

## 青藏高原羌塘中部榴辉岩 Ar-Ar 定年\*

李才<sup>1</sup> 翟庆国<sup>1,2</sup> 陈文<sup>3</sup> 于介江<sup>1</sup> 黄小鹏<sup>1</sup> 张彦<sup>3</sup>

LI Cai<sup>1</sup>, ZHAI QingGuo<sup>1,2</sup>, CHEN Wen<sup>3</sup>, YU JieJiang<sup>1</sup>, HUANG XiaoPeng<sup>1</sup> and ZHANG Yan<sup>3</sup>

1. 吉林大学地球科学学院, 长春 130061

2. 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037

3. 中国地质科学院地质研究所国土资源部同位素地质重点实验室, 北京 100037

1. College of Earth Science, Jilin University, Changchun 130061, China

2. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China

3. Laboratory of Isotopic Geology, Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China

2006-10-18 收稿, 2006-11-30 改回.

LI C, Zhai QG, Chen W, Yu JJ, Huang XP and Zhang Y. 2006. Ar-Ar chronometry of the eclogite from central Qiangtang area, Qinghai-Tibet Plateau. *Acta Petrologica Sinica*, 22(12):2843-2849

**Abstract** Qiangtang eclogite locates at Pianshishan area, in the central of Hongjishan-Shuanghu high pressure metamorphic belt, is the first eclogite reported in Qinghai-Tibet plateau. The  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  age of phengite from eclogite is  $219.3 \pm 1.5\text{Ma}$ , and that from country rock is  $217.2 \pm 1.8\text{Ma}$ , which suggest that eclogite had experienced high pressure metamorphism together with its country rock. These ages are consistent with those of blueschists of Hongjishan-Shuanghu area. According to the published high pressure metamorphic ages, the high pressure metamorphic belt extent about 2000km, from Hongjishan and Shuanghu in Qiangtang area, Baqen in Naqoy, Jiuxi in Qamdo area to Dianxi area, is the result of coetaneous high pressure metamorphism, which implies Longmu Co-Shuanghu suture extends to Dianxi area. The geochronology of eclogite indicates that the collisional time of Gondwana and Laurasia continent is ca 220Ma, which is also the closure time of Paleo-Tethys.

**Key words** Qinghai-Tibet plateau, Central Qiangtang, Eclogite; High pressure metamorphism; Ar-Ar age

**摘要** 羌塘榴辉岩产于红脊山-双湖高压变质带中段的片石山地区,是目前青藏高原内部唯一的榴辉岩产地。榴辉岩多硅白云母 $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ 年龄 $t_p = 219.3 \pm 1.5\text{Ma}$ ;榴辉岩围岩的多硅白云母 $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ 年龄 $t_p = 217.2 \pm 1.8\text{Ma}$ ,定年结果表明,榴辉岩与围岩经历了相同的高压变质作用,与红脊山-双湖地区蓝闪片岩的高压变质时间是一致的。根据已有高压变质年代学资料,从羌塘的红脊山到双湖、那曲地区的巴青以北、昌都的酉西,直到滇西地区,断续分布长达2000余公里的高压变质带为同一期构造事件的产物,是龙木错-双湖板块缝合带向南延伸到滇西的重要依据。榴辉岩的定年数据进一步揭示,冈瓦纳板块与欧亚(扬子)板块的主体碰撞时间在220Ma左右,同时也是古特提斯洋消亡的时间记录。

**关键词** 青藏高原;羌塘中部;榴辉岩;高压变质作用;Ar-Ar年龄

**中图法分类号** P588.358;P597.3

羌塘中部红脊山-双湖高压变质带是目前青藏高原内部延伸规模最大,保存较好,研究程度较高的高压变质带,羌塘榴辉岩产于高压变质带中段的片石山地区(见图1)。有关蓝片岩的最早报道始于1915年(Hening, 1915),1987年作者报道了羌塘中部地区的蓝片岩(李才, 1987),其后国内外学

者先后报道了冈玛日、蓝岭、角木查尕日、双湖、红脊山等地区的蓝片岩及同位素定年结果,并对高压变质带的构造意义进行了探讨(李才等, 1995, 2006; 李才, 1997; 胡克等, 1995; 邓希光等, 2000, 2001, 2002; 鲍佩声等, 1999; Kapp *et al.*, 2000, 2003; 陆济璞等, 2006)。在羌塘的1:25万地质调查

\* 国家自然科学基金(40672147)与中国地质调查局(200313000015, 1212010561605)项目联合资助。

第一作者简介: 李才, 男, 1953年生, 教授, 从事青藏高原大地构造与区域地质研究, E-mail: licai010@126.com

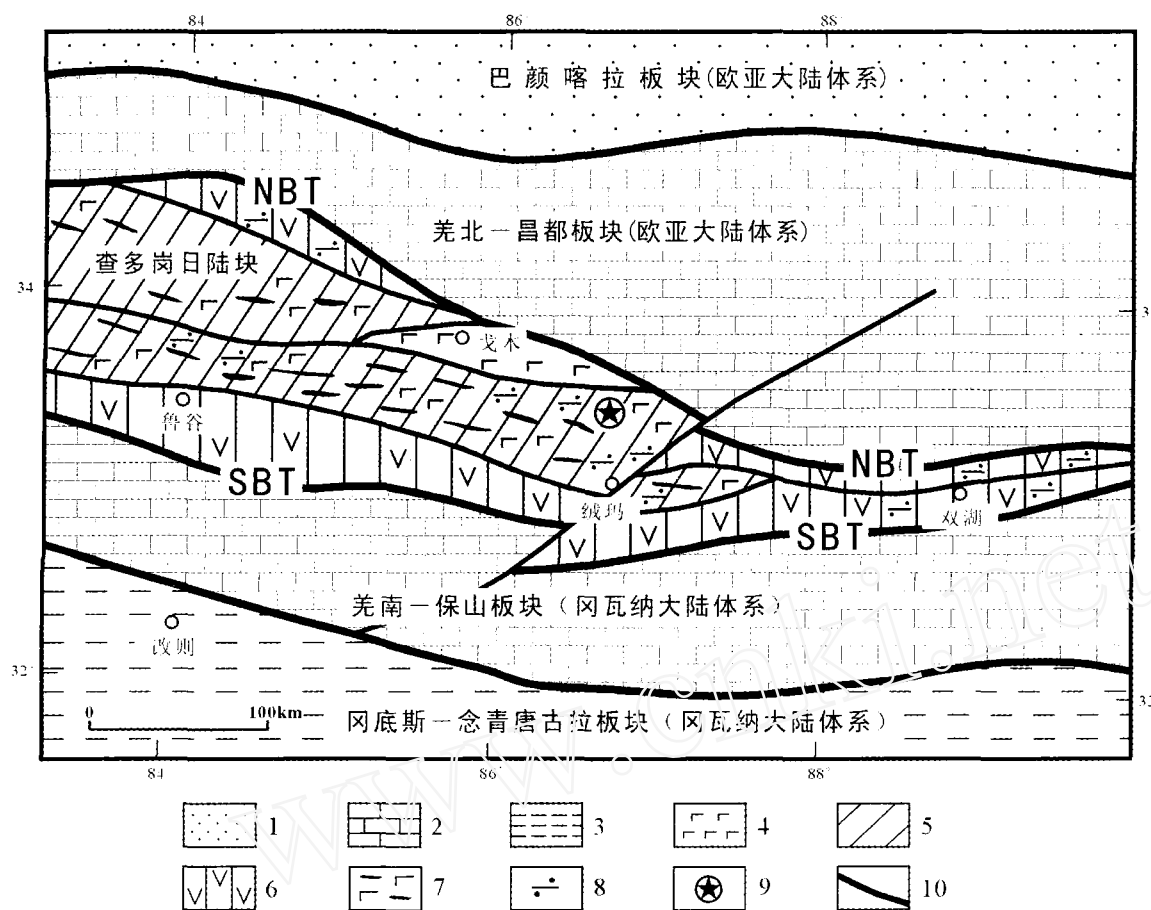


图1 青藏高原羌塘中部板块构造及高压变质带展布简图

1-巴颜喀拉复理石沉积; 2-羌塘中生代沉积; 3-冈底斯中生代造山带; 4-早古生代蛇绿岩片; 5-晚石炭世活动边缘增生楔; 6-早中二叠世洋岛型增生岩片; 7-玄武岩、基性岩墙群; 8-蓝片岩带; 9-榴辉岩; 10-主要断裂; NBT-龙木错-双湖缝合带主北边界断裂; SBT-龙木错-双湖缝合带主南边界断裂

Fig. 1 Sketch map of Plate suture and HP metamorphic belt of Qiangtang Area, Qinghai-Tibet plateau

中,首次在片石山发现榴辉岩,2006年作者报道了羌塘中部榴辉岩的初步研究成果(Li *et al.*, 2006)。在岩石学和矿物学研究基础上,对榴辉岩和榴辉岩围岩的多硅白云母进行定年分析,得到榴辉岩和围岩 219、217Ma 的变质年龄,与区域上的蓝闪石片岩的形成时代一致,榴辉岩与蓝片岩是同一次高压变质作用的产物。

## 1 羌塘中部榴辉岩产出地质背景与野外产状

羌塘地区中部的高压变质带组成的主体是蓝闪石片岩,西起红脊山,向东经蓝岭、角木查杂日、双湖纳若、恰格勒拉,到双湖的才多茶卡,断续分布长约 500km (见图 1)。最近在他念他翁山脉南侧的巴青以北获得多硅白云母<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 年龄 230Ma (王根厚等, 2006),在昌都吉塘附近的西西群变质玄武岩中也获得了多硅白云母<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 年龄 226Ma (李才等未发表年龄),羌塘中部的高压变质带已经延伸到昌都的巴青以北和吉塘地区,并可能与滇西的蓝片岩带相连 (Zhang *et*

*al.*, 1990; 赵靖等, 1994)。

羌塘的榴辉岩目前只在羌塘中部的片石山发现 (Li *et al.*, 2006),榴辉岩呈大小不等的透镜状产出于石榴石白云母片岩和白云母蓝闪石片岩构成的高压变质带中,大的榴辉岩透镜体长度超过 3000m,小的榴辉岩露头仅仅数厘米,榴辉岩透镜体整体排列方向为东西向,岩石坚硬致密,露头突出于地表,十分醒目 (图 2a)。榴辉岩的围岩主要是强烈变形白云母石榴石片岩、含蓝闪石榴石白云母片岩和大理岩等。榴辉岩与围岩界线分明,组成网结状构造,局部可以见到渐变过渡现象 (图 2b)。

羌塘中部红脊山、蓝岭、角木查杂日、双湖等地的蓝闪片岩,根据多硅白云母和蓝闪石矿物成分估算的变质温度为 410~460℃,变质压力为 6.7~7.5KPa (胡克等, 1995, 鲍佩声等, 1999)。根据石榴石-单斜辉石地质温度计和石榴石-单斜辉石-多硅白云母组合地质压力计估计获得榴辉岩的形成温度不超过 500℃,压力在 15.6~23.5KPa 之间,属于低温型榴辉岩,这也和榴辉岩与蓝片岩共生相吻合 (李才等, 2006)。

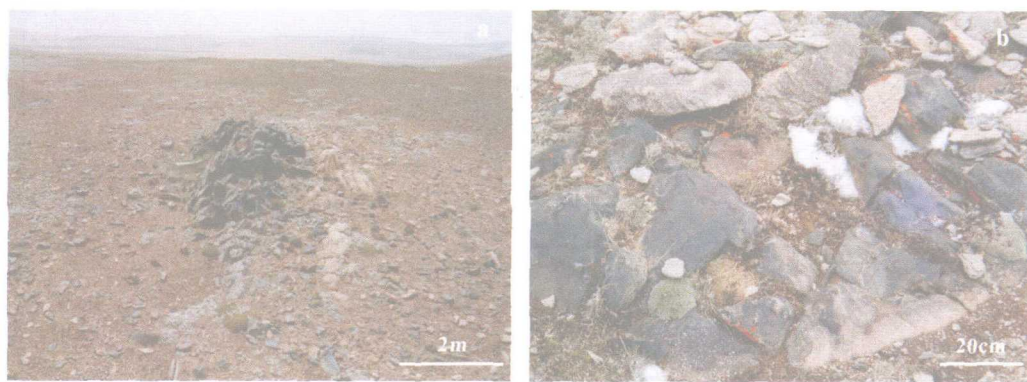


图2 羌塘中部榴辉岩与围岩的野外产状(b为a的局部)

注: 照片中灰黑色为榴辉岩, 灰白色为石榴石白云母片岩

Fig. 2 The outcrop of eclogite and its country rock from central Qiangtang area (B is a part of A)

## 2 样品采集及定年结果

### 2.1 样品特征

取样剖面位于西藏改则县戈木乡的片石山, 剖面编号为P22。样品1的岩石为细粒含白云母榴辉岩, 编号为F22-05-02; 样品2为石榴石白云母片岩, 编号为F22-05-03。

榴辉岩呈块状、条带状构造, 有的榴辉岩还保留气孔构造, 岩石为绿黑色(图2)。矿物成分为石榴石(30~35%)、绿辉石(20~25%)、角闪石(30~35%)、斜长石(5~10%)及少量多硅白云母(1~3%)、石英和绿帘石(共约1~2%)组成, 副矿物为金红石、磷灰石和锆石等(共约1~3%), 其中斜长石、绿帘石为榴辉岩退变质作用的产物。主要矿物粒度一般0.3~0.5 mm, 个别可达1 mm。榴辉岩中白云母呈小板条状, 与石榴石和绿辉石平衡共生, 探针分析结果, 有较高的 $\text{SiO}_2$  (49.52~52.93%) 和 $\text{Al}_2\text{O}_3$  (23.27~26.63%)、较高的 $\text{K}_2\text{O}$  (10.20~11.08%)。根据22个氧原子计算, 云母中Si在6.79~7.127 pfu之间,  $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})$ 在0.60~0.68之间, 为多硅白云母, 也是典型的高压变质矿物。

榴辉岩的直接围岩为石榴石白云母片岩(图2), 白云母成分与榴辉岩中的白云母特点相同, 同为多硅白云母, 但白云母的含量大于40%。镜下观察榴辉岩和围岩的白云母发生强烈变形, 没有发现白云母有退变现象。

### 2.2 定年结果

选纯白云母(纯度>99%)用超声波清洗; 照射工作是在中国原子能科学研究院的“游泳池堆”中进行的。使用H8孔道, 中子流密度约为 $6.0 \times 10^{12} \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 。照射总时间为3223分钟, 积分中子通量为 $1.16 \times 10^{18} \text{ n cm}^{-2}$ ; 同期接受中子照射的还有用做监控样的标准样: ZBH-25黑云母, 其标准年龄为 $132.7 \pm 1.2 \text{ Ma}$ , K含量为7.6%。

样品测试由中国地质科学院地质研究所国土资源部同

位素地质重点实验室完成。样品的阶段升温加热使用电子轰击炉, 质谱分析是在MM-1200B质谱计上进行的; 所有的数据都经过质量歧视校正、大气氩校正、空白校正和干扰元素同位素校正。中子照射过程中所产生的干扰同位素校正系数通过分析照射过的 $\text{K}_2\text{SO}_4$ 和 $\text{CaF}_2$ 来获得, 其值为:  $(^{36}\text{Ar}/^{37}\text{Ar})_{\text{Ca}} = 0.0002389$ ,  $(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{K}} = 0.004782$ ,  $(^{39}\text{Ar}/^{37}\text{Ar})_{\text{Ca}} = 0.000806$ ,  $^{37}\text{Ar}_0$ 表示经过放射性衰变校正的 $^{37}\text{Ar}$ 值; 采用的半衰期为35.1d; 衰变常数 $= 5.543 \times 10^{-10} \text{ a}^{-1}$  (Steiger *et al.*, 1977); 用ISOPLOT程序计算坪年龄及正、反等时线 (Ludwig, v2.49, 2001)。坪年龄误差以 $2\sigma$ 给出。详细实验流程见有关文献 (Chen *et al.*, 2002; 陈文等, 2002)。

P22剖面两个样品的阶段升温测年分析数据见表1, 年龄图谱和等时线图见图3。

## 3 讨论

从表1和两个样品的年龄谱图分析, 是典型的未受热扰动的封闭体系年龄谱, 表明定年的结果精度较高。

榴辉岩中多硅白云母 Ar-Ar 阶段升温测年数据见表1, 年龄谱见图3, 总气体年龄 (Total age) 为219.1 Ma, 其中800℃~1400℃10个阶段构成一个很好的年龄坪, 坪年龄 $t_p = 219.3 \pm 1.5 \text{ Ma}$ , 对应了99.74%的 $^{39}\text{Ar}$ 释放量 (图3a)。相应的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ - $^{36}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ 反等时线年龄 $t_1 = 219.0 \pm 2.2 \text{ Ma}$ ,  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 初始比值为 $312 \pm 29$  (MSWD = 0.78) (图3b)。榴辉岩岩石学和矿物学研究认为, 榴辉岩原岩为玄武岩, 岩石中保留了部分原岩矿物成分, 有普通角闪石 (有退化边) 和锆石等, 挑选出榴辉岩锆石, 进行CL分析, 是典型的基性岩岩浆锆石, 没有明显变质作用的迹象。变质平衡矿物是石榴石、绿辉石、蓝闪石、多硅白云母、金红石等。由于白云母对Ar的封闭温度 $350^\circ\text{C} \pm$ , 样品的坪年龄219 Ma应代表榴辉岩的高压变质年龄。

表1 羌塘中部片石山榴辉岩和围岩多硅白云母阶段升温 $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ 测年数据Table 1  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  data for phengite from eclogite and its country rock in central Qiangtang

| T(°C)                                                                             | ( $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ) <sub>m</sub> | ( $^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ) <sub>m</sub> | ( $^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ) <sub>m</sub> | ( $^{38}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ) <sub>m</sub> | F       | $^{39}\text{Ar}$<br>( $\times 10^{-14}\text{mol}$ ) | 表面年龄<br>(Ma) | $\pm 1\sigma$<br>(Ma) |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------|-----------------------------------------------------|--------------|-----------------------|
| P22-05-02 多硅白云母 W = 50.00mg J = 0.012067                                          |                                                  |                                                  |                                                  |                                                  |         |                                                     |              |                       |
| 400                                                                               | 29.4786                                          | 0.0843                                           | 1.3732                                           | 0.1192                                           | 4.6773  | 2.97                                                | 99           | 37                    |
| 500                                                                               | 21.3642                                          | 0.0664                                           | 2.0797                                           | 0.0929                                           | 1.8980  | 8.69                                                | 41           | 16                    |
| 600                                                                               | 18.1283                                          | 0.0406                                           | 1.1762                                           | 0.0652                                           | 6.2094  | 18.02                                               | 130.3        | 6.8                   |
| 700                                                                               | 16.9737                                          | 0.0181                                           | 0.4024                                           | 0.0317                                           | 11.6484 | 40.23                                               | 237.3        | 6.1                   |
| 800                                                                               | 12.9977                                          | 0.0078                                           | 0.1634                                           | 0.0193                                           | 10.6980 | 94.45                                               | 219.0        | 3.1                   |
| 900                                                                               | 12.0900                                          | 0.0041                                           | 0.0460                                           | 0.0158                                           | 10.8742 | 251.73                                              | 222.4        | 3.0                   |
| 980                                                                               | 11.7193                                          | 0.0035                                           | 0.1921                                           | 0.0206                                           | 10.6942 | 873.00                                              | 219.0        | 2.4                   |
| 1040                                                                              | 10.7765                                          | 0.0005                                           | 0.0094                                           | 0.0128                                           | 10.6307 | 2787.08                                             | 217.7        | 2.3                   |
| 1100                                                                              | 10.7711                                          | 0.0001                                           | 0.0045                                           | 0.0126                                           | 10.7304 | 10616.51                                            | 219.7        | 2.3                   |
| 1150                                                                              | 10.7492                                          | 0.0002                                           | 0.0120                                           | 0.0129                                           | 10.6856 | 5439.95                                             | 218.9        | 2.1                   |
| 1200                                                                              | 10.8376                                          | 0.0004                                           | 0.0242                                           | 0.0130                                           | 10.7239 | 2842.82                                             | 219.5        | 2.2                   |
| 1250                                                                              | 10.7679                                          | 0.0003                                           | 0.0113                                           | 0.0129                                           | 10.6818 | 2473.86                                             | 218.7        | 2.2                   |
| 1300                                                                              | 10.8532                                          | 0.0004                                           | 0.0327                                           | 0.0131                                           | 10.7412 | 1343.39                                             | 219.9        | 2.3                   |
| 1400                                                                              | 11.3634                                          | 0.0021                                           | 0.1274                                           | 0.0146                                           | 10.7478 | 450.22                                              | 220.0        | 2.4                   |
| 总气体年龄 = 219.1 Ma; $t_p = 219.3 \pm 1.5\text{Ma}$ ; $t_1 = 219.0 \pm 2.2\text{Ma}$ |                                                  |                                                  |                                                  |                                                  |         |                                                     |              |                       |
| P22-05-03 多硅白云母 W = 50.00mg J = 0.012172                                          |                                                  |                                                  |                                                  |                                                  |         |                                                     |              |                       |
| 400                                                                               | 20.0522                                          | 0.0074                                           | 1.4551                                           | 0.0522                                           | 17.9820 | 15.52                                               | 357.1        | 8.6                   |
| 500                                                                               | 16.4886                                          | 0.0240                                           | 2.6928                                           | 0.0482                                           | 9.6177  | 33.48                                               | 199.7        | 8.5                   |
| 600                                                                               | 14.9882                                          | 0.0136                                           | 1.2904                                           | 0.0432                                           | 11.0628 | 43.43                                               | 227.9        | 5.4                   |
| 700                                                                               | 13.5277                                          | 0.0078                                           | 0.4731                                           | 0.0200                                           | 11.2432 | 109.49                                              | 231.4        | 2.9                   |
| 850                                                                               | 11.7170                                          | 0.0026                                           | 0.0724                                           | 0.0175                                           | 10.9594 | 158.46                                              | 225.9        | 2.4                   |
| 920                                                                               | 11.4434                                          | 0.0017                                           | 0.0482                                           | 0.0152                                           | 10.9423 | 366.86                                              | 225.6        | 2.4                   |
| 980                                                                               | 11.1250                                          | 0.0008                                           | 0.0133                                           | 0.0129                                           | 10.8808 | 1086.80                                             | 224.4        | 2.3                   |
| 1030                                                                              | 10.7635                                          | 0.0006                                           | 0.0086                                           | 0.0128                                           | 10.5778 | 2261.80                                             | 218.5        | 2.3                   |
| 1080                                                                              | 10.6530                                          | 0.0004                                           | 0.0111                                           | 0.0135                                           | 10.5193 | 4469.21                                             | 217.4        | 2.2                   |
| 1130                                                                              | 10.5924                                          | 0.0002                                           | 0.0080                                           | 0.0126                                           | 10.5157 | 5550.31                                             | 217.3        | 2.3                   |
| 1200                                                                              | 10.6615                                          | 0.0004                                           | 0.0123                                           | 0.0137                                           | 10.5406 | 3164.19                                             | 217.8        | 2.1                   |
| 1300                                                                              | 10.6485                                          | 0.0005                                           | 0.0202                                           | 0.0134                                           | 10.5111 | 9210.89                                             | 217.2        | 2.8                   |
| 1400                                                                              | 13.0112                                          | 0.0088                                           | 0.1427                                           | 0.0149                                           | 10.4160 | 1583.25                                             | 215.3        | 2.1                   |
| 总气体年龄 = 217.9 Ma; $t_p = 217.2 \pm 1.8\text{Ma}$ ; $t_1 = 217.8 \pm 2.2\text{Ma}$ |                                                  |                                                  |                                                  |                                                  |         |                                                     |              |                       |

榴辉岩围岩中多硅白云母进行 Ar-Ar 阶段升温测年分析数据见表 1, 年龄谱见图 3, 总气体年龄 (Total age) 为 217.9Ma, 其中 850 ~ 1400°C 9 个阶段构成一个很好的年龄坪, 坪年龄  $t_p = 217.2 \pm 1.8\text{Ma}$ , 对应了 93.5% 的  $^{39}\text{Ar}$  释放量 (图 3c)。相应的  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ - $^{36}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$  反等时线年龄  $t_1 = 217.8 \pm 2.2\text{Ma}$ ,  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  初始比值为  $281.5 \pm 8.4$  (MSWD = 0.28) (图 3d)。

以上两个坪年龄与对应的等时线年龄近于一致, 排除了高温阶段过剩氩存在的可能, 因此, 这两个坪年龄可以分别

代表榴辉岩与围岩的高压变质年龄, 榴辉岩与围岩是同一期变质作用的产物。

羌塘榴辉岩和围岩的多硅白云母 Ar-Ar 年龄, 与羌塘、昌都、滇西等地同一高压变质带获得的蓝闪石、多硅白云母等 Ar-Ar 年龄对比可知 (李才, 1997; 邓希光等, 2001; Kapp *et al.*, 2003; 王根厚等, 2006; 赵靖等, 1992, 1994; 翟明国等, 1990) (见表 2), 榴辉岩的高压变质与区域上蓝片岩的形成时期一致。

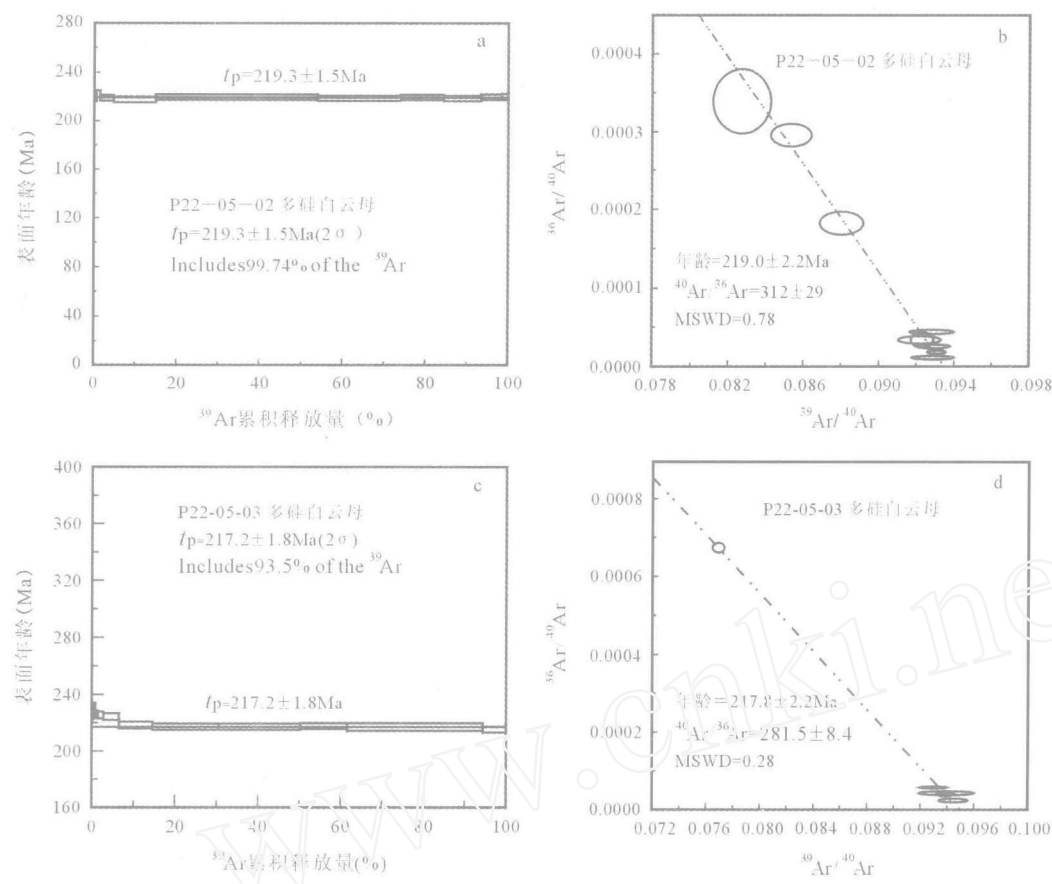


图3 羌塘片石石榴辉岩 (P22-05-02) 和围岩 (P22-05-03) 多硅白云母<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 年龄谱图和等时线图

Fig.3 Age spectrum and isochron diagram for phengite from Pianshishan eclogite (P22-05-02) and garnet muscovite schist (P22-05-03)

表2 羌塘与昌都、滇西高压变质带矿物<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 定年结果对比

Table 2 The contrast of <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar age between Qiangtang and Qamdo, Dianxi high pressure metamorphic belt

| 采样位置       | 岩石       | 矿物    | 坪年龄                  | 资料来源               |
|------------|----------|-------|----------------------|--------------------|
| 羌塘双湖 纳若    | 蓝闪片岩     | 青铝闪石  | 222.5 Ma             | 李才 (1997)          |
| 羌塘改则 冈玛错   | 蓝闪片岩     | 蓝闪石   | 275 Ma               | 邓希光等 (2000)        |
| 羌塘改则 冈玛错   | 蓝闪片岩     | 蓝闪石   | 282 Ma               | 邓希光等 (2000)        |
| 羌塘尼玛 蓝岭东   | 蓝闪片岩     | 蓝闪石   | 222 Ma               | Kapp et al. (2003) |
| 羌塘尼玛 角木日西  | 蓝闪片岩     | 青铝闪石  | 220 ~ 223 Ma         | Kapp et al. (2003) |
| 羌塘尼玛 江爱藏布西 | 蓝闪片岩     | 青铝闪石  | 221 Ma               | Kapp et al. (2003) |
| 羌塘尼玛 蓝岭东   | 白云母片岩    | 多硅白云母 | 215 Ma               | 李才等待刊数据            |
| 羌塘双湖 恰格勒拉  | 阳起石片岩    | 阳起石   | 236 Ma               | 王立全等 (2006)        |
| 羌塘改则 片石山   | 榴辉岩      | 多硅白云母 | 219 Ma               | 本文                 |
| 羌塘改则 片石山   | 石榴石白云母片岩 | 多硅白云母 | 217 Ma               | 本文                 |
| 昌都巴青 巴青北   | 绿片岩      | 多硅白云母 | 230 Ma               | 王根厚等 (2006)        |
| 昌都吉塘 西西    | 阳起石片岩    | 多硅白云母 | 226 Ma               | 李才等待刊数据            |
| 滇西 澜沧      | 蓝片岩      | 多硅白云母 | 238 Ma               | 赵靖等 (1992)         |
| 滇西 粟义      | 蓝片岩      | 蓝闪石   | 214 Ma               | 赵靖等 (1994)         |
| 滇西 粟义      | 蓝片岩      | 蓝闪石   | 279 Ma (视年龄)         | 赵靖等 (1994)         |
| 滇西 粟义      | 蓝片岩      | 蓝闪石   | 215 Ma (视年龄)         | 翟明国 (1990)         |
| 滇西 粟义      | 蓝片岩      | 多硅白云母 | 260 ~ 240 Ma (Rb-Sr) | 周维全等 (1990)        |

## 4 结论

由以上讨论可以得出如下结论

(1) 矿物学研究证明,羌塘榴辉岩的高压变质平衡矿物组合是石榴石、绿辉石、蓝闪石、多硅白云母、金红石等,由于蓝闪石转变的不彻底,锆石基本没有发生变质,多硅白云母的 Ar-Ar 坪年龄  $219.3 \pm 1.5\text{Ma}$  应为羌塘榴辉岩的高压变质年龄。榴辉岩围岩 Ar-Ar 坪年龄为  $217.2 \pm 1.8\text{Ma}$ ,在误差范围内与榴辉岩的变质年龄一致,是同一次构造事件产物。93.5% 和 99.74% 的  $^{39}\text{Ar}$  释放量,800℃ 以上的稳定性,  $t_0$  年龄与  $t_1$  年龄的一致性说明两个年龄具有较高的置信度,也是首次在羌塘榴辉岩中获得准确的高压变质年龄。

(2) 羌塘中部红脊山、蓝岭、角木查杂日、双湖等地的蓝闪片岩,根据多硅白云母和蓝闪石矿物成分估算的变质温度为 410~460℃,变质压力为 6.7~7.5 kPa(胡克等,1995;鲍佩声等,1997)。根据石榴石-单斜辉石地质温度计和石榴石-单斜辉石-多硅白云母组合地质压力计估计获得羌塘榴辉岩的形成温度不超过 500℃,压力在 15.6~23.5 kPa 之间,属于低温型榴辉岩(李才等,2006),与榴辉岩与蓝片岩一起产出相吻合。榴辉岩和围岩的多硅白云母年龄与区域上蓝闪片岩的变质年龄相差 3~5Ma(见表 2),是由于蓝闪石对 Ar 的封闭温度(650℃±)要高于白云母对 Ar 的封闭温度(350℃±),3~5Ma 时间应为从蓝闪石形成到多硅白云母出现的冷却时间,可能是一个等压降温过程。考虑到这些因素,羌塘榴辉岩与区域上的高压变质时间是一致的。

(3) 根据已有高压变质年代学资料(见表 2),从羌塘的红脊山到双湖、那曲地区的巴青以北、昌都的滇西,直到滇西地区,断续分布长达 2000 余公里的高压变质带为同一期构造事件的产物,是龙木错-双湖板块缝合带向南延伸到滇西的重要依据(李才等,2006)。榴辉岩的定年数据进一步揭示,冈瓦纳板块与欧亚(扬子)板块的主体碰撞时间在 220Ma 左右,同时也是古特提斯洋消亡的时间记录。

(4) 从表 2 可以看出,在羌塘和滇西都出现了 280Ma± 的蓝闪石年龄,目前是該带获得高压变质矿物最早年龄(Zhang *et al.*, 1990; 赵靖等,1994; 邓希光等,2001),与羌塘榴辉岩和蓝片岩的主期变质年龄;相差约 60Ma(李才等,2005、2006),有理由使我们考虑沿龙木错-双湖-吉塘-滇西在 280Ma 左右曾经发生板块的碰撞事件,或者是局部碰撞事件,这组蓝闪石年龄所记录的地球动力学过程正是我们要深入研究的关键问题之一。

**致谢** 研究工作得到肖序常院士、潘桂棠研究员、刘志刚研究员的指导和启发,在此一并表示诚挚谢意。

## References

- Bao PS, Xiao XC, Wang J *et al.* 1999. Blue schist belt of Shuanghu area in Center-Northern Xizang (Tibet) and its tectonic Implications. *Acta Geologica Sinica*, 73(4): 302–314 (in Chinese with English abstract)
- Chen W, Zang Y, Ji Q *et al.* 2002. The magmatism and deformation times of the Xidatan rock series, East Kunlun Mountain. *Science in China (Series B)*, 45(Supp.): 20–27
- Chen W, Liu XY. 2002. Continuous laser stepwise heating  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating technique. *Geological Review*, 48(Supp.): 127–134 (in Chinese with English abstract)
- Deng XG, Ding L, Liu XH *et al.* 2000. Discovery of blueschists in Gangmar-Taoping Co area, central Qiangtang, northern Tibet. *Scientia Geologica Sinica*, 35(2): 227–232.
- Deng XG, Ding L, Liu XH *et al.* 2001. Petrology and  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  isotopic ages of blueschists in Gangmar, central Qiangtang, Northern Tibet. *Chinese Science Bulletin*, 45(21): 2322–2326 (in Chinese with English abstract)
- Deng XG, Ding L, Liu XH *et al.* 2002. Geochemical characteristics of the blueschists and its tectonic significance in central Qiangtang area, Tibet. *Acta Petrologica Sinica*, 18(4): 517–525 (in Chinese with English abstract)
- Hening A. 1915. *Eur Petrographic and Geologie Von Sudwest Tibet*. Hedin S (ed.). Southern Tibet. Stockholm
- Hu K, Li C, Cheng LR *et al.* 1995. Gangmacuo-Shuanghu blueschist belt in Central Qiangtang area of Tibet and its geological significance. *Journal of Changchun University of Earth Sciences*, 23(3): 268–274 (in Chinese with English abstract)
- Kapp P, Yin A, Manning CE *et al.* 2000. Blueschist-bearing metamorphic core complexes in Qiangtang block reveal deep crustal structure of northern Tibet. *Geology*, 28(1): 19–22
- Kapp P, Yin A, Craig E, Manning T *et al.* 2003. Tectonic evolution of the early Mesozoic blueschist-bearing Qiangtang metamorphic belt, central Tibet. *Tectonics*, 22(4): 1043, doi:10.1029
- Li C, Cheng LR, Hu K *et al.* 1995. Study on the paleo-Tethys suture zone of Lungmu Co-Shuanghu, Tibet. Beijing: Geological Publishing House, 1–131 (in Chinese).
- Li C, Huang XP, Zhai QG *et al.* 2006. Longmu Co-Shuanghu-Jitang plate suture and the north-boundary of Gondwanaland in Qinghai-Tibet Plateau. *Earth Science Frontiers*, 13(4): 136–147 (in Chinese with English abstract)
- Li C, Zhai QG, Cheng LR *et al.* 2005. Thought on some key geological problems in the Qiangtang area, Qinghai-Tibet Plateau. *Geological Bulletin of China*, 24(4): 295–301 (in Chinese with English abstract)
- Li C, Zhai QG, Dong YS *et al.* 2006. Discovery of eclogite and its significance from the Qiangtang area, central Tibet. *Chinese Science Bulletin*, 51(9): 1095–1100.
- Li C. 1997. The  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  age and its significance of the crossite from the blueschist in the Mid-Qiangtang area, Tibet. *Chinese Science Bulletin*, 42(1): 88.
- Li C. 1987. The Longmucuo-Shuanghu-Lanchangjiang plate suture and the north boundary of distribution of Gondwana facies Permian-Carboniferous system in northern Xizang, China. *Journal of Changchun University of Earth Science*, 17(2): 155–166 (in Chinese with English abstract)
- Lu JP, Zhang N, Huang WH *et al.* 2006. Characteristics and significance of the metamorphic minerals glaucophane-lawsonite assemblage in the Hongjishan area, north-central Qiangtang, northern Tibet. *Geological Bulletin of China*, 25(1-2): 70–75 (in

Chinese with English abstract)

- Steiger RH and Jager E. 1977. Subcommittee on geochronology: convention on the use of decay constants in geo- and cosmochemistry. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 36: 359-362.
- Wang GH, Jia JC, Wan YP *et al.* 2006. Forming and tectonic significance of the Youxi tectono-schistose formation, north Baqen country, eastern Tibet. *Earth Science Frontiers*, 13(4): 180-187 (in Chinese with English abstract)
- Zhao J, Zhong DL, Wang Y. 1994. Metamorphism of Langcang metamorphic belt, the Western Yunnan and its relation to deformation. *Acta Petrologica Sinica*, 10(1): 27-40 (in Chinese with English abstract)
- Zhang RY, Cong BL, Li YG. 1990. Petrology of blueschists in western Yunnan province, China, and its Tectonic significance. *Science in China (Series B)*, 33(9): 1110-1123

#### 附中文参考文献

- 鲍佩声, 肖序常, 王军等. 1999. 西藏中北部双湖地区蓝片岩带及其构造涵义. *地质学报*, 73(4): 302-314
- 陈文, 刘新宇, 张思红. 2002. 连续激光阶段升温 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 地质年代测定方法研究. *地质论评*, 48(增刊): 127-134
- 邓希光, 丁林, 刘小汉等. 2000. 藏北羌塘中部冈玛日-桃形错蓝片岩的发现. *地质科学*, 35(2): 227-32
- 邓希光, 丁林, 刘小汉等. 2000. 青藏高原羌塘中部冈玛日地区蓝闪石片岩及其 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学. *科学通报*, 45(21): 2322-2326
- 邓希光, 丁林, 刘小汉等. 2002. 青藏高原羌塘中部蓝片岩的地球化学特征及其构造意义. *岩石学报*, 18(4): 517-525
- 胡克, 李才, 程立人等. 1995. 西藏冈玛错-双湖蓝片岩带及其构造意义. *长春地质学院学报*, 23(3): 268-274
- 李才, 程立人, 胡克等. 1995. 西藏龙木错-双湖古特提斯缝合带研究. 北京: 地质出版社, 1-131
- 李才, 黄小鹏, 翟庆国等. 2006. 龙木错-双湖-吉塘板块缝合带与青藏高原冈瓦纳北界. *地学前缘*, 13(4): 136-147
- 李才, 翟庆国, 程立人等. 2005. 青藏高原羌塘地区几个关键地质问题的思考. *地质通报*, 24(4): 295-301
- 李才. 1987. 龙木错-双湖-澜沧江板块缝合带与石炭二叠纪冈瓦纳北界. *长春地质学院学报*, 17(2): 155-166
- 陆济璞, 张能, 黄位鸿等. 2006. 藏北羌塘中部红脊山地区蓝闪石+硬柱石变质矿物组合的特征及意义. *地质通报*, 25(1-2): 70-75
- 王根厚, 贾建称, 万永平等. 2005. 藏东巴青县以北西西岩组构造片理形成及构造意义. *地学前缘*, 13(4): 180-187
- 赵军, 钟大赉, 王毅. 1994. 滇西澜沧变质带的变质作用和变形的关系. *岩石学报*, 10(1): 27-40