

崇安-石城构造带中段韧性变形特征*

陈柏林 蔡本俊
(中国地质科学院地质力学研究所)

林仟同 陈建国
(闽北地质大队)

摘要 崇安-石城构造带中段除了大规模脆性破碎和低温石英脉外,还表现为明显的早期韧性变形特征,油岭—盐隘韧性断裂是其表现之一。该断裂具有典型糜棱岩组合、S—C 组构、 α 线理及石英光轴 S+Z 型组构,运动指向上层由 NW 向 SE,应变测量表明最大剪应变为 1.16—3.46,剪切总位移可达 1.9km,变形差应力为 60—90MPa。油岭—盐隘韧性断裂是一条成生于中温(400—500°C),较高应变速率条件下的变形带。

关键词 崇安-石城构造带中段 韧性变形 糜棱岩

崇安-石城构造带是闽西北地区一条重要的大型构造带,北东端起于福建省北部的崇安县(1989年改为武夷山市),经邵武、泰宁、建宁至江西省赣东南的石城县,全长 300 多公里,影响宽度数十公里,具有长期而复杂的发展演化历史,对闽西北乃至我国东南地区的地质演化具有重要的影响。

崇安-石城构造带中段系指池潭水库至大埠岗地区,NE 向长约 120km,宽约 70km。崇安-石城构造带在该区主要表现为脆性断裂破碎带,可划分为大元-桂林断裂构造带、南溪-坳上断裂构造带和下渠-大源断裂构造带(图 1)。其主要特征可概括为断裂规模大、影响的地层岩石范围广、普遍发育低温石英脉、多期次活动以及与泰宁一带的金矿化关系密切等。由于后期强烈大规模地脆性破碎和广泛发育低温硅化石英脉,在很大程度上掩盖和破坏了该带早期的变形特征,但是深入的研究工作揭示了崇安-石城构造带中段早期深层次的韧性变形。

崇安-石城构造带中段在所影响的范围内均有韧性变形的表现,尤其在其 3 条主干断裂构造带及附近更为明显,如 NW 侧的油岭-盐隘韧性断裂、南溪-坳上韧性断裂和泰宁-朱口韧性断裂,均循崇安-石城构造带的总体展布方向呈 NNE—NE 向延伸。尤以油岭-盐隘韧性断裂保存最为完整,其它仅在脆性破碎的硅化构造角砾岩中见及较多的韧性变形糜棱岩的角砾。

1 宏观特征

油岭-盐隘韧性断裂位于崇安-石城构造带主带之西北侧边部,即江西省黎川县莲荷峰、油岭至盐隘一带,长十余公里、宽 2—5km,呈 NE25° 走向延伸,倾向 NW,倾角 25—40°。

* 本文系地矿部定向科研基金资助项目“崇安-石城构造带中段构造特征及其与金银矿化关系”研究内容的一部分。

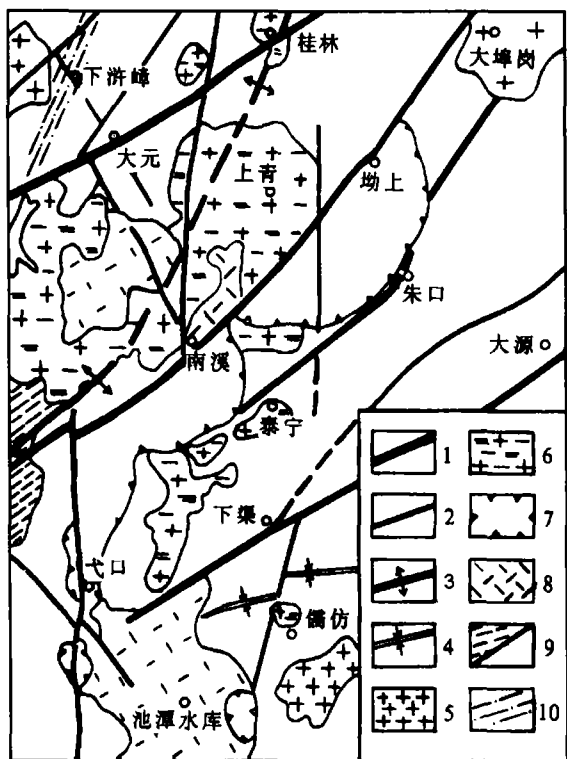


图1 崇安-石城构造带中段构造纲要图

Fig. 1 Geological sketch map of the middle part of the Chongan-Shicheng structural zone

1. 主干断裂; 2. 一般断裂; 3. 背斜; 4. 向斜; 5. 燕山期岩体; 6. 加里东期岩体; 7. 白垩系; 8. 上侏罗统火山岩; 9. 三叠系-下侏罗统/前泥盆系; 10. 韧性变形带

在下浒峰北西约 1km 处所见的中粗粒花岗质糜棱岩, 其 S_1 面理为 $25^\circ/\text{NW}45^\circ$, a 线理 $295^\circ\angle 45^\circ$, S_2 面理为 $25^\circ/\text{NW} 25-30^\circ$ 。对所采标本分别切制 XZ 片(图 3 中 A_2 切面)和 YZ 片(图 3 中 A_1 切面), 进行室内观察分析, 可见 A_1 切面上 S_1 面理比较清楚, S_2 不明显; 在 A_2 切面上 S_1 和 S_2 都很清楚, 且与野外测量的产状一致或相近, 两者夹角约为 20° , 同时在 A_2 切面(即 XZ 片)上的应变大于 A_1 切面(即 YZ 片)的应变。在下浒峰北西 1.5km 处见及黑云斜长质糜棱岩(原岩为黑云斜长变粒岩, 粒度较细), 其面理构造特点与上述相似, 但夹角略小, 约为 15° , 而应变较大。笔者认为: 油岭-盐隘韧性断裂为压扭性逆冲韧性断裂, 逆冲方向由 NW 指向 SE。

另据闽北队资料^①, 在该韧性断裂带穿切黑云母石英片岩时, 常见一些片理的柔皱现象及“ab”型褶皱或“a”型褶皱等。

2 显微构造特征

油岭-盐隘韧性断裂带内的糜棱岩(或糜棱岩化花岗岩)经显微镜下分析观察, 其具有典型的结构构造特征(以花岗质糜棱岩为例), 岩石由残碎斑晶和韧性基质两部分组成。

① 陈建国等, 闽赣交界油岭-盐隘韧性剪切带的发现及基本特征。闽赣前寒武系地质讨论会论文集, 1989。

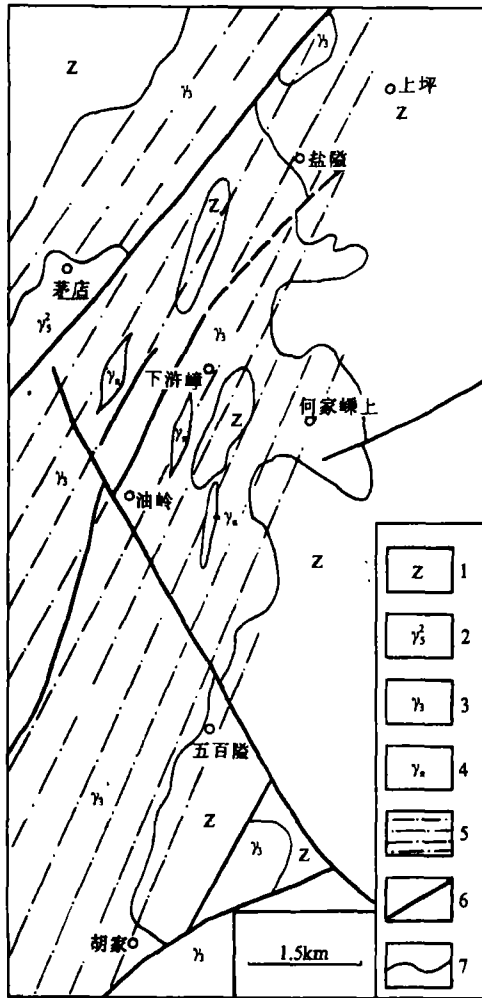


图2 油岭-盐隘韧性变形带地质略图
(据陈建国等修改)

Fig. 2 Geological map of the Youling-Yanai area

1. 震旦系; 2. 燕山期花岗岩; 3. 加里东期花岗岩; 4. 花岗斑岩; 5. 韧性变形带; 6. 断裂; 7. 地质界线;

韧性基质: 主要成份为重结晶的细粒石英, 其次为少量云母。动态重结晶石英呈条带状、云雾状分布, 粒度 $25-30\mu\text{m}$, 韧性基质呈条带状环绕残斑分布, 组成面理构造。少量白云母等片状或柱状矿物受变形影响成卷曲状构造。

3 糜棱岩有限应变测量和剪切位移估算

有限应变测量是对变形岩石变形量的测算。油岭-盐隘韧性断裂中的岩石经历了韧性变形, 形成糜棱岩。如原岩为花岗岩变形后, 其中的石英集合体压扁拉长现象非常明显(图4)。

依据岩石矿物的变形情况, 可以选用 Robin 法对其应变量进行测算, 经测量在手标本磨光

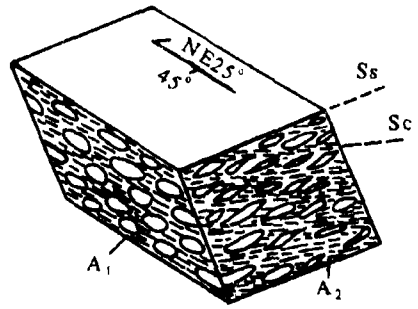


图3 糜棱岩标本素描

Fig. 3 Sketch showing a mylonite



图4 花岗质糜棱岩中不规则石英集合体

Fig. 4 Sketch showing deformed quartz aggregates

残碎斑晶: 残碎斑晶的成分以长石为主, 石英次之, 残碎斑晶的形态均呈眼球状或小透镜状, 长石残斑内常见微裂隙、格子双晶的扭曲, 或出现变形双晶, 或边缘出现锯齿状、多边化等现象, 石英残斑内石英颗粒波状消光明显, 变形纹、变形带清晰可见, 同时石英残斑边缘多边化现象突出, 并发生动态重结晶, 逐渐过渡为韧性基质。

面上 46 个石英集合体的长宽比后,由公式

$$R_s = 10^{(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log(\frac{a_i}{b_i}))}$$

可以求得应变量 $R_s = 3.08$ 。上述式中 R_s 为变形椭球体轴比(X/Z), (a_i/b_i) 为每个标志体的长宽比。

再利用主应变与剪应变之间的关系

$$R_s^2 = \frac{2 + \gamma^2 + \gamma \sqrt{\gamma^2 + 4}}{2 + \gamma^2 - \gamma \sqrt{\gamma^2 + 4}} \quad \text{也即 } \gamma^2 = \frac{R_s^2 + 1}{R_s} - 2$$

求得剪应变 $\gamma = 1.19$ 。

另外依据剪应变与 S_s 与 S_c 面理夹角的关系公式 $\gamma = \frac{2}{\tan 2\theta}$, 取 $S_s \wedge S_c = 15^\circ - 30^\circ$ (即 θ 角) 求得剪应变 $\gamma = 1.16 - 3.46$, 若以 $\gamma = 1.50$ 为变形带中部的剪应变, 并设在变形带内 (2 km 宽) 近于正弦分布, 则该韧性断层的剪切总位移可达

$$d = \int_0^2 \gamma \sin \frac{\pi}{2} x dx = \frac{6}{\pi} \approx 1.9 \text{ km}$$

4 糜棱岩显微组构特征

对油岭-盐隘韧性断裂带中的糜棱岩进行 X 光岩组分析 (图 5), 可见石英 ($10\bar{1}0$) 极图表现为沿 XY 面的主环带和接近 YZ 面的次环带, 恢复石英光轴方位主极密点 (C_1) 与 Z 轴一致或接近 ($125^\circ \angle 45^\circ$)、次极密与 X 轴接近, 并与 X 轴构成一小夹角。前者是韧性变形带典型中-低温变形的 Z 轴组构, 反映了糜棱岩变形过程中石英以底面或近底面滑移为主的变形机制, 后者反映的是动态重结晶作用的结果, 且 C_2 次极密与 X 轴的夹角指向反映了该韧性断裂的运动指向是由 NW 向 SEE 的逆冲变形, 这与宏观 S—C 组构所反映的运动方向相吻合。

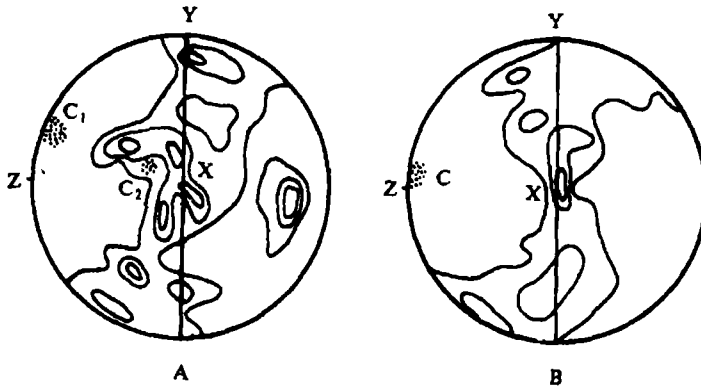


图 5 糜棱岩石英 ($10\bar{1}0$) 极图及其光轴概略解释图

Fig. 5 Quartz ($10\bar{1}0$) polar cliagram and their out-line interpretation map of mylonite

5 韧性变形构造差应力估算

依据动态重结晶石英的粒度与差应力大小的函数关系 $\sigma_1 - \sigma_3 = 6.1D^{-0.68}$ (式中 D 单位为 mm, $\sigma_1 - \sigma_3$ 单位为 MPa) 推算油岭-盐隘韧性变形带在变形时的差应力为 65—70MPa (表 1)。差应力偏小, 可能与韧性变形期后的稳态恢复有关。从镜下观察的现象 (如石英动态重结晶颗粒的形态) 也反映了存在部分稳态恢复作用。

表 1 韧性变形差应力值一览表

Table 1 Differential stress values estimated by grain-size of dynamic recrystallizing quartz

样号	位置	岩性	重结晶石英粒度(mm)	差应力 $\sigma_1 - \sigma_3$ (MPa)	备注
T ₆₁₋₂	下浒峰	长英质糜棱岩	0.03	66.2	
T ₆₂₋₂	下浒峰	长英质糜棱岩	0.0323	62.9	
			0.0284	68.7	
			0.0272	70.8	
T ₉₋₂	小歧坑	石英质糜棱岩	0.018	94.0	糜棱岩呈角砾

6 韧性变形的温压条件分析

韧性变形一般认为是在大于 10—15km 地壳深处的温压条件下发生, 然而不同的韧性变形带发生变形时的温压条件是有区别的, 这些区别在韧性变形岩石的矿物组合、结构构造、矿物韧性表现、石英组构类型和石英内部滑移系统等方面都有反映。

油岭-盐隘韧性断裂带中的糜棱岩主要有二种: 一种是花岗质糜棱岩, 主要矿物为石英和长石、少量白云母等; 另一种是黑云斜长质糜棱岩, 主要矿物为钠长石、石英、黑云母等。因此, 从糜棱岩的矿物组合上反映的是一种中温 (400—550℃), 中等围压 (0.35—0.5GPa) 条件下的韧性变形。

从显微结构构造和矿物韧性表现来看, 石英、云母类表现为韧性, 组成韧性基质; 长石主要表现为脆性, 构成残碎斑晶, 未达到其发生韧性变形的温度 (>600℃) 和压力 (>25km 和 >0.5GPa) 条件。同时, 石英主要表现出韧性变形, 如拨丝构造、动态重结晶等极为明显, 这表明已达到石英矿物发生韧性变形的温压条件, 即温度大于 350℃, 大于 10—12km 的深度。

石英光轴组构及石英粒内滑移系统显示出属于中等偏低的温度 (350°—500°) 和较高变形速率下的变形。糜棱岩石英 X 光 (10 $\bar{1}$ 0) 极图表现为 ab 环带 (图 5), 恢复石英光轴点极密位于变形椭球 Z 轴附近 (称 Z 型组构), 这反映石英变形以底面或近底面滑移系统发生滑移的变形机制, 这是典型中偏低温度和较高变形速率条件下变形的组构类型和滑移系统。

综上所述, 油岭-盐隘韧性断裂的变形属于中等偏低的温度 (400—500℃)、中等变形压力 (0.4—0.45GPa), 较高变形速率下的韧性变形, 其相当于发生在地壳 12—18km 的深度, 是典型韧性变形域中相对较浅层次的变形。除油岭-盐隘韧性变形带外, 坳上断裂、朱口—泰宁断裂中都或多或少地见及韧性变形糜棱岩呈脆性角砾构成角砾岩, 反映出这些断裂的早期塑性变形。

众所周知,一条大型的构造带从地壳深部向地壳浅部表现为韧性、韧脆性、脆性变形,随着构造演化、断裂活动继承性和地壳抬升剥蚀,使得较深层次的韧性变形带被抬出地表,并进一步发生脆性破碎,从而形成大规模的脆性破碎叠加在韧性变形上的构造景观。崇安-石城构造带中段的韧性变形正是它早期韧性变形的表现。对于韧性变形发生的时代尚未作相应的年龄测试,但从本区的区域地质资料分析,崇安-石城构造带的韧性变形主要发生在印支-燕山早期,而燕山晚期以来主要表现为脆性破碎。这与东南沿海地区的大地构造演化历史是相吻合的。

参 考 文 献

- 1 蔡本俊、陈柏林等,崇安-石城构造带中段金矿成矿规律。北京:地震出版社,1994。
- 2 郑亚东等,岩石有限应变测量及韧性剪切带。北京:地质出版社,1985。
- 3 Twiss R J. Theory and application of a recrystallized grain-size Paleopiezometer, Pure Appl. Geophys. 1977, Vol. 115, 227—244.

DUCTILE DEFORMATION IN THE MIDDLE CHONGAN —SHICHENG STRUCTURAL ZONE

Chen Bailin Cai Benjun
(*Institute of Geomechanics, CAGS*)

Lin Qiantong Chen Jianguo
(*Geological Team of North Fujian*)

Abstract The middle part of the Chongan—Shicheng tectonic zone is characterized by ductile deformation in the early stage and brittle fracturing accompanied by low-temperature quartz veins in the late stage. The early ductile deformation is well represented by the behaviours of the Youling—Yanai shear zone about 2—5 Km wide as indicated by typical mylonite associations, lineation, S—C fabrics and S+Z type fabrics of quartz optical axis. Finite strain measurements show a maximum shear strain of about 1.16—3.46. The total displacement is 1.9 Km. The differential stress is about 60—90MPa. It was formed at medium temperature of 400—500°C and a higher strain rate.

Key words the middle part of the Chongan—Shicheng structural zone, ductile deformation, mylonite

第 一 作 者 简 介

陈柏林,男,副研究员。1962年生,1986年毕业于中国地质科学院研究生部,硕士。从事矿田构造、区域构造和显微构造等研究工作。通讯地址:北京市海淀区中央民族学院南路11号地质力学研究所。邮政编码:100081。