

# 腾冲地块西缘那邦基性麻粒岩中石榴石 Sm-Nd 等时线年龄及其意义\*

季建清<sup>1</sup> 钟大赉<sup>2</sup>

1. 北京大学地质学系, 北京 100871; 2. 中国科学院地质研究所, 北京 100029

1. *Department of Geology, Peking University, Beijing 100871;*

2. *Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029.*

1998-10-09 收稿, 1998-04-26 改回.

Ji Jianqing and Zhong Dalai. 1999. The garnet Sm-Nd isochron age and significance of the metamorphic basalt from the western Tengchong area, southwest Yunnan, China. *Acta Petrologica Sinica*, 15 (3): 359~363

**Abstract** The Sm-Nd dating in garnets becomes an important new method for dating the Mesozoic and Cenozoic samples recently. The Sm-Nd isochron ages in garnets and whole-rock of the basaltic granulite from the western edge of Tengchong block are about 17~25Ma, indicating the age of the later metamorphic event owing to the deformational movement of the Cenozoic dextral strike-slip faults. It gives an important dating constraint for determining the western boundary of the extrusion Indo-China block according to Tapponnier's slip-line field theory. It also can be concluded that the closure temperature for the Sm-Nd system in garnet is lower than 640°C~720°C that is the temperature of the later metamorphism.

**Key words** Garnet, Sm-Nd isochron age, Sm-Nd closure temperature, Granulite, Dextral strike-slip fault, Tengchong

**摘要** 石榴石 Sm-Nd 等时线法是近年来常用于较新年龄的测年方法。腾冲地块西缘新发现的基性麻粒岩中石榴石和全岩的 Sm-Nd 等时线年龄为 17~25Ma, 是该麻粒岩经受后期变形变质作用的年龄, 与区内右旋走滑断裂活动时限相一致, 为确证腾冲地区的右旋走滑断裂是印支地块逃出的西部边界提供了 Sm-Nd 等时线方法的年龄约束。并推断石榴石 Sm-Nd 体系的封闭温度较低, 应低于那邦变质基性岩晚期变质作用的 640°C~720°C。

**关键词** 石榴石; Sm-Nd 等时年龄; 封闭温度; 麻粒岩; 右旋走滑断裂; 腾冲

**中图分类号** P597; P588.34

## 1 引言

由于<sup>147</sup>Sm 的半衰期长 ( $t = 1.06 \times 10^{11}$  a), Sm-Nd 测年方法通常用来测定显生宙以前的地质样品。近年来, 石榴石的 Sm-Nd 等时线方法以其独到的优越性被广泛运用于中生代样品的年龄测定 (Becker, 1993; Stowell *et al.*, 1997)。目前对变质岩石榴石的 Sm-Nd 等时线年龄有两种认识: 一种解释认为石榴石结晶时封闭计时的年龄; 另一种认为是变质

作用峰期后降温阶段封闭计时的年龄。对有多期变质作用改造的麻粒岩中石榴石 Sm-Nd 等时线结果还适合用来确定其体系封闭温度 (Hensen, 1995)。通常地在含水和较缓慢降温的条件下, 石榴石 Sm-Nd 封闭温度是 600°C (Humphries *et al.*, 1982; Mezger *et al.*, 1992; Burton *et al.*, 1993), 如果石榴石形成后经受了高于 600±30°C 以上温度的扰动, 那么, 石榴石 Sm-Nd 矿物等时线年龄是后期冷却年龄或叠加改造的年龄; 最近对南极 Prydz Bay 的麻粒岩的石榴石 Sm-Nd 年龄测定却证明 Sm-Nd 体系的封闭温度在无水体中

\* 本项研究是国家自然科学基金“九五”重点项目 (49732100) 和青年基金 (49603042) 的成果。

第一作者简介: 季建清, 男, 1968 年生, 博士后, 岩石学、构造地质学专业。

至少达到 700°C 以上 (Hensen, 1995)。本文给出的腾冲地块西缘新近发现的基性麻粒岩石榴石与全岩的内部 Sm-Nd 等时线年龄是那邦基性麻粒岩经受的与区内右旋走滑断裂活动有关的后期变形变质作用的年龄, 为确认石榴石 Sm-Nd 体系封闭温度提供了依据。

## 2 地质背景与样品岩石学特征

那邦基性麻粒岩呈灰黑色, 中粒 (0.3~3.5mm) 粒状变晶结构, 片麻状、条带状构造。显微镜下可以分为两个不同的矿物共生组合: 早期是石榴石+单斜辉石+斜长石 (Pl<sub>1</sub>)±石英±钛铁矿, 是石榴辉石岩的矿物组合, 是早期变质作用的矿物组合; 晚期是斜长石 (Pl<sub>2</sub>) + 角闪石+磁铁矿±石英+黑云母+钛铁矿, 是晚期变质作用形成斜长角闪岩的矿物组合。岩石中主要矿物相描述如下:

**石榴石:** 粒径 0.5~3mm, 自形-半自形晶, 裂纹发育。多呈残留的粒状、筛状 (筛孔中为石英、斜长石、角闪石、钛铁矿、磁铁矿等)。在含石榴石辉石的斜长角闪岩中多为斜长石、角闪石、磁铁矿所环绕, 并见有斜长石和角闪石的后成合晶发育。

**单斜辉石:** 粒径 0.5~3.5mm, 半自形晶, 解理较发育。淡绿色, 具弱的多色性。矿物表面有斜长石、角闪石的微细晶片析出。沿着矿物颗粒边缘和裂隙常为角闪石所交代, 显示它们的转变关系。

**角闪石:** 粒径 0.1~2.0mm, 它形晶。多色性明显, 褐色-黄褐色-棕黄色。与斜长石、磁铁矿平衡共生, 在结晶较好的斜长石边沿呈指状、岛状形态发育。在石榴石边缘发育时粒径较小, 0.01~0.1mm。

**斜长石:** 粒径 0.1~3mm, 半自形-自形晶。聚片双晶细而清晰, 实测 An=45~64。分布在石榴石周围的斜长石粒较细, An (=61~67) 较高。但在单斜辉石裂隙中可见到微细富钠斜长石晶片, An 为 10~25, 粒径为 0.02~0.2mm。

那邦基性麻粒岩经历的早期麻粒岩相变质作用温压下限分别是 750°C~860°C、0.8~1.0GPa; 后期的变质变形作用使得基性麻粒岩退变为斜长角闪岩, 相应的温压条件是 0.59~8.02GPa, 640°C~720°C (季建清, 1998a)。野外地质研究表明, 基性麻粒岩经受的晚期变质作用与区内右旋走滑剪切变形作用是同时的, 主要证据有: (1) 基性麻粒岩的面理、角闪石、斜长石的矿物线理与走滑带产状和运动方向一致; (2) 在走滑带变形较强部位基性麻粒岩已完全退变为斜长角闪岩, 出现新生变质矿物角闪石等粒度增大的特点, 而变形较弱的部位石榴石和单斜辉石保存较好, 角闪石的形成明显受控于断裂带变形强度; (3) 基性麻粒岩的围岩花岗岩

长质片麻岩中的片麻理主要是由角闪石和黑云母的定向排列所体现, 也与走滑断裂带产状一致 (季建清, 1998)。因此, 那邦基性麻粒岩的后期变质年龄也指示了那邦右旋走滑带活动的时限。

本文的研究选择了基性麻粒岩的三组样品 (YJ-51、NB-8-1、NB-8-6) 进行了年龄的测定。YJ-51 为含石榴石和单斜辉石的斜长角闪岩, 石榴石和单斜辉石呈残留矿物相被角闪石和斜长石包围, 并有钛铁矿、磁铁矿等副矿物相; NB-8-1 和 NB-8-6 岩性与 YJ-51 相似, 但比 YJ-51 的退变作用要强一些, 而且石榴石和单斜辉石在岩石中的含量较小, 在这两组样品中可以见到石榴石和单斜辉石到角闪石和斜长石的矿物之间变质反应转变关系。

## 3 实验方法

样品制备程序如下: (1) 将上述纯净岩石样品研磨至 200 目, 得到全岩粉末样品。单矿物石榴石的挑选是将样品研磨至 32~80 目, 在显微镜下挑选出无连晶、包裹体的纯净颗粒, 纯度达到 95% 以上, 石榴石颗粒用高纯水煮沸, 清洗两遍; (2) 样品中加 HF 和 HClO<sub>4</sub> 在 80°C 下静置 24h×4 以上, 达到使其溶解的目的; (3) 200°C 下, 加热进一步分解样品, 并破坏氟化物, 蒸干后再用浓 HCl 溶解残渣, 进一步破坏氟化物, 蒸干; (4) 用 2.5NHCl 提取, 离心后清液经强酸性阳离子交换柱 (AG50×8%) 分离总稀土, 蒸干; (5) 进一步用萃淋树脂分离 Sm、Nd; (6) 用质谱计 VG354 多接收器质谱计测量, Nd 以氧化物测定。质量歧视用 <sup>142</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd = 1.141771 和 <sup>146</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd = 0.7219 双校正; 氧同位素校正用 <sup>18</sup>O/<sup>16</sup>O = 0.00211 和 <sup>18</sup>O/<sup>16</sup>O = 0.000387。标准样结果 La Jolla: <sup>143</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd 为 0.511871±6~0.511861±7。

## 4 结果与讨论

表 1 是那邦基性麻粒岩 Sm-Nd 同位素测定的结果; 图 1 是等时线年龄结果。

三组样品获得的内部等时线年龄分别是 22.87±3.75Ma (YJ-51)、25.20±3.00Ma (NB-8-1) 和 17.3±3.3Ma (NB-8-6)。从理论上讲, 石榴石和全岩的 Sm-Nd 等时线应该反映的是早期变质作用的年龄, 样品测定的初衷也是为了获得早期变质作用的年龄 (由于单斜辉石受后期改造较强, 无法与角闪石分离, 我们未测定单斜辉石 Nd 同位素比值)。上述年龄段与直接测定后期变质作用形成的角闪石 K-Ar 年龄 (23~27Ma) 相当 (季建清, 1998b)。对那邦右旋走滑运动带, 我们进行了同构造岩浆岩单矿物黑云母、全岩或白云母

表 1 那邦基性麻粒岩石榴石和全岩 Sm-Nd 内部等时线样品测试结果  
Table 1 Sm-Nd isochron age for garnet and whole rock from basic granulites

序号	样品编号	测定对象	Sm ( $\mu\text{g/g}$ ) <sup>6</sup>	Nd ( $\mu\text{g/g}$ )	<sup>147</sup> Sm (nmol/g)	<sup>144</sup> Nd (nmol/g)	<sup>147</sup> Sm/ <sup>144</sup> Nd	<sup>143</sup> Nd/ <sup>144</sup> Nd
1	YJ-51a	全岩	3.271	8.879	3.262	14.64	0.2228	0.513027±12
2	YJ-51b	全岩	3.368	9.162	3.359	15.11	0.2224	0.513020±11
3	YJ-51a	石榴石	—	—	—	—	1.0280	0.513156±13
4	YJ-51b	石榴石	—	—	—	—	1.0990	0.513146±11
5	NB-8-1	全岩	3.244	9.355	3.235	15.43	0.2097	0.512915±10
6	NB-8-1	石榴石	—	—	—	—	0.9438	0.513036±9
7	NB-8-6	全岩	3.092	8.457	3.084	13.94	0.2211	0.512883±10
8	NB-8-6	石榴石	—	—	—	—	1.0060	0.512972±12

注：(1) YJ-51b 样品的少数颗粒中含有钦铁矿包体，但对结果影响不大。(2) 表中未列出 Sm、Nd 含量的样品，是由于石榴石在溶解中有损失，其 Sm、Nd 含量无确定意义，故略去，但其<sup>147</sup>Sm/<sup>144</sup>Nd 值可以精确测定。Sm-Nd 由中科院地质所同位素室黄萱、乔广生测定。

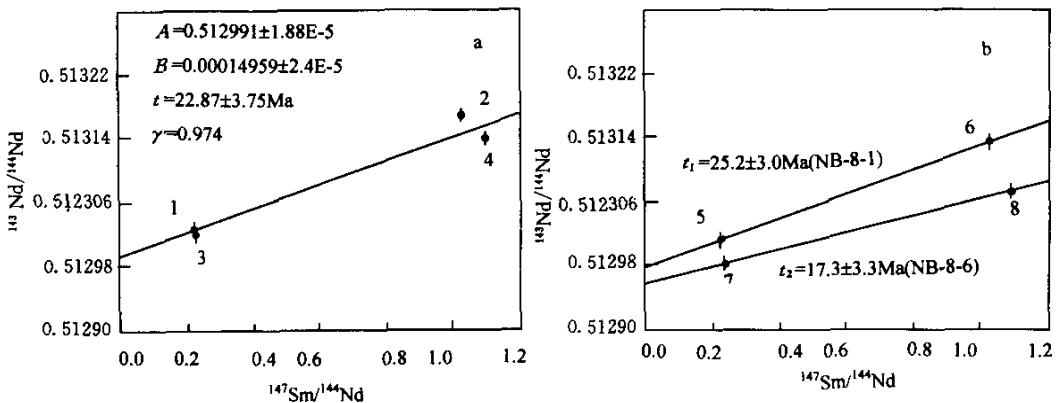


图 1 石榴石和全岩的等时线年龄结果

图中编号同表 1

Fig. 1 Sm-Nd isochron diagram for garnet and whole rock from basic granulites

的 K-Ar 法年龄测定，年龄是 19~26Ma (季建清, 1998b)，也与获得的石榴石 Sm-Nd 等时线结果一致。而且对那邦基性麻粒岩 (Ar-Ar 微区等时线法、锆石 U-Pb 法) 测定已经获得了早期变质作用的年龄，为 60~75Ma，显然麻粒岩的石榴石 Sm-Nd 内部等时线记录的是晚期变质作用的时限，而不是石榴石形成时的年龄。这与瑞士 Alps 地区榴辉岩和石榴辉石岩中单矿物石榴石、单斜辉石和全岩的 Sm-Nd 等时线测定有相似之处，在 Alps 获得的 36~42Ma 等时线年龄一度被认为是高压变质作用的年龄 (Becker, 1993)。但综合所有

Alps 造山带的高压变质年龄资料表明用此方法得出的年龄却是后期与抬升作用相关的年龄，更多的证据 (多硅白云母的 Ar-Ar 法、石榴石等矿物内部等时线、Lu-Hf 等方法) 证明高压变质作用的时限集中在 60~80Ma (Coward and Dietrich 1989; Duchene *et al.*, 1997)。石榴石 Sm-Nd 体系在后期的变质变形作用中经受了改造的事实为我们探讨石榴石 Sm-Nd 体系的封闭温度提供了一个很有意义的例证。那邦变质基性岩变质作用研究求得基性麻粒岩后期变质作用的温度为 640°C~720°C (季建清, 1998)，从已有的结果看，该温

度高于石榴石中 Sm-Nd 同位素体系的封闭温度, 因此可以设想, 在断裂带活动的变形变质过程中, 石榴石中 Sm-Nd 体系经历了重新平衡。那邦右旋走滑断裂东起昔马-铜壁关一线, 西至东缅甸境内的第三纪盆地东沿, 走滑带宽大于 5km, 是腾冲地区的重要的区域性边界大断裂, 它与高黎贡右旋走滑带组成了青藏高原东南部新生代挤出地块西界近南北走向走滑断裂系。那邦走滑断裂的剪切面理走向是  $200^{\circ}\sim 210^{\circ}$ , 倾角  $60^{\circ}\sim 75^{\circ}$ ; 面理上角闪石矿物线理  $10^{\circ}\sim 15^{\circ}\angle 10^{\circ}$ 。断裂带是以右旋走滑运动为主, 兼具逆冲剪切。该走滑断裂穿切了那邦基性麻粒岩, 引起了基性麻粒岩后期的角闪岩相变质作用。我们获得的区内基性麻粒岩后期变质作用的 Sm-Nd 等时线年龄是区内那邦右旋走滑运动带活动的年龄, 记录了基性麻粒岩地体在后期变形变质阶段的时限。

事实证明, 利用石榴石和全岩 Sm-Nd 等时线方法测定新生代或中生代样品具有独特的优越性, 尤其对年轻的高压麻粒岩或榴辉岩, 正确地分析年龄结果的意义, 可以帮助揭示变质岩变质、变质地体折返和抬升的时限。青藏高原东南部的作为印支地块响应两大陆碰撞向东南逸出的东部边界红河-哀牢山左旋走滑运动带的变形年代学测年结果是  $35\sim 22\text{Ma}$  (Urs Scharer, 1995; 张连生等, 1996), 作者最近有证据表明它是在  $27\sim 17\text{Ma}$  期间活动的。与之相对应的西边界一直未有定论, 重要的原因是在滇西或缅甸境内没有找到同期活动的右旋走滑断裂带。腾冲地区那邦右旋走滑断裂活动年龄利用石榴石 Sm-Nd 等时线方法的确定, 结合其他方法的测年工作, 为进一步论证它是与红河-哀牢山左旋走滑断裂相对应的挤出地块的西部边界提供了依据。

关于石榴石的 Sm-Nd 体系封闭温度有不同的观点。一种观点认为石榴石 Sm-Nd 封闭温度是  $600^{\circ}\text{C}$  (Humphries *et al.*, 1982; Mezger *et al.*, 1992; Burton *et al.*, 1993), 另一种认为石榴石的 Sm-Nd 体系封闭温度达到  $750^{\circ}\text{C}$  以上 (Cohen *et al.*, 1988; Jagoutz, 1988; Hensen *et al.*, 1995)。依据本文获得的变质基性岩中晚期变质作用的温度条件, 早期变质作用中形成的石榴石 Sm-Nd 等时线年龄结果记录的是晚期变质作用的时限, 可以推断石榴石 Sm-Nd 体系的封闭温度不超过  $640^{\circ}\text{C}\sim 720^{\circ}\text{C}$ , 由于早期矿物组合到后期矿物组合的转变是一个有流体参与的过程, 例如辉石和石榴石到富水的角闪石的变质转变, 我们认为含水流体作用是 Sm-Nd 体系封闭温度相对偏低的一个重要因素。

## 5 结论

(1) 那邦变质基性岩的石榴石 Sm-Nd 等时线记录的不是石榴石和单斜辉石得以形成的早期麻粒岩相变质作用时间的时限, 而是后期与区内大型走滑运动有关的变形变质作

用时限。

(2) 由于那邦变质基性岩的晚期变质作用的温度条件是  $640^{\circ}\text{C}\sim 720^{\circ}\text{C}$ , 石榴石 Sm-Nd 等时线记录了晚期变质作用的时限, 由此说明石榴石在后期的变质改造中, Sm-Nd 体系发生了重新平衡, 推断石榴石 Sm-Nd 封闭温度应该小于  $640^{\circ}\text{C}\sim 720^{\circ}\text{C}$ , 这与后期变质作用中流体的参与有关。

(3) 石榴石 Sm-Nd 封闭温度在新生代样品年龄测定中具有很好的适用性, 对 Sm-Nd 石榴石等时线年龄结果应综合分析, 充分考虑后期达到  $600^{\circ}\text{C}$  以上的热事件的改造以及变质作用过程中流体条件。

## References

- Becker H. 1993. Garnet peridotite and eclogite Sm-Nd mineral ages from Lepontine dome (Swiss Alps): New evidence for Eocene high-pressure metamorphism in the central Alps. *Geology*. 21 (6): 500~602
- Burton K W, Cohen A S and O'Nions R K. 1993. Nd, Sr and Pb diffusion in garnets, *Terra Abstract*, 5: 382
- Cohen A S, O'Nions R K, Siegenthaler R *et al.* 1988. Chronology of the pressure-temperature history recorded by a granulite terrain. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 98: 303~311
- Coward M and Dietrich D. 1989. Alpine tectonics - An review. in Coward M *et al.* eds. *Alpine tectonics*; Geological Society of London Special Publication. 1~29
- Dov Avigad, Christian Chopin, Bruno Goffe *et al.* 1993. Tectonic model for the evolution of the western Alps. *Geology*. 21: 659~662
- Duchene S, Blichert-Toft J, Luis B *et al.* 1997. The Lu-Hf dating of garnets and the ages of the Alpine high-pressure metamorphism. *Nature*, 387: 586~589
- Hensen Bas J and Zhou Bo. 1995. Retention of isotopic memory in garnets partially broken down during an overprinting granulite-facies metamorphism; Implications for the Sm-Nd closure temperature. *Geology*. 23: 225~228
- Humphries F J and Cliff R A. 1982. Sm-Nd dating and cooling history of Scourian granulites, Sutherland, NW Scotland. *Nature*. 295: 515~517
- Jagoutz E. 1988. Nd and Sr systematics in an eclogite xenolith from Tanzania; Evidence for frozen mineral equilibria in the continental lithosphere. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 52: 1285~1293
- Ji Jianqing. 1998. Petrology and Cenozoic lithospheric tectonic evolution of Tengchong-Yingjiang-Nabang area, west Yunnan, south-west China. Institute of Geology, CAS; PhD dissertation 33~57 (in Chinese with English abstract)
- Ji Jianqing, Zhong Dalai and Ding Lin *et al.* 1998. Study on metamorphism of granulite-facies metamorphic rocks discovered in the Nabang area from the border of China and Burma. *Acta Petrologica Sinica*. 14 (2): 163~175 (in Chinese with English abstract)
- Mezger K, Essene E J and Halliday A N. 1992. Closure temperatures of the Sm-Nd system in metamorphic garnets. *Earth and Planetary Science Letters*. 113: 397~409
- Scharer U, Zhang L S, Tapponnier P *et al.* 1994. Duration of

- strike-slip movement in large shear zone; the Red River belt, China. *Earth and Planetary Science Letters*. 126: 379~397
- Tapponnier P, Lacassin R and Leloup P H. 1982. Propagating extrusion tectonics in Asia; new insights from simple experiments with plasticine. *Geology*. 10: 611~616
- Tapponnier P, Lacassin R and Leloup P H. 1990. The Ailao Shan-Red river metamorphic belt; Tertiary leftlateral shear between Indochina and South China. *Nature*. 343: 431~437
- Tapponnier P and Monlar P. 1976. Slip-line field theory and large-scale continental tectonics. *Nature*. 264: 319~324
- Zhang Liansheng and Zhong Dalai. 1996, The red river strike-slip shear zone and Cenozoic tectonics of east Asia continent. *Scientia Geologica Sinica*. 31 (4): 328~341 (in Chinese with English abstract)

- Zhong Dalai and 8-co-authors. 1990. Large-scale strike-slip fault; the major structure of intracontinental deformation after collision. *Chinese Science Bulletin*. 35: 776~782

#### 附中文参考文献

- 季建清. 1998. 滇西腾冲-盈江-那邦地区岩石学与新生代岩石圈构造演化. 北京: 中国科学院地质研究所博士学位论文. 33~77
- 季建清, 钟大赉, 丁林. 1998. 中缅边界那邦基性麻粒岩的两期变质作用及构造意义. *岩石学报*, 14 (2): 163~175
- 张连生, 钟大赉. 1996. 从红河剪切带走滑运动看东亚大陆新生代构造. *地质科学*. 31 (4): 327~341