

闽东南基性岩脉形成的构造应力场地质意义

张贵山^{1,2}, 温汉捷¹, 胡瑞忠¹, 裘愉卓¹, 杨光树¹, 于文修¹

(1. 中国科学院地球化学研究所矿床地球化学重点实验室, 贵州 贵阳 550002; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘 要: 闽东南沿海地处长乐 - 南澳构造带内, 发育晚中生代以来的基性岩脉 (岩群), 其几何形态和产状记录着区域应力场活动。通过对漳浦赤湖和东山海边基性岩脉的几何形态和产状的分析, 推测长乐 - 南澳带在白垩纪为左旋韧性剪切带, 古新世转变成左行脆性剪切带。长乐 - 南澳带的左旋走滑活动, 是由古太平洋板块朝 NW 斜向俯冲引起的。晚白垩世以来, 闽东南应力场性质为剪切与拉张相互变换, 指示地壳拉张不是连续的, 而是分期次; 晚白垩世以来大洋板块属于低应力型俯冲, 拉张是东南部主构造。

关键词: 基性岩脉; 拉张; 左旋走滑; 剪切带; 长乐 - 南澳带; 闽东南

中图分类号: P542 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1552(2006)02-0142-07

晚中生代以来中国东南部普遍发育基性岩脉 (或岩墙群), 基性岩脉 (或岩墙群) 不仅包含丰富地幔源区的地球化学信息, 记录了特定构造运动的时限, 而且其形成时的几何形态特征及产状恰是当时构造应力作用的集中反映 (侯贵廷等, 2002), 对基性岩脉 (或岩墙群) 的几何形态、产状的研究, 进一步恢复古应力场以及古大地构造运动状况, 有着一定的地质意义, 为研究大地构造演化过程提供有力的佐证。基性岩脉 (或岩墙群) 是区域构造应力场演变的产物。晚中生代以来闽东南普遍发育基性岩脉 (或岩墙群), 前人主要集中在地球化学、同位素、及其年代学方面的研究 (李寄隅, 1994; 赵勇, 1989; 张贵山等, 2004), 而从其形态学方面来探讨福建晚中生代的大地构造演化背景的研究比较少, 本文以闽东南的基性岩脉 (群) 为研究对象, 通过分析其几何形态和产状, 试图恢复晚白垩世闽东南的古应力场的原貌。

1 闽东南地质背景

中生代的中国东南部大地构造演化发生深刻变化, 太平洋构造体系逐渐取代了特提斯构造体系成为主构造域, NE 向的构造代替原来的 EW 向构造。NE 向构造带控制着中国东南部的岩浆活动、沉积作用和变质作用 (如: 政和 - 大埔断裂带、长乐 - 南澳断裂带)。闽东南沿海地区是中国东南部著名的中生代变质带的一部分, 为一典型的中、低级区域变质变形带 (图 1); 长乐 - 南澳断裂带是在前中生代地壳基底中的构造带发展起来的, 为区内主构造带, 太平洋板块的俯冲使其重新活跃, 逐渐演化成走滑构造剪切带, 控制着变质变形作用和岩浆活动。地球物理资料显示其为地震活动和重力及航磁梯度带 (滕吉文和闫雅芬, 2004)。目前研究表明, 长乐 - 南澳带的主要活动期为 100 ~ 120Ma (Wang and Lu, 1997; Tong and Tobisch, 1996; 舒良树等, 2000), 这与太平洋板块斜向俯冲的时间基本吻合。其构造属性是晚中生代大陆内部左旋走滑型构造 - 岩浆带

收稿日期: 2005 - 07 - 04; 改回日期: 2005 - 12 - 04

基金项目: 中国科学院知识创新工程项目 (KZCX3 - SW - 125, KZCX2 - 102) 资助。

作者简介: 张贵山 (1971 -), 男, 博士研究生, 矿物、岩石、矿床学专业。Email: zhangguishan1@sina.com

(舒良树等, 2000), 一直处于活动状态。闽东南地区的火山岩和侵入岩在长乐 - 南澳带两侧普遍发育, 出露有侏罗纪、白垩纪和第三纪的火山岩和侵入岩。火山岩主要为晚侏罗世南园组、早白垩世石帽山群的中酸性喷发岩系及第三纪的佛坛组玄武岩, 南园组火山岩已强烈的变质、变形, 石帽山群火山沉积岩不整合于南园组之上, 第三纪的佛坛玄武岩分布在佛县 - 龙海一带, 岩性为拉斑玄武岩, 石帽山群和佛坛组未发生变质作用。侵入岩以花岗岩为主, 少量出露基性岩, 侏罗纪侵入岩均发生变质, 白垩纪的侵入岩未发生变质作用, 其时代与石帽山群大体一致, 说明长乐 - 南澳带的强烈变质作用发生在石帽山群形成之前。变质带中广泛发育低绿片岩相、高绿片岩相和角闪岩相, 呈带状由北西向东南依次排列, 显示出变质强度逐渐增强的趋势。发育一套中浅变质岩系, 主要由变粒岩、片岩组成, 前人在片岩中发现了早古生代藻类和几丁虫化石(黄辉和陈觉民, 1988), 由于后期构造的破坏, 内部层序难以辨认, 同位素年龄数据不统一(杨泰铭等, 1985), 因此该岩系的年代不能确定, 可能为闽东南地区的基底岩层。

研究区位于东山岛的海边和漳浦县的赤湖镇(图 2)。基性岩脉出露于长乐 - 南澳剪切带内(图

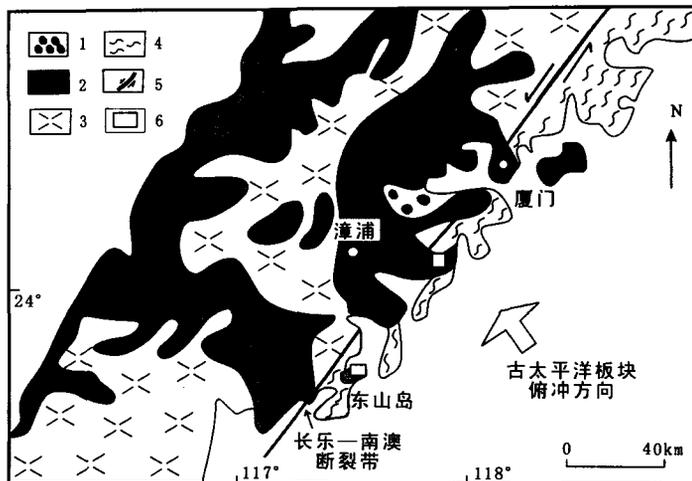


图 1 闽东南构造地质简图(据李武显等, 2003 修改)

- 1 - 第四系; 2 - 晚中生代花岗岩; 3 - 晚侏罗世 - 白垩纪火山岩;
- 4 - 变质带; 5 - 断裂带; 6 - 工作区

Fig. 1 Geological sketch map of southeastern Fujian

1), 其几何形态的形成与主断裂带活动有着内在联系。东山海边基性岩脉的形成年龄为 ~86Ma (K - Ar 法全岩)^①, 赤湖辉长岩脉的形成年龄为 ~58Ma (K - Ar 法全岩)^②, 分别与区域上 96Ma ± 和 56Ma ± 的基性火山岩 - 侵入岩属于同期岩浆活动的产物(Shu et al., 2004; 朱炳泉等, 2002), 表明中国东南部存在多期的岩石圈大规模伸展和地幔上涌, 与前人研究是一致的(胡瑞忠等, 2004; 李献华等, 1997)。

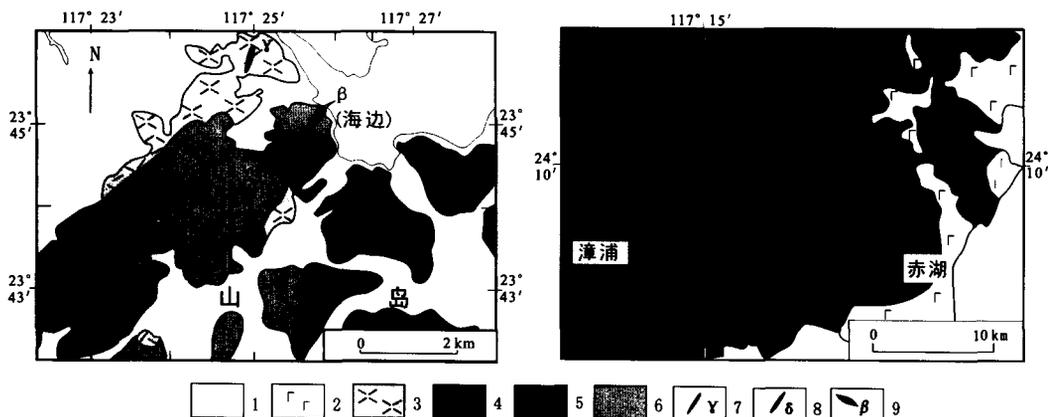


图 2 东山海边(据东山县 1:5 万地质图修改^②)和漳浦赤湖(据福建省 1:50 万地质图修改)地质图

- 1 - 全新统; 2 - 佛县玄武岩; 3 - 早侏罗世火山岩; 4 - 早白垩世花岗岩; 5 - 晚侏罗世花岗岩; 6 - 早侏罗世花岗岩; 7 - 细粒花岗岩脉;
- 8 - 闪长岩脉; 9 - 基性岩脉

Fig. 2 Geological sketch maps for Haibian and Chihu in southeast Fujian

① 作者未发表数据。

② 福建省区域地质调查大队. 2002. 东山县 1:50000 地质图.

2 基性岩脉的力学性质

基性岩脉(或岩墙群)是岩浆充填了呈规律性排列的区域性节理形成的(Matthew'd and Stephen, 2005),区域性节理是在统一应力场的小型节理系统的基础上发育而成的。Pollard(1987)通过弹性实验验证了只要先存裂隙的长度比足够大,当受到不大的垂直裂隙的张应力作用就可以在裂隙末端产生巨大的拉张力,足以使地块拉张,产生长而深的大规模破裂,为铁镁质岩浆侵入提供充足的空间。此时作用在破裂上的应力-拉张力与节理面垂直,区域性节理(或破裂)的形成是构造断层活动的结果(Peacock, 2001; Khodayar and Einarsson, 2002),基性岩浆侵入先存的区域性节理(或破裂)形成岩脉(岩墙群),使区域性节理的几何形态得以保存。基性岩脉(或岩墙群)的形态和样式反映了先存破裂系统的形态和样式,几何形状和产状由于应力直接作用形成的,分析其几何形状和产状,恢复古构造应力场的原来面貌。

本次研究区域位于东山县的杏陈镇海边和漳浦县的赤湖镇(图2)。东山海边为两条斜闪煌斑岩脉(我们称之为岩群)(图3),岩脉间隔为5m左右,脉体宽约20~30cm,岩群总体呈NE35°展布(图3),倾角均大于75°,岩脉几乎在同一水平部位发生扭转,脉体发生一定错移,被错开的脉体一律向左整体偏移约30~50cm,岩脉的走向未发生改变,除发生错移的部位发生变形外,其它部位的脉体仍然保持一致的形态和走向,被错断的岩脉排列方式为左阶;岩脉在错断处所留下的空间形成了似扫帚状的细脉与脉体相连或连接的趋势(图3),表明岩脉以断裂处为中心发生过旋转滑动留下的痕迹,显示出除了张应力作用外,还有左向旋转滑动的剪切力作用。

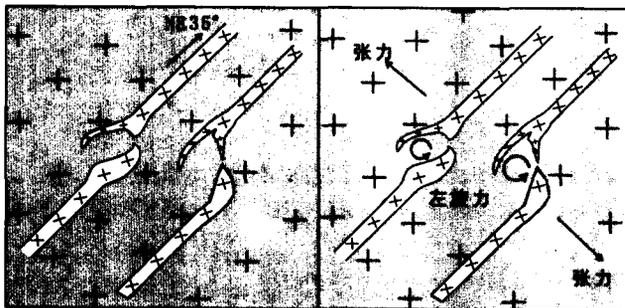


图3 东山海边斜闪煌斑岩脉形状示意图

Fig.3 Geometry sketch map for spessartine dikes in Haibian of southeast Fujian

岩脉排列方式与通常所说的张剪性雁列式排列不完全一样,先存的破裂形成时受力情况与典型的张剪性裂解存在差异。该岩群应力性质与华北吕梁地区的具有“根”状收尾形态的岩墙群存在本质的区别(侯贵廷等,1998),反映出闽东南地区晚中生代应力场不仅存在拉张应力,同时与区域构造带演化有关的左旋剪切力,它们共同控制闽东南的应力场。

赤湖的基性岩脉为一条长几公里的辉长岩脉,宽约7~10m,岩脉的走向为NE30°,岩脉体近似于直立,倾角大于80°,岩脉侵入到晚侏罗世花岗岩体中;岩脉主体派生的分枝细小岩脉侵入花岗岩体(图4b、c),并且在岩体中歼灭,分枝岩脉普遍发育,与主体岩脉之间的夹角约为20~30°左右,表明先存的破裂是在张剪力作用下形成的,期后基性岩浆上侵充填破裂形成了赤湖辉长岩脉。赤湖岩脉体不同的部位发生错断(图4a、d),被错断脉体发生明显的位移,说明岩脉形成之后曾经遭受脆性剪切作用,使岩脉发生错断现象。岩脉形态和产状反映出其形成之前和之后的应力作用存在一定的差别,可能区域应力场在不同时期的应力性质发生变化,与长乐-南澳带演化存在必然的联系。

东山和漳浦基性岩脉的走向分别为NE35°、NE30°,倾角大于75°,岩脉近似于直立。赵勇(1989)对福建沿海的基性岩脉(或岩墙群)产状和走向进行统计表明,基性岩脉(或岩墙群)呈直立状,垂直方向上宽度几乎没有变化,岩脉的走向玫瑰图主要集中在NE30°方向上,与我们野外观察基本一致。基性岩脉走向和产状比较稳定,反映破裂或

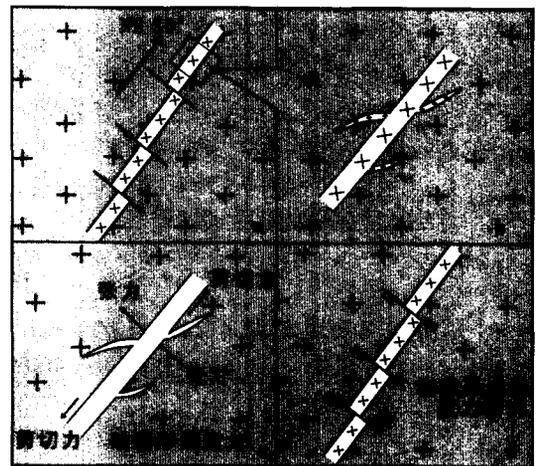


图4 漳浦赤湖辉长岩脉形状示意图

Fig.4 Geometry sketch map for gabbro dikes in Chihu of southeast Fujian

区域性节理是在一个相对稳定的应力场当中形成的。镜下鉴定未见矿物发生明显变形或者扭曲现象,暗示其形成之后未遭受过强烈的剪切作用,基性岩脉几何形态是破裂形成的反映,破裂的几何形状是基性岩浆上侵之前构造应力作用结果,因此根据本区基性岩脉的形态特征,反演闽东南古构造应力场性质是可行的。

3 区域构造应力场探讨

基性岩脉(或岩墙群)代表一种区域构造节理系统,是岩脉(或岩墙群)侵位前古应力场的脆性破裂的反映(侯贵廷等,1998;石火生等,1997)。前文分析可知,形成基性岩脉的破裂或区域性节理不仅受到张剪力作用,而且早期还有旋转剪切力的参与,晚期剪切力性质发生变化,剪切作用参与和性质的转变与区内长乐-南澳剪切带的晚中生代活动不无相关。长乐-南澳带控制了岩脉产出特征,岩脉几何形态的部分信息恰是其活动的记录,集中反映了长乐-南澳带活动对应力场的影响。

长乐-南澳剪切带性质的厘定颇有争议,王志洪与卢华复(1996)认为长乐-南澳带早白垩世早期(K_1^1)为左行走滑,以后为右行走滑;舒良树等(2000)认为长乐-南澳带是左旋走滑强烈韧性剪切带;也有人认为长乐-南澳带的活动分三个阶段,晚三叠世-早侏罗世为脆性右旋剪切带,晚侏罗世和早白垩世以来均为左旋剪切带,后两阶段其演化性质不同(福建省地质矿产勘查开发局,1998)。通过本区基性岩脉几何形态分析,得出晚白垩世、古新世长乐-南澳剪切带具有不同的构造属性。海边斜闪煌斑岩脉呈左阶排列,依据应力分析在破裂形成过程中存在旋转剪切力作用,推测区域上存在左旋剪切力,剪切力直接来自长乐-南澳断裂带的左旋走滑运动,破裂表现出韧性的特点;海边斜闪煌斑岩脉的同位素年龄为 86Ma,认为晚白垩世长乐-南澳带是一条韧性剪切带,具有左旋走滑的性质;赤胡辉长岩脉呈左阶排列,根据应力分析,破裂是在张剪力作用下形成的,剪切作用的方向为左行,后期岩脉发生左行脆性剪切作用,赤胡辉长岩脉的同位素年龄为 58Ma,推测古新世的长乐-南澳带转变成为左行脆性剪切带。因此,根据闽东南海边和赤胡基性岩脉产出几何形态,认为长乐-南澳剪切带属性从晚白垩世到古新世发生了变化,晚白垩世为左旋走滑韧性剪切带,古新世则演变为左行脆性剪切带,这种

变化与古太平洋板块晚中生代消减方向的改变有关。

研究表明,中生代大洋板块的俯冲方向、俯冲速率、俯冲角度等动力学要素是不断变化的(Engelbreton *et al.*, 1985; Zhou and Li, 2000),动力学要素的改变对长乐-南澳构造带演化的影响是至关重要的。晚中生代古太平洋板块朝欧亚大陆 NW 斜向俯冲消减,俯冲角度变陡、速率降低,导致岩浆活动向海边迁移(Zhou and Li, 2000)。在 NW 向的俯冲挤压作用下,根据 Ramsay 应变椭球体分析(图 5),产生 NEE 向的主张应力和 NE 向的左旋剪切力、NW 向的右旋剪切力。NE 向的左旋剪切作用必然导致 NE 向长乐-南澳带发生大规模剪切活动,板块俯冲产生的巨大应力推动了闽东南前中生代陆块向西北运移,在断裂面上受阻并发生左行走滑,使长乐-南澳带演化成左旋走滑剪切带。因此,左旋走滑的驱动力源于太平洋板块朝 NW 方向的斜向俯冲,没有这种俯冲,就不会有左旋走滑强烈韧性剪切,也不会有出现晚中生代变质变形带(舒良树等,2000;邱燕等,2005)。晚白垩世以后古太平洋板块对欧亚大陆消减作用减弱和俯冲方向改变,以高俯冲角度、低速率为特征,为低应力型俯冲,使长乐-南澳断裂带属性发生变化,表现出左行脆性剪切的性质,漳浦赤湖基性岩脉的脆性剪切现象提供了可靠的证据,古新世长乐-南澳带可能为左行脆性剪切带。

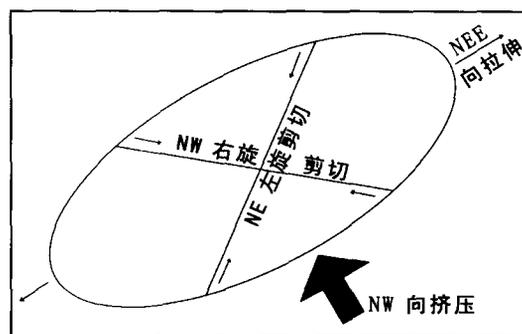


图 5 Ramsay 应变椭球体应力分析示意图
Fig. 5 Sketch of stress analysis on a strain ellipse of Ramsay

海边斜闪煌斑岩脉和赤胡辉长岩脉产出代表闽东南处于拉张的构造环境中,岩脉本身未发生变形作用,但是其几何形态却表现为剪切性质,可能是几何形态记录的是区域性节理(或破裂)形成时应力场的性质。本区基性岩脉几何外形显示出左旋剪切

和张剪切性质,表明区域性节理(或破裂)是挤压剪切环境中形成的,指示基性岩浆填充之前,闽东南处于剪切应力场中。海边和赤湖基性岩脉分别形成于晚白垩世和古新世,基性岩脉形成的环境为拉张,岩脉几何外形指示的是剪切环境,说明晚白垩世以来,闽东南应力场具有剪切-拉张相互交换的性质,应力场不是由单一的构造应力控制,暗示闽东南晚中生代以来地壳拉张不是连续的,是分期次的。大量研究表明(邱检生等,1999a,1999b;Zhou and Li,2000;Li,2000;周蒂等,2005),拉张为东南部晚中生代的主构造,本文研究表明,晚中生代中国东南部地壳拉张不是连续的,而是分期次的。

通过对闽东南基性岩脉的几何形态分析,认为长乐-南澳带晚白垩世为走滑韧性剪切带,古新世为左行脆性剪切带;剪切力来自长乐-南澳带的走滑活动,左旋走滑是由太平洋板块斜向俯冲作用造成的。拉张是闽东南晚中生代的主构造,也是中国东南部的的主要构造类型,地壳拉张不是连续的,是分期次的。

4 结 论

(1) 闽东南基性岩脉几何形态特征说明,晚白垩世、古新世长乐-南澳剪切带具有不同的构造属性,晚白垩世为左旋韧性剪切带,古新世则为左行脆性剪切带;

(2) 研究表明,晚中生代古太平洋板块对欧亚大陆的NW斜向俯冲导致了同期长乐-南澳带的NE向左旋走滑活动;

(3) 基性岩脉几何形态记录的是岩脉形成前应力场性质,岩脉指示其形成的构造应力属性。研究表明,晚中生代闽东南构造应力场以剪切-拉张相互变换为特征,暗示地壳拉张不是连续的,而是分期次的。

(4) 海边和赤湖基性岩脉同位素年代学数据,反映晚白垩世和古新世闽东南处于拉张的构造环境中,说明区域上存在晚白垩世和古新世两个地壳拉张期次。

致谢:论文写作和修改过程中得到中国科学院地球化学研究所吴学益研究员、宋谢炎研究员和西北大学车自成教授的帮助,论文最终定稿得益于两位审稿专家富有建设性的意见和建议及编辑部的编辑加工,笔者谨致谢忱。

参考文献:

- 福建省地质矿产勘查开发局. 1998. 1:50万福建省地质图及说明书. 福州:福建省地图出版社, 1-104.
- 侯贵廷, 钱祥麟, 李江海. 2002. 华北克拉通中元古代岩墙群形成的构造应力场数值模拟. 北京大学学报(自然科学版), 38(4): 492-496.
- 侯贵廷, 张臣, 钱祥麟, 张宝兴. 1998. 华北克拉通中元古代基性岩墙群形成机制及构造应力场. 地质论评, 44(3): 309-314.
- 胡瑞忠, 毕献武, 苏文超, 彭建堂, 李朝阳. 2004. 华南白垩-第三纪地壳拉张与铀成矿的关系. 地学前缘, 11(1): 153-160.
- 黄辉, 陈觉民. 1988. 论福建平潭-东山地体. 中国区域地质, (3): 231-235.
- 李寄隅. 1994. 澎湖地区玄武岩类与福建地区基性岩脉之定年学与地球化学研究兼论中生代晚期以来中国东南地函之演化. 台北: 台湾大学.
- 李武显, 周新民, 李献华. 2003. 长乐-南澳断裂带变形火成岩的U-Pb和⁴⁰Ar/³⁹Ar年龄. 地质科学, 38(1): 22-30.
- 邱检生, 王德滋, 周金城. 1999a. 福建永泰云山晚中生代双峰式火山岩的地球化学及岩石成因. 岩石矿物学杂志, 18(2): 97-107.
- 邱检生, 王德滋, McInnes B I A. 1999b. 浙闽沿海地区I型-A型复合花岗岩体的地球化学及成因. 岩石学报, 15(2): 237-246.
- 邱燕, 曾维军, 李唐根. 2005. 南海中、南部断裂体系及其大地构造意义. 大地构造与成矿学, 29(2): 166-175.
- 石火生, J. 霍克, C. 威尔逊. 1997. 镁铁岩脉侵位机制及伴随变形. 高校地质学报, 3(2): 154-161.
- 舒良树, 于津海, 王德滋. 2000. 长乐-南澳断裂带晚中生代岩浆活动与变质-变形关系. 高校地质学报, 6(3): 368-378.
- 滕吉文, 闫雅芬. 2004. 中国东南大陆和陆缘地带板内构造界带的磁异常场响应. 大地构造与成矿学, 28(2): 105-117.
- 王志洪, 卢华复. 1996. 长乐-南澳韧性剪切带走滑特征探讨. 地质论评, 42(1): 1-6.
- 杨泰铭, 黄文荣, 柳昌华, 徐安姑. 1985. 福建东南沿海存在古老基底的新证据. 大地构造与成矿学, 9(4): 372.
- 张贵山, 温汉捷, 裘愉卓. 2004. 闽西晚中生代基性岩脉的地球化学研究. 地球化学, 33(3): 243-253.
- 赵勇. 1989. 福建沿海地区新生代伸展构造与地震活动. 北京: 地震出版社, 1-105.
- 周蒂, 刘海龄, 陈汉宗. 2005. 南沙海区及其周缘中-新生代岩浆活动及构造意义. 大地构造与成矿学, 29(3): 354-363.
- 朱炳泉, 王慧芬, 陈毓蔚, 常向阳, 胡耀国, 谢静. 新生代华夏岩石圈减薄与东亚边缘海盆构造演化的年代学与地球化学制约研究. 地球化学, 2002, 31(3): 213-221.

References:

- Engebretson D C, Cox A and Gordon R G. 1985. Relative motions between oceanic and continental plates in the Pacific basin. *Geological Society of America Special Paper*, 1 - 59.
- Fujian Bureau of Exploration & Development of Geological & Mineral Resources. 1998. The 1:500,000 geological map and specification of Fujian. Fuzhou: Fujian Map Press, 1 - 104 (in Chinese).
- Hou Guiting, Qian Xianglin and Li Jianghai. 2002. The simulation of Mesoproterozoic tectonic stress field forming mafic dyke swarms in the Central North China Craton. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 38(4): 492 - 496 (in Chinese with English abstract).
- Hou Guiting, Zhang Chen, Qian Xianglin and Zhang Baoxing. 1998. The formation mechanism and tectonic stress field of the Mesoproterozoic mafic dike swarms in the North China Craton. *Geological Review*, 44(3): 309 - 314 (in Chinese with English abstract).
- Hu Ruizhong, Bi Xianwu, Su Wenchao, Peng Jiantang and Li Chaoyang. 2004. The relationship between uranium metallogenesis and crustal extension during the cretaceous - tertiary in south China. *Earth Science Frontiers*, 11(1): 153 - 160 (in Chinese with English abstract).
- Huang Hui and Chen Juemin. 1988. Study massif of Pingtan - Dongshan form Fujian. *Regional Geology of China*, (3): 231 - 235 (in Chinese with English abstract).
- Khodayar M and Einarsson P. 2002. Strike-slip faulting, normal faulting, and lateral dike injections along a single fault; Field example of the Gljúfurá fault near a Tertiary oblique rift-transform zone, Borgarfjörð, west Iceland. *Journal of Geophysical Research B, Solid Earth*, 107(B5): ETG 5 - 1 to ETG 5 - 18.
- Li Jiyou. 1994. Implications for the mantle evolution of SE China since late Mesozoic Chronology and geochemistry of basaltic rocks from Penghu islands and mafic dikes from east Fujian. Taipei: Taiwan University (in Chinese).
- Li Wuxian, Zhou Xinmin and Li Xianhua. 2003. U - Pb and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of deformed igneous rocks from the Changle - Nan'ao fault. *Chinese Journal of Geology*, 38(1): 22 - 30 (in Chinese with English abstract).
- Li Xianhua, Hu Ruizhong and Rao Bing. 1997. Geochronology and geochemistry of Cretaceous mafic dikes from northern Guangdong, SE China. *Geochimica*, 26(2): 14 - 31 (in Chinese with English abstract).
- Li Xianhuan. 2000. Cretaceous magmatism and lithospheric extension in southeast China. *Journal of Asian Earth Science*, 18: 293 - 305.
- Matthew D A and Stephen J M. 2005. Development of strike-slip faults from dikes, Sequoia National Park, California. *J of Structural Geology*, 27: 35 - 49.
- Peacock D C P. 2001. The temporal relationship between joints and faults. *J of Structural Geology*, 23: 329 - 341.
- Pollard D D. 1987. Elementary Fracture Mechanics Applied to the Structural Interpretation of Dykes. In Hall H C and Fahrig W F (eds). Mafic dyke swarms. *Geological Association of Canada Special Paper*, 34: 5 - 24.
- Qiu Jiansheng, Wang Dezi and Zhou Jincheng. 1999a. Geochemistry and petrogenesis of the Late Mesozoic bimodal volcanic rocks at Yunshan Caldera, Yongtai County, Fujian Province. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 18(2): 97 - 107 (in Chinese with English abstract).
- Qiu Jiansheng, Wang Dezi and McInnes B I A. 1999b. Geochemistry and petrogenesis of the I- and A-type composite granite masses in the coastal area of Zhejiang and Fujian province. *Acta Petrologica Sinica*, 15(2): 237 - 246 (in Chinese with English abstract).
- Qiu Yan, Zeng Weijun and Li Tanggen. 2005. Fracture systems and their tectonic significance in the central and southern parts of the South China Sea. *Geotectonica et Metallogenia*, 29(2): 175 (in Chinese with English abstract).
- Shi Huosheng, Hoek J D and Wilson C J L. 1997. Mafic dyke emplacement mechanism and accompanying deformation. *Geol J of China Univ*, 3(2): 154 - 161 (in Chinese with English abstract).
- Shu Liangshu, Deng Ping, Wang Bin, Tan Zhengzhong, Yu Xinqi and Sun Yan. 2004. Lithology, kinematics and geochronology related to Late Mesozoic basin - mountain evolution in the Nanxiong - Zhuguang Area, South China. *Science in China (D)*, 47(8): 673 - 688.
- Shu Liangshu, Yu Jinhai and Wang Dezi. 2000. Late Mesozoic granite magmatism and its relation to metamorphism-Ductile deformation in the Changle-Nan'ao fault zone, Fujian Province. *Geol J of China Univ*, 6(3): 368 - 378 (in Chinese with English abstract).
- Teng Jiwen and Yan Yafen. 2004. Abnormal geomagnetic field response at intraplate tectonic boundary in continent and continental margin in Southeastern China. *Geotectonica et Metallogenia*, 28(2): 105 - 117 (in Chinese with English abstract).
- Tong W X and Tobisch O T 1996. Deformation of granitoid plutons in the Dongshan area, Southeast China; Constraints on the physical conditions and timing of movement along the Changle - Nanao shear zone. *Tectonophysics*, 267: 303 - 316.
- Wang Zhihong and Lu Huaifu. 1997. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology and exhumation of mylonitized metamorphic complex in the

- Changle - Nanao ductile shear zone. *Science in China* (D), 40(6), 641 - 647.
- Wang Zhihong and Lu Huafu. 1996. The strike-slip movement of the Changle - Nan'ao ductile shear zone, southeastern China. *Geological Review*, 42(1): 1 - 6 (in Chinese with English abstract).
- Yang Taiming, Huang Wenrong, Liu Changhua and Xu Angu. 1985. New evidence for the presence of old basement in the coastal region of Fujian. *Geotectonica et Metallogenia*, 9(4): 372 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Guishan, Wen Hanjie and Qiu Yuzhuo. 2004. Geochemistry of the late Mesozoic mafic dikes in western Fujian Province. *Geochimica*, 33(3): 243 - 253 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Yong. 1989. The Cenozoic extensional tectonics and seismic activity in the coastal region of Fujian. Beijing: Seismic Publishing House, 1 - 105 (in Chinese).
- Zhou Di, Liu Hailing and Chen Hanzong. 2005. Mesozoic - Cenozoic magmatism in southern South China Sea and its surrounding areas and its implications to tectonics. *Geotectonica et Metallogenia*, 29(3): 354 - 363 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Xinmin and Li Wuxian. 2000. Origin of late Mesozoic igneous rocks in southeastern China; Implications for lithosphere subduction and underplating of mafic magmas. *Tectonophysics*, 326: 269 - 287.
- Zhu Bingquan, Wang Huifang, Chen Yuwei Chang Xiangyang, Hu Yaoguo and Xie Jing. 2002. Geochronological and geochemical constraint on the Cenozoic extension of Cathaysian lithosphere and tectonic evolution of the border sea basins in East Asia. *Geochimica*, 31(3): 213 - 221 (in Chinese with English abstract).

GEOLOGICAL IMPLICATIONS OF TECTONIC STRESS FIELD FORMED IN MAFIC DIKES IN SOUTHEASTERN FUJIAN

ZHANG Guishan^{1,2}, WEN Hanjie¹, HU Ruizhong¹, QIU Yuzhuo¹,
YANG Guangshu¹ and YU Wenxiu¹

(1. Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang, Guizhou 550002, China; 2. The Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: The coastal area around Southeastern Fujian is located in the Changle-Nan'ao tectonic zone, where mafic dikes (swarms) were developed since late Mesozoic. To prove the popular view that the geometrical form and occurrence of mafic dikes should record the evolution of local stress field, a study was carried out on the mafic dikes from Chihu of Zhangpu and Haibian of Dongshan, and it was found that the Changle-Nan'ao tectonic belt might be a levorotatory ductile shear zone in the late Cretaceous, but was thereafter converted to the lefthanded fragile shear zone in the Paleocene; We believe that this was caused by the NW-trending subduction of the paleo-Pacific plate. Since late Cretaceous, the stress changes between shearing and tension in Southeastern Fujian, which indicates that the crustal extension is not continuous but proceeded by many stages; Through the low stress subduction of oceanic plate, crustal extension has dominated in Southeastern China.

Keywords: mafic dikes; tensional stress; left slip; shear belt; Changle-Nan'ao tectonic belt; Southeastern Fujian