

文章编号: 1000-0550(2010)06-1117-12

苏北盆地高邮凹陷马家嘴地区古近系戴南组物源分析

周 健¹ 林春明¹ 李艳丽¹ 姚玉来¹ 张 霞¹ 张志萍^{2,1} 高丽坤¹

(1. 内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室 南京大学地球科学与工程学院 南京 210093;

2. 中国石油化工股份有限公司华东分公司规划设计研究院 南京 210036)

摘 要 综合运用碎屑岩类分析法、重矿物法、沉积法三类物源分析方法对苏北盆地高邮凹陷马家嘴地区戴南组的物源进行了分析。马家嘴地区母岩岩性以火成岩为主,其次为变质岩和沉积岩,其中酸性火成岩的分布范围要比基性火成岩分布范围广,变质岩以中—低级变质岩为主,深成岩较少。对研究区内各层段砂岩类型、岩屑类型及含量变化、砂岩百分含量、地层厚度、沉积相展布、重矿物稳定系数、重矿物组合、ZTR 指数和重矿物指数等资料的研究结果表明,戴南组沉积时期马家嘴地区各个区块具有不同的物源方向,马8区块沉积物主要来自菱塘桥低凸起方向,部分来自通扬隆起;马31区块沉积物来自菱塘桥低凸起方向,古河流发生迁移;马33区块沉积物来自通扬隆起。

关键词 苏北盆地 高邮凹陷 戴南组 物源分析

第一作者简介 周健 男 1984年出生 硕士研究生 沉积学与石油地质学 E-mail: zhoujian-nju. @ 163. com

中图分类号 P512.2 P534.5 **文献标识码** A

近年来苏北盆地高邮凹陷戴南组获得了较大的勘探突破,揭示了高邮凹陷戴南组有着较大的勘探潜力。由于高邮凹陷马家嘴地区处于高邮凹陷深凹带,具有多物源、物源变化明显的特点,因此弄清马家嘴地区戴南组沉积时期的物源演化对预测该区沉积体系和油气有利储集体分布起着重要作用。

随着现代分析手段的提高,物源分析方法日趋增多,并不断地相互补充和完善。目前应用较多的为碎屑岩类分析法^[1,2]、重矿物法^[3~6]、沉积法^[7,8]、地球化学法和同位素法^[9~11]、裂变径迹法^[12~14]等。通过对研究区内各层段砂岩类型、岩屑类型及含量变化、重矿物稳定系数(碎屑岩中稳定陆源重矿物含量与不稳定陆源重矿物含量的比值)、重矿物组合、ZTR 指数、重矿物指数、砂岩百分含量、地层厚度等资料综合分析,对高邮凹陷马家嘴地区各区块的物源方向和母岩类型进行了研究;并综合利用岩心、录测井资料,结合区域地质背景,分析研究区戴南组沉积特征和沉积相类型,对该区油田评价及勘探开发工作具有指导作用。

1 区域地质概况

高邮凹陷位于苏北盆地南部(图1A),东起吴堡低凸起,西至菱塘桥低凸起,南为通扬隆起,北接柘垛低凸起,东西长约100 km,南北宽25~30 km,面积达2 670 km²,呈北东向长条形分布,新生界沉积厚近

7 000 m,是在晚白垩世征运动和古新世末期吴堡运动期间,由于断块差异沉降而形成的新华夏“多”字型构造体系隆起带上的一个中、新生代箕状断—凹沉积盆地^[15]。高邮凹陷是苏北盆地沉降幅度最大的凹陷,由南向北可划分为南部断阶带、中央深凹带和北部斜坡带三个构造单元(图1B)。除凹陷南部以真1断层为界外,北部、东部、西部均由凹陷向斜坡逐层超覆^[16]。

马家嘴地区位于高邮凹陷西部(图1B),其形成及演化在区域上主要受中国东部郯—庐断裂的走滑活动,以及太平洋板块自东向北北西方向俯冲作用的复合控制,先后经历了早白垩世晚期隆升剥蚀、古新世强烈裂陷、始—渐新世强烈断陷、中—上新世的萎缩消亡四个阶段^[17]。马家嘴地区按构造特点分为马8、马31和马33三个区块(图1C)。

2 沉积地层

高邮凹陷古近系自下而上分为阜宁组、戴南组和三垛组,戴南组与阜宁组和三垛组均呈不整合接触(表1)。根据其沉积旋回和岩性特征,将戴南组分为戴一段(E_2d_1)和戴二段(E_2d_2)两个层段。根据次级沉积旋回和泥岩隔层发育特征,又可将 E_2d_1 细分为三个亚段, E_2d_2 细分为五个亚段。 E_2d_1 地层总厚度一般为0~300 m,最厚可达900 m,自下而上可分为上下两个部分,下部为浅灰色砂岩与浅、灰黑色泥岩呈

收稿日期: 2009-09-28; 收修改稿日期: 2009-12-29

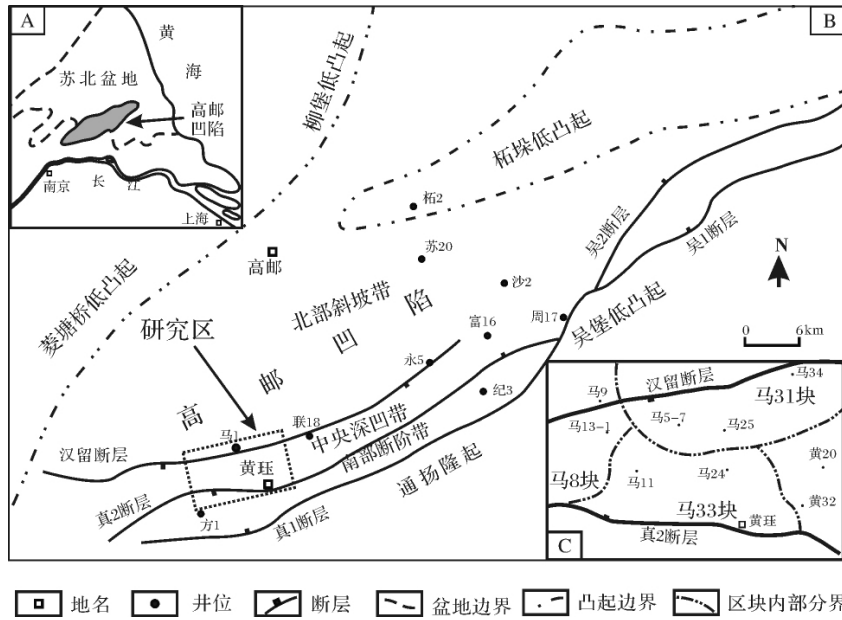


图1 高邮凹陷地理位置图及马家嘴地区构造略图

Fig. 1 Geographical location of Gaoyou Sag and the sketch tectonic map of the Majiazui area

表1 高邮凹陷古近系地层简表

Table 1 Stratigraphic division of the Paleogene in Gaoyou Sag

地层				最大厚度/m	SP		岩性柱	岩性描述
系	统	组	段		50	150		
古近系	始新统	戴南组	三垛组一段	700	[SP log]	[SP log]	浅棕灰色砂岩夹棕色或灰黑色泥岩	
			$E_2d_2^1$	150			灰色、暗棕色泥岩、粉砂质泥岩、泥质粉砂岩与灰色粉砂岩夹细砂岩呈略等厚互层	
			$E_2d_2^2$	200			棕色、暗棕色泥岩夹浅棕色、浅灰色粉砂岩、细砂岩，向上变细以泥岩为主	
			$E_2d_2^3$	150				
			$E_2d_2^4$	200				
			$E_2d_2^5$	250			浅棕色、浅灰色粉砂岩、细砂岩、不等粒砂岩与灰色、棕色、紫色泥岩，粉砂质泥岩互层	
			$E_2d_1^1$	200			灰色、深灰色、紫色泥岩为主夹深灰色砂质泥岩，浅灰色粉细砂岩	
			$E_2d_1^2$	300			浅棕色、灰色含砾不等粒砂岩、粉砂岩，棕色、暗紫色泥岩呈不等厚互层	
			$E_2d_1^3$	400			深灰色、灰色、暗紫色泥岩，与粉砂质泥岩灰色细砂岩、含砾不等粒砂岩，砾状砂岩呈不等厚互层	
			古新统阜宁组四段				500	



不等厚互层,上部为 1~5 层黑色、深灰色泥岩夹浅灰色砂岩,电性特征突出,泥岩段电阻率值为 $1\Omega \cdot m$ 左右,且分布稳定,即“五高导”标志层^[18]。 E_2d_2 主要为浅灰色砂岩、粉砂岩与棕色夹浅灰—灰黑色泥岩不等厚互层,地层厚度一般为 150~400 m。

马家嘴地区在戴南组时期地层沉积较厚(图 2),整体上由凹陷边缘至凹陷中心地层厚度逐渐增大,地层厚度较大区域沿马 33 块的马 24 井至马 31 块的马 25 井地区,即马家嘴地区三个区块的交汇处,地层沉积厚度达到 800 m 以上,最厚为马 25 井为 865 m,为该区的沉降中心,以上说明马家嘴地区可能存在多个物源,以致沉积较厚地层。

3 物源分析

沉积物物源分析是沉积盆地分析的重要内容,是再现沉积盆地演化、恢复古环境的重要依据,其主要研究对象是陆源碎屑组分及其结构和构造特征。砂岩是陆源碎屑岩的主要岩石类型,其碎屑物质主要为母岩机械破碎的产物,是反映物质来源的重要标志^[19]。砂岩中的主要碎屑成分——石英、长石和岩屑在恢复物源区的研究中具有极为重要的意义^[1]。砂岩中的重矿物因其耐风化、稳定性强,可以保留丰富的母岩信息,也是物源分析的依据之一。重矿物组合是物源搬运距离和岩性变化的极为敏感的指示剂^[20]。在同一沉积盆地中,同时期、同物源的沉积物

的重矿物组合特征基本一致,因此,可利用同时期重矿物组合推断沉积物来源的方向。

随着搬运距离的增大,沉积物中不稳定重矿物含量逐渐减少,稳定重矿物含量相对升高,因此可利用重矿物稳定系数来研究碎屑沉积物的搬运方向和搬运距离的长短。通常重矿物稳定系数越大,沉积区距离物源区越远。通过对研究区内戴南组的砂岩类型、矿物成熟度、岩屑类型及其含量变化、重矿物稳定系数、重矿物组合及其分布特征、ZTR 指数和砂岩百分比等值线图等资料判断高邮凹陷西部马家嘴地区戴南组的主要物源方向,并根据各种重矿物指数来推断源区母岩类型。

3.1 物源方向

3.1.1 碎屑成分分析

高邮凹陷西部多口井的薄片观察和重矿物统计表明,凹陷边缘较中心岩石成分及结构成熟度低,重矿物稳定系数小,由凹陷边缘至中心,长石、岩屑和不稳定重矿物含量减少,石英和稳定重矿物含量增加。沿黄 75—黄 18 井方向,石英含量由 64.17% 增加到 67.82%,长石岩屑总含量减小(表 2、图 2),矿物成熟度由 1.79 增加到 2.11;沿联 19—联 15—联 24 井方向,石英含量和矿物成熟度逐渐增大(表 2)。以上分析结合高邮凹陷西部的构造特点,推测高邮凹陷西部沉积物来自通扬隆起、柘垛低凸起方向和菱塘桥低凸起方向。

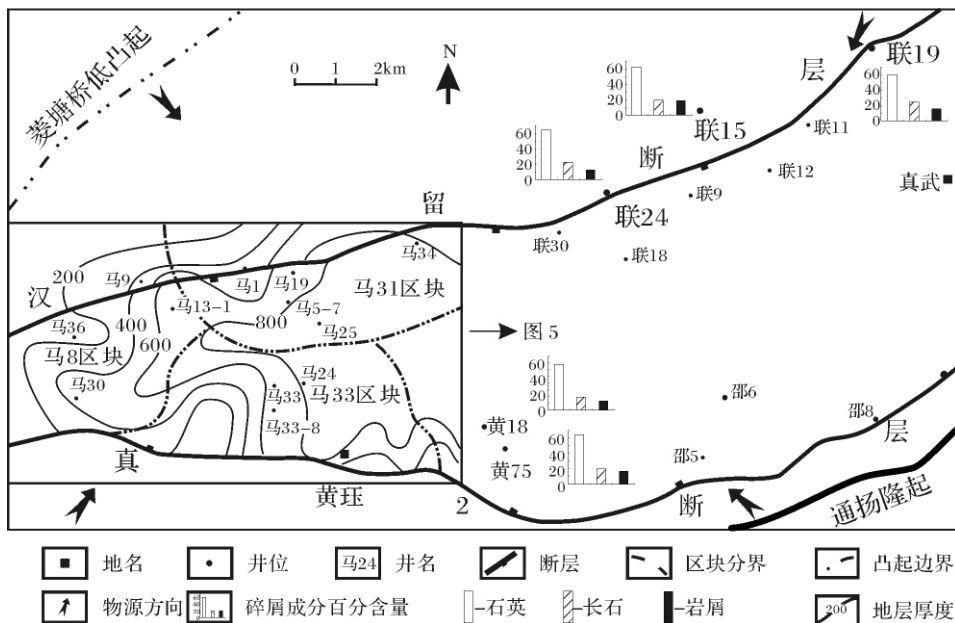


图 2 高邮凹陷西部戴南组岩石碎屑成分变化图及马家嘴地区地层等厚图

Fig. 2 Clastic complements variation chart of Dainan Formation in the western Gaoyou Sag and stratigraphic isopach map of Majiazui area

戴南组一段时期,马家嘴地区12口井的90多个薄片数据表明(表2),马8区块目的层砂岩石英平均含量为67.50%;马31区块目的层砂岩石英含量为58%~70%,长石含量为15%~21%,岩屑主要为火成岩岩屑(图3-1),为3%~11%,其次为变质岩岩屑(图3-2)和沉积岩岩屑(图3-3),含量分别为1%~10%,1%~16%;马33区块目的层砂岩石英含量为60.00%,长石含量为19%~20%,岩屑主要为沉积岩岩屑和变质岩岩屑,含量为7%~9%,火成岩岩屑最少。纵向上各地区随着深度的上升,石英含量表现出由少至多再减少的现象,马31块的马25井变化最为明显,在2195m时石英含量为48%,矿物成熟度仅为1.18,至2034m时石英含量增为64%,矿物成熟度增至1.97,至1967m时石英含量又减少为53%,矿物成熟度减为1.37;马8块的马13-1井,马33块的马24井的也表现出这样的规律性变化,显示物源具有旋回性的特点。

根据Folk(1974)三端元分类法,对目的层砂岩投点作图(图4A),表明马8区块岩性以长石岩屑细砂岩为主,偶见岩屑细砂岩;马31区块岩性以岩屑长石中细砂岩、粉砂岩为主,见长石岩屑细砂岩,偶见长石粉砂岩;马33区块岩性以长石岩屑细砂岩为主,偶

见岩屑细砂岩。薄片观察结果显示,马8区块砂岩分选较好,磨圆度多为次圆状,以颗粒支撑为主,颗粒间接触关系以线接触为主;马31区块由西北向东南方向,砂岩分选由差变好,磨圆度也由以次棱角为主变为次圆为主,结构成熟度相对低,以颗粒支撑为主,颗粒间接触关系以线接触为主;马33区块砂岩分选中等,磨圆度多为次圆一次圆状,接触关系以点接触和颗粒支撑为主。以上分析说明, E₂d₁沉积时期马8区块和马31区块离物源区稍远,马33区块离物源区相对较近。纵向上各地区随着深度的上升,碎屑的粒度及磨圆度也表现出规律性变化,粒度自下而上显示粗—细—粗的三段性,磨圆度由次圆一次圆一次圆,这显示物源具有旋回性的特点。

戴南组二段时期,马家嘴地区3口井的30个薄片数据表明(表2),马31区块目的层砂岩石英含量为63%~68%;长石含量为17%~21%;岩屑主要为火成岩岩屑,为4%~10%。根据Folk砂岩分类(图4B),马31区块砂岩岩性以岩屑长石细砂岩为主,见长石岩屑细砂岩和长石石英细砂岩。薄片观察结果显示,马31区块砂岩分选较好,磨圆度多为次圆状,颗粒间以线接触为主,结构成熟度明显高于E₂d₁时期,说明E₂d₂时期马31区块离物源区距离相对远。

表2 高邮凹陷西部马家嘴地区古近系戴南组岩石组分分析

Table 2 Component analysis of the Paleogene Dainan Formation in Majiazui area, western Gaoyou Sag

地区	地层	井位	主要岩石类型	石英 1%	长石 1%	岩屑/ %			矿物 成熟度	样品 数量
						沉积岩	变质岩	火成岩		
黄珏	E ₂ d	黄18	岩屑长石细砂岩,见长石石英细砂岩	67.82	18.97	4.02	2.73	6.47	2.11	5
		黄75	岩屑长石细砂岩,见长石岩屑细砂岩	64.17	19.50	6.33	4.00	6.00	1.79	4
联盟庄	E ₂ d	联15	岩屑长石中砂岩,见长石岩屑中砂岩	62.38	19.08	7.76	4.37	6.40	1.66	6
		联19	岩屑长石中砂岩	60.00	24.20	4.11	2.30	9.40	1.50	3
		联24	岩屑长石中细砂岩	64.64	22.78	3.58	2.20	6.81	1.83	5
马家嘴区块	E ₂ d ₁	马8	岩屑长石细粉砂岩,长石岩屑细砂岩	67.50	17.00	4.76	5.31	5.43	2.08	6
		马33	岩屑长石细砂岩,长石岩屑细砂岩	60.00	20.00	7.21	7.67	5.12	1.50	9
	E ₂ d ₁	马24	岩屑长石细砂岩,长石岩屑细砂岩	60.00	19.00	8.67	8.12	4.21	1.50	7
		马5-7	长石岩屑细砂岩,见岩屑长石细砂岩	60.80	20.56	5.09	6.45	7.10	1.33	8
		马4	岩屑长石细粉砂岩,见长石岩屑细砂岩	66.52	17.95	3.78	4.83	6.91	1.99	6
		马14	岩屑长石粉细砂岩,长石岩屑细砂岩	66.63	15.90	3.11	3.51	10.76	2.00	10
		马19	岩屑长石细砂岩,见长石岩屑细砂岩	69.95	17.67	1.64	1.65	3.15	2.32	8
		马31	长石岩屑细砂岩,偶见岩屑细砂岩	60.33	16.34	15.2	3.41	5.99	1.51	9
		马31-3	长石岩屑细砂岩,岩屑长石粉砂岩	62.47	19.18	3.71	7.42	7.18	1.66	9
		马32	岩屑长石细砂岩,见长石岩屑细砂岩	65.25	18.64	4.83	5.93	5.99	1.88	8
		马34	岩屑长石细砂岩,见长石岩屑细砂岩	58.17	20.30	3.71	9.41	7.18	1.39	9
		马2	岩屑长石细砂岩	64.00	22.50	4.37	3.78	5.35	1.51	8
	E ₂ d ₂	马4	岩屑长石细砂岩,见长石岩屑细砂岩	67.12	17.85	4.29	4.20	6.57	2.04	11
		马14	岩屑长石细砂岩	63.56	20.37	2.79	3.77	9.53	1.74	12
马32		岩屑长石细砂岩	65.00	20.00	3.70	6.80	4.50	1.86	13	

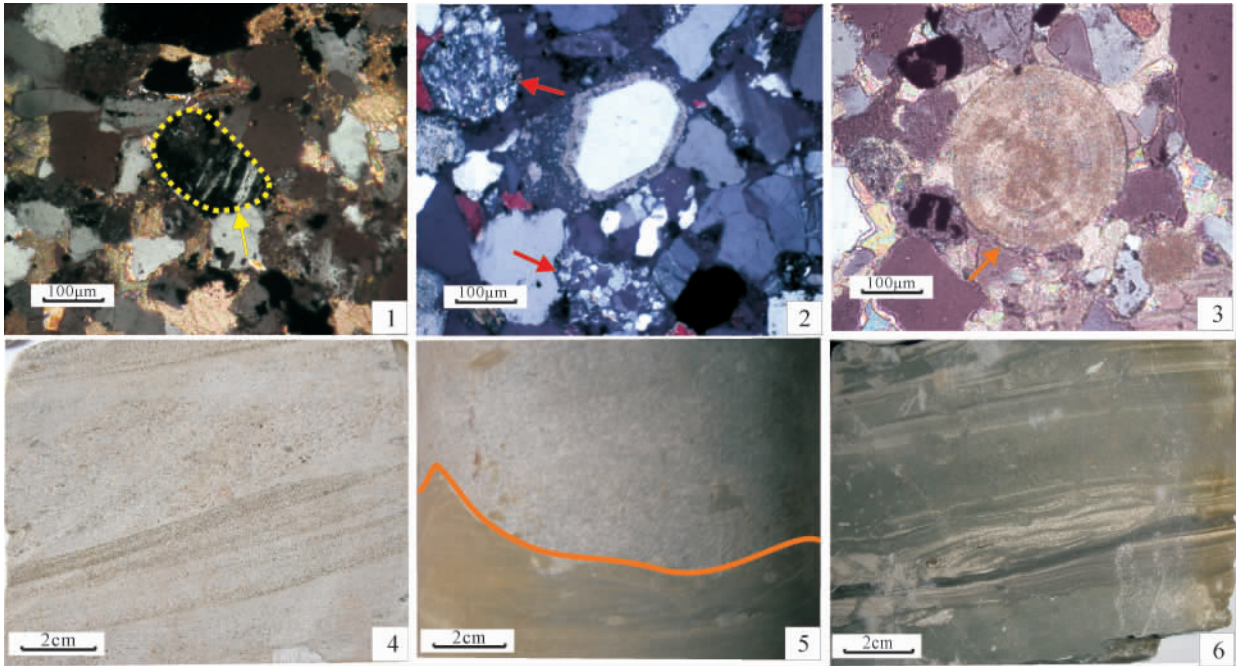


图 3 高邮凹陷马家嘴地区典型岩相标志、沉积构造及薄片照片

1. 火成岩岩屑 (箭头所指,虚线为颗粒边缘) 马 9 井 2 029.93 m,正交偏光,×20; 2. 变质岩岩屑(箭头所指),马 14 井 2 021.67 m,正交偏光,×20; 3. 沉积岩岩屑(箭头所指为鲕粒) 马 14 井 1 669.7 m,正交偏光,×20; 4. 斜层理,马 6 井 1 588.45 m; 5. 冲刷面,马 14 井 2 026.67 m; 6. 深灰色泥岩夹灰白色砂质条带,马 19 井 2 029.70~2 029.93 m;

Fig. 3 Photos of typical lithofacies and sedimentary structures and microphotographs of thin sections in Majiazui area, Gaoyou Sag

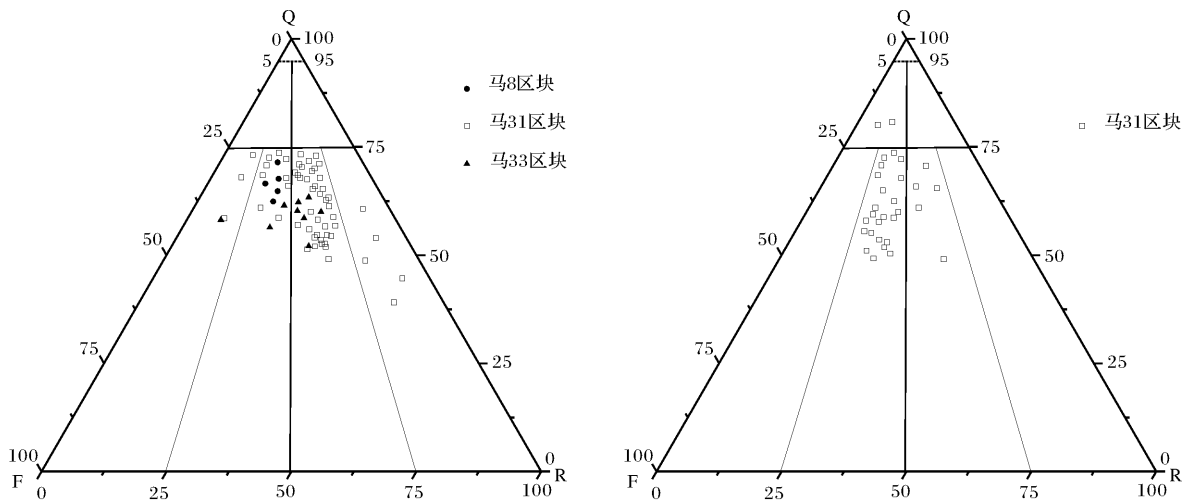


图 4 高邮凹陷马家嘴地区戴南组砂岩分类图

A. 马家嘴各区块戴一段砂岩分类图; B. 马家嘴马 31 区块戴二段砂岩分类图

Fig. 4 Triangle diagram of sandstone classification of the Dainan Formation in Majiazui area, Gaoyou Sag

从石英、长石和岩屑组分相对含量分布及矿物成熟度等值线(图 5-A)可以看出,戴一段时期,在马 31 区块,由马 34 井向南至马 31-3 井方向,东南至马 32 井方向,石英含量增加,由 58.17% 分别增加至 62.47%、65.25%,长石及岩屑含量减少,矿物成熟度

指数由 1.39 增至 1.66、1.88。在马 33 区块,由马 24、24-1 井向北至马 25 井方向,石英含量呈递增趋势,长石及岩屑含量减少,矿物成熟度呈递增趋势。以上说明在 $E_2 d_1$ 时期马 31 区块马 34 井区离物源较近,沉积物来自菱塘桥低凸起方向,且沿东北—西南

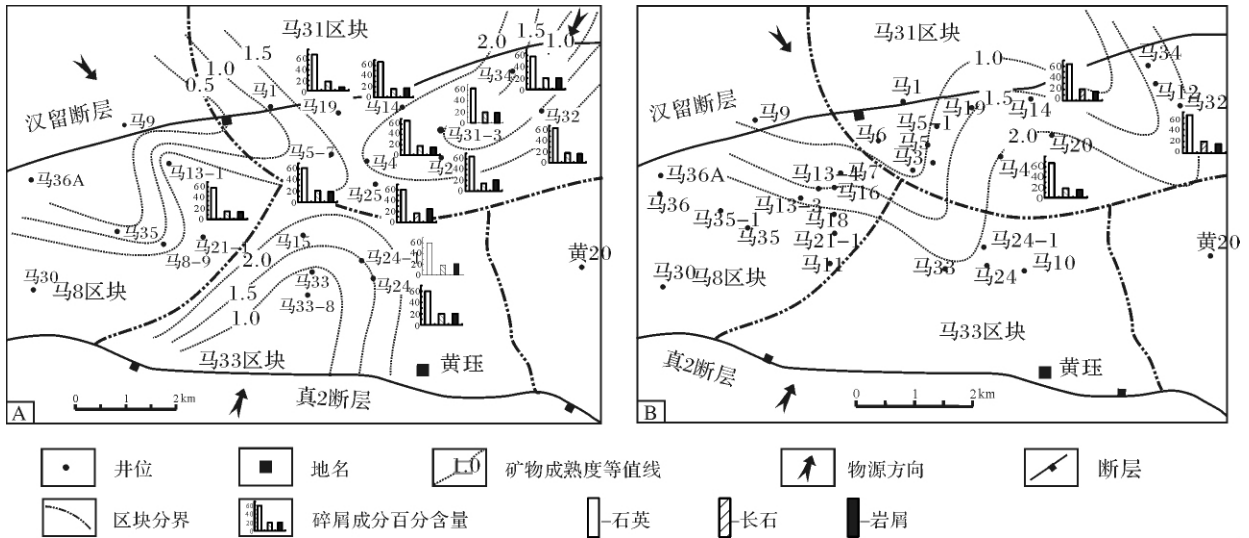


图5 高邮凹陷马家嘴地区戴南组岩石碎屑成分变化及成熟度等值线图

A 戴一段; B 戴二段

Fig.5 Clastic variation chart and maturity map of Dainan Formation in Majiazui area , Gaoyou Sag

方向推进; 马 33 区块沉积物来自南部的通扬隆起。戴二段时期(图 5B)由马 14 井向南至马 4 井方向,东至马 32 井方向,石英含量增加,由 63.56% 分别增至 67.12%、65%,长石及岩屑含量减少,矿物成熟度由 1.74 分别增至 2.04、1.86。以上分析说明 E_2d_2 时期马 31 区块沉积物来自菱塘桥低凸起方向,与 E_2d_1 相比,沉积物虽来自同一源区,但其沉积物的推进方向却不同,这可能是由于古水流发生迁移导致的。

3.1.2 重矿物分析

马家嘴地区戴南组 16 口井 129 个样品的重矿物分析表明(表 3,井位见图 6),重矿物主要类型为石榴石、磁铁矿、锆石,其次为金红石、电气石、绿泥石,出现率为 98%;见黑云母、十字石、独居石、板钛矿,在少数井中还可以见到绿泥石、角闪石、榍石等。其中石榴石为 28%~81%,平均为 54.39%;磁铁矿为 0~45.1%,平均为 14.21%;锆石为 3.9%~35.86%,平均为 11.04%;金红石为 0~11.30%,平均为 5.80%;电气石为 0~9.14%,平均为 3.58%;绿泥石为 0~42.61%,平均为 3.30%;黑云母、十字石、独居石、板钛矿的含量分别为 0~6.20%、0~0.41%、0~0.20%、0~0.10%。稳定重矿物主要有石榴石、锆石、金红石、电气石、十字石、磁铁矿和白钛石,总含量变化范围为 57.39%~100%;不稳定重矿物主要为绿泥石、角闪石、黑云母,总含量变化范围为 0~42.61%。重矿物稳定系数多数在 1.35~207.39 之间。

E_2d_1 时期,马 8 区块马 13-1 的重矿物组合为石

榴石—金红石组合,重矿物稳定系数为 7.52,马 21-1 的重矿物组合为石榴石—锆石—金红石组合,重矿物稳定系数 13.67,位于两井之间的马 13-3 井的重矿物也以石榴石为主,重矿物稳定系数为 17.8。以上数据表明马 8 区块的重矿物组合较复杂,说明沉积物可能来自不同源区;重矿物稳定系数具有两边大中间小的特点,说明马 8 区块的沉积物除来自菱塘桥低凸起,也受通扬隆起的影响,据重矿物组合推断物源区岩性以变质岩为主;马 31 区块的马 14、马 19 和马 32 井重矿物组合为石榴石—锆石—金红石,马 34 井重矿物为石榴石—锆石—赤铁矿组合,其中锆石可能来源于火山岩或者再旋回沉积岩,说明母源区可能存在火山岩或再旋回沉积岩,马 4 和马 25 井为石榴石—磁铁矿组合,以上分析表明马 31 区块的重矿物稳定系数由东北向西南方向呈递增趋势,说明其物源来自菱塘桥低凸起方向。

E_2d_2 时期,马 8 区块马 7、和马 17-1 井的重矿物都以石榴石为主,重矿物稳定系数分别为 111.4 和 174.4,马 13-3、马 13-4、马 21-1 和马 18 井的重矿物组合为石榴石—磁铁矿,重矿物稳定系数分别为 106.5、14.5、63.9 和 165.7,马 16 井为石榴石—锆石组合,重矿物稳定系数为 55.8,以上数据说明, E_2d_2 时期马 8 区块的重矿物稳定系数也具有两边小中间大的特点,由凹陷向北、向南均减小,表明 E_2d_2 时期马 8 区块的沉积物来源与 E_2d_1 相同,即同时受菱塘桥低凸起和通扬隆起的影响,物源区岩性没有发生变

化,仍以变质岩为主;马 31 区块马 4 和马 14 井的重矿物组合为磁铁矿—石榴石,重矿物稳定系数分别为 180.8 和 211.8,马 5-7 井的重矿物组合为石榴石—磁铁矿—赤褐铁矿,重矿物稳定系数为 165.7,马 32 井的重矿物组合为石榴石—锆石—白钛石,比较特殊,重矿物稳定系数为 27.6,整体来看, E₂d₂ 时期马 31 区块重矿物组合中指示母岩为沉积岩的锆石和赤褐铁矿含量增加,说明物源区沉积岩的剥蚀增加,重矿物稳定系数由西南向东北呈递增趋势,说明马 31 区块物源来自菱塘桥低凸起方向, E₂d₂ 时期与 E₂d₁ 时期相比,马 31 区块物源方向发生了变化,母源区剥蚀层位也发生变化。

在马 31 区块,同一井的不同时期重矿物含量有明显变化,主要表现为由 E₂d₁ 至 E₂d₂ 时期,石榴石、锆石含量明显减少,磁铁矿含量增加,锡石、白钛石含量也有变化,但不普遍。如马 14 井的石榴石含量由 60.17% 骤减到 31.40%,锆石含量由 7.50% 减至 4.15%,磁铁矿由 0.03% 增加到 42%,说明 E₂d₂ 源区应有基性火成岩存在;马 4 井的石榴子石含量由 40.12% 减至 35.97%,锡石含量由 33.81% 降低到 0.01%;马 32 井石榴子石含量由 35.03% 降至 31%,锆石含量由 35.86% 降至 24%,白钛石含量由

11.51% 增至 22%,且锆石呈滚圆状,白钛石呈粒状,说明沉积物可能由沉积岩母岩再搬运而来;以上分析表明马 31 区块的母源区剥蚀层位发生变化。

3.1.3 ZTR 指数分析

在重矿物中锆石、金红石和电气石的化学成分最稳定,他们在透明重矿物中所占的比例称为 ZTR 指数。它代表重矿物的成熟度,是判别矿物成熟度的指标。一般而言,来自同一剥蚀物源区的、相同年代、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 指数也相应依次逐渐增大^[21-22]。而矿物的成熟度受古气候、古构造、搬运距离及成岩作用等多种因素的制约,对其系统研究可以指示沉积物搬运距离和物源方向,有时则反映不同时期的古构造和古气候的变化^[4]。

从表 3 可以看出, E₂d₁ 时期,马 8 区块的 ZTR 指数呈中间大两边小的特点,由西北、东南两个方向,向凹陷中心逐渐增加,马 13-1 和马 21-1 井的 ZTR 指数均为 0.16,向中心至马 13-3 井增为 0.20;马 31 区块地区由东北向西南方向 ZTR 指数也逐渐增加,

表 3 高邮凹陷马家嘴地区始新统戴南组主要陆源重矿物含量及 ZTR 指数分析

Table 3 Heavy minerals content and ZTR index of the Paleogene Dainan Formation in Majiazui area, Gaoyou Sag

地区	地层	井位	重矿物										重矿物 稳定系数	ZTR 指数	
			稳定重矿物/%					不稳定重矿物/%							
			金红石	锆石	电气石	石榴石	磁铁矿	赤铁矿	总计	角闪石	黑云母	绿泥石	总计		
马 8 区 块	戴一段	马 13-1	7.29	3.90	3.75	68.38	3.44	1.50	88.26	0.00	3.60	8.14	11.74	7.52	0.20
		马 13-3	6.20	7.20	4.10	64.90	7.20	5.10	94.70	0.00	0.20	5.10	5.30	17.87	0.16
		马 21-1	6.00	6.31	2.10	69.18	5.54	2.19	91.32	0.00	2.21	0.47	6.68	13.67	0.28
		马 7	6.13	8.45	3.35	80.50	0.35	0.29	99.07	0.07	0.50	0.36	0.93	111.40	0.18
		马 13-3	4.86	9.51	1.15	36.91	33.50	7.61	93.54	0.00	0.15	6.31	6.46	106.50	0.26
	戴二段	马 13-4	7.12	14.29	4.04	50.54	14.27	7.98	98.24	0.02	0.46	1.28	1.76	14.50	0.33
		马 16	5.50	14.70	1.90	66.00	6.30	5.00	99.40	0.00	0.00	0.60	0.60	55.80	0.25
		马 17-1	5.63	6.57	2.53	78.87	1.13	3.73	98.46	0.00	1.00	0.54	1.54	174.40	0.15
		马 18	4.31	8.33	2.96	61.75	18.41	3.22	98.98	0.00	0.48	0.54	1.02	165.70	0.20
		马 21-1	6.30	5.28	2.51	72.93	9.35	2.66	99.03	0.00	0.54	0.03	0.97	63.90	0.16
马 31 区 块	戴一段	马 19	10.32	13.46	5.06	58.89	4.58	6.80	99.11	0.00	0.51	0.89	0.89	165.70	0.33
		马 25	11.30	14.91	3.42	52.46	17.39	0.26	99.74	0.00	0.00	0.26	0.26	97.00	0.36
		马 32	4.71	35.86	9.14	35.03	2.18	11.50	98.42	0.00	0.00	1.58	1.58	102.10	0.51
		马 34	6.00	13.63	9.00	57.94	2.35	9.46	98.38	0.00	0.00	1.62	1.62	383.60	0.17
		马 14	7.50	11.72	4.69	60.18	8.43	6.88	99.40	0.02	0.03	0.55	0.60	62.30	0.28
		马 4	3.95	4.35	2.79	47.86	40.33	0.17	99.45	0.00	0.12	0.43	0.55	60.70	0.19
		马 4	4.15	4.17	3.63	42.10	45.10	0.38	99.53	0.01	0.37	0.09	0.47	180.80	0.22
		马 14	4.15	7.03	3.48	31.42	42.02	11.33	99.43	0.03	0.15	0.39	0.57	211.80	0.31
		马 5-7	4.50	4.10	2.30	47.10	20.50	20.90	99.40	0.00	0.20	0.40	0.60	165.70	0.19
		马 32	6.15	23.85	8.26	31.00	25.74	1.50	96.50	0.00	3.50	0.00	3.50	27.60	0.41

马34井的ZTR为0.17,向西南至马14、马19、马4和马25井增为0.28、0.33、0.29和0.36。 E_2d_2 时期马8区块的ZTR变化趋势与 E_2d_1 相同,ZTR指数由西北、东南向凹陷中心逐渐增加,马21-1和马7井为0.16、0.18,向中心至马16、马13-4和马18井增为0.25、0.33、0.20;马31区块 E_2d_2 与 E_2d_1 相比,ZTR指数变化趋势发生了变化,由 E_2d_1 时期的由东北向西南方向增加转变为由 E_2d_2 时期的西北向东南方向逐渐增加,马5-7井为0.19,向东北至马4和马14井时增为0.22、0.31。以上分析说明, E_2d_1 时期马8区块的沉积物来自两个方向,北部来自菱塘桥低凸起方向,南部来自通扬隆起,马31区块沉积物来自菱塘桥低凸起方向; E_2d_2 时期马8区块的沉积物来源与 E_2d_1 时期相同,马31区块物源方向发生了变化,沉积物主要来自西北方向,与 E_2d_1 时期相比,沉积物虽来自同一源区,却是由不同的河流搬运来的。

3.1.4 沉积法分析

沉积法主要是根据盆地钻井、测井、地震等资料,结合岩性、成分、沉积体形态、粒度、沉积构造、古流向及植物微体化石等资料,做出某时期的砂岩百分比等值线图、砾岩百分比等值线图、地层等厚图、沉积相展布图等相关图件来推测物源区的相对位置^[20-23]。地层厚度变化可反映湖泊沉降幅度和古地形的基本轮廓^[24],砂岩百分比等值线图最能反映物源的方向,因为其含义为砂岩与地层厚度的相对比值,其受古地形、后期的剥蚀和构造抬升作用是均等的^[25]。

通过对马家嘴地区50多口测井的统计,分别做

出了马家嘴地区 E_2d_1 和 E_2d_2 的砂岩百分比等值线图,从图6A中可以看出 E_2d_1 时期,靠近汉留断层的马36、马34井砂岩百分比分别为17%、18%,由汉留断层向凹陷内部砂岩百分比逐渐减小,靠近通扬隆起的马33-10井砂岩百分比为17%,由通扬隆起向凹陷内砂岩百分比也有规律的减小。根据等值线演化趋势并结合前面碎屑岩类分析法、重矿物法的分析,推断马家嘴地区在 E_2d_1 时期存在三个方向的物源,马31区块沉积物来自菱塘桥低凸起方向,沿东北至西南方向沉积,马8区块沉积物北部来自菱塘桥低凸起方向,南部为通扬隆起,马33区块沉积物来自通扬隆起,马31和马8区块沉积物虽都来自菱塘桥低凸起方向,但是却是由不同的河流带入的;从图6B中可以看出 E_2d_2 时期,靠近汉留断层的马6井砂岩百分比为12.3%,沿着汉留断层向两侧及凹陷内砂岩百分比逐渐减小,通扬隆起附近的马30井砂岩百分比为16.5%,沿通扬隆起向凹陷内砂岩百分比逐渐减小,结合碎屑岩类分析法、重矿物法的分析,认为马家嘴地区在 E_2d_2 时期存在两个方向的物源,马31和马8区块沉积物都来自菱塘桥低凸起方向,马33区块沉积物来自通扬隆起,与 E_2d_1 相比马31区块的物源方向发生了变化。

戴南组沉积时期,高邮凹陷处于由凹陷变为断陷的阶段。 E_2d_1 早期断层活动强烈,地层发育受断裂控制, E_2d_1 中期构造活动减弱,湖泊面积逐渐扩大, E_2d_1 晚期凹陷发生湖侵,水体深度达到最大,沉积范围继续扩大。 E_2d_2 沉积继承了 E_2d_1 的沉积格局,凹陷

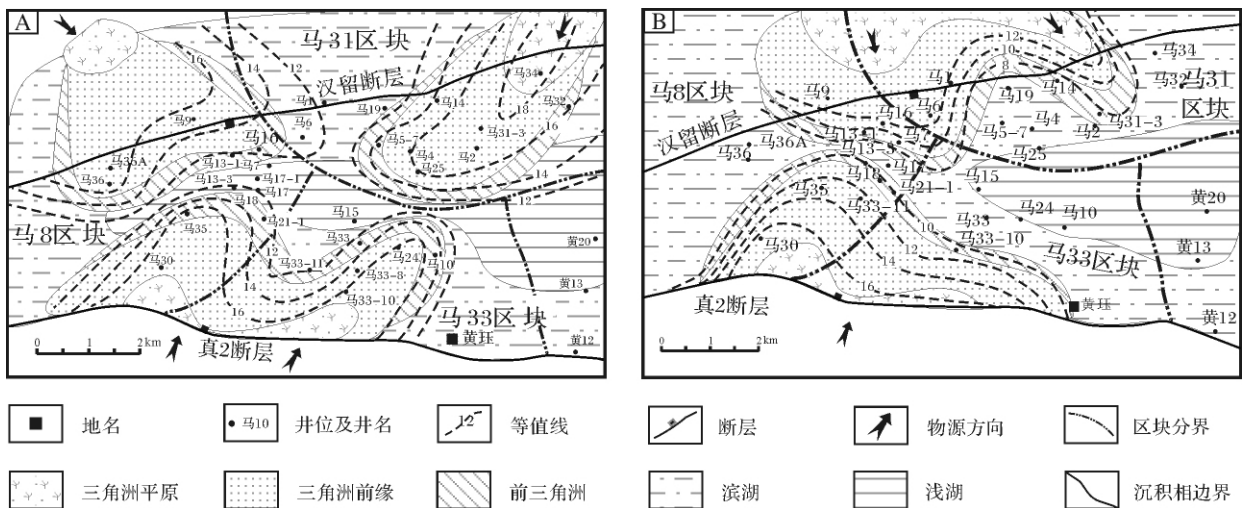


图6 高邮凹陷马家嘴地区戴南组砂岩百分比等值线及沉积相
A. 戴一段砂岩百分比及沉积相; B. 戴二段砂岩百分比及沉积相

Fig. 6 Contour maps of sandstone percentage for the Dainan Formation in Majiazui area, Gaoyou Sag

经过 E_2d_1 的沉积充填及 E_2d_2 的区域性的抬升,水体变浅,自下而上显示粗—细—粗的三段性,代表着水进—水退的沉积旋回。

马家嘴地区位于凹陷的北部缓坡带,坡度平缓。根据岩心观察,本区发育大量冲刷面、交错层理、斜层理、平行层理(图3-4、5),局部可见滑塌构造,也见植物根茎、螺化石、虫孔、有一定定向排列的泥质团块或泥砾,其中交错层理、斜层理、平行层理是牵引流的产物,螺化石、虫孔反映水体不深,不超过浅湖,较完整的植物根茎说明沉积体离物源的距离不远,岩性以粉砂岩为主,有细砂岩和中砂岩,深灰色泥岩夹灰白色砂质条带(图3-6),偶尔有泥砾层,泥层与砂层之间有棕色、暗棕色泥岩,说明是在较规律的水流中沉积的。通过测井、录井、分析化验资料等的综合分析,分别做出了马家嘴地区 E_2d_1 和 E_2d_2 的沉积相图(图6)。在 E_2d_1 时期(图6A),马8区块内沉积了两个三角洲朵体,北部的三角洲由西北向东南方向依次沉积了三角洲平原、三角洲前缘和前三角洲亚相,南部由西南至东北方向也依次沉积了三角洲的三个亚相,这说明该时期马8区块的沉积物来自两个方向,北部来自菱塘桥低凸起方向,南部来自通扬隆起,且沉积相的展布方向与前述物源方向吻合;马31区块由东北至西南方向沉积了一个三角洲朵体,这说明其物源来自菱塘桥低凸起方向,并沿东北至西南方向沉积,与物源方向一致;马33区块的三角洲与马8区块南部的三角洲属于同一个大的朵体,沉积物均来自通扬隆起。在 E_2d_2 时期(图6B),马8区块内的三角洲沉积与 E_2d_1 相比,南部三角洲发育增强,沉积物还是来自通扬隆起,北部三角洲减弱,沉积相展布方向与物源方向一致;马31区块内的三角洲沉积由 E_2d_1 时期的东北至西南方向转变为由西北向东南方向沉积,这与物源方向的转变也吻合;马33区块内的三角洲沉积与 E_2d_1 相比逐渐萎缩,说明发生了水退,物源供给不充分,但沉积物仍来自通扬隆起。

3.2 母岩类型

岩屑是母岩岩石的碎块并保持着母岩结构的矿物集合体,是提供沉积物源区岩石类型的直接标志。不同的母岩类型具有不同的重矿物组合,重矿物的种类、含量和组合可以直接指示物源区的母岩性质。石榴石、磁铁矿、绿帘石和部分钛铁矿是变质岩的产物,磷灰石和钛铁矿来源于中—酸性火山岩,重晶石和赤(褐)铁矿是沉积物沉积和成岩过程中生成的,它们

的大量出现代表了干旱氧化的沉积和成岩环境^[26~28]。据此可以来初步判断物源区的母岩岩性及沉积区的沉积环境。笔者认为岩屑含量和搬运距离是判别来源区母岩类型的两个主要制约因素,但是研究区在戴南组时期,水体没有发生大规模的变化,搬运距离在同一地区影响较小,因此研究区岩屑含量的变化是反映源区岩石类型的主控因素。

根据薄片鉴定结果,岩屑中可识别出岩浆岩、沉积岩和变质岩3种类型。岩浆岩岩屑最多,其含量范围、平均值依次为3.15%~10.67%、6.7%;变质岩和沉积岩岩屑含量相当,分别为1.65%~9.50%和5.16%、1.64%~15.2%和5.04%。

重矿物组合和丰度在搬运过程中往往受到多种因素的影响,如机械破碎、物理分选、成岩作用等,为了减少这些作用对物源解释的影响,Morton和Hallswor提出了利用在相似水动力条件和成岩作用下稳定性相差不大的重矿物比值反映物源特征,将这些比值称为重矿物指数,比如ATi指数 $\{100 \times \text{磷灰石} / (\text{磷灰石} + \text{电气石})\}$ 、GZi指数 $\{100 \times \text{石榴石} / (\text{石榴石} + \text{锆石})\}$ 、RuZi指数 $\{100 \times \text{金红石} / (\text{金红石} + \text{锆石})\}$ 、MZi指数 $\{100 \times \text{独居石} / (\text{独居石} + \text{锆石})\}$ 等^[27,29]。

本研究根据马家嘴地区所有井戴南组重矿物数据对上述各指数进行了计算,并分别做了GZi—RuZi和GZi—MZi两个交汇图(图7)。其中ATi指数主要揭示沉积物中磷灰石的风化程度,如果风化作用很弱,则ATi数值的变化主要反映沉积物物源的变化^[5],本区所有样品的ATi指数均为零,说明沉积物源岩成分不含磷灰石或磷灰石经历强烈风化;GZi指数旨在分析是否存在角闪岩或麻粒岩物源^[30],研究区GZi指数数值介于40~100之间变化,且变化较大,主要集中在70~100之间,说明石榴子石的含量相对较高,而磷灰石的含量较低,岩石类型比较单一,源区母岩应该是以中—低级变质岩为主要成分;RuZi指数主要反映来自基性火成岩的金红石与来自中酸性火成岩的锆石的关系^[29],本区RuZi指数数值在0~100之间都有,主要集中在20~60之间变化,说明源区母岩中酸性火成岩的分布较基性火成岩要广。MZi指数旨在探讨物源具有深成岩的比例^[31],本区MZi指数主要在1~3之间,多数小于1,这说明源区深成岩较少。

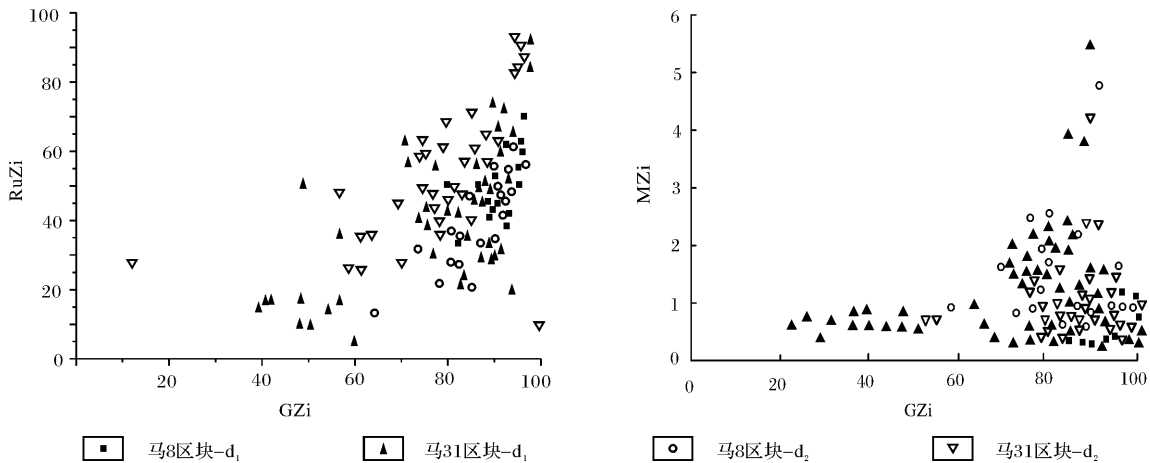


图7 高邮凹陷马家嘴地区戴南组重矿物指数特征

Fig. 7 The characteristic of heavy mineral ratios of the Dainan Formation in Majiazui area, Gaoyou Sag

根据以上的碎屑组分、重矿物组合和重矿物指数分析,认为马家嘴地区的沉积物源区母岩以火成岩为主,变质岩和沉积岩其次,其中中酸性火成岩的分布范围要比基性火成岩分布范围广,变质岩以中—低级变质岩为主要成分,源区深成岩较少。

4 结论

通过对研究区内各层段砂岩类型、岩屑类型及含量变化、重矿物稳定系数、重矿物组合、ZTR 指数、砂岩百分含量、地层厚度和重矿物指数等资料的研究,及对岩心观察描述、测井、录井、分析化验资料等综合分析,结合该地区的沉积相展布特点,得到以下两点结论:

(1) 戴南组沉积时期,马家嘴地区各个区块具有不同的物源方向,马8和马31区块沉积物均主要来自菱塘桥低凸起方向,沉积物由不同古河流带入,马31区块的古河流发生迁移,马8区块沉积物部分来自通扬隆起,马33区块沉积物来自通扬隆起;

(2) 马家嘴地区母岩岩性以火成岩为主,变质岩和沉积岩其次,其中中酸性火成岩的分布范围要比基性火成岩分布范围广,变质岩以中—低级变质岩为主,源区深成岩较少。

致谢 本研究得到江苏油田地质科学研究院刘玉瑞、刘启东、张春峰、马英俊等帮助,在此致以衷心的感谢!

参考文献 (References)

1 刘立,胡春燕. 砂岩中主要碎屑成分的物源区意义[J]. 沉积与特提斯地质,1991,11(6): 48-53 [Liu Li, Hu Chunyan. Provenance

significance of the main detrital composition in sandstone [J]. *Sedimentary Facies and Palaeogeography*, 1991, 11(6): 48-53

- 2 李忠,李任伟,孙枢,等. 合肥盆地南部侏罗系砂岩碎屑组分特征及其物源构造属性[J]. 岩石学报,1999,15(3): 438-445 [Li Zhong, Li Renwei, Sun Shu, et al. Detrital composition and provenance tectonic attributes of Jurassic sandstones, south Hefei basin [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 1999, 15(3): 438-445]
- 3 Morton C A, Hallsworth R C. Processes controlling the composition of heavy mineral assemblages in sandstones [J]. *Sedimentary Geology*, 1999, 124: 3-29
- 4 和钟铨,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]
- 5 王洪伟,杨建国,林东成. 汤原断陷古近纪砂岩重矿物组合与物源分析[J]. 大庆石油地质与开发,2007,26(3): 39-41 [Wang Hongwei, Yang Jianguo, Lin Dongcheng. Combination of paleogene sandstone heavy mineral and source analysis in Tangyuan Rift [J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 2007, 26(3): 39-41]
- 6 何幼斌,王文广. 沉积岩与沉积相[M]. 北京: 石油工业出版社, 2008: 276-280 [He Youbin, Wang Wenguang. *Sedimentary and Sedimentary Facies* [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2008: 276-280]
- 7 李忠,孙枢,李任伟,等. 合肥盆地中生代充填序列及其对大别山造山作用的指示[J]. 中国科学: D 辑,2000,30(3): 256-263 [Li Zhong, Sun Shu, Li Renwei, et al. Mesozoic fill sequences in Hefei Basin and its impact on the instructions of the Dabie orogenic [J]. *Science in China: Series D*, 2000, 30(3): 256-263]
- 8 申延平,吴朝东,岳来群,等. 库车坳陷侏罗系砂岩碎屑组分及物源分析[J]. 地球学报,2005,26(3): 235-240 [Shen Yanping, Wu Chaodong, Yue Laiqun, et al. An analysis of Jurassic sandstone fragment components and their provenance in Kuqa Depression [J].

- Acta Geoscientia Sinica, 2005, 26(3): 235-240]
- 9 Mculloch M T, Wasserburg G J. Sm-Nd and Rb-Sr chronology of continental crust formation [J]. Science, 1978, 200: 1003-1011
 - 10 陈江峰, 周泰禧, 邢凤鸣, 等. 皖南浅变质岩和沉积岩的钕同位素组成及沉积物物源区 [J]. 科学通报, 1989, 20(34): 1572-1574 [Chen Jiangfeng, Zhou Taihei, Xing Fengming, et al. Wannan shallow metamorphic and sedimentary rocks of the Nd isotopic composition and sediment source area [J]. Chinese Science Bulletin, 1989, 20(34): 1572-1574]
 - 11 刘少峰, 张国伟, 张宗清, 等. 合肥盆地花岗岩砾石的同位素年代学示踪 [J]. 科学通报, 2001, 46(9): 478-475 [Liu Shaofeng, Zhang Guowei, Zhang Zongqing, et al. Geochronology tracer of granite gravel in Hefei Basin [J]. Chinese Science Bulletin, 2001, 46(9): 478-475]
 - 12 Brandan. Decomposition of fission-track grain age distributions [J]. American Journal of Science, 1992, 292: 535-564
 - 13 Galbraith R F. The radio plot: Graphical assessment of spread in ages [J]. Nucl Tracks Radiat Meas, 1997, 17: 197-206
 - 14 Dunkili, Giulio A, Kuhlemann J. Combination of single grain fission-track chronology and morphological analysis of detrital zircon crystals in provenance studies—sources of the Macigno Formation (Apennines, Italy) [J]. Journal of Sedimentary Research, 2001, 71(4): 516-525
 - 15 翟光明. 中国石油地质志(卷八) [M]. 北京: 石油工业出版社, 1987: 97-287 [Zhai Guangming. China National Petroleum Geology (Volume 8) [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1987: 97-287]
 - 16 史光辉, 郑元财, 周彬, 等. 高邮凹陷陡坡带戴南组断裂结构、沉积特征与成藏模式 [J]. 石油天然气学报, 2008, 30(3): 195-197 [Shi Guanghui, Zheng Yuancai, Zhou Bin, et al. The rift structure, sedimentary characteristic and petroleum enrichment of the Dainan Formation in Gaoyou sag. [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2008, 30(3): 195-197]
 - 17 张小兵, 郑荣才, 张哨楠. 高邮凹陷马家嘴—联盟庄地区戴南组构造—沉积体系 [J]. 大庆石油地质与开发, 2007, (26) 1: 13-17 [Zhang Xiaobing, Zheng Rongcai, Zhang Shaonan. The tectonic-sedimentary system of the Dainan Formation in Majiazui-Lianmenzhuang region, Gaoyou Sag [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2007, (26) 1: 13-17]
 - 18 邱旭明, 刘玉瑞. 苏北盆地上白垩统-第三系层序地层与沉积演化 [M]. 北京: 地质出版社, 2006: 5 [Qiu Xuming, Liu Yurui. Stratigraphy and Sedimentary Evolution of Upper Cretaceous-Tertiary Sequence in Northern Jiangsu Basin [M]. Beijing: Geological Publishing House 2006: 5]
 - 19 刘宝珺, 曾允孚. 岩相古地理基础和工作方法 [M]. 北京: 地质出版社, 1985: 210-215 [Liu Baojun, Zeng Yunfu. Geographical Basis and Methods of Lithofacies [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1985: 210-215]
 - 20 赵红格, 刘池洋. 物源分析方法及研究进展 [J]. 沉积学报, 2003, 21(3): 409-412 [Zhao Hongge, Liu Chiyang. Approaches and prospects of provenance analysis [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2003, 21(3): 409-412]
 - 21 Ramamohanarao T, Sairam K, Venkateswararao Y, et al. Sedimentological characteristics and depositional environment of Upper Gondwana rocks in the Chintalapudi sub-basin of the Godavari valley, Andhra Pradesh, India [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2003, 21(6): 691-703]
 - 22 王明磊, 张廷山, 王兵, 等. 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 [J]. 中国地质, 2009, 36(2): 456-464 [Wang Minglei, Zhang Tingshan, Wang Bing, et al. 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 [J]. Geology in China, 2009, 36(2): 456-464]
 - 23 Haughton D W, Morton A C, TODD S O. Developments in Sedimentary Provenance Studies [M]. London: Oxford University Press, 1991
 - 24 林春明, 宋宁, 牟荣, 等. 江苏盐阜凹陷晚白垩世浦口组沉积相与沉积演化 [J]. 沉积学报, 2003, 19(4): 553-559 [Lin Chunming, Song Ning, Mu Rong, et al. Sedimentary facies and evolution of late Cretaceous in the Yanfu Depression of Jiangsu Province [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2003, 19(4): 553-559]
 - 25 徐田武, 宋海强, 况昊, 等. 物源分析方法的综合运用—以苏北盆地高邮凹陷泰一段地层为例 [J]. 地球学报, 2009, 30(1): 111-118 [Xu Tianwu, Song Haiqiang, Kuang Hao, et al. Synthetic Application of the provenance analysis technique: A case study of Member I of Taizhou Formation in Gaoyou Sag, Subei Basin [J]. Acta Geoscientia Sinica, 2009, 30(1): 111-118]
 - 26 冯增昭. 沉积岩石学 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1993: 50-56 [Feng Zengzhao. Sedimentary Petrology [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1993: 50-56]
 - 27 Morton A C, Whitham A G, Fanning C M. Provenance of Late Cretaceous to Paleocene submarine fan sandstones in the Norwegian Sea: Integration of heavy mineral, mineral chemical and zircon age data [J]. Sedimentary Geology, 2005, 182(1-4): 3-28
 - 28 李双建, 石永红, 王清晨, 等. 白垩纪以来库车坳陷碎屑重矿物组成变化 [J]. 地质科学, 2007, 42(4): 709-721 [Li Shuangjian, Shi Yonghong, Wang Qingchen, et al. Changes of detrital heavy minerals composition in the Kuqa depression from Cretaceous [J]. Chinese Journal of Geology (Scientia Geologica Sinica), 2007, 42(4): 709-721]
 - 29 李双建, 石永红, 王清晨. 碎屑重矿物分析对库车坳陷白垩—第三纪物源变化的指示 [J]. 沉积学报, 2006, 24(1): 28-35 [Li Shuangjian, Shi Yonghong, Wang Qingchen. The analysis of detrital heavy minerals in Cretaceous-Tertiary sandstones, Kuqa Depression and their implications for provenance [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2006, 24(1): 28-35]
 - 30 Morton A, Hurst A. Correlation of sandstones using heavy minerals: an example from the Stat fjord Formation of the SnorreField, northern North Sea [C]// Dundy RE, Hail wood EA, ed. Nonbiostratigraphical Methods of Dating and Correlation. Geological Society Special Publication, 1995, 89: 3-22
 - 31 曾庆高, 李祥辉, 夏斌, 等. 西藏仁布地区上三叠统重矿物组合

与物源分析[J]. 地质通报, 2009, 28(1): 38-44 [Zeng Qinggao, LI Xianghui, Xia Bin, *et al.* Heavy mineral assemblages and prove-

nance analysis of the Upper Triassic in Renbu area, southern Tibet, China[J]. Geological Bulletin of China, 2009, 28(1): 38-44]

Provenance Analysis of Dainan Formation (Paleogene) of Majiazui in Gaoyou Sag, Subei Basin

ZHOU Jian¹ LIN Chun-ming¹ LI Yan-li¹ YAO Yu-lai¹
ZHANG Xia¹ ZHANG Zhi-ping^{1 2} GAO Li-kun¹

(1. State Key Laboratory for Mineral Deposits Research, School of Earth Sciences and Engineering, Nanjing University, Nanjing 210093;
2. Petroleum Planning & Design Institute, East China Branch, SINOPEC, Nanjing 210036)

Abstract Synthesizing methods of clastic constituents, heavy mineral, and sedimentation, we analyzed Dainan Formation provenance of Majiazui in Gaoyou Sag, Subei Basin. Igneous rock is the main lithology of Majiazui source rocks, followed successively by metamorphics and sedimentary rock; distribution range of neutral and acidic igneous rocks is wider than that of basic igneous rock; and medium to low is the dominating grade of metamorphics; while plutonite here is rare. According to sandstone types, types and contents of clastic constituents, percentage of sandstones, thickness of layers, distribution of sedimentary facies, stability factors of heavy minerals, heavy mineral combination, ZTR index and index of heavy mineral, we believe that during the depositional period of Dainan Formation, provenance differed between different blocks. Sediments of Ma 8 block mainly from Lingtang low bulge and partly came from Tongyang uplift; that of Ma 31 block was only from Lingtang low bulge and paleo-rivers transferred; while sediments of Ma 33 block came from Tongyang uplift.

Key words Subei Basin; Gaoyou Sag; Dainan Formation; provenance analysis