

问题讨论

长乐-南澳韧性剪切带走滑特征探讨

王志洪 卢华复

(南京大学地球科学系)

内容提要 长乐-南澳韧性剪切带可能是在碰撞造山缝合带基础上发育的,其走滑特性严格受闽台微大陆与闽浙中生代火山弧碰撞过程中碰撞动力学的制约。岩石韧性组构和糜棱岩变形的微构造研究表明,碰撞前期走滑为左行。在早白垩世晚期(100—120Ma)的主碰撞期和以伸展作用为主的碰撞后期,该带以右行为主,这种右行走滑一直持续至今。发育韧性剪切带的闽台微大陆(或称平潭-东山带)原始位置可能比现今更靠南,这是属于几百公里的漂移位移而不是剪切位移。

关键词 长乐-南澳韧性剪切带 韧性组构 糜棱岩变形微构造 走滑特性 碰撞动力学

关于中国东南沿海长乐-南澳断裂带的讨论由来已久^[1-3],最近的资料表明了两种观点,即大型走滑韧性剪切带^[3]和中生代地体缝合带^[4]。李继亮曾明确指出该韧性剪切带为造山作用产物^[5];卢华复等也认为它是闽台微大陆与闽浙中生代火山弧碰撞产生的^[6](图1)。这就是说,长乐-南澳断裂带具双重特征,它是在造山缝合带基础上发育的韧性剪切带,该韧性剪切带(或走滑或逆冲)受闽台微大陆与闽浙中生代火山弧碰撞过程制约,所以研究韧性剪切带中韧性组构和糜棱岩变形微构造不仅可以确定走滑特性,还可提供碰撞过程的细节。本文正是据此认识来探讨该韧性剪切带的走滑特性以及碰撞动力学是如何影响走滑的。

1 长乐-南澳韧性剪切带走滑分析

在韧性剪切带中的韧性组构和糜棱岩变形微构造清楚地指示着韧性剪切带的走滑方向。下面将按碰撞前期、主碰撞期和碰撞后期来分析该带的走滑方向。

1.1 碰撞前期的左行走滑

在福建惠安割山海滨的花岗片麻岩中有大量的具明显定向排列的黑云角闪斜长变粒岩残留体,被称为“鬼影地层”或“鱼群构造”^[1]。残留体一般呈透镜状,大小面积为20—100cm²,其与围岩的接触界线可清晰可模糊,其总体走向为NE70°—SE120°,与该区局部的片麻理方向一致。有人认为这些“鱼群构造”的排列方向代表了前奥陶纪地层原生层理的走向^[7],其根据一是由于发育“鱼群构造”的片麻状混合岩有一个593.3Ma的锆石U-Pb等时线年龄^[8];二是其排列近东西向与整个韧性剪切带主片麻理方向(北东向)不一致。

注:本文为国家自然科学基金资助项目(编号490011)。

本文1994年4月收到,1995年5月改回,王毅编辑。

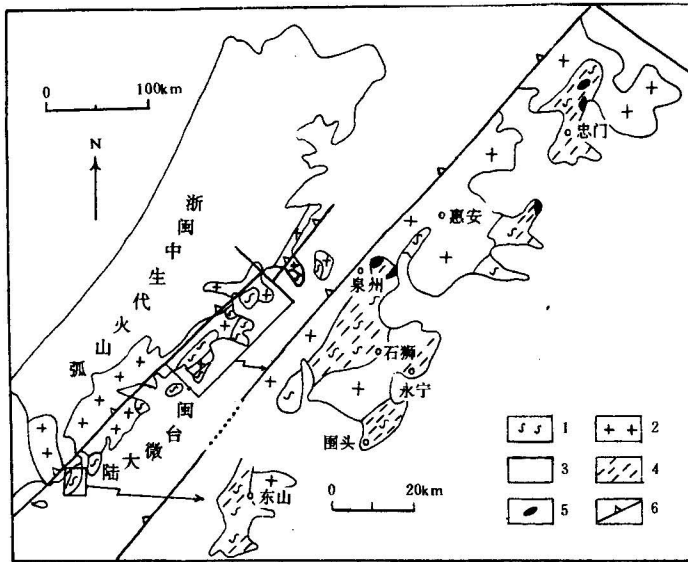


图1 福建沿海地质简图

Fig. 1 Sketch map of Fujian coastal region

1. 变质岩; 2. 花岗岩; 3. 火山岩; 4. 韧性剪切带;

5. 基性-超基性岩; 6. 长乐-南澳断裂带

1. Metamorphite; 2. granite; 3. volcanics; 4. ductile shear zone;

5. mafic-ultramafic rock; 6. Changle-Nanao fault zone

的S面灌入,从而形成有规律的黑云角闪斜长变粒岩的残留,构成特征的“鱼群构造”。所以,组成“鱼群构造”的黑云角闪斜长变粒岩原岩可能是前奥陶纪的,但“鱼群构造”的排列方向不代表前奥陶纪地层原生层理的走向,而是碰撞前期的构造活动和碰撞期的混合岩化作用综合形成的。换言之,特征的“鱼群构造”形态及其排列方向为我们研究碰撞过程中的构造岩浆活动提供了信息。一般认为,闽台微大陆与闽浙中生代火山弧的主碰撞期为100—120Ma,即早白垩世晚期^[6],所以长乐-南澳韧性剪切带在120Ma前确实是左旋走滑的。

1.2 主碰撞期的右行走滑

长乐-南澳韧性剪切带主要形成于主碰撞期(100—120Ma),这正被采自该韧性剪切带的单矿物(惠安青兰山的角闪石,东山澳角、石狮围头和惠安后龙的黑云母以及东山冬古的白云母)⁴⁰Ar-³⁹Ar坪年龄(107—118Ma^①)所证实,而这一时间恰好是闽台微大陆与闽浙中生代火山弧的主碰撞期^[4,6]。该时期在长乐-南澳韧性剪切带内形成了广泛的韧性变形现象,如等斜褶皱和

详细的观察研究发现,“鱼群构造”受S-C组构控制,一组平行于片麻理的C面理和一组斜交片麻理的S面理以控制其形态(图2),C面和S面夹角指示左旋剪切。在其围岩花岗片麻岩(或称片麻状混合岩)中发育一组走向分别为NW280°和310°的C面理和S面理,同样指示左旋。由于该区片麻理走向和S-C组构剪切指向不同于韧性剪切带的大部分地段,我们认为这是受闽台微大陆与闽浙中生代火山弧碰撞前期动力学影响所致。“鱼群构造”可能是在碰撞期混合岩化过程中产生的。在混合岩化过程中,熔融物质的运移混合受碰撞前期形成的左旋S-C组构的制约,熔融物质沿薄弱

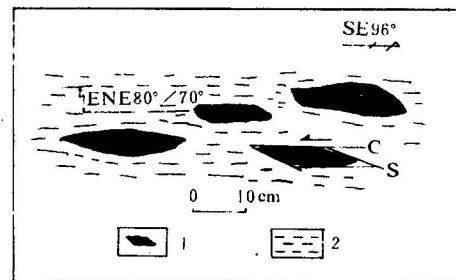


图2 惠安割山海滨的“鱼群构造”

Fig. 2 Fish group structure showing sinistral shearing in Geshan, Hui'an County

1. 鱼群构造; 2. 片麻理

1. Fish group structure; 2. gneissosity

① 中国科学院地质研究所 Ar-Ar 实验室, 1992.

逆冲断层、剪切条带、S-C 组构、 σ 构造和 δ 构造、绿片岩相的糜棱岩等。下面从判别走滑动向角度来探讨 S-C 组构和糜棱岩内的变形微构造。

在惠安青兰山、东山冬古和东山澳角观察到一组典型的产状相似的 S-C 组构, 其产状见表 1, 它们一致指示右旋剪切兼具向南东的逆冲(表 1, 图 3)。运动指向线倾状角较小, 说明右旋分量占主要地位。在上述三地具 S-C 组构的糜棱岩内发育的 σ 构造也同样指示右旋。

表 1 S-C 组构产状和运动指向线产状

Table 1 The attitudes of S-C fabric and shearing line

产 状 测 定 点	S 面理	C 面理	运动指向线	
惠安青兰山	NW290°∠65°	NW320°∠55°	240°∠10°	图 3a
东山冬古	NW285°∠60°	NW295°∠35°	270°∠32°	图 3b
东山澳角	NW330°∠50°	NW335°∠42°	302°∠38°	图 3c

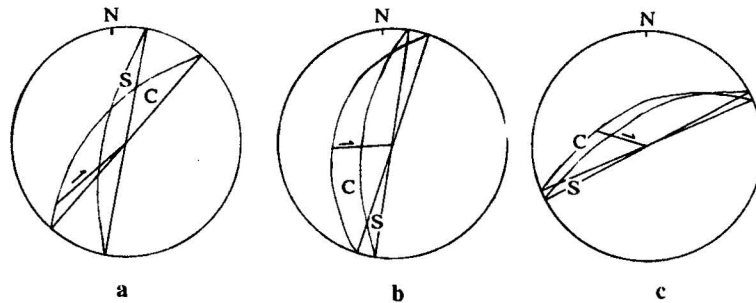


图 3 S-C 组构图解(下半球投影)

Fig. 3 Stereogram of S-C fabric showing dextral shearing (lower hemisphere)

a 惠安青兰山; b 东山冬古; c 东山澳角

a Qinglanshan in Huian County; b Donggu in Dongshan County; c Aojiao in Dongshan County

研究糜棱岩变形微构造确定走滑指向是韧性剪切带研究的一个重要方面。在显微镜下我们分析了下面几类指示剪切动向的微构造。

(1) 不对称眼球状残斑: 残斑细粒化过程中, 因基质的强烈剪切流动或滑动, 使残斑发生旋转, 其长轴与韧性基质所显示的糜棱岩微剪切面理呈锐角斜交, 其锐角指示对盘动向, 残斑常为斜长石。

(2) 拉长石英的“入”字型构造: 变形拉长的石英在微剪切面附近呈小角度斜交, 其锐角指示对盘剪切动向(图版 I-1)。有时是动态重结晶石英颗粒的长轴与微剪切面斜交, 长轴与剪切面的锐角也指示对盘动向(图版 I-2)。

(3) 鱼尾构造: 为典型的 S-C 组构(或称 I 型 S-C 组构^[9]), S 面和 C 面皆由云母鱼组成, S 面上的云母更具鱼尾特征, 二者所夹锐角指示对盘剪切指向(图版 I-3)。夹于 C 面云母鱼间的变形石英有时也呈鱼状, 是一种更强烈的变形微构造现象。

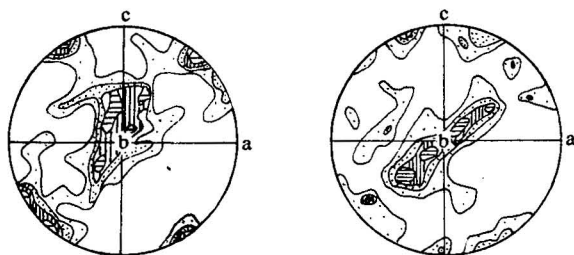


图 4 石英 *c* 轴优选方位型式图^[11]

Fig. 4 Preferred orientation types of *c* axis of quartz^[11]

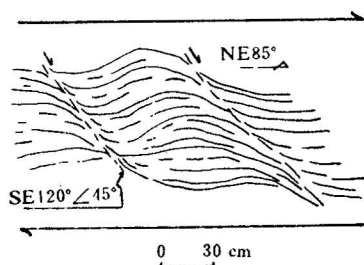


图 5 东山坑北的韧性拉伸剪切条带

Fig. 5 Extensional shear bands showing dextral shearing in Kengbei, Dongshan County

波段图像合成后的图像^[14]上看出,在韩江口,跨北东向断裂的河流发生了急剧转弯扭动,显示了该断裂的右旋平移。

2 长乐-南澳韧性剪切带走滑特性与碰撞动力学的关系

吉雄曾在莆田笏石、埭头采集古地磁样品,测得该区在晚二叠世时的古纬度为北纬 10° — 12° ^[15],说明闽台微大陆原始位置可能比现今位置更靠南。周祖翼^①也持类似看法。自三叠纪始该微大陆在法拉隆海洋板块的牵引下向北漂移。晚侏罗世至早白垩世时微大陆俯冲于华南大陆东南沿海北东走向的大陆边缘之下,形成了北东向展布的闽浙中生代火山弧。120Ma 前初始的斜向碰撞产生了南北向挤压和左行走滑(图 6a),形成了惠安割山的近东西向片麻理、左行的 S-C 组构和受左行 S-C 组构控制的特征的“鱼群构造”。

在主碰撞期,向北的碰撞挤压被阻止。吉雄采自郊尾的古地磁样品表明,侏罗纪时的古纬度为北纬 22° ^[15],与现今该地纬度(北纬 25°)基本一致,说明自初始碰撞发生后闽台微大陆向

(4)“书斜式”构造:图版 I-4 所示的是白云母的“书斜式”构造,由白云母构成“书本”,晶体之间的剪切动向与外剪切方向相反。

这些显微构造都指示断裂为右旋剪切。

糜棱岩中变形石英光轴的优选方位常被用来研究剪切动向^[10]。图 4 是石英 *c* 轴优选方位型式图,虽然有些复杂,但基本可以看出是右行剪切造成的。

从上述韧性组构、糜棱岩变形微构造和石英光轴优选型式表明,长乐-南澳韧性剪切带在主碰撞期(100—120Ma)时是右行走滑的。

1.3 碰撞后期的右行走滑

在东山坑北、石狮围头等地观察到大量的如图 5 所示的韧性构造,这种构造被称为拉伸细褶皱劈理或剪切条带^[12],是平行先存面理拉伸形成的,可用来判别剪切动向^[13]。图 5 所示为右行。它是在造山带形成后期韧性剪切带抬升过程中经受伸展作用产生的。闽台微大陆与闽浙中生代火山弧碰撞拼贴后的伸展作用导致了大量 A 型晶洞花岗岩的侵入,A 型晶洞花岗岩被认为是造山后期的典型岩浆产物,其年龄为 90Ma^[1],所以我们认为长乐-南澳韧性剪切带在碰撞后期抬升过程中存在着右旋分量。这种右旋走滑作用可能持续至现今,这在 MSS(多光谱扫描仪)7,6,5,4 图像经 K-L(Karhnen-Loeve)变换所得分量(1)与 5,4

① 周祖翼. 福建晚古生代—中生代大陆边缘构造演化. 博士论文,1989.

北碰撞挤压的分量还很小。可能有 2 个原因导致了这一结果:(1)由于碰撞边界不规则,闽台微大陆被闽浙中生代火山弧东南边缘“锁住”;(2)碰撞期强烈的岩浆作用和混合岩化作用产生的同构造二长花岗岩(100—113Ma^[16])焊接了闽台微大陆与闽浙中生代火山弧,增加了闽台微大陆沿长乐-南澳碰撞缝合带继续北移的阻力。在石狮围头,我们观察到指示东西挤压的共轭剪切条带切割了指示南北挤压的共轭剪切条带,说明闽台微大陆的主压应力正由南北向变为东西向。石狮灵香山指示北西-南东向挤压的共轭剪切条带的存在说明这一变化是逐渐过渡的。东西向挤压主压应力可能来源于玉里俯冲混杂岩所代表的古海洋(库拉海洋板块)向西的运移。由于碰撞应力场的这一变化,闽台微大陆主要承受了东西向的挤压和右行走滑(图 6b),形成了长乐-南澳韧性剪切带的主体,发育了与碰撞动力学相关的指示向东逆冲和右行走滑的韧性组构和糜棱岩。此后,沿台湾寿丰断裂向西的俯冲作用在晚白垩世时进入高潮,形成了玉里俯冲杂岩带^[17],这一俯冲作用影响了闽台微大陆,使该区成了弧后拉张区并在弧后东西伸展背景下被抬升,形成东山坑北等地的右行拉伸剪切条带。这一右行走滑作用可能一直持续至今。

3 讨论

长乐-南澳韧性剪切带曾被当作巨型的左旋走滑韧性剪切带^[3]。我们详细的野外和室内研究表明,其走滑在早期(K₁)是左行的,而此后却以右行为主,该带的走滑特性严格受闽台微大陆与闽浙中生代火山弧碰撞过程中碰撞动力学的制约。

徐嘉炜等认为,闽台微大陆(或称平潭-东山带)应来自粤东或更南的南海区,中生代时两期剪切位移(均为左行平移)达 227km^[3]。我们认为闽台微大陆原始位置确实比现今位置更靠南,但在 120—100Ma 的碰撞过程发生前,这种几百公里位移不是剪切位移而是漂移位移。就我们观察研究而言,由于长乐-南澳韧性剪切带是先左行后右行的,所以剪切位移不可能很大。闽台微大陆在侏罗纪时的古纬度(北纬 22°^[15])与现今纬度(北纬 25°)基本一致也证实了这一点。

参 考 文 献

- 1 福建省地质矿产局. 福建省区域地质志. 北京:地质出版社,1985.
- 2 谢谕克,郭坤一. 中国东南岩石圈板块边界变质带. 北京:地质出版社,1989. 48—147 页.
- 3 徐嘉炜,朱光,高灯亮,林寿发,马国锋. 中国东南沿海长乐-南澳巨型剪切带及其区域大地构造意义. 国际大陆岩石圈板块演化与动力学讨论会(1). 北京:地质出版社,1990. 145—153 页.
- 4 高天钧,黄辉,林知勋. 中国东南沿海的二条重要的地体边界. 福建地质,1991,10(1):1—15.
- 5 李继亮. 中国东南地区大地构造基本问题. 见:李继亮主编. 中国东南海陆岩石圈结构与演化研究. 北京:中国科学

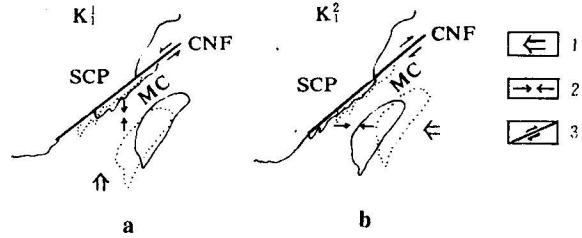


图 6 长乐-南澳韧性剪切带走滑特性演化图

Fig. 6 Sketch maps showing strike-slip

movement of Changle-Nanao ductile shear zone

a K₁ 时左行走滑; b K₂ 时右行走滑; SCP 华南板块;

CNF 长乐-南澳韧性剪切带; MC 闽台微大陆; 1. 板块运动方向; 2. 主压应力方向; 3. 走滑动向实线和点线代表福建沿海和台湾在不同走滑作用下的参考位置

a Sinistral strike-slip in K₁; b dextral strike-slip in K₂;

SCP South China plate; CNF Changle-Nanao ductile shear zone;

MC Min-Tai microcontinent; 1. plate movement; 2. chief

compression stress; 3. strike-slip movement

Solid line and dotted line represent the reference positions of Fujian coast and Taiwan controlled by different strike-slip

- 技术出版社, 1992. 3—16页.
- 6 Lu Huafu, Jia Dong, Wang Zhihong, Guo Lingzhi, Shi Yangshen, Zhang Qinglong. Tectonic evolution of the Dongshan terrane, Fujian Province, China; *Journal of South American Earth Sciences*. 1994, 7(3/4): 349—365.
 - 7 黄亚元. 闽东南沿海变质岩带中古构造的发现. *福建地质*, 1988, 7(4): 291—292.
 - 8 许景伟. 湄洲湾变质岩中获得下古生界年龄资料, *福建地质*, 1988, 7(4): 290—291.
 - 9 Lister G, Snoke A. S-C mylonites. *J. Struct. Geol.*, 1984, 6: 617—638.
 - 10 Simpson C, Schmid S M. An evolution of criteria to deduce the sense of movement in sheared rocks. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 1983, 94: 1281—1288.
 - 11 高俊, 张建新, 王荃. 福建长乐-东山构造带的变形特征及动力学研究. *地质论评*, 1993, 39(1): 57—63.
 - 12 Platt J, Vissers R. Extensional structures in anisotropic rocks. *J. Struct. Geol.*, 1980, 2: 397—410.
 - 13 Bjornernd M. Toward a unified conceptual framework for shear-sense indicators. *J. Struct. Geol.*, 1989, 11(8): 1045—1049.
 - 14 国家地震局地质研究所. 中国主要活动断裂带卫星图像集. 北京: 科学出版社, 1989. 108—109页.
 - 15 吉雄. 闽粤沿海地体碰撞与活化作用. *广东地质*, 1991, 6(2): 28—40.
 - 16 朱杰辰, 郑懋公, 王扬德. 福建沿海地区岩浆岩的同位素地质年代学研究. *中国区域地质*, 1988, 2: 150—157.
 - 17 Yu Zenpu, Lu Giayu, Lo Chinghua. A possible tectonic evolution history of the Dananao schist in Taiwan. *Proceeding of the Geological Society of China*, 1988, 31(2): 7—18.

THE STRIKE-SLIP MOVEMENT OF THE CHANGLE-NAN'AO DUCTILE SHEAR ZONE, SOUTHEASTERN CHINA

Wang Zhihong and Lu Huafu

(Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu)

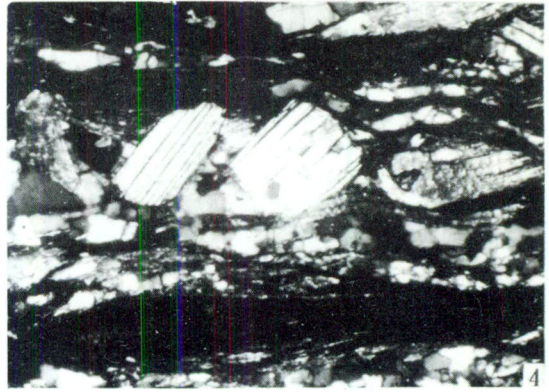
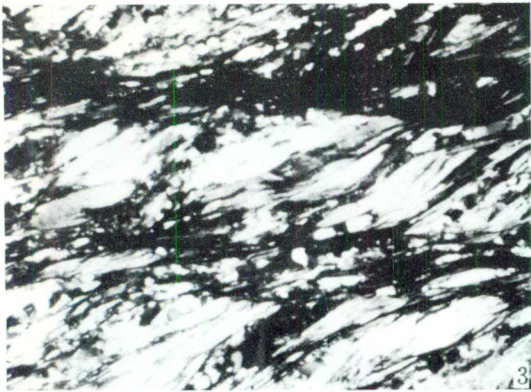
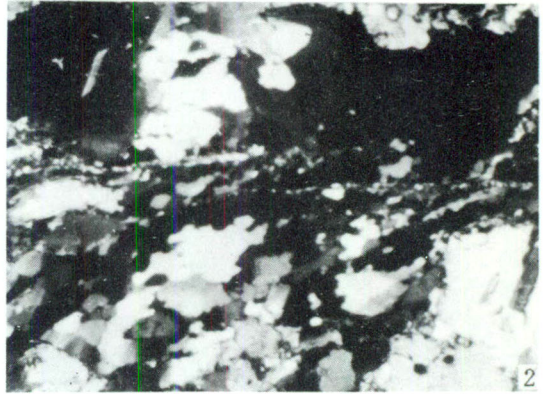
Abstract

The Changle-Nan'ao ductile shear zone might develop from the collision suture zone. The strike-slip movement was strictly controlled by dynamics of collision between the Fujian-Taiwan microcontinent and the Fujian-Zhejiang Mesozoic volcanic arc. Analyses of the ductile fabrics and mylonitic microstructure suggest that strike-slip was sinistral in the early stage of collision. It became dominantly dextral in the late Early Cretaceous main-collision stage (120—100 Ma B. P.). The dextral strike-slip movement continue in the late collision stage with extension as the dominant process and even up to now. The Fujian-Taiwan microcontinent (or called the Pingtan-Dongshan belt) where the ductile shear zone developed might be originally located to the south of the present position, which was attributed to a few hundred kilometers of drift rather than shear displacement.

Key words: Changle-Nan'ao ductile shear zone, ductile fabric, mylonitic microstructure, strike-slip movement, collision dynamics

作者简介

王志洪, 男, 生于1967年8月。1989年毕业于长春地质学院地质系, 1992年获南京大学地球科学系构造地质学专业理学硕士。现在该校攻读构造地质学专业博士学位。通讯处: 南京大学地球科学系, 邮政编码: 210008。



1. 变形石英的“入”字型构造,指示右旋剪切(XZ切面),正交偏光($\times 63$)。晋江永宁。
2. 动态重结晶石英颗粒,其长轴与剪切面斜交,指示右旋剪切(XZ切面),正交偏光($\times 25$)。晋江永宁。
3. 典型S-C组构,指示右旋剪切(XZ切面),正交偏光($\times 25$)。东山红山。
4. 白云母残斑构成的“书斜式”构造,指示右旋剪切(XZ切面),正交偏光($\times 63$)。东山红山。