

大别山南缘月山岩体构造变形 特征及其地质意义

林慈奎, 刘 强, 杨坤光, 马昌前

(中国地质大学地球科学学院, 湖北 武汉 430074)

摘 要: 锆石 U-Pb 年龄表明鄂东月山岩体是一个古老花岗岩经后期重熔并于燕山中期 (139Ma) 侵入的花岗岩体, 角闪石压力计得出侵位深度达 24.5km。宏观构造、应变测量和石英 C 轴组构分析得出, 月山岩体在深层侵位过程中受到 NW—SE 伸展和垂向挤压的区域应力作用。在南大别山分布众多类似岩体, 从而表明在燕山中期, 由 NW—SE 向的区域伸展体制控制南大别山的构造发展。

关键词: 石英 C 轴组构; 有限应变测量; 月山岩体; 大别山

中图分类号: P545

文献标识码: A

0 引言

造山带中巨量花岗岩出露是造山带的鲜明特色, 不同世代的花岗岩体侵位与构造变形记录了造山带演化的动力过程^[1-2]。通过大别山中出露的不同世代花岗岩岩体^[3-4]构造样式研究, 提供详细的造山带构造演化信息。

本文选取出露于大别造山带南缘鄂东浠水地区的月山岩体作为构造解析对象。通过对系统采集的岩石标本采用三维应变测量和石英 C 轴组构等构造研究手段, 结合岩体锆石 U-Pb 测年及侵位深度计算进行研究, 获取了岩体的构造样式, 为大别造山带在该阶段构造演化提供具有指示意义的地质信息。

1 月山岩体地质概况

月山岩体位于鄂东浠水西北约 3 公里处, 总体形态呈纺锤状, 长轴走向为 NW—SE, 出露面积约 2km² (图 1)。新鲜岩石呈暗灰白色, 细粒等粒粒状结构, 块状构造。岩体发育片理化构造, 韧性变形显著, 发育明显的线理和面理, 线理总体向 SE 倾伏, 面理倾向为 SE 或 S, 岩体表现出线理方向上的流动特点。从野外观察看, 月山岩体经历了侵入后的韧性变形、脆性剪切和后期拉张三期构造作用的影响。

收稿日期: 2004-08-17

基金项目: 国家自然科学基金 (编号: 40172069) 和地质学国家理科基地基金资助。

第一作者简介: 林慈奎 (1981-), 男, 2003 年毕业于中国地质大学 (武汉) 地质学国家理科基地班 (010991), 现西北大学攻读构造地质硕士学位。E-mail: 99586001@sina.com.cn Tel: 027-61340442

岩体主体岩性为黑云母二长片麻状花岗岩，主要矿物组成有 Q + Pl + Kf + Bi + Hb，副矿物有磁铁矿、磷灰石、黄铁矿等。镜下可见石英波状消光和动态重结晶，长石机械双晶。围岩与岩体呈侵入接触，为一套下元古界角闪岩相变质的大别杂岩。

采集样品进行锆石 U-Pb 年龄测定，^① 选取的锆石呈浅黄色透明长柱状或短柱状，重量在 10 ~ 20 μg，普通铅含量在 0.02 ~ 0.17 ng。3 颗锆石数据点 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 表面年

龄统计权重平均值为 141.6 ± 6.3 Ma，4 颗锆石数据点的 U-Pb 同位素年龄谐和图显示，岩体上交点年龄值为 977 ± 141 Ma，下交点年龄值为 139.3 ± 5.4 Ma。依照锆石自形形态、高封闭温度及上交点应代表岩体原岩年龄，下交点应代表岩体侵入年龄的一般解释，月山岩体原岩应为晋宁期花岗岩，后期重熔（侏罗纪晚期—白垩纪早期）侵入到地壳中。

2 岩体侵位深度计算

实验岩石学证明，火成岩中钙铝质角闪石在结晶过程中，角闪石全铝含量与结晶时压力呈正比^[51]，据此可以确定岩体结晶深度。在此基础上，研究者选取 5 个代表性样品中的角闪石进行电子探针分析并以 23 个氧标准计算阳离子系数和有关数值（表 1）。JCSA-733 电子探针（0.2 μA，15 kV）为确定结晶深度，采用 Schmidt 的压力计公式^[51]： $P (\pm 0.6 \times 10^8 \text{ Pa}) = -3.01 + 4.76 \text{Al}_{\text{hbl}}^{\text{tot}}$ ，式中 P 为结晶时压力，Al_{hbl}^{tot} 为角闪石全铝的含量。在角闪石结晶时，花岗质岩浆以熔融状态为主，结晶压力可以视为上覆静岩压力，以地壳静岩压力 30 MPa/Km 计算，月山岩体侵位深度在 24.5 km ±，为深层侵入体。

3 岩体三维有限应变测量

为了确定岩体应变量和应变型式，对采集定向岩石标本进行三维有限应变测量。室内选取 5 块具代表性的岩石标本，切制三个相互垂直的主应变面薄片（XZ、YZ、XY 面）。薄片

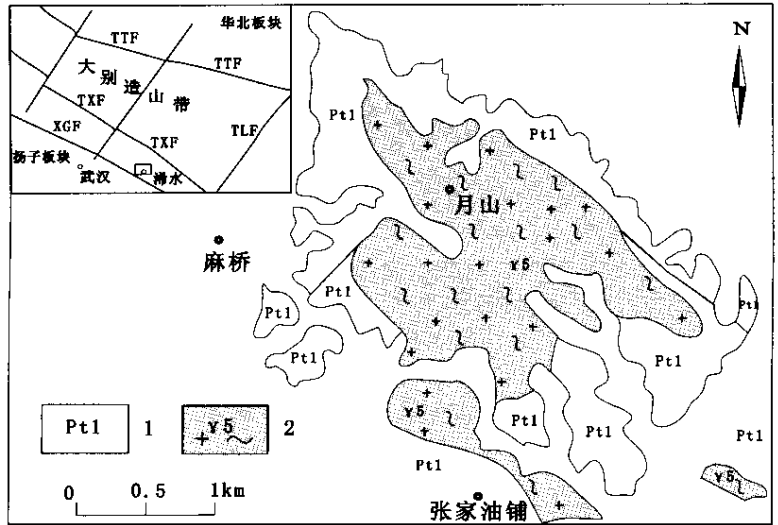


图 1 月山岩体地质略图

Fig.1 Geological sketch map of the Yueshan pluton

- 1. 大别杂岩; 2. 片麻状花岗岩; TTF. 桐柏—桐城断裂; TMF. 团麻断裂;
- TXF. 桐柏—浠水断裂; TLF. 郟庐断裂

^① 测试单位国土资源部天津地质矿产研究所同位素实验室。样品粉碎、锆石挑选及化学处理均在该室完成，U-Pb 同位素组成在 VG-354 热电离质谱计上测定。

表 1 角闪石的电子探针化学成分

Table 1 Microprobe analysis of hornblende from the Yueshan pluton

样号	YS23	YS20	YS5	YS1	YS
阳离子 (23 个氧标准)					
Si	6.182	6.322	6.233	6.054	6.209
Ti	0.145	0.113	0.159	0.146	0.145
Al	2.139	2.087	2.172	2.265	2.129
Fe ³⁺	0.402	0.271	0.331	0.569	0.345
Fe ²⁺	2.509	2.480	2.304	2.479	2.663
Mn	0.085	0.044	0.061	0.106	0.110
Mg	1.597	1.733	1.827	1.439	1.455
Ca	1.873	1.892	1.815	1.874	1.879
Na	0.580	0.562	0.535	0.544	0.540
K	0.362	0.325	0.375	0.356	0.407
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
合计	15.875	15.829	15.812	15.833	15.882
P/10 ⁸ (Pa)	7.170	6.923	7.329	7.772	7.126
深度 (km)	24.725	23.872	25.274	26.801	24.573

注：中国地质大学（武汉）测试中心测定

观察显示，矿物在 X 轴方位拉长，Z 轴方位缩短，呈现拉伸变形特点。由于花岗岩中石英含量较大且对变形较为敏感，是较好的应变标志体，因而它的应变特点能够极好代表整个岩体的变形行为。对主应变面薄片中的石英颗粒采用 Robin 法^[6]进行测定，每个薄片测定 40~50 颗粒，计算出三维应变值和应变参数（付林指数）。

应变测量结果显示（表 2），主应变轴比（X/Z）最大，在 1.23~1.30；Y/Z 在 1.15~1.20；X/Y 最小，在 1.09~1.14。应变参数付林指数在 1.11~2.06，投影均落在伸展变形区（图 2，图 3）。应变长轴主要向 SE 倾伏，倾角较缓；应变中轴向 NE 或 SW 缓倾；应变短轴主要向 N 陡倾，少数向 SE 倾伏。

表 2 月山岩体的三维应变测量数据

Table 2 3D finite strain analysis of the Yueshan pluton

样品	XY	YZ	XZ	K	X 轴	Y 轴	Z 轴	面理产状
ys06	1.15	1.09	1.30	1.65	142°/5	233°/17	33°/68	200°/14
ys14	1.15	1.11	1.30	1.42	153°/12	222°/1	2°/90	125°/15
ys18	1.17	1.14	1.23	1.20	156°/38	49°/26	305°/38	120°/55
ys20	1.15	1.14	1.26	1.11	136°/22	45°/23	261°/62	79°/30
ys23	1.20	1.10	1.27	2.06	151°/3	238°/3	3°/90	185°/3

应变分析得出：①由于主应变面 XY//片理面，因此，片理面主要是伸展变形面；②应变主平面轴比 XZ>XY>YZ，应变椭球体呈“雪茄状”^[6]，付林指数 K 值均大于 1.0，处于拉

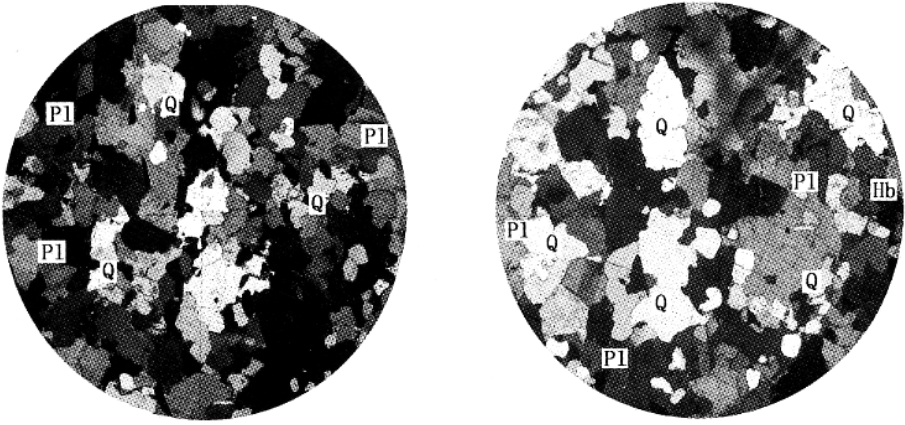


图2 月山岩体显微照片 (XZ切面, 正交偏光, 视域直径5mm, 左图为 ys02, 右图为 ys01)

Fig.2 Photomicrographs of the Yueshan pluton

(thin sections are cut parallelly to the XZ plane; crossed nicols; d=5mm; left: ys02; right: ys01)

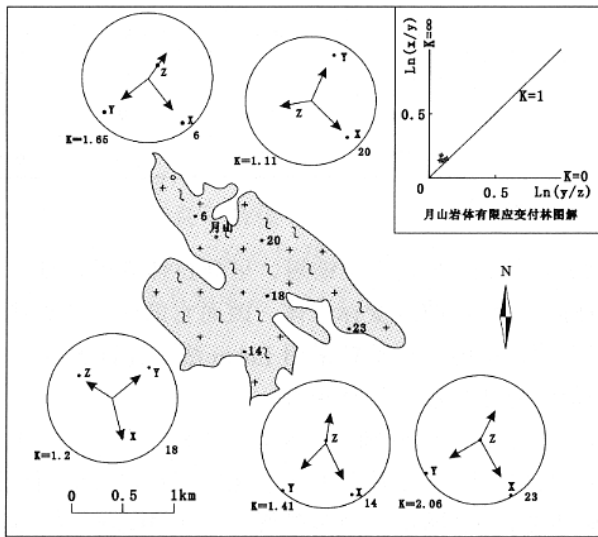


图3 月山岩体应变型式图

Fig.3 Map of finite strain patterns of the Yueshan pluton

伸应变区域, 表明整个月山岩体是在伸展状态下侵位变形; ③应变短轴产状陡倾, 显示岩体侵入时, 受到足够大的垂向挤压力; 应变长轴方向与岩体中发育的线理的方向一致, 变形过程中物质向 NW—SE 流动。

野外观察表明, 岩体边缘的面理产状平缓且方向变化较小; 岩体中间部位的面理产状陡且变化稍大。这表明, 岩体边部直接与围岩接触, 而受到区域统一的应力场的作用较强, 岩体内部则受影响相对较小, 受岩浆侵位的热动力 (垂向挤压) 更明显^[7]。

4 石英 C 轴组构

选择比较新鲜并且均匀分散于岩体内部的 14 块标本, 磨制定向的水平切片, 在普通费

氏台下测量石英颗粒的 C 轴方位，测量的矿物颗粒数在 120 ~ 160，然后利用计算机程序进行处理，得到月山岩体岩组图和极密值（表 3）。石英组构显示（图 4），极密为三斜对称为主，少数为单斜对称。极高密点受面理（S 面）控制（如 Y_s08、Y_s09、Y_s23 等），显示 S 构造岩特点。由此显示石英以柱面（10 $\bar{1}$ 0）a 为主，其滑动温度在 550 ~ 650℃^[8-9]。值得注意的是，部分极高密与 a 轴（拉伸）线理近一致（如 Y_s01、Y_s02、Y_s09 等），反映岩体在侵入时沿 NW—SE 方向的拉伸（这与宏观构造一致）。部分样品（如 Y_s14、Y_s15、Y_s18 等）发育与 S 面法线方向一致的极密，指示岩体在垂向上受到的挤压作用。岩体在深层位侵位过程中受到了 NW—SE 向拉伸与近垂向挤压而变形，物质沿 NW—SE 流动，发育拉伸线理，形成片麻状构造，与三维应变分析结果相一致。

表 3 月山岩体石英 c 轴组构测量结果

Table 3 Measurements of quartz c-axis fabric of the Yueshan pluton

标本号	颗粒数 n	岩组极密	标本号	颗粒数 n	岩组极密
ys1-4	152	0.7-1.8-2.8-3.7%	ys13-1	152	0.7-2.6-3.9-5.3%
ys2-4	159	0.6-2.3-3.4-4.5%	ys14-1	136	0.7-2.1-3.1-4.1%
ys3-1	150	0.7-2.7-4.0-5.3%	ys15-2	152	0.7-1.8-2.8-3.7%
ys5-1	124	0.8-2.6-3.9-5.2%	ys18-1	142	0.7-2.5-3.8-5.1%
ys6-2	135	0.7-3.0-4.4-5.9%	ys19-1	144	0.7-3.3-5.0-6.7%
ys8-3	150	0.7-2.1-3.2-4.3%	ys20-2	149	0.7-3.5-5.2-7.0%
ys9-4	152	0.7-2.6-3.9-5.3%	ys23-2	161	0.6-2.0-3.0-4.0%

另外，有部分样品极高密与任何一个应变主轴都不一致，也不受面理控制（如 Y_s02、Y_s06 等），反映岩体可能在结晶冷凝过程中受到剪切变形。

5 结论与讨论

(1) 月山岩体有限应变分析结果说明，岩体在侵位冷凝过程中受到 NW—SE 向拉伸的韧性变形，并发育 NW—SE 向拉伸线理，最大挤压应力陡倾。岩体的石英 c 轴组构分析显示，石英在较高温度下（550 ~ 650℃）发生以柱面滑移为主的韧性变形，极高密受到面状组构（S 面理）控制，显示出 S 构造岩特点。大部分极密均接近或集中于低角度 a 轴线理（拉伸线理）方向发育，反映岩体在侵入的高温阶段发生 NW—SE 方向的拉伸变形，这与应变分析一致。

(2) 月山岩体侵入在燕山中期区域应力场特点为 NW—SE 方向拉伸的应力状态。结合前人对大别造山带前陆构造演化结果表明^[10-11]，大别造山带应力场在三叠纪中晚期（T₂—T₃）以 NW—SE 向挤压为主，在侏罗纪晚期至白垩纪早期（J₃—K₁）以 NW—SE 向拉伸为主，主压应力方位呈“顺时针”变化。

(3) 在南大别浠水—四望（地块）分布众多 NW—SE 向延伸的花岗岩，其岩性与构造特征与月山岩体基本相同，因此，这些岩体极可能都是燕山中期侵入的中深层岩体，它们在区域性 NW—SE 向拉伸变形状态下侵入至中下地壳。

(4) 最近对与月山岩体地理位置相近且结晶年龄相同（角闪石⁴⁰Ar/³⁹Ar 坪年龄 139.0 ± 1.0Ma）的分流铺岩体研究表明^[12]，岩体是加厚地壳减薄过程中部分熔融的产物，其结晶年

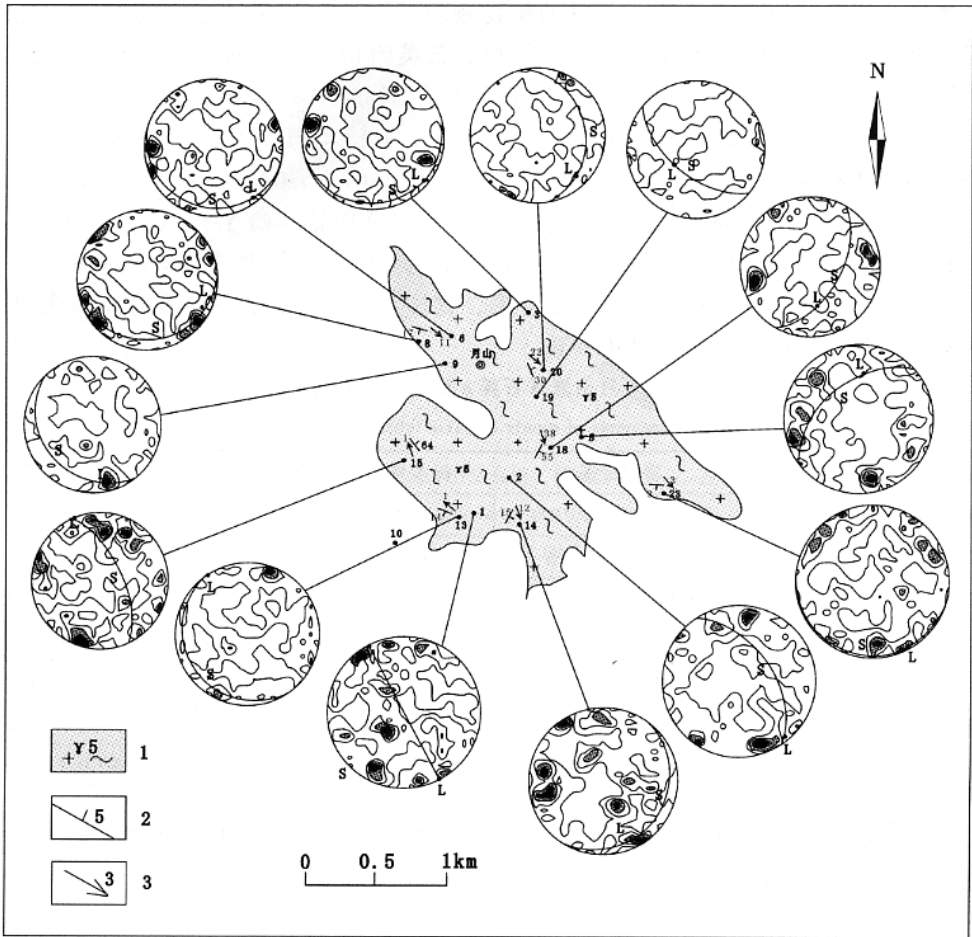


图 4 月山岩体石英 C 轴组构图

Fig.4 Quartz c-axis fabrics of the Yueshan pluton (Schmidt stereo-plot, lower hemisphere)

1. 片麻状花岗岩; 2. 面理及产状; 3. 线理及产状

龄代表了大别山由挤压缩短向整体伸展的构造转换的时限。比较之下，月山岩体构造变形特征地质意义在于该岩体对应了造山带的构造体制转换，在记录碰撞造山后伸展构造格局的变形特点的同时，为之提供了相应的地质时代约束。

致谢：在本项目研究过程中，得到研究生杨奎锋的大力帮助，特此致谢。

参 考 文 献

[1] 王涛. 花岗岩研究与大陆动力学 [J]. 地学前缘, 2000, 7 (增刊): 137~146.

[2] 杨坤光, 杨巍然. 碰撞后造山过程及造山带巨量花岗岩成因 [J]. 地质科技情报, 1997, 16 (4): 16~22.

[3] 杨坤光, 马昌前, 许长海等. 北淮阳构造带与大别造山带的差异隆升 [J]. 中国科学 [D]. 1999, 29 (2): 97~103.

[4] 王清晨, 丛柏林. 大别山超高压变质带的大地构造框架 [J]. 岩石学报, 1998, 14 (4): 484~492.

[5] 艾晓玲, 马昌前. 大别山同剥露刘家洼杂岩体角闪石长石的矿物化学 [J]. 矿物学报, 2000, 20 (3): 213~219.

- [6] 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. 89 ~ 102.
- [7] 路凤香, 桑隆康, 邬金华, 等. 岩石学 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2000. 10 ~ 34.
- [8] Schofield, D L, Dlemos R S. Relationship between syn-tectonic granite fabric and regional PTtd paths: an example from the gander-Aralon boundary of NE Newfoundland [J]. Struct. Geol, 1998, 30: 459 ~ 471.
- [9] 嵇少丞. 部分熔融的构造意义: (1) 变形机制转变的试验研究 [J]. 地质科学, 1988, 23 (4): 347 ~ 356.
- [10] Jens C. Schmid et al. How did the foreland react? Yangtze foreland fold-and-thrust belt deformation related to exhumation of the Dabie Shan ultrahigh-pressure continental crust (eastern China). Terra Nova, 1999, 11 (6): 266 ~ 272.
- [11] 刘强, 杨坤光. 大别山双河片麻状花岗岩岩体石英组构特征及应变分析 [J]. 地质力学学报, 2002, 8 (2): 149 ~ 155.
- [12] 马昌前, 杨坤光, 明厚利, 等. 大别山中生代地壳从挤压转向伸展的时间: 花岗岩的证据 [J]. 中国科学 [D]. 2003, 33 (9): 817 ~ 827.

CHARACTERISTICS OF TECTONIC DEFORMATION OF THE YUESHAN PLUTON ON THE SOUTHERN MARGIN AND ITS GEOLOGICAL SIGNIFICANCE

LIN Ci-luan¹, LIU Qiang², YANG Kun-guang², MA Chang-qian²

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

Abstract : Zircon U-Pb ages of the Yueshan pluton in eastern Hubei indicate that this pluton is a granite body resulting from anatexis of an old granite body and its intrusion in the middle Yanshanian (139 Ma). The depth of emplacement of this granite body obtained by the hornblende geobarometer is up to 24.5 km. Macroscopic structures, strain measurements and quartz c-axis fabric analysis suggest that the Yueshan pluton underwent NW-SE extension and vertical compression during its deep-level emplacement. Numerous similar rock bodies are distributed in the southern Dabie Mountains, thus suggesting that the NW-SE regional extensional regime controlled the tectonic development in the southern Dabie Mountains in the middle Yanshanian period.

Key words : quartz c-axis fabric ; finite strain measurement ; Yueshan pluton ; Dabie Mountains