

柴达木盆地西部地区渐新世沉积物源分析

王艳清 宫清顺 夏志远 熊绍云

(中国石油杭州地质研究院, 浙江 杭州 310023)

摘要:沉积物源分析在确定沉积物源位置、母岩性质及沉积物搬运距离,甚至整个盆地的沉积作用和构造演化等方面都有重要意义。本文从重矿物组合、轻矿物组合、稀土元素分配和古水流恢复等方面系统地分析了柴达木盆地西部地区渐新世物源方向,确定了阿尔金东段物源、阿尔金西段物源、阿拉尔物源、铁木里克物源、祁漫塔格—东柴山物源和弯西—甘森物源 6 大沉积物源。沉积物源特征明显控制了沉积物特征,来自阿尔金西段物源的沉积物搬运距离短,碎屑物供给明显受季节性洪水控制,故稳定性差,发育近源陡坡型的扇三角洲、近岸水下扇沉积物;来自其余物源的沉积物搬运距离较长,最长搬运距离约 190 km,碎屑物供给的稳定性较好,发育远源缓坡型的辫状三角洲沉积物,受不同沉积物源的影响,其沉积特征具有明显的差异性。

关键词:柴达木盆地;重矿物;轻矿物;古水流;沉积物源

中图分类号:P512.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2012)02-0426-10

柴达木盆地西部地区(简称柴西地区)位于青藏高原北部,被阿尔金山、昆仑山所夹持的中、新生代大型咸化山间湖盆(据青海油田研究院),地理面积为 $3.4 \times 10^4 \text{ km}^2$ (图 1)。柴西地区渐新世生储盖发育,是柴达木盆地的油气富集区,已发现尕斯库勒、花土沟、跃进二号和昆北等 10 余个油气田^[1-3]。区内新生代地层出露齐全,分布广,厚度大,为干旱气候条件下闭塞、高钙、多盐的内陆盐湖沉积,以碎屑岩为主,发育碳酸盐岩和膏盐岩。柴达木盆地西部地区自下而上揭示了 8 套地层,即更新统七个泉组(Q_{1+2}),上新统狮子沟组(N_3^1)、上油砂山组(N_2^1)、下油砂山组(N_1^1),中新统上干柴沟组(N_1),渐新统下干柴沟组(E_3),古始新统路乐河组(E_{1+2})及底部的基岩(Pz)(表 1)。本文研究的层位以渐新统的下干柴沟组下段沉积物源分析为主,考虑到物源的继承性发育,本文未对上段物源分析论述。

沉积物源分析在盆地分析中具有重要意义,是分析沉积物源位置和性质、沉积物搬运路径、沉积

盆地的大地构造背景及古环境恢复的重要依据。沉积物源的研究方法较多,如从重矿物组合、轻矿物组合、砂岩百分含量变化、古水流方向标志、地球化学、古构造与古地形等^[4-11]方面进行物源研究。前人对柴西地区的沉积物源特征进行了较多研究,主要从重矿物组合判断沉积物源方向及沉积边界^[6]、利用地震属性和地震相分析沉积物源(2006 年,东方物探敦煌分院);这些研究多是针对局部地区的沉积物源分析。本文从重矿物组合、轻矿物组合、稀土元素分配和古水流恢复等系统分析了柴西地区渐新世的沉积物源特征,进一步明确了该区的物源方向及特征,为沉积体系、油气勘探指出了边界和范围。

1 沉积物源确定

本文从重矿物组合特征、轻矿物特征(碎屑成分及碎屑组分消光)、稀土元素、古水流恢复等资料着手,结合砂岩厚度、砂地比等单因素图件的平面变化规律,综合分析、确定柴西地区渐新世沉积物源方向。

收稿日期:2011-08-09;改回日期:2012-02-09

基金项目:中国石油天然气股份有限公司重大科技专项“柴达木盆地油气勘探开发关键技术研究”子课题“柴西地区富油气凹陷圈闭精细评价及钻探目标选择”(07-01Z-01-02)资助。

作者简介:王艳清,男,1973 年生,高级工程师,地质系矿产勘查专业,沉积学;E-mail:wangyq_hz@petrochina.com.cn。

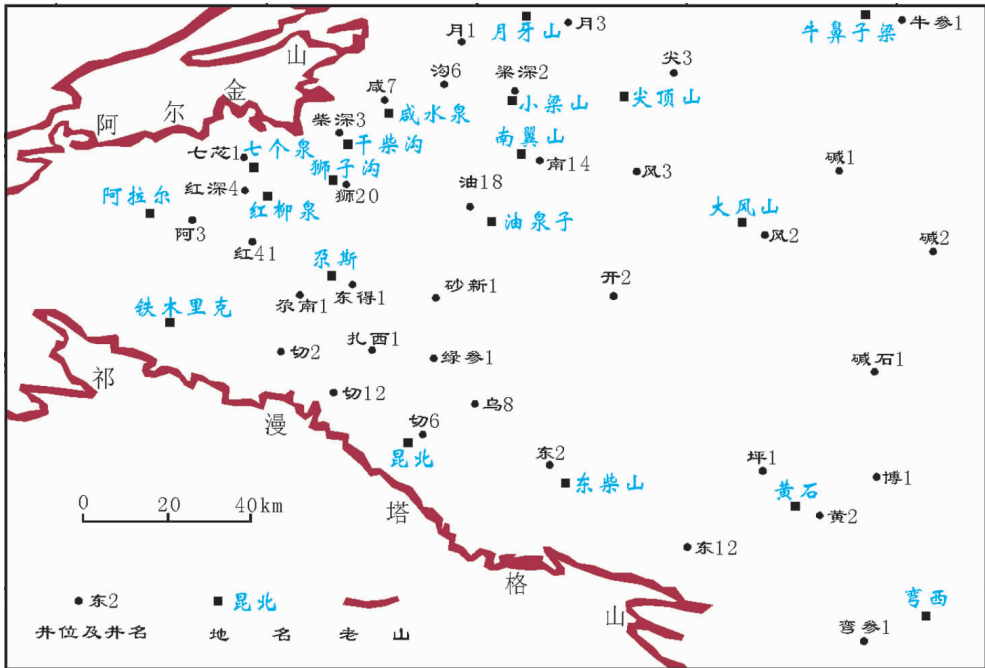


图 1 柴达木盆地西部地区范围图

Fig. 1 Location of western Qaidam Basin

表 1 柴达木盆地西部地区地层系统简表

Table 1 Stratigraphic system of western Qaidam Basin

地 层 系 统				钻井视厚度 / m		
系	统	组	符号	南区	中区	北区
第四系	全新统-更新统	七个泉组	Q ₁₊₂	跃15井,915		梁3井,173
		狮子沟组	N ₂ ³	七深9井,1048	砂33井,812	梁3井,824
	上新统	上油砂山组	N ₂ ²	跃127井,317	狮24井,1409	南1井,1334
		下油砂山组	N ₂ ¹	跃灰1井,853	油6井,960	风3井,1226
		中新统	上干柴沟组	N ₁	跃127井,398	油6井,941
古近系	渐新统	下干柴沟组(上段)	E ₃ ²	跃127井,574	油6井,1386	风2井,1410
		下干柴沟组(下段)	E ₃ ¹	跃127井,280	狮15井,271	尖3井,671
	古、始新统	路乐河组	E ₁₊₂	跃127井,521	狮23井>1310	尖3井>574
基 岩				Pz		

其中重矿物组合特征是物源方向确定的主要依据,其他分析方法的结果与重矿物组合有较好的一致性。

1.1 重矿物组合特征

重矿物是指碎屑岩中相对密度大于 2.86 g/cm³ 的陆源碎屑矿物,其在岩石中的含量很少,一般不超过 1%。前人根据重矿物稳定性的差异,将其划分为 4 类(表 2)。沉积物在搬运过程中,随着沉积物搬运距离的增加,不稳定重矿物相对含量逐渐减少,稳定重矿物相对含量逐渐增加,重矿物的组合类型也相应发生变化,因而根据重矿物组合特征及重矿物稳

定性的差异可以指示沉积物的搬运方向^[12]。

砂岩中的重矿物类型及其组合是沉积物搬运距离和岩性变化极为敏感的指示剂 (Andrew and Clave, 1999; Hilmavon and Reinhard, 1999; 和钟铎等, 2001)。通过柴西地区 91 口井 291 个渐新世重矿物数据分析统计表明:砂岩中的重矿物组分以磁铁矿、锆石、石榴石、白钛矿、绿帘石、角闪石、硅灰石为主,平均占砂岩中重矿物总量的 90% 以上。其中磁铁矿在区内普遍发育,含量较高,为了突出其他重矿物组合变化特征,在进行重矿物分析不做考虑,在物源

表 2 重矿物稳定性分类表
Table 2 Stability classification of heavy minerals

稳定性	重 矿 物
超稳定	金红石、锆石、电气石、锐钛矿
稳 定	磷灰石、石榴石（含铁少）、十字石、独居石、黑云母、钛铁矿、磁铁矿、白钛矿
中等稳定	绿帘石、蓝晶石、石榴石（富含铁）、硅线石、榍石、黝帘石、角闪石
极不稳定	橄榄石

分析时只考虑其含量平面变化。

研究表明，砂岩中的重矿物组合特征在平面上有一定的分布规律，具有明显的分区性，可以分为 6 个区(图 2~3)，指示出柴西地区渐新世存在 6 个沉积物源方向，具体如下：

1)阿尔金东段重矿物:重矿物类型有白钛矿、硅灰石、角闪石、辉石、榍石、锆石、石榴石和绿帘石，重矿物组合特征为锆石-白钛矿-石榴石-硅灰石组合，其中硅灰石含量高是本区的主要特征，属于有别于其他物源的标志性重矿物，反映物源区母岩为变质岩及灰岩为主，发育有岩浆岩，主要分布于阿尔金山东段的柴西北区，即牛鼻子梁、尖顶山、小梁山、大风山、南翼山及油泉子等地区，亦称为牛鼻子梁物源。

2)阿尔金西段重矿物:重矿物类型有锆石、白钛矿、石榴石、角闪石、绿帘石、硅灰石、榍石和辉石，重矿物组合特征为石榴石-白钛矿-角闪石-硅灰石组合，其中石榴石含量高是本区的主要特征，属于有别于其他物源的标志性重矿物，反映物源区母岩为变质岩为主，主要分布于阿尔金山西段，即月牙山、咸水泉、干柴沟、狮子沟及七个泉等地区。

3)阿拉尔重矿物:重矿物类型有锆石、白钛矿、石榴石、角闪石、绿帘石、榍石和辉石，重矿物组合特征为绿帘石-角闪石-白钛矿-锆石-石榴石组合，其中不稳定组分绿帘石、角闪石含量高是本区的主要特征，属于有别于其他物源的标志性重矿物，反映物源区母岩为变质岩及岩浆岩为主，该重矿物组

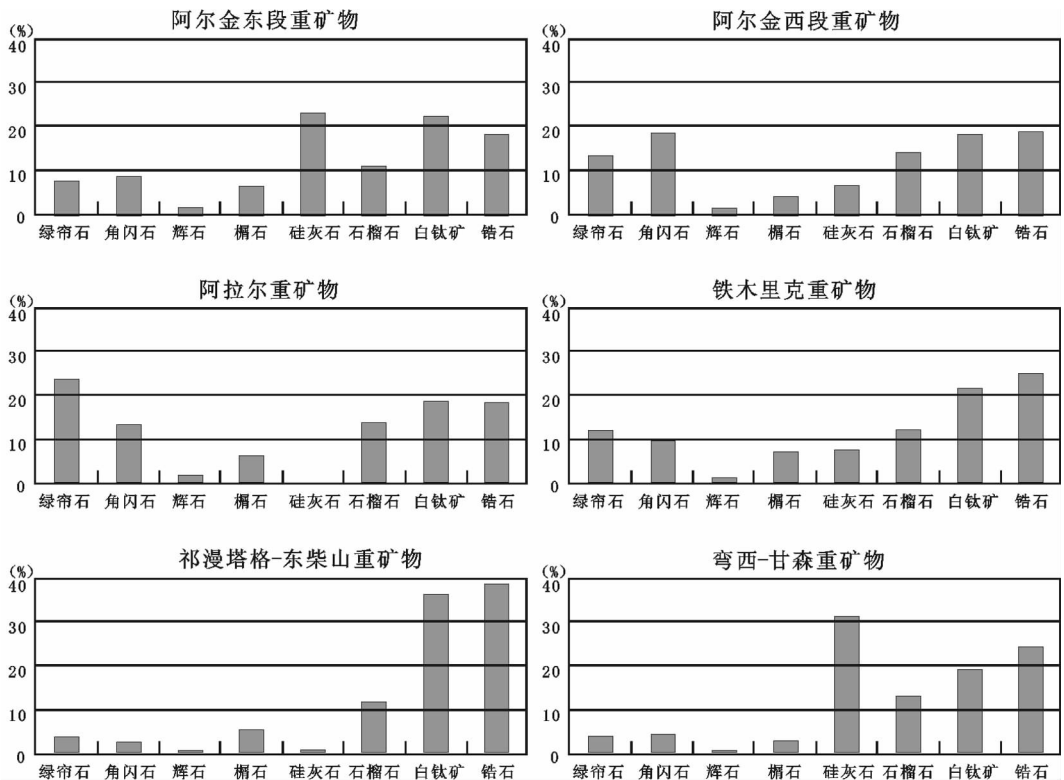


图 2 柴达木盆地西部地区重矿物组合特征图

Fig.2 Characteristics of heavy mineral assemblage in western Qaidam Basin

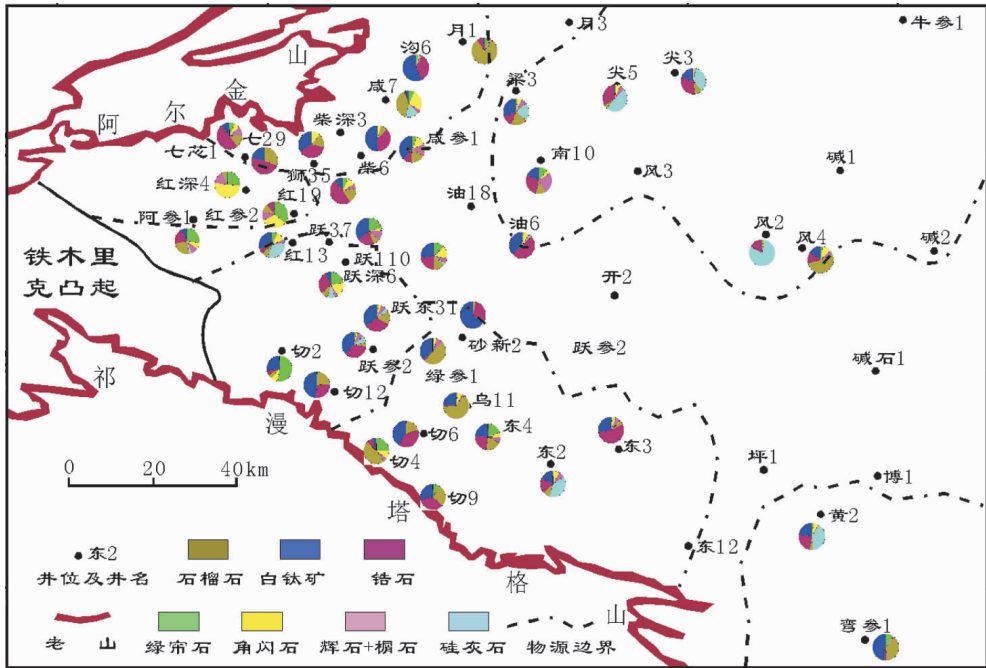


图 3 柴达木盆地西部地区重矿物组合平面图

Fig.3 Regional distribution of heavy mineral assemblages in western Qaidam Basin

合主要分布于阿拉尔、红柳泉等地区。

4)铁木里克重矿物:重矿物类型有锆石、白钛矿、石榴石、角闪石、绿帘石、硅灰石、榍石和辉石,重矿物组合特征为锆石-白钛矿-石榴石-绿帘石-角闪石组合,反映物源区母岩为岩浆岩及变质岩为主,分布于铁木里克物源区的尕斯地区,靠近铁木里克凸起区,不稳定重矿物绿帘石和角闪石的含量呈增高趋势。

5)祁漫塔格—东柴山重矿物:重矿物类型有锆石、白钛矿、石榴石、角闪石、绿帘石、榍石,重矿物组合特征为锆石-白钛矿-石榴石组合,以稳定的重矿物组分为主,见少量不稳定组分,反映物源区母岩为岩浆岩为主,该组合分布于祁漫塔格—东柴山物源区的昆北、东柴山地区。

6)弯西—甘森重矿物:重矿物类型有锆石、白钛矿、石榴石、角闪石、绿帘石、硅灰石、榍石,重矿物组合特征为锆石-白钛矿-石榴石-硅灰石组合,以硅灰石含量高区别于祁漫塔格—东柴山重矿物,反映物源区母岩为变质岩及灰岩为主,分布于昆仑山东段的弯西、黄石、甘森等地区。

1.2 轻矿物特征

砂岩骨架矿物是物源区最直接的产物,是分析

物源性质的基础。在物源分析中比较适用、有效^[3]。笔者对柴西地区 60 口井 210 块渐新世砂岩样品薄片鉴定基础上,通过分析砂岩碎屑成分特征和岩屑成分的差异来推断柴西区渐新世的沉积物源方向。

1)砂岩成分特征

砂岩储层成分的差异性可以反映碎屑组分所经历地质作用的时间和强度。相同粒度条件下,砂岩成分的变化(图 4)。弯西—甘森物源区,石英含量高、岩屑含量低,反映搬运距离较远;祁漫塔格—东柴山物源、铁木里克物源、阿拉尔物源三者的岩矿组分基本一致,岩屑含量稍有变化;阿尔金西段物的石英含量低、岩屑含量高,反映了搬运距离较近的特征;阿尔金东段物源三组分含量差不多。

2)碎屑颗粒消光和组分

前人对不同来源的石英特征做过大量的研究,来自中酸性深成岩的石英,常含有细小的液体、气体包裹体,或含锆石、电气石等岩浆副矿物包裹体,在火山岩中的石英不具有波状消光,在深成岩中,特别是在时代较老的岩石中,石英因受变形作用,常表现明显的波状消光。来自于变质岩的石英表现常见裂纹,不含液体、气体包裹体,但可见有特征的电气石、

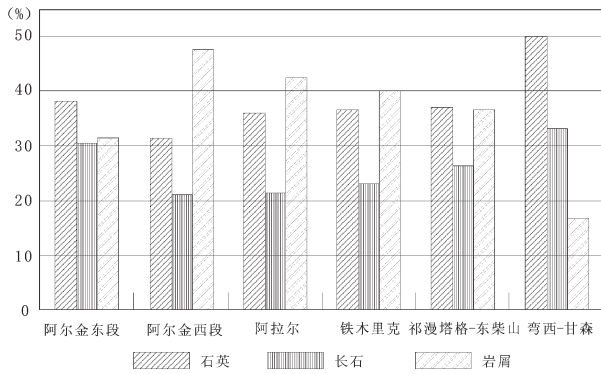


图4 柴达木盆地西部地区砂岩组分特征对比图

Fig.4 Comparison of sandstone composition characteristics in western Qaidam Basin

硅线石等变质矿物的针状、长柱状包裹体,大多数石英晶粒都具有波状消光。

柴达木盆地西部地区渐新世不同物源区石英颗粒存在明显的消光差异,七个泉—狮子沟地区,石英颗粒多具波状消光现象(图5),表面常见裂纹,少见包裹体,反映了其物源区母岩以变质的片岩、片麻岩为主的特征;红柳泉、跃进、砂西地区,石英颗粒特征复杂,既有大量不具波状消光、含有各种包裹体的石英,又常见各种具波状或带消光现象的石英,反映其物源区母岩以花岗岩、花岗闪长岩与变质的片麻岩共同控源的特征;东柴山地区则以不具波状消光的石英颗粒为主(图5),石英颗粒中包裹体较多,反映其物源区母岩为火山岩。

砂岩中的岩屑组分差异性也比较明显,阿尔金山东段和西段源区主要以变质岩岩屑为主,包括变质石英岩、片岩、片麻岩、千枚岩,夹有花岗岩、花岗

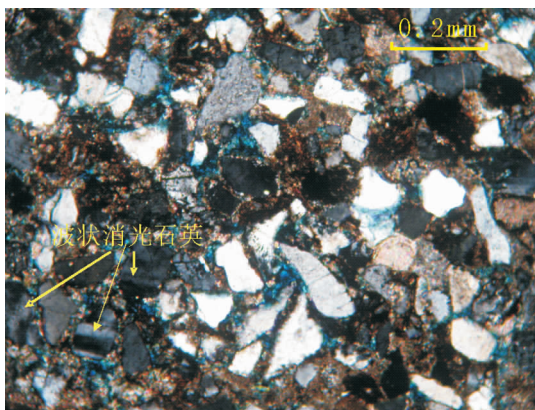
闪长岩岩屑;而昆仑山前的铁木里克、祁漫塔格—东柴山、弯西—甘森等地区则以花岗岩、花岗闪长岩等岩浆岩岩屑为主,夹少量的片岩、变质石英岩等变质岩岩屑,反映了物源区母岩性质差异性较大。

利用轻矿物岩石成分的差异、石英组分的显微差异性及岩屑成分的差异性,对沉积物源的归属及物源区母岩性质研究具有较好的指导作用。通过本区渐新世轻矿物分析结果确定的物源性质与重矿物组合确定的物源具有良好的一致性。

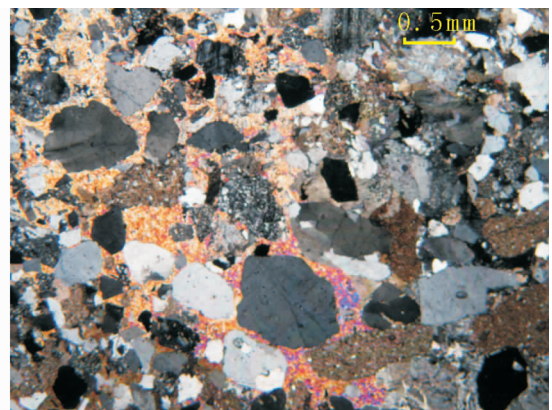
1.3 稀土元素分配特征

一般认为,沉积岩中的稀土元素在水体中停留的时间非常短,而且快速进入到细粒沉积物中,故稀土元素分布模式从源岩到沉积物没有明显的变化。稀土元素最难溶、相对稳定,在沉积和变质作用过程中也具有较弱的抗迁移性(邵磊等,2001);而且这些元素只随陆源碎屑沉积物搬运,所以能反映源区的地球化学性质(McLennan et al., 1993)。因而稀土元素作为沉积物物源的示踪剂,被广泛应用于构造背景分析、沉积源区的确定等^[9-11]。

选取柴西地区渐新世40口井209块样品进行稀土元素测试,具有以下特征:①稀土元素图谱呈轻稀土明显富集、重稀土相对平坦的“右倾型”(图6),表明柴达木盆地周缘母岩性质差别不大,根据区域地质图分析,柴西地区周缘母岩均为岩浆岩与变质岩;②具有Eu正、负异常。根据稀土元素REE标准化值的分配模式(图6)分析,阿拉尔与阿尔金西段具有相似的分配模式、阿尔金东段与铁木里克、祁漫塔格—东柴山、弯西—甘森具有相似的分配模式,但各地区稀土元素分配模式中铕元素(Eu)异常变化明



七新 4-9, 细粒长石岩屑砂岩



砂新 2, 砾状中粗砂岩, 见少量内碎屑

图5 柴达木盆地西部地区波状消光对比图

Fig.5 Comparison of wavy extinctions in western Qaidam Basin

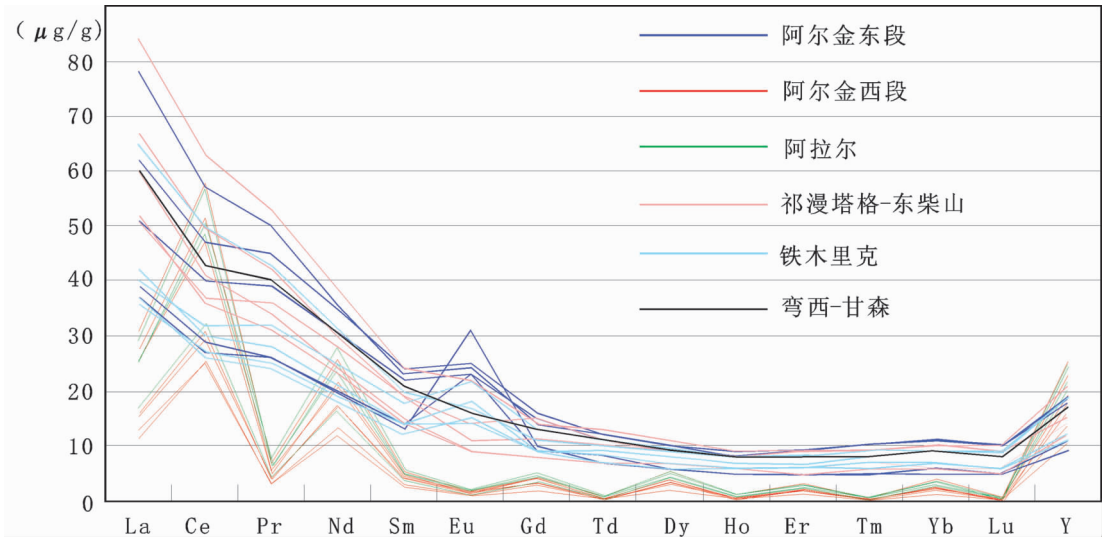


图 6 柴达木盆地西部地区渐新世稀土元素分配模式图

Fig.6 Chondrite-normalized REE patterns of Paleogene in western Qaidam Basin

显,祁漫塔格—东柴山呈现负异常,阿尔金东段、阿尔金西段及铁木里克为正异常,而阿拉尔无异常。在平面上,可将柴西地区的铕元素(Eu)含量分布分为6个分区,阿尔金东段铕元素含量为 $1.92 \times 10^{-6} \sim 2.67 \times 10^{-6}$,阿尔金西段为 $0.98 \times 10^{-6} \sim 1.24 \times 10^{-6}$,阿拉尔铕元素含量均小于 2×10^{-6} ,铁木里克铕元素含量为 $0.83 \times 10^{-6} \sim 1.94 \times 10^{-6}$,祁漫塔格—东柴山地区铕元素为 $0.74 \times 10^{-6} \sim 2.47 \times 10^{-6}$,弯西—甘森铕元素含量只测了一口井5块样品,其值为 $1.13 \times 10^{-6} \sim 1.55 \times 10^{-6}$,铕元素平面特征与其他资料确定的物源一致。

1.4 古水流方向恢复

利用地层倾角测井成果判断古水流,主要采用矢量方位频率图法和蓝色模式法。矢量方位频率图法就是将研究层段中所有矢量点进行方位统计,绘制出矢量方位频率图,矢量点最多的方向表示主要古水流方向;在砂岩体中,蓝色模式的矢量方向一般反映地层水流层理。本文采用倾角模式和蓝色模式分析法,得出区内的主水流和古构造背景下的倾角和倾向,若存在地层倾斜或倒转,则利用吴氏网进行校正,恢复原始古水流方向^[7-8]。

吴氏网(又称吴尔福投影网、等角距网),主要用来表示线、面的方位,相互间的角距关系及其运动轨迹,把物体三维空间的几何要素(线、面)反映在投影平面上进行研究和处理。它是一种简便、直观的计算方法,又是一种形象、综合的定量图解,广泛应用于地质科学中解决地质构造形态和应力分析^[13]。

柴西地区渐新世倾角解释成果表明存在多个方向的沉积物源(图7),弯西—甘森物源古水流为近南北向,祁漫塔格—东柴山物源古水流有南东—北西或南西—北东两个方向,铁木里克物源古水流为北西—南东及南西—北东两个方向,阿拉尔物源古水流为近南西—北东及南东—北西两个方向,阿尔金西段物源古水流方向主要为北西—南东向;阿尔金东段物源古水流方向为北东—南西向。这些古水流方向反映了该区6个物源的沉积物搬运方向,与前述的物源指示方向是一致的。

2 沉积物源特征

综合上述重矿物组合、轻矿物特征、稀土元素分配和古水流恢复,结合古构造特征、地震属性、地震相特征及岩相和砂岩厚度变化,柴达木盆地西部地区存在6个主要沉积物源(图8),由北往南,分别是阿尔金东段物源(亦称牛鼻子梁物源,以含硅灰石为特征)、阿尔金西段物源(可细分七个泉—阿哈堤物源、狮北—干柴沟物源、索尔库里物源,以高含石榴石为特征)、阿拉尔物源(以不稳定的绿帘石、角闪石为特征)、铁木里克物源(以稳定重矿物为特征,含有一定的不稳定重矿物)、祁漫塔格—东柴山物源(以稳定重矿物为特征)和弯西—甘森物源(以稳定重矿物为特征,含有一定的硅灰石)。

不同沉积物源对沉积特征具有明显的控制作用,表现为具有不同的沉积响应特征:

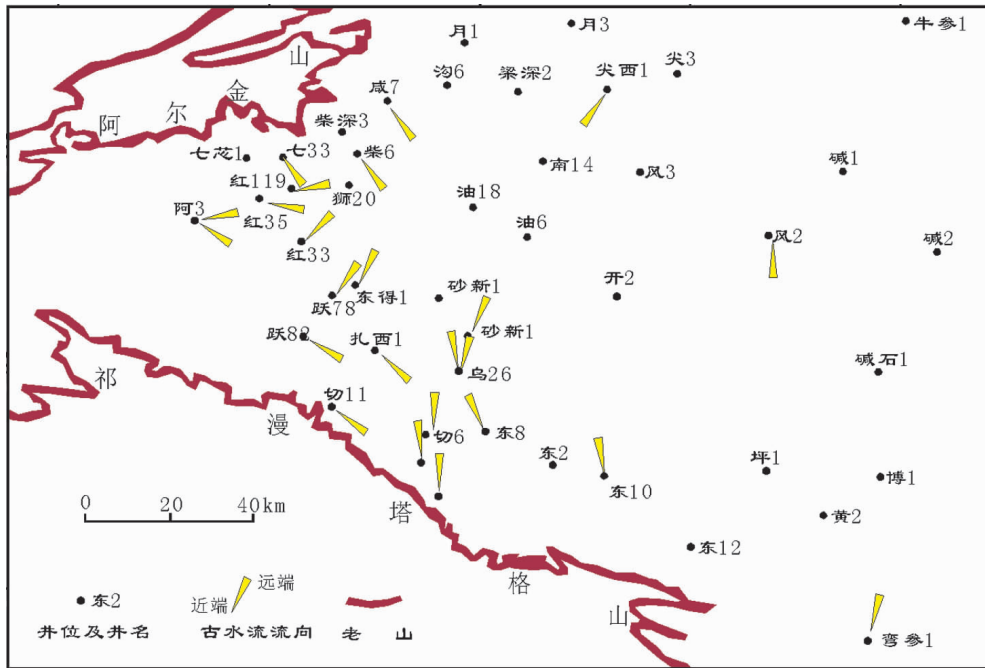


图7 柴达木盆地西部地区渐新世古水流方向图
Fig.7 Palaeocurrent direction of Palaeogene in western Qaidam Basin

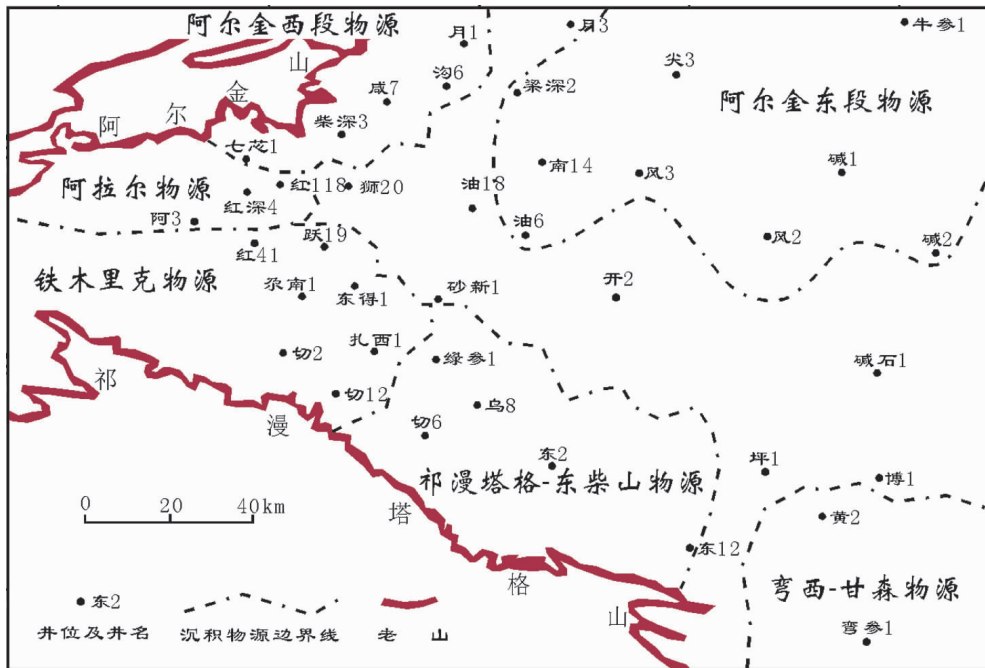


图8 柴达木盆地西部地区渐新世沉积物源方向平面图
Fig.8 Regional distribution of provenance orientation in western Qaidam Basin

阿尔金东段:渐新世属于沉降中心,地层厚度较大,砂岩比较发育,以厚层块状砂岩、粉砂岩为主,靠近物源区以砾岩、砂砾岩为主,电性曲线表现为箱形、钟形的特征,该物源区陆源碳酸盐岩颗粒含

量比较好,整体上阿尔金东段物源搬运距离较远,为辫状三角洲沉积,控制着柴西北地区的沉积。

阿尔金西段:渐新世属于沉积中心,地层厚度较大、坡度较陡,靠近物源区以砾岩、砂砾岩沉积为主,

向湖盆短距离内相变为湖相泥质岩类,电性曲线表现为钟形、漏斗形、指形等特征,该物源区碎屑组分异性较差,粒度粗、分选差、杂基含量高,为近源型的扇三角洲及近岸水下扇沉积。整体上阿尔金山西段物源搬运距离较近,主要控制着柴达木盆地西部地区的阿尔金山前带的沉积,发现了七个泉油田。

阿拉尔物源:为东倾斜坡区,地层坡度较缓,靠近物源区以砾岩、砂砾岩沉积为主,斜坡带上以中细砂岩、粉砂岩、泥质岩类沉积为主,发育交错层理、波状层理等,在河道底部见有冲刷面及泥砾滞留沉积,电性曲线表现为钟形、漏斗形及指形等特征,该物源区碎屑分异性较好,粒度分选好、杂基含量低,硬石膏和方解石胶结强,为远源缓坡型辫状三角洲沉积。阿拉尔物源搬运距离较远,渐新世控制红柳泉、砂西地区,是油气勘探的重要区带。

铁木里克物源:渐新世时期铁木里克为凸起区,向东为东倾斜坡区,地层坡度较缓,靠近物源区以砾岩、砂砾岩沉积为主,斜坡带上以中细砂岩、粉砂岩、泥质岩类沉积为主,发育交错层理、波状层理等,在河道底部见有冲刷面及泥砾岩滞留沉积,电性曲线表现为钟形、漏斗形及指形等特征,该物源区碎屑组合分异性较好,粒度分选好、杂基含量低,方解石胶结弱。整体上,铁木里克物源在渐新世时为尕斯地区的主要物源区,搬运距离较远,形成辫状三角洲沉积,控制着尕斯、砂西、扎哈泉地区,发现了尕斯油田、砂西油田,是油气勘探的主要区带。

祁漫塔格—东柴山物源:渐新世期为北倾斜坡区,地层坡度较缓,靠近物源区以砂砾岩沉积为主,斜坡带上以中细砂岩、粉砂岩、泥质岩类沉积为主,发育交错层理、波状层理等,在河道底部见有冲刷面及泥砾岩滞留沉积,电性曲线表现为钟形、漏斗形及指形等特征,该物源区碎屑组合分异性较好,粒度分选好、杂基含量低,方解石胶结强,为远源缓坡型辫状三角洲沉积。该物源搬运距离较远,控制昆北、东柴山等地区的沉积。

弯西—甘森物源:渐新世期为北倾斜坡区,地层坡度较缓,渐新世靠近物源区以砂砾岩沉积为主,斜坡带上以中细砂岩、粉砂岩、泥质岩类沉积为主,发育交错层理、波状层理等,在河道底部见有冲刷面及砂砾岩滞留沉积,电性曲线表现为钟形、漏斗形及指形等特征,该物源区碎屑组合分异性较好,粒度分选好、杂基含量低,方解石胶结强,为远源缓坡型辫状

三角洲沉积。整体上该物源搬运距离较远,形成辫状三角洲沉积,控制弯西、黄石等地区的沉积。

3 结论

通过重矿物组合、轻矿物特征、古水流恢复以及稀土元素分配特征的对比分析,柴西地区渐新世平面上主要存在六大物源体系:阿尔金山东段物源、阿尔金山西段物源、阿拉尔物源、铁木里克物源、祁漫塔格—东柴山物源、弯西—甘森物源。

通过对柴达木盆地沉积物源分析方法的比较,认为重矿物组合特征对研究盆地级、区带级的物源体系比较适用;轻矿物特征对研究局部物源的归属较适用;古水流恢复能直观研究物源方向,但受资料覆盖程度低限制;稀土元素起到辅助作用。因此在实际工作中,选用多种方法综合分析可以更加客观地认识沉积物源。

参考文献(Reference):

- [1] 李潍莲,刘震,徐樟有,等.柴达木盆地油气藏特征分析及对油气勘探的意义[J].石油与天然气地质,2007,28(1):18-24.
Li Weilian, Liu Zhen, Xu Zhangyou, et al. Analysis on reservoir characteristics of Qaidam Basin and its significance to petroleum exploration[J]. Oil & Gas Geology, 2007, 28(1):18-24(in Chinese with English abstract).
- [2] 汤良杰,金之钧,张明利,等.柴达木盆地构造古地理分析[J].地学前缘,2000,7(4):421-429.
Tang Liangjie, Jin Zhijun, Zhang Mingli, et al. An Analysis on the tectono-paleogeography of Qaidam Basin, NW China[J]. Earth Science Frontier, 2000, 7(4):421-429(in Chinese with English abstract).
- [3] 曹国强,陈世悦,徐凤银,等.柴达木盆地西部中-新生代沉积构造演化[J].中国地质,2005,32(1):34-40.
Cao Guoqiang, Chen Shiyue, Xu Fengyin, et al. Ceno-Mesozoic sedimentary and tectonic evolution in the western Qaidam basin[J]. Geology in China, 2005, 32(1):34-40(in Chinese with English abstract).
- [4] 蔺宏斌,姚泾利.鄂尔多斯盆地南部延长组沉积特性与物源探讨[J].西安石油学院学报(自然科学版),2000,15(5):7-9.
Lin Hongbin, Yao Tingli. Depositional Feature and Material Source Analysis of Yanchang Group in Eerduosi Basin[J]. Journal of Xi'an Petroleum Institute(Natural Science Edition), 2000, 15(5):7-9(in Chinese with English abstract).
- [5] 胡宗全,朱筱敏,彭勇民.准噶尔盆地西北缘车排子地区侏罗系物源及古水流分析[J].岩相古地理学报,2001,3(3):49-54.
Hu Zongquan, Zhu Xiaomin, Peng Yongmin. Analysis of provenance and palaeocurrent direction of Jurassic at Chepaizi region in northwest edge of Junggar Basin[J]. Journal of Palaeogeography, 2001, 3(3):49-

- 54(in Chinese with English abstract).
- [6] 刘池阳. 柴达木盆地第三纪古沉积边界及其演化[R]. 1991.
Liu Chiyang. Sedimentary edge and evolutionary of the Tertiary Period at Qaidam Basin[R]. 1991.
- [7] 范代读, 邱桂强, 李从先, 等. 东营三角洲的古流向研究 [J]. 石油学报, 2000, 21 (1):29-33.
Fan Daidu, Qiu Guaqiang, Li Congxian, et al. Paleocurrent properties of Dongying delta in Bohai Bay Basin [J]. Acta Petrolei Sinic, 2000, 21 (1):29-33(in Chinese with English abstract).
- [8] 燕金梅, 鞠江慧, 王建功, 等. 地层倾角测井资料的地质应用[J]. 测井技术, 2005, 29(3):227-229.
Yan Jinmei, Ju Jianghui, Wang Jianguo, et al. Geologic Application of Diplog Data[J]. Well Logging Technology, 2005, 29(3):227-229 (in Chinese with English abstract).
- [9] 杨守业, 李从先. REE 示踪沉积物物源研究进展 [J]. 地球科学进展, 1999, 14(2):164-167.
Yang Shouye, Li Congxian. Research progress in REE tracer for sediment source [J]. Advance in Earth Science, 1999, 14 (2):164-167(in Chinese with English abstract).
- [10] 杨忠芳, 陈岳龙. 陆源碎屑沉积作用对化学元素配分的制约[J]. 地质论评, 1997, 43(6):593-600.
Yang Zhongfang, Chen Yuelong. Constraints of terrigenous classic sedimentation on element partitioning[J]. Geological Review, 1997, 43(6):593-600(in Chinese with English abstract).
- [11] 刘宁, 樊德华, 郝运轻, 等. 稀土元素分析方法研究及应用——以渤海湾盆地东营凹陷永安地区物源分析为例[J]. 石油实验地质, 2009, 31(4):427-432.
Liu Ning, Fan Dehua, Hao Yunting, et al. REE analysis method and application—taking source rocks in Yonggan region of the Dongying Sag, the Bohai Bay Basin as example [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2009, 31 (4):427-432 (in Chinese with English abstract).
- [12] 赵澄林, 朱筱敏. 沉积岩石学[M]. 北京:石油工业出版社, 2004, 40-150.
Zhao Chenchenglin, Zhu Xiaomin. Sedimentary Petrology [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004, 40-150.
- [13] 胡二中, 彭振斌. 极射赤平投影在定向钻进轨迹设计计算中的应用[J]. 煤田地质与勘探, 2009, 37(1):75-80.
Hu Erzhong, Peng zhenbin. Application of polar stereographic projection in the well trajectory design and calculation of directional drilling [J]. Coal Geology & Exploration, 2009, 37(1):75-80(in Chinese with English abstract).
- [14] 付国民, 李永军, 梁志录, 等. 柴达木盆地阿尔金斜坡层序地层及湖盆充填型式[J]. 中国地质, 2002, 29(2):172-177.
Fu Guoming, Li Yongjun, Liang Zhilu, et al. Sequence stratigraphy and lake basin-filling model on the Altun slope in the Qaidam basin[J]. Geology in China, 2002, 29(2):172-177 (in Chinese with English abstract).
- [15] 曹国强, 陈世悦, 徐凤银, 等. 柴达木盆地西部中—新生代沉积构造演化[J]. 中国地质, 2005, 32(1):33-40.
Cao Guoqiang, Chen Shiyue, Xu Fengyin, et al. Cenozoic-Mesozoic sedimentary and tectonic evolution in the western Qaidam basin [J]. Geology in China, 2005, 32(1):33-40(in Chinese with English abstract).
- [16] 宋华颖, 伊海生, 范爱春, 等. 柴达木盆地西部西岔沟剖面湖相碳酸盐岩石学特征与沉积环境分析 [J]. 中国地质, 2010, 37(1):117-126.
Song Huanying, Yi Haisheng, Fan Aichun, et al. Petrology and sedimentary environments of lacustrine carbonate rocks in the Xichagou Section, western Qaidam Basin [J]. Geology in China, 2010, 37(1):117-126(in Chinese with English abstract).
- [17] 赵俊英, 罗静兰, 雷晓岚, 等. 鄂尔多斯盆地子长油田杨家园则探区长 6 物源分析[J]. 中国地质, 2007, 34(3):422-429.
Zhao Junying, Luo Jinglan, Lei Xiaolan, et al. Provenance analysis of the Sixth Member of the Yanchang Formation in the Yangjiayuanze oil prospect area, Zichang oilfield, Ordos basin [J]. Geology in China, 2007, 34(3):422-429(in Chinese with English abstract).
- [18] 邵磊, 庞雄, 陈长民, 等. 南海北部渐新世末沉积环境及物源突变事件[J]. 中国地质, 2007, 34(6):1022-1031.
Shao Lei, Pang Xiong, Chen Changmin, et al. Terminal Oligocene sedimentary environments and abrupt provenance change event in the northern South China Sea [J]. Geology in China, 2007, 34(6):1022-1031(in Chinese with English abstract).
- [19] 杨江海, 杜远生, 徐亚军, 等. 砂岩的主量元素特征与盆地物源分析[J]. 中国地质, 2007, 34(6):1032-1044.
Yang Jianghai, Du Yuanshang, Xu Yajun, et al. Major element characteristics of sandstones and provenance analysis of basins [J]. Geology in China, 2007, 34 (6):1032-1044 (in Chinese with English abstract).
- [20] 李艳丽, 林春明, 岳信东, 等. 白音查干凹陷桑合地区早白垩世都红木组一段沉积演化与物源研究 [J]. 中国地质, 2009, 36(1):214-228.
Li Yanli, Lin Chunming, Yue Xindong, et al. Sedimentary evolution and source provenance of the First Member of Lower Cretaceous Duhongmu Formation in Sanghe area, Baiyinchagan sag [J]. Geology in China, 2009, 36 (1):214-228 (in Chinese with English abstract).
- [21] 曹全斌, 李昌, 孟祥超, 等. 准噶尔盆地南缘中段紫泥泉子组三段物源体系分析[J]. 中国地质, 2010, 37(2):367-373.
Cao Quanbin, Li Chang, Meng Xiangchao, et al. A material source system analysis of the 3rd Member of Ziniquanzi Formation in the central part of southern margin of Junggar Basin [J]. Geology in China, 2010, 37(2):367-373(in Chinese with English abstract).
- [22] 陶丽, 张廷山, 戴传瑞, 等. 苏北盆地白驹凹陷泰州组一段沉积物源分析[J]. 中国地质, 2010, 37(2):414-420.
Tao Li, Zhang Tingshan, Dai Chuanrui, et al. The sediment source of 1st Member of Taizhou Formation in Baiju depression, Subei basin [J]. Geology in China, 2010, 37(2):414-420(in Chinese with English abstract).
- [23] 和钟铎, 刘招君, 张峰. 重矿物在盆地分析中的应用研究进展[J]. 地质科技情报, 2001, 20(4):29-32

He Zhonghua, Liu Zhaojun, Zhang Feng. Latest progress of heavy mineral research in the basin analysis [J]. Geological Science and Technology Information, 2001, 20 (4):29-32 (in Chinese with English abstract).

[24] 邵磊, 朱伟林, 赵泉鸿, 等. 渤中凹陷及周边地区沉积岩若干稀

土元素特征[J]. 同济大学学报, 2001, 662-665.

Shao Lei, Zhu Weilin, Wu Guoxuan, et al. Characteristic of some trace elements of sedimentary rock from the Bozhong and neighbor areas, Bohai-gulf Basin [J]. Journal of Tongji University, 2001, 29 (6):662-665(in Chinese with English abstract).

Provenance analysis of Oligocene sediments in western Qaidam Basin

WANG Yan-qing, GONG Qing-shun, XIA Zhi-yuan, XIONG Shao-yun

(PetroChina Hangzhou Research Institute of Geology, Hangzhou 310023, Zhejiang, China)

Abstract: Provenance analysis is of great significance in determining the sediment source, parent rock properties, sediment transport distance, and even sedimentation and tectonic evolution of the whole basin. Heavy mineral assemblages, light mineral assemblages, REE distribution pattern and palaeocurrent direction were systemically analyzed in this paper. Six main provenances in the Oligocene period of western Qaidam Basin were determined, i.e., eastern Altun provenance, western Altun provenance, Aral provenance, Tomorlog provenance, Qimantag-Dongqashan provenance, and Wanxi-Gansen provenance. Provenance characteristics significantly control sediment characteristics. The sediment transport distance from western Altun provenance was short. Pyroclasts supply was evidently controlled by seasonal floods, so it was very unstable and always developed near-source steep type fan delta and near-shore subaqueous fan sediments. Sediments from the rest of the provenance were transported for a long distance, with the maximum transport distance being about 190 Km; pyroclasts supply was stable, and thus developed braided delta sediments of far-source mild slope type. Due to the influences of several provenances, the sedimentary characteristics were obviously different.

Key words: Qaidam Basin; heavy minerals; light minerals; palaeocurrent directions; provenance

About the first author: WANG Yan-qing, male, born in 1973, senior engineer, mainly engages in the study of sedimentology; E-mail: wangyq_hz@petrochina.com.cn.