

粒度对韧性剪切带岩石变形的影响

樊光明 曾佐勋 储东如 刘立林

(中国地质大学地球科学学院, 武汉 430074)

摘要: 构造模拟研究表明, (1) 粒度是控制岩石流变性质的重要因素之一, 粒度越粗, 岩石粘度越高; (2) 粒状矿物含量与基质的比值越低, 粒度对岩石流变性质的影响就越小, 反之则越大; (3) 岩石的粒度差异对韧性剪切带的发育程度有着重要影响, 粒度越细, 韧性剪切带中有限应变越大. 这些结果与野外所观察的地质现象及应变测量结果完全一致.

关键词: 韧性剪切带; 粒度; 岩石流变性质; 构造模拟.

中图分类号: P554; P313 **文献标识码:** A

文章编号: 1000-2383(2000)02-0159-04

作者简介: 樊光明, 男, 副教授, 1952年生, 1978年毕业于武汉地质学院地质系, 1991年获硕士学位, 现主要从事构造地质学教学和造山带构造研究.

韧性剪切带是窥测深部构造层次岩石变形特征的一个窗口, 20世纪80年代至90年代初, 对韧性剪切带的几何学、运动学的研究比较多, 且比较深入^[1,2]. 随着韧性剪切带在造山带研究中的重要性及流变学在地学中应用的重要性日益提高^[3,4], 岩石流变特征引起了广大地质学家的关注, 并在糜棱岩化过程中流体流动^[5]、体积损失^[6]和岩石流变^[7]等方面的研究取得了新的进展. 作者在野外对韧性剪切带进行观察时发现, 当韧性剪切带穿过由不同粒径矿物组成的花岗质岩石时, 其发育程度具明显差异. 为此, 作者针对这一自然地质现象进行了野外观测和室内构造模拟分析, 目的在于揭示粒度差异、粒度与基质比值对岩石流变性质的影响的一些规律, 来解释穿过不同粒度岩石时韧性剪切带发育程度明显不同这一地质现象.

1 地质现象

在江西赣东二都、棠阴镇幅1:5万区域地质调查研究过程中, 在南城县徐兰一带首次发现了宽达5 km的、具有构造区划意义的韧性剪切带, 该剪切带呈NEE至NE向延伸, 整体向SE倾斜, 以向NW

逆冲为主, 兼有右行走滑性质. 卷入的地质体有锆石U-Pb同位素年龄为1275 Ma^①(变安山岩中)的兰水岩组(Pt₂l)变质岩、徐兰超单元的周坊单元(O₂Z)眼球状粗粒黑云二长花岗岩(锆石U-Pb同位素年龄为510 Ma^①)和程坊单元(O₂C)的细粒二长花岗岩(锆石U-Pb同位素年龄为481 Ma^①)等. 韧性剪切带穿过眼球状粗粒黑云二长花岗岩和细粒二长花岗岩时, 韧性剪切带发育的程度及其岩石变形差异明显(图1).

野外进一步观察表明, 在同一露头上, 后期的细粒二长花岗岩穿插到眼球状粗粒黑云二长花岗岩中, 而韧性剪切带同时穿过这两种岩石, 在后者中发育程度一样, 而在细粒岩石中发育程度好, 且变形相对较强. 继而我们对这两种不同粒度的岩石进行了应变测量. 考虑到细粒二长花岗岩变形前石英颗粒呈等粒状, 粒度较小, 粒状矿物的平均粒径为2.5 mm, 采用了Fry图解法^[8], 分别在 xz 面(280个数据)和 yz 面(180个数据)上测得轴率(R_s)分别为2.375和1.57. 眼球状粗粒黑云二长花岗岩石英颗粒较大, 粒状矿物的平均粒径为10 mm, 采用长短轴法^[8], 各测量50个数据, 其结果 xz 面 $R_s=2.05$, yz 面 $R_s=1.42$. 显然, 细粒的二长花岗岩的有限应变要大于眼球状粗粒黑云二长花岗岩. 由此可以看出,

收稿日期: 1999-08-25

基金项目: 中国地质大学(武汉)校内基金项目“甲基乙烯基硅橡胶聚合物模型材料及其流变学研究”(No. 95019006); 江西二都、棠阴镇幅1:5万区调联测项目(No. 969016).

①国土资源部壳幔体系组成物质交换及动力学研究开放实验室同位素室测试, 1999.

表 1 不同模型材料流变测试结果

Table 1 Measured rheological data from different model materials

编号	d/mm	比值	阶段	v_{τ}	m	$n/10^{-1}$	η
M9801	0.30~ 0.45	1.4:1	1	0.709	38.00	0.263	1.847
			2	0.781	3.40	2.941	2.532
			3	1.009	1.66	6.024	2.622
			4	1.330	1.66	6.024	2.491
M9802	0.125~ 0.150	1.4:1	1	0.709	26.50	0.377	1.698
			2	0.817	2.50	4.000	2.225
			3	1.017	2.07	4.831	2.392
			4	1.257	2.07	4.831	2.424
M9803	0.085~ 0.100	1.4:1	1	0.787	7.33	1.364	1.744
			2	0.916	2.12	4.706	2.264
			3	1.182	1.09	9.174	2.347
			4	1.459	1.09	9.174	2.382
M9804	0.30~ 0.45	1:1	1	1.028	4.22	2.370	1.150
			2	1.168	2.97	3.367	1.529
			3	1.321	2.45	4.082	1.809
			4	1.440	2.45	4.082	2.078
M9805	0.085~ 0.100	1:1	1	1.276	2.02	4.95	1.493
			2	1.670	1.00	1.00	1.526
			3	2.080	1.00	1.00	1.535
			4	2.500	1.00	1.00	1.534

d . 填料粒径; 比值. 填料/基质比; v_{τ} . 剪切位移速率, 10^{-2}cm/s ;

m . 流变指数; n . 应力指数; η . 表现粘度, $10^4\text{Pa}\cdot\text{s}$.

图 1 徐兰韧性剪切带地质略图

Fig. 1 Geological sketch map of Xulan ductile shear zone,

Nancheng County, Jiangxi Province

1. 白垩系莲荷组; 2. 侏罗系水北组; 3. 中元古界兰水岩组; 4. 程坊单元; 5. 周坊单元; 6. 周坊单元的糜棱岩化眼球状粗粒黑云二长花岗岩; 7. 程坊单元的糜棱岩化细粒二长花岗岩; 8. 碎裂岩化带; 9. U-Pb 同位素年龄 (Ma); 10. 应变测量点

岩石粒度的差异对岩石的变形有着重要的影响。

2 构造模拟

将大理岩加工筛分后, 获得粒级分别为 0.30~0.45 mm, 0.125~0.150 mm, 0.085~0.100 mm 的方解石, 然后再按方解石与甲基乙烯基硅橡胶分别为 1:1, 1.4:1 的比例, 在炼胶机上经充分均匀混炼, 最后制成五组模型材料, 编号见表 1。

2.1 流变参数测量

用夹心式流变^[9]对模型材料进行流变参数测量。测量过程中, 温度保持在 $(15 \pm 1)^\circ\text{C}$, 分别对 5 种模型材料渐进加载, 连续记录在不同的加载条件下, 模型发生位移及相应的时间。为保证实验的准确性, 每次加载试验重复做 3 次, 共取得 800 多个数据。将所得数据经计算机处理, 得到 5 种模型材料的流变参数(表 1)。从表 1 中可以看出, 不同填料粒径的模型材料以及同一模型材料在加载的不同阶段, 其剪切位移速率、流变指数、应力指数和表现粘度具有较明显的不同, 反映了填料粒径对模型材料流变参数的直接影响。从图 2 可以更加直接地看出粒度对岩石流变性质的影响, 在相同的应变速率条件下, 粒度越粗, 粘度越高。粒度填料/基质比值越高, 粘度越高。



图 2 粒度对粘度的影响

Fig. 2 Effect of grain size on viscosity

a. 填料与基质比为 1.4:1; b. 填料与基质比为 1:1; 各材料的粒径见表 1

2.2 韧性剪切带变形模拟

在剪切模拟时, 选用方解石与甲基乙烯基硅橡胶比为 1.4:1, 粒径分别为 0.100~0.085 mm 和 0.30~0.45 mm 两种模型材料(材料 M9803 和 M9801), 在构造教研室型号为 G-M-Y II 2 的剪切仪上, 使用陈氏网格式^[10]模拟, 温度 $(15 \pm 1)^\circ\text{C}$ 。变形前, 先将正交网格印制在实验模型上, 实验进行中分别对变形前、变形中和变形后的图案照相, 并测量相应的剪



图3 韧性剪切带网格法实验结果

Fig. 3 Experimental result of ductile shear zone with grid method
a. 剪应变(γ)等值线图; b. 转角(Ω)等值线图, ($^{\circ}$); c. $\gamma-x$ 曲线; d. $\Omega-x$ 曲线

切板的位移速率,为了实验的准确性,剪切模拟实验是在两种不同的位移速率下进行,以便对比.将所拍摄的照相底片通过幻灯机读得相应网格变形前后的坐标值,再通过计算机处理,获得两种模拟材料的 x 方向和 y 方向的线应变、剪应变及转角变化(图3).

从图3可以看出,两种模型材料在相同的剪切条件下,其剪应变和转角都具有明显差异.在相同的应变速率下,M9801(粒度为0.30~0.45 mm)较M9803(粒度为0.100~0.085 mm)中相对应点的剪应变值和转角值要小,也就是说,M9801材料较M9803材料中剪切变形强度要弱,整体转动也少.

3 野外观察与模拟结果分析

构造模拟所获得的数据及结果显示,在填料和甲基乙烯基硅橡胶比值相同的情况下,填料粒度越大,模型材料显示粘度越大,而在填料粒度相同时,填料与甲基乙烯基硅橡胶比值越小,模型材料显示粘度越小,可以想象,含砾的泥岩和泥质填充的砾岩

相比,后者粘度肯定大于前者.这不仅说明岩石中矿物颗粒大小直接影响了岩石的流变性质,也揭示了填料与基质比值是控制岩石流变性质的因素之一.细粒二长花岗岩的粒状矿物平均粒径为2.5 mm,眼球状粗粒黑云二长花岗岩的粒状矿物平均粒度为10 mm,两者粒度大小相差4倍,室内进行剪切模拟的材料两者粒度相差也是近4倍.实验结果与自然地质现象是一致的.

由于粒度大小控制了岩石的流变性质,当韧性剪切带穿过不同粒度的岩石时,在同样的剪切条件下,自然会出现剪切带发育程度及变形程度的差异.从上述的应变测量结果同样反映了粒度大小所造成的应变差异,即粒度越细,有限应变越大.这就解释了韧性剪切带穿过不同粒度岩石时为什么会发生发育变形程度不同的原因.因此,在观察研究同一韧性剪切带内岩石变形时,必须考虑粒度对岩石流变性质的影响,以及对韧性剪切带发育程度的影响.

4 结论

(1) 粒度差异是控制岩石流变性质(或粘度)的重要因素之一,这与野外所观察到的自然地质现象完全一致.矿物粒度大小与岩石粘度呈正相关,即在填料与基质比值相同的条件下,粒度大者粘度大,粒度小者粘度也小,粒度差异的程度决定了岩石流变性质差异的大小.(2)在测量填料与甲基乙基硅橡胶比值不同的模型材料粘度过程中发现,在粒度差异相同的情况下,填料与基质比为 1:1 的模型材料虽有粘度差异(粒径小者,粘度亦小),但两者粘度差异没有填料与基质比为 1.4:1 的模型材料明显,说明在粒状矿物少而基质多的情况,岩石的粘度降低,这与在自然界观察的实际情况完全一致.由此可知,粒状矿物与基质的比值越高,粒度差异对岩石粘度和岩石变形影响就越大.(3)由于岩石的粒度差异控制和影响了岩石的流变性质,所以也就直接影响了韧性剪切带发育的程度,在同样条件下,当韧性剪切带同时穿过粗粒岩石和细粒岩石时,在粗粒岩石中的韧性剪切带发育程度要比细粒岩石中差,其变形也相对弱些.上述结论对构造变形岩石的流变学研究具有重要的理论和实际意义.

参考文献:

[1] Ramsay J G. 剪切带的几何性质[J]. 徐树桐译. 地震地质

译丛, 1982, (5): 25~35.

- [2] Simps C, 马瑞. 韧性剪切带中的有限应变和增量应变组构[J]. 世界地质, 1991, 12(1): 112~113.
- [3] Ramsay J G, Huben M I. The techniques of modern structural geology (Vol. 2): folds and fracture [M]. London: Academic Press, 1987.
- [4] 樊光明, 薛重生, 杨晓松. 江西田里和浙江游溪韧性剪切带特征及其意义[J]. 华东地质学院学报, 1997, 20(4): 301~308.
- [5] O'Hara K. Fluid flow and volume loss during mylonitization: an origin for phyllonite in an overthrust setting, North Carolina, U. S. A [J]. Tectonophysics, 1988, 156: 21~36.
- [6] O'Hara K, Blackburn W H. Volume loss model for trace element enrichments in mylonites [J]. Geol, 1989, 17: 524~527.
- [7] Selverstone J, Morkeani G, Stande J M. Fluid channelling during ductile shearing: transformation of granodiorite into aluminous schist in the Tauern Window, Eastern Apls [J]. J of Metamorphic Geol, 1991, 9: 419~431.
- [8] 郑亚东, 常志忠. 岩石有限应变测量及韧性剪切带[M]. 北京: 地质出版社, 1985. 40~55.
- [9] 曾佐勋, 刘立林, 黄定华, 等. 高粘度非牛顿模型材料流变性能的实验测定[J]. 地质力学学报, 1995, 1(2): 35~39.
- [10] 曾佐勋, 刘立林. 陈氏网格法及其在地质学中的应用初探——以韧性剪切带有限变形实验为例[J]. 地质科学, 1992, (增刊): 82~92.

EFFECT OF GRAIN SIZE ON ROCK DEFORMATION IN DUCTILE SHEAR ZONE

Fan Guangming Zeng Zuoxun Chu Dongru Liu Lilin

(Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: The tectonic simulation research indicates: (1) The grain size is one of important factors controlling the rheological behaviors of a rock. The coarser the grain of minerals in a rock, the higher the viscosity of the rock. (2) The lower the ratio of the granular mineral content to the matrix, the smaller the effect of the grain size to the rheological behaviors of the rock, and vice versa. (3) The difference between grain sizes of a rock affects greatly the development of a ductile shear zone. The finer the grain size, the greater the finite strain in the ductile shear zone. These conclusions are perfectly consistent with the geological phenomena observed in the field and the actual measurement of finite strain of rocks in the ductile shear zone.

Key words: ductile shear zone; grain size; rheological behavior of rock; tectonic simulation.