

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

王明磊¹ 张廷山¹ 王 兵² 支东明²

(1. 西南石油大学, 四川 成都 610500;

2. 中国石油新疆油田公司勘探开发研究院地球物理研究所, 新疆 乌鲁木齐 830013)

摘要:通过对准噶尔盆地南缘中段紫泥泉子组紫三段(E_{1-2}^{3-4})的 166 件重矿物样品分析,综合古近纪紫泥泉子期的区域构造、气候、沉积物特征等因素,提出古近纪紫三段沉积期的古地理环境为:干燥气候条件下,发育同方向、多河道、间歇性辫状河,水浅、源多、坡缓的古地理环境。多条河流平行发育和迁移,河道垂直岸线伸展、各种沉积相带却平行岸线展布,相带宽度较大。

关键词:重矿物;古地理;准噶尔盆地;古近纪

中图分类号:P512.2

文献标志码:A

文章编号:1000-3657(2009)02-0456-09

1 研究区概况

准噶尔盆地南缘位于北天山山前,北以车排子凸起、莫南—芳草湖一线为界,南至博格达山北麓山前和伊林黑比尔根山,西起扎伊尔山,东到乌鲁木齐,包括西段、中段及东段等部分,东西长约 450 km,南北宽约 50 km,面积约 18600 km²。本次研究范围主要涉及南缘中段的西湖背斜、独山子背斜、安集海背斜、霍尔果斯背斜、玛纳斯背斜、吐谷鲁背斜等背斜带及临近地区(图 1)。

准噶尔盆地南缘经历了近 70 年的勘探历程,通过不懈的努力,特别是近几年加大南缘勘探力度后,取得不少新的成果和认识。在沉积相研究方面,新疆油田、西南石油大学、中国科学院成都山地研究所、杭州地质研究所等单位在准噶尔盆地南缘已经做了很多工作,准噶尔盆地南缘中段的物源问题也已经基本明了。笔者认为,对准噶尔盆地南缘中段古近系沉积相研究的主要问题,在于对沉积期的古地理环境没有合理的、比较正确的认识。所以本文的研究重

点放在利用重矿物方面资料,结合其他资料,恢复古近纪紫三段沉积期的古地理环境,以建立合理的沉积相模式,为进一步的油气勘探提供思路。

2 重矿物分析

重矿物定义为沉积岩中比重大于 2.86 的矿物。20 世纪 60 年代,重矿物主要应用于地层对比^[1]。到了 80 年代,国内外沉积岩重矿物研究发展较快,在沉积矿产、石油地质和海洋地质等方面都做了不少工作。沈丽琪^[2]从重矿物的角度,运用重矿物成熟度和稳定系数等概念,探索古气候问题,并取得了初步成效。近十几年来,随着先进测试技术和分析方法在重矿物分析中的应用,重矿物在盆地分析中的应用越来越广,特别是在盆地物源分析^[3-4]、构造演化^[5]、地层对比分析^[6-7]、岩相古地理重建及古气候恢复^[8-9]等方面,可靠性及准确性有极大的提高。

重矿物分析在古地理研究中具有重要的意义。重矿物资料能有效地提供物源区母岩性质、古流方向及水流体系等沉积特征的信息。笔者认为可以

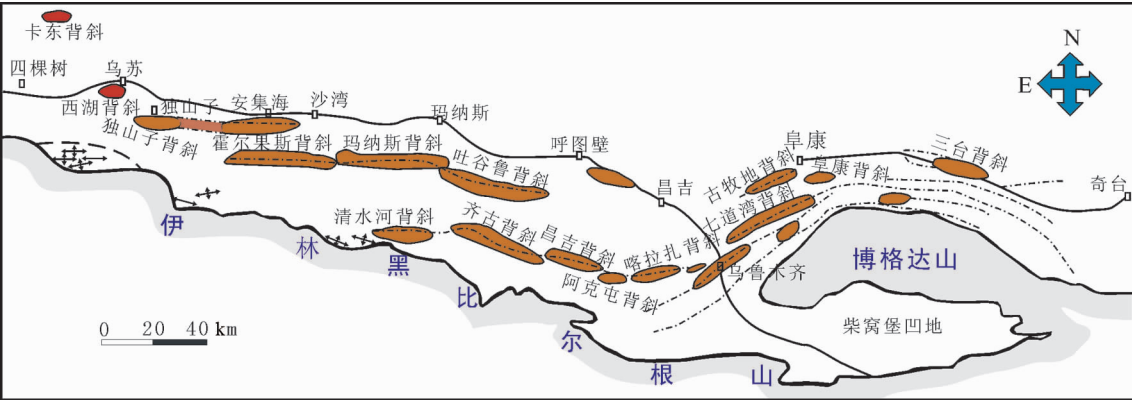


图 1 准噶尔盆地南缘构造纲要图(新疆油田地物所提供)

Fig.1 Structure outline map of the southern margin of Junggar Basin (after Xinjiang Oil Field)

通过分析研究区域内稳定和不稳定组分在平面上的分布和变化,进而分析古地理环境,从而建立合理的相模式。合理的古地理环境的恢复,为下一步的油气勘探目标选择和决策提供有价值的科学参考依据,对于钻井数量少、钻井密度低,地震资料品质差的南缘地区具有重要意义。

本次研究共收集到准噶尔盆地南缘紫泥泉子组紫三段($E_{1-2}z^3$)重矿物样品 166 件。重矿物样品数量

多,分布的钻井范围广泛,对进行古地理环境的分析非常有利(图 2)。研究区内主要的重矿物有白钛矿、锆石、石榴石、褐铁矿、电气石、榍石、尖晶石、十字石、板钛矿、锐钛矿、刚玉、钛铁矿、绿帘石、磁铁矿、普通辉石、黑云母、普通角闪石、阳起石、黝帘石。该区稳定重矿物有白钛矿、锆石、石榴石、褐铁矿、电气石、榍石、尖晶石、十字石等,不稳定的有钛铁矿、绿帘石、磁铁矿、黑云母、黝帘石等。

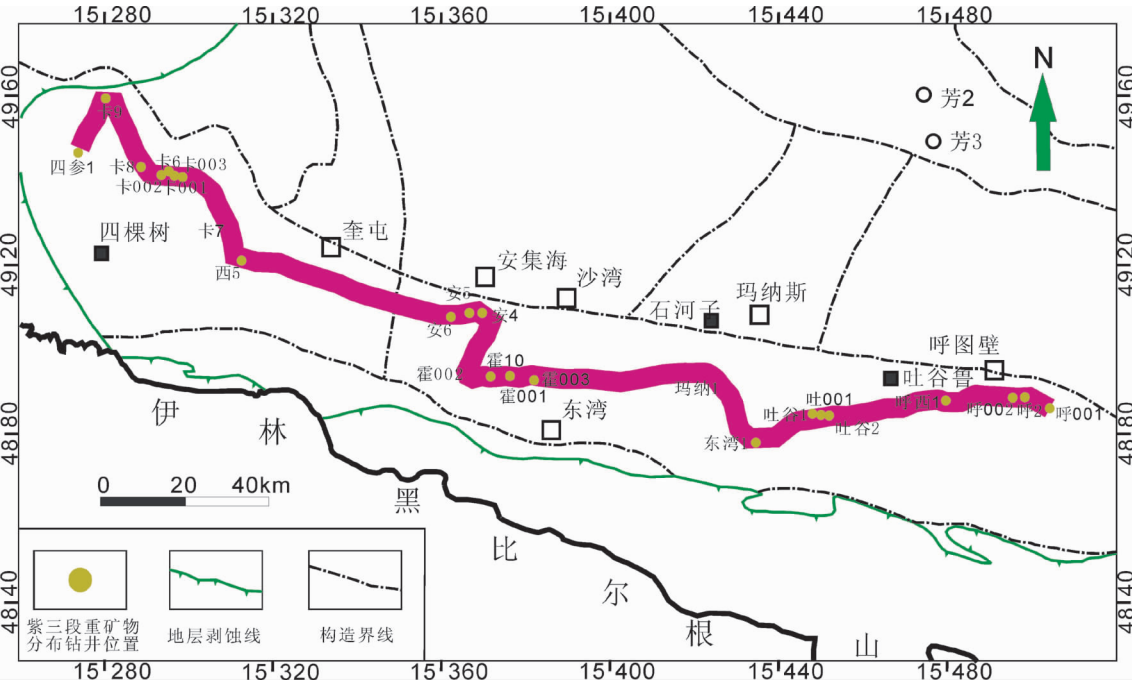


图 2 南缘中段紫泥泉子组紫三段钻井重矿物采样平面分布图

Fig.2 Distribution of borehole heavy minerals of in the central southern margin

样品中重矿物的种类、各种重矿物的相对百分含量、样品的稳定系数(稳定系数=稳定型相对含量/不稳定型相对含量)和重矿物成熟度 ZTR 系数(ZTR 系数是指由稳定矿物锆石、电气石和金红石组成的透明矿物组分的百分含量),都既与剥蚀物源区的母岩类型有关,同时还与搬运距离及改造程度有关。一般而言,来自同一剥蚀物源区的、同一年代、同一河流沉积物的重矿物样品,常常具有相同或近似的重矿物组合和重矿物的相对百分含量,并且从上游至下游随着搬运距离的增加、改造程度的加剧,样品中不稳定重矿物数量将逐渐减少、稳定重矿物的数量将相对增多,稳定系数及 ZTR 系数也相应依次逐渐增大。不同年代的不同水系的河流,往往来自不同的物源区,相应的样品也往往有不同的重矿物组合与含量,稳定系数及 ZTR 系数也常常无可比性、也没有明确的变化趋势与规律。

根据对准噶尔盆地南缘研究区紫三段各钻井重矿物百分含量均值及稳定系数的统计及分析,可以得到南缘紫三段主要稳定重矿物及不稳定重矿物含量均值变化曲线图(图 3~4)。

从图 3~4 中可以看到,在同一构造中,相邻钻井样品的许多重矿物含量、稳定系数及 ZTR 系数的变化,往往是起伏不定的、大起大落的,缺乏明显的渐变趋势与规律性。在同一构造的相邻钻井样品之间,也常有很大的差异。如安 6 井、安 5 井和安 4 井,井间相距不过 3000 m,重矿物含量,锆石依次为 0、2.28 和 0.07,石榴石依次为 0.78、5.38 和 1.57,褐铁矿依次为 57.41、3.31 和 52.97,绿帘石依次为 26.20、40.54 和 0.63;稳定系数依次为 1.71、0.30 和 1.26;ZTR 系数依次为 4.91、13.75 和 0.32,呈现大幅锯齿状变化。霍 002、霍 10、霍 001、霍 003 的样品之间,也有类似的差别。

在准噶尔盆地南缘区域上,从西向东自西 5 井至呼 001 井,锆石、石榴石、褐铁矿、电气石、十字石、绿帘石、磁铁矿以及 ZTR 系数,曲线呈大幅锯齿状。即表明,相邻而不同构造的钻井重矿物样品,其主要矿物组合及含量各不相同,且缺乏同水系重矿物的变化趋势与规律,不符合同一条水系河流下游样品稳定矿物含量增加、不稳定矿物减少的原则。

通过以上对重矿物资料的分析,笔者认为,准噶尔南缘中段研究区内沉积物不可能属同一河流的产

物,即在古近纪紫三段沉积期,研究区内存在多条河流。虽然沉积物来自共同的剥蚀物源区,相同的物源方向,但是由于各条河流控制的物源剥蚀区域面积有限且各不相同,相应每条河流所搬运的重矿物类型与数量,沉积物搬运距离、搬运方式、沉积速度等会出现不同程度的差异,这可能是区内重矿物样品的各种含量、在相邻钻井之间呈大幅度锯齿状起伏变化的重要原因。

重矿物分析仅是研究古地理环境的一种方法,而古地理环境往往是复杂的,仅靠一种方法来分析是远远不够的,难免出现偏差。因此,要想对准噶尔盆地南缘中段古近纪紫三段沉积期的古地理环境较全面、正确的恢复,必须全面考虑紫泥泉子期或紫三段沉积期的区域构造、气候及沉积物特征等多种因素。

3 区域构造背景

准噶尔盆地南缘,南依北天山,北向盆地内延伸,是北天山向北挤压推覆形成,整体的构造机制表现为挤压推覆作用。准噶尔盆地南缘从印支期早期前陆到新生代的再生前陆盆地的演化,总体具有东抬西沉的特点^[10]。通过对准噶尔盆地挠曲模拟^[11],结果表明:在三叠纪—侏罗纪时造山负载的高度为 2.6~3.8 km,早古近纪一般为 1.2~3.4 km,其与侏罗纪的相比山系低,表明古近纪北天山是相对剥蚀夷平过程,沉积向北超覆。

国际地层表^[12]表明,紫泥泉子组沉积时期,大致与古新世和始新世早期相当,即大致与丹尼阶、赛兰特阶、坦尼特阶、伊普里斯阶和鲁帝特阶相当,其沉积大致经历了 25.1 Ma 的时间段。根据实测剖面资料,昌吉河紫泥泉子组地表剖面的厚度 854 m,通过计算获得平均沉积速率约为每一万年 0.034 m。

而根据井下资料,按现在的分层方案,通过对紫泥泉子组地层对比与划分,紫泥泉子组在井下的钻厚变化在 281 m(西 5 井)至 760 m(呼 2 井)。如按井下的钻厚计算,沉积速率还要低一些。

根据区域构造背景,结合紫泥泉子组地层沉积厚度分析,紫泥泉子组地层厚度小、沉积速率小,表明紫泥泉子期地壳的剥蚀幅度小,地表水流搬运沉积物的数量少、能力弱,盆地充填很缓慢。在这种条件下,河口砂及三角洲前缘的砂体受波浪改造强烈,往往形成平行于岸线的席状砂。

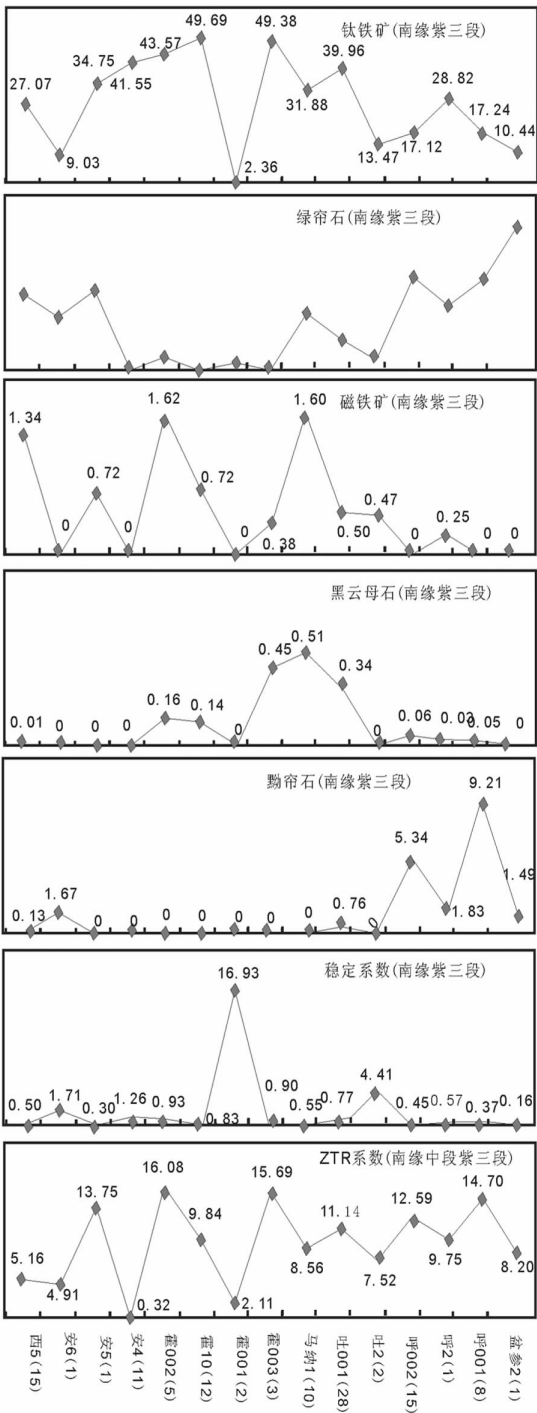
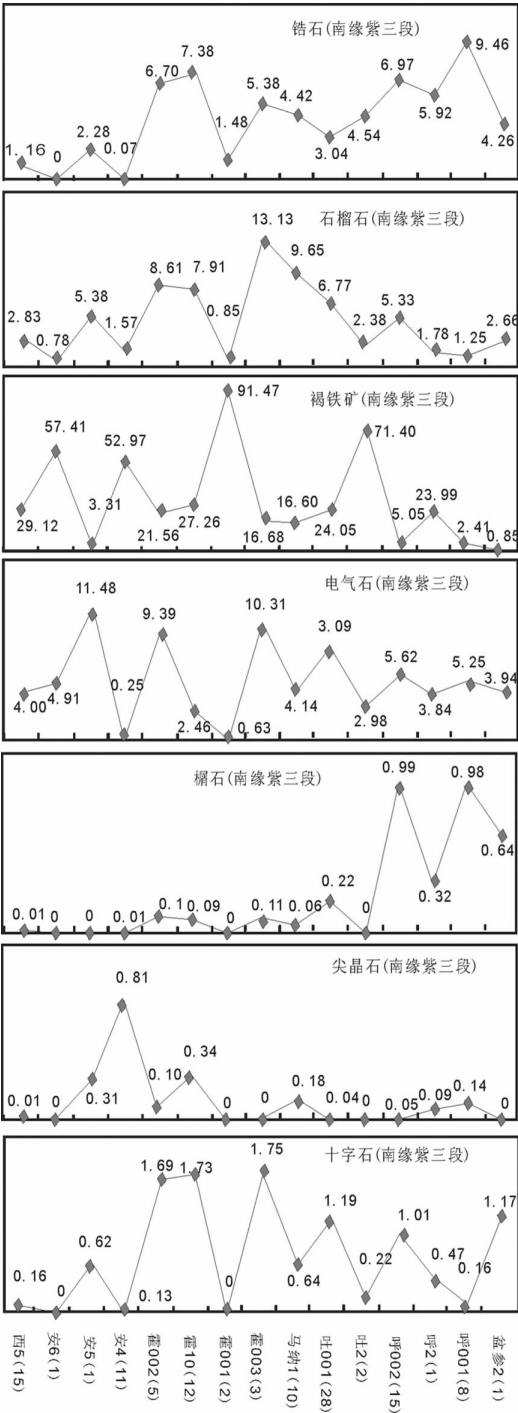


图 3 南缘紫三段主要稳定重矿物含量均值变化曲线图
Fig.3 Variation of average content
of stable heavy minerals in the southern margin (E_{1-2z3})

图 4 南缘紫三段主要不稳定重矿物含量均值变化曲线图
Fig.4 Variation of average content of unstable heavy minerals in
the southern margin (E_{1-2z3})

4 气候背景

据研究及区域地质资料^[13],紫泥泉子沉积时期,主要为干燥气候条件,降水量少、蒸发量大、降水不均、局部常形成暴雨。

干燥的气候条件,在紫泥泉子时期的沉积特点主要表现在以下两个方面:

紫泥泉子沉积时期,属地质上的干旱时期,降

雨量少,多阵发性降雨,降雨分布不均匀。河流量明显受降水控制,降大雨和暴雨时形成洪流,不降雨期间水量很小、甚至断流干涸。即此时期的河流一般属间歇性河流,且洪泛的时期相对短,干枯的时间相对长。这可能正是紫泥泉子时期,地表河流数量多而搬运碎屑物质数量少、搬运能力弱、盆地沉积充填缓慢的原因之一。该沉积特征在岩心下表现为薄—中厚层砂泥互层(图 5~6)。

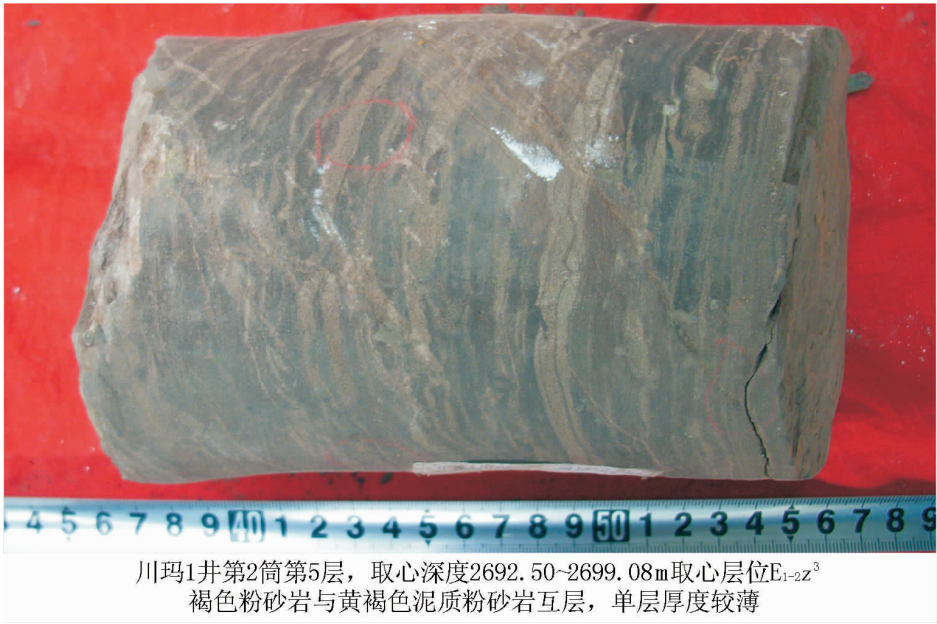


图 5 褐色粉砂质泥岩与灰黄色泥质粉砂岩薄互层
Fig.5 Thin brown silty mudstone interbedded with thin grey yellow argillaceous siltstone

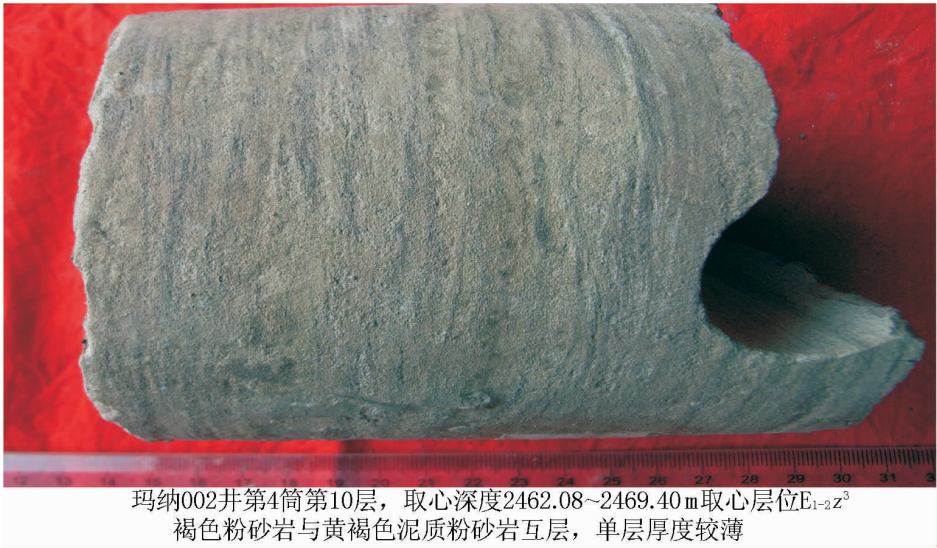


图 6 褐色粉砂岩与黄褐色泥质粉砂岩互层
Fig.6 Brown siltstone interbedded with thin yellow brown argillaceous siltstone

干旱气候环境的另一特点是,降水的数量、范围的大小和位置都具有极大的不均一性与随机性,由此导致河流洪泛的规模与时期具有极大的局部性与随机性。即盆地内的多条河流往往交替的发生洪泛,交替性的搬运沉积进入湖盆,这可能也是造成紫泥泉子组缺乏统一的标志层的原因之一。这种沉积特征在岩心上表现为褐色泥质粉砂岩—粉砂质泥岩,存在若干个侵蚀结构,可见细小斜层理、平行层理(图 7)。

因此,紫泥泉子期,在干燥的气候条件下,形成了多河道、间歇性的多个物源的古地理环境。这种古地理环境下,地表河流数量多,但是大部分河流规模一般较小,并且频繁改道,在沉积物上表现出粉砂岩和泥岩频繁互层。河流搬运能力弱,沉积物厚度较小,盆地沉积充填缓慢。

5 沉积相类型及沉积特征

紫泥泉子组沉积相类型主要为冲积扇相、辫状河相、辫状河三角洲相、滨浅湖相,未见有半深湖及深湖相,表明当时水体深度不大,河流入湖后形成的是浅水三角洲。

研究区域的沉积特征主要是:

- (1)每次洪泛期沉积物的厚度较小、展布的面积较为广阔,三角洲前缘的范围广阔。
- (2)三角洲相序发育不充分、不典型;前缘的水

下分流河道不稳定,致使河砂坝、水下天然堤坝均不发育。

据杭州地质研究所(2007)测绘的玛纳斯河地表剖面,紫二段和紫三段均属三角洲前缘亚相,与之邻近的玛纳斯背斜各钻井紫二段和紫三段也均为辫状河三角洲前缘亚相,表明玛纳斯河地表剖面至背斜钻井之间的、三角洲前缘亚相沉积的宽度,达 20 余千米。

洪泛期之间的漫长的枯水期间、断流期间,先期形成的水下分流河道沉积物及三角洲前缘的沉积物,必将持续地受至湖水波浪的改造,形成平行于岸线展布的席状砂。再者,紫泥泉子时期总体上处于湖面不断扩大的湖侵时期,扩大加深后的湖水波浪,改造作用更强,甚至可以改造先期的三角洲平原的沉积物,使之成为席状砂,同时也进一步拓宽了三角洲前缘的范围。因此,席状砂发育,三角洲前缘的范围宽阔并沿岸线连成带,也是该区域沉积的特点之一。

同时,笔者在对研究区内紫泥泉子组进行砂层对比工作时,发现研究区内紫泥泉子组内单层砂层发育较薄,但是横向上连通性较好(图 8)。究其原因,可能就是因为辫状河三角洲前缘,水体相对较浅,沉积的砂体受波浪作用较强烈,形成席状砂,平行于岸线分布。

通过对紫泥泉子组沉积相类型和沉积特征分析,紫泥泉子期的古地理环境应该是水浅,水下分流



图 7 褐色泥质粉砂岩侵蚀结构

Fig.7 Brown argillaceous siltstone and erosion texture

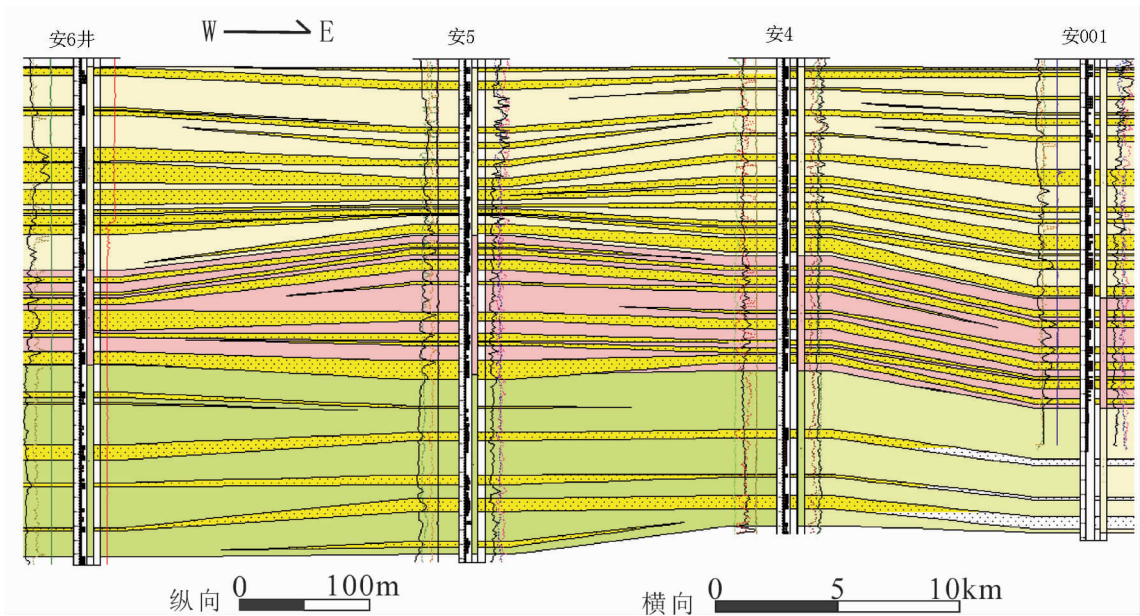


图 8 准噶尔盆地南缘安集海构造带紫泥泉子组砂层对比图(顶部拉平)
Fig.8 Comparison of sand beds within Anjihai structure belt in the southern margin of Junggar Basin (the top flattened)

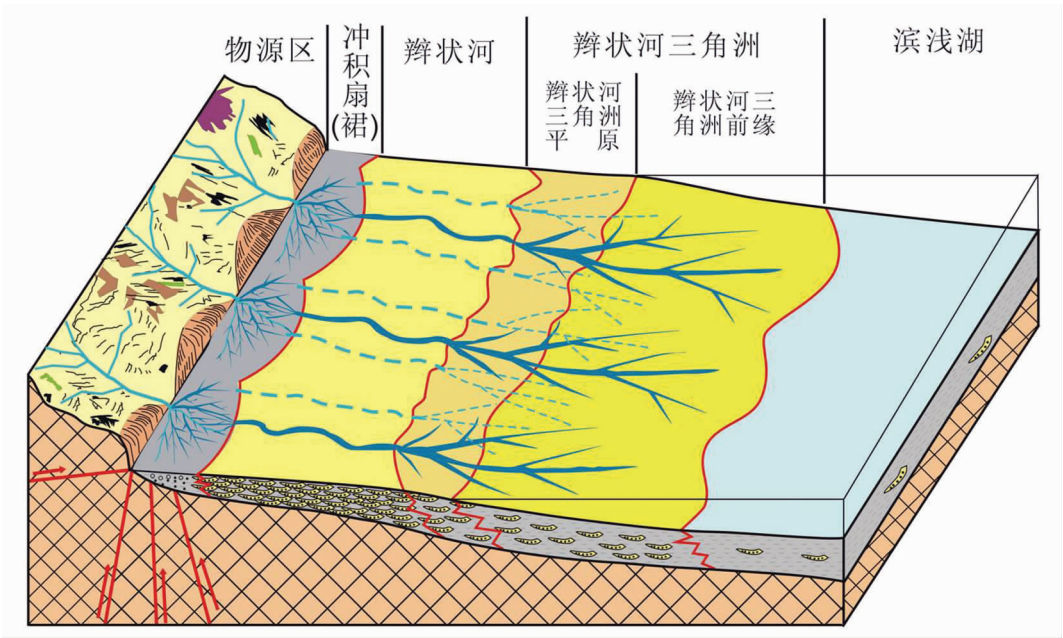


图 9 古近纪紫三段沉积期的古地理环境示意图
Fig.9 Palaeogeographic environment of the Paleogene E₁-z³ depositional stage

河道沉积物及三角洲前缘的沉积物持续地受到湖水波浪的改造,形成平行于岸线展布的席状砂。三角洲前缘相带平行岸线展布,相带宽度较大。

6 结 论

通过准噶尔盆地南缘紫泥泉子组紫三段重矿物

样品分析,综合古近纪紫泥泉子期的区域构造、气候、沉积物特征等因素,笔者认为,紫泥泉子期北天山向北推覆、抬升,形成剥蚀物源区,物源区的边界受断裂控制,整体向北推移,山前常有多条山口,相应形成多条河流,多条河流沿地面最大坡度的方向、彼此近于平行地进入盆地流向湖泊。紫三段沉积期,受古盆地环境控制,每条河流的流域面积不大,河道不固定、流程不长,多属小型的短程辫状河流。

因此,古近纪紫三段沉积期的古地理环境(图9)是在干燥的气候条件下,在山前形成多条河流,每条河流的流域面积不大,河道不固定、流程不长,多属小型的短程辫状河流,控制的物源剥蚀区域面积有限且各不相同;在每一条河流从上游向下游依次有冲积扇、辫状河、三角洲平原、三角洲前缘等相带。多条河流平行发育和平等迁移,将使这些相带彼此连接、融合而形成,河道垂直岸线伸展、沉积相带却平行岸线展布,相带在平面上跨度较大。即在干燥气候条件下的发育同方向、多河道、间歇性辫状河,水浅、源多、坡缓的古地理环境。

参考文献(References):

- [1] 侯艺. 重矿物用作地层对比的方法[J]. 地质学报, 1960, 27(1): 234-237.
Hou Yi. The method of utilizing the heavy minerals as means of stratigraphical correlation[J]. Acta Geologica Sinica, 1960, 27(1): 234-237 (in Chinese with English abstract).
- [2] 沈丽琪. 沉积岩重矿物研究中的几个重要概念及其应用[J]. 中国科学(B辑), 1985, (1):70-78.
Shen Liqi. The application and several important conceptions in the study of the heavy mineral study of sedimentary rock[J]. Science in China(Ser.B), 1985. (1):70-78 (in Chinese).
- [3] 周建琪, 宋丽红, 孙峥嵘, 等. 博湖坳陷侏罗系重矿物特征及物源探讨[J]. 河南石油, 2002, 16(1):20-22.
Zhou Jianwen, Song Lihong, Sun Zhengrong, et al. Heavy mineral features and source of sediments of Jurassic in Bohu depression[J]. Henan Petroleum, 2002, 16 (1):20-22 (in Chinese with English abstract).
- [4] 张元, 郭翔, 刘宏彦, 等. 三塘湖盆地马朗地区重矿物特征及物源分析[J]. 中外能源, 2007, 12(4):48-51.
Zhang Yuan, Guo Xiang, Liu Hongyan, et al. Analysis for heavy mineral combination characteristics and detritus sources in Malang depression of Santanghu basin[J]. Sino-Global Energy, 2007, 12(4): 48-51(in Chinese with English abstract).
- [5] 方世虎, 郭召杰, 贾承造, 等. 准噶尔盆地南缘中-新生界沉积物重矿物分析与盆地格局演化[J]. 地质科学, 2006, 41(4):648-662.
Fang shihu, Guo Zhaojie, Jia Chengzao, et al. Meso-Cenozoic heavy minerals' assemblages in the southern Junggar basin and its implications for Basin-Orogen pattern [J]. Chinese Journal of Geology, 2006, 41(4):648-662(in Chinese with English abstract).
- [6] 丁跃潮. 微量元素及重矿物判别分析在西昆仑山前第三系划分对比中的应用[J]. 新疆地质, 1995, 13(3):275-282.
Ding Yuechao. Discrimination of trace elements and heavy minerals applied in the classification and correlation of Tertiary system at the piedmont of West Kunlun[J]. Xinjiang Geology, 1995, 13(3):275-282(in Chinese with English abstract).
- [7] 武法东, 陆永潮, 阮小燕. 重矿物聚类分析在物源分析及地层对比中的应用—以东海陆架盆地西湖凹陷平湖地区为例[J]. 现代地质, 1996, 10(3):397-402.
Wu Fadong, Lu Yongchao, Ruan Xiaoyan. Application of heavy minerals cluster analysis to study of clastic sources and stratigraphic correlation[J]. Geoscience, 1996, 10 (3):397-402 (in Chinese with English abstract).
- [8] 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).
- [9] 赵军, 洪庆玉, 董伟良. 北部湾涠西南凹陷物源方向及古地理景观分析[J]. 石油勘探与开发, 2001, 28(5):25-28.
Zhao Jun, Hong Qingyu, Dong Weiliang. Analysis on material sources and palaeogeographic landscapes of Weixinan sag [J]. Petroleum Exploration and Development, 2001, 28 (5):25-28 (in Chinese with English abstract).
- [10] 达江, 宋岩, 洪峰, 等. 准噶尔盆地南缘前陆盆地油气成藏系统划分研究[J]. 天然气地球科学, 2006, 17(4):452-455.
Da Jiang, Song Yan, Hong Feng, et al. Division of hydrocarbon accumulation system in the southern Junggar foreland basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2006, 17 (4):452-455 (in Chinese with English abstract).
- [11] 闫法堂, 吕嵘. 准噶尔盆地南缘前陆盆地中—新生代沉降埋藏史模拟[J]. 内蒙古石油化工, 2006, 6:127-129.
Yan Fatang, Lv Rong. The simulating of Mesozoic-Cenozoic subside and bury history of the foreland basin in the southern edge of the Junggar[J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2006, 6: 127-129(in Chinese).
- [12] 金玉坤, 王向东, 王琰, 译. 国际地层表[J]. 2004, 29(2):98.
Jin Yuyu, Wang Xiangdong, Wang Yue, translated. International formation catalog[J]. 2004, 29(2):98(in Chinese).
- [13] 张国俊, 王仲侯, 吴虻, 等. 中国石油地质志, 卷(15), 新疆油气区石油地质志[M]. 北京:石油工业出版社, 1993.
Zhang Guojun, Wang Zhonghou, Wu Meng, et al. Petroleum Geology of China, Vol(15), Xinjiang Oil & Gas Field[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1993(in Chinese).

The application of heavy mineral analysis to palaeogeographic research: a case study of the 3rd Member of Ziniquanzi Formation in the central southern margin of Junggar Basin

WANG Ming-lei¹, ZHANG Ting-shan¹, WANG Bing², ZHI Dong-ming²

(1. Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, Sichuan, China;

2. Institute of Geophysics, Xinjiang Oilfield Company, PetroChina, Urumqi 830013, Xinjiang, China)

Abstract: Based on an analysis of 166 heavy mineral samples from the 3rd Member of Ziniquanzi Formation (E_{1-2z}^3) in the central southern margin of the Junggar Basin and taking into account such factors as regional structure, climate and sediment characteristics, the authors have reached the following conclusions: the palaeogeographic conditions for the deposition of the 3rd Member of Ziniquanzi Formation were dry, with the development of multi-channel and intermittent braided rivers in the same direction characterized by shallowness, multiple sources and gentle slopes. A number of parallel rivers were developed, moved and extended vertical to the shoreline. Nevertheless, various kinds of sedimentary facies with a fairly great width were spread parallel to the shoreline.

Key words: heavy mineral; palaeogeography; Junggar Basin; Paleogene

About the first author: WANG Ming-lei, born in 1981, doctor candidate, engages in the study of sedimentary reservoir and petroleum geology; E-mail: warmly198171@126.com.