): 56~65.
- Yu Chaofeng, Shen Jinlong. 2011&. Analysis on sedimentary source of Middle Triassic Karamay Formation in Santai and Beisantai area, Junggar Basin. *Geological Science and Technology Information*, 30(1): 51~54.
- Yu Xin, Yang Jianghai, Liu Jianzhong, Du Yuansheng, Chai Song. 2017. Provenance of the Late Permian Longtan Formation in SW Guizhou Province and implication for reconstruction of regional sedimentation and paleogeography. *Acta Geologica Sinica*, 91(6): 1374~1385.
- Yue Yan. 2010&. Research progress of treatment of organic coking wastewater with high-concentration and low-degradation. *Journal of Library and Information Science*, 20(12): 138~139.
- Zhang Yan, Pei Jianxiang, Zhou Yongzhang, Zhu Jitian, Chen Yang. 2016. The application of nonlinear technique in provenance analysis and reservoir parameter prediction at the Lingshui 17-2 Gas Field of Qiongdongnan Basin. *Acta Geologica Sinica*, 90(3): 559~568.
- Zhang Youping. 2014&. The characteristics of sedimentary provenance and facies of second member of Xiazijie Formation in Bai-21 well block, Junggar Basin. *Xinjiang Petroleum Geology*, 35(2): 153~157.
- Zhang Guanlong, Lin Huixi, Zhang Kuihua, Xu Wenguo. 2018&. Petrological characteristics and geological significance of Carboniferous volcanic rocks in Luxi area of Junggar Basin. *Geological Review*, 64(1): 77~90.
- Zhao Hongge, Liu Chiyang. 2003&. Approaches and prospects of provenance analysis. *Acta Sedimentologica Sinica*, 21(3): 409~415.
- Zhao Hongge, Liu Chiyang, Wang Hairan, Qiao Jianxin, Wang Jianqiang, Feng Xiaobo. 2012&. Analysis of Late Triassic sedimentary provenance in the north of Helan Mountain. *Acta Sedimentologica Sinica*, (4): 654~660.
- Zheng Yong, Kong Ping. 2013&. Provenance and origin of the Late Cenozoic Dayi conglomerates in the western margin of the Sichuan Basin: new insights from heavy mineral and spore-pollen assemblages. *Acta Petrologica Sinica*, 29(8): 2949~2958.
- Zhou Bo, Hu Xiumian, An Wei, Ma Anlin, Lai Wen. 2018. Trench deposition during the initial Indian—Asian collision: petrologic and provenance analysis of the Zongzhuo Formation, southeastern Tibet. *Acta Geologica Sinica*, 92(1): 1~14.

## Heavy mineral characteristics and its implication for provenance of the Triassic, NW Junggar

HE Miao<sup>1)</sup>, JIANG Yong<sup>1)</sup>, ZHANG Heng<sup>2)</sup>, LI Zechao<sup>1)</sup>, LI Junjie<sup>1)</sup>

1) CNOOC China Limited., Shanghai Branch, Shanghai, 200335;

2) Geology Institute, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037

**Objectives:** Heavy mineral is the extremely sensitive indicator of provenance. In NW Junggar, the provenance

and the heavy minerals of the Triassic are studied. In order to identify the characteristics of heavy minerals and provenance position, this research applied several statistic methods to study 20 samples of sandstones and glutenite in northwestern margin of Junggar Basin. It is alsosignificant to the further illustration of the source-to-sink background.

**Methods:** This research chose 5 profiles of well-developed outcrops to investigate, and collected glutenite and sandstone samples back. Several methods such as single mineral analysis, heavy mineral combinations, mineral percentage distributions, main factor analysis and correlation analysis are applied to research the types and characteristics of heavy minerals of Triassic. Then the source rocks and provenance are concluded.

**Results:** According to the analysis of heavy mineral characteristics and parameters, 18 heavy minerals are identified in the Middle to Upper Triassic samples in the NW Junggar, with most of the grains being angular to subangular and subangular to subround; the contents of zircon, tourmaline and iron ore was found to be commonly high. Among these minerals, there are two zircon types: a yellowish-pink type and a rose-colored type. Brown tourmaline is contained in samples, and a certain content of hornblende, mica debris, apatite, monazite and a few metamorphic minerals and alteration mineral clastics are also included, with the grains exhibiting partial limonitization. 4 heavy mineral combinations are classified in the NW Junggar: zircon—tourmaline—monazite—apatite—anatase, rutile—ilmenite—leucoxene—apatite—galenite, hematite—limonite—pyrite and magnetite—epidote—hornblende. The first two combinations are mainly composed of stable minerals, while the unstable mineral content of the latter two are relatively higher. According to the separation, grinding and heavy mineral stableness of the grains, it is concluded that most are probably from the near-provenance, although the sediments compose the near and distal deposits. There is large amount of columnar zircon, worm-shaped tourmaline of an automorphic to hemiautomorphic form exhibiting characteristics of magmatic origin. Due to the content of rutile, monazite, apatite, pyroxene, hornblende and abundant iron, especially magnetite and ilmenite, it is predicted that intermediate—acid magmatite is included in the source rocks. Subrounded to rounded sedimentary zircon and tourmaline indicate that sedimentary rocks are also included. Some symbol minerals of metamorphic rocks, such as garnet, allanite, epidote, and so on also suggest that a few metamorphic rocks are included.

**Conclusions:** The provenance of the study area is the Qier—Halaalat Mountain area located northwest—north of the study area, belonging to the Front Zaire Mountain. The source rocks are composed of intermediate—acid magmatite, sedimentary rocks and metamorphic rocks from the Tailegula Formation, and are mainly intermediate—acid magmatite. The intermediate—acid magmatite probably consists of tuff, andesite, andesitic porphyrite and granite and granodiorite intrusive bodies. Siltstones and fine-grain sandstones are the main sedimentary source rocks. The metamorphic content may be caused by partial chloritization and epidotization from the regional dynamic metamorphism.

**Keywords:** Junggar; Triassic; Carboniferous; provenance; heavy mineral

**Acknowledgements:** This study was supported by Geological Survey Project of China Geological Survey( No. DD20160345)and Basic Project of Ministry of Science and Technology(No. 2015FY310100)

**First author:** HE Miao, born in 1988, female, Ph. D., Engineer, engaged in sedimentology and petroleum geology research, Email: hemiao3@cnooc.com.cn

**Corresponding author:** ZHANG Heng, born in 1985, male, Ph. D., engaged in sedimentology and tectonics research, Email: heng0520@126.com

Manuscript received on: 2018-03-21; Accepted on: 2019-01-31; Edited by: LIU Zhiqiang

**Doi:** 10.16509/j.georeview.2019.02.016

