

# 哀牢山变质岩的原岩建造及其构造意义

崔军文

(中国地质科学院)

**摘要** 本文将哀牢山变质岩划分为三个建造类型,描述了它们的矿物成分及组构特征;选择代表性变质岩石种类,进行了岩石化学全分析及恢复原岩的研究;并根据同位素年龄和区域地质情况,对哀牢山深断裂带自晚元古代至中、新生代以来的发展演化历史,以及与其相伴随的不同期次区域变质作用、变质相分布、侵入岩浆活动及混合岩化、区域地质构造性质等,均作了详细的分析和论证。

哀牢山变质岩的原岩建造为火山岩建造和沉积岩建造,前者主要由深海拉斑玄武岩和钙碱性系列岩石组成,后者为泥质岩和砂岩。原岩时代为1050Ma,表明前寒武纪时期沿金沙江—哀牢山断裂存在一个古大洋海盆。金沙江—哀牢山断裂自泥盆纪以来就是一条重要的古俯冲带。晚侏罗世—上新世时期,哀牢山具双变质带特征。哀牢山变质岩的形成与冈瓦纳古陆向华夏古陆的俯冲有关,多期俯冲作用均伴随有区域变质作用、混合岩化和花岗岩侵位。

## 一、主要变质岩建造和组构特征

哀牢山变质岩带沿哀牢山断裂呈北40°西延伸,在平面上呈向南西突出的弧形,其宽度由北西往南东逐渐增加,在元江—金平一带最宽达22km。

根据矿物组合、主要岩石化学特征、组构和变质作用,将哀牢山变质岩划分为三个主要建造类型。垂直断裂带走向,由北东往南西(图1)依次描述如下:

### (一)角闪斜长片麻岩—变粒岩建造(建造I)

大致相当阿龙组上亚组(Pt<sup>1</sup>)。主要岩石类型为黑云角闪斜长片麻岩、黑云斜长片麻岩、黑云角闪变粒岩、透辉大理岩和矽线石榴黑云二长片麻岩。组构特征:暗色矿物条带(宽2mm~20cm)和压扁面为岩石中的主要面状构造(叶理面—XY面),其走向和岩带走向夹角约7°~32°,倾向北东,倾角60°~80°。线理(X)主要为长英质矿物的定向排列和片麻理表面擦痕。镜下观察:石英、长石晶边平直,呈方形或菱形,晶面夹角80°~111°,表示由重结晶作用而成<sup>(1)</sup>,单晶略显定向排列, X/Z=1.3~2.4,普遍波状消光,长石双晶(聚片双晶、肖钠双晶和卡氏双晶)和石英变形纹、吕德尔线发育。黑云母、角闪石呈晶边平直—弯曲的宽板状,略显平行X轴方向的右旋水平剪切流动。岩石呈粒状镶嵌结构,粒度较均一,下部出现交代结构。

据黑云母K-Ar同位素年龄资料,该组岩石的形成时代为:316.5Ma(华力西期)、85~171Ma(燕山期)和11.5~47.7Ma(喜山期)(表1)。说明是多期变质作用产物。

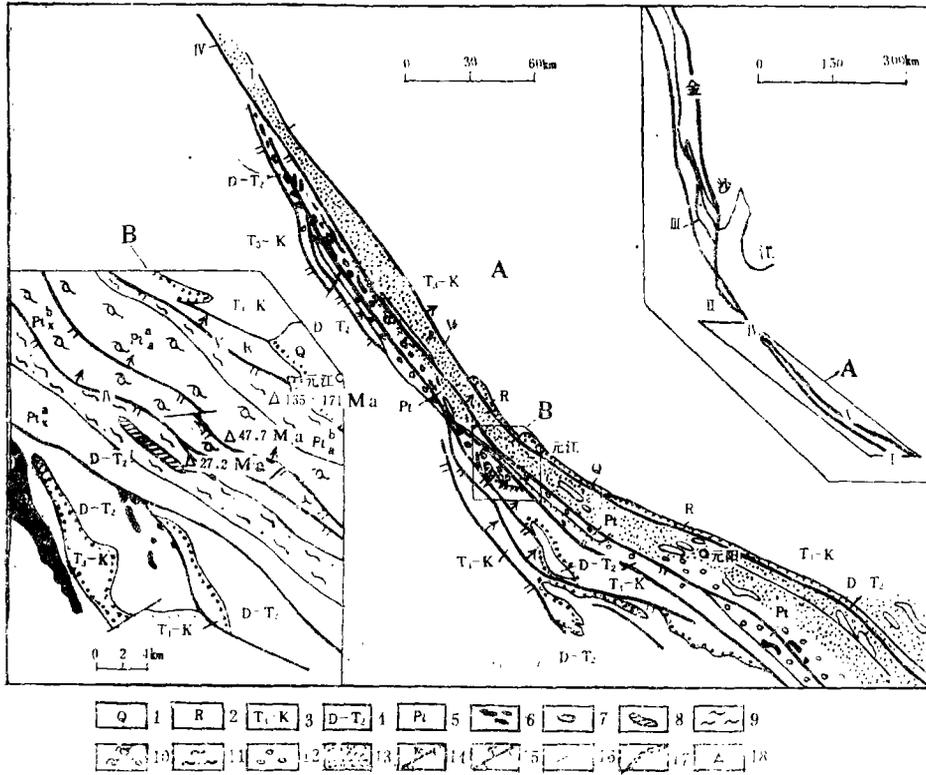


图 1 哀牢山变质岩带地质简图

1.第四系; 2.第三系; 3.上三叠统一白垩系; 4.泥盆系一中三叠统; 5.元古界(分层说明见正文); 6.基性、超基性岩; 7.花岗岩; 8.兰闪石片岩; 9.(变质)建造I(CI); 10.建造II(CII); 11.建造III(CIII); 12.高温、低压变质带; 13.低温、高压变质带; 14.压扭性断裂; 15.张扭性断裂; 16.扭断层或性质不明断层; 17.地层不整合界线; 18.同位素年龄采样点。

I.哀牢山变质岩带; II.苍山变质岩带; III.金沙江变质岩带; IV.哀牢山断裂; V.红河断裂。

Fig. 1 Sketch geological map of the Ailaoshan metamorphic belt

1. Quaternary; 2. Tertiary; 3. Upper Triassic-Cretaceous; 4. Devonian-Middle Triassic; 5. Proterozoic; 6. basic-ultrabasic rocks; 7. granite; 8. glaucophane schist; 9. (metamorphic) formation I (CI); 10. formation II (CII); 11. formation III (CIII); 12. high temperature and low pressure metamorphic belt; 13. low temperature and high pressure metamorphic belt; 14. compresso-shear fault; 15. tenso-shear fault; 16. shear fault and fault of unknown nature; 17. stratigraphical unconformity; 18. sample localities for isotopic age; I. Ailaoshan metamorphic belt; II. Cangshan metamorphic belt; III. Jinshajiang metamorphic belt; IV. Ailaoshan fault; V. Red River fault.

(二) 混合岩-花岗岩建造(建造II)

大致相当阿龙组下亚组(Pt<sup>1</sup>)和小羊街组上亚组(Pt<sup>2</sup>)。主要岩石类型有条痕一条带状混合岩、二云眼球状混合岩、网状混合岩、均质混合岩、石榴矽线二长片麻岩、角闪斜长变粒岩和少量二云片岩。元阳攀枝花出露大片花岗岩。组构特征: 暗色矿物明显减少, 断续排列成条痕或条带。叶理(XY面)主要为暗色矿物条痕、条带、眼球体扁平面、长英质矿物残碎斑晶和重结晶颗粒组成的构造条带, 总体倾向北东, 倾角65°~80°, 走向和岩带夹角12°~2°。线理(X)主要为拉长的长石、石英和长英质矿物集合体的定向排列, X/Z=1.8~4.6, 沿X方向晶边呈S形弯曲。长英质矿物除继续保持建造I中的塑性形变

外, 尚发育次颗粒构造, 反映岩石经历了高温塑性变形<sup>[1]</sup>。黑云母、角闪石以平行 X 轴方向的一组最发育, 晶边强烈扭曲。沿 X 轴方向显示较清楚的右旋水平剪切流动。岩石呈眼球状一波形条带状构造和残碎斑状结构, 交代结构发育。

据黑云母、钾长石等矿物的 K-Ar 同位素年龄资料, 混合岩化主要发生在 16~47.7Ma (喜山期)。花岗岩至少可划分为两期: 细粒片麻状黑云母花岗岩和黑云母花岗伟晶岩, 前者 and 黑云角闪斜长片麻岩、云母片岩呈整合接触, 并被后者穿插, 后者同位素年龄值为 112.2Ma (燕山期), 推测细粒片麻状黑云母花岗岩为印支期产物 (表 1)。

表 1 K-Ar 同位素年龄结果\*

Table 1 K-Ar Isotopic Ages

| 样品号             | 岩性      | 采样位置  | 层位      | 测定矿物 | 年龄值 (Ma) |
|-----------------|---------|-------|---------|------|----------|
| M <sub>52</sub> | 二云片麻岩   | 元江小庙河 | 小羊街组下亚组 | 黑云母  | 27.2     |
| M <sub>26</sub> | 角闪斜长片麻岩 | 元江龙洞  | 阿龙组下亚组  | 黑云母  | 47.7     |
| L <sub>18</sub> | 花岗伟晶岩   | 元阳    | 小羊街组上亚组 | 黑云母  | 112.2    |
| M <sub>6</sub>  | 角闪斜长片麻岩 | 元江龙洞  | 阿龙组上亚组  | 角闪石  | 135      |
| M <sub>13</sub> | 云母片岩    | 元江龙洞  | 阿龙组上亚组  | 黑云母  | 171      |
| X <sub>j2</sub> | 黑云斜长片麻岩 | 苍山    |         | 黑云母  | 316.5    |

\* X<sub>j2</sub>样品由李尚淮采集。

### (三) 二云片岩—片麻岩建造 (建造 III)

大致相当小羊街组下亚组 (Pt<sub>1</sub>)。主要岩石类型为十字石榴二云片麻岩、白云母石英片岩和奥长二云石英片岩, 在新平二台坡、马鹿坪出现钠长兰闪石片岩。在火山、洋芋山和元阳等地, 绿泥石英片岩中分别出现有片理化、蛇纹石化辉橄岩和片麻状角闪辉长岩。组构特征: 岩石强烈片理化和褶皱。由重结晶石英、长石和片状矿物平行相间组成的构造条带和片理, 为岩石中的主要叶理 (XY 面), 镜下至少可区分为二期互相垂直的叶理, 主要叶理面走向和变质岩带展布方向夹角 4.5°~27°, 倾向北东, 倾角 80°~85°, 往外倾角逐渐减小为 65°~70°。线理 (X) 主要为拉长的石英、长石颗粒的定向排列和擦痕。石英、长石大部分为重结晶颗粒, 少量残碎斑晶, 次颗粒发育, 斑晶的 X/Z = 1~2.5。沿 X 方向右旋剪切应变发育。显示岩石经历了强烈高温塑性变形和近于水平的右旋剪切流动。岩石呈花岗变晶结构、花岗鳞片变晶结构, 糜棱状—片麻状构造、片状—褶皱状构造。

据黑云母 K-Ar 同位素年龄资料, 建造 III 形成于 230Ma (印支期) 和 12.4~27.2Ma (喜山期), 后者为主要形成时期 (表 1)。

根据双变质岩带特征的变质矿物、变质相和共生的岩浆作用<sup>[2]</sup>, 哀牢山变质岩带为一双变质岩带。大致位于哀牢山断裂上盘、弧形岩带内侧的建造 I 和建造 II, 构成高温、低压变质岩带, 常见的变质矿物有黑云母、石榴石、矽线石、十字石和红柱石等, 变质岩相为角闪岩相—绿片岩相, 伴生有大量混合岩化和花岗岩体侵位; 位于哀牢山断裂下盘、弧形岩带外侧的建造 III, 构成低温、高压变质带, 特征的变质矿物有兰闪石、黑硬绿泥石和石英白云母<sup>[3]</sup>, 变质相为绿片岩相—兰闪石片岩相, 伴生有大量长条状、透镜状蛇纹石化

超基性岩体和变质辉长岩体(图1)。根据双变质带中的主要变质矿物黑云母、白云母、角闪石和花岗岩体的黑云母、白云母的K-Ar同位素年龄资料(表1),推测双变质带的主要形成时期为中侏罗世-早白垩世末,其次为晚白垩世末-始新世。

## 二、变质岩的岩石化学特征和原岩建造

为探讨哀牢山变质岩的原岩建造,对上述三个建造中有代表性的岩石类型进行了岩石全化学分析(表2)。根据 $(al + fm) - (c + alk)$ 对Si和 $(al - alk)$ 对c图解进行原岩恢复,进而用 $\langle FeO \rangle / MgO$ 对 $SiO_2$ 、 $\langle FeO \rangle$ 和 $TiO_2$ 图解对其中变质火山岩岩石化学特征进行归纳<sup>(4)</sup>。此外,还对建造I和建造II进行了Rb/Sr同位素年龄分析。结果如下:

表2 岩石化学成分对比

Table 2 Comparison between the Chemical Compositions of the Rocks

|         | SiO <sub>2</sub> | TiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO  | MnO  | MgO  | CaO  | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> | 烧失   | 总量     | $\langle FeO \rangle$ | $\langle FeO \rangle / MgO$ | $(Sr^{87} / Sr^{86})_0$ |
|---------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|------|------|-------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------|------|--------|-----------------------|-----------------------------|-------------------------|
| 建造I ①   | 56.92            | 0.91             | 13.59                          | 2.37                           | 5.56 | 0.16 | 4.82 | 8.60 | 2.63              | 1.77             | 0.23                          | 0.54                          | 0.46 | 98.56  | 7.49                  | 2.48                        | 0.69946                 |
| 建造I ②   | 64.13            | 0.73             | 14.37                          | 1.94                           | 4.69 | 0.10 | 3.38 | 2.45 | 1.96              | 3.34             | 0.13                          | 0.34                          | 1.11 | 98.67  | 6.44                  | 1.91                        |                         |
| 建造II ③  | 71.83            | 0.20             | 14.40                          | 0.69                           | 1.11 | 0.36 | 0.52 | 1.44 | 3.40              | 3.67             | 0.54                          | 2.09                          | 0.20 | 100.45 | 1.91                  | 8.43                        | 0.70573                 |
| 建造II ④  | 68.23            | 0.59             | 15.63                          | 1.71                           | 2.67 | 0.05 | 1.18 | 1.67 | 2.06              | 3.95             | 0.12                          | 0.17                          | 2.09 | 100.12 | 6.66                  | 5.64                        |                         |
| 建造III ⑤ | 54.43            | 1.37             | 15.22                          | 4.36                           | 5.00 | 0.09 | 4.55 | 7.59 | 2.08              | 2.43             | 0.24                          | 0.31                          | 1.62 | 99.29  | 8.92                  | 2.19                        |                         |
| 建造III ⑥ | 70.34            | 0.64             | 10.32                          | 2.23                           | 3.30 | 0.07 | 1.58 | 0.80 | 1.54              | 2.86             | 0.11                          | 1.24                          | 1.07 | 96.01  | 5.31                  | 3.69                        |                         |

①变质火山岩,据27个样品平均;②变质砂岩、泥质岩,少数钙质沉积物,据14个样品平均;③变质火山岩,据24个样品平均;④变质砂岩、泥质岩,少数钙质沉积物,据3个样品平均;⑤变质火山岩,据3个样品平均;⑥变质砂岩、泥质岩,据3个样品平均。

(一) 建造I的41个岩石样品,有65.9%的样品在 $(al - alk)$ 对c图解(据J. R. 威尔逊, 1972)中落在火成岩区或火成岩区和长石系列区边界,其余样品落在泥质岩区和砂岩区(图2)。在 $(al + fm) - (c + alk)$ 对Si图解(据A. 西蒙纳, 1953)中,它们大部分位于火山岩区左侧,其余样品落在厚层泥岩和砂岩区,个别样品在钙质沉积物区(图3)。在 $\langle FeO \rangle / MgO$ 对 $\langle FeO \rangle$ 、 $TiO_2$ 和 $SiO_2$ 图解(图4)中,这些变质火山岩大部分落在深海拉斑玄武岩区和钙碱性岩石系列区,个别落在岛弧拉斑玄武岩区。

对建造I的4个岩石样品的Rb-Sr同位素年龄分析结果为: $(Sr^{87} / Sr^{86})_0 = 0.69946$ (初始比值偏低可能与后期变质作用过程中,局部存在的物质交换,特别是 $Sr^{87}$ 的迁移有关<sup>(5)</sup>), $t = 1050.7 Ma$ ,斜率为0.01449,相关系数为0.97,相关性较好(图5)。在 $(Sr^{87} / Sr^{86})_0$ 初始比值和年龄相关图(据G. D. 福尔和J. L. 鲍威尔, 1972)上,落在玄武岩源区<sup>(6)</sup>。1050.7 Ma基本代表洋壳玄武岩的结晶时间。

(二) 建造II的30个岩石样品,在 $al - alk$ 对c图解中,80%的样品落在火成岩区和长石系列区(图2),在 $(al + fm) - (c + alk)$ 对Si图解中,它们基本落在火成岩区右侧,其余样品落在泥质岩区、砂岩区,个别落在钙质沉积物区(图3)。在 $\langle FeO \rangle / MgO$ 对 $\langle FeO \rangle$ 、 $TiO_2$ 和 $SiO_2$ 图解(图4)中落在钙碱性系列岩石区和拉斑玄武岩区。

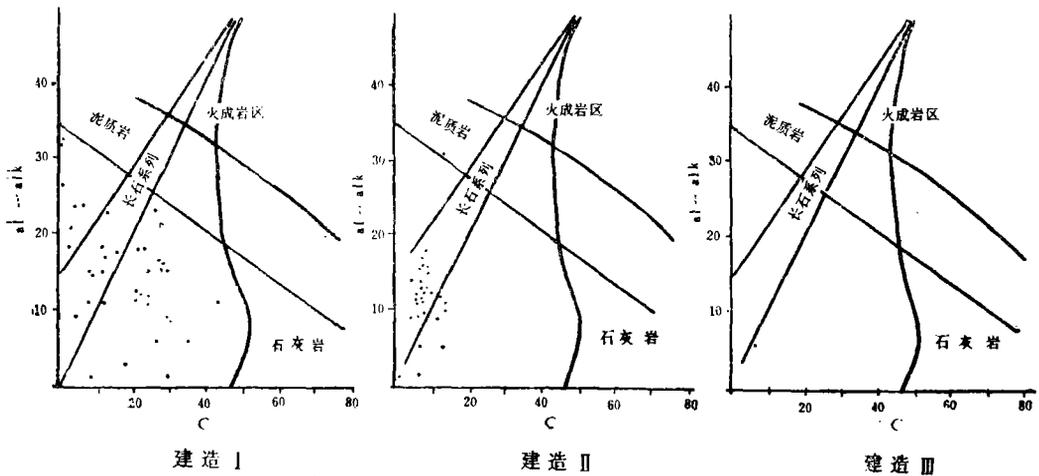


图 2 各变质建造的 al-alk 对 c 图解

Fig. 2. al-alk vs. c diagrams of various metamorphic formations. (after A. Miyashiro, 1975)

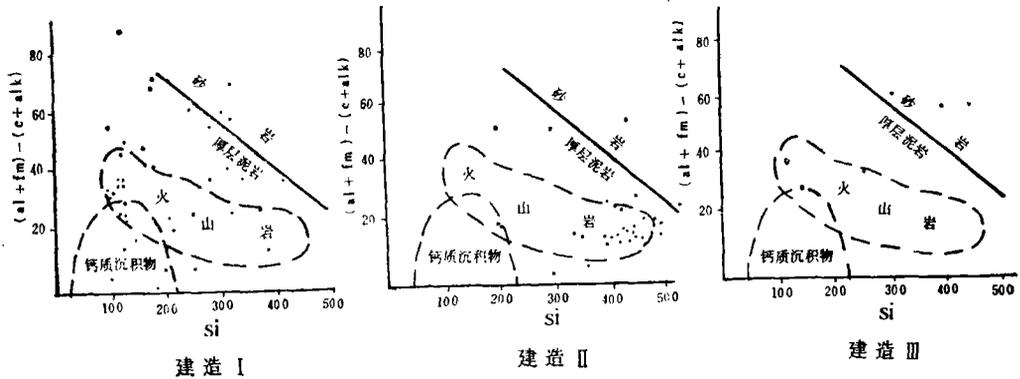


图 3 各变质建造的 (al+fm)-(c+alk) 对 Si 图解

Fig. 3. (al+fm)-(c+alk) vs. si diagrams of various metamorphic formations. (after A. Miyashiro, 1975)

建造 II 的 4 个岩石样品在 Rb-Sr 等时线图上尽管较分散，但基本上构成一条直线， $(\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86})_0 = 0.70573$ ， $t = 239.3\text{Ma}$ ，斜率为 0.003398，相关系数为 0.986，相关性较好 (图 5)。在  $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$  初始比值与年龄相关图上落在玄武岩源区上部，接近大陆壳<sup>(5)</sup>。反映钙碱性系列岩石来源较深，主要由玄武岩和部分沉积岩石局部熔融而成。样品的分散性推测是由于岩石再次熔融 (燕山期、详后) 过程中大陆壳岩石的混染作用，破坏了岩石中的同位素平衡所致，反映在 239.6Ma，岩石由封闭系统转化为开放系统<sup>(5)</sup>。该年龄值基本代表钙碱性系列岩石的形成时期。

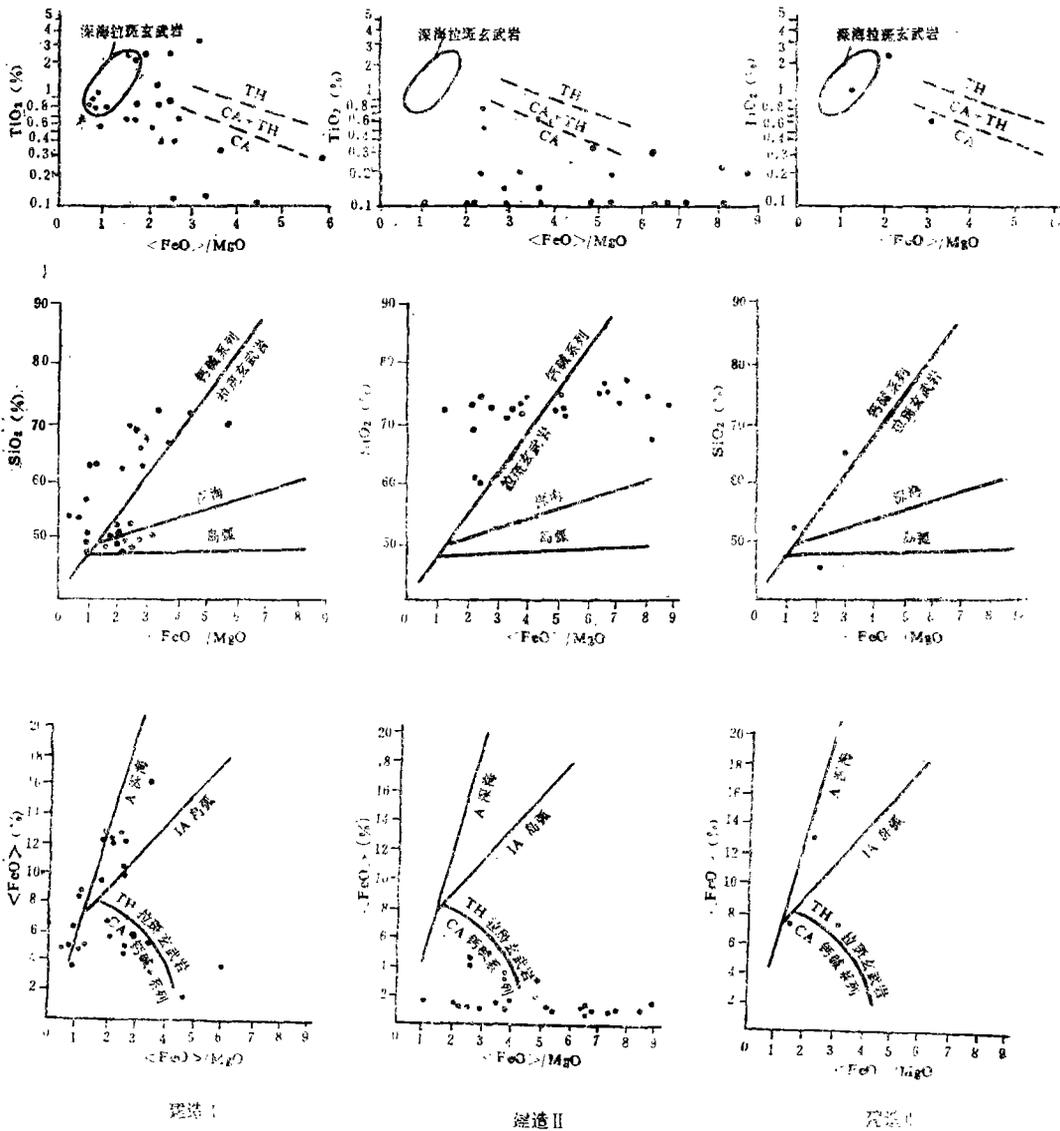


图 4 各变质建造的<FeO>/MgO 对 TiO<sub>2</sub>、SiO<sub>2</sub>、<FeO>图解

(据 A. Miyashiro, 1975)

Fig. 4 (FeO)/MgO vs. TiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub> and <FeO> diagrams of various metamorphic formations.

(after A. Miyashiro, 1975)

(三) 建造Ⅲ的6个岩石样品, 在 al-alk 对 c 图解中有50%的样品落在火成岩区(其余样品落在泥质岩区)(图2), 在(al+alk)-(c+alk)对 Si 图解中, 它们落在火山岩区左侧(其余样品落在泥质岩和砂岩区)(图3)。在<FeO>/MgO 对 <FeO>、TiO<sub>2</sub> 和 SiO<sub>2</sub> 图解(图4)中, 和建造 I 中的变质火山岩具有相同的特征。

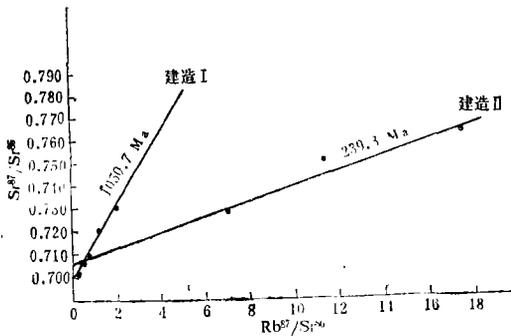


图 5 建造 I 和建造 II 的全岩 Rb-Sr 等时线  
Fig. 5 Whole-rock Rb-Sr isochrons of Formations I and II.

岩石化学(表 2)和 Rb-Sr 同位素年龄(表 3) 显示建造 I 和建造 III 中变质火山岩具有高  $\langle \text{FeO} \rangle$ 、低  $\text{SiO}_2$ 、 $\langle \text{FeO}/\text{MgO} \rangle$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  和  $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $(\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86})_0$ ，属深海(大洋)拉斑玄武岩，其中包含有少量钙碱性系列岩石和岛弧拉斑玄武岩；而建造 II 以高  $\text{SiO}_2$ 、 $\langle \text{FeO} \rangle/\text{MgO}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $(\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86})_0$  和低  $\langle \text{FeO} \rangle$  为特征，基本属钙碱性系列岩石<sup>[6]</sup>，可能包含有部分拉斑玄武岩。两者特征对比见表 1。

表 3  $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$  比值和  $\text{Rb}^{87}$ 、 $\text{Sr}^{86}$  含量  
Table 3 Sr/Sr ratio and  $^{87}\text{Rb}$  and  $^{86}\text{Sr}$  Contents

| 样品号             | 样 品 名 称     | 样 品 位 置 | $\text{Rb}^{87}$<br>mg/g | $\text{Sr}^{86}$<br>mg/g | $\text{Rb}^{87}/\text{Sr}^{86}$ | $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ |
|-----------------|-------------|---------|--------------------------|--------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| M <sub>15</sub> | 黑云母角闪斜长片麻岩  | 元江龙洞    | 5.0034                   | 13.3375                  | 0.37514                         | 0.703667                        |
| M <sub>7</sub>  | 黑云母斜长片麻岩    | 元江龙洞    | 46.3206                  | 41.8327                  | 1.10728                         | 0.720297                        |
| X <sub>j1</sub> | 黑云母斜长片麻岩    | 苍 山     | 45.3738                  | 21.6664                  | 2.10001                         | 0.729224                        |
| M <sub>19</sub> | 透辉石斜长片麻岩    | 元江龙洞    | 22.7885                  | 35.4731                  | 0.64242                         | 0.707786                        |
| L <sub>21</sub> | 砂线石榴黑云斜长片麻岩 | 元 阳     | 67.6315                  | 9.6387                   | 7.01659                         | 0.727604                        |
| X <sub>27</sub> | 黑云母斜长片麻岩    | 苍 山     | 17.08156                 | 37.8526                  | 0.45127                         | 0.706235                        |
| M <sub>40</sub> | 花 岗 岩       | 元江小庙河   | 73.8539                  | 6.4704                   | 11.4412                         | 0.750744                        |
| M <sub>47</sub> | 网眼状花岗岩      | 元江小庙河   | 87.1073                  | 4.9248                   | 17.68752                        | 0.762646                        |

M<sub>15</sub>, M<sub>7</sub>, M<sub>19</sub> 采自阿龙组上亚组(Pt<sub>1</sub><sup>b</sup>)，L<sub>21</sub>, M<sub>40</sub>, M<sub>47</sub> 采自小羊街组上亚组(Pt<sub>1</sub><sup>b</sup>)。X<sub>j1</sub>, X<sub>27</sub> 样品由李尚准采集。

### 三、研究哀牢山变质岩带的构造意义

哀牢山变质岩的原岩基本由火山岩建造和沉积岩建造组成，其中建造 I 和建造 III 的火山岩主要为深海拉斑玄武岩，沉积岩主要为泥质岩和砂岩；建造 II，火山岩主要由钙碱性系列岩石组成。深海拉斑玄武岩的主要形成时代为 1050.7Ma，反映哀牢山变质岩中存在有前寒武纪洋壳岩石，云南新平双沟地区同位素年龄为 910~1393Ma 的二辉橄榄岩、辉石岩和基性岩<sup>①</sup> 或许代表洋壳底部的基性、超基性岩。由哀牢山变质岩带往北延伸至金沙江两岸，寒武系一泥盆系深海一半深海复理石及笔石页岩建造表明，在前寒武纪一泥盆纪时

① 二辉橄榄岩，1306Ma(引自地质力学所铬矿组)，辉石岩 910Ma，基性岩 1393Ma(《试论双沟地区蛇绿岩套的产出序列》，杨廷祥等，1981年)。

期,大致沿金沙江—哀牢山断裂带存在有一宽阔洋盆,其生物组合说明属东特提斯海的一部分<sup>(7)</sup>。建造 I 和建造 III 中的泥质岩和砂岩,很可能为洋壳剖面中的复理石沉积(在不溶残余物—方解石—白云石和云母、绿泥石—长石—石英的三角投影图中,绝大部分落在硬砂岩和粘土质砂岩区<sup>①</sup>)。建造 II 的  $(Sr^{87}/Sr^{86})_0 = 0.70573$ , 表明它是由原始洋壳岩石经局部熔融、结晶而成。与它处于同一构造带的苍山变质岩中,华力西晚期—印支早期区域变质作用(表 4),混合岩化、花岗岩侵位及滇西地区普遍存在的中、上三叠世之间的角度不整合和哀牢山断裂早、中三叠世蛇绿岩剖面的发现,表明华力西晚期—印支早期,金沙江—哀牢山断裂就成为一条重要的古俯冲带。由于冈瓦纳古陆向华夏古陆的俯冲,特提斯洋盆收缩,哀牢山处于岛弧活动大陆边缘构造环境。这种构造格局导致了川、滇西部二叠纪玄武岩岩性的差异,沿哀牢山断裂分布的二叠纪玄武岩具洋中脊拉斑玄武岩和深海拉斑玄武岩特点,而断裂东、西两侧分别为大陆拉斑玄武岩和深海拉斑玄武岩<sup>(9)</sup>。

表 4 特提斯洋盆演化与变质作用关系

Table 4 Relations between the Evolution and Metamorphism of the Tethyan Sea Basin

|                   | 前寒武纪<br>—泥盆纪                            | 石炭纪—中三叠世<br>(华力西晚期—印支期)                        | 中侏罗世—早白垩世末<br>(燕山期)             | 晚白垩世末—第三纪(喜山期)                  |  |
|-------------------|---|--|---------------------------------|---------------------------------|--|
|                   |   |  |                                 | 晚白垩世末—始新世                       | 渐新世末—上新世                                   |
| 特提斯洋盆             | 扩张                                      | 收缩,形成哀牢山古岛弧                                    | 闭合,哀牢山褶皱、隆起                     | 哀牢山隆起、褶皱                        |  |
| 哀牢山断裂             |   | 俯冲<br>(洋—陆俯冲)                                  | 俯冲<br>(陆—陆俯冲)                   | 俯冲(陆—陆俯冲)<br>平移剪切(走向滑动)         | 平移剪切(走向滑动)<br>俯冲(陆—陆俯冲)                    |
| 变质作用              |   | 麻粒岩相(316.5Ma)<br>角闪岩相<br>绿片岩相(230Ma)<br>兰闪石片岩相 | 角闪岩相<br>麻粒岩相(135~171Ma)<br>绿片岩相 | 绿片岩相 } (31.8~<br>角闪岩相 } 44.4Ma) | 绿片岩相(12.4~<br>27.2Ma)<br>角闪岩相(22~<br>29Ma) |
| 混合岩化              |   |  |                                 | 眼球状混合岩、均质混合岩<br>(32Ma~47.7Ma)   | 条痕状、条带状混合岩(16~17Ma)                        |
| 火山活动<br>与<br>岩浆作用 | 深海拉斑玄武岩(1050.3Ma*),基性、超基性岩(910~1393Ma?) | 钙碱性系列岩石(239.3Ma*),基性、超基性岩<br>片麻状黑云母花岗岩(?)      |                                 |                                 |  |

\*为Rb-Sr等时线年龄,其余为K-Ar同位素年龄。

古岛弧的形成一般认为是洋壳沿俯冲带间歇性下降的结果,反映了洋壳向陆壳的演化<sup>(10)</sup>。通过华力西晚期—印支期的强烈俯冲,特提斯海收缩、褶皱,至晚三叠世洋盆完全消失。晚三叠世以后,哀牢山地区完全进入陆壳演化阶段。根据变质岩的同位素年龄、区域变质作用、混合岩化和花岗岩侵位(表4),推测沿哀牢山断裂,在中侏罗世—早白垩世末(燕山期)和晚白垩世末—始新世(喜山期)又发生两次强烈俯冲作用(表4)。从绿片岩相

① 云南省第二区队,哀牢山变质岩层序的初步研究,1978年。

和眼球状混合岩中广泛出现的塑性流变现象、近于水平的拉伸线理和沿线理方向的右旋剪切应变,片麻理表面发育的水平擦痕等,推测在晚白垩世末—始新世,哀牢山断裂已由俯冲逐渐转化为右旋平移剪切性质,在渐新世末—上新世时期哀牢山断裂基本上是一条右旋平移剪切断裂。

哀牢山变质岩带随着冈瓦纳古陆向华夏古陆的俯冲和特提斯洋盆的收缩、闭合而不断演变,沿哀牢山断裂的多次俯冲是区域变质作用、混合岩化和花岗岩侵位的主要驱动力,但三者并非完全同步发生。花岗岩体侵位一般发生在俯冲作用和区域变质作用之后,具造山运动后花岗岩特点<sup>[2]</sup>,而混合岩化,特别是眼球状混合岩,一般为同构造期或构造晚期,前者的时代差约25~58.8Ma,后者小于5Ma(表4)。

本文是在地质力学研究所工作期间的研究成果。工作过程中得到孙家树、张振海和邓寄温等同志的支持和帮助,化学分析和同位素年龄由地质力学所实验室完成,在此谨致谢意。

### 参 考 文 献

- [1] White, S., 1977, Geological significance of recovery and recrystallization processes in quartz. *Tectonophysics*, Vol. 39, No. 1/3, 143-170.
- [2] 都城秋穗(周云生译, 1979年), 1972年, 变质作用与变质带。地质出版社。
- [3] 段新华、赵鸿, 1981年, 论哀牢山—藤条河断裂—古板块俯冲带。地质学报, 第55卷第4期。
- [4] Miyashiro, A., 1975, Classification, characteristics and origin of ophiolite. *J. Geol.* 83, No. 2, 249-281.
- [5] G.福尔, J.L.鲍威尔(中国科学院贵阳地球化学研究所同位素地质研究室译, 1975年), 1972年, 锆同位素地质学。科学出版社。
- [6] Miyashiro, A., 1972, Metamorphism and related magmatism in plate tectonics. *A.J.S.* Vol. 272, 629-656.
- [7] 王乃文, 1980年, 青藏印度大陆及其与华夏古陆的併合。中法喜马拉雅考察成果(1980)。地质出版社。
- [8] 王荃, 1986年, 板块构造与岩浆活动。板块构造基本问题。地震出版社。
- [9] 林建英, 1985年, 中国西南三省二叠纪玄武岩系的时空分布及其地质特征。科学通报(12)。
- [10] Mitchell, A.H. and Reading, H.G. 1971, Evolution of island arcs. *J. Geol.* Vol. 79 No. 3, 253-284.

# THE PROTOLITH FORMATIONS OF THE AILAOSHAN METAMORPHIC ROCKS AND THEIR STRUCTURAL SIGNIFICANCE

Cui Junwen

## Abstract

The Ailaoshan metamorphic belt, striking N40W parallel to the Ailaoshan fault, occurs as an arc convex southwestwards in plan.

According to the mineral assemblages, petrochemical characteristics, fabrics and metamorphic features, the Ailaoshan metamorphic rocks can be classified into 3 main formation types: (1) hornblende-plagioclase gneiss-granulite formation (C I), (2) migmatite-granite formation (C II), (3) muscovite-biotite schist-phyllonite formation (C III). The Ailaoshan metamorphic belt is paired metamorphic ones, which mainly formed in the Carboniferous to Middle Triassic and the Middle Jurassic to the end of the Early Cretaceous. The high-temperature and low-pressure metamorphic belt consists of amphibolite-granulite facies, while the low-temperature and high-pressure one consists of greenschist-blue-schist facies.

According to the diagrams of  $(al + fm) - (c + alk)$  versus  $si$ ,  $(al = alk)$  versus  $c$  and  $(FeO)/MgO$  versus  $SiO_2$ ,  $(FeO)$  and  $TiO_2$  and Rb-Sr isotope ages, the protoliths of the Ailaoshan metamorphic rocks are mainly volcanic rocks and less commonly sedimentary rocks. The metavolcanic rocks in C I and C III, which are characterized by high  $(FeO)$  and low  $SiO_2$ ,  $(FeO)/MgO$ ,  $K_2O$ ,  $Na_2O$  and  $(^{87}Sr/^{86}Sr)_0$  and low  $(FeO)$ , are composed mainly of calc-alkaline (CA) series and, possibly, partly tholeiite.

The protoliths show that there was a wide oceanic basin (a part of the East Tethys) along the Jinsha River-Ailaoshan fault during the Precambrian to Devonian. Due to the shrinkage of the oceanic basin during the Carboniferous to Middle Triassic (Variscan to Indosinian) the Ailaoshan area was situated in island-arc and active continental-margin tectonic environments, which led to the evolution of the continental crust with subduction of the oceanic basin in the Upper Triassic (Indosinian). Strong thrusting in the Carboniferous to Middle Triassic and the Middle Jurassic to the end of the Early Cretaceous (Yanshanian) resulted in the formation of the Ailaoshan paired metamorphic belts.