

# 东海丽水凹陷晚古生代碎屑锆石的发现及其意义

付晓伟<sup>1</sup>, 朱伟林<sup>2</sup>, 钟 锴<sup>2</sup>, 陈春峰<sup>1,3</sup>

(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(中国)有限公司 上海分公司, 上海 200030)

**摘要:** 通过对东海新生代陆架盆地丽水凹陷 N6 井月桂峰组 and 灵峰组下段地层碎屑锆石 U-Pb 定年, 发现月桂峰组碎屑锆石主要为岩浆锆石, 包括 140—90 Ma 和 190—170 Ma 两个年龄组分, 并有零星的大于 400 Ma 的变质锆石; 向上至灵峰组下段碎屑锆石中除上述锆石年龄组分外, 新出现 280—260 Ma 的变质锆石组分, 说明除 140—90 Ma 及 190—170 Ma 岩浆岩物源外, 随着物源区持续剥蚀, 至灵峰组下段物源区明显加入了 280—260 Ma 变质岩. 这一与二叠纪相关的变质碎屑锆石和变质作用, 可能与晚古生代古太平洋板块汇聚华南大陆有关.

**关键词:** 碎屑锆石; U-Pb 定年; 丽水凹陷; 构造关联

**中图分类号:** P54

**文献标志码:** A

## Discovery of Late Paleozoic Detrital Zircons in Lishui Sag, East China Sea, and Its Significance

FU Xiaowei<sup>1</sup>, ZHU Weilin<sup>2</sup>, ZHONG Kai<sup>2</sup>, CHEN Chunfeng<sup>1,3</sup>

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

**Abstract:** Detrital zircons were selected for U-Pb isotopic dating from Yueguifeng Formation (YF) and Lower Lingfeng Formation (LF) of the well N6 in Lishui Sag, East China Sea Shelf Basin. The results show that detrital zircons in YF are mainly magmatic zircons formed between 140—90 Ma and 190—170 Ma, while others are minor and mostly metamorphic zircons, older than 400 Ma in age. Apart from the above age populations, metamorphic zircons formed in 280—260 Ma appear in LF. This indicates that the provenance of YF is mainly magmatic rocks of 140—90 Ma and 190—170 Ma. With sustained erosion of the source area, metamorphic rocks that formed in 280—260 Ma are significantly exposed and added. These permian detrital zircons with metamorphism

may be related to the convergence between paleo-Pacific plate and South China.

**Key words:** detrital zircon; U-Pb dating; Lishui Sag; tectonic correlation

关于华南东南部晚古生代的区域构造认识, 主要依据有两方面, 一方面是海南岛出露有二叠纪的岩浆岩记录, 而华南东南部其他区域却很缺乏<sup>[1-4]</sup>, 另一方面是同时期华南东南部中晚二叠世岩相古地理发生了重大改变<sup>[1,5-6]</sup>. 对此, 不同学者提出了不同的解释模式. 碰撞模式认为华南与印支<sup>[4]</sup>或印支—南海块体<sup>[3]</sup>碰撞拼合; 古太平洋板块俯冲模式认为构造线为 NE—SW, 俯冲带位于包括海南岛的华南东南部<sup>[1]</sup>. 但是中新界岩层的大面积覆盖可能是现今华南东南部缺乏相应记录的主要原因. 现有研究表明, 华南晚古生代地层的碎屑锆石中普遍含有相当比例年龄为 290—260 Ma 的岩浆锆石, 而且它们的  $\epsilon_{\text{Hf}}(\text{T})$  同位素值显示出与俯冲有关的壳幔混合特征<sup>[7-9]</sup>. 这些碎屑锆石可能来自东南部古太平洋俯冲形成的岛弧<sup>[7]</sup>, 梁新权等<sup>[8]</sup>更倾向于认为其来自(西)南部与古特提斯洋演化相关的造山带. 东海丽水凹陷古新统中新发现了 280—260 Ma 变质碎屑锆石, 这为深化认识华南晚古生代构造演化模式提供了重要证据.

## 1 地质背景

东海地壳为华南大陆的自然延伸, 地球物理资料显示钓鱼岛以西的东海区域表现为与华南大陆接连成片的低值重力异常区<sup>[11-14]</sup>. 年代学资料也支持这一观点. 灵峰凸起中部的灵峰 1 井发现了 1 813

Ma(Rb-Sr法)形成的黑云母角闪斜长片麻岩<sup>[15]</sup>,其为浙闽八都群向东海的自然延伸,同时还可能存在与鹤溪群对应的晚古生代变质岩<sup>[16]</sup>.东海陆架盆地中生代以来经历了早侏罗世—晚白垩世的弧前盆地<sup>[17]</sup>、晚白垩世末—新生代的弧后裂谷盆地<sup>[18-19]</sup>两个不同类型的盆地发育阶段.

丽水—椒江凹陷为新生代东海陆架盆地的一部分,位于闽浙东南、台西北、钱塘凹陷以南、雁荡凸起以西<sup>[20]</sup>,与闽浙东南海岸线近平行,总体呈北东—南西走向(图1).其南半段为丽水凹陷,以灵峰凸起为界分为东、西两个次洼<sup>[21]</sup>(图1).晚白垩世—古新世为丽水—椒江凹陷的裂陷期,表现出东断西超的结构特征<sup>[22]</sup>,依次主要发育了月桂峰组的湖相、灵峰组及明月峰组的海陆交互相沉积<sup>[23]</sup>.

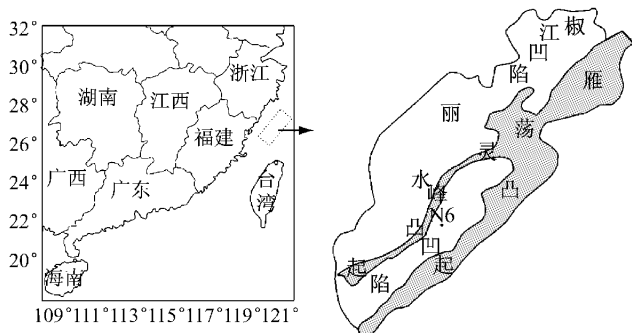


图1 N6井区域位置图<sup>[7]</sup>

Fig.1 Regional location map of Well N6

## 2 样品及测试

本次研究采集丽水凹陷 N6 井(图1)月桂峰组及灵峰组下段两个砂岩岩屑样品,均重 2 kg.将样品反复细碎至 70 目(212  $\mu\text{m}$ ),经淘洗、重液分离、磁选,完成锆石的挑选,然后在保证能覆盖各种颜色、晶形和大小的前提下,随机选取 250~300 颗锆石制靶,抛光至近最大面.

以锆石 CL 图像(阴极发光电子图像)为基础,结合透反射光,按照锆石排列顺序逐个进行测年锆石及测年位置的选取.锆石 CL 图像采用北京锆年领航科技有限公司 JSM6510 扫描电子显微镜 Gatan 阴极荧光探头.选定测年锆石及区域后,进行锆石 U-Pb 同位素定年,测试工作由中国地质大学(武汉)地质工程与矿产资源国家重点实验室的激光剥蚀等离子体质谱仪(LA-ICP-MS)完成.测试过程中,激光束斑直径 32  $\mu\text{m}$ ,同位素分馏应用标样锆石 91500 进行外标校正,分析流程参考文献<sup>[24]</sup>,同位素数据处理采用 ICPMSDataCal(7.2)软件进行,ISOPLOT

(3.7)软件进行年龄计算处理及协和图成图,单个测试数据误差为 1 $\sigma$ .年轻锆石选用<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 年龄为锆石形成年龄<sup>[25]</sup>,年龄大于 1 000 Ma 的锆石选用<sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb 年龄<sup>[26]</sup>.

## 3 分析结果

月桂峰组和灵峰组下段样品分别测试了 55 颗和 60 颗锆石,在 U-Pb 年龄协和图中晚中生代年龄的<sup>207</sup>Pb/<sup>235</sup>U 误差明显偏大,<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 误差很小,表现出近平行于<sup>207</sup>Pb/<sup>235</sup>U 坐标轴的直线(图2).这种现象在年轻锆石中经常出现,是因<sup>207</sup>Pb 含量太小不能准确测定所致<sup>[27]</sup>,因此本次研究将此类锆石的<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 年龄作为有效年龄.Xu 等<sup>[28]</sup>对瓯江流域元古代碎屑锆石的研究结果显示协和线右侧的元古代锆石代表了后期不同程度的热事件,因此本次研究中协和线右侧年龄大于 1 000 Ma 的锆石,可能受到不同程度铅丢失的影响,但这些锆石依旧反映了其形成于元古代,仍具有物源指示意义.月桂峰组样品的碎屑锆石 U-Pb 年龄包括三类,分布在 90—140 Ma,170—190 Ma 及大于 200 Ma 范围内(图2a),其中 53%的锆石年龄集中在 90—140 Ma 范围内,其 Th/U(质量比)值高,主要为 0.50~1.20,个别锆石 Th/U 值达 1.7(图3),CL 图像中多表现为典型岩浆锆石的震荡环带,少量扇形分带(图4a~4b),为典型岩浆锆石;17%的锆石年龄分布在 170—200 Ma,其 Th/U 值主要集中在 0.25~0.60 范围内,CL 图像中多表现为岩浆锆石震荡环带,个别无明显分带(图4c~4f),为岩浆成因;其余锆石年龄分布零散,Th/U 值差异也比较大,其中 226 Ma 的锆石,Th/U 值为 0.64(图3),CL 图像中震荡环带发育(图4g),可能为岩浆锆石;而年龄大于 400 Ma 的锆石,CL 图像中可见弱分带、无分带、流动状分带,同时均显示经历了多期生长(图4h~4l),为典型变质锆石.

灵峰组下段样品的碎屑锆石年龄可分为 95—130 Ma,170—210 Ma,250—280 Ma 及大于 400 Ma 四个主要的年龄区间(图2b).46.7%的锆石年龄集中在 90—130 Ma,Th/U 值主要分布在 0.50~1.50 的范围内(图3),CL 图像颜色较浅,绝大多数表现为典型岩浆锆石震荡环带,部分为扇形分带(图5a~5d);18.3%的锆石年龄分布在 170—210 Ma,Th/U 值相对较低,主要集中在 0.15~0.70,CL 图像主要表现为震荡环带发育的岩浆锆石特征(图5e~5f及

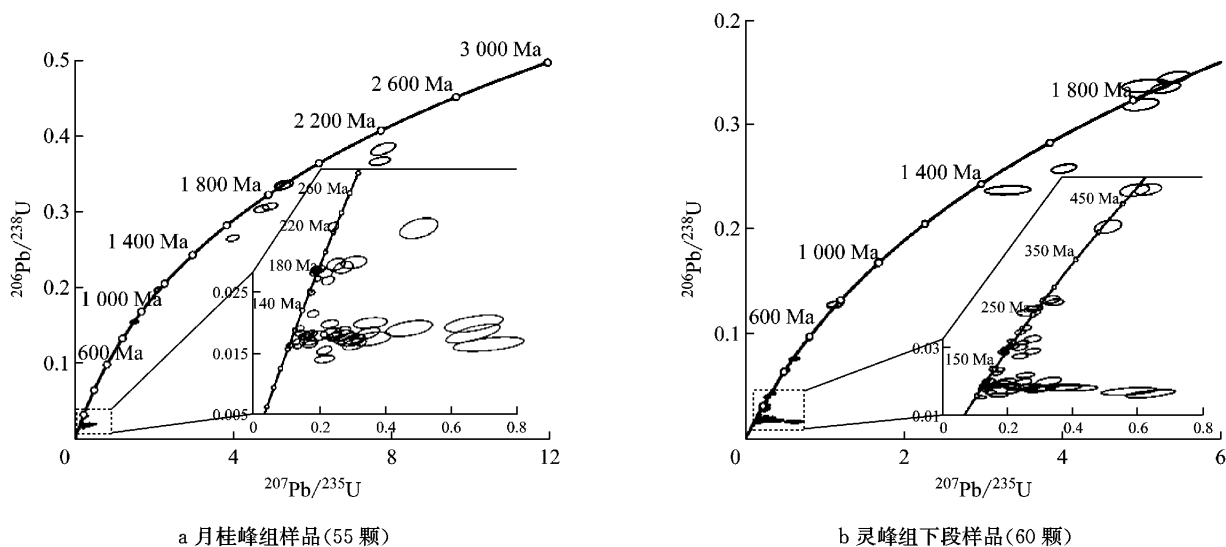


图 2 碎屑样品锆石 U-Pb 年龄协和图

Fig.2 Concordia plot for analyzed samples

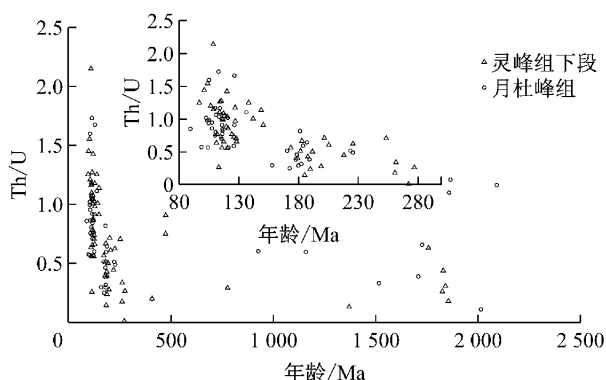


图 3 定年样品的碎屑锆石 Th/U 值分布

Fig.3 Th/U ratio of zircons analyzed

5i), 部分锆石环带不发育, 显示弱分带、无分带特征 (图 5g~5h), 此类锆石可能经历变质作用; 8.3% 的锆石年龄分布在 250—280 Ma 范围内, 其中年龄为 254 Ma 的锆石 Th/U 值较高为 0.70, CL 图像表现为震荡环带 (图 5k), 其余锆石为变质锆石, Th/U 值较低, 分布在 0.01~0.33 的范围内, CL 图像为弱分带或面状分带 (图 5l~5n), 可见变质重结晶 (图 5m), 部分锆石形状近椭圆, 具明显核结构及最外部变质增生边 (图 5n); 年龄大于 400 Ma 的锆石 Th/U 值差异大, CL 图像均表现为变质锆石特征, 见弱分带、面状分带 (图 5o~5r).

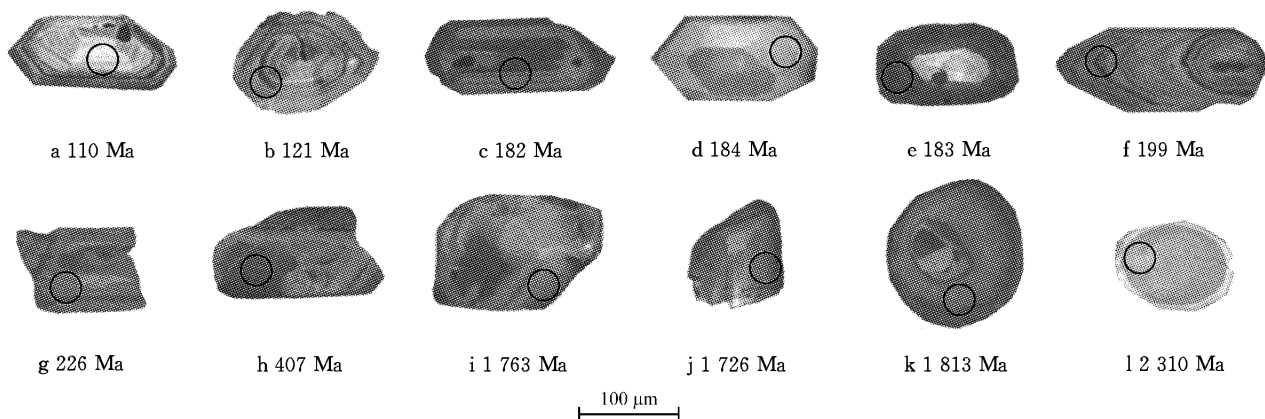


图 4 月桂峰组典型碎屑锆石阴极发光图像

Fig.4 Cathodoluminescence image of typical detrital zircons from YF sample

#### 4 碎屑锆石物源分析

田兵等<sup>[23]</sup>利用岩芯、地震、录井、测井等资料对丽水凹陷沉积相进行的研究表明, 位于灵峰凸起南

侧的 N6 井在月桂峰组及灵峰组沉积期的物源均来自灵峰凸起, 这一结果符合裂谷盆地裂陷期近物源沉积的特征<sup>[29]</sup>. 目前灵峰凸起已钻至基底的钻井均揭示灵峰凸起出露不同时代的片麻岩基底<sup>[21]</sup>, 其上被明月峰组地层覆盖<sup>[23]</sup>.

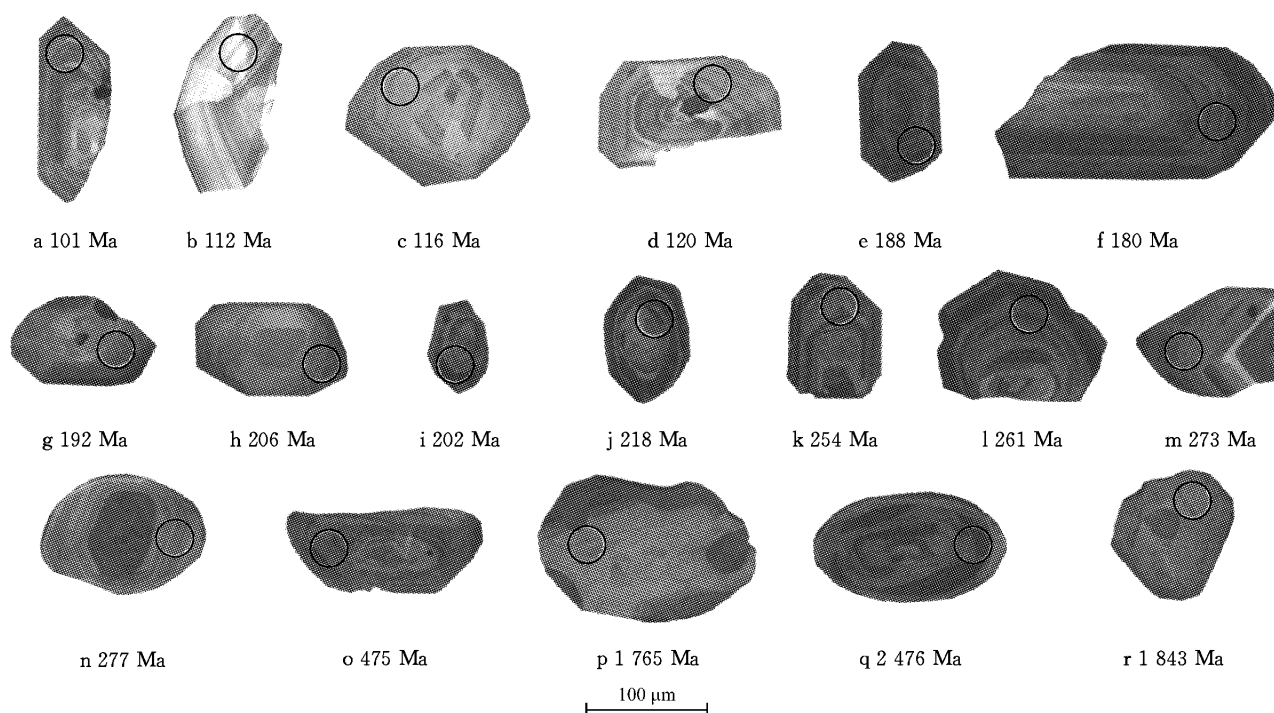


图5 灵峰组下段典型碎屑锆石阴极发光图像

Fig.5 Cathodoluminescence image of typical detrital zircons from LF sample

月桂峰组碎屑锆石年龄谱显示 90—140 Ma 及 170—190 Ma 为锆石年龄的主要组分,所占比例分别为 53%和 17%(图 6)。这两组锆石均为岩浆锆石,指示物源区两个时代形成的岩浆岩,且前者占绝对优势。年龄大于 400 Ma 的锆石均为变质成因,在年龄谱中孤立散布,无明显规律性。这种现象分布的锆石

不一定具物源指示意义<sup>[30]</sup>,很可能来自已存在的沉积岩或变质沉积岩<sup>[31]</sup>,然而考虑到灵峰凸起已有钻井发现 1 813 Ma(Rb-Sr 法)的片麻岩<sup>[15]</sup>,部分锆石可能来自元古代变质岩,同时不排除存在多旋回现象。

灵峰组下段锆石年龄谱显示出与下伏月桂峰继

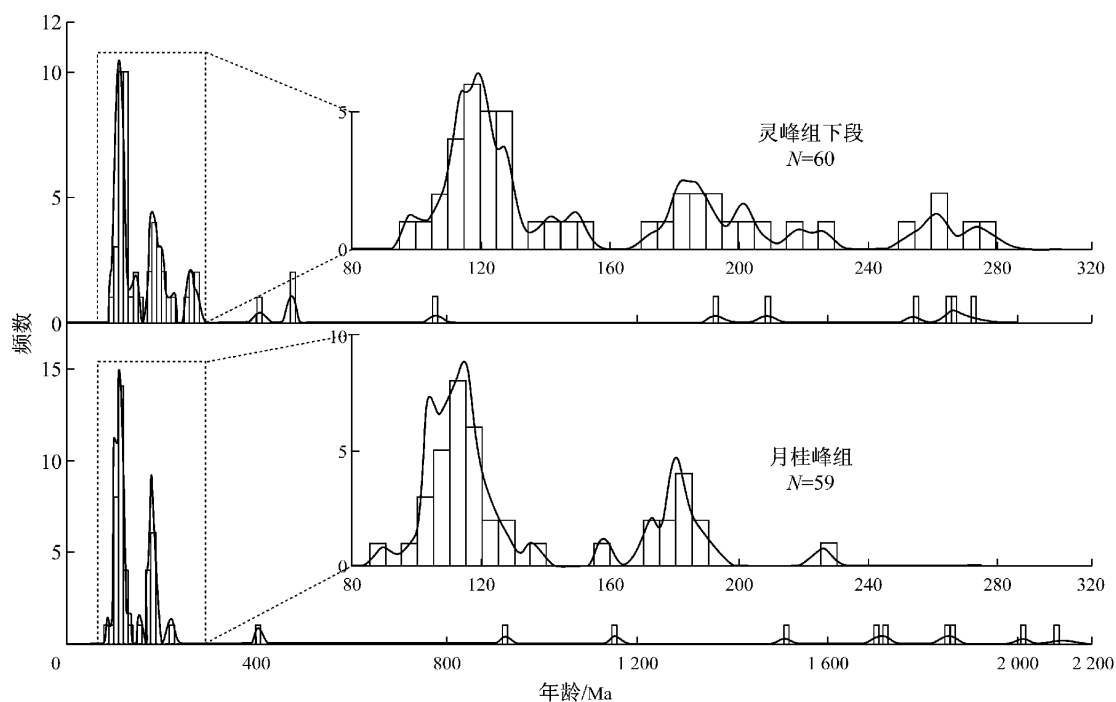


图6 丽水凹陷 N6 井碎屑锆石年龄谱图及频率分布直方图

Fig.6 Frequency spectrograms and age spectra of zircon populations of samples from Well of N6

承性演化的特征,一个明显的变化是年龄谱变宽,新增加了 190—210 Ma 及 250—280 Ma 的锆石。190—210 Ma 的 3 颗锆石可能为变质成因,指示有变质物源的加入;250—280 Ma 的锆石中,其中 1 颗 254 Ma 的锆石为岩浆锆石,年龄分布在 260—280 Ma 的锆石均为变质锆石,指示其物源区存在该时期变质岩。

灵峰凸起在月桂峰组沉积期广泛分布中生代火山岩,随着剥蚀的持续进行,至灵峰组下段流域内部分区域火山岩剥蚀殆尽,出露基底变质岩,特别是 260—280 Ma 形成的变质岩,还作为一主要的年龄组分出现。考虑到流域内下游对上游锆石强烈的稀释作用<sup>[32]</sup>及不同岩石间锆石含量和粒径差异的影响<sup>[33]</sup>,新增加的变质岩物源可能远高于其对应的年龄组分的比例。经历了月桂峰组至灵峰组上段的剥蚀后,灵峰凸起上覆的中生代火山岩大多被剥蚀,使得现今的所有三口钻井均直接钻至变质基底,缺失火山岩。

## 5 讨论

关于华南晚古生代构造演化的认识,海南岛出露的晚古生代岩浆岩引起众多学者注意, Li 等<sup>[1]</sup>提出其为古太平洋板块俯冲的结果,温淑女等<sup>[2]</sup>进一步的地化及构造特征研究认为花岗岩类型、时代或 NW 向构造线均可与三江构造带进行良好对比,反映的是华南与印支<sup>[4]</sup>或印支—南海块体<sup>[3]</sup>的碰撞拼合。古地理研究表明,中晚二叠世华南南部无明显南北向或北西向展布的碎屑岩分布区<sup>[33]</sup>,广西十万大山前陆盆地的整个演化过程明显受控于南东方向的强烈挤压,且盆地 NE—SW 向展布<sup>[34]</sup>,这些证据与碰撞模式不符。

丽水凹陷 N6 井碎屑锆石物源分析表明,东海陆架盆地新生代沉积岩及中生代火山岩下存在 280—260 Ma 的变质基底,地球物理资料也支持东海晚古生代变质基底存在的可能性<sup>[12,16]</sup>,这些说明东海可能存在晚古生代的俯冲或造山作用。本文新发现的晚古生代变质碎屑锆石与日本 Akiyoshi 增生杂岩带形成时代相同,后者被认为是古太平洋板块俯冲的直接证据<sup>[35]</sup>。Li 等<sup>[7]</sup>详细研究了华南东南部晚古生代地层中的碎屑锆石,发现普遍存在 280 Ma 的峰值年龄(图 7),这些锆石的 Hf 和 O 同位素显示其产生于壳幔混合环境,形成于活动大陆边缘。Li 等<sup>[36]</sup>对台湾东部片岩中的碎屑锆石进行了详细研究,认为 280—250 Ma 华南大陆东侧存在安第斯型岛弧。

因此,东海晚古生代变质基底很可能是古太平洋板块俯冲造山的结果(图 7)。浙西南 251—233 Ma 变质基性—超基性岩<sup>[37]</sup>、闽西北 254—242 Ma 俯冲背景下形成的正长岩<sup>[38]</sup>及台湾大南澳变质沉积岩<sup>[36]</sup>和闽浙沿海河流的碎屑锆石年龄谱<sup>[31, 39]</sup>均表明这种汇聚作用可延续至三叠纪。

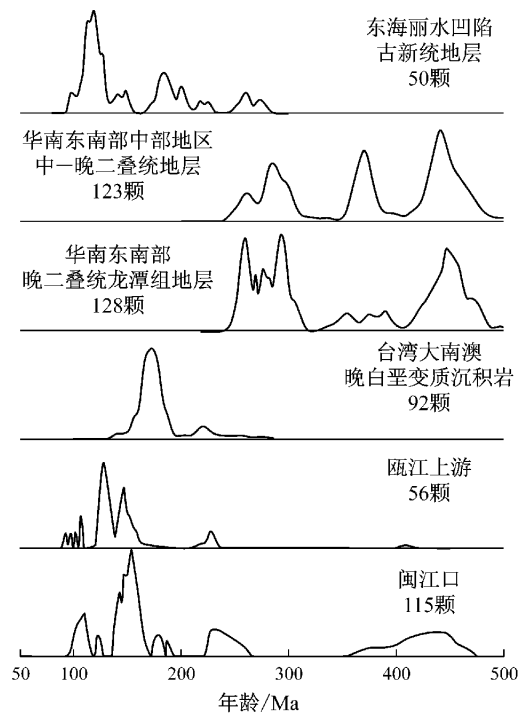


图 7 华南东南部碎屑锆石年龄谱<sup>[7,8,36,28,39]</sup>

Fig. 7 Age spectra of zircon populations from different areas of southeast of South China

华南晚古生代岩相古地理发生了重大转变,碳酸盐台地结束,出现大范围碎屑岩沉积<sup>[1,5]</sup>,特别是中—晚二叠世间的东吴运动形成了广布于整个华南东部的不整合及局部造山带前陆盆地,岩相及古生物等发生重大变化<sup>[40-44]</sup>。早二叠中晚期后长时间存在东南方向的物源,主要表现为:① 华南东南部早二叠世茅口期开始出现大范围的碎屑岩<sup>[5]</sup>,湘、赣、闽、浙、苏下二叠统龙潭组(或与之相当的层位)底部普遍发育粗碎岩,且向东南方向粒度变大<sup>[44]</sup>,如福建翠屏山组(相当于龙潭组)沉积中心位于龙岩—漳平—永安一线,东西两侧厚度减薄,西以泥岩、粉砂岩为主,东以砂岩为主,见植物化石<sup>[45]</sup>,指示物源来自福建东部;② 福建东南部早三叠世溪口组普遍发育深水重力流沉积<sup>[46-48]</sup>,物源分析显示出活动大陆边缘或大陆岛弧的特征<sup>[48-49]</sup>,深水硅质岩地球化学特征反映本应位于深海的硅质岩,其物源来自大陆边缘而非典型深海洋盆<sup>[50]</sup>。这些用仅存在西北部

被动陆缘或者南部造山带的模式很难解释,指示华南东南沿海方向大陆岛弧物源的存在。除沉积证据外,印支期闽浙地区发育大规模的NE—SW向挤压构造<sup>[49,51-52]</sup>,且这些挤压构造自南东向北西变形减弱<sup>[52-54]</sup>,进一步表明此期构造事件可能延续至三叠纪。

华南晚古生代地层普遍含大量与古太平洋板块俯冲相关的岩浆碎屑锆石,然而现今的陆域河流中几乎无二叠纪古太平洋板块俯冲的碎屑锆石记录(图7)。由前述的碎屑锆石分析可知东海丽水凹陷晚古生代变质基底被上覆的中生代多期次火山岩及新生代沉积岩覆盖,只有在充分剥蚀后才可能在一定时期内出露。现今的闽浙沿海被大规模中生代火山岩覆盖,再加上流域内二叠纪碎屑岩出露很局限<sup>[45,55]</sup>,古俯冲带岩浆弧主要位于现今华南东南部海域<sup>[1]</sup>,这些可能是华南东南部无晚古生代岩浆岩或变质岩出露,同时河流碎屑锆石中也极少有对应年龄锆石发现的主要原因。

## 6 结论

东海丽水凹陷月桂峰组和灵峰组下段物源显示出继承性演化特征,月桂峰组物源主要为140—90 Ma及190—170 Ma的火山岩,随着灵峰凸起的持续剥蚀,至灵峰组下段物源中明显地加入了280—260 Ma的变质岩。这一与二叠纪相关的变质碎屑锆石和变质作用,可能与晚古生代古太平洋板块的俯冲有关。中新生界岩层的大面积覆盖是现今华南东南部缺乏对应热活动记录的主要原因。

## 参考文献:

- [1] Li X H, Li Z X, Li W X, *et al.* Initiation of the Indosinian Orogeny in South China: evidence for a Permian magmatic arc on Hainan Island[J]. *The Journal of Geology*, 2006, 114(3): 341.
- [2] 温淑女, 梁新权, 范蔚茗, 等. 海南岛乐东地区志仲岩体锆石 U-Pb 年代学, Hf 同位素研究及其构造意义[J]. *大地构造与成矿学*, 2013, 37(2): 294.  
WEN Shunv, LIANG Xinquan, FAN Weiming, *et al.* Zircon U-Pb Ages, Hf isotopic composition of Zhizhong Granitic Intrusion in Ledong area of Hainan Island and their tectonic implications[J]. *Geotectonica et Metallogenia*. 2013, 37(2): 294.
- [3] 谢才富, 朱金初, 丁式江, 等. 琼中海西期钾玄质侵入岩的厘定及其构造意义[J]. *科学通报*, 2006, 51(16): 1944.  
XIE Caifu, ZHU Jinchu, DING Shijiang, *et al.* Identification of hercynian shoshonitic intrusive rocks in central Hainan Island and its geotectonic implications[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2006, 51(20): 2507.
- [4] 陈新跃, 王岳军, 范蔚茗, 等. 海南五指山地区花岗岩片麻岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年代学特征及其地质意义[J]. *地球化学*, 2011, 40(5): 454.  
CHEN Xinyue, WANG Yuejun, FAN Weiming, *et al.* Zircon LA-ICP-MS U-Pb dating of granitic gneisses from Wuzhishan area, Hainan, and geological significances[J]. *Geochemical*, 2011, 40(5): 454.
- [5] 冯增昭, 杨玉卿, 金振奎, 等. 中国南方二叠纪岩相古地理[J]. *沉积学报*, 1996, 14(2): 1.  
FENG Zengzhao, YANG Yuqing, JIN Zhenkui, *et al.* Lithofacies Paleogeography of the Permian of South China[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1996, 14(2): 1.
- [6] 马文璞. 华南陆域内古特提斯形迹、二叠纪造山作用和互换构造域的东延[J]. *地质科学*, 1996, 2: 105.  
MA Wenpu. Paleotethys in South China, Permian Orogeny and the eastwards extension of interchange domain[J]. *Scientia Geologica Sinica*, 1996, 02: 105.
- [7] Li X H, Li Z X, He B, *et al.* The Early Permian active continental margin and crustal growth of the Cathaysia Block: in situ U-Pb, Lu-Hf and O isotope analyses of detrital zircons[J]. *Chemical Geology*, 2012a, 328: 195.
- [8] 梁新权, 周云, 蒋英, 等. 二叠纪东吴运动的沉积响应差异: 来自扬子和华夏板块吴家坪组或龙潭组碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄研究[J]. *岩石学报*, 2013, 29(10): 3592.  
LIANG Xinquan, ZHOU Yun, JIANG Ying, *et al.* Difference of sedimentary response to Dongwu Movement: study on LA-ICP-MS U-Pb ages of detrital zircons from Upper Permian Wujiaping or Longtan Formation from the Yangtze and Cathaysia Blocks[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2013, 29(10): 3592.
- [9] Hu X, Huang Z, Wang J, *et al.* Geology of the Fuding inlier in southeastern China: implication for Late Paleozoic Cathaysian Paleogeography[J]. *Gondwana Research*, 2012, 22(2): 507.
- [10] Yue W, Yügan J. Permian palaeogeographic evolution of the Jiangnan Basin, South China [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2000, 160(1): 35.
- [11] 江为为, 宋海斌, 郝天珧, 等. 东海陆架盆地及其周边海域地质、地球物理场特征[J]. *地球物理学进展*, 2001, 16(2): 18.  
JIANG Weiwei, SONG Haibin, HAO Tianyao, *et al.* The characters of geology and geophysics of shelf basins of east China Sea basin and adjacent sea area [J]. *Progress in Geophysics*, 2001, 16(2): 18.
- [12] 王和明, 尹文荣. 东海重力磁力异常与地质构造[J]. *石油与天然气地质*, 1986, 4: 295.  
WANG Heming, YIN Wenrong. Gravity and magnetic anomaly and the geological tectonics of the East China Sea[J]. *Oil & Gas Geology*, 1986, 4: 295.
- [13] 郝天珧, 徐亚, 胥颐, 等. 对黄海—东海研究区深部结构的一些新认识[J]. *地球物理学报*, 2006, 49(2): 458.  
HAO Tianyao, XU Ya, XU Yi, *et al.* Some new understandings on deep structure in Yellow Sea and East China Sea[J]. *Chinese J Geophys*, 2006, 49(2): 458.
- [14] 胥颐, 刘建华, 郝天珧, 等. 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[J]. *地球物理学报*, 2006, 49

- (4): 1053.
- XU Yi, LIU Jianhua, HAO Tianyao, *et al.* P wave velocity structure and tectonics analysis of lithospheric mantle in eastern China seas and adjacent regions [J]. Chinese J Geophys, 2006, 49(4): 1053.
- [15] 李培廉, 朱平. 试论东海陆架盆地的基底构造演化和盆地形成机制[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1992, 12(3): 37.
- LI Peilian, ZHU Ping. Basement tectonic evolution and basin formation mechanism of the East China Sea Shelf Basin [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 1992, 12(3): 37.
- [16] 刘建华, 方银霞, 吴水根. 东海陆架盆地前新生代基底探讨 [C]//中国地球物理学会第22届年会论文集. 成都: 四川科学技术出版社, 2006: 332.
- LIU Jianhua, FANG Yinxia, WU Shuigen. Discussion of Cenozoic basement of the East China Sea Basin [C]// Chinese Geophysical Society 22nd Annual Meeting Proceedings. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 2006: 332.
- [17] 郑求根, 周祖翼, 蔡立国, 等. 东海陆架盆地中新世代构造背景及演化[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(2): 197.
- ZHENG Qiugen, ZHOU Zuyi, CAI Liguang, *et al.* Mesozoic Cenozoic tectonic setting and evolution of East China Sea Shelf Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(2): 197.
- [18] 杨长清, 杨传胜, 李刚, 等. 东海陆架盆地南部中生代构造演化与原型盆地性质[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2012, 3: 105.
- YANG Changqing, YANG Chuansheng, LI Gang, *et al.* Mesozoic tectonic evolution and prototype basin characters in the southern East China Sea Shelf Basin [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2012, 3: 105.
- [19] 冯晓杰, 蔡东升, 王春修, 等. 东海陆架盆地中新世代构造演化特征[J]. 中国海上油气: 地质, 2003, 17(1): 33.
- FENG Xiaojie, CAI Dongsheng, WANG Chunxiu, *et al.* The Mesozoic tectonic evolution of East China Sea Shelf Basin [J]. China Offshore Oil and Gas Geology, 2003, 17(1): 33.
- [20] 冯晓杰, 蔡东升. 东海陆架盆地中新世代构造演化对烃源岩分布的控制作用[J]. 中国海上油气, 2007, 18(6): 372.
- FENG Xiaojie, CAI Dongsheng. Controls of Mesozoic and Cenozoic tectonic evolution on source rock distribution in East China Sea shelf basin [J]. China Offshore Oil and Gas, 2007, 18(6): 372.
- [21] 王长势, 朱伟林, 陈春峰, 等. 东海丽水—椒江新生代凹陷基底的岩性及分布[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2014, 42(4): 636.
- WANG Changshi, ZHU Weilin, CHEN Chunfeng, *et al.* Basement lithology and distribution of Lishui-jiajiang Cenozoic Sag in East China Sea [J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 2014, 42(4): 636.
- [22] 夏斌, 张敏强, 万志峰, 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(3): 1.
- XIA Bin, ZHANG Minqiang, WAN Zhifeng, *et al.* Structural styles and hydrocarbon prospects in the Lishui—Jiajiang Sag, the East China Sea [J]. South China Journal of Seismology, 2007(3): 1.
- [23] 田兵, 李小燕, 庞国印, 等. 叠合凹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, 4: 696.
- TIAN Bing, LI Xiaoyan, PANG Guoyin, *et al.* Sedimentary systems of the super imposed Rift-Subsidence Basin: taking Lishui—Jiajiang Sag of the East China Sea as an example [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2012, 4: 696.
- [24] 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.
- [25] Campbell S D G, Sewell R J, Davis D W, *et al.* New U—Pb age and geochemical constraints on the stratigraphy and distribution of the Lantau Volcanic Group, Hong Kong [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2007, 31(2): 139.
- [26] DeGraaff-Surpless K, Graham S A, Wooden J L, *et al.* Detrital zircon provenance analysis of the Great Valley Group, California: evolution of an arc-forearc system [J]. Geological Society of America Bulletin, 2002, 114(12): 1564.
- [27] Williams I S. Some observations on the use of zircon U—Pb geochronology in the study of granitic rocks [J]. Transactions of the Royal Society of Edinburgh, 1992, 83: 447.
- [28] Xu X, O'Reilly S Y, Griffin W L, *et al.* The crust of Cathaysia: age, assembly and reworking of two terranes [J]. Precambrian Research, 2007, 158(1): 51.
- [29] Gawthorpe R L, Leeder M R. Tectono-sedimentary evolution of active extensional basins [J]. Basin Research, 2000, 12(3-4): 195.
- [30] Link P K, Fanning C M, Beranek L P. Reliability and longitudinal change of detrital-zircon age spectra in the Snake River system, Idaho and Wyoming: an example of reproducing the bumpy barcode [J]. Sedimentary Geology, 2005, 182(1): 101.
- [31] 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): 3.
- [32] Cawood P A, Nemchin A A, Freeman M, *et al.* Linking source and sedimentary basin: detrital zircon record of sediment flux along a modern river system and implications for provenance studies [J]. Earth and Planetary Science Letters, 2003, 210(1): 259.
- [33] 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.
- [34] Shu L, Faure M, Wang B, *et al.* Late Palaeozoic—Early Mesozoic geological features of South China: response to the Indosinian collision events in Southeast Asia [J]. Comptes Rendus Geoscience, 2008, 340(2): 151.
- [35] Liang X, Li X. Late Permian to Middle Triassic sedimentary records in Shiwandashan Basin: implication for the Indosinian Yunkai orogenic belt, South China [J]. Sedimentary Geology, 2005, 177(3): 297.
- [36] Isozaki Y, Aoki K, Nakama T, *et al.* New insight into a subduction-related orogen: a reappraisal of the geotectonic framework and evolution of the Japanese Islands [J]. Gondwana Research, 2010, 18(1): 82.
- [37] Li Z X, Li X H, Chung S L, *et al.* Magmatic switch-on and switch-off along the South China continental margin since the Permian: transition from an Andean-type to a Western Pacific-

- type plate boundary[J]. *Tectonophysics*, 2012b, 532: 271.
- [38] XIANG Hua, ZHANG Li, ZHOU Hanwen, *et al.* U-Pb zircon geochronology and Hf isotope study of metamorphosed basic-ultrabasic rocks from metamorphic basement in southwestern Zhejiang: the response of the Cathaysia Block to Indosinian orogenic event [J]. *Science in China; Series D*, 2008, 51(6): 788
- [39] Wang Q, Li J W, Jian P, *et al.* Alkaline syenites in eastern Cathaysia (South China): link to Permian — Triassic transtension[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2005, 230(3): 339.
- [40] 徐勇航, 陈坚. 台湾海峡西岸闽江口和九龙江口沉积物中碎屑锆石铀-铅定年及物源意义[J]. *海洋学报*, 2010, 4: 110.
- XU Yonghang, CHEN Jian. Uranium lead dating of detrital zircons from the Mingjiang and Jiulong Estuaries in the western coast of the Taiwan Strait: implication for its provenance[J]. *Acta Oceanologica Sinica*. 2010, 4: 110.
- [41] 胡世忠. 关于龙潭组下界及东吴运动位置等问题的商榷[J]. *地层学杂志*, 1979, 4: 251.
- HU Shizhong. Discussion about the lower bound of Longtan Formation and the location of Dongwu Movement[J]. *Journal of Stratigraphy*, 1979, 4: 251.
- [42] 曾耀昌. 东吴运动在广东的表现及其地质意义[J]. *焦作矿业学院学报*, 1983(S1): 115.
- ZENG Yaohang. Geological significance of Dongwu Movement in Guangdong and its performance [J]. *Journal of Jiaozuo Institute of Mining*, 1983(S1): 115.
- [43] 朱绍隆, 朱德寿. 浙北龙潭组下界及东吴运动[J]. *化工地质*, 1983, 2: 12.
- ZHU Shaolong, ZHU Deshou. The lower bound of Longtan Formation and Dongwu Movement in the north of Zhejiang[J]. *Chemical Geology*, 1983, 2: 12.
- [44] 冯少南. 东吴运动的新认识[J]. *现代地质*, 1991, 4: 378.
- FENG Shaonan. New knowledge on Dongwu Movement[J]. *Geoscience*, 1991, 4: 378.
- [45] 马文璞. 华南陆域内古特提斯形迹、二叠纪造山作用和互换构造域的东延[J]. *地质科学*, 1996, 2: 105.
- MA Wenpu. Paleotethys in South China, Permian orogeny and the eastwards extension of interchange domain[J]. *Scientia Geologica Sinica*, 1996, 2: 105.
- [46] 福建省地质矿产局. 福建省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1985.
- Fujian Province Bureau of Geology and Mineral Resources. Regional geology of Fujian Province[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1985.
- [47] 李培军, 侯泉林, 孙枢, 等. 闽西南地区早三叠世溪口组深水沉积及其演化[J]. *中国科学: D辑*, 1998, 3: 219.
- LI Peijun, HOU Quanlin, SUN Shu, *et al.* Deep-water sediments and its evolution of the lower Triassic Xikou Formation in Southwest Fujian[J]. *Science in China; Series D*, 1998, 3: 219.
- [48] 吴岐, 郑云钦. 福建下三叠统溪口组浊积岩的发现及其意义[J]. *岩相古地理*, 1990, 6: 1.
- WU Qi, ZHENG Yunqin. The discovery and significance of turbidites in the Lower Triassic Xikou Formation, Fujian[J]. *Journal of Palaeogeography*, 1990, 6: 1.
- [49] 周祖翼. 闽西溪口组沉积环境及构造意义[J]. *石油实验地质*, 1992, 2: 135.
- ZHOU Zuyi. The significance of depositional environment and tectonic setting of the Xikou Formation (T<sub>1x</sub>) in the western Fujian[J]. *Experimental Petroleum Geology*, 1992, 2: 135.
- [50] 侯泉林, 李培军, 李继亮. 闽西南前陆褶皱冲断带[M]. 北京: 地质出版社, 1995.
- HOU Quanlin, LI Peijun, LI Jiliang. Foreland fold-thrust belt in Southwestern Fujian [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1995.
- [51] 王果胜, 马文璞, 朱卫平. 闽西南下三叠统溪口组硅质岩的地球化学特征及构造意义[J]. *成都理工大学学报: 自然科学版*, 2007, 5: 543.
- WANG Guosheng, MA Wenpu, ZHU Weiping. Geochemistry and tectonic significance of the lower Triassic Xikou Formation silicalite in Southwest Fujian, China[J]. *Journal of Chengdu University of Technology: Natural Science*, 2007, 5: 543.
- [52] 周珍琦. 闽西南地区推覆构造特征[J]. *石油实验地质*, 2006, 28(1): 38.
- ZHOU Zhenqi. Characteristics of napper structure in the Southwest Fujian [J]. *Experimental Petroleum Geology*, 2006, 28(1): 38.
- [53] 陶建华. 闽西南地区东部逆冲推覆构造及其形成机制[J]. *福建地质*, 1987, 6(4): 249.
- TAO Jianhua. An overthrust tectonic in Southwest Fujian and its mechanism of formation[J]. *Geology of Fujian*, 1987, 6(4): 249.
- [54] 王文杰. 福建省含煤区推覆、滑脱构造[J]. *中国煤炭地质*, 2009, 21(2): 6.
- WANG Wenjie. Nappe and decollement structures in Fujian coal-bearing Area[J]. *Coal Geology of China*, 2009, 21(2): 6.
- [55] 肖文交, 李继亮, 何海清, 等. 浙西北前陆褶皱冲断带初步研究[J]. *中国科学: D辑*, 1997, 27(1): 27.
- XIAO Wenjiao, LI Jiliang, HE Haiqing, *et al.* Preliminary study of foreland fold-thrust belt northwest Zhejiang [J]. *Science in China; Series D*, 1997, 27(1): 27.