东海晚中生代岩浆弧和板块俯冲: FZ211 井碎屑锆石的约束

斯琴1),许长海1),高顺莉2)

1) 同济大学海洋与地球科学学院,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,200335

内容提要:晚中生代是古太平洋板块俯冲东亚陆缘的重要时期,也是华南大陆岩浆活动的重要时期。本文选 用东海陆架丽水凹陷 FZ211 井紧邻中生代花岗岩基底的石门谭组(2031~2097 m)和明月峰组(1755~1806 m)的 砂岩样品,开展碎屑锆石 U-Pb 同位素和微量元素等分析,获得了侏罗纪(180~160 Ma)和白垩纪(140~80 Ma)两 期主要的岩浆事件记录,以120~80 Ma 年龄组分更为发育。两期岩浆锆石均具有结晶温度低(605~792°C)、流体 活动元素 U、Th和 LREE 富集以及高场强元素 Nb、Ta、Ti和 HREE 亏损特点,它们形成于典型的岩浆弧构造环 境,岩浆中侏罗纪俯冲物质的加入明显优于白垩纪。与洋壳锆石相比,两期岩浆锆石 U/Yb 值(0.1~5.1)与大陆 锆石类型一致,白垩纪岩浆锆石呈现向洋壳锆石过渡的趋势。东海渔山隆起应是晚中生代大陆岩浆弧的重要组成 部分,120~80 Ma 是俯冲和岩浆活动的强烈时期,东亚陆缘从侏罗纪到白垩纪显现出古太平洋板块俯冲回滚的特 点。如果将渔山隆起岩浆弧与福州凹陷弧前盆地和 SW 日本到台湾的俯冲杂岩联结起来,区域上可构成晚中生代 东亚陆缘汇聚的构造轮廓,即岩浆弧-弧前盆地-俯冲增生杂岩。

关键词:碎屑锆石;岩浆弧;晚中生代;东亚汇聚;东海

晚中生代是古太平洋板块俯冲东亚大陆的重要 时期,俯冲增生杂岩残留在日本西南、经过台湾至巴 拉望一线(Faure et al., 1990; Isozaki, 1997; Wakita et al., 2005; Yui et al., 2012)。受古板块 俯冲影响, 华南东南部的晚中生代岩浆活动强烈且 广泛分布,主要岩浆活动期包括 180~152 Ma、130 \sim 120 Ma 和 102 \sim 87 Ma (Wang Yuejun et al., 2013),这些岩浆作用与弧后伸展环境控制有关(Li Xianhua et al., 2007a, 2007b; Wang Yuejun et al., 2013)。愈来愈多的研究表明,东海丽水凹陷 前新生代基底发育 193~172 Ma 和 115~111 Ma 花岗岩类(Wei Yuan et al., 2017; Xu Changhai et al., 2017; Zhang Chengchen et al., 2019),同时, 盆地碎屑锆石 U-Pb 定年获得了 119~98 Ma、148 ~133 Ma 和 194~184 Ma 三个岩浆活动期(Xu Changhai et al., 2017)。东海西湖凹陷碎屑锆石揭

示了 145~96 Ma 和 188~147 Ma 两期主要的岩浆 活动(Li Xiaolong et al., 2020),相关岩浆锆石具有 低温、流体活动元素富集及高场强元素亏损的大陆 岩浆弧特点。东海福州凹陷发育侏罗纪到白垩纪弧 前盆地沉积(Zheng Qiugen et al., 2005)。L Sanzhong et al. (2019)和 Suo Yanhui et al. (2019) 对东亚中生代大陆边缘演变与古太平洋板块俯冲的 控制作用进行了全面系统评述,认为华南晚中生代 构造-岩浆演化受控于古太平洋 flat-slab subduction (200~160 Ma), slab foudering (160~125 Ma)和 slab rollback (125~65 Ma)。本文选用东海丽水凹 陷东部 FZ211 井中紧邻花岗岩基底的石门潭组和 明月峰组碎屑岩,开展锆石 U-Pb 年代和微量元素 分析,在此基础上分析东海陆架南部晚中生代岩浆 活动及其构造控制环境,为深化认识东亚陆缘演变 及古太平洋板块俯冲控制作用提供依据。

注:本文为国家自然科学基金项目(编号 41876045)和国家科技重大专项课题(编号 2017ZX05005001-005)联合资助的成果。 收稿日期:2020-01-19;改回日期:2020-05-20;网络发表日期:2020-06-29;责任编委:刘俊来;责任编辑:黄敏、郭现轻。 作者简介:斯琴,女,1994年生。硕士,主要从事大陆边缘构造研究。E-mail: 1731664@tongji.edu.cn。通讯作者:许长海,男,1971年

生。教授,主要从事区域构造等科研和教学工作。E-mail: xchxch@tongji.edu.cn。

引用本文:斯琴,许长海,高顺莉. 2021. 东海晚中生代岩浆弧和板块俯冲:FZ211 井碎屑锆石的约束. 地质学报,95(6): 1743~1753, doi: 10.19762/j. cnki. dizhixuebao. 2020093.
Si Qin, Xu Changhai, Gao Shunli. 2021. Late Mesozoic magmatic arc of East China Sea developed with plate subduction: constraints from detrital zircons in well FZ211. Acta Geologica Sinica, 95(6): 1743~1753.

1 区域地质概况

东海陆架盆地地处东亚大陆边缘(图 1),构造 演化上受控于古太平洋板块俯冲汇聚作用(Niu Yaoling et al., 2015; Li Sanzhong et al., 2019)。 它是在中生代基底上发育形成的新生代沉积盆地 (面积约 26.7×10⁴ km²),盆地西部为闽浙隆起,东 部为钓鱼岛隆褶带,南部为台西盆地,北边与南黄海 盆地相隔。东海陆架盆地由东部坳陷带、中央低隆 起带和西部坳陷带组成,区域上呈现"东西分带、南 北分块"特点,盆地演化有自西向东迁移的趋势 (Suo Yanhui et al., 2014)。东部坳陷带包括福江 凹陷、西湖凹陷和钓北凹陷等;中央低隆起带包括虎 皮礁隆起、海礁隆起和渔山隆起等;西部坳陷带包括 长江坳陷、钱塘凹陷、丽水凹陷、椒江凹陷和福州凹 陷等。

东海陆架钻遇基底揭示了元古宙片麻岩、中生 代花岗岩、花岗闪长岩和火山岩。LF-1 井中温东群 片麻岩的锆石 U-Pb 年龄为 1.85 Ga (Zhang Chengchen et al., 2019)。WZ27-1-1 井钻遇的三叠 纪花岗岩的锆石 U-Pb 年龄为 205 Ma 和 220 Ma (Guo Zhen et al., 2015)。东海有 10 余口钻井揭示 了 193~172 Ma 和 115~111 Ma 花岗岩类(Wei Yuan et al., 2017; Xu Changhai et al., 2017; Zhang Chengchen et al., 2019)。福州凹陷 FZ10-1-1 井和 FZ13-2-1 井揭示了一套杂色、红色碎屑岩 为主的晚中生代地层(厚度>2000 m),包括下一中 侏罗统福州组、上侏罗统厦门组、下白垩统渔山组、 上白垩统闽江组和石门潭组(Wang Kede et al., 2000; Yang Wenda et al., 2010), Zheng Qiugen et al. (2005)将这套地层划归为弧前盆地沉积。浙闽 沿海广泛分布侏罗纪至白垩纪火山岩,岩性多为酸 性火山岩,伴有少量中一基性火山岩(Xing Guangfu et al., 1999); 同时出露白垩纪晚期 [型和 A 型花 岗岩(Wang Dezi et al., 1999; Qiu Jiansheng et al., 2008), 其锆石 U-Pb 年龄为 102.5~86 Ma (Qiu Jiansheng et al., 2008; Li Yanjun et al., 2009; Qiu Jiansheng et al., 2011).

丽水凹陷位于东海陆架西南部呈 NE—SW 向 展布,其北邻椒江凹陷,东部以雁荡凸起与福州凹陷 相隔(Ge Heping et al., 2003)。丽水凹陷主体形成 于古近纪,由西次凹、东次凹、南次凹、灵峰潜山带等 单元组成,地层包括石门潭组、月桂峰组、灵峰组、明 月峰组、瓯江组、温州组和中新统等。石门潭组属于 初始裂陷期沉积,形成于陆相湖泊环境。月桂峰组、 灵峰组及明月峰组主要以滨海到滨浅海环境为主, 盆地西斜坡发育三角洲沉积,东侧斜坡以扇三角洲 沉积为主(Tian Bing et al.,2012)。瓯江组和温州 组为滨浅海环境并伴有大规模三角洲沉积。丽水凹 陷经历了断陷、坳陷和区域沉降演化阶段,主要构造 运动包括基隆运动、雁荡运动、瓯江运动和玉泉运动 等。Chen Chunfeng et al.(2017)通过碎屑锆石 U-Pb 定年方法,分析丽水凹陷东、西次洼的物源及源 区性质,认为丽水西次洼物源主要来自凹陷西部的 闽浙隆起,以火山岩为主,含少量侵入岩及变质 岩;丽水东次洼物源主要来自凹陷东部的渔山隆起, 以沉积岩、侵入岩为主要物源。本文样品选自丽水 凹陷东部雁荡凸起上的 FZ211 井中紧邻花岗岩基 底的石门潭组及明月峰组。

2 样品与测试分析方法

本文碎屑岩样品采自东海丽水凹陷 FZ211 井 (图 1a)。样品 2031FZ211 和 1755FZ211 分别采自 石门潭组(2031~2097 m)和明月峰组(1755~1806 m)(图 1b、c)。石门潭组底部岩性为浅灰色石英砂 岩与粉砂质泥岩互层,夹薄层火山碎屑岩;上部为厚 层粉砂质泥岩与中厚层浅灰色石英砂岩互层。明月 峰组底部岩性为泥岩夹薄层浅灰色石英砂岩;其上 为厚层浅灰色石英砂岩与中厚层泥岩互层。上述浅 灰色石英砂岩为次棱角一棱角粒状,磨圆度一般,分 选性较差,具有近源搬运特点。石门潭组不整合覆 盖在渔山组花岗岩之上,明月峰组不整合覆盖在石 门潭组之上。

样品经过预处理、矿物分选、锆石制靶、阴极发 光图像(CL)拍摄及锆石 U-Pb 测试分析。样品预 处理在同济大学海洋地质国家重点实验室完成。碎 屑岩经粗碎、细碎及筛分获得 70~200 目的颗粒,之 后经过电磁分选仪磁选、三溴甲烷重液分选,显微镜 下挑选锆石约 5000 粒。锆石制靶在南京宏创地质 勘查技术服务有限公司完成。锆石阴极发光图像 (CL)拍照和 U-Pb 同位素定年及微量元素含量测 定在北京科融恩科技公司完成。锆石阴极发光图像 (CL)拍照使用日本电子公司的全色阴极发光系统 拍摄。激光剥蚀使用美国 New Wave Research 公 司的 UP-213 激光烧蚀系统,质谱仪为美国安捷伦 公司 7900 型四极杆等离子体质谱仪。激光束斑直 径为 30 μm,激光能量密度为 10 J/cm²,剥蚀频率为 10 Hz,20 s 激光脉冲预剥蚀后样品剥蚀 50 s。载气





He 流量为 900 mL/min;辅助气 Ar 流量为 1 L/min。 不同同位素采集时间不同,²⁰² Hg 和²³² Th 为 10 ms,²⁰⁴ Pb 和 ²⁰⁶ Pb 为 20 ms,²⁰⁷ Pb 为 30 ms,²⁰⁸ Pb 和²³⁸ U 为 15 ms,其余元素为 6 ms。采用锆石标样 91500 作为外标进行同位素比值校正(Wiedenbeck et al., 1995),标样 Plesovice(337 Ma)作为监控盲 样(Sláma et al., 2008)。元素测定使用 NIST610 作 为 外 标, NIST612 作 为 监 控 盲 样。使 用 GLITTER 4.4.2 软件进行同位素比值及元素含量 计算。使用 Anderson(2002)设计的程序进行普通 铅校正。使用 Isoplot/Ex(3.0)给出 U-Pb 谐和年 龄成图和加权平均年龄计算(Ludwig, 2003)。

3 碎屑锆石 U-Pb 定年结果

本文选取东海 FZ211 井中石门潭组(2031~2097 m)和明月峰组(1755~1806 m)2个碎屑岩样 品共计 174 颗碎屑锆石进行 U-Pb 年代学测试,其 中 165 颗锆石获得谐和年龄(图 2a)。锆石多为浅 黄色至无色,个别玫瑰淡紫色,形状多数为自形至半 自形短柱状,少数为次滚圆粒状,透明,金刚光泽。





锆石粒径(长轴)多为 80~150 μm,个别可达 200 μm,颗粒长宽比为 2:1~3:1。根据阴极发光 (CL)图像,分析点选取在振荡环带发育的岩浆锆石 环带上。

石门潭组砂岩样品(2031~2097 m)测得 91 个 锆石 U-Pb 年龄数据,其中谐和锆石年龄 89 个,89 个锆石测点均落在 U-Pb 谐和线上及其附近(图 2a)。谐和锆石 Th 和 U 的含量分别为 $21 \times 10^{-6} \sim$ $757 \times 10^{-6} \cdot 29 \times 10^{-6} \sim 1590 \times 10^{-6}$, Th/U 比值变 化范围为 0. 2~2.5。锆石 Th/U 比值有助于区分 岩浆锆石和变质锆石,岩浆锆石 Th/U 值一般大于 0.1,变质锆石 Th/U 值一般小于 0.1(Rubatto et al., 2000; Belousova et al., 2002; Hoskin et al., 2002)。锆石阴极发光(CL)图像显示,定年锆石均 为振荡环带发育的岩浆锆石。

明月峰组砂岩(1755~1806 m)共测得 83 个锆 石 U-Pb 年龄数据,其中谐和锆石年龄 76 个,76 个 锆石测点均落在 U-Pb 谐和线上及其附近(图 2a)。 谐和锆石 Th 和 U 的含量分别为 23×10⁻⁶~583× 10⁻⁶、33×10⁻⁶~1112×10⁻⁶,Th/U 比值变化范围 为 0.1~2.0。锆石阴极发光(CL)图像显示,定年锆 石颗粒均为振荡环带发育的岩浆锆石。对上述 2 个 样品的 165 个谐和锆石年龄进行峰谱统计,获得了 晚中生代 2 次主要岩浆活动时期:侏罗纪 180~160 Ma(峰值 170 Ma)和白垩纪 140~80 Ma(峰值 110 Ma)(图 2b)。丽水凹陷 FZ211 井样品的侏罗纪 (180~160 Ma)和白垩纪(140~80 Ma)两期主要锆 石 U-Pb 年龄组分,代表了东海陆架特别是渔山隆 起物源区在晚中生代经历了两期重要的构造岩浆事 件,而且以120~80 Ma 岩浆活动最为强烈。

4 碎屑锆石微量元素分析

4.1 锆石 Ti 温度指示低温岩浆作用

锆石 Ti 温度计是近年来广泛使用的单矿物微 量元素温度计。Watson et al. (2006)发现锆石中 Ti 含量与温度倒数存在对数线性关系: Log $(T_{i_{zircon}}) = (6.01 \pm 0.03) - (5080 \pm 30) / T(K), T =$ $5080/(6.01 - \log Ti_{zircon}) - 273$ (Watson et al., 2006)。本文对东海 FZ211 井石门潭组(2031~ 2097 m)和明月峰组(1755~1806 m)碎屑岩样品中 的岩浆锆石进行锆石 Ti 温度计算分析(图 3)。白 垩纪(140~80 Ma)岩浆锆石的 Ti 含量为 1.7× 10⁻⁶~26.6×10⁻⁶,计算得到岩浆锆石结晶温度在 605~792℃ 范围内,个别>800℃,中值温度为 715℃。侏罗纪(180~160 Ma)岩浆锆石的 Ti 含量 为1.9×10⁻⁶~13.4×10⁻⁶,计算得到岩浆锆石结 晶温度在 612~767℃范围内,中值温度为 702℃。 三叠纪(232~215 Ma)三个岩浆锆石的 Ti 含量为 6.3×10⁻⁶~8.8×10⁻⁶,计算得到岩浆锆石结晶温 度为 702~730℃。上述中生代岩浆锆石指示低温 岩浆作用, Miller et al. (2003) 划分出高温(> 800℃)和低温(<800℃)两类花岗岩,前者形成于伸 展或转换伸展环境,后者多与挤压和地壳加厚环境 有关。因此,东海 FZ211 井石门潭组和明月峰组的 晚中生代低温岩浆锆石可能形成于构造挤压环境。

4.2 碎屑锆石形成于岩浆弧构造环境

不同构造环境中,相关岩浆作用形成的锆石具 有不同的组分特征。Grimes et al. (2015)根据不同





构造环境形成的岩浆锆石超过 5300 件样品的微量 元素分析结果,发现大陆弧岩浆锆石由于俯冲组分 加入,表现出明显的活动性不相容元素富集(如 U、 Th)及高场强元素亏损(如 Nb、Ti、Ta 等)等特点, 所以岩浆弧锆石 U/Yb 值一般较高;相比之下,洋 中脊岩浆锆石由于洋中脊玄武岩中不相容元素亏损 而具有非常低的 U/Yb 值;洋岛岩浆锆石和洋中脊 锆石的区别在于前者具有更高的 U/Yb、U/Nb、 Nb/Yb 和 Nb/Sc。

图 4 显示了东海 FZ211 井石门潭组和明月峰 组中碎屑岩浆锆石的元素特点。图 4a 表明,侏罗纪 岩浆锆石(180~160 Ma)的流体活动性元素 U 含量 为 $107 \times 10^{-6} \sim 959 \times 10^{-6}$ 、Th/U 值为 $0.1 \sim 0.6$; 白垩纪岩浆锆石(140~80 Ma)的 U 含量为 30× 10⁻⁶~577×10⁻⁶、Th/U值为 0.4~2.0; 白垩纪锆 石的 U 含量较侏罗纪锆石明显降低。根据图 4b, 无论是侏罗纪(180~160 Ma)还是白垩纪(140~80 Ma) 岩浆锆石, 它们都具有 U/Yb 高值(0.1~5.1) 特点,其中侏罗纪锆石 U/Yb 更高,符合岩浆弧形 成环境特点。此外,Nb/Yb-Sc/Yb 元素协变特点也 表明 FZ211 岩浆锆石形成于岩浆弧环境(图 4d)。 侏罗纪岩浆锆石 Sc 高含量与白垩纪锆石类似,表明 锆石形成时所在岩浆熔体没有明显的结晶分异和铁 镁质矿物移离。Yang Jianghai et al. (2012)利用 Th/U-Nb/Hf 图解(图 4c)划分出板内/非造山及岩 浆弧/造山带两类环境,岩浆弧/造山带环境中的高 场强元素 Nb 更为亏损。东海 FZ211 井石门潭组和 明月峰组碎屑岩浆锆石表现出 Nb(0.5×10⁻⁶~ 13.6×10⁻⁶)、Nb/Hf(4.5×10⁻⁵~0.002)低值特 点,而且侏罗纪锆石(180~160 Ma)要比白垩纪锆石(140~80 Ma)具有低的 Th/U 比值(侏罗纪锆石 Th/U 为 0.2~0.6,白垩纪锆石 Th/U 为 0.4~ 2.0),它们在构造环境判别图解中同处于岩浆弧/造 山带构造环境中。

根据 FZ211 井 162 个岩浆锆石的元素中值经 过洋中脊锆石标准化形成锆石元素蛛网图(图 5)。 图中显示,无论是侏罗纪(180~160 Ma)还是白垩 纪(140~80 Ma)岩浆锆石,它们均表现出流体活动 元素 U、Th 富集、轻稀土 La、Ce 和 Nd 富集、以及 Sc 高场强元素富集特点,高场强元素 Nb、Hf、Ti、P 和 HREE 具有不同程度亏损特点,这类蛛网模式与 典型的岩浆弧锆石模式一致。岩浆锆石中 U、Th 和轻稀土富集主要与岩浆源区俯冲组分的加入有 关,侏罗纪锆石要比白垩纪锆石具有高的 U、Th 和 La 俯冲组分加入,可能反映了从侏罗纪到白垩纪俯 冲板块回滚作用。此外,大陆岩浆弧锆石中富含 Sc 可能与角闪石储存 Sc 在熔体中有关(Grimes et al., 2015)。高场强元素亏损(如 HREE、Nb、Ta、 Hf、Y、P、Ti)与地幔部分熔融中矿物残留有关 (Frisch et al., 2010)。岩浆弧岩石 Nb-Ta-Ti 亏损 或认为与上板块地幔楔熔融过程中 Ti 矿物残留有 关(Bodinier et al., 1996);或与俯冲物质熔融过程 中金红石残留有关(Kelemen et al., 2003)。东海 丽水凹陷 FZ211 岩浆锆石(180~160 Ma,140~80 Ma)与西湖凹陷 SX611 岩浆锆石(188~147 Ma, 145~96 Ma,图 1)形成时代一致,均具有岩浆弧特 点,由此说明东海从北到南均发育两期与岩浆弧相 关的岩浆作用,从侏罗纪到白垩纪存在俯冲倾角变 大和俯冲板块后滚作用,东海从海礁隆起到渔山隆 起应是晚中生代大陆岩浆弧的重要组成部分。

4.3 碎屑岩浆锆石属于大陆锆石类型

Grimes et al. (2007)通过分析大洋锆石与大陆 锆石微量元素发现,大陆锆石明显富集活动性不相 容元素(如U、Th);大陆和大洋两类锆石具有不同 的U/Yb比值,如大洋辉长岩为0.18,陆壳花岗岩 为1.07,金伯利岩为2.1;因此,U/Yb-Y元素图解 有助于区分大洋锆石与大陆锆石。图6显示,东海 FZ211井中无论是石门潭组还是明月峰组样品的岩 浆锆石,均具有U/Yb高值的大陆锆石特点,表明 相关岩浆岩是大陆岩浆弧的组成部分。侏罗纪的岩 浆锆石U/Yb值(0.7~5.1)要比白垩纪锆石(0.1 ~3.8)偏高,可能反映了俯冲过程中岩浆源区俯冲 物质和流体活动性元素加入有所差异。



图 4 东海丽水凹陷 FZ211 井碎屑锆石 Th/U 比值和构造环境判别图(底图据 Yang Jianghai et al., 2012; Grimes et al., 2015) Fig. 4 Zircon Th/U ratios (a) for FZ211 samples from the Lishui Sag in East China Sea, and trace elements of igneous zircons revealing tectonic environments by Nb/Yb versus U/Yb (b), Th/U versus Nb/Hf (c), and Nb/Yb versus Sc/Yb (d) (after Yang Jianghai et al., 2012; Grimes et al., 2015)



Fig. 5 Multi-element variation diagrams showing the median for detrital zircons from the Lishui sag FZ211 and Xihu sag

SX611, East China Sea (mid-ocean ridge crust and continental arc granitoids data from Grimes et al., 2015)

5 讨论

晚中生代是古太平洋板块俯冲东亚大陆的重要 时期,俯冲增生杂岩沿日本西南、经过中国台湾至菲 律宾巴拉望一线出露(Faure et al., 1990; Isozaki, 1997; Wakita et al., 2005; Yui et al., 2012)。日 本西南广泛出露晚中生代增生杂岩(Isozaki, 1997),主要包括 Mino-Tanba coherent-type 和 Chichibu chaotic-type 两类杂岩。Isozaki et al. (2010)进一步划分出 Mino-Tanba-Chichibu(约 160 Ma)、Sanbagawa(约 120 Ma)及 Shimanto(80~60 Ma)等俯冲增生杂岩带,反映了侏罗纪到白垩纪时 期古板块俯冲作用。Yui et al. (2012)认为中国台 湾大南澳变质杂岩属于俯冲增生杂岩,包括西部太 鲁阁杂岩和东部玉里杂岩;太鲁阁杂岩由片岩、大理 岩、少量变基性岩和花岗岩组成,玉里杂岩由片岩、







白垩世古板块俯冲作用。Zamoras et al. (2001)在 菲律宾巴拉望识别出侏罗纪至白垩纪古板块俯冲相 关的增生杂岩,从 Busuanga 岛北部、中部到南部, 俯冲杂岩时代由 Callovian (165~160 Ma)、 Oxfordian-Kimmeridgian (160~155 Ma)变新到 Berrasian-Valanginian (143~136 Ma),杂岩分布表 现为叠瓦状叠置关系。

受古太平洋板块俯冲作用控制,华南东部晚中 生代岩浆活动广泛而强烈,岩浆岩露头超过 200000 km²。Wang Yuejun et al. (2013)划分出 180~152 Ma、130~120 Ma 和 102~87 Ma 三个主要岩浆活 动期。华南侏罗纪早期(195~170 Ma)岩浆活动近 东西向分布,其特征岩石组合为玄武岩-流纹岩和花 岗岩-正长岩-辉长岩,它们形成于与古板块俯冲相 关的岩石圈伸展环境(Wang Yuejun et al., 2013)。 根据 Li Xianhua et al. (2007a, 2007b), 侏罗纪花岗 岩类(165~150 Ma)以黑云母二长花岗岩和钾长花 岗岩为主,同时含少量花岗闪长岩、云母花岗岩、A 型花岗岩、正长岩和高镁玄武岩,其源于元古宙地壳 熔融并有少量地幔物质加入,它们形成于非造山环 境,与古太平洋板块俯冲控制有关。白垩纪花岗岩 类呈北东向分布,主要包括 130~120 Ma 和 107~ 87 Ma两个岩浆活动期,主体由 I、S 和 A 型花岗岩 和少量碱性岩组成,岩浆源于元古宙地壳熔融并有 少量地幔物质加入,它们形成于弧后伸展构造环境; 白垩纪火山岩(130~85 Ma)以大量流纹岩伴有少 量玄武岩与同期钙碱性花岗岩共生为特征(Wang Yuejun et al., 2013)。白垩纪晚期 I 型和 A 型花岗 岩集中呈 NE—SW 向带状(长约 800 km,宽约 60~ 80 km)分布于浙闽沿海。I型花岗岩以花岗闪长 岩、二长花岗岩、正长花岗岩和花岗岩为主,其锆石 U-Pb 年龄为 113.5~85 Ma(Chen Chenghong et al., 2016; Zhao Jiaolong et al., 2016; Xue Qiqi et al., 2018);辉长岩锆石 U-Pb 年龄为 111~109 Ma (Li Zhen et al., 2014); A型花岗岩锆石 U-Pb 年 龄为 101~86 Ma (Zhao Jiaolong et al., 2015; Zhao Jiaolong et al., 2016)。它们形成于岩石圈伸 展环境,应与俯冲板块后撤控制有关;白垩纪晚期岩 浆弧在福建沿海(花岗岩, 94~80 Ma; Liu Qian et al., 2012)和台湾(角闪岩相及安山岩, 92~86 Ma; Chen Wenshan et al., 2016)有残留分布。

东海陆架前新生代钻遇基底揭露了中生代岩浆 活动。WZ27-1-1 井钻遇三叠纪花岗岩年龄为 205 Ma 和 220 Ma (Guo Zhen et al., 2015); ECS611 井 钻遇侏罗纪花岗闪长岩年龄为 187 Ma (Xu Changhai et al., 2017); MYF1 井钻遇侏罗纪花岗 岩年龄为 174 Ma (Wei Yuan et al., 2017); 根据 Zhang Chengchen et al. (2019),东海 10 口钻井花 岗岩类的锆石 U-Pb 年龄为 193~172 Ma 和 115~ 111 Ma。相关岩浆锆石具有流体活动性元素富集 (如 U)和高场强元素亏损(如 Nb)的大陆岩浆弧特 点。新生代碎屑岩和碎屑锆石成果也揭示了东海陆 架侏罗纪到白垩纪的岩浆活动和岩浆弧属性。Xu Changhai et al. (2017) 通过丽水凹陷 ECS611、 ECS2611 和 ECS681 三口井古新统碎屑岩分析,获 得了 119~98 Ma、148~133 Ma 和 194~184 Ma 三 期岩浆活动特点,相关岩浆锆石的低温(Ti温度为 600~770℃)以及 Nb、U、Th 和 Hf 等组分指示大 陆岩浆弧环境。根据 Li Xiaolong et al. (2020), SX611 井白垩系和渐新统碎屑岩分析揭示了东海 西湖凹陷发育 145~96 Ma 和 188~147 Ma 两期主 要岩浆活动,相关岩浆锆石具有低温(556~732℃) 和大陆岩浆弧组分特点(如U富集,82×10⁻⁶~ 3412×10^{-6} ; Nb 亏损, 0.6×10⁻⁶~13.8×10⁻⁶), 也表明从侏罗纪到白垩纪俯冲板块后滚的特点。本 文通过丽水凹陷东部紧邻渔山隆起的 FZ211 井中 碎屑岩分析,同样获得了中生代东海岩浆活动和大 陆岩浆弧记录。根据 FZ211 井石门谭组(2031~ 2097 m)和明月峰组(1755~1806 m)碎屑锆石定年 结果,两期岩浆活动形成于180~160 Ma 和140~ 80 Ma 而且以 120~80 Ma 岩浆活动最发育。相关 岩浆锆石具有低温(605~792℃),流体活动元素U、





Th 和 LREE 富集及高场强元素 Nb、Ta、Ti 和 HREE 等亏损,以及大陆锆石 U/Yb 比值高的特 点,表明了古太平洋板块俯冲和晚中生代大陆岩浆 弧控制的构造环境。侏罗纪俯冲物质的加入要优于 白垩纪,白垩纪岩浆锆石 U/Yb 比值有向洋壳锆石 迁移趋势,这些特征反映了东亚陆缘从侏罗纪到白 垩纪古太平洋板块俯冲回滚的作用(图 7)。

综合认为,东海陆架虎皮礁-海礁-渔山隆起应 是晚中生代大陆岩浆弧的一部分,它与福州凹陷弧 前盆地、日本西南经中国台湾到菲律宾巴拉望的俯 冲杂岩连接起来,区域上构成受古太平洋板块俯冲 控制的东亚陆缘晚中生代构造轮廓,即岩浆弧一弧 前盆地一俯冲增生杂岩。

6 结论

(1)从东海陆架丽水凹陷 FZ211 井石门谭组 (2031~2097 m)和明月峰组(1755~1806 m)碎屑 岩中,主要获得了侏罗纪(180~160 Ma)和白垩纪 (140~80 Ma)两期岩浆锆石 U-Pb 年龄,表明了物 源区渔山隆起晚中生代经历了两次重要的岩浆构造 事件,而且以白垩纪岩浆活动更为强烈。

(2)两期岩浆锆石均表现出低温(605~792℃)、 流体活动性元素 U、Th 和 LREE 富集及高场强元 素 Nb、Ta、Ti 和 HREE 等亏损的特点,表明相关岩 浆作用形成于大陆岩浆弧构造环境。相比较而言, 岩浆中侏罗纪俯冲物质的加入明显优于白垩纪,白 垩纪岩浆锆石 U/Yb 比值呈现向洋壳锆石过渡趋 势,这些特点应与东亚陆缘的古太平洋板块俯冲回 滚作用有关。

(3)东海陆架渔山隆起应是晚中生代大陆岩浆 弧的重要组成部分,而且以120~80 Ma 岩浆活动 最为发育。将虎皮礁-海礁-渔山岩浆弧、福州凹陷 弧前盆地和 SW 日本到中国台湾的俯冲杂岩连接起来,区域上可构成受古太平洋板块俯冲控制的晚中 生代东亚大陆边缘构造轮廓,即岩浆弧一弧前盆 地一俯冲增生杂岩。

References

- Andersen T. 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ²⁰⁴Pb. Chemical Geology, 192(1): 59~79.
- Belousova E A, Griffin W L, Rilly S Y. 2002. Igeous zircon: trace element composition as an indicator of source rock type. Contribustions to Mineralogy and Petrology, 143 (5): 602 \sim 622.
- Bodinier J L, Merlet C, Bedini R M, Simien F, Remaidi M, GarridoC J. 1996. Distribution of niobium, tantalum, and other highly incompatible trace elements in the lithospheric mantle: the spinel paradox. Geochimica et Comochimica Acta, 60(3): 545~550.
- Chen Chunfeng, Zhong Kai, Zhu Weilin, Xu Donghao, Wang Jun, Zhang Bocheng. 2017. Provenance of sediments and its effects on reservoir physical properties in Lishui Sag, East China Sea Shelf Basin Oil & Gas Geology. Oil Gas Geol, 38(5): 963~ 972 (in Chinese with English abstract).
- Chen Chenghong, Lee Chiyu, Ryuichi S. 2016. The epilog of the western Paleo-Pacific subduction: inferred from spatial and temporal variations and geochemistry of the Late Cretaceous to Early Cenozoic silicic magmatism in coastal South China. Journal of Asian Earth Sciences, 115: 520~546.
- Chen Wenshan, Huang Yichang, Liu Changhao, Feng Hanting, Chung Sunlin, Lee Yuanhsi. 2016. U-Pb zircon geochronology constraints on the ages of the Tananao Schist Belt and timing of orogenic events in Taiwan: implications for a new tectonic evolution of the South China Block during the Mesozoic. Tectonophysics, 686: 68~81.
- Faure M, Ishida K. 1990. The Mid-Upper Jurassic olistostrome of the west Philippines: a distinctive key-marker for the North Palawan block, Philippines. Journal of Southeast Asian Earth Sciences, 4(1): 61~67.
- Frisch W, Meschede M, Blakey R C. 2010. Plate Tectonics: Continental Drift and Mountain Building. Springer Science and Business Media.
- Ge Heping, Chen Zhiyong, Fang Laifu, Shen Weifeng. 2003. Discussion on hydrocarbon accumulation periods in Lishui sag, East China Sea basin. Geology, 17(1): $44 \sim 50$ (in Chinese with English abstract).
- Grimes C B, John B E, Kelemen P B, Mazdab F K, Wooden J L, Cheadle M J, Hanghoj K, Schwartz J J. 2007. Trace element chemistry of zircons from oceanic crust: a method for

distinguishing detrital zircon provenance. Geology, 35(7): 643 $\sim 646.$

- Grimes C B, Wooden J L, Cheadle M J, John B E. 2015. "Fingerprinting" tectono-magmatic provenance using trace elements in igneous zircon. Contributions to Mineralogy and Petrology, 170(5~6): 46.
- Guo Zhen, Gao Shunli, Wang Jianqian, Liu Chiyang, Luo Wei, Zhang Qihang. 2015. U-Pb dating of the zircon from Cenozoic basement rock and its tectonic significance in the Lishui Sag of the East China Sea shelf basin. Marine Science Bulletin, 34(6): 675~687. (in Chinese with English abstract)
- Hoskin P W O, Ireland T R. 2002. Rare earth element chemistry of zircon and its use as a provenance indicator. Geology, 28(7): 627~630.
- Isozaki Y. 1997. Jurassic accretion tectonics of Japan. Island Arc, 6 (1): 25~51.
- Isozaki Y, Aoki K, Nakama T, Yanai S. 2010. New insight into a subduction-related orogen: a reappraisal of the geotectonic framework and evolution of the Japanese Islands. Gondwana Research, $18(1): 82{\sim}105$.
- Jin Huiyang, Jin Sunfeng, Ji Hengzhang, Wilde S A. 2012. Petrogenesis of Late Triassic intrusive rocks in the northern Liaodong Peninsula related to decratonization of the North China Craton: zircon U-Pb age and Hf-O isotope evidence. Lithos, 153: 108~128.
- Kelemen P B, Hanghøj K, Greene A R. 2003. One view of the geochemistry of subduction-related magmatic arcs, with an emphasis on primitive andesite and lower crust. Treatise on Geochemistry, 3: 659.
- Li Sanzhong, Suo Yanhui, Li Xiyao, Zhou Jie, Santosh M, Wang Pengcheng, Wang Guangzeng, Guo Lingli, Yu Shengyao, Lan Haoyuan, Dai Liming, Zhou Zaizhen, Cao Xianzhi, Zhu Junjiang, Liu Bo, Jiang Suhua, Wang Gang, Zhang Guowei. 2019. Mesozoic tectono-magmatic response in the East Asian ocean-continent connection zone to subduction of the Paleo-Pacific Plate. Earth-Science Reviews, 192: 91~137.
- Li Xianhua, Li Zhengxiang, Li Wuxian, Liu Ling, Yuan Chao, Wei Gangjian, Qi Changshi. 2007a. U-Pb zircon, geochemical and Sr-Nd-Hf isotopic constraints on age and origin of Jurassic Iand A-type granites from central Guangdong, SE China: a major igneous event in response to foundering of a subducted flat-slab. Lithos, 96: 186~204.
- Li Xianhua, Li Wuxian, Li Zhengxiang. 2007b. On the genetic classification and tectonic implications of the Early Yanshanian granitoids in the Nanling Range, South China. Chinese Science Bulletin, 52(14): 1873~1885.
- Li Xiaolong, Xu Changhai, Gao Shhunli, Huang Xiangtong, Zhao Hong, Zhang Chengchen. 2020. Late Mesozoic magmatic arc of continental margin: constraints from detrital zircon U-Pb data, East China Sea. Acta Geologica Sinica, 94(2): 480~490 (in Chinese with English abstract).
- Li Yanjun, Wei Junhao, Yao Chunliang, Yan Yunfei, Tan Jun, Fu Lebing, Pan Jinbo, Li Wei. 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 Zhen, Qiu Jiansheng, Yang Xuemei. 2014. A review of the geochronology and geochemistry of Late Yanshanian (Cretaceous) plutons along the Fujian coastal area of southeastern China: implications for magma evolution related to slab break-off and rollback in the Cretaceous. Earth-Science Reviews, 128: 232~248.
- Liu Qian, Yu Jinhai, Wang Qin, Su Bin, Zhou Meifu, Hai Xu, Xiang Cui. 2012. Ages and geochemistry of granites in the Pingtan-Dongshan Metamorphic Belt, Coastal South China: new con-straints on late Mesozoic magmatic evolution. Lithos, 150, 268~286.
- Ludwig K R. 2003. ISOPLOT 3.00: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley. Berkeley Geochronology Center,

California.

- Miller C F, Mcdowell S M, Mapes R W. 2003. Hot and cold granitesimplications of zircon saturation temperatures and preservation of inheritance. Geology, 31(6): 529.
- Niu Yaoling, Liu Yi, Xue Qiqi, Shao Fengli, Chen Shuo, Duan Meng, Guo Pengyuan, Gong Hongmei, Hu Yan, Hu Zhenxing, Kong Juanjuan, Li Jiyong, Liu Jinju, Sun Pu, Sun Wenli, Ye Lei, Xiao Yuanyuan, Zhang Yu. 2015. Exotic origin of the Chinese continental shelf: new insights into the tectonic evolution of the western Pacific and eastern China since the Mesozoic. Science Bulletin, 60(18):1598~1616.
- Qiu Jiansheng, Xiao E, Hu Jian, Xu Xisheng, Jiang Shaoyong, Li Zhen. 2008. Petrogenesis of highly fractionated I-type granites in the coastal area of northeastern Fujian Province: constraints from ziron U-Pb geochronology, geochemistry and Nd-Hf isotopese. Acta Petrologica Sinica, 24 (11): 2468 ~ 2484 (in Chinese with English abstract).
- Qiu Jiansheng, Liu Liang, Li Zhen. 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).
- Rubatto D, Gebauer D. 2000. Use of cathodoluminescence for U-Pb zircon dating by IOM Microprobe: Some examples from the westernAlps. Cathodoluminescence in Geoscience, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 373~400.
- Sláma J, Kosler J, Condon D J, Crowley J L, Gerdes A, Hanchar J M, Horstwood M S A, Morris G A, Nasdala L, Norberg N, Schaltegger U, Schoene B, Tubrett M N, Whitehouse M J. 2008. Plesovice zircon: a new natural reference material for U-Pb and Hf isotopic microanalysis. Chemical Geology, 249(1/ 2): 1~35.
- Suo Yanhui, Li Sanzhong, Yu Shan, Somerville I, Dai Liming. 2014. Cenozoic tectonic jumping and implications for hydrocarbon accumulation in basins in the east Asia continental margin. Journal of Asian Earth Sciences, 88(1): 28~40.
- Suo Yanhui, Li Sanzhong, Chong Jin, Zhang Yong, Zhou Jie, Li Xiyao, Wang Pengcheng, Liu Ze, Wang Xinyu, Somerville I. 2019. Eastward tectonic migration and transition of the Jurassic-Cretaceous Andean-type continental margin along Southeast China. Earth-Science Reviews, 196: 1~20.
- Tian Bing, Li Xiaoyan, Pang Guoyin, Tang Jun, Tang Li, Wang Qi. 2012. Sedimentary systems of the superimposed riftsubsidence basin: taking Lishui-Jiaojiang sag of the East China Sea as an example. Acta Sedimentologica Sinica, 24(4): 32~37 (in Chinese with English abstract).
- Wakita K, Metcalfe I. 2005. Ocean plate stratigraphy in East and Southeast Asia. Journal of Asian Earth Sciences, 24(6): 679~ 702.
- Wang Kede, Wang Jianping, Xu guoqing, Zhong Shilan, Zhang Yiyong, Yang Hengren. 2000. The discovery and division of the Mesozoic strata in the southwest of Donghai Shelf basin. Journal of Stratigraphy, 24(2): 129~131 (in Chinese with English abstract).
- Wang Dezi, Zhou Jincheng. 1999. Review and exhibition of granite research in China. Acta Petrologica Sinica, 15(2): 161~169 (in Chinese with English abstract).
- Wang Yuejun, Fan Weiming, Zhang Guowei, Zhang Yanhua. 2013. Phanerozoic tectonics of the south china block: key observations and controversies. Gondwana Research, 23(4): 1273~1305.
- Watson E B, Wark D A, Thomas J B. 2006. Crystallization thermometers for zircon and rutile. Contributions to Mineralogy and Petrology, 151(4): 413~433.
- Wei Yuan, Yang Zhenyu, Zhao Xixi, Santosh M, Zhou Xiaojin. 2017. Early Jurassic granitoids from deep drill holes in the East China Sea Basin: implications for the initiation of Palaeo-Pacific tectono-magmatic cycle. International Geology Review, 60(7): 813~824.

- Wiedenbeck M, Alle P, Corfu F, Griffin W L, Meier M, Oberli F, Quadt A V, Roddick J C, Spiegel W. 1995. Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analyses. Geostandards and Geoanalytical Research, 19(1): 1 ~23.
- Xing Guangfu, Tao Kuiyuan, Yang Zhuliang, Zhao Yu, Xu Naizheng. 1999. The present situation and prospect of Mesozoic volcanic rocks in the southeast coast of China. Bulletinof Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 18(3): 51 ~ 55 (in Chinese without English abstract).
- Xu Changhai, Zhang Lu, Shi Hesheng, Brix M R, Huhma H, Chen Lihui, Zhang Minqiang, Zhou Zuyi. 2017. Tracing an Early Jurassic magmatic arc from South to East China Seas. Tectonics, 36(3): 466~492.
- Xue Qiqi, Niu Yaoling, Chen Shuo, Sun Pu, Duan Meng, Gao Yajie, Hong Di, Xiao Yuanyuan, Wang Xiaohong, Guo Pengyuan. 2018. Tectonic significance of the Cretaceous granitoids along the south-east coast of continental China. Geological Journal, 2018: 1~24.
- Yang Jianghai, Cawood P A, Du Yuansheng, Huang Hu, Hu Lisha. 2012. Detrital record of Indosinian mountain building in SW China: provenance of the Middle Triassic turbidites in the Youjiang Basin. Tectonophysics, 574~575(11): 105~117.
- Yang Wenda, Cui Zhengke, Zhang Yibiao. 2010. Geology and Mineral Resources in the East China Sea. Beijing: China Ocean Press, 390~405 (in Chinese with English abstract).
- Yui T F, Suga K, Lan C Y, Hirata T, Chu H, Kon Y, Yokoyama T D, Jahn B, Ernst W S. 2012. Detrital zircons from the Tananao metamorphic complex of Taiwan: implications for sediment provenance and Mesozoic tectonics. Tectonophysics, 541: 31~42.
- Zamoras L R, Matsuoka A. 2001. Malampaya Sound Group: a Jurassic-Early Cretaceous accretionary complex in the Busuanga Island, North Palawan Block (Philippines). Journal of the Geological Society of Japan, 107(5): 316~336.
- Zhang Chengchen, Xu Changhai, He Min, Gao Shunli. 2019. Late Mesozoic convergent continental margin with magmatic arc from East to South China Seas: a review. Advances in Earth Science, 34(9): 950~961 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Jiaolong, Qiu Jiansheng, Liu Liang, Wang Ruiqiang. 2015. Geochronological, geo-chemical and Nd-Hf isotopic constraints on the petrogenesis of Late Cretaceous A-type granites from the southeastern coast of Fujian Province, South China. Journal of Asian Earth Sciences, 105: 338~359.
- Zhao Jiaolong, Qiu Jiansheng, Liu Liang, Wang Ruiqiang. 2016. The Late Cretaceous I- and A-type granite association of southeast China: implications for the origin and evolution of post-collisional extensional magmatism. Lithos, 240~243: 16 ~33.

Zheng Qiugen, Zhou Zuyi, Cai Liguo, Lu Yongde, Cao Qinggu. 2005. Meso-Cenozoic tectonic setting and evolution of East China Sea shelf basin. Oil & Gas Geology, 26(2): 197~201 (in Chinese with English abstract).

参考文献

- 陈春峰,钟楷,朱伟林,徐东浩,王军,张伯成. 2017. 东海丽水凹 陷物源及其对储层物性影响. 石油与天然气地质,8(5):963 ~972.
- 葛和平,陈志勇,方来富,沈伟峰.2003.丽水凹陷油气成藏期次探 讨.中国海上油气(地质),17(1):44~50.
- 郭真,高顺莉,王建强,刘池洋,罗伟,张启航.2015.东海丽水凹 陷新生代基底岩体锆石 U-Pb 年龄及其构造意义.海洋通报, 34(6):675~687.
- 李晓龙, 许长海, 高顺莉, 黄湘通, 赵洪, 张成晨. 2020. 东海晚中 生代岩浆弧与陆缘汇聚作用: 碎屑锆石 U-Pb 年代约束. 地质 学报, 94(2): 480~490.
- 李艳军,魏俊浩,姚春亮,鄢云飞,谭俊,付乐兵,潘锦勃,李伟. 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.
- 邱检生,肖娥,胡建,徐夕生,蒋少涌,李真. 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.
- 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.
- 田兵,李小燕, 庞国印, 唐俊, 唐丽, 王琪. 2012. 叠合断陷盆地沉 积体系分析——以东海丽水一椒江凹陷为例. 沉积学报, 24 (4): 32~37.
- 王德滋,周金城. 1999. 我国花岗岩研究的回顾与展望. 岩石学报, 15(2):161~169.
- 王可德,王建平,徐国庆,钟石兰,张一勇,杨恒仁. 2000.东海陆 架盆地西南部中生代地层的发现. 地层学杂志,24(2):129 ~131.
- 邢光福,陶奎元,杨祝良,赵宇,许乃政.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.
- 杨文达,崔征科,张异彪. 2010. 东海地质与矿产. 北京:海洋出版 社,390~405.
- 张成晨, 许长海, 何敏, 高顺莉. 2019. 东海到南海晚中生代岩浆弧 及陆缘汇聚体制综述. 地球科学进展, 34(9): 950~961.
- 郑求根,周祖翼,蔡立国,陆永德,曹清古. 2005. 东海陆架盆地中 新生代构造背景及演化.石油与天然气地质,26(2):197 ~201.

Late Mesozoic magmatic arc of East China Sea developed with plate subduction: constraints from detrital zircons in well FZ211

SI Qin¹⁾, XU Changhai^{*1)}, GAO Shunli²⁾

 State Key Laboratory of Marine Geology, School of Ocean and Earth Science, Tongji University, Shanghai 200092, China;

2) CNOOC China Limited-Shanghai, Shanghai 200335, China

* Corresponding author: xchxch@tongji.edu.cn

Abstract

The Late Mesozoic was an important period in the subduction of the Paleo-Pacific plate and the development of the East Asian continental margin accompanied by intense magmatic activity in the South China block. In this paper, the sandstone samples from the Shimentan Formation $(2031 \sim 2097 \text{ m})$ and the Mingyuefeng Formation (1755~1806 m), closely adjoining the Mesozoic granite basement, were selected from the well FZ211 in Lishui sag, East China Sea, for analysis of detrital zircon U-Pb isotopes and trace elements. We obtained the result of two major magmatic events that activated in the Jurassic $(180 \sim 160)$ Ma) and in the Cretaceous ($140 \sim 80$ Ma), respectively, within which the age range of $120 \sim 80$ Ma was a major period. The dated detrital zircons from the two magmatic episodes are characterized by low temperature ($605 \sim 792$ °C), fluid-mobile elements U, Th, and LREE enrichment, and depletion in high field-strength elements Nb, Ta, Ti, and HREE. They were formed in a typical magmatic arc environment. Compared with oceanic-type zircon, the U/Yb ratios $(0.1 \sim 5.1)$ of dated igneous zircons fall in the range of continental-type zircon, but with a transitional trend towards the type of oceanic zircon in the Cretaceous. The Yushan uplift from the East China Sea, as a sediment source for the dated samples, should be an important part of the Late Mesozoic magmatic arc, with strong subduction and magmatic activity in the period of $120 \sim 80$ Ma. The Yushan magmatic arc, if connected with units of the Fuzhou forearc basin and SW Japan-Taiwan accretionary complexes, constitutes an architecture of Late Mesozoic continental margin of East China Sea, that was controlled by the subduction of Paleo-Pacific slab rollback.

Key words: detrital zircon; magmatic arc; East Asian convergence; Late Mesozoic; East China Sea