

# 东海椒江凹陷晚古新世物源变化

陈春峰<sup>1,2</sup>, 朱伟林<sup>1</sup>, 付晓伟<sup>1</sup>, 徐东浩<sup>2</sup>, 张伯成<sup>2</sup>

(1. 同济大学 海洋地质国家重点实验室, 上海 200092; 2. 中海石油(中国)有限公司 上海分公司, 上海 200030)

**摘要:** 为深入分析椒江凹陷上古新统明月峰组物源, 探索适用于海域的物源研究方法, 对东海椒江凹陷的岩石组分、重矿物及碎屑锆石 U-Pb 定年等数据进行物源综合分析。结果显示, 凹陷东部明月峰组上段和下段的物源发生了改变, 其下段物源主要来自凹陷东部的海礁隆起, 以过渡弧-切割弧环境的酸性侵入岩为主, 主要源岩时代为 183~209 Ma, 有少量变质岩及其他中生代火成岩贡献; 至明月峰组上段沉积期, 物源以过渡弧环境下的酸性喷出岩及侵入岩为主, 碎屑锆石年龄集中于 106~116 Ma, 与围区物源特征基本相同; 结合沉积体系演化分析, 表明整个椒江凹陷的物源来自西部的浙闽隆起区。研究区物源变化是构造、沉积环境在晚古新世发生剧变的结果, 这种物源变化对该区的盖层发育及对油气层封盖能力产生了较大影响。

**关键词:** 椒江凹陷; 海域物源研究; 碎屑锆石; 物源变化; 浙闽隆起

中图分类号: P315.63

文献标志码: A

## Provenance Change and Its Influence in Late Paleocene, Jiaojiang Sag, East China Sea Shelf Basin

CHEN Chunfeng<sup>1,2</sup>, ZHU Weilin<sup>1</sup>, FU Xiaowei<sup>1</sup>, XU Donghao<sup>2</sup>, ZHANG Bocheng<sup>2</sup>

(1. State Key Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. Shanghai Branch of China National Offshore Oil Corporation Ltd., Shanghai 200030, China)

**Abstract:** To fully recovery provenance of Mingyuefeng Formation of Well W6 in upper Paleocene in Jiaojiang Sag and probe research methods for provenance analysis applied to sea area, this research used detrital framework grains, heavy minerals and detrital zircon U-Pb dating for the comprehensive provenance analysis. The result shows that the Lower Mingyuefeng Formation (LMF) and Upper Mingyuefeng Formation(UMF) have entirely different provenance in the east part of Jiaojiang Sag. The main source of LMF is from

Haijiao Uplift located to the east of the sag and is mainly acid intrusive rocks formed in transitional arc-dissected arc with zircon U-Pb age ranging from 183 to 209 Ma. In addition, there is a small amount of contribution of the metamorphic and Mesozoic igneous in other age range. The main source of UMF in Jiaojiang Sag is possibly from Zhemin Uplift to the west of the sag with acid volcanic rocks and intrusive rocks formed in transitional arc with the zircon age about 106~116 Ma. It has nearly the same source rocks with the adjacent areas whose provenance area is located in the western Minzhe Uplift. This conclusion is also supported by the depositional system evolution. The change of provenance is the resulted from the tectonic and deposition environment change in late Paleocene, which has a great impact on the cap rock and the sealing capability to the oil and gas bearing in this area.

**Key words:** Jiaojiang Sag; offshore provenance research; detrital zircon; provenance change; Zhemin Uplift

碎屑岩物源分析在地质研究中具有非常重要的作用。但因风化、搬运等因素的影响, 母岩从岩石到最终沉积物常会缺失重要信息<sup>[1]</sup>, 沉积过程中的磨蚀、分选等地质作用也会对砂岩岩石组分和重矿物类型产生影响<sup>[2-3]</sup>, 同时受到各种物源研究方法本身的制约<sup>[4-7]</sup>, 导致重建物源难度较大<sup>[1]</sup>。

近年来在东海陆架盆地发现了大型油气田, 椒江凹陷已成为东海陆架盆地的一个主要油气潜力区。由于海域钻孔密度低, 椒江凹陷的 4 口钻井中只有 1 口井获得了岩心样品, 因此依据岩石及岩屑成分分析、重矿物比值等平面变化趋势的物源研究方法在该区受到极大的制约, 使得对本区物源缺乏深入认识, 制约了油气勘探。本次研究在该区首次引入了碎屑锆石 U-Pb 同位素测年及锆石阴极发光图像等分析方法, 结合该区的重矿物、岩屑成分等数据, 对椒江凹陷明月峰组的物源进行综合研究并得出了

收稿日期: 2017-03-07

第一作者: 陈春峰(1972—), 男, 博士生, 主要研究方向为沉积及石油地质。E-mail: chenclf@cnooc.com.cn

通讯作者: 朱伟林(1956—), 男, 教授, 博士生导师, 理学博士, 主要研究方向为海洋地质及石油地质。E-mail: zhuwl@tongji.edu.cn

新的认识.

## 1 地质背景

椒江凹陷为东海陆架盆地的一部分(图 1),是一个中、新生代弧后裂陷盆地<sup>[8]</sup>. 凹陷结构呈东断西超<sup>[9-10]</sup>,经历了古新世断陷、始新世拗陷及新近纪区域沉降 3 个演化阶段<sup>[11]</sup>. 椒江凹陷在古新世发育了月桂峰组湖相沉积、灵峰组及明月峰组海相和海陆过渡相沉积<sup>[9-11]</sup>. 该区有 W4、W6、W10、JH36 共 4 口钻井(图 1),以 W6 井钻遇地层较全,只有该井在明月峰组取得了岩心、壁心样品,可以进行物源研究中的岩石薄片镜下鉴定和精确的岩石成分研究.

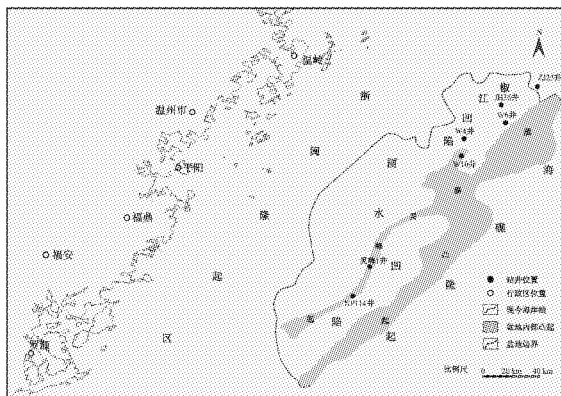


图 1 研究区位置图

Fig. 1 Location of study area

在研究区南部的丽水凹陷已有许多物源方面研究成果,包括单颗粒锆石、锆石微量元素<sup>[12]</sup>、沉积岩微量元素<sup>[13-14]</sup>、重矿物和岩屑组成<sup>[15]</sup>等,这些研究中仅有少部分涉及椒江凹陷,未能给出椒江凹陷有效地的物源信息.

## 2 岩石主要组合物源分析

### 2.1 砂岩岩屑组分分析

椒江凹陷 4 口井中仅有 W6 井在明月峰组取得岩石薄片样品 41 个. W6 井位于椒江凹陷东缘(图 1),钻遇古新统灵峰组上段、明月峰组下段及明月峰组上段(图 2). 明月峰组下段主要为扇三角洲-浅海相,明月峰组上段主要为三角洲相<sup>[9]</sup>. 经分析,W6 井明月峰组地层中的岩屑主要为火山岩岩屑(约占岩屑颗粒总量的 70%,各岩屑颗粒含量均指各岩屑颗粒占总岩屑颗粒的百分数,下同)和变质岩岩屑(约占岩屑颗粒总量的 22%),仅少量沉积岩岩屑(约占岩屑颗粒总量的 8%)(图 3). 火山岩岩屑中大部分

为酸性火山岩及凝灰岩形成的岩屑,碱性岩屑颗粒约为总量的 1%~2%且基本分布在明月峰组下段. 酸性火山岩岩屑由花岗岩块、微晶或隐晶质喷出岩岩屑组成,微晶或隐晶质喷出岩岩屑在单偏光下为单一颗粒,在正交偏光镜下可见颗粒内部由微小的长石或石英晶体组成(如图 4a、4b、4e、4f 中 1 所示),约占岩石颗粒总量的 8%;花岗岩块主要由多个长石或石英颗粒组成. 凝灰质火山岩岩屑在单偏光镜下呈砖红色、在正交偏光下不透光(如图 4c、4d 中 2 所示). 明月峰组下段凝灰质岩屑颗粒含量较高且稳定在 4%左右,主要呈团块状分布(如图 4e 中 2 所示),明月峰组上段样品中凝灰质岩屑颗粒含量总体较少,主要分布于大颗粒的缝隙中(如图 4c 中 2 所示). 变质岩岩屑主要为石英岩、变质泥岩及极少量板岩. 石英岩岩屑由多个消光位不同的石英颗粒组成且呈缝合线状接触(如图 4c、4d 中 3 所示),该类岩屑在明月峰组上段、下段地层中均普遍发育,但明月峰组下段地层中变质岩岩屑颗粒含量较高,占砂岩颗粒总量的 4%~11%,均值为 7.2%;在明月峰组上段地层中变质岩岩屑颗粒含量总体较低,均值为 3.7%(图 3). 沉积岩岩屑在明月峰组下段地层中分布稳定,颗粒含量均值为 2.6%,在明月峰组上段地层中颗粒含量均值为 1.7%(图 3),主要为泥岩岩屑,在镜下呈暗黑色,不透光(如图 4g 中 3 所示).

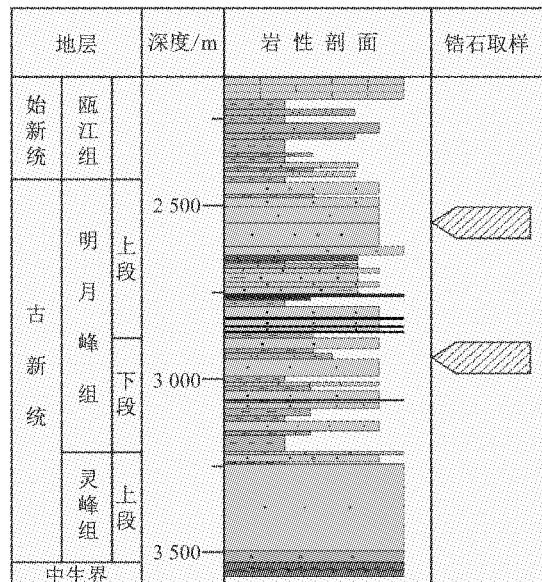


图 2 W6 井岩性综合柱状图

Fig. 2 General strata column of well W6

明月峰组下段岩屑颗粒含量明显比明月峰组上段要高(图 3),显示明月峰组上段具有较高的成分成熟度. 从岩屑组成看,W6 井明月峰组上段的火山岩岩屑颗粒绝对含量明显低于下段,这种变化主要是

由凝灰质岩屑的颗粒含量变化所引起(见图 4),由于凝灰质岩屑稳定性差,指示明月峰组下段属近距离搬运沉积物.明月峰组下段岩石中多含砾石,分选较差,表明明月峰组下段的结构成熟度相对明月峰组上段也是比较低的.综合上述,W6 井在明月峰组下段沉积期比明月峰组上段沉积期更接近物源区.

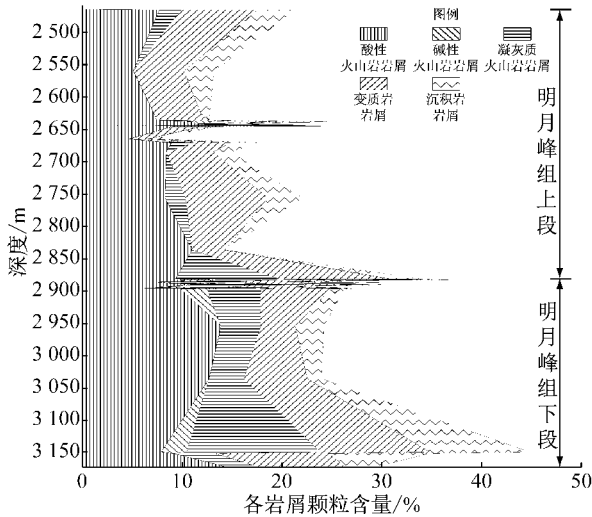


图 3 W6 井明月峰组岩屑颗粒含量  
Fig. 3 Lithic composition of Mingyuefeng Formation in well W6

2.2 砂岩骨架颗粒分析

砂岩碎屑颗粒的发育模式受到板块构造背景控

制下的物源区的影响<sup>[5]</sup>. Dickinson 和 Suczek<sup>[5]</sup>据此提出了经验性物源判别三角图 Qt-F-L、Qm-F-Lt 及 Qp-Lv-Ls,其中 Qt 为全部石英;Qm 为单晶石英;Qp 为多晶石英;F 为单晶长石颗粒;L 为不稳定多晶岩屑,包括火山岩岩屑、沉积岩岩屑及变质岩岩屑;Lt 为全部多晶岩屑;Lv 为火山岩及变质火山岩岩屑;Ls 为沉积岩及变质沉积岩岩屑<sup>[5]</sup>,通过该图可以确定物源区形成时的构造背景.本次研究根据 Dickinson 图解的方法分别统计了 W6 井明月峰组下段 26 个和上段 15 个岩心薄片样品中的单晶石英、多晶石英、长石及岩屑含量(颗粒含量均以颗粒数统计,下同),并将统计结果在三角图解中投值(图 5).

明月峰组下段样品在图 5a 中集中分布在再旋回造山带范围内;在图 5b 中主要集中在再旋回区的切割弧和过渡弧边界线附近;在图 5c 中大部分数据点分布在岛弧成因物源范围内.明月峰组上段样品在图 5a 中绝大多数散布在再旋回造山带及切割弧范围内;在图 5b 中数据点主要在过渡弧范围内,有 4 个数据点分别分布在切割弧及混合区范围内;在图 5c 中大部分数据点都分布在岛弧成因物源范围内.

根据前人的研究,Qm-F-Lt 三角图(图 5b)能更多地反映物源区信息,而 Qp-Lv-Ls 三角图(图 5c)则能有效区分来自再旋回造山带和岩浆弧的物

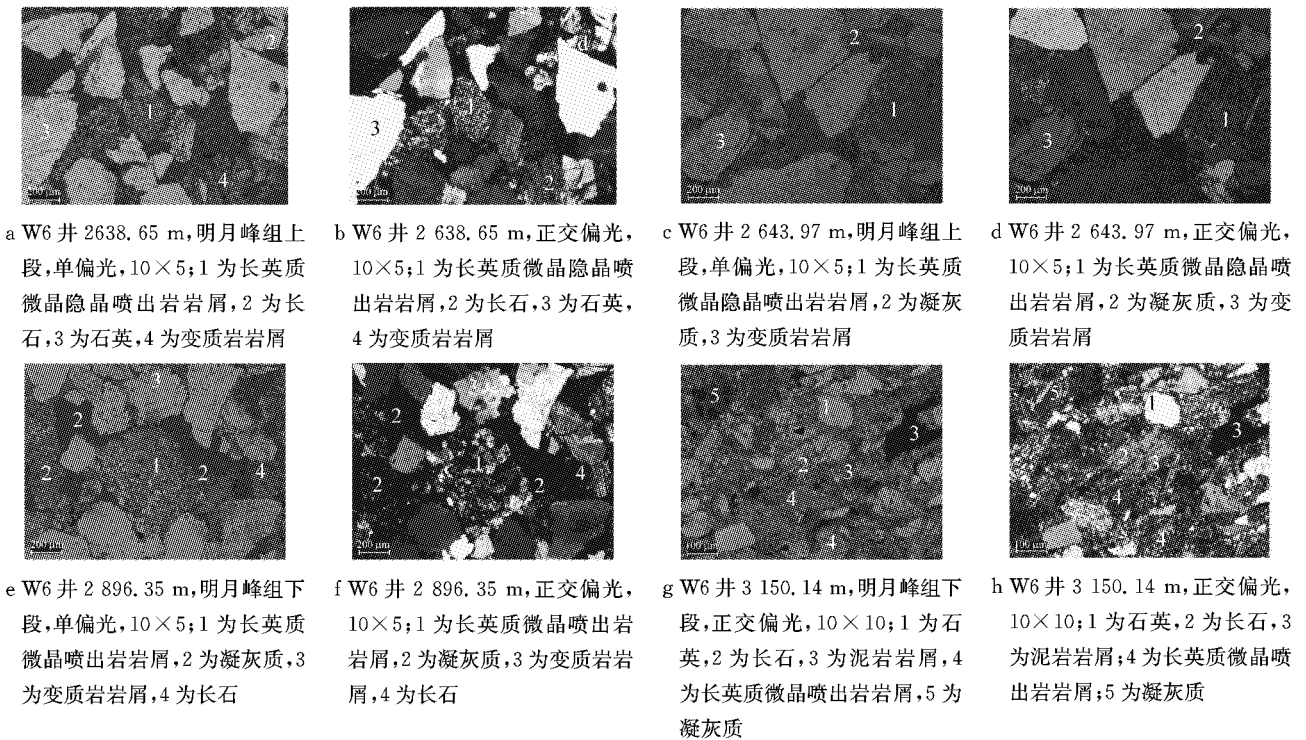


图 4 W6 井明月峰组岩石颗粒含量镜下特征

Fig. 4 Characteristic of sandstone under microscope in Mingyuefeng Formation in well W6

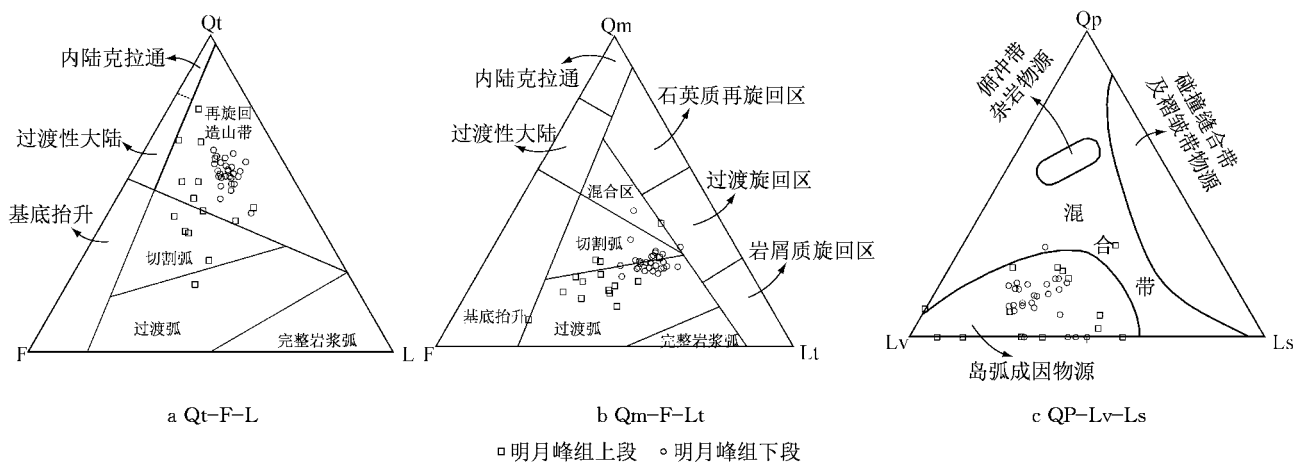


图 5 W6 井碎屑成分物源判别图

Fig. 5 Provenance discrimination based on classic composition of W6

源<sup>[4]</sup>. W6 井明月峰组样品在这 2 种三角图中的数据投点表明,虽然明月峰组上段和下段的物源都是形成于岛弧环境(包括切割弧、过渡弧、完整岩浆弧),但在 Qm-F-Lt 三角图中(图 5b),两段地层的物源区还是有明显差别,明月峰组下段物源区为过渡弧-切割弧,明月峰组上段物源区主要为过渡弧.在岛弧的剥蚀过程中,单晶石英颗粒含量会逐渐增加,由完整岩浆弧经过过渡弧向切割弧演变<sup>[16]</sup>;但在 W6 井中明月峰组上段地层与下段地层相比,单晶石英颗粒含量没有明显变化,这种由过渡弧-切割弧向过渡弧物源区变化、单晶石英颗粒含量无明显变化的演变方式与岛弧一般的演化模式不相符,指示明月峰组下段与上段的物源区可能发生了改变,二者可能不是来自于同一个物源区.

### 3 重矿物物源分析

砂岩中的许多重矿物之间存在着严格的共生关系并能够提供一定的物源信息<sup>[3]</sup>,但根据杨香华等<sup>[17]</sup>对丽水凹陷物源的研究结果,对于发育多个方向物源的丽水凹陷,在井少的情况下重矿物能提供的物源信息较少.本次研究重新分析了椒江凹陷明月峰组所有的 27 个重矿样品,这些样品全部分布在 W4、W6 井, W10 及 JH36 井因火成岩发育造成岩屑混杂而没有取得合格样品. W6 井明月峰组下段 15 个样品的重矿物平均颗粒含量(重矿物颗粒含量为矿物颗粒数占总颗粒的百分数,下同)为锆石 57.7%、金红石 16.1%、石榴石 14.8%、赤褐铁矿 5.9%、磁铁矿 2.3%、电气石 2.0%.明月峰组上段(10 个样品)主要重矿物组合为锆石 49.4%、磁铁矿

20.2%、金红石 12.2%、赤褐铁矿 9.4%、石榴石 4.7%、电气石 3.3%.与明月峰组下段相比, W6 井明月峰组上段磁铁矿颗粒含量显著增加,石榴石颗粒含量明显降低,锆石颗粒含量略有降低.石榴石在变质岩中广泛分布<sup>[18]</sup>,磁铁矿分布于各种岩浆岩和变质岩中<sup>[19]</sup>, W6 井明月峰组上段石榴石颗粒含量的明显降低指示其物源区中变质岩贡献量有所减小,磁铁矿颗粒含量的变化未能有效指示物源的变化.

W4 井明月峰组下段(1 个样品,仅供参考)的重矿物含量为黄铁矿 95.0%、蚀变矿物 2.0%、钛铁矿 0.7%、赤褐铁矿 0.6%、锆石 0.4%、白钛石 0.2%、石榴石 0.2%.明月峰组上段(1 个样品,仅供参考)的重矿物颗粒含量为黄铁矿 88.5%、钛铁矿 3.8%、石榴石 2.6%、磁铁矿 1.2%、磷灰石 1.0%、锆石 0.6%、白钛石 0.5%.由于椒江凹陷西北部及南部无钻孔资料,丽水凹陷灵峰 1 井的重矿数据可作为参考,该井明月峰组下段样品的重矿物平均颗粒含量为黄铁矿 60.3%、菱铁矿 39.2%、黑云母 0.3%.明月峰组上段样品的重矿物平均颗粒含量为菱铁矿 49.4%、黄铁矿 34.1%、锆石 9.9%及其他矿物.综合 W4 井、灵峰 1 井及文献<sup>[17]</sup>对丽水凹陷重矿的研究结果,椒江凹陷 W4 井及灵峰 1 井明月峰组上段、下段中含铁重矿物较多,锆石颗粒含量较低,含极少量的磷灰石,这种重矿组合与浙闽隆起区富含铁质矿物、含极少量磷灰石这一特征相符合,推测 W4 井的物源可能源自西部的浙闽隆起区.

综上所述,推测 W6 井明月峰组下段可能有较多的变质岩贡献, W4 井明月峰组物源可能来自浙闽隆起区.

## 4 锆石物源分析

### 4.1 样品制备及测试

利用碎屑锆石进行物源研究已经成为一项成熟且有效的技术<sup>[20]</sup>。本次测试在椒江凹陷 W6 井明月峰组上段和下段各取到 1 个样品(图 2),在 W4 井明月峰组上段取得 1 个样品,上述样品质量为 2 kg;在 JH36 井、W10 井的明月峰组下段由于砂岩不发育未取到足够质量的锆石样品,为了补充凹陷中、西部样品不足,借用了丽水凹陷 NP114 井明月峰组下段的锆石样品分析结果作为参考。锆石阴极发光图像由 JSM6510 扫描电子显微镜、Gatan 阴极荧光探头测试完成,锆石 U-Pb 同位素定年工作在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室完成,测试分析流程参见文献<sup>[21]</sup>,同位素数据处理采用 ICPMSDataCal(7.2)软件进行,年龄计算及协和图应用 ISOPLOT(3.7)软件进行处理及成图<sup>[22]</sup>,每个样品按标准<sup>[22-23]</sup>选取了 60 颗锆石进行同位素定年测试。

### 4.2 锆石形貌特征

W6 井明月峰组下段发育 2 种类型锆石。第 1 类锆石占大多数,呈浅粉色,透明;以自形为主,少量为半自形;晶体颗粒较小,长轴约 0.05~0.15 mm(图 8);晶内气液包体普遍发育,个别晶体内可见黑色固相包体;表面常见凹坑,少见铁染,无明显磨蚀痕迹。第 2 类锆石数量较少,呈玫瑰色,透明,金刚光泽;自形-半自形;颗粒较小,长轴约 0.08~0.16 mm。

W6 井明月峰组上段也发育 2 类锆石,第 1 类锆石约占颗粒总量的 97%,为浅粉色,多数晶体透明度较高;晶体粗大,长轴 0.03~0.25 mm;自形-半自形,其中柱状约 85%,次圆粒状约 15%;晶体内黑色固相及气液包体常见;多数表面可见凹坑、划痕。第 2 类锆石约占颗粒总量的 3%,玫瑰色,透明度较第 1 类低;晶体颗粒较小,长轴 0.04~0.13 mm;次圆粒状;表面常见磨蚀凹坑,裂纹及铁染少见,个别晶体内可见包体。

W4 井明月峰组上段锆石大部分为浅粉色,个别为玫瑰紫色;晶体粗大,长轴约 0.03~0.35 mm(图 8);自形-半自形占 70%,次圆粒状约 30%;晶体内黑色固相及气液包体常见;多数表面可见凹坑、划痕;指示该井明月峰组上段锆石经历了长途搬运和强烈的水动力作用。

椒江凹陷西南方向丽水凹陷的 NP114 井明月

峰组下段锆石样品 95%为浅粉色,晶体粗大,自形-半自形,晶体内黑色固相及气液包体发育;另外约占颗粒总量 5%的锆石呈透明,具金刚光泽,表面常见凹坑。

对比 3 口井的锆石形貌特征可知, W6 井明月峰组下段锆石较小,而 W6 井明月峰组上段、W4 井明月峰组上段、NP114 井明月峰组下段的锆石较大,表明二者的成因不同;另外, W6 井明月峰组上段锆石常见划痕等搬运痕迹,指示其碎屑颗粒经历了更为强烈的水动力作用,明月峰组上段沉积时期 W6 井距物源区的距离可能更长。

### 4.3 锆石成因及年龄特征

本次测试最终取得有效年龄数据的颗粒数  $n$  分别为 W6 井明月峰组上段 56 颗、W6 井明月峰组下段 58 颗、W4 井明月峰组上段 51 颗。锆石样品中有少数几颗锆石在 U-Pb 年龄协和图中的位置偏右,这是因<sup>207</sup>Pb 颗粒含量太少<sup>[24]</sup>或者与轻微铅丢失有关<sup>[25]</sup>。

W6 井明月峰组下段锆石年龄主要分布在 62~221 Ma(图 6b),其中占总颗粒数 67.0%的锆石年龄呈正态分布于 183~209 Ma,峰值为 195 Ma;5.0%的锆石年龄分布在 212~221 Ma;占总颗粒数 10.0%的锆石年龄分布在 106~121 Ma,峰值为 118 Ma;2 颗年龄为 463 Ma 和 1920 Ma,其余锆石年龄孤立分布。

W6 井明月峰组上段锆石年龄均小于 200 Ma,其中占总颗粒数 88.0%的锆石年龄近正态分布在 103~141 Ma(图 6a),峰值为 116 Ma;5.0%分布在 165~185 Ma,3.6%分布在 85~90 Ma;其余 1 颗锆石年龄为 197 Ma。

W4 井明月峰组上段 45 颗锆石年龄分布在 98~122 Ma(图 6c),峰值为 106 Ma,另外几颗年龄分布在 159~219 Ma 和 774 Ma、219~159 Ma。

NP114 井明月峰组下段锆石年龄集中分布于 101~131 Ma,峰值为 111 Ma;另外几颗岩浆成因锆石年龄零星分布在 85~97 Ma,另有几颗锆石年龄为 1 740、1 765、2 489 Ma(图 6d)。

分析 3 口井的锆石年龄分布特征, W6 井明月峰组下段锆石年龄集中在 195 Ma,而其他 3 个层段,即 W6 井明月峰组上段、W4 井明月峰组上段及 NP114 井明月峰组下段锆石年龄均集中在 106~116 Ma(图 6)。

变质作用往往导致变质锆石的 Th/U(质量比,下同)值要比原岩小很多<sup>[25-26]</sup>,如大别山变质岩中变

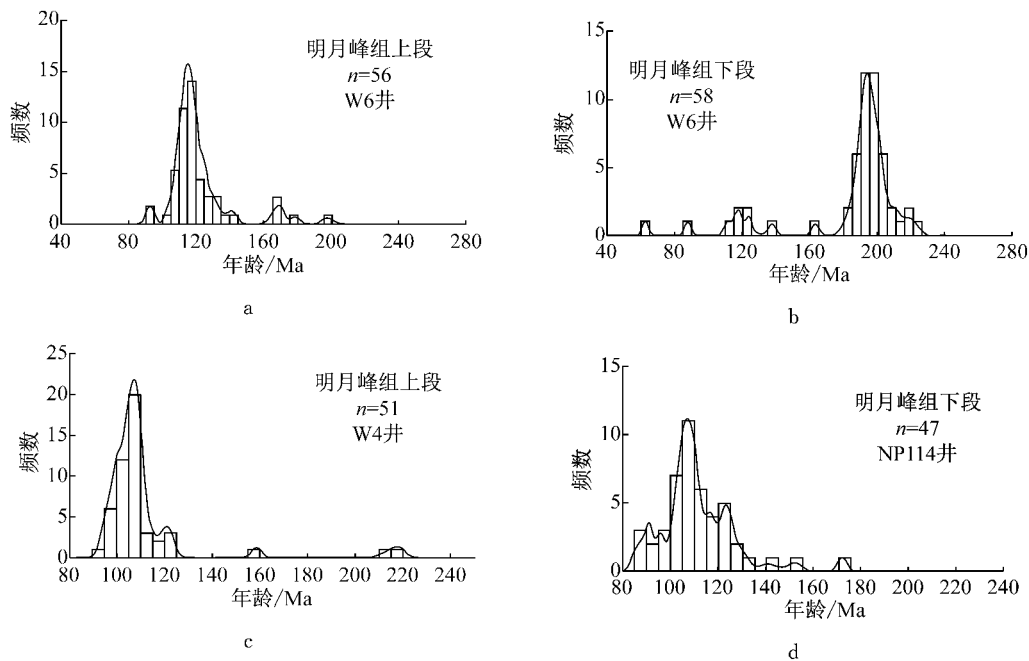


图 6 椒江凹陷明月峰组锆石年龄分布特征

Fig. 6 Age distribution of zircon in Mingyuefeng Formation in Jiaojiang Sag

质锆石的 Th/U 值介于 0.01~0.10 之间,而原岩锆石的 Th/U 值大多介于 0.10~1.00 之间<sup>[26]</sup>. 根据 Wang 等<sup>[27]</sup>的测试数据,花岗岩的 Th/U 值介于 0.10~3.79 之间,中值为 0.52;而中基性火成岩的 Th/U 值介于 0.02~6.82 之间,中值为 0.81. 本次对进行测年的锆石样品同时进行了 Th/U 值测定,结合锆石阴极发光图像分析,可以确定锆石的成因类别.

W6 井明月峰组下段样品测年锆石的 Th/U 值大多数集中分布在 0.40~0.70 之间(图 7),属于岩浆成因锆石. 部分锆石的 Th/U 值小于 0.40,甚至接近于 0.10(图 7),这部分锆石应属变质锆石. W6 井明月峰组下段锆石阴极发光图像从特征上可分为 3 类,第 1 类锆石在数量上占大多数,年龄小于 209 Ma,该类锆石的阴极发光图像具有岩浆锆石的典型震荡环带特征(图 8b),大部分锆石阴极发光图像颜色很浅,近白色. 第 2 类锆石的年龄在 212~221 Ma 之间,数量较少,阴极发光图像大多数具有震荡环带,少量无分带,部分锆石发育核边结构,偶见很窄的锆石增生边(如图 8b 中样品 6 所示),预示部分锆石可能经历一定程度变质作用,预测变质作用发生的时间为 212 Ma 以后. 第 3 类为 2 颗变质锆石,一颗为 463 Ma 的锆石,阴极发光图像颜色较深,发育典型震荡环带,另 1 颗为 1 920 Ma 的锆石,面状分带,具变质作用形成的核边结构,锆石核部颜色较深(图 8b).

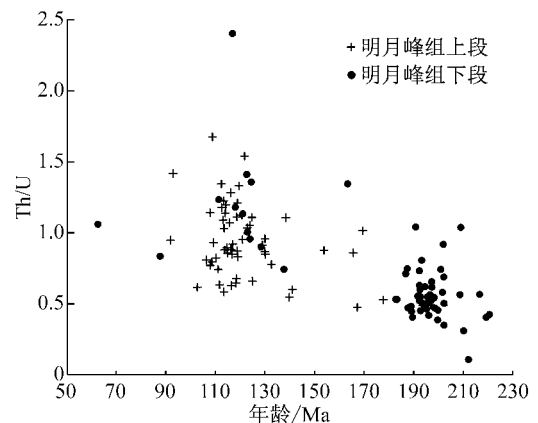


图 7 W6 井明月峰组锆石 Th/U 值分布图

Fig. 7 Th/U of zircon in Mingyuefeng Formation of well W6

W6 井明月峰组上段样品测年锆石的 Th/U 值主要集中在 0.50~1.40 之间(图 7),锆石的 Th/U 值大于 0.40,应属于岩浆成因锆石. 该段样品测年锆石的阴极发光图像均表现出典型岩浆锆石特征(图 8a),多见岩浆锆石所具有的典型震荡环带,少量见扇形分带,可见早期锆石结晶核,锆石阴极发光图像颜色很浅.

W4 井明月峰组上段测年锆石的 Th/U 值主要集中在 0.11~2.37 之间,其中 Th/U 值小于 0.40 的仅有 1 颗,其阴极发光图像呈暗黑色,可见 1 个继承核,为变质锆石. 其余锆石的 Th/U 值均大于 0.40,其中大部分属于岩浆成因锆石. W4 井明月峰组上段样品测年锆石的阴极发光图像大多数表现出

岩浆锆石特征(图 8c),自形程度较好,震荡环带发育;少部分锆石具有弱变质特征,内部结构见弱分带、面状分带。

NP114 井明月峰组下段锆石样品 95% 为岩浆成因锆石,晶体内黑色固相及气液包体发育, Th/U 值主要集中在 0.40~2.07 之间,阴极发光图像震荡

环带发育(图 8d);该类锆石年龄集中分布于 101~131 Ma, 峰值为 111 Ma;另外几颗岩浆成因锆石零星分布在 85~97 Ma. 该井中有少量变质成因锆石, 约占颗粒总量的 5.0%, Th/U 值在 0.40 左右, 阴极发光图像具云雾状分带或面状分带, 该类锆石年龄分别为 1 740、1 765、2 489 Ma.

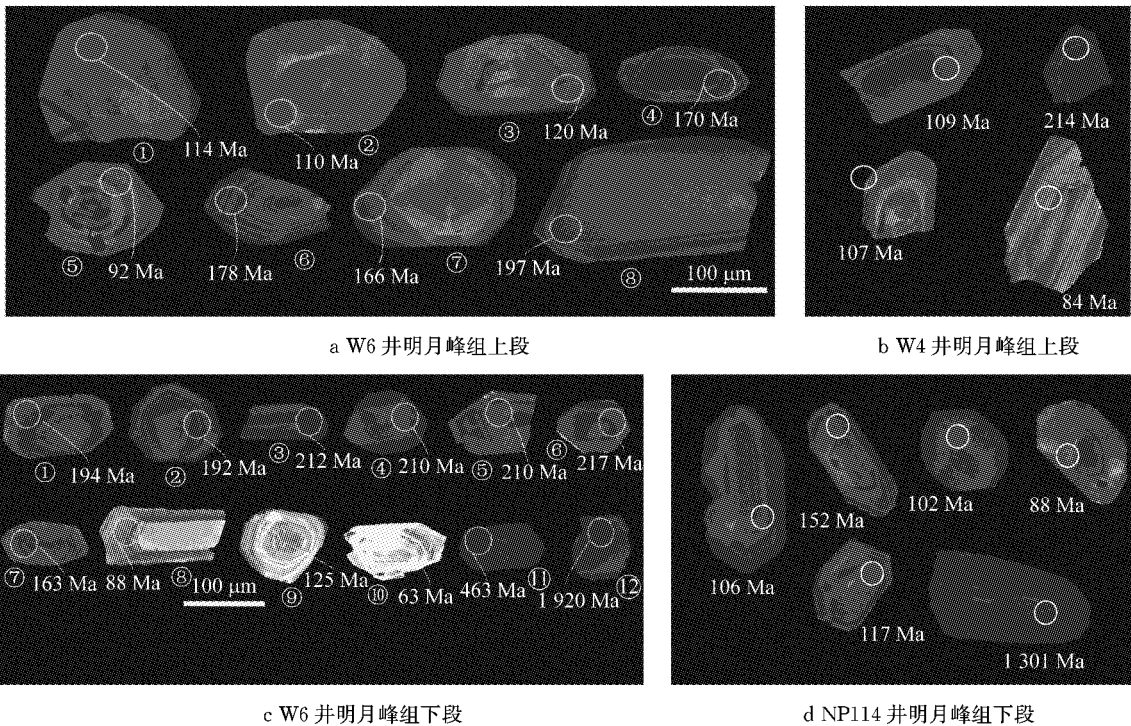


图 8 明月峰碎屑锆石 CL 图像特征

Fig. 8 Characteristic of detrital zircon CL image in Mingyuefeng Formation

综合分析, W6 井明月峰组下段的碎屑锆石具有与其他层段不同的形貌、年龄、Th/U 值及阴极发光图像特征. 该地层的锆石主要为岩浆成因, 晶形相对较小, 主形成期为 183~209 Ma, Th/U 值在 0.40~0.70 之间;同时该段地层发育少量弱变质成因锆石, 呈玫瑰色, 晶形较小, 阴极发光图像多具有震荡环带且发育核边结构。

椒江凹陷 W6 井明月峰组上段、W4 井明月峰组上段及西南部 NP114 井明月峰组下段的碎屑锆石具有相似特征. 这 3 个层段的锆石中约 90% 为岩浆成因锆石, 晶体粗大, 多数表面可见凹坑、划痕; Th/U 值主要集中在 0.40~2.37 之间, 阴极发光图像震荡环带发育, 年龄主要分布在 98~122 Ma 范围内。

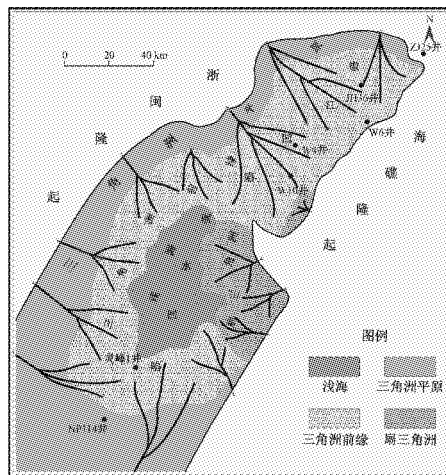
## 5 椒江凹陷物源综合分析

根据文献[11, 28]的研究, 在明月峰组下段沉积时期, 椒江凹陷东部 W6 井部位主要发育扇三角洲,

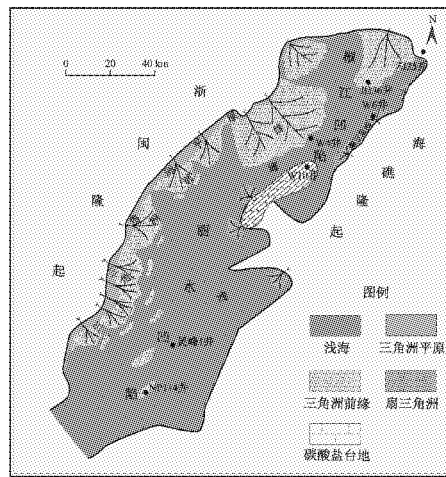
物源可能来自东部, 在凹陷西部主要发育三角洲, 在 W4 井发育浅海相沉积, 在西南部的 NP114 井发育三角洲前缘相沉积(图 9a). 在明月峰组上段沉积时期, 在椒江凹陷主要发育浅海三角洲相(图 9b).

综合前述 W6 井明月峰组的重矿、骨架颗粒、岩屑成分、锆石等分析结果, W6 井明月峰组下段地层中锆石成因、锆石形成年龄与另外 3 个层段(W6 井明月峰组上段、W4 井明月峰组上段及 NP114 井明月峰组下段)的锆石特征相差较大, W6 井岩屑及重矿均指示明月峰组下段有较多的变质岩贡献, 由明月峰组下段到上段是由切割弧转为过渡弧物源区且单晶石英含量减小, 这种演变方式指示明月峰组下段与上段的物源区存在较大差异。

据王长势等<sup>[24]</sup>研究, 在 W6 井东部的海礁隆起发育变质岩, 而在椒江凹陷西部的闽浙隆起区中北段变质岩发育较少. 因此, 根据上述沉积相、重矿、骨架颗粒、岩屑成分及锆石特征综合分析, 在明月峰组下段沉积期, 椒江凹陷中西部的物源主要来自凹陷



a 椒江凹陷明月峰组上段沉积相图



b 椒江凹陷明月峰组下段沉积相图

图 9 椒江凹陷明月峰组沉积相图(据文献[28]修改)

Fig. 9 Sedimentary faces of Mingyuefeng Formation in Jiaojiang Sag

西部的浙闽隆起区,而凹陷东部 W6 井部位的物源主要来自凹陷东部变质岩相对发育的海礁隆起;到了明月峰组上段沉积期,无论是椒江凹陷东部还是西部,其主要物源均来自凹陷西部的浙闽隆起区。

## 6 晚古新世物源变化的成因及其影响

W6 井晚古新世明月峰组物源变化是椒江凹陷的构造格局、沉积环境在晚古新世发生变化的结果。从晚白垩纪末到晚古新世明月峰组下段沉积时期,椒江凹陷被周缘隆起区或凸起环绕<sup>[11]</sup>,周边的隆起区呈汇聚式向椒江凹陷提供物源。自明月峰组上段沉积期(古新世晚期)开始,受瓯江运动影响,椒江凹陷及其东部的海礁隆起产生整体沉降,而凹陷西部的浙闽隆起区则保持原有稳定的构造形态,因此形成了这一时期的构造格局呈西高东低之势<sup>[8]</sup>;在这

种背景下,椒江凹陷与其东部的原海礁隆起区域共同接受了滨浅相沉积,椒江凹陷则转变为以西部浙闽隆起区为物源区。

椒江凹陷晚古新世明月峰组物源的变化影响到该区泥岩盖层的形成,可能影响对油气的封盖性能,进而对该区明月峰组上段的油气成藏产生不利影响。在古新世早期到明月峰组下段沉积期间,椒江凹陷与其南部的丽水凹陷发育了湖泊相、局限海相沉积,凹陷东部海礁隆起区的物源供应量有限,因而在凹陷中发育了厚层泥岩,形成了良好的储盖组合<sup>[29]</sup>;到明月峰组上段沉积期间,西部的浙闽隆起区成为主要物源区,处于盆地萎缩期的椒江凹陷发育滨、浅海相,水体较浅且物源供应充足,三角洲相砂岩特别发育,泥岩盖层不发育(图 2);较差的泥岩盖层影响到对油气封盖,对明月峰组上段的油气成藏产生不利影响,如丽水凹陷的灵峰 1 井在明月峰组上段仅见到薄油层(图 1)。

## 7 讨论

关于明月峰组上段、下段中变质岩屑的讨论,从岩屑组成上看变质岩岩屑在明月峰组上段及下段地层中均有分布(图 3),但从碎屑锆石成因类型看仅在明月峰组下段发现占颗粒总量约 5.0% 的弱变质锆石,在明月峰组上段未发现变质锆石。形成这种现象的原因可能是锆石本身的封闭温度高,达 900 °C 以上<sup>[25]</sup>,在变质程度比较低时,岩石中的其他矿物已发生变质作用,但锆石尚未产生变质增生边<sup>[30]</sup>。因此,明月峰组下段物源区的变质程度可能较高导致部分锆石因变质作用已产生了变质增生边;而明月峰组上段物源区的变质岩变质程度很可能较低未能产生锆石变质增生边。

## 8 结论

综合分析椒江凹陷钻井中的岩屑组分、轻矿物组分、重矿物组合、碎屑锆石、沉积相等方面资料认为,在明月峰组下段沉积期,椒江凹陷有 2 个物源区,凹陷东部 W6 井为近物源,物源主要来自凹陷东部的海礁隆起区,该区属于过渡弧-切割弧环境,以 183~209 Ma 的酸性侵入岩占绝对优势,也有少量 212~221 Ma 形成的火成岩经历了变质作用形成的变质岩贡献;在椒江凹陷中西部,其物源主要来自于西部的浙闽隆起区。在明月峰组上段沉积期,椒江凹



陷东部及其中西部的物源主要来自于凹陷西部的浙闽隆起区,以 107~116 Ma 之间形成的酸性喷出岩、侵入岩为主。

椒江凹陷东部在晚古新世其物源区由东部转为西部物源,物源方向的改变导致明月峰组上段未形成厚层泥岩盖层,对该区明月峰组上段的油气成藏有不利影响。

#### 参考文献:

- [1] WELTJE G J, VON EYNATTEN H. Quantitative provenance analysis of sediments: review and outlook[J]. *Sedimentary Geology*, 2004, 171(1): 1.
- [2] DICKISON W R. Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones[M]// *Provenance of Arenites*. Dordrecht: [s. n], 1985: 148-333.
- [3] MORTON A C, HALLSWORTH C R. Processes controlling the composition of heavy mineral assemblages in sandstones[J]. *Sedimentary Geology*, 1999, 124(1/2/3/4): 3.
- [4] WELTJE G J. Quantitative analysis of detrital modes: statistically rigorous confidence regions in ternary diagrams and their use in sedimentary petrology[J]. *Earth-Science Reviews*, 2002, 57(3): 211.
- [5] DICKISON W R, SUCZEK C A. Plate tectonics and sand stone compositions[J]. *AAPG Bulletin*, 1979, 63(12): 2164.
- [6] HUGH R R. Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation [M]. New York: Longan Scientific & Technical, 1993.
- [7] MOECHER D P, SAMSON S D. Differential zircon fertility of source terranes and natural bias in the detrital zircon record: implications for sedimentary provenance analysis[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2006, 247(3): 252.
- [8] 冯晓杰,蔡东升,王春修,等. 东海陆架盆地中新生代构造演化特征[J]. *中国海上油气(地质)*, 2003, 17(1): 33.  
FENG Xiaojie, CAI Dongsheng, WANG Chunxiu, *et al.* The Mesozoic-Cenozoic tectonic evolution in East China Sea shelf basin[J]. *China Offshore Oil and Gas (Geology)*, 2003, 17(1): 33.
- [9] 田兵,李小燕,庞国印,等. 叠合断陷盆地沉积体系分析——以东海丽水-椒江凹陷为例[J]. *沉积学报*, 2012, 30(4): 696.  
TIAN Bing, LI Xiaoyan, PANG Guoyin, *et al.* Sedimentary systems of the superimposed rift-subsidence basin: taking Lishui-Jiaojiang sag of the East China Sea as an example[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2012, 30(4): 696.
- [10] 夏斌,张敏强,王志峰,等. 东海丽水-椒江凹陷构造样式与含油气远景[J]. *华南地震*, 2007, 27(3): 1.  
XIA Bin, ZHANG Minqiang, WAN Zhifeng, *et al.* Structural styles and hydrocarbon prospects in the Lishui-Jiaojiang Sag, the East China Sea[J]. *South China Journal of Seismology*, 2007, 27(3): 1.
- [11] 陈国俊,李超,梁建设,等. 东海陆架盆地甌江凹陷明月峰组沉积相及沉积特征分析[J]. *天然气地球科学*, 2011, 22(5): 760.  
CHEN Guojun, LI Chao, LIANG Jianshe, *et al.* Sedimentary facies of Mingyuefeng formation in Oujiang sag, East China Sea basin[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2011, 22(5): 760.
- [12] 刘俊海,杨香华,吴志轩,等. 东海盆地丽水凹陷古新统锆石示踪作用分析[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2004, 24(1): 85.  
LIU Junhai, YANG Xianghua, WU Zhixuan, *et al.* Zircon tracing application of Paleocene-Eocene in Lishui sag of the East China Sea basin [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2004, 24(1): 85.
- [13] 刘俊海,吴志轩,于水,等. 丽水凹陷古新统微量元素地球化学特征及其地质意义[J]. *中国海上油气*, 2005, 17(1): 8.  
LIU Junhai, WU Zhixuan, YU Shui, *et al.* Paleocene trace element geochemistry and its geological significance in Lishui sag[J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2005, 17(1): 8.
- [14] 刘俊海,杨香华,于水,等. 东海盆地丽水凹陷古新统沉积岩的稀土元素地球化学特征[J]. *现代地质*, 2003, 17(4): 421.  
LIU Junhai, YANG Xianghua, YU Shui, *et al.* The REE geochemical characteristics of Paleocene in Lishui sag of the Donghai basin[J]. *Geoscience*, 2003, 17(4): 421.
- [15] 杨玉卿,田洪,姜亮,等. 丽水凹陷晚古新世海平面变化及有利储层分布预测[J]. *中国海上油气(地质)*, 2003, 17(1): 69.  
YANG Yuqing, TIAN Hong, JIANG Liang, *et al.* Late Paleocene sea-level fluctuations and prediction of favourable reservoirs in Lishui sag, East China Sea basin [J]. *China Offshore Oil and Gas (Geology)*, 2003, 17(1): 69.
- [16] DICKINSON W R, DICKINSON L S. Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting [J]. *Geological Society of America Bulletin*, 1983, 94(2): 222.
- [17] 杨香华,姚光庆,李献甫,等. 丽水凹陷古新统沉积物源分析与储层评价[R]. 上海: 中海油石油(中国)有限公司上海分公司, 2002.  
YANG Xianghua, YAO Guangqing, LI Xianfu, *et al.* Provenance and reservoir study on Paleocene sediments in Lishui sag [R]. Shanghai: China National Offshore Oil Corporation Shanghai Branch, 2002.
- [18] EYNATTEN H V, DUNKL I. Assessing the sediment factory: the role of single grain analysis[J]. *Earth-Science Reviews*, 2012, 115(1/2): 97.
- [19] 王中波,杨守业,李萍,等. 长江水系沉积物碎屑矿物组成及其示踪意义[J]. *沉积学报*, 2006, 24(4): 570.  
WANG Zhongbo, YANG Shouye, LI Ping, *et al.* Detrital mineral compositions of the Changjiang River sediments and their tracing implications [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2006, 24(4): 570.
- [20] FEDO C M, SIRCOMBE K N, RAINBIRD R H. Detrital zircon analysis of the sedimentary record[J]. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 2003, 53(1): 277.
- [21] YUAN H L, GAO S, LIU X M, *et al.* Accurate U-Pb age and trace element determinations of zircon by laser ablation-inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. *Geostand Geoanal Res*, 2004, 28(3): 353.
- [22] LUDWIG K R. User's manual for Isoplot 3. 00: a geochronological toolkit for Microsoft excel [M]. Berkeley: Berkeley Geochron Cent Spec Pub, 2003.
- [23] DODSON M H, COMPSTON W, WILLIAMS I S, *et al.* A search for ancient detrital zircons in Zimbabwean sediments [J]. *Journal of the Geological Society*, 1988, 145(6): 977.