

doi:10.3799/dqkx.2015.178

丽水—椒江凹陷西斜坡明月峰组上段碎屑锆石物源

付晓伟¹, 朱伟林^{1,2}, 陈春峰^{1,3}, 钟 锺², 许长海¹

1. 同济大学海洋地质国家重点实验室, 上海 200092
2. 中国海洋石油总公司, 北京 100010
3. 中海石油有限公司上海分公司, 上海 200030

摘要: 沉积物源对油气储层发育具有重要影响. 为研究丽水—椒江凹陷西斜坡明月峰组上段物源的岩性组成及其分布特征, 选取4口钻井4个砂岩样品进行碎屑锆石 U-Pb 定年, 并对陆上潜在物源区岩层(体)的岩性和年龄进行统计分析. 结果显示: (1) 样品中碎屑锆石以岩浆锆石为主, 主要的年龄区间为 125~90 Ma、145~125 Ma 及 170~145 Ma, 还有少量变质锆石, 其年龄区间为 235~210 Ma 及 2 087~1 653 Ma; (2) 陆上潜在物源区中以火山岩占绝对优势(173~94 Ma), 局部区域可能有较大规模白垩系永康群沉积岩, 而变质岩(>210 Ma)和侵入岩(107.0~87.8 Ma)仅零星出露. 综合分析认为: 研究区东北部明月峰组上段的物源以永康群火山—沉积岩和九里坪组火山岩为主, 含有少量晚白垩世侵入岩; 西南部以九里坪组、西山头组火山岩及元古代区域变质岩为主, 侏罗纪火山岩为辅, 这一区域可能更有利于优质储层的发育.

关键词: 碎屑锆石 U-Pb 定年; 明月峰组上段; 物源; 丽水—椒江凹陷; 沉积物.

中图分类号: P618 **文章编号:** 1000—2383(2015)12—1987—15 **收稿日期:** 2015—06—17

Detrital Zircon Provenance of Upper Mingyuefeng Formation in West Slope of Lishui-Jiaojiang Sag, the East China Sea

Fu Xiaowei¹, Zhu Weilin^{1,2}, Chen Chunfeng^{1,3}, Zhong Kai², Xu Changhai¹

1. State Key Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai 200092, China
2. China National Offshore Oil Corporation, Beijing 100010, China
3. Shanghai Branch of CNOOC Ltd., Shanghai 200030, China

Abstract: Sedimentary source has a significant impact on the development of oil and gas reservoir. To differentiate the provenance and analyze the lithological composition of the source area of the upper Mingyuefeng Formation in the west slope of Lishui-Jiaojiang sag, 4 detrital zircon samples from 4 drillings were selected for U-Pb isotopic dating, and then provenance analysis was conducted according to the dating results and the age and lithology of potential source. The results suggest that detrital zircons are mainly dominated by magmatic zircons falling into the age ranges of 125—90 Ma, 145—125 Ma and 170—145 Ma, and there are a small amount of metamorphic zircons aged 235—210 Ma and 2 087—1 653 Ma. In the potential source area, volcanic rocks in the age range of 168—94 Ma are in overwhelming majority, and metamorphic rocks older than 210 Ma and intrusive rocks formed in 107.0—87.8 Ma outcrop sporadically, while maybe there are sedimentary rocks of Yongkang Group concentrated locally. The comprehensive analysis shows that the provenance of the northeastern part of the study area was mainly volcanic-sedimentary rocks of Yongkang Group and volcanic of Jiuliping Formation and Late Cretaceous intrusions exposed locally. While in the southwestern part, the source rock was mainly Proterozoic metamorphic rocks and volcanic rocks from Xishantou Formation in addition to Jiuliping Formation, and a small amount of Jurassic volcanic rocks as well., which is more favorable to the development of high-quality reservoir in the southwestern part.

Key words: detrital zircon U-Pb dating; upper Mingyuefeng Formation; provenance; Lishui-Jiaojiang sag; sediments.

基金项目: 国家科技重大专项(No.2011ZX05023-003).
作者简介: 付晓伟(1986—), 男, 博士研究生, 主要从事沉积及构造地质方面的研究. E-mail: shjzhfxw@163.com

引用格式: 付晓伟, 朱伟林, 陈春峰, 等, 2015. 丽水—椒江凹陷西斜坡明月峰组上段碎屑锆石物源. 地球科学——中国地质大学学报, 40(12): 1987—2001.

0 引言

沉积物源对盆地成岩作用具有非常重要的影响 (Dickinson, 1985; Tobin and Schwarzer, 2013). 丽水—椒江凹陷作为东海新生代陆架盆地重要的油气潜力区, 对其沉积物源进行研究具有较高的经济价值. 已有研究表明, 丽水—椒江凹陷古新统沉积岩相似的稀土元素配分模式及微量元素特征均指示其物源以酸性岩浆岩为主 (刘俊海等, 2004, 2005). 局部的丽水 36-1 构造物源区以火山岩为主, 其次为变质岩和沉积岩 (杨玉卿等, 2003). 刘俊海等 (2004) 通过碎屑锆石的年龄及稀土元素配分模式分析表明, 凹陷西斜坡物源来自闽浙隆起, 不同地层间物源无明显差异, 主要为中生代火山岩及火山碎屑岩, 局部为中生代侵入岩及古生代变质岩. 由于丽水—椒江凹陷钻井稀少且分布不均, 现有研究均未能有效识别出凹陷不同位置沉积物源的差异, 因此, 利用有限的钻井样品对凹陷物源进行可信的预测是丽水—椒江凹陷油气勘探面临的难题, 同时也是海上油气勘探亟需解决的问题.

碎屑锆石定年是物源分析的有效方法 (De-Graaff-Surpless *et al.*, 2002; Link *et al.*, 2005), 这种方法的优势在于能够通过碎屑锆石微区定年与潜在物源区岩层 (体) 时代的对比来确定沉积物源 (Fedo, 2003; Fonneland *et al.*, 2004; Thomas, 2011). 浙闽沿海酸性岩浆岩占主导的岩层 (体) 分布 (福建省地质矿产局, 1985; 浙江省地质矿产局, 1989)、大量现有的锆石年龄数据和火山岩地层资料 (Xu *et al.*, 2007; Li *et al.*, 2014) 等为应用碎屑锆石分析研究区沉积物源奠定了基础. 丽水—椒江凹陷西斜坡古新统明月峰组上段地层埋深浅, 发育厚层砂岩, 为便于取样及区域间对比, 本文通过对 4 口钻井明月峰组上段的 4 个样品进行碎屑锆石 U-Pb 测年, 并结合前人闽浙陆域岩石形成及出露规律的认识, 研究其物源平面上的差异及对应的岩性特征, 在此基础上探讨物源控制下的有利储层发育区.

1 区域地质背景

丽水—椒江凹陷位于浙闽沿海东南部, 台湾西

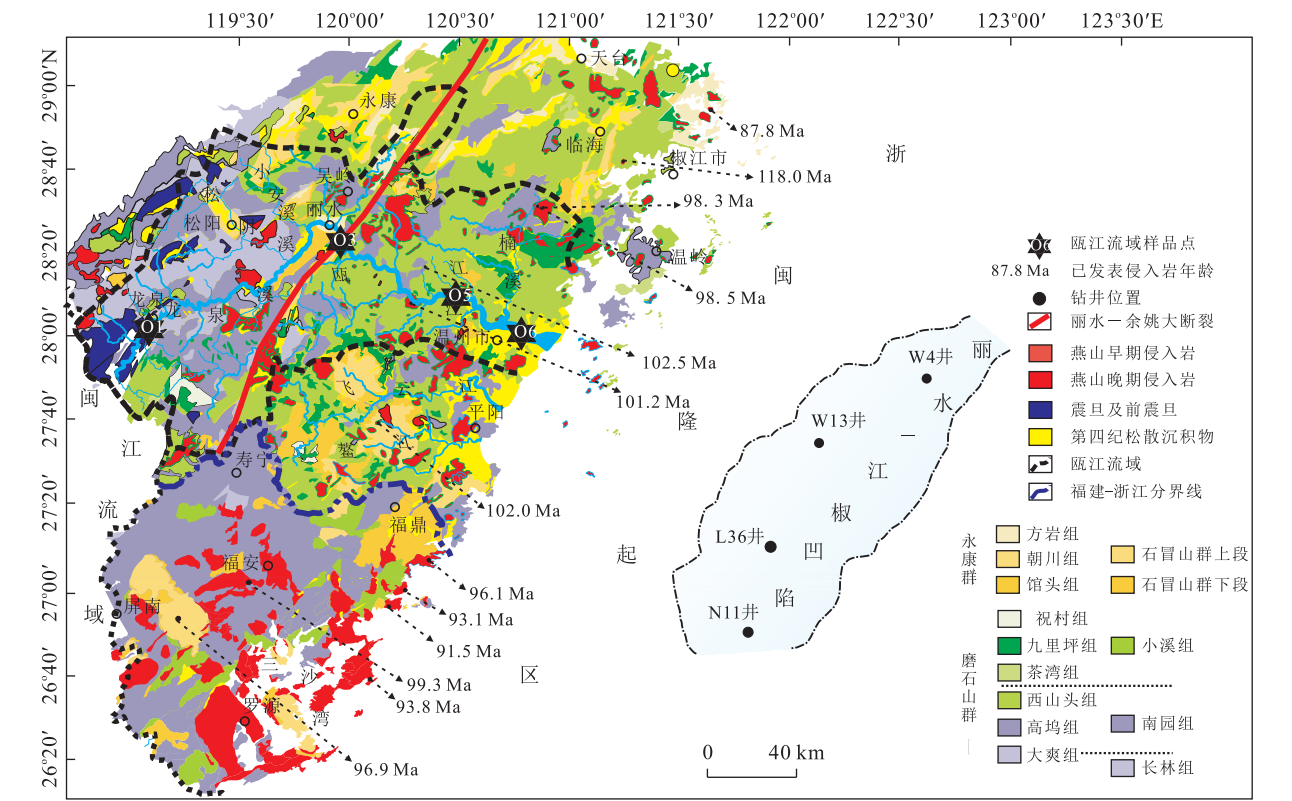


图 1 丽水—椒江凹陷及潜在物源区地质

Fig.1 Geology of Lishui-Jiaojang sag and potential source area

据浙江省地质矿产局(1989)和福建省地质矿产局(1985)修改; 瓯江流域样品位置据 Xu *et al.* (2007); 侵入岩体年龄据邱检生等 (2008, 2011)、李艳军等 (2009, 2010) 和 He and Xu (2012)

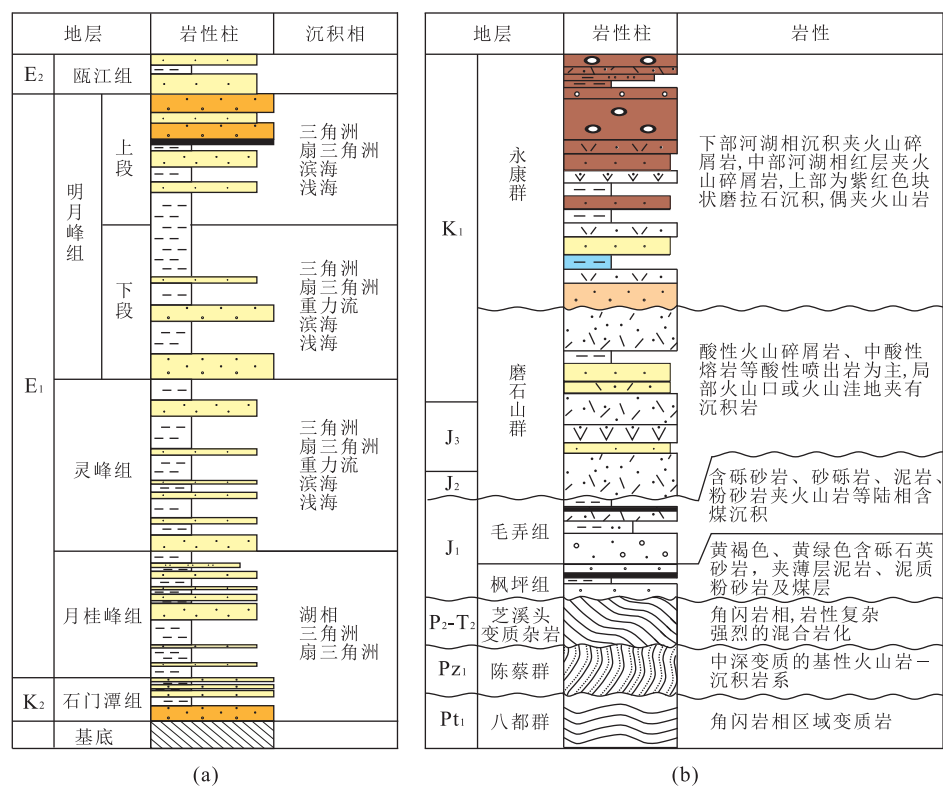


图 2 丽水—椒江凹陷沉积地层综合柱状图(a)和浙东南地层区前新生代地层综合柱状图(b)

Fig.2 Comprehensive stratigraphic column in Lishui-Jiaojiang sag (a) and comprehensive Pre-Cenozoic stratigraphic column of southeastern Zhejiang stratigraphic region (b)

图 a 据田兵等(2012)修改;图 b 岩性据张国全等(2012)和浙江省地质矿产局(1989)

北部海域,是中国东海新生代陆架盆地的一部分(图 1),为晚白垩世末—新生代的弧后裂陷盆地(冯晓杰等,2003).凹陷总体表现为东断西超的结构特征,其裂陷期主要为古新世,发育了月桂峰组、灵峰组及明月峰组沉积地层,始新世开始进入拗陷阶段(夏斌等,2007;田兵等,2012)(图 2).月桂峰组和灵峰组沉积期凹陷东侧控边断裂剧烈活动,内部凸起分割性强;明月峰组下段沉积期,分割凹陷的灵峰凸起作为水下低隆起存在,开始接受沉积;明月峰组上段凹陷处于断拗转换阶段,沉积范围进一步扩大,凹陷西部闽浙隆起区的物源占绝对优势(陈国俊等,2011),物源供给充分,岩性主要为含砾粗砂岩、中砂岩、细砂岩与不等厚泥岩互层,上部常夹多层煤层(田兵等,2012),凹陷西侧多由下部浅海相向上变为含多套煤层的三角洲平原相,发育了一系列进积的三角洲扇体,凹陷内主要发育了滨浅海相及三角洲相沉积,凹陷东侧发育多个扇三角洲扇体.

地球物理资料显示钓鱼岛以西的东海地壳为华南大陆的自然延伸(江为为等,2001;郝天珢等,2006;胥颐等,2006).浙闽陆域主要经历古元古代、

早古生代及晚二叠世—中三叠世 3 期变质作用(Wan *et al.*, 2007; 向华等, 2008; 胡艳华等, 2011; 张国全等, 2012)(图 2),以及 254~204 Ma(Wang *et al.*, 2013; 李万友等, 2012)和 187~86 Ma(刘潜等, 2011; 邱检生等, 2011; Guo *et al.*, 2012; He and Xu, 2012; Liu *et al.*, 2012)两期岩浆活动. 其中 187~86 Ma 的燕山期火山岩浆活动最为强烈,由南向北、由陆向海存在年龄逐渐变年轻、强度逐渐增大的趋势(邢光福等, 2002).浙东南地层区早侏罗统地层局限于浙江内陆,主要为陆相河湖含煤沉积,间夹火山岩;中侏罗统一早白垩统的磨石山群主要以酸性火山碎屑岩、熔岩等酸性喷出岩为主,局部夹沉积岩;早白垩统永康群下部主要为陆相河湖,中部陆相红盆,至上部为陆相磨拉石沉积,不同区域不同层位夹厚度不等的酸性火山碎屑岩(浙江省地质矿产局, 1989)(图 2).

2 样品及测试

本次研究采集丽水—椒江凹陷 W4 井、W13

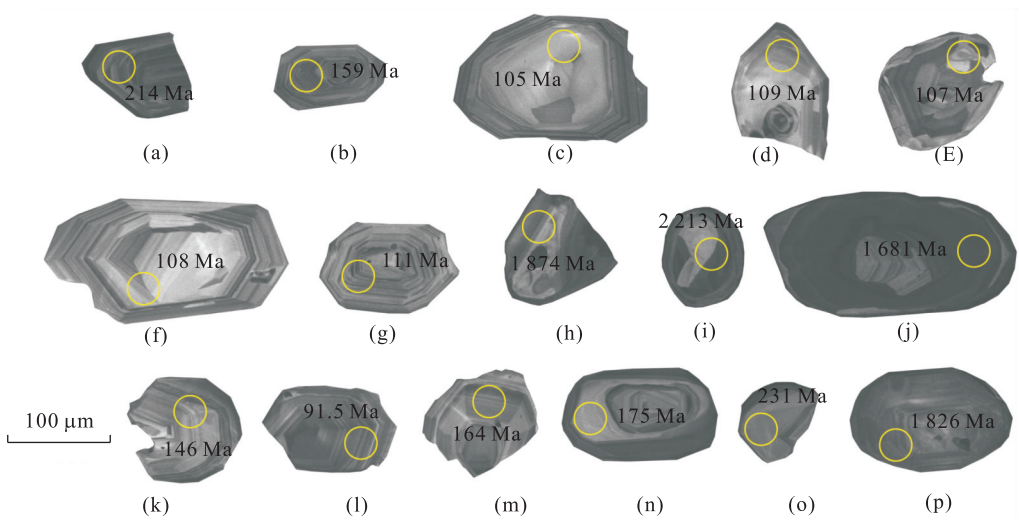


图 4 丽水—椒江凹陷碎屑锆石典型 CL 图像特征

Fig.4 Cathodoluminescence (CL) image of typical detrital zircons from Lishui-Jiaojiang sag

高 Th、高 Th/U 会明显增加同位素扰动的几率 (Williams,1992).本次研究将²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄误差明显偏大数据舍弃,不用于物源分析,包括 L36 井明月峰组上段 8 个、W13 井样品 7 个及 N11 井 1 个的数据点(图 3).

W4 井样品测年的 60 颗锆石中绝大多数发育岩浆锆石振荡环带(图 4a~4c),其中年龄小于 130 Ma 的锆石 Th/U 值均很高,主要集中在 0.5~2.0;220~210 Ma 及 160 Ma 的锆石 CL 图像中颜色相对偏暗(图 4a,4b),Th/U 相对偏低,其中年龄为 219 Ma 的锆石 Th/U 值最低,仅 0.11(图 5),可能为变质锆石.测年的锆石中 85% 的年龄集中分布在 125~90 Ma,表现为两个峰值,其中主峰值年龄为 106 Ma,低矮峰值年龄为 120 Ma;其余锆石在概率分布图中的 90~80 Ma 及 220~210 Ma 表现为两个低矮峰值,频率图中所占总量比例分别为 5% 和 3.3%,还有 4 颗孤立年龄锆石无规律散布(图 6).

W13 井样品测年的 53 个年龄数据显示其锆石均为晚中生代岩浆锆石,所有的锆石均发育典型的岩浆环带(图 4d~4f),部分核结构发育,可见早期结晶锆石的溶蚀(图 4d,4e).Th/U 高,均大于 0.6,最高可达 2.98(图 5).绝大多数测年锆石年龄均分布在 125~100 Ma 区间内,峰值年龄为 110 Ma,仅 2 颗锆石年龄分布在 130~125 Ma,3 颗锆石年龄小于 100 Ma(图 6).

L36 井样品 52 个年龄数据分为晚中生代和元古代两部分,前者约占总量的 89%,分布的年龄区间为 156~103 Ma,后者约 11%,年龄区间为

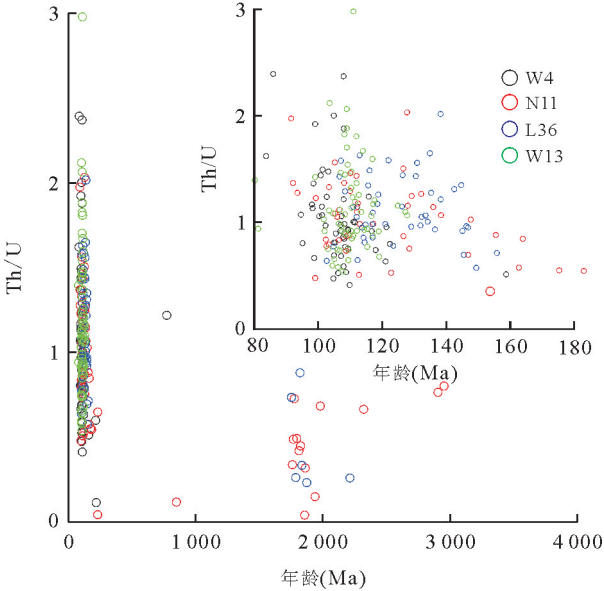


图 5 定年样品的碎屑锆石 Th/U 值

Fig.5 Th/U ratio of zircons analyzed in this study

2 087~1 653 Ma(图 6).晚中生代锆石 CL 图像多为典型岩浆锆石震荡环带(图 4g,4k),Th/U 高,均大于 0.6(图 5),为典型岩浆锆石,存在 112 Ma、136 Ma 和 144 Ma 三个年龄峰值;元古代锆石 CL 图像显示其内部结构复杂,发育残留核,普遍经历了多期增长(图 4h~4j),为典型变质锆石,在概率分布图中 2 100~1 800 Ma 的年龄范围内表现出低矮年龄峰值(图 6).

N11 井 59 颗锆石中,中生代锆石占总量的 76%,分为 115~100 Ma、140~125 Ma、170~160 Ma 及 235~230 Ma 共 4 个年龄区间,对应年龄

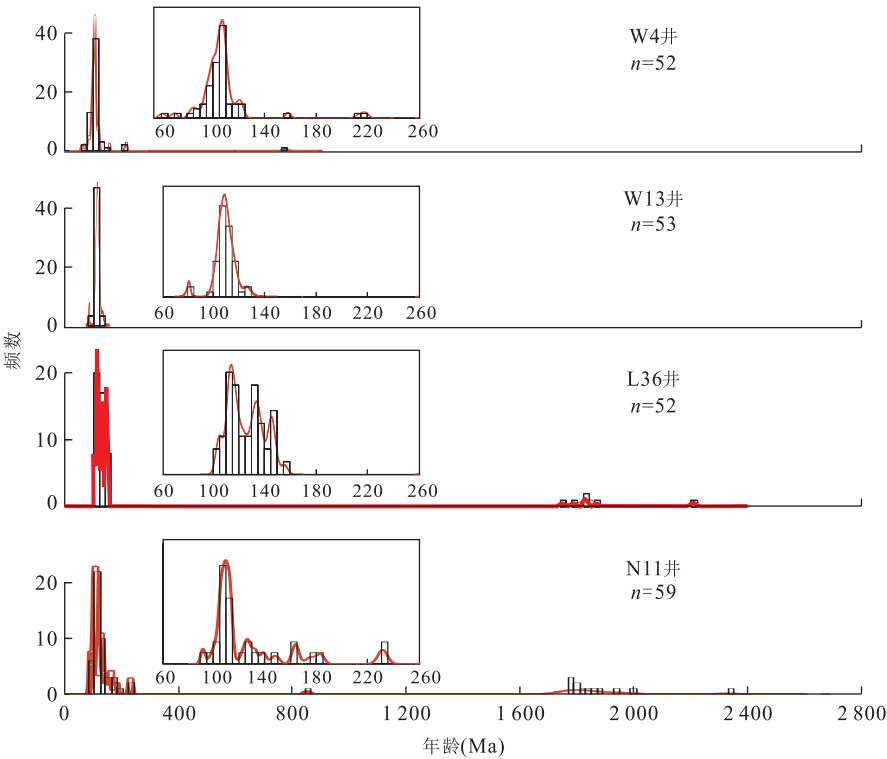


图 6 丽水凹陷明月峰组碎屑锆石年龄谱(n 为测试锆石颗粒数)

Fig.6 Detrital-zircon age-spectra from Mingyuefeng Formation in Lishui sag

峰值分别为 110 Ma、127 Ma、165 Ma 及 231 Ma，其中最明显的峰值为 110 Ma，该组分占总含量的 36% (图 6)。这些锆石中年龄小于 200 Ma 的锆石，CL 为典型岩浆锆石的震荡环带、扇状分带 (图 4i~4n)，Th/U 均大于 0.5；两颗 231 Ma 的锆石，其中一颗为面状分带 (图 4o)，Th/U 为 0.65，另外一颗 Th/U 极低仅为 0.05 (图 5)，为变质锆石；元古代锆石占总量的 18.7%，概率分布图中 2 000~1 700 Ma 的年龄范围内表现为低矮年龄峰值，剩余两颗年龄分别为 849 Ma 和 3 085 Ma 的锆石孤立分布在年龄谱图中 (图 6)。这些元古代锆石 CL 图像颜色普遍较深，经历了多期生长，可见锆石核部的重结晶 (图 4p)，为典型变质锆石，Th/U 值相对较低，分布在 0.03~0.72 范围内 (图 5)。

4 讨论

4.1 潜在物源区岩层 (体) 岩性及其分布

一般认为裂陷盆地裂陷期以近物源为特征 (Gawthorpe and Leeder, 2000)，而准确判断裂陷盆地某一发育期的物源区范围比较困难。本次研究以丽水—椒江凹陷西侧占主体的瓯江流域及飞云江—

鳌江流域为例 (图 1)，对比各岩层 (体) 在流域内的分布，借此对各岩层 (体) 可能的贡献给予一定估计。

变质岩系，岩性复杂，多发生混合岩化 (张国全等, 2012)，其在瓯江流域出露面积仅 5.2%，集中分布在浙江内陆龙泉附近，此外闽西北也有一定分布 (福建省地质矿产局, 1985)，而沿海区域几乎无分布，云江—鳌江流域出露面积为零 (图 1 和表 1)。

侵入岩体主要为晚中生代碱长花岗岩，个别含碱性铁镁矿物 (邱检生等, 2008)。这些侵入岩体在瓯江流域出露面积为 9.1%，飞云江—鳌江流域为 12.3% (表 1)。

火山岩及沉积岩构成浙闽分布最为广泛的晚中生代火山—沉积岩系，其中火山岩主要以酸性 (流纹质、英安流纹质) 为主，基性—中性火山岩 (玄武岩—安山岩) 零星出露 (邢光福等, 1999)。磨石山群以火山岩为主，局部发育沉积岩；永康群受局部构造影响，部分区域以沉积岩为主 (福建省地质矿产局, 1985；浙江省地质矿产局, 1989)。瓯江流域主体为火山岩，占流域比例为 65.8%~77.0%，以磨石山群高坞组和西山头组为主，九里坪组次之；沉积岩所占比例为 4.2%~15.4%，主要分布在永康群火山—沉积岩地层中，其次为大爽组底部。飞云江—鳌江流域白

表 1 瓯江及飞云江—鳌江流域岩层(体)和岩性分布

Table 1 Rocks and its lithological distribution in Oujiang and Feiyunjiang-Aojiang River

岩层(体)		瓯江流域(18 168.75 km ²)			飞云江—鳌江流域(6 630.00 km ²)		
		沉积岩		面积(%)	沉积岩		面积(%)
		剖面(%)	权重比例(%)		剖面(%)	权重比例(%)	
永康群	方岩组	1.3	沉积岩为主	1.3	0		
	馆头组	3.4	31.0~88.3	1.1~3.0	10.8	沉积岩	10.8
	朝川组	1.8	31.8~93.3	0.6~1.7	15.3	31.8~70.0	4.9~10.7
磨石山群	九里坪组	5.1	极少	0	5.8	极少	0
	茶湾组	0.1	沉积岩为主	0.1	0.4	沉积岩为主	0.4
	西山头组	30.8	0~3.6	0~1.1	28.1	0.7~19.0	0.02~5.30
	高坞组	24.8	0~7.8	0~1.9	10.4	极少	0
	大爽组	12.7	极少~39.5	0~5	0		0
	变质岩	5.2	0	0	0		
	侵入岩	9.1	0	0	12.3		
	第四纪	4.5			28.3		
	其他	1.1		1.1	0.8		0.8
总计(第四纪除外)		火山岩+变质岩+侵入岩 79.8%~91.7%			沉积岩+其他 9.3%~20.2%		

注:沉积岩权重比例(%)=流域内岩层面积比(%)×剖面中沉积岩厚度比例(%),其他为长林组(沉积岩为主)和祝村组(无锆石 U-Pb 定年数据),剖面沉积岩比例据浙江省地质矿产局(1989)和张国全等(2012)。

垩世沉积盆地发育,其沉积岩权重比例为 16.1%~27.3%,集中在永康群的馆头组和朝川组火山—沉积岩地层中;火山岩比例为 32.0%~43.3%,主要分布在磨石山群的西山头组和高坞组火山岩中。

4.2 潜在物源区岩层(体)年龄

4.2.1 变质岩 浙闽主要发育 3 期变质作用,其中古元古代八都群的锆石 U-Pb 定年数据显示麻粒岩相变质作用发生的时代为 18.5~18.8 亿 a,而原岩物源区岩层主要形成于 2 002±29 Ma 和 2 451±63 Ma(赵磊,2012),受后期热事件的影响,锆石多存在不同程度的铅丢失,导致以其为物源的碎屑锆石年龄谱变宽(Xu *et al.*,2007);早古生代陈蔡群变质岩锆石 U-Pb 年龄显示主变质时期为 435±4 Ma(胡艳华等,2011);晚古生代—三叠纪芝溪头变质杂岩锆石 U-Pb 定年数据显示主变质期发生在 251~233 Ma(陈多福等,1998;向华等,2008)。此外,闽西北还发现有新元古代麻源群 825~604 Ma 的变质岩系(Wan *et al.*,2007)。

4.2.2 侵入岩 由于古俯冲板块的后撤,导致华南侵入岩体年龄向海方向变新,浙闽沿海区域侵入岩的锆石 U-Pb 年龄集中在 107~90 Ma(Li *et al.*,2014)。图 1 显示已发表的锆石 ²³⁸U/²⁰⁶Pb 年龄主要分布在 87.8~103.0 Ma 范围内(邱检生等,2008,2011;李艳军等,2009,2010;He and Xu,2012),仅在浙江黄土岭发现 118 Ma 的辉长岩(He and Xu,2012)。因此,丽水—椒江凹陷西部潜在物源区的侵入岩体年龄集中在 107.0~87.8 Ma,甚至更年轻。

4.2.3 火山岩 潜在物源区火山岩锆石 U-Pb 年龄主要存在以下问题:(1)除继承锆石及捕获锆石外,多期次岩浆充注过程中对早期结晶锆石进行改造形成岩浆复合锆石(antecryst)(Miller *et al.*,2007),这使得同一样品的岩浆锆石年龄表现为某一个或几个持续的时间段,而非均一年龄;(2)火山岩锆石 U-Pb 年龄样品取自剖面的某一点或几个点,并不能准确反映火山岩地层的起止时间;(3)浙闽火山岩存在显著的时空差异(福建省地质矿产局,1985;浙江省地质矿产局,1989);(4)各火山岩地层,特别是浙东南区域年龄很接近(张国全等,2012;Guo *et al.*,2012)。综合考虑以上因素,本次研究系统总结浙闽沿海区域已发表文献中火山岩锆石 U-Pb 年龄数据,针对浙东南区域火山岩年龄相似这一特征,通过火山岩地层锆石年龄的累计概率曲线,并结合 4 个瓯江流域碎屑锆石年龄谱及岩浆岩分布分析得出浙东南晚中生代火山岩地层锆石年龄如下:

(1)浙东南地层区。①160~145 Ma:一般认为浙东南区域并不存在这一时期的火山岩(张国全等,2012)或分布极少(Liu *et al.*,2012),然而瓯江上游却发现大量该时期的碎屑锆石(图 1,图 7)。目前浙闽区域福建社口剖面原归于“南园组”下部的火山岩在此时期形成(邢光福等,2008),考虑到瓯江上游大爽组和高坞组地层占绝对优势(图 1),并未出露同时期的侵入岩(Li *et al.*,2014),因此这一年龄段的锆石来自划归大爽组或高坞组的火山岩地层,这一情况与福建社口剖面类似;②145~125 Ma:九里

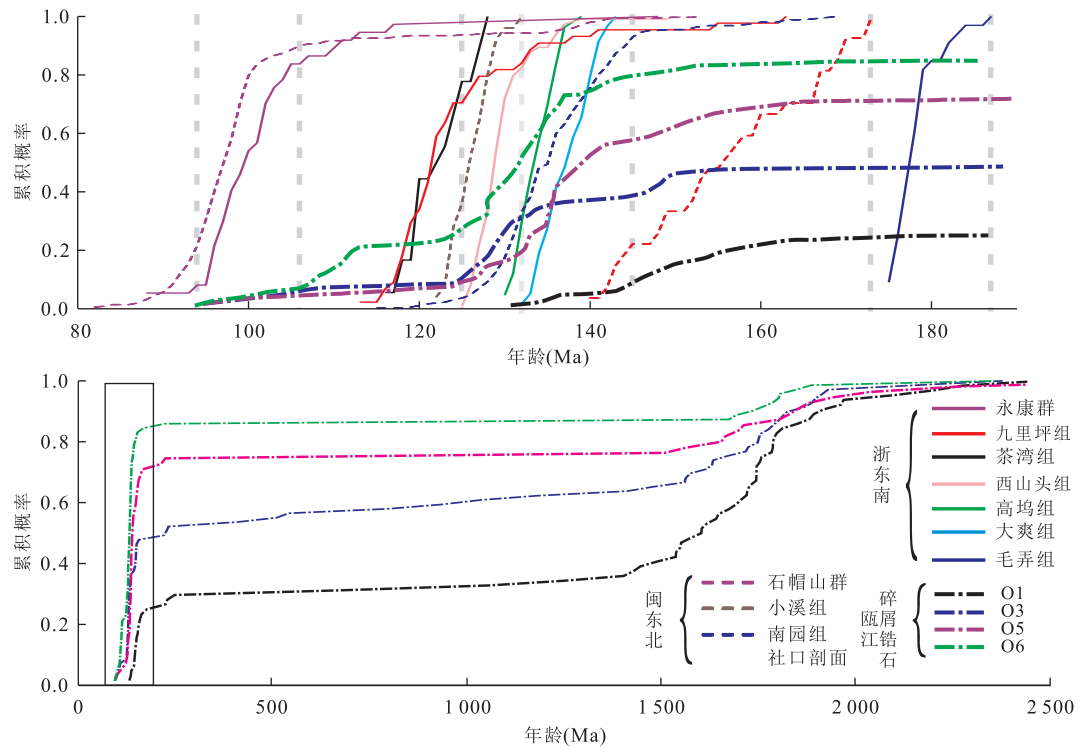


图 7 浙闽沿海晚中生代火山岩锆石及瓯江流域碎屑锆石 U-Pb 年龄累积概率曲线

Fig.7 Cumulative probability curve of zircon U-Pb age of Oujiang River and late Mesozoic volcanic rocks around Fujian and Zhejiang coastal

瓯江流域数据据文献 Xu *et al.* (2007); 浙闽火山岩数据据文献余明刚等 (2006)、邢光福等 (2008)、Li *et al.* (2009)、崔玉荣等 (2010)、Guo *et al.* (2012)、Liu *et al.* (2012)、Hu *et al.* (2012) 和段政等 (2013)

坪剖面大爽组火山岩从下部至上部分别测得 140 ± 1 Ma、 138 ± 1 Ma 及 135.3 ± 0.9 Ma 的均值年龄 (Liu *et al.*, 2012), 累积概率曲线显示年龄分布在 $145 \sim 133$ Ma (图 7); 庆元五大堡剖面高坞组底部和顶部锆石 U-Pb 年龄分别为 136.0 ± 0.8 Ma 和 133.2 ± 0.6 Ma (段政等, 2013), 天台九里坪剖面高坞组从底部至顶部年龄分别为 135.4 ± 0.9 Ma、 133 ± 1 Ma 及 132 ± 2 Ma (Liu *et al.*, 2012), 累积概率曲线显示其年龄主要分布在 $137 \sim 130$ Ma (图 7); 庆元五大堡剖面西山头组火山岩下部和顶部的锆石年龄分别为 131.9 ± 1.9 Ma 和 127.9 ± 0.8 Ma (段政等, 2013), 在天台九里坪剖面从下部至顶部年龄分别为 130 ± 1 Ma、 129 ± 1 Ma 和 128 ± 1 Ma (Liu *et al.*, 2012), 累积概率曲线显示其年龄主要分布在 $139 \sim 125$ Ma (图 7)。瓯江流域碎屑锆石样品显示在西山头组火山岩占绝对优势且无大面积高坞组及大爽组地层分布的中下游 O5 及 O6 样品 (图 1), $145 \sim 132$ Ma 的锆石组分含量远大于有面积高坞组及大爽组地层存在的 O1 和 O2 样品, 西山头组地层极少分布 O1 取样点, 几乎无年龄小于 132 Ma 的锆石 (图 1, 图 7)。

因此, $132 \sim 125$ Ma 的锆石来自西山头组火山岩, 而 $145 \sim 132$ Ma 的锆石除少量来自高坞组及大爽组火山岩地层外, 主要来自西山头组火山岩; ③ $125 \sim 106$ Ma: 浙江石浦九里坪组下部火山岩角砾岩锆石 U-Pb 年龄为 119 ± 2 Ma (Hu *et al.*, 2012); 天台九里坪剖面得到九里坪组上部火山岩年龄为 120.7 ± 0.9 Ma, 茶湾组顶部沉积凝灰岩锆石 U-Pb 年龄为 122 ± 2 Ma (Liu *et al.*, 2012)。锆石 U-Pb 年龄累积概率曲线中, 两地层年龄很难区分, 主要集中在 $125 \sim 114$ Ma (图 7), 考虑到茶湾组地层分布极少, 且以沉积岩为主 (浙江省地质矿产局, 1989) (表 1), 因此茶湾组地层可不讨论。瓯江入海口的 O6 样品含有明显的 $106 \sim 112$ Ma 的年龄组分, 其他流域内大面积分布的大爽组、高坞组、西山头组及永康群火山岩地层的样品均未明显出现此组分, 而 O6 样品流域内最大的变化是楠溪江支流分布有大面积的九里坪组火山岩地层 (图 1, 图 7), 因此这些锆石来自九里坪火山岩; ④ $106 \sim 94$ Ma: 余明刚等 (2006) 测得雁荡山破火山样品年龄分别为 97.2 ± 2.3 Ma、 99.3 ± 3.9 Ma、 105.6 ± 4.5 Ma, 认为属于永康群小平

田组地层。浙江玄坛地永康群馆头组玄武岩年龄为 104 ± 4 Ma(崔玉荣等,2010)。这些锆石 U-Pb 定年数据的累积概率曲线显示年龄主要分布在 $106 \sim 92$ Ma(图 7)。瓯江流域几乎无永康群分布的上游 O1 样品完全缺失此年龄组分,零星出露的中下游区域的 O3、O5 及 O6 样品均有少量该组分出现(图 1,图 7)。综上所述,永康群火山岩的锆石年龄为 $106 \sim 92$ Ma。

此外,Liu *et al.*(2012)测得松阳毛弄剖面毛弄组下部晶屑凝灰岩锆石年龄为 177 ± 1 Ma,其累积概率曲线显示年龄分布在 $187 \sim 175$ Ma(图 7),但在整个瓯江流域其分布可忽略不计(表 1)。

(2)闽东北地层区(主要引自 Guo *et al.*(2012)的研究成果)。福建及广东沿海晚中生代火山岩存在 $168 \sim 145$ Ma、 $143 \sim 130$ Ma 及 $104 \sim 95$ Ma 3 期主要的火山活动(Guo *et al.*, 2012),其中 $168 \sim 145$ Ma 与原福建社口剖面“南园组一段”同期形成(邢光福等,2008;Li *et al.*, 2009),后两期火山活动分别对应南园组及石帽山群。各层位锆石年龄累积曲线显示社口剖面南园组一段时代为 $173 \sim 145$ Ma、南园组为 $145 \sim 130$ Ma、小溪组为 $130 \sim 126$ Ma 及帽山群 $106 \sim 95$ Ma(图 7)。

4.3 潜在物源区各岩层(体)对物源解释的影响

应用碎屑锆石定年进行物源解释最重要的假设是源区岩层中锆石的生长能反映岩层作为独立的地壳单元出现的时间,且锆石的这些变化可以用现有方法和技术有效识别(Moecher and Samson, 2006)。火山岩、侵入岩及变质岩在统计的区域占绝对优势(除去第四纪沉积物,所占比例为 $79.8\% \sim 91.7\%$)(表 1)。来自这些岩层(体)的碎屑锆石年龄组分直接反映物源区存在对应岩层(体)的贡献。由前述可知,潜在物源区中变质锆石年龄均大于 220 Ma(图 8),具弱分带或面状分带,多为无色粒状(向华等,2008;胡艳华等,2011),也可见其他形状,如芝溪头变质杂岩中斜长角闪岩的锆石多为自形短柱状(向华等,2008);火山岩及侵入岩的锆石年龄小于 180 Ma,均为典型的岩浆锆石,以自形一半自形柱状为主,振荡环带发育,高 Th/U 值(邱检生等,2008;李艳军等,2009;崔玉荣等,2010;He and Xu, 2012;Liu *et al.*, 2012;段政等,2013),其中研究区西部闽浙沿海侵入岩体年龄与永康群及部分九里坪组火山岩重叠(图 8)。

沉积岩中锆石反映的是其物源区母岩信息,飞云江—鳌江流域的沉积岩比例为 $16.1\% \sim 27.3\%$ (除去第四纪沉积物外,占比例为 $22.5\% \sim 38.1\%$)

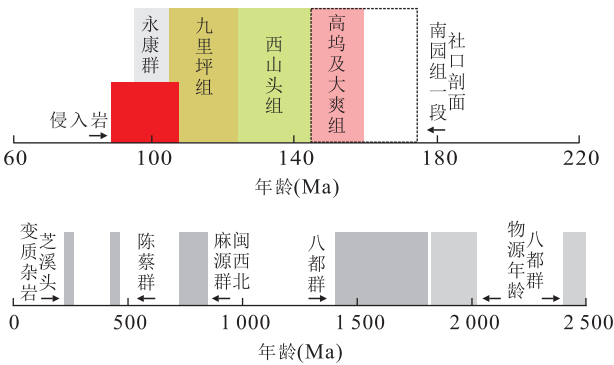


图 8 闽浙陆域前新生代不同岩层(体)锆石 U-Pb 年龄分布
Fig.8 The distribution of zircon U-Pb ages in the different Pre-Cenozoic strata (intrusive mass) of Fujian and Zhejiang region

数据据赵磊(2012)、Xu *et al.*(2007)、胡艳华等(2011)、向华等(2008)、陈多福等(1998)、Wan *et al.*(2007)、Li *et al.*(2014)、邱检生等(2008,2011)、李艳军等(2009,2010)、He and Xu(2012)和 Guo *et al.*(2012)

(表 1),说明局部区域永康群沉积地层可能会有较大面积的出露。磨石山群大爽组底部的沉积岩以变质岩为物源(浙江省地质局,1976),其物源来自前中生代变质基底,而该群其他层位沉积岩形成于局部火山活动间歇期的火山洼地,以茶湾组为代表(浙江省地质局,1976)。永康群沉积岩形成于断陷盆地(主要分布在内陆武义—诸暨区)或火山构造盆地(如飞云江及鳌江流域的山门盆地和文成盆地)(浙江省地质矿产局,1989)。此类沉积岩主要形成于晚中生代大规模火山活动间隙或其后的火山洼地、断陷盆地中,物源以这些火山岩为主,如浙江石浦剖面朝川组和馆头组凝灰质砂岩的碎屑锆石年龄集中分布在 $130 \sim 112$ Ma(Hu *et al.*, 2012),没有发现任何变质年龄的锆石。现今岩层(体)分布为长时期剥蚀的结果,古新统各岩层(体)出露会有一定差异,特别是侵入岩体出露面积肯定小于现今情况。

4.4 明月峰组上段物源分析

W4 井主要为 $125 \sim 90$ Ma 的岩浆锆石,对应九里坪组—永康群火山岩地层及局部出露的侵入岩体,然而由于永康群除火山岩外通常发育相当比例的沉积岩,已有区域证实其物源的锆石年龄为 $130 \sim 112$ Ma(Hu *et al.*, 2012),主要来自九里坪组火山岩,考虑到侵入岩体出露可能很局限,因此 W4 井物源主要来自永康群火山—沉积岩岩系,同时不排除存在九里坪组的贡献。 $220 \sim 210$ Ma 的锆石来自局部小范围出露的变质岩, $90 \sim 80$ Ma 应主要对应于晚白垩侵入岩体,而小于 80 Ma 的锆石代表了更年

轻的岩浆岩的出露。

W13 井样品锆石年龄组分中 90.6% 的锆石分布于 120~105 Ma 范围内, 主要对应九里坪组火山岩地层, 具有单一物源特征, 2 颗 85~80 Ma 的锆石指示源区可能有小规模侵入体存在(图 7)。

L36 井物源主要为早白垩世火山岩, 其中锆石组分中 125~105 Ma(42%) 来自九里坪组火山岩; 132~125 Ma(13.4%) 来自西山头组火山岩; 145~132 Ma(23%) 的锆石来自大爽组—高坞组火山岩地层, 考虑到前述锆石的继承发育现象, 此年龄组分的锆石除大爽组—高坞组火山岩外, 还应有一部分来自西山头组火山岩; 少量 156~145 Ma 的锆石主要来自划归大爽组的火山岩。

N11 井锆石年龄组分大多数为中生代锆石, 主要对应九里坪组火山岩地层(闽东北属于小溪组)(36%), 西山头组(闽东北属于小溪组下部)(12%)、社口剖面“南园组一段”火山岩(12%)及印支期芝溪头变质杂岩(3.4%)。此外, 少量 105~90 Ma 的锆石可能指示其源区为零星出露的侵入岩或永康群火山岩(图 7)。

L36 井及 N11 井样品锆石组分中还存在古元古代变质锆石, 所占比例分别为 11% 和 18.7%, 与大爽组对应年龄组分在两样品中的比例无关, 揭示出两井附近的物源区中有古老变质基底出露(图 7)。这些变质基底与浙江龙泉附近出露的八都(岩)群同期形成, 岩性可能也为黑云斜长片麻岩、变粒岩、黑云片岩和少量斜长角闪岩的区域变质岩(张国全等, 2012)。

东北部的 W4 井物源主要以九里坪组火山岩和永康群火山—沉积岩为主; 中北部的 W13 井变为单一的九里坪组火山岩物源; 中南部的 L36 井物源相对复杂, 主要为磨石山群的九里坪组、西山头组及大爽组—高坞组的火山岩及古元古代区域变质岩; 西南部的 N11 井物源更加多样化, 除磨石山群火山岩及古元古代变质岩外, 还出现印支期变质岩。综上所述, 丽水—椒江凹陷古新统明月峰组上段西斜坡物源以晚中生代火山岩为主, 自东北至西南物源存在明显差异: 东北部物源区火山岩地层年轻, 以九里坪组和永康群为主, 局部可能出露晚白垩侵入岩; 西南部物源区最主要的特征是存在一定规模古元古代区域变质岩, 除此之外, 西山头组成为除九里坪组外主要的物源供给岩层, 局部还存在高坞组火山岩, 临近福建区域的物源区出现侏罗纪火山岩(社口剖面“南园组一段”及瓯江上游“大爽组”)及印支期变质岩。

虽然通过碎屑锆石年龄, 可找到对应的浙闽沿海火山岩地层, 然而实际上这些岩层的岩性在空间上也存在变化, 如九里坪组在浙江内陆的龙泉—奉化一带几乎均为酸性熔岩, 沿海的温州—象山一带则是强熔结凝灰岩为主, 局部区域可见沉积岩夹层(浙江省地质矿产局, 1989)。源区不同岩层(体)锆石含量和粒径的差异会使得含量少、粒径小的岩层的物源信息被不同程度的掩盖(Moecher and Samson, 2006)。除此之外, 下游锆石对上游的稀释作用使得流域上游的锆石组分比例偏小(Cawood *et al.*, 2003), 同时, 水动力条件也可能不会对不同粒径锆石产生影响(Yang *et al.*, 2012), 因此, 研究区锆石年龄组分能基本反映物源区年龄组成, 而其含量并非物源区对应岩层(体)贡献大小的真实反映。

应用碎屑锆石定年方法可以有效识别出丽水—椒江凹陷西斜坡明月峰组上段物源中的变质岩, 而结合区域沉积岩、火山岩的形成和展布规律, 还可识别出火山岩地层及永康群火山—沉积岩。侵入岩与永康群火山岩锆石年龄部分重合, 识别较为困难, 但总体来讲对西斜坡物源的贡献不大。

一般情况下, 物源对砂岩组分起主要的控制作用(Dickinson, 1985), 进而通过影响成岩作用来控制储层物性(Tobin and Schwarzer, 2013)。其中压实作用是大多数碎屑岩储层孔隙度降低的最主要的因素(Tobin and Schwarzer, 2013), 砂岩组分中抗压能力不同的刚性和塑性颗粒的比例起着控制性作用(Pittman and Larese, 1991), 以抗压的石英颗粒为主的砂岩, 压实造成的孔隙度损失约 25%(Paxton *et al.*, 2002), 而火山岩岩屑为主的砂岩中, 孔隙度损失达 50%(Tobin and Schwarzer, 2013)。物源区岩石结晶颗粒的大小很大程度上控制了沉积岩中岩屑的含量, 粒径越大, 砂岩中岩屑越不易形成(Pettijohn *et al.*, 1987), 因此, 不同构造背景的物源区形成的砂岩岩屑含量有显著的差异, 以变质岩及侵入岩为主要物源的砂岩富集石英或长石, 岩屑含量少, 而火山岩为主的砂岩明显富集岩屑(Dickinson, 1985)。Tobin and Schwarzer(2013)通过对墨西哥湾深水砂岩实验模拟表明, 受深部自生石英形成及长石和岩屑溶蚀作用的影响, 富含长石和石英组分的砂岩最有利于浅部(地温小于 120 °C)优质储层的发育, 而含一定量岩屑和长石的砂岩最有利于深部(地温大于 140 °C)储层的发育。研究区物源整体以火山岩占绝对优势, 砂岩中富含火山岩岩屑, 抗压能力差, 在成岩过程中孔隙度迅速降低, 而西南部有较多

变质岩供给的区域,砂岩中石英和长石含量相对增加,储层抗压能力增加,有利于优质储层的发育。

5 结论

(1)丽水—椒江凹陷西部潜在物源区晚中生代火山岩占绝对优势,此外还有少量侵入岩、变质岩,个别区域永康群沉积岩可能有大面积分布,其中大爽组底部沉积岩物源为前中生代变质岩,其他沉积岩形成于火山活动间隙的火山洼地或断陷盆地,物源主要为白垩纪火山岩。

(2)潜在物源区岩层(体)中变质岩年龄大于 210 Ma,晚中生代侵入岩年龄为 107~87.8 Ma,其中火山岩的锆石年龄包括 160~145 Ma、145~132 Ma、132~125 Ma、125~106 Ma 及 106~94 Ma 5 个年龄区间,分别对应社口剖面“南园组一段”、大爽组—高坞组、西山头组、九里坪组及永康群火山岩地层。

(3)丽水—椒江凹陷明月峰组上段西斜坡的东北部物源区以永康群火山—沉积岩和九里坪组火山岩为主;西南部物源主要为九里坪组、西山头组火山岩及元古代区域变质岩,此外还有少量侏罗纪火山岩,这一区域可能更有利于优质储层的发育。

References

- Campbell, S. D. G., Sewell, R. J., Davis, D. W., et al., 2007. New U-Pb Age and Geochemical Constraints on the Stratigraphy and Distribution of the Lantau Volcanic Group, Hong Kong. *Journal of Asian Earth Sciences*, 31(2): 139—152. doi: 10.1016/j.jseae.2007.05.001
- Cawood, P. A., Nemchin, A. A., Freeman, M., et al., 2003. Linking Source and Sedimentary Basin: Detrital Zircon Record of Sediment Flux along a Modern River System and Implications for Provenance Studies. *Earth and Planetary Science Letters*, 210(1—2): 259—268. doi: 10.1016/s0012-821x(03)00122-5
- Chen, D. F., Li, X. H., Pan, J. M., et al., 1998. Metamorphic Newly Produced Zircons, SHRIMP Ion Microprobe U-Pb Age of Amphibolite of Hexi Group, Zhejiang and Its Implications. *Acta Mineralogica Sinica*, 18(4): 396—400 (in Chinese with English abstract).
- Chen, G. J., Li, C., Liang, J. S., et al., 2011. Sedimentary Facies of Mingyuefeng Formation in Oujiang Sag, East China Sea Basin. *Natural Gas Geoscience*, 22(5): 760—769 (in Chinese with English abstract).
- Cui, Y. R., Xie, Z., Chen, J. F., et al., 2010. SHRIMP U-Pb Dating of Zircons from the Late Mesozoic Basalts in Eastern Zhejiang Province and Its Geological Significance. *Geological Journal of China Universities*, 16(2): 198—212 (in Chinese with English abstract). doi: 10.3969/j.issn.1006-7493.2010.02.007
- DeGraaff-Surpless, K., Graham, S. A., Wooden, J. L., et al., 2002. Detrital Zircon Provenance Analysis of the Great Valley Group, California: Evolution of an Arc-Forearc System. *Geological Society of America Bulletin*, 114(12): 1564—1580. doi: 10.1130/0016-7606(2002)114<1564:dzpaot>2.0.co;2
- Dickinson, W. R., 1985. Interpreting Provenance Relations from Detrital Modes of Sandstones. *Provenance of Arenites*, 64: 333—361. doi: 10.1007/978-94-017-2809-6_15
- Dodson, M. H., Compston, W., Williams, I. S., et al., 1988. A Search for Ancient Detrital Zircons in Zimbabwean Sediments. *Journal of the Geological Society*, 145(6): 977—983. doi: 10.1144/gsjgs.145.6.0977
- Duan, Z., Xing, G. F., Yu, M. G., et al., 2013. Time Sequence and Geological Process of Late Mesozoic Volcanic Activities in the Area of Zhejiang-Fujian Boundary. *Geological Review*, 59(3): 454—469 (in Chinese with English abstract). doi: 10.3969/j.issn.0371-5736.2013.03.006
- Fedo, C. M., 2003. Detrital Zircon Analysis of the Sedimentary Record. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 53(1): 277—303. doi: 10.2113/0530277
- Feng, X. J., Cai, D. S., Wang, C. X., et al., 2003. The Mesozoic Tectonic Evolution in East China Sea Shelf Basin. *China Offshore Oil and Gas (Geology)*, 17(1): 33—37 (in Chinese with English abstract).
- Fonneland, H. C., Lien, T., Martinsen, O. J., et al., 2004. Detrital Zircon Ages: A Key to Understanding the Deposition of Deep Marine Sandstones in the Norwegian Sea. *Sedimentary Geology*, 164(1—2): 147—159. doi: 10.1016/j.sedgeo.2003.09.005
- Fujian Bureau of Geology and Mineral Resources, 1985. Regional Geology of Fujian Province. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Gawthorpe, R. L., Leeder, M. R., 2000. Tectono-Sedimentary Evolution of Active Extensional Basins. *Basin Research*, 12(3—4): 195—218. doi: 10.1111/j.1365-2117.2000.00121.x
- Guo, F., Fan, W. M., Li, C. W., et al., 2012. Multi-Stage Crust-Mantle Interaction in SE China: Temporal, Thermal and Compositional Constraints from the Mesozoic Felsic Volcanic Rocks in Eastern Guangdong-Fujian Provinces. *Lithos*, 150: 62—84. doi: 10.1016/j.lithos.2011.12.009

- Hao, T. Y., Xu, Y., Xu, Y., et al., 2006. Some New Understandings on Deep Structure in Yellow Sea and East China Sea. *Chinese Journal of Geophysics*, 49(2): 458—468. doi: 10.1002/cjg2.849
- He, Z. Y., Xu, X. S., 2012. Petrogenesis of the Late Yanshanian Mantle-Derived Intrusions in Southeastern China: Response to the Geodynamics of Paleo-Pacific Plate Subduction. *Chemical Geology*, 328: 208—221. doi: 10.1016/j.chemgeo.2011.09.014
- Hu, G., Hu, W. X., Cao, J., et al., 2012. Zircon U-Pb Dating of the Shipu Limestone in Zhejiang Province, Coastal Southeast China: Implications for the Early Cretaceous Environment. *Cretaceous Research*, 37: 65—75. doi: 10.1016/j.cretres.2012.03.005
- Hu, Y. H., Gu, M. G., Xu, Y., et al., 2011. The Confirmation of the Age of Caledonian Chencai Group in Zhuji Area of Zhejiang Province and Its Geological Significance. *Geological Bulletin of China*, 30(11): 1661—1670 (in Chinese with English abstract). doi: 10.3969/j.issn.1671—2552.2011.11.002
- Jiang, W. W., Song, H. B., Hao, T. Y., et al., 2001. The Characters of Geology and Geophysics of Shelf Basins of East China Sea and Adjacent Sea Area. *Progress in Geophysics*, 16(2): 18—27 (in Chinese with English abstract).
- Li, J. H., Zhang, Y. Q., Dong, S. W., et al., 2014. Cretaceous Tectonic Evolution of South China: A Preliminary Synthesis. *Earth-Science Reviews*, 134: 98—136. doi: 10.1016/j.earscirev.2014.03.008
- Li, L. J., Sun, M., Xing, G. F., et al., 2009. Two Late Mesozoic Volcanic Events in Fujian Province: Constraints on the Tectonic Evolution of Southeastern China. *International Geology Review*, 51(3): 216—251 (in Chinese with English abstract).
- Li, W. Y., Ma, C. Q., Liu, Y. Y., et al., 2012. Discovery of the Indosinian Aluminum A-Type Granite in Zhejiang Province and Its Geological Significance. *Science China: Earth Sciences*, 42(2): 164—177 (in Chinese). doi: 10.1007/s11430—011—4351—6
- Li, Y. J., Wei, J. H., Yao, C. L., et al., 2009. Zircon U-Pb Dating and Tectonic Significance of the Shipingchuan Granite in Southeastern Zhejiang Province, SE China. *Geological Review*, 55(5): 673—684 (in Chinese with English abstract).
- Li, Y. J., Wei, J. H., Yao, C. L., et al., 2010. Genetic Relationship of the Huaixi Copper-Gold Deposit and the Caomen Alkaline Granite, Southeastern Zhejiang Province, China: Constraint from Geochronologies. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 35(4): 585—596 (in Chinese with English abstract).
- Link, P. K., Fanning, C. M., Beranek, L. P., 2005. Reliability and Longitudinal Change of Detrital-Zircon Age Spectra in the Snake River System, Idaho and Wyoming: An Example of Reproducing the Bumpy Barcode. *Sedimentary Geology*, 182(1—4): 101—142. doi: 10.1016/j.sedgeo.2005.07.012
- Liu, J. H., Wu, Z. X., Yu, S., et al., 2005. Paleocene Trace Element Geochemistry and Its Geological Significance in Lishui Sag. *China Offshore Oil and Gas*, 17(1): 8—11 (in Chinese with English abstract). doi: 10.3969/j.issn.1673—1506.2005.01.002
- Liu, J. H., Yang, X. H., Wu, Z. X., et al., 2004. Zircon Tracing Application of Paleocene-Eocene in Lishui Sag of the East China Sea Basin. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 24(1): 85—92 (in Chinese with English abstract).
- Liu, L., Xu, X. S., Zou, H. B., 2012. Episodic Eruptions of the Late Mesozoic Volcanic Sequences in Southeastern Zhejiang, SE China: Petrogenesis and Implications for the Geodynamics of Paleo-Pacific Subduction. *Lithos*, 154: 166—180. doi: 10.1016/j.lithos.2012.07.002
- Liu, Q., Yu, J. H., Su, B., et al., 2011. Discovery of the 187 Ma Granite in Jincheng Area, Fujian Province: Constraint on Early Jurassic Tectonic Evolution of Southeastern China. *Acta Petrologica Sinica*, 27(12): 3575—3589 (in Chinese with English abstract).
- Ludwig, K. R., 2003. Isoplot/Ex Version 3.00: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. *Berkeley Geochron. Cent. Spec. Pub.*, 4: 25—32.
- Miller, J. S., Matzel, J. E. P., Miller, C. F., et al., 2007. Zircon Growth and Recycling during the Assembly of Large, Composite Arc Plutons. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 167(1—4): 282—299. doi: 10.1016/j.jvolgeores.2007.04.019
- Moecher, D., Samson, S., 2006. Differential Zircon Fertility of Source Terranes and Natural Bias in the Detrital Zircon Record: Implications for Sedimentary Provenance Analysis. *Earth and Planetary Science Letters*, 247(3—4): 252—266. doi: 10.1016/j.epsl.2006.04.035
- Paxton, S. T., Szabo, J. O., Ajdukiewicz, J. M., et al., 2002. Construction of an Intergranular Volume Compaction Curve for Evaluating and Predicting Compaction and Porosity Loss in Rigid-Grain Sandstone Reservoirs. *AAPG Bulletin*, 86(12): 2047—2067. doi: 10.1306/61eeddfa—173e—11d7—8645000102c1865d
- Pettijohn, F. J., Potter, P. E., Siever, R., 1987. Sand and Sandstone. Springer-Verlag, 27.

- Pittman, E. D., Larese, R. E., 1991. Compaction of Lithic Sands: Experimental Results and Applications (1). *AAPG Bulletin*, 75: 1279—1299. doi: 10.1306/0c9b292f-1710-11d7-8645000102c1865d
- Qiu, J. S., Liu, L., Li, Z., 2011. Zircon U-Pb Geochronology and Sr-Nd-Hf Isotopic Geochemistry of Quartz Syenite from Wanghaigang Pluton in Huangyan County, Zhejiang Province and Their Implications for Petrogenesis. *Acta Petrologica Sinica*, 27(6): 1557—1572 (in Chinese with English abstract).
- Qiu, J. S., Xiao, E., Hu, J., et al., 2008. Petrogenesis of Highly Fractionated I-Type Granites in the Coastal Area of Northeastern Fujian Province: Constraints from Zircon U-Pb Geochronology, Geochemistry and Nd-Hf Isotopes. *Acta Petrologica Sinica*, 24(11): 2468—2484 (in Chinese with English abstract).
- Thomas, W. A., 2011. Detrital-Zircon Geochronology and Sedimentary Provenance. *Lithosphere*, 3(4): 304—308. doi: 10.1130/rlf.1001.1
- Tian, B., Li, X. Y., Pang, G. Y., et al., 2012. Sedimentary Systems of the Superimposed Rift-Subsidence Basin: Taking Lishui-Jiaojiang Sag of the East China Sea as an Example. *Acta Sedimentologica Sinica*, 30(4): 696—705 (in Chinese with English abstract).
- Tobin, R. C., Schwarzer, D., 2013. Effects of Sandstone Provenance on Reservoir Quality Preservation in the Deep Subsurface: Experimental Modelling of Deep-Water Sand in the Gulf of Mexico. *Geological Society, London, Special Publications*, 386(1): 27—47. doi: 10.1144/sp386.17
- Wan, Y. S., Liu, D. Y., Xu, M. H., et al., 2007. SHRIMP U-Pb Zircon Geochronology and Geochemistry of Metavolcanic and Metasedimentary Rocks in Northwestern Fujian, Cathaysia Block, China: Tectonic Implications and the Need to Redefine Lithostratigraphic Units. *Gondwana Research*, 12(1—2): 166—183. doi: 10.1016/j.gr.2006.10.016
- Wang, K. X., Sun, T., Chen, P. R., et al., 2013. The Geochronological and Geochemical Constraints on the Petrogenesis of the Early Mesozoic A-Type Granite and Diabase in Northwestern Fujian Province. *Lithos*, 179: 364—381. doi: 10.1016/j.lithos.2013.07.016
- Williams, I. S., 1992. Some Observations on the Use of Zircon U-Pb Geochronology in the Study of Granitic Rocks. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences*, 83(1—2): 447—458. doi: 10.1017/s0263593300008129
- Xia, B., Zhang, M. Q., Wan, Z. F., et al., 2007. Structural Styles and Hydrocarbon Prospects in the Lishui-Jiaojiang Sag, the East China Sea. *South China Journal of Seismology*, 27(3): 1—8 (in Chinese with English abstract). doi: 10.3969/j.issn.1001-8662.2007.03.001
- Xiang, H., Zhang, L., Zhou, H. W., et al., 2008. U-Pb Zircon Geochronology and Hf Isotope Study of Metamorphosed Basic-Ultrabasic Rocks from Metamorphic Basement in Southwestern Zhejiang. Response of the Cathaysia Block to Indosinian Orogenic Event. *Science China: Earth Sciences*, 38(4): 401—413 (in Chinese). doi: 10.1007/s11430-008-0053-0
- Xing, G. F., Lu, Q. D., Chen, R., et al., 2008. Study on the Ending Time of Late Mesozoic Tectonic Regime Transition in South China—Comparing to the Yanshan Area in North China. *Acta Geologica Sinica*, 82(4): 451—463 (in Chinese with English abstract).
- Xing, G. F., Tao, K. Y., Yang, Z. L., et al., 1999. Status and Prospect of Volcanic Genesis in Coastal Area of SE China. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 18(3): 189—193 (in Chinese).
- Xing, G. F., Yang, Z. L., Mao, J. R., et al., 2002. Characteristics of Early Jurassic Igneous Rocks on the Continental Margin of Southeastern China and Their Tectonic Significance. *Geological Bulletin of China*, 21(7): 384—391 (in Chinese with English abstract). doi: 10.3969/j.issn.1671-2552.2002.07.004
- Xu, X. S., O'Reilly, S. Y., Griffin, W. L., et al., 2007. The Crust of Cathaysia: Age, Assembly and Reworking of Two Terranes. *Precambrian Research*, 158(1—2): 51—78. doi: 10.1016/j.precamres.2007.04.010
- Xu, Y., Liu, J. H., Hao, T. Y., et al., 2006. P Wave Velocity Structure and Tectonics Analysis of Lithospheric Mantle in Eastern China Seas and Adjacent Regions. *Chinese Journal of Geophysics*, 49(4): 1053—1061 (in Chinese with English abstract).
- Yang, S., Zhang, F., Wang, Z., 2012. Grain Size Distribution and Age Population of Detrital Zircons from the Changjiang (Yangtze) River System, China. *Chemical Geology*, 296: 26—38.
- Yang, Y. Q., Tian, H., Liu, D. N., et al., 2003. Provenance Analysis of the Upper Paleocene in Lishui 36-1 Structure of Lishui Sag, East China Sea Shelf Basin. *Journal of Palaeogeography*, 5(2): 171—179 (in Chinese with English abstract).
- Yu, M. G., Xing, G. F., Shen, J. L., et al., 2006. Chronologic Study on Volcanic Rocks in the Mt. Yandangshan World Geopark. *Acta Geologica Sinica*, 80(11): 1683—1690 (in Chinese with English abstract).

- Yuan, H. L., Gao, S., Liu, X. M., et al., 2004. Accurate U-Pb Age and Trace Element Determinations of Zircon by Laser Ablation-Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry. *Geostandards and Geoanalytical Research*, 28 (3): 353 — 370. doi: 10. 1111/j. 1751 — 908x. 2004. tb00755.x
- Yuan, H., Wu, F., Gao, S., et al., 2003. Determination of U-Pb Age and Rare Earth Element Concentrations of Zircons from Cenozoic Intrusions in Northeastern China by Laser Ablation ICP-MS. *Chinese Science Bulletin*, 48(22): 2411—2421.
- Zhang, G. Q., Wang, Q. S., Yu, Y. P., et al., 2012. Stratigraphic Age and Subdivision of Volcanic Rocks in Eastern Zhejiang. *Journal of Stratigraphy*, 36 (3): 641 — 652 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, L., 2012. Study on the Early Precambrian Metamorphic Evolution and Geochronology of the Badu Group in Southwestern Zhejiang Province (Dissertation). Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 69 — 91 (in Chinese with English abstract).
- Zhejiang Bureau of Geology, 1976. 1 : 200 000 Regional Geological Surveying of Pingyang Region. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Zhejiang Bureau of Geology and Mineral Resources, 1989. Regional Geology of Zhejiang Province. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- ### 附中文参考文献
- 陈多福, 李献华, 潘晶铭, 等, 1998. 浙江景宁鹤溪群斜长角闪岩变质新生锆石特征、离子探针 (SHRIMP) U-Pb 年龄及地质意义. *矿物学报*, 18(4): 396—400.
- 陈国俊, 李超, 梁建设, 等, 2011. 东海陆架盆地瓯江凹陷明月峰组沉积相及沉积特征分析. *天然气地球科学*, 22(5): 760—769.
- 崔玉荣, 谢智, 陈江峰, 等, 2010. 浙东晚中生代玄武岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年代学及其地质意义. *高校地质学报*, 16(2): 198—212.
- 段政, 邢光福, 余明刚, 等, 2013. 浙闽边界区晚中生代火山作用时序与过程分析. *地质论评*, 59(3): 454—469.
- 冯晓杰, 蔡东升, 王春修, 等, 2003. 东海陆架盆地中新世代构造演化特征. *中国海上油气: 地质*, 17(1): 33—37.
- 福建省地质矿产局, 1985. 福建省区域地质志. 北京: 地质出版社.
- 郝天珧, 徐亚, 胥颐, 等, 2006. 对黄海—东海研究区深部结构的一些新认识. *地球物理学报*, 49(2): 458—468.
- 胡艳华, 顾明光, 徐岩, 等, 2011. 浙江诸暨地区陈蔡群加里东期变质年龄的确认及其地质意义. *地质通报*, 30(11): 1661—1670.
- 江为为, 宋海斌, 郝天珧, 等, 2001. 东海陆架盆地及其周边海域地质、地球物理场特征. *地球物理学进展*, 16(2): 18—27.
- 李万友, 马昌前, 刘园园, 2012. 浙江印支期铝质 A 型花岗岩的发现及其地质意义. *中国科学: 地球科学*, 42(2): 164—177.
- 李艳军, 魏俊浩, 姚春亮, 等, 2009. 浙东南石平川花岗岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学及构造意义. *地质论评*, 55(5): 673—684.
- 李艳军, 魏俊浩, 姚春亮, 等, 2010. 浙东南怀溪铜金矿床与曹门碱性花岗岩体成因关系的年代学制约. *地球科学——中国地质大学学报*, 35(4): 585—596.
- 刘俊海, 吴志轩, 于水, 等, 2005. 丽水凹陷古新统微量元素地球化学特征及其地质意义. *中国海上油气*, 17(1): 8—11.
- 刘俊海, 杨香华, 吴志轩, 等, 2004. 东海盆地丽水凹陷古新统锆石示踪作用分析. *海洋地质与第四纪地质*, 24(1): 85—92.
- 刘潜, 于津海, 苏斌, 等, 2011. 福建锦城 187 Ma 花岗岩的发现——对华南沿海早侏罗世构造演化的制约. *岩石学报*, 27(12): 3575—3589.
- 邱检生, 刘亮, 李真, 2011. 浙江黄岩望海岗石英正长岩的锆石 U-Pb 年代学与 Sr-Nd-Hf 同位素地球化学及其对岩石成因的制约. *岩石学报*, 27(6): 1557—1572.
- 邱检生, 肖娥, 胡建, 等, 2008. 福建北东沿海高分异 I 型花岗岩的成因: 锆石 U-Pb 年代学、地球化学和 Nd-Hf 同位素制约. *岩石学报*, 24(11): 2468—2484.
- 田兵, 李小燕, 庞国印, 等, 2012. 叠合断陷盆地沉积体系分析——以东海丽水—椒江凹陷为例. *沉积学报*, 30(4): 696—705.
- 夏斌, 张敏强, 万志峰, 等, 2007. 东海丽水—椒江凹陷构造样式与含油气远景. *华南地震*, 27(3): 1—8.
- 向华, 张利, 周汉文, 等, 2008. 浙西南变质基底基性—超基性变质岩锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素研究: 华夏地块变质基底对华南印支期造山的响应. *中国科学: 地球科学*, 38(4): 401—413.
- 邢光福, 卢清地, 陈荣, 等, 2008. 华南晚中生代构造体制转折结束时限研究——兼与华北燕山地区对比. *地质学报*, 82(4): 451—463.
- 邢光福, 陶奎元, 杨祝良, 等, 1999. 中国东南沿海中生代火山岩成因研究现状与展望. *矿物岩石地球化学通报*, 18(3): 51—55.
- 邢光福, 杨祝良, 毛建仁, 等, 2002. 东南大陆边缘早侏罗世火成岩特征及其构造意义. *地质通报*, 21(7): 384—391.
- 胥颐, 刘建华, 郝天珧, 等, 2006. 中国东部海域及邻区岩石层地幔的 P 波速度结构与构造分析. *地球物理学报*, 49(4): 1053—1061.
- 杨玉卿, 田洪, 刘大能, 等, 2003. 东海陆架盆地丽水凹陷丽水

36-1 构造上古新统物源分析. 古地理学报, 5(2): 171—179.

余明刚, 邢光福, 沈加林, 等, 2006. 雁荡山世界地质公园火山岩年代学研究. 地质学报, 80(11): 1683—1690.

张国全, 王勤生, 俞跃平, 等, 2012. 浙江东部火山岩地区的地层时代和划分. 地层学杂志, 36(3): 641—652.

赵磊, 2012. 浙西南八都群早前寒武纪变质演化与年代学研究(硕士学位论文). 北京: 中国地质科学院, 69—91.

浙江省地质局, 1976. 1: 200 000 平阳幅区域地质调查报告. 浙江: 浙江省地质局.

浙江省地质矿产局, 1989. 浙江省区域地质志. 北京: 地质出版社.

《地球科学——中国地质大学学报》更名为《地球科学》的启事

为了避免刊名被误用和适应专业化的办刊要求, 经研究并报请国家新闻出版广电总局批准(新广出审[2015]849 号), 《地球科学——中国地质大学学报》将自 2016 年 1 月起更名为《地球科学》, 新编国内统一连续出版物号为 CN42-1874/P, 原刊号 CN42-1233/P 作废; 出版单位由中国地质大学学报编辑部变更为《地球科学》编辑部. 办刊宗旨为: 刊载地球科学领域研究新进展、新理论和新发现, 促进该领域的国内外学术交流, 提高我国在该领域的学术研究水平, 服务我国地质教育、地质科技与地质找矿事业繁荣发展.

更名后的《地球科学》继续为北大核心、CSCD 核心和中国科技核心刊物, 持续被美国《EI》、《CA》、俄罗斯《AJ》、日本《JSTD》等世界著名国际检索系统所收录. 该刊已荣获国家期刊奖、首届湖北出版政府奖、全国百强科技期刊奖、高校精品科技期刊奖、湖北十大名刊成就奖等 20 多项国家和省部级奖励, 2014 年入选“中国最具国际影响力学术期刊”.

竭诚欢迎地球科学领域的读者、作者朋友踊跃向《地球科学》投稿!

期刊网址为 www.earth-science.net
投稿网址为 <http://mc03.manuscriptcentral.com/es>

《地球科学》编辑部