江山-绍兴碰撞带的磁组构特征及其构造地质意义

沈忠悦 方大钧 叶 瑛 朱建丽 郑美云
(浙江大学地球科学系, 杭州 310027)

摘要 江山-绍兴碰撞带北段诸暨-绍兴一带磁化率各向异性研究表明: 碰撞带内不同类型的变质岩、沉积岩的磁组构均具有最小磁化率主轴最集中的特点. 磁组构最小磁化率主轴的平面投影表明, 这一地区的主压应力方向为北西 30~ 60°, 集中于陈蔡北西~ 南东方向, 主压应力往南北两侧璜山和王家宅呈弧状散开; 最小磁化率主轴倾角显示, 华夏地块往北西方向推移; 最大磁化率主轴相对比较分散, 但尚在置信圆内; 最大磁化率主轴与线理呈小角度相交, 指示了江山-绍兴碰撞带还具有左旋平移的特征. 不同时代岩石磁组构的对比结果显示, 江山-绍兴碰撞带的最后强烈碰撞的时间为晚三叠世之后至晚侏罗世, 而后以左形剪切走滑持续到燕山期末.

关键词 **江绍碰撞带 磁组构 古地磁 中生代**

磁组构是指磁性颗粒或晶格的定向以及它们的组合, 其实质是磁化率各向异性, 一般表现为磁化率数量椭球的形状和方向[1]. 大型造山带的研究中运用了磁组构分析方法, 能有效地揭示碰撞过程中的主应力特征、韧性剪切力特性及透入程度、刚-塑性变形的微观构造. 磁组构分析对阐述和掌握大陆碰撞、造山带的形成、演化过程的定量研究具有重要意义.

对江山-绍兴碰撞带北端诸暨-绍兴段的的各类岩石进行了磁组构分析, 探讨了江山-绍兴碰撞带的性质, 碰撞时限等问题.

1 地质概况和研究现状

江山-绍兴碰撞带, 简称江绍碰撞带, 呈北东走向, 纵跨浙江全省, 东起杭州湾外大陆架, 大致沿浙赣铁路向南西延伸, 与萍乡-广丰深断裂连接, 是一条十分重要的地质界线(图 1). 其北西侧为江南地块, 南东侧为华夏地块.

长期以来, 对江绍碰撞带的性质和活动时间存在着不同的观点. 部分研究者据同位素年龄认为早加里东期已完成碰撞拼接[2~5]. 从江绍碰撞带沿线出露的地质体年代来看, 其活动历史不应归结为单一的拼贴碰撞. 在碰撞带北段的双溪坞群细碧角斑岩与英安质火山岩中, 已测得约 978.4~ 875 Ma 的同位素年龄[5,6]. 在碰撞带南侧的陈蔡群变质岩中, 叶瑛等人[7]测得了 415.1 Ma 的 Ar^{40}-Ar^{39}年龄, 认为代表了主变质晚期的冷却年代. 和江绍碰撞带活动直接有关的是一套以糜棱岩为代表的动力变质岩, 其地表露头最大宽度为 5.5 km, 最窄地段约 600 m. 遭受糜棱岩化的岩石有细碧角斑岩、英云闪长岩和陈蔡群区域变质岩. 对糜棱岩的显微构造研究表明[8], 它在成因上和碰撞带两盘的左行剪切有关, 与我国东部中新生代活动规律相一致. 碰撞带内还叠加了晚期岩浆活动与成矿作用. 江绍碰撞带还控制了沿线中生代沉积盆地的发育.

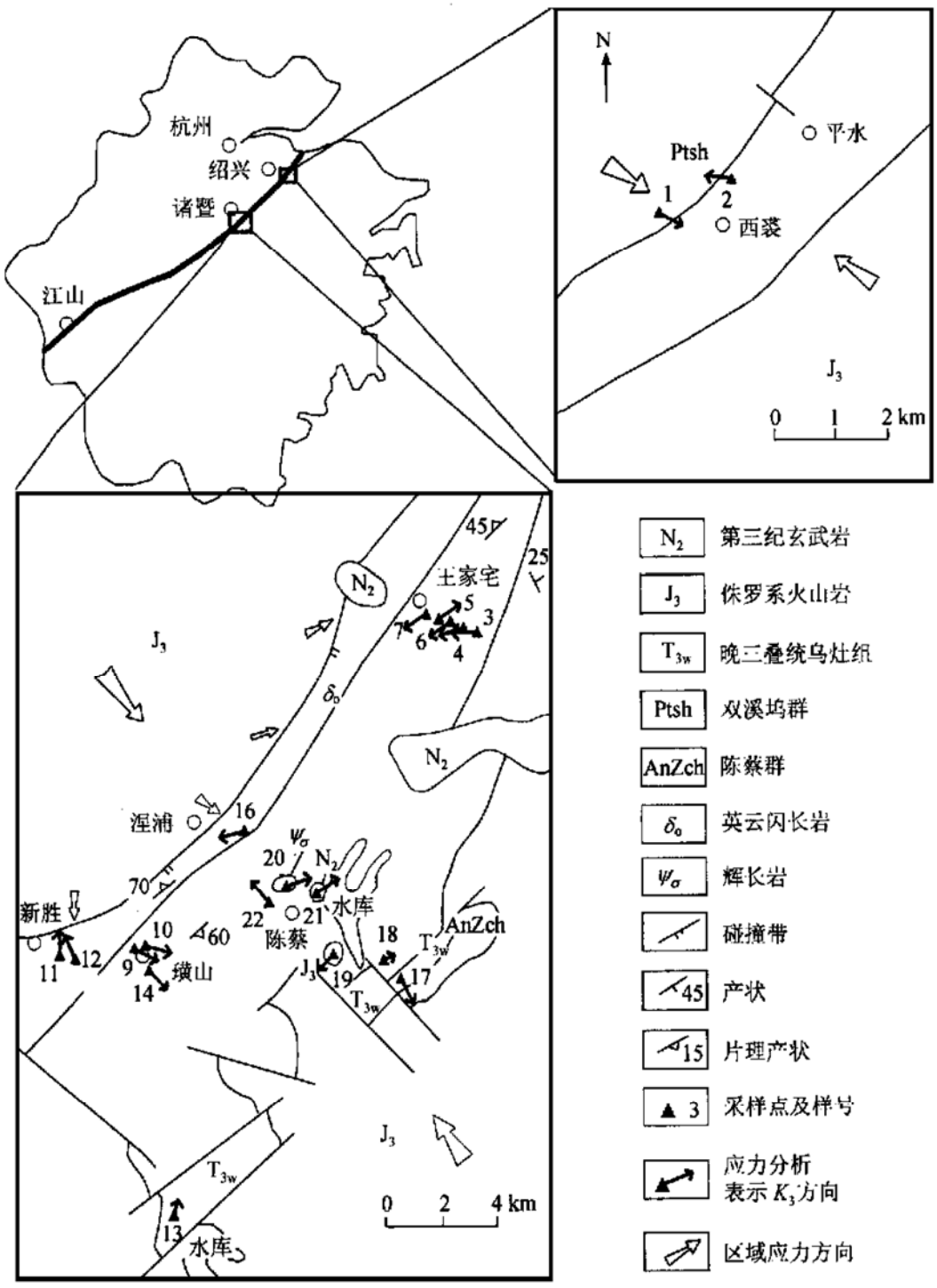

图1 研究区样品分布及应力分析

本文研究区是江绍碰撞带地质现象出露最完整的地区. 研究区北部通过绍兴境内, 发育有一套晚元古代厚度较大的双溪坞群砂质板岩、英安质火山岩和细碧角斑岩互层. 研究区南端在诸暨市境内出露一套陈蔡群变质岩. 其岩石组合为斜长角闪岩、变粒岩、大理岩和黑云斜长片麻岩等. 与陈蔡群变质岩拼接的是英云闪长岩, 长 20 余公里, 出露面积 30~ 40 km^2. 本文从磁组构角度主要研究江绍碰撞带的活动历史、构造主应力方向及运动性质.

2 样品采集

研究用样品自北往南采自 3 个剖面: ( ) 平水铜矿剖面. 发育了晚元古代双溪坞群细碧

角斑岩. 岩石具块状构造, 弱变形. 在距铜矿北东 1000 m 的小山包, 岩石已强烈变形, 片理发育, 内部长英质矿物均已被拉长并定向排列, 为典型的糜棱岩化的产物. 细碧角斑岩质糜棱岩是这一碰撞带的构造岩; ( ) 王家宅剖面. 为典型的韧性剪切带, 出露大片动力变质岩. 原岩为陈蔡群斜长角闪岩, 局部残留有原岩. 剪切带内岩石广泛遭受退变质作用, 形成的矿物组合为绿片岩相, 发育有良好的片理构造; ( ) 璜山-陈蔡剖面. 这一剖面是江绍碰撞带上较宽的一段. 从弱变形到强烈变形的岩石出露完整. 岩石类型有遭受过不同程度的糜棱岩化的英云闪长岩、斜长角闪岩和具强烈流变的含榴黑云斜长片麻岩.

为研究对比不同时代的岩石磁组构特征, 在上述剖面上采集了三类样品: ( ) 动力变质带残存的原岩, 包括细碧岩、英云闪长岩和陈蔡群变质; ( ) 剪切带中的糜棱岩; ( ) 与碰撞带空间上伴生的中新生代岩石, 包括第三系玄武岩和辉长岩、晚侏罗世次火山岩和晚三叠世乌灶组砂岩. 样品分布见图 1.

野外采样, 分 21 个采点, 共获 225 个样品. 全部样品用手提式钻机钻取, 并在现场用取样定向器和地质罗盘定向.

3 磁组构测定结果

岩石磁化率各向异性测量是在南京矿产地质研究所用 HKB-1 型卡帕桥进行. 数据经地理坐标转换后等角投影于图 2. K_1, K_2 和 K_3 分别对应于最大磁化率主轴、中间磁化率主轴和

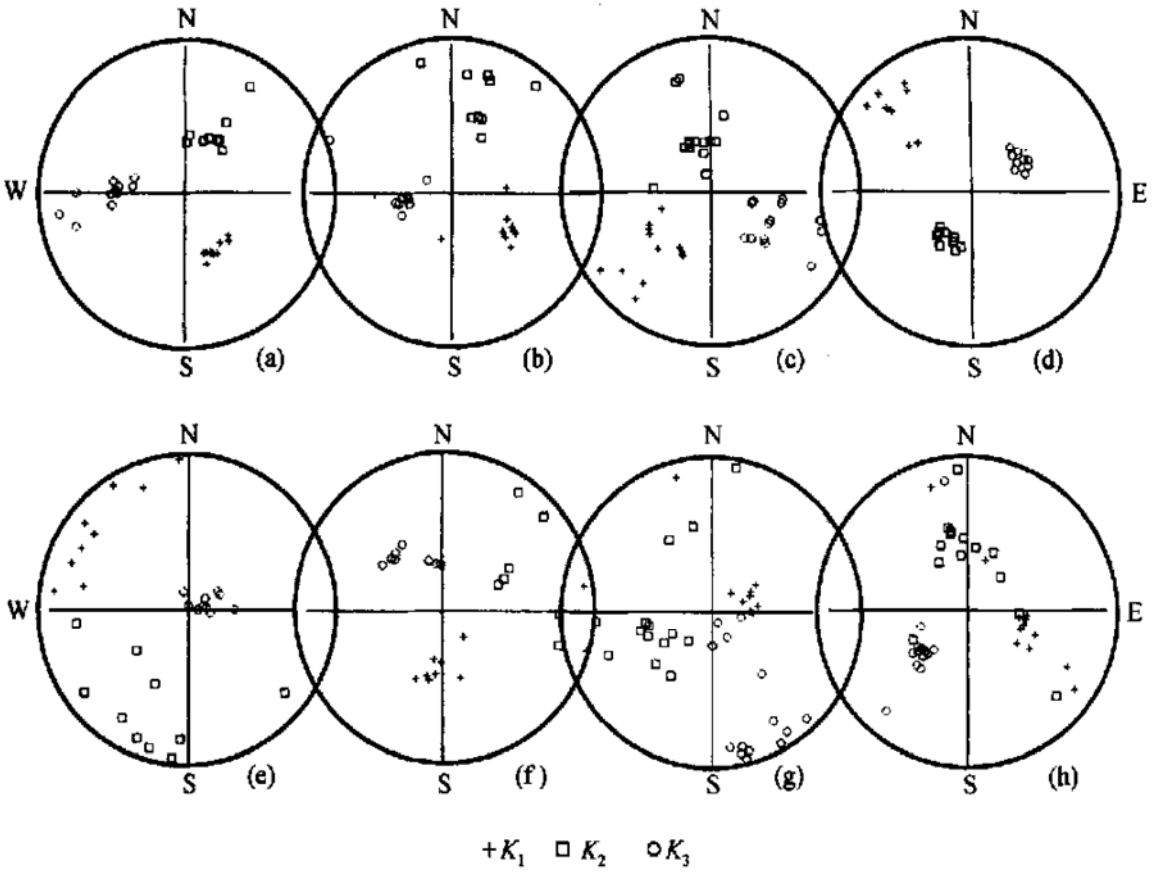

图 2 磁组构方向极射赤平投影

(a) 糜棱岩; (b) 糜棱岩; (c) 细碧角斑岩; (d) 糜棱岩; (e) 含榴黑云斜长片麻岩; (f) 斜长角闪岩; (g) 乌灶组砂岩; (h) 英安岩

最小磁化率主轴. 从图2可知, K_3 最为集中, K_1 次之, K_2 较离散.

(1) 糜棱岩的磁组构特征. 糜棱岩的 K_1, K_2, K_3 分布方位收剑性较好, 3个主轴的 α_{95} 均小于30°. 等面积网投影图上表现出 K_3 集中, K_2 与 K_1 沿磁面理分布(图2(a)、(b)、(d)), Flinn图上位于压扁区域内(图3(a)), 压扁的程度与糜棱岩化的程度有关. 强烈变形的韧性剪带中, 面理发育程度远远大于线理, 呈扁平型的磁化率椭球. 研究区糜棱岩 K_3 方向集中, 平均方向在NW~SE30~60°, 指示着本区的主应力方向.

(2) 残存原岩的磁组构特征. 细碧角斑岩. 所有样品在赤平投影图上 K_3 相对集中, K_2 和 K_1 分布在一个大圆弧上(图2(c)). 在Flinn图上, 投影点在 $F=L$ 的上方一侧(图3(b)), 近似于平行 $F=L$ 直线分布. 磁面理的发育略优于磁线理的发育, 与野外所见到的岩石不具明显片理、呈块状产出的现象一致.

英云闪长岩. 碰撞带范围内不同部位的英云闪长岩因遭受的动力改造的历史不同, 因此表现出不同的磁化率椭球体特征. 10号样采自璜山金矿, F 和 L 都不发育, 而新胜地区的磁面理较发育; 水口的糜棱岩化英云闪长岩则面理十分发育, 表现为从三向等长变化到略压扁、乃至压扁的椭球体. 它们与野外的岩石变形程度相一致.

斜长角闪岩与片麻岩. 这两类岩石为典型陈蔡群变质岩, 在研究区内具有相似的磁组构特征. K_1, K_2, K_3 的收敛性较好, α_{95} 远远小于30°. 在Flinn图上, 磁化率量值椭球投影点均落在压扁区域内, $F>L$(图3(c)), 表现为单轴压扁型磁化率椭球体. 但两者的 K_3 方位不一致(图2(e)、(f)), 可能近碰撞带的斜长角闪岩(图1, 采点22)代表的是碰撞构造应力的方向, 而远离碰撞带的片麻岩(图1, 采点18)则代表了深埋变质阶段的主压应力方向, 故表现为近于垂直的主压应力.

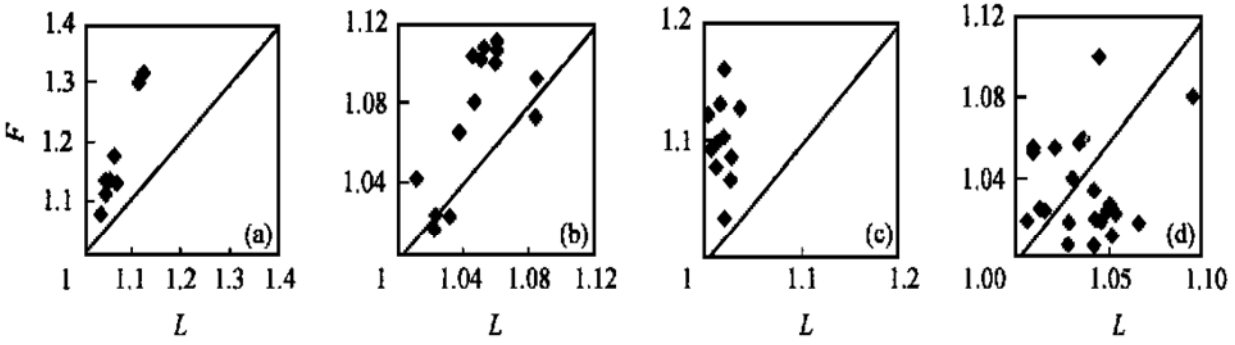

图3 各种岩石磁组构Flinn图

(a) 糜棱岩; (b) 细碧角斑岩; (c) 斜长角闪岩; (d) 晚三叠世砂岩. L ——磁线理, $L=K_1/K_2$; F ——磁面理, $F=K_1/K_3$

(3) 伴生岩石的磁组构特征. 晚三叠世乌灶组砂岩. 陈蔡剖面南东缘的乌灶组砂岩虽然 K_3 轴较碰撞带内的岩石分散, 但在 $\alpha_{95}<30°$ 的置信区间内, 总体趋势仍以南东135°分布(图2(g)), 它们的平均 K_3 分布方位相同, 指示着主压应力的方向与碰撞带基本一致. 乌灶组砂岩的磁化率椭球具近似三轴等长的特征(图3(d)), 又不同于沉积构造. 乌灶组砂岩与碰撞带糜棱岩具有相似的 K_3 磁化率主轴方向, 可能表明晚三叠世沉积岩仍纪录了当时江绍碰撞带的主应力方向.

晚侏罗世火成岩. 新胜英云闪长岩中晚侏罗世细晶岩脉和陈蔡英安岩表现出较弱的压扁

型的磁化率椭球, 磁面理不太发育, 前者 K_3 主轴的分布与碰撞带基本一致, 后者具较大差别 (图 2(h)) , 可能表明细晶岩脉和晚侏罗世英安岩受到了碰撞晚期的影响.

第三系火成岩. 陈蔡地区第三系玄武岩和陈蔡辉长岩体, 磁线理和面理均不发育. 以投影分布于 Flinn 图中 $F = L$ 附近及其两侧边缘为特征, 岩石磁化率椭球为三轴近似等长的椭球体. 第三系玄武岩的磁组构方向与野外观察的玄武岩流线方向一致, 故它代表了岩浆的流动方向. 表明玄武岩未受到江绍碰撞带的应力作用, 暗示了地体碰撞发生的时间早于第三纪.

4 碰撞带构造应力场及动力学讨论

在构造地质学中, 磁化率椭球可作为应力作用的指示器[1]. 在应力作用下岩石中矿物产生定向排列、韧性变形或定向重结晶, 其结果使岩石产生较强的磁化率各向异性. 岩石磁化率椭球与应变椭球有密切关系. 最小磁化率主轴平行于岩石中构造面理的极, 最大磁化率主轴则平行岩石的线理方向[1, 9]. 因此, 可以用磁化率各向异性来分析本区的构造应力.

图 1 中画出了采点平均磁化率椭球的短轴 K_3 平面分布, 由图可见, 江绍碰撞带沿线各处 K_3 方向总体上是集中的, 大都在 NW30~ 60°/ SE30~ 60°之间, 但各处又有差异和渐变现象: 北部以 NWW 向, 中部以 NW 向, 南部以 NNW 向为主, 是以澧浦为中心向外呈弧形发散的应力分布特征的. K_3 的倾角, 一般在 10~ 30°之间, 说明主压应力近于水平. K_1 主轴在磁面理内, K_1 的方位与野外的线理呈 30°角相交, 指示着在主压应力(K_3) 下, 岩石在片理面上滑移, 导致形成了左旋走滑性质的位移变形. 这一现象在碰撞带接触边缘尤其明显. 在主体为左形走滑的基础上, 由于各地段的应力方位有所变化, 不排除在局部地带出现右形走滑性质的可能性.

从 K_3 分布看, 在研究区北端, 糜棱岩的 K_3 方向十分一致, 它可能代表了较晚的应力事件. 而陈蔡群的其它类型岩石磁组构表现却较分散, 但 K_3 与断裂带大致垂直, 它代表了较早的应力事件. 如果这样的假设是正确的话, 主应力前期为北西~ 南东向的压应力为主, 后期以剪应力为主, 剪切方向与碰撞带的主体方向呈小角度相交, 表现为左旋滑移的性质. 在长期的、强大的压应力作用下, 碰撞带内的岩石产生塑性流变. 流变的方向垂直于 K_3, 而在 K_1~ K_2 构成的平面内, 沿 K_1 的方向上. 故剪切应力的时间上晚于压应力. 类似的不同方向的 K_3 解释为 2 期构造运动是十分典型的[9]. 剪切应力的方向与晚侏罗世英安岩磁组构的方向相同, 暗示了剪切应力可能持续到燕山晚期. 沿碰撞带发育的白垩纪长条带状盆地被其左形切断是燕山期左形剪切的宏观地质证据.

总结上述, 磁组构研究表明, 本区具有 3 期构造应力: ( ) 加里东期: 以采点 18 为代表, 岩石具强流变现象, 其 K_3 近于直立, 代表了加里东期的深埋变质作用; ( ) 印支晚期~ 燕山早期. 具北西~ 南东向的 K_3 方向, 代表本区的碰撞应力方向; ( ) 燕山晚期. 以左型剪切走滑为特征.

5 江南地块与华夏地块拼接时间的讨论

通过岩石磁组构分析结合野外地质观察资料得到导致岩石变形的主压应力方向, 从而可以进一步探讨碰撞带的形成年代. 磁组构受应力的控制且最后应力事件被完全保留. 从这一角度出发, 对比了各个时代岩石的磁组构特征方向, 即 K_1 和 K_3 的主方向, 发现碰撞带岩石均

具有一个相对集中的方向,K_3 分布的平均方向为NW~ SE方向. 与其伴生的辉长岩和第三系玄武岩的磁组构显著不同于碰撞带变质岩和岩体;碰撞带南东缘晚三叠世乌灶组砂岩却与碰撞带磁组构方向相似,均为NW~ SE向的主压应力方向. 不同时代的岩石具有相同的磁组构,意味着,江绍碰撞带的最后剧烈活动,时间上不早于晚三叠世. 但在晚侏罗世到白垩纪晚期,又发生了剪切形变,形成了糜棱岩带. 因此,江绍碰撞带的最终强烈碰撞始于晚三叠世之后,并延续至燕山期末.

一些资料已显示中生代碰撞的可能. 如谈晓冬等人[10]对与江绍碰撞带大致平行的浙西南龙泉碰撞带的研究,认为碰撞拼合事件发生于中生代. 沈忠悦等人[11]对江绍碰撞带江山附近早石炭世至晚二叠世地层研究中,均发现了与碰撞带伴生的珍珠陶石矿物. 这种珍珠陶石与高岭石呈消长关系,表明在碰撞带应力作用下,高岭石开始向珍珠陶石转变. 由此也得出了碰撞的时间应在中生代. 古地磁研究表明[12],华南地块与杨子地块在早三叠世时,西部地区已经碰撞拼合,华南的东部仍然是分离的. 三叠纪晚期到侏罗纪才通过华南地块的逆时针旋转与杨子地块拼合,这与江绍断裂带在晚三叠世后碰撞造山在时间上是一致的,也支持了许靖华的华南中生代大地构造模式[13].

从地质事实上看,江绍碰撞带的活动是多期次的,磁组构显示的只是最后强烈碰撞拼接时间. 有关江绍碰撞带的活动历史还将有待于更多的、更广泛的地质与磁组构研究来进一步的证实.

致谢 本工作为国家自然科学基金(批准号:49574216)资助项目.

参 考 文 献

1 余钦范,郑 敏. 岩石磁组构分析及其在地质学中的应用. 北京:地质出版社, 1992
2 水 涛,徐步台,梁如华,等. 中国浙闽变质基底地质. 北京:科学出版社, 1988
3 周新民,朱云鹤. 江绍断裂带的岩浆混合作用及其两侧的前寒武纪地质. 中国科学, B辑, 1992(3):296~ 303
4 周新民,朱云鹤. 中国东南部晚元古代碰撞造山带与地缝合带的岩石学证据. 见:李继亮主编, 东南大陆岩石圈结构与地质演化. 北京:冶金工业出版社, 1993. 87~ 97
5 章邦桐,凌洪飞,沈渭洲,等. 浙西陈蔡群斜长角闪岩的岩石学和地球化学特征及其地质意义. 南京大学学报(地球科学), 1994, 6(1):19~ 28
6 程 海. 浙西北晚元古代岛弧火山岩的地球化学研究. 地球化学, 1993(1): 18~ 27
7 叶 瑛,兰玉琦,陈彦绍,等. 浙江陈蔡群的^{40}Ar-^{39}Ar年龄与变质年代. 岩石学报, 1994(2):193~ 201
8 董传万,李福佩,沈忠悦. 诸暨陈蔡地区韧性剪切带中糜棱岩类的研究. 浙江地质, 1992, 8(1):16~ 23
9 Borradaile G J, Henry B. Tectonic applications of magnetic susceptibility and its anisotropy. Earth Science Reviews, 1997, 42: 49~ 93
10 谈晓冬,江新华,方大钧,等. 浙东南碰撞造山带的岩石磁组构及其构造意义. 地球物理学报, 1995, 38(5):588~ 598
11 沈忠悦,叶 瑛. 浙江方家山高岭土矿床中高岭石亚族矿物初步研究. 岩石矿物学杂志, 1995, 14(1): 57~ 64
12 沈忠悦,方大钧,王朋岩,等. 湖北早三叠世大冶组古地磁结果及其地质意义. 科学通报, 1998, 43(21):1557~ 1563
13 Hsu K J, Li J L, Chen H H, et al. Tectonics of South China: key to understanding West Pacific geology. Tectonophysics, 1990, 183: 9~ 39

(1998-06-03收稿, 1999-01-04收修改稿)