

文章编号: 1009-3850(2016)04-0077-08

## 云南绿春黄草岭地区花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学特征及地质意义

朱国仁<sup>1</sup>, 关俊雷<sup>2</sup>, 王国芝<sup>1,3</sup>, 郑来林<sup>2</sup>, 龙腾<sup>1</sup>, 卢旭阳<sup>1</sup>, 许鹏<sup>1</sup>

(1. 成都理工大学地球科学学院, 四川 成都 610059; 2. 中国地质调查局成都地质调查中心, 四川 成都 610081; 3. 成都理工大学油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 四川 成都 610059)

**摘要:**金沙江-哀牢山缝合带系三江特提斯构造域东缘一条重要的古特提斯缝合带,其南段哀牢山缝合带闭合的时限及其岩浆活动响应,尚缺乏精确的年代学与岩石地球化学制约。本文对出露于哀牢山缝合带南部绿春地区黄草岭的花岗岩类进行了 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学与全岩主量、微量元素地球化学研究,获得花岗岩的形成年龄为  $249.8 \pm 4.3$  Ma。地球化学特征表明,该花岗岩具有 K、Rb、U、Th 和 Pb 正异常、Nb、Ta、Ti、Hf 和 Eu(0.29~0.37)负异常、过铝质与高钾钙碱质特征,属于 S 型花岗岩,形成于岛弧构造背景中。年代学和地球化学特征表明,哀牢山洋在早三叠世向西俯冲消减,绿春地区已出现成熟岛弧,并向陆-陆碰撞过渡。

**关键词:**金沙江-哀牢山缝合带; 花岗岩; SHRIMP 锆石 U-Pb 定年; 绿春  
中图分类号: P597 文献标识码: A

### 引言

三江特提斯构造带作为全球特提斯构造在中国大陆最典型的发育地区,经历了复杂而完整的演化。从晚元古代一早古生代泛大陆解体与原特提斯洋形成,经古特提斯多岛弧盆系发育与古生代—中生代增生造山/盆山转换,到新生代印度-欧亚陆陆碰撞动力学过程,可谓是中国大陆构造演化的典型缩影,在全球构造演化中的地位举足轻重。发育的多条代表古特提斯洋盆消逝的缝合带<sup>[1-4]</sup>具有重要的研究价值,其中金沙江-哀牢山缝合带作为三江特提斯东缘一条重要的古特提斯缝合带,其洋盆演化史备受关注。在金沙江-哀牢山洋特提斯形成演

化的过程中,形成了一系列构造-岩浆带,这些构造-岩浆带既是特提斯形成演化的产物,又是用来再造特提斯构造格局与演化历史的地质记录。前人从火山岩特征、沉积古地理、古地磁、蛇绿岩套及俯冲型和碰撞型岩浆岩的地质与地球化学资料等方面<sup>[3-6]</sup>,对北段金沙江洋进行了大量系统的研究,并取得了一致的认识。相比之下,南段哀牢山洋形成演化的岩浆岩证据,特别是晚二叠世到早三叠世哀牢山洋岛弧向陆-陆碰撞的过渡阶段的相关证据仍显不足。

作为古特提斯洋演化史中最关键环节之一的洋盆演化,一直颇具争议<sup>[7-12]</sup>。在南段发育一系列的花岗岩,其在时代确定上比较笼统,缺少精确的

收稿日期: 2015-12-14; 改回日期: 2016-01-21

作者简介: 朱国仁(1991-),男,硕士生,矿物学、岩石学、矿床学专业。E-mail: 1443881161@qq.com

通讯作者: 关俊雷(1984-),男,工程师,构造地质学专业,主要从事区域地质调查及综合研究工作。

E-mail: jlguan2007@163.com

基金项目: 本文为国家自然科学基金项目(41402058)、中国地调局青藏专项《青藏高原与邻区特提斯地质对比研究》(1212011121256)联合资助成果

年代学限定。针对此问题,本文以金沙江-哀牢山构造岩浆岩带南段中发育的绿春岩浆岩为研究对象,揭示了岩浆岩的形成时代、岩石学特征、地球化学特征等,以探讨金沙江-哀牢山洋南段的形成和演化过程。

## 1 区域地质背景

三江特提斯位于古特提斯构造域东段,冈瓦纳大陆与劳亚大陆的结合部位。因其形成不同时期的各种类型丰富的金属矿产<sup>[13-19]</sup>和独特的地质演

化历史而受到众多研究者的青睐。三江特提斯构造域由多个地块及其间的缝合带构成,经历了前寒武纪到志留纪的原特提斯旋回、泥盆纪至三叠纪的古特提斯旋回、二叠纪至白垩纪的中特提斯旋回及新生代的新特提斯旋回<sup>[7,12,13,20]</sup>。古特提斯演化旋回是构筑三江特提斯构造格架的主体,自西向东,三江地区依次发育昌宁-孟连缝合带(北街龙木错-双湖缝合带)、金沙江-哀牢山缝合带与甘孜-理塘缝合带等3条古特提斯缝合带(图1a)。

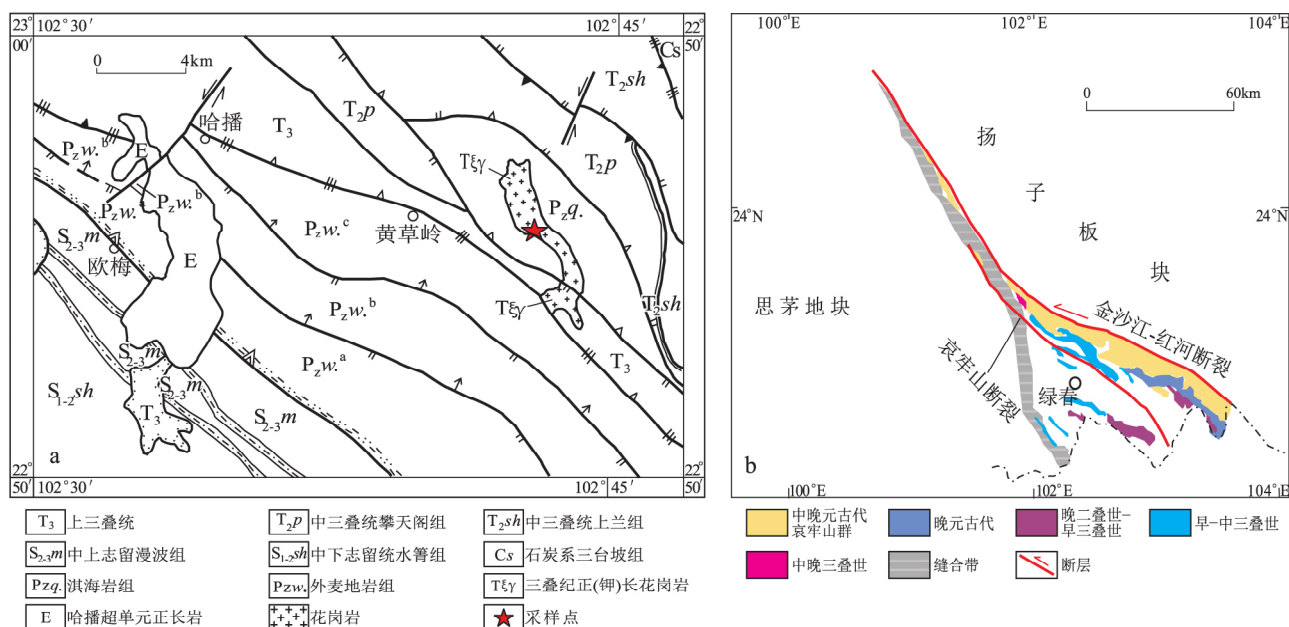


图1 黄草岭地区地质简图(a)、哀牢山缝合带岩浆岩时空分布图(b)<sup>[4,7]</sup>

Fig. 1 Simplified geological map of the Huangcaoling region (a) and temporal-spatial distribution of the magmatic rocks along the Ailaoshan suture zone (b) (after Deng et al., 2013; Li Gongjian et al., 2013)

金沙江-哀牢山缝合带夹持于西侧兰坪-思茅地块(北印支地块)与东侧扬子板块之间,总体呈北西—南东向展布,包括北段金沙江缝合带和南段哀牢山缝合带两个分支(图1a,b)。金沙江造山带是特提斯巨型造山带中的一个重要造山带,是二叠纪洋内弧和陆缘弧于早中三叠世拼贴碰撞而成的复杂造山带,其演化史研究相对比较成熟<sup>[3-7]</sup>。南段哀牢山缝合带位于三江特提斯域的北东端,哀牢山中北段九甲-安定断裂和哀牢山断裂带之间,属于哀牢山构造带的重要组成部分<sup>[8,21]</sup>。哀牢山造山带呈北西向展布,长逾400km,北窄南宽,向南呈帚状散开。其北东和南西两侧分别为金沙江-红河断裂和阿墨江断裂所围限,内部以哀牢山断裂带为界,被分为两个变质程度不同的亚带:北东的高级变质带和南西的低级变质带<sup>[18]</sup>。

黄草岭地区地层处于哀牢山低级变质带中,受变质地层涵盖早古生代到新生代地层,地层间多为断层/裂接触关系,主要断裂为欧梅断裂(区域上称为九甲断裂),总体构造线呈NW—SE向展布(图1a)。构造阶段主要包括印支期、燕山期、喜马拉雅期逆冲断裂等。本文样品采于三叠系花岗岩岩体,形成于燕山期之前,其围岩地层主要为马邓岩群淇海岩组(P<sub>2q</sub>)、上三叠统(T<sub>3</sub>)。岩体与三叠系围岩间为侵入接触关系,围岩经历了绿片岩相的变质,岩层变形强,两期面理发育,并具有多期叠加变形。

## 2 样品特征及分析方法

样品N2070采自绿春县黄草岭,具体位置为22°54.621'N、102°43.615'E(图1a),样品岩性为花岗斑岩。花岗斑岩为中细粒不等粒斑状结构,块状构

造。斑晶含量大于 60% ,主要由中粒不等粒状斜长石、钾长石和石英组成。斜长石含量相对较多 ,斜长石斑晶约占斑晶总量的 1/2 左右 ,中粒半自形板状或不规则粒状无序散布 ,蚀变强烈 ,主要被绢云母交代 ,仍保留斜长石假象。石英斑晶相对也较多 ,中粒不等粒浑圆状或不规则粒状无序分布 ,含量小于 20% ,或局部富集形成较粗大的不规则团斑状集合体 ,局部不规则裂隙发育 ,具较强烈的波状消光。钾长石斑晶相对较少 ,粒度粗细不均 ,形状不规则 ,一般较新鲜 ,局部也被绢云母无序穿插交代 ,以较明显的泥化为主 ,局部含细粒石英 ,呈穿孔状交代 ,外围被显微文象结构的钾长石、石英包围。基质含量为 30% ~40% ,由细粒石英和钾长石集合体组成 ,常常围绕钾长石和石英斑晶发育 ,尤以围绕钾长石斑晶为主。镜下具较轻微泥化 ,石英结晶好 ,较为透明。岩石局部不规则裂隙发育 ,沿裂隙常被褐铁矿充填或浸染。

锆石挑选在廊坊区调所实验室完成。样品经手工粉碎 ,按常规重力及电磁法浮选出可能的锆石颗粒 ,最后在双目镜下挑选出锆石颗粒。样品的制靶、透射-反射光的显微观察和阴极发光照相均在中国地质科学院地质研究所北京离子探针中心实验室完成。

所分析的锆石样品晶形相似、晶体形态完整、内部结构清晰 ,为震荡环带发育的柱状锆石颗粒。分析测试点主要选择无裂隙、无包裹体或无杂质的干净部位( 图 5) 。锆石 U-Pb 年代学测试在北京离

子探针中心 SHRIMP-II 上采用标准测定程序完成 ,详细的分析流程按宋彪等<sup>[22-23]</sup>提出的方法进行。采用澳大利亚国家地调局标准锆石 TEM( 417Ma) 进行元素间的分馏校正 ,澳大利亚国立大学地学院标准锆石 SL13( 572Ma ,U =238ppm) 标定样品的 U、Th 及 Pb 含量。数据处理采用 Squid 和 Isoplot 程序 ,普通 Pb 由实测<sup>204</sup>Pb 校正。所有测点的误差均为 1σ ,所采用的<sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb 加权平均年龄具 95% 的置信度。

### 3 测试结果

#### 3.1 岩石地球化学特征

样品主量元素和微量元素分析结果列于表 1。岩石化学成分均一 ,酸性程度较高 ,以富 SiO<sub>2</sub> ( 75.08% ~ 75.37% ) 和 K<sub>2</sub>O ( 5.62% ~ 6.20% ) 为特点。在 K<sub>2</sub>O-SiO<sub>2</sub>图解( 图 2) 中 ,花岗岩样品的投点都落在钾玄岩系列岩区 ,可能与样品受到钾化改造 ,造成 K<sub>2</sub>O 升高相关。相对贫 Fe、Mg、Ca ,岩石的全碱( K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O ) 含量为 7.51% ~ 8.26% ,K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O 比值为 2.96 ~ 3.01 ,相对富钾。TiO<sub>2</sub> 为 0.37% ~ 0.42% 。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量较高 ,为 12.88% ~ 13.19% ,铝过饱和指数 [A/CNK = Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/( CaO + K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O ) 摩尔比]变化于 1.24 ~ 1.36 ,全部大于 1.0 ,平均值达 1.32; A/NK = Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/( K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O ) 摩尔比为 1.30 ~ 1.41 ,在 A/CNK-A/NK 图解中 ,位于过铝质花岗岩区( 图 2) 。里特曼指数变化于 1.74 ~ 2.12 ,均小于 3.0 ,为狭义的钙碱性岩。整体来看 ,

表 1 绿春县黄草岭花岗岩主量元素( wt% ) 和微量元素( ×10<sup>-6</sup> ) 分析结果  
Table 1 Major( wt% ) and trace element( ×10<sup>-6</sup> ) analyses of the granites from the Huangcaoling region , Luchun , Yunnan

| 样品号                            | H2070 | H2070-1 | H2070-2 | H2070-3 | 样品号 | H2070 | H2070-1 | H2070-2 | H2070-3 | 样品号                  | H2070 | H2070-1 | H2070-2 | H2070-3 |
|--------------------------------|-------|---------|---------|---------|-----|-------|---------|---------|---------|----------------------|-------|---------|---------|---------|
| SiO <sub>2</sub>               | 75.14 | 75.08   | 75.37   | 75.12   | Rb  | 265.0 | 245.7   | 255.5   | 255.7   | Ho                   | 0.31  | 1.38    | 1.83    | 1.56    |
| TiO <sub>2</sub>               | 0.37  | 0.41    | 0.41    | 0.42    | Sr  | 8.44  | 37.27   | 36.55   | 36.68   | Er                   | 0.89  | 3.83    | 4.96    | 4.23    |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 13.19 | 12.99   | 12.88   | 13.06   | Y   | 8.07  | 41.31   | 55.24   | 47.22   | Tm                   | 0.12  | 0.57    | 0.70    | 0.63    |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.48  | 0.31    | 0.34    | 0.34    | Zr  | 196.2 | 199.3   | 187.4   | 177.6   | Yb                   | 0.76  | 3.41    | 4.27    | 3.78    |
| FeO                            | 0.63  | 1.14    | 1.12    | 1.11    | Nb  | 11.4  | 12.7    | 11.3    | 13.0    | Lu                   | 0.11  | 0.51    | 0.58    | 0.52    |
| MnO                            | <0.01 | 0.005   | 0.006   | 0.006   | Cs  |       | 6.26    | 6.64    | 6.84    | Hf                   | 6.33  | 5.47    | 5.10    | 4.95    |
| MgO                            | 0.24  | 0.30    | 0.30    | 0.30    | Ba  | 394.0 | 643.5   | 605.6   | 616.1   | Ta                   | 1.03  | 1.07    | 1.03    | 1.27    |
| CaO                            | 0.30  | 0.22    | 0.21    | 0.20    | La  | 9.7   | 37.5    | 41.0    | 42.9    | Pb                   |       | 18.9    | 19.3    | 19.1    |
| Na <sub>2</sub> O              | 2.06  | 1.93    | 1.89    | 1.89    | Ce  | 12.8  | 71.0    | 76.7    | 82.0    | Th                   | 4.7   | 26.7    | 27.4    | 30.8    |
| K <sub>2</sub> O               | 6.20  | 5.70    | 5.62    | 5.66    | Pr  | 2.60  | 8.47    | 9.33    | 9.81    | U                    |       | 6.49    | 6.39    | 7.46    |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.14  | 0.14    | 0.13    | 0.14    | Nd  | 9.68  | 31.49   | 34.74   | 36.27   | ΣREE                 | 51.94 | 228.10  | 262.19  | 260.70  |
| 烧失量                            | 1.08  | 1.44    | 1.38    | 1.50    | Sm  | 2.06  | 6.74    | 7.57    | 7.87    | LREE/<br>HREE        |       |         |         |         |
| Total                          | 99.57 | 100.24  | 100.03  | 100.38  | Eu  | 0.19  | 0.83    | 0.93    | 0.95    |                      | 2.64  | 2.37    | 1.98    | 2.40    |
| A/NK                           | 1.30  | 1.39    | 1.40    | 1.41    | Gd  | 1.86  | 6.80    | 8.10    | 7.68    | δEu                  | 0.27  | 0.35    | 0.34    | 0.34    |
| A/CNK                          | 1.24  | 1.33    | 1.34    | 1.36    | Tb  | 0.29  | 1.14    | 1.45    | 1.30    | (La/Sm) <sub>N</sub> | 2.69  | 3.17    | 3.09    | 3.10    |
|                                |       |         |         |         | Dy  | 1.66  | 7.03    | 9.04    | 7.88    | (Gd/Yb) <sub>N</sub> | 2.02  | 1.65    | 1.57    | 1.68    |

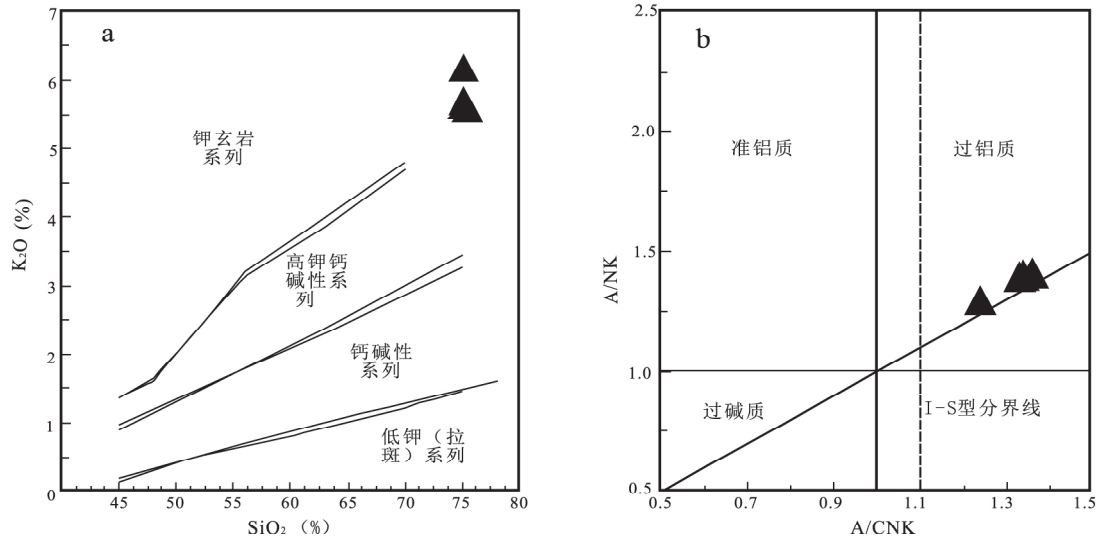


图2 黄草岭地区花岗岩类  $K_2O-SiO_2$  判别图(据 Peccerillo and Taylor, 1976; Middlemost, 1985) 和  $A/NK-A/CNK$  判别图(据 Maniar and Piccoli, 1989)

Fig. 2  $K_2O$  vs.  $SiO_2$  diagram (after Peccerillo and Taylor, 1976; Middlemost, 1985) (a) and  $A/NK$  vs.  $A/CNK$  diagram (after Maniar and Piccoli, 1989) (b) for the granites from the Huangcaoling region, Luchun, Yunnan

岩体显示出过铝质、富钾、钙碱性的岩石学特征,属于S型花岗岩,与大陆碰撞构造环境形成的花岗岩特征类似。在花岗岩微量元素  $Rb-(Yb+Ta)$  图解(图3)中,数据全部落于同碰撞花岗岩区(syn-COLG),显示花岗岩形成于同碰撞环境。

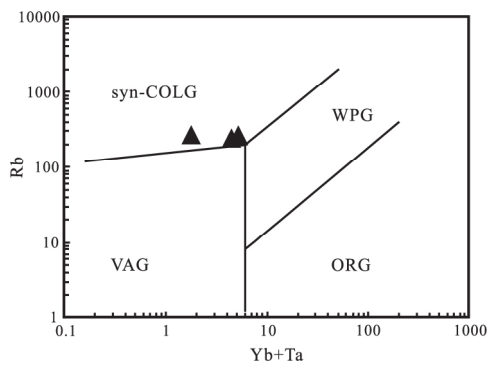


图3 黄草岭花岗岩的  $Rb-(Yb+Ta)$  图解(据 Pearce et al., 1984)

syn-COLG. 同碰撞花岗岩; WPG. 板内花岗岩; VAG. 火山弧花岗岩; ORG. 洋脊花岗岩

Fig. 3  $Rb$  vs.  $(Yb+Ta)$  diagram for the granites from the Huangcaoling region, Luchun, Yunnan (after Pearce et al., 1984)

从表1中可以看出,花岗岩的稀土总量  $\Sigma REE$  中等,介于  $(51.94 \sim 262.19) \times 10^{-6}$  之间。在稀土配分模式图上其稀土配分形式为右倾型(图4),轻重稀土平均比值  $LREE/HREE$  介于  $1.98 \sim 2.64$  ( $La/$

$Sm$ )<sub>N</sub> 为  $2.69 \sim 3.17$  ( $Gd/Yb$ )<sub>N</sub> 为  $1.57 \sim 2.02$ ,  $\delta Eu$  为  $0.27 \sim 0.35$ ,显示出轻稀土相对富集、分馏程度较高、重稀土相对亏损、轻稀土元素的分馏程度明显大于重稀土元素、Eu 明显负异常的特点。在微量元素原始地幔标准化图(图4b)上,  $K$ 、 $Rb$ 、 $U$ 、 $Th$  等大离子亲石元素和  $Pb$  显示清晰的正异常,而  $Nb$ 、 $Ta$ 、 $Ti$ 、 $Hf$  等高场强元素显示负异常。稀土元素特征显示该花岗岩具有岛弧型岩浆岩的特征,与三江造山带、哀牢山区弧火山岩相似<sup>[9, 24]</sup>。

### 3.2 锆石 U-Pb 年代学

本次对样品 N2070 共完成 23 个测点的锆石年龄测定(表2、图5),获得 23 组 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄数据。样品锆石阴极发光图像显示,绝大多数锆石都是透明自形晶,多呈棱柱状,长约  $120 \sim 250 \mu m$ ,长宽比  $2:1 \sim 1.5:1$ ,无色或浅黄色,都具有典型岩浆锆石的韵律环带(图5)。普遍认为,锆石的  $Th/U$  值在一定程度上能反应锆石的成因环境,岩浆锆石的  $Th/U$  含量较高,  $Th/U$  值较大(一般  $> 0.4$ );而变质锆石则以低  $Th/U$  含量及低  $Th/U$  比值(一般  $< 0.1$ )为特征<sup>[25-26]</sup>。本文其他 19 个点的  $Th$  含量介于  $(47.33 \sim 245.76) \times 10^{-6}$  之间,平均  $122.43 \times 10^{-6}$ ;  $U$  含量介于  $(154.13 \sim 782.31) \times 10^{-6}$  之间,平均  $340.85 \times 10^{-6}$ 。  $Th/U$  值变化于  $0.21 \sim 0.89$ ,平均  $0.40$ ,表明这些锆石为典型的岩浆成因锆石。部分锆石中可见有继承核(N2070-2.1、13.1 和 5.1)。其中 4 个分析点(3.1、8.1、9.1、

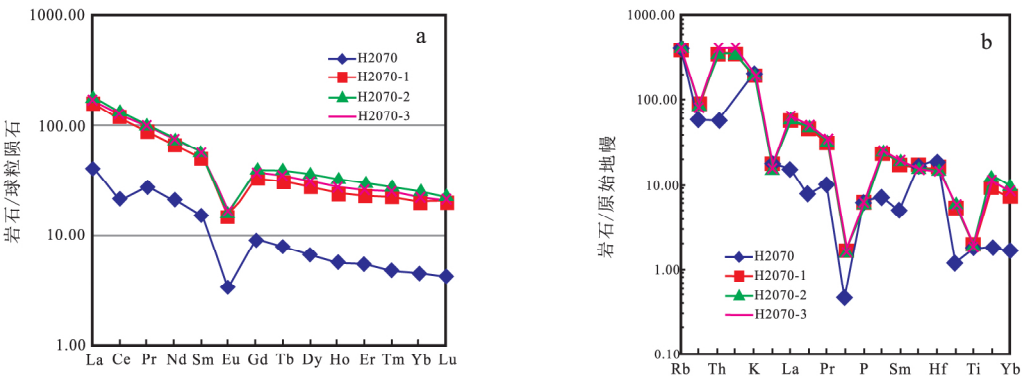


图 4 黄草岭花岗岩的球粒陨石标准化稀土元素配分图( a) 和原始地幔标准化微量元素蛛网图( b) ( 标准化值据 Sun and McDonough ,1989)

Fig.4 Chondrite-normalized REE distribution patterns ( a) and primitive mantle-normalized trace element spidergram ( b) for the granites from the Huangcaoling region , Luchun , Yunnan ( normalization values after Sun and McDonough , 1989)

表 2 绿春县黄草岭地区花岗岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 测年结果

| Table 2 SHRIMP zircon U-Pb age determinations for the granites from the Huangcaoling region , Luchun , Yunnan |                                |                    |                    |                   |                                |                                |       |                                |      |                                |      |                                      |     |                                     |      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|--------------------------------|------|--------------------------------|------|--------------------------------------|-----|-------------------------------------|------|
| 分析<br>点位                                                                                                      | <sup>206</sup> Pb <sub>c</sub> | U                  | Th                 | <sup>232</sup> Th | <sup>206</sup> Pb <sup>*</sup> | <sup>207</sup> Pb <sup>*</sup> | ± %   | <sup>207</sup> Pb <sup>*</sup> | ± %  | <sup>206</sup> Pb <sup>*</sup> | ± %  | <sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb |     | <sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U |      |
|                                                                                                               | %                              | × 10 <sup>-6</sup> | × 10 <sup>-6</sup> | <sup>238</sup> U  | × 10 <sup>-6</sup>             | <sup>206</sup> Pb <sup>*</sup> |       | <sup>235</sup> U               |      | <sup>238</sup> U               |      | Ma                                   | ±   | Ma                                  | ±    |
| 1. 1                                                                                                          | 1. 22                          | 267. 52            | 140. 23            | 0. 54             | 9. 43                          | 0. 0480                        | 6. 3  | 0. 269                         | 6. 9 | 0. 0405                        | 3    | 101                                  | 150 | 256. 2                              | 7. 4 |
| 2. 1                                                                                                          | 0. 04                          | 297. 87            | 204. 99            | 0. 71             | 128                            | 0. 1598                        | 0. 87 | 11. 050                        | 3    | 0. 5010                        | 2. 9 | 2453                                 | 15  | 2620                                | 61   |
| 3. 1                                                                                                          | 0. 23                          | 430. 80            | 138. 74            | 0. 33             | 26                             | 0. 0539                        | 2. 2  | 0. 522                         | 3. 6 | 0. 0702                        | 2. 9 | 368                                  | 49  | 437                                 | 12   |
| 4. 1                                                                                                          | 0. 53                          | 241. 20            | 55. 89             | 0. 24             | 8. 59                          | 0. 0516                        | 2. 9  | 0. 294                         | 4. 2 | 0. 0412                        | 3    | 269                                  | 67  | 260. 4                              | 7. 5 |
| 5. 1                                                                                                          | 0. 50                          | 186. 95            | 161. 83            | 0. 89             | 18. 8                          | 0. 0657                        | 2. 5  | 1. 055                         | 3. 9 | 0. 1164                        | 3    | 798                                  | 52  | 710                                 | 20   |
| 6. 1                                                                                                          | 0. 99                          | 266. 29            | 70. 95             | 0. 28             | 9. 44                          | 0. 0473                        | 6. 4  | 0. 267                         | 7    | 0. 0408                        | 3    | 67                                   | 150 | 258. 1                              | 7. 5 |
| 7. 1                                                                                                          | 0. 30                          | 548. 12            | 138. 51            | 0. 26             | 18. 8                          | 0. 0494                        | 2. 5  | 0. 271                         | 3. 8 | 0. 0398                        | 2. 9 | 167                                  | 58  | 251. 8                              | 7. 1 |
| 8. 1                                                                                                          | 0. 03                          | 1244. 37           | 164. 96            | 0. 14             | 136                            | 0. 0815                        | 4. 7  | 1. 429                         | 5. 5 | 0. 1272                        | 2. 8 | 1234                                 | 92  | 772                                 | 21   |
| 9. 1                                                                                                          | 0. 18                          | 648. 21            | 128. 05            | 0. 20             | 26. 8                          | 0. 0996                        | 3. 7  | 0. 660                         | 4. 7 | 0. 0480                        | 2. 9 | 1616                                 | 69  | 302. 5                              | 8. 5 |
| 10. 1                                                                                                         | 0. 32                          | 333. 09            | 75. 34             | 0. 23             | 23. 4                          | 0. 0617                        | 2. 2  | 0. 694                         | 3. 6 | 0. 0816                        | 2. 9 | 664                                  | 46  | 506                                 | 14   |
| 11. 1                                                                                                         | 0. 03                          | 782. 31            | 245. 76            | 0. 32             | 88. 6                          | 0. 0755                        | 0. 97 | 1. 372                         | 3    | 0. 1318                        | 2. 8 | 1081                                 | 19  | 798                                 | 21   |
| 12. 1                                                                                                         | 0. 46                          | 314. 42            | 92. 44             | 0. 30             | 10. 8                          | 0. 0512                        | 2. 9  | 0. 282                         | 4. 1 | 0. 0399                        | 2. 9 | 250                                  | 68  | 252. 4                              | 7. 2 |
| 13. 1                                                                                                         | 0. 10                          | 279. 32            | 200. 34            | 0. 74             | 86. 1                          | 0. 1222                        | 1. 8  | 6. 040                         | 3. 4 | 0. 3580                        | 2. 9 | 1989                                 | 33  | 1975                                | 49   |
| 14. 1                                                                                                         | 1. 02                          | 404. 49            | 187. 87            | 0. 48             | 13. 5                          | 0. 0506                        | 5. 6  | 0. 269                         | 6. 3 | 0. 0386                        | 2. 9 | 225                                  | 130 | 243. 8                              | 7    |
| 15. 1                                                                                                         | 0. 20                          | 488. 20            | 174. 66            | 0. 37             | 16. 5                          | 0. 0491                        | 3. 5  | 0. 266                         | 4. 6 | 0. 0392                        | 2. 9 | 154                                  | 82  | 247. 8                              | 7. 1 |
| 16. 1                                                                                                         | 0. 40                          | 351. 06            | 95. 97             | 0. 28             | 12. 1                          | 0. 0536                        | 3. 2  | 0. 296                         | 4. 3 | 0. 0401                        | 2. 9 | 354                                  | 73  | 253. 3                              | 7. 2 |
| 18. 1                                                                                                         | 0. 02                          | 621. 94            | 125. 46            | 0. 21             | 53                             | 0. 0656                        | 2. 7  | 0. 897                         | 4. 5 | 0. 0992                        | 3. 6 | 794                                  | 56  | 610                                 | 21   |
| 19. 1                                                                                                         | 0. 12                          | 256. 41            | 54. 83             | 0. 22             | 8. 58                          | 0. 0546                        | 2. 9  | 0. 293                         | 4. 2 | 0. 0389                        | 3    | 396                                  | 66  | 246                                 | 7. 2 |
| 20. 1                                                                                                         | 0. 30                          | 215. 01            | 60. 49             | 0. 29             | 7. 24                          | 0. 0529                        | 3. 1  | 0. 285                         | 4. 3 | 0. 0391                        | 3    | 325                                  | 71  | 247. 1                              | 7. 3 |
| 21. 1                                                                                                         | 0. 14                          | 281. 61            | 87. 91             | 0. 32             | 9. 24                          | 0. 0511                        | 2. 6  | 0. 269                         | 4    | 0. 0381                        | 3    | 245                                  | 61  | 241. 2                              | 7    |
| 22. 1                                                                                                         | 0. 18                          | 178. 43            | 47. 33             | 0. 27             | 20                             | 0. 0684                        | 2. 1  | 1. 226                         | 3. 6 | 0. 1299                        | 3    | 881                                  | 43  | 787                                 | 22   |
| 23. 1                                                                                                         | 0. 71                          | 154. 13            | 58. 22             | 0. 39             | 5. 32                          | 0. 0483                        | 6. 4  | 0. 265                         | 7. 2 | 0. 0399                        | 3. 3 | 114                                  | 150 | 252                                 | 8. 1 |

注: Pb<sub>c</sub>、Pb<sup>\*</sup> 分别表示普通铅和放射性铅, 采用实测<sup>204</sup>Pb 校正锆石中的普通铅, 采用年龄值为<sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb, 误差范围 1σ

10. 1) 由于点位年龄不和谐( 8. 1、9. 1) 及点位可能为混合年龄( 3. 1、10. 1) , 均不可靠, 而不参与加权平均年龄计算。11 个分析点给出的<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 加权平均年龄为 249. 8 ± 4. 3Ma( 95% 的置信度, MSWD = 0. 52, 图 6) , 代表了花岗斑岩的结晶时代。

研究表明, 黄草岭地区花岗岩的形成年龄为 249. 8 ± 4. 3Ma, 与位于同一构造带内其它地区的岩浆岩的年龄相一致, 如刘翠等<sup>[9]</sup> 测得的绿春流纹岩( 247. 3 ± 1. 8Ma) 、帽盒山玄武岩( 249 ± 1. 6Ma) 的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及王保弟等<sup>[27]</sup> 测得的人支

雪山组火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄( 249 ~ 247Ma)、老王寨冬瓜林矿段花岗斑岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄( 247.3 ± 1.8Ma 与 255.0 ~ 251.7Ma)。

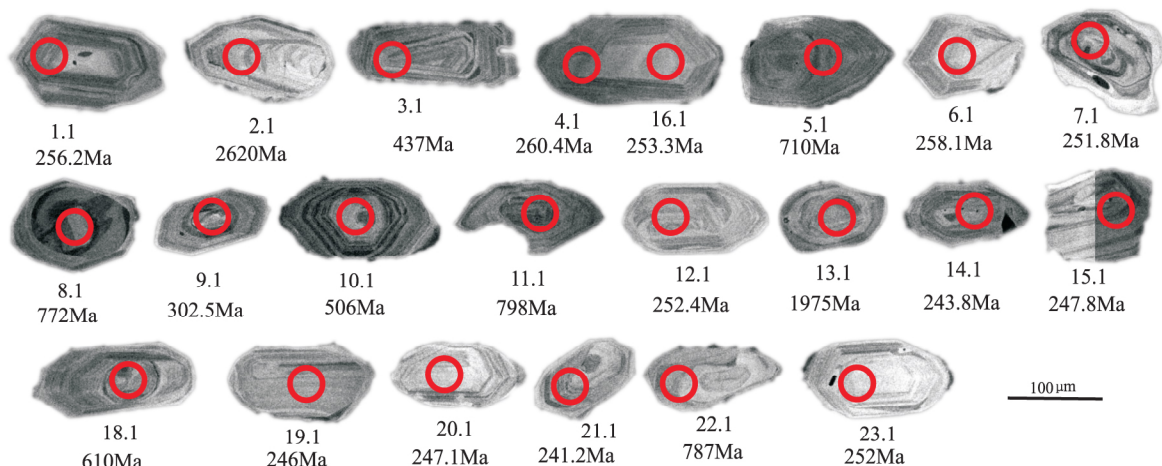


图5 绿春县黄草岭地区花岗岩的锆石 CL 图像

Fig. 5 Cathodoluminescence images of zircons from the granites from the Huangcaoling region, Luchun, Yunnan

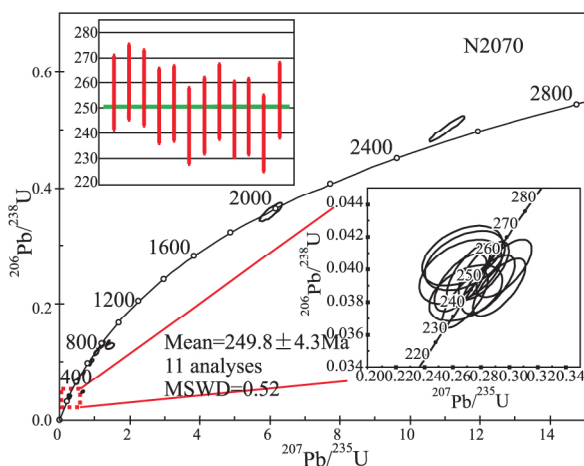


图6 绿春县黄草岭花岗岩样品锆石 U-Pb 年龄谐和图

Fig. 6 Concordia plot of zircon data for the granites from the Huangcaoling region, Luchun, Yunnan

## 4 讨论

一般认为,哀牢山洋盆开启于晚泥盆世,产生洋脊/准洋脊火山岩—蛇绿岩带。由堆晶岩、早石炭世放射虫硅质岩等构成一个较为完整的蛇绿岩层序。基性熔岩在岩石化学、微量与稀土元素地球化学、岩相学上,绝大多数显示出洋脊玄武岩或准洋脊玄武岩的特征,其成分点在各种主量、微量、稀土元素判别图上,均比较一致地投影在洋脊玄武岩区或洋底玄武岩区。从硅质岩中放射虫组合的生态环境和硅质岩的硅同位素、稀土元素特征判断,

应属深海环境的沉积物<sup>[28-29]</sup>。这些特征表明,哀牢山蛇绿岩具有洋壳性质,形成于缓慢扩张的洋盆环境。对蛇绿岩中辉长岩和斜长花岗岩的同位素年代学研究表明,辉长岩锆石 U-Pb 年龄( 362 ± 41 Ma)、辉长岩中角闪石 <sup>39</sup>Ar/<sup>40</sup>Ar 年龄( 349 ± 13 Ma) 以及斜长花岗岩锆石 U-Pb 年龄( 328 ± 16 Ma) 证明,在早石炭世时,哀牢山洋已全面打开并已形成成熟洋壳。其后洋盆持续扩张到早二叠世( P<sub>1</sub> ),早二叠世晚期或晚二叠世( P<sub>1</sub><sup>2</sup> 或 P<sub>2</sub> ) 洋壳向西( 思茅微陆块) 俯冲,形成了雅轩桥、太忠-李仙江双峰式弧火山岩带。刘翠等<sup>[9]</sup>指出,哀牢山洋向西俯冲形成雅轩桥的弧火山岩,形成时代为晚二叠世( 265 ± 7Ma)。这个过程一直延续到早三叠世( T<sub>1</sub> ),哀牢山洋东侧出现具有弧和洋中脊玄武岩的双重特性的帽盒山玄武岩( 249 ± 1.6Ma),可能指示此时哀牢山洋盆已经变小,或已转化为弧间或弧后盆地。范蔚茗等<sup>[30]</sup>指出,澜沧江南带火山岩具有典型的岛弧火山岩的特征,形成于俯冲碰撞的构造环境,形成时代为早三叠世( 约 248Ma)。在绿春地区,此时( 247.3 ± 1.8Ma) 已经进入到成熟岛弧向陆-陆碰撞的过渡阶段<sup>[9]</sup>,这与本文的年龄研究结果( 249.8 ± 4.3Ma) 和构造环境判别结果非常一致。

关于哀牢山洋盆闭合的时限,即由洋陆俯冲转换为陆-陆碰撞的时限,由于缺乏精确的岩浆岩年代学数据,一直未能予以准确的制约。近年来,随着锆石 U-Pb 年龄成果的不断涌现,为综合而精细的

研究提供了条件。Jian 等对大龙凯地区斜长辉石岩进行元素地球化学与 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学研究,认为斜长辉石岩系后造山伸展背景产物,形成年龄为  $245.6 \pm 1.4$  Ma,反映哀牢山洋早三叠世已经消亡<sup>[31]</sup>。对新安寨高钾过铝质二长花岗岩体进行了 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学与 Hf 同位素地球化学研究,得到两件样品  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  加权平均年龄为  $251.9 \pm 1.4$  Ma 和  $251.2 \pm 1.4$  Ma。结合明显负 Hf(t) 值( $-11.1 \sim -3.1$ ),认为该花岗岩体形成于岛弧向陆-陆碰撞转换或者同碰撞的构造环境下,系古老地壳沉积源区(哀牢山群)深熔作用成因,从而反映哀牢山洋在晚二叠世—早三叠世已经闭合<sup>[32]</sup>。娘宗过铝质流纹斑岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为  $263.1 \pm 2.3$  Ma,侵入其中的脉岩年龄为  $260.0 \pm 1.7$  Ma<sup>[33]</sup>,反映哀牢山洋闭合造山作用在部分地段,可能于晚二叠世就已经发生。老王寨地区过铝质花岗岩类 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年结果显示,冬瓜林矿段两件花岗斑岩  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  加权平均年龄为  $247.7 \pm 1.8$  Ma 与  $255.0 \sim 251.7$  Ma,老王寨矿段一件石英斑岩  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  加权平均年龄为  $255.1 \pm 3.4$  Ma,记录了一次与哀牢山洋缝合有关的晚二叠世岩浆事件,且形成于哀牢山缝合带后碰撞伸展构造背景下<sup>[7]</sup>。本文对绿春县黄草岭地区花岗岩体进行的岩石地球化学研究认为其形成于陆-陆碰撞的构造环境下,SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学显示其形成年龄为  $249.8 \pm 4.3$  Ma。前人对大龙凯地区斜长辉石岩、新安寨高钾过铝质二长花岗岩体、老王寨地区过铝质花岗岩、绿春火山岩等的岩石地球化学和锆石年龄研究<sup>[7,9,28,31,32]</sup>,显示出哀牢山洋在晚二叠世到早三叠世处于由岛弧向陆-陆碰撞转换或者同碰撞的构造环境下,这与本文的研究结果非常一致。

## 5 结论

(1) 绿春地区黄草岭花岗岩为过铝质、富钾、钙碱性岩浆岩,经 SHRIMP 锆石 U-Pb 同位素测定,11 个分析点给出的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  加权平均年龄为  $249.8 \pm 4.3$  Ma(图 5),代表了花岗斑岩的结晶时代,是早印支期岩浆活动的产物。

(2) 绿春地区黄草岭早三叠世花岗岩具有过铝质、富钾、钙碱性和 S 型花岗岩的特征,LREE 和 LILE 相对富集,Nb、Ta、Ti、Hf 明显负异常,揭示其岛弧型岩浆岩的性质,形成于俯冲-碰撞构造环境。揭示出哀牢山洋在早三叠世向西俯冲消减,在绿春

地区已出现成熟岛弧向陆-陆碰撞过渡,限定了哀牢山洋盆的陆-陆碰撞时限。

注释:

- [1] 刘增乾,李兴振,叶庆同,等. 三江地区构造岩浆带的划分与矿产分布规律[M]. 北京:地质出版社,1993.
- [2] METCALFE I. Permian tectonic framework and palaeogeography of SE Asia [J]. *Journal of Asian Earth Sciences* 2002 20(6): 551–566.
- [3] METCALFE I. Gondwana dispersion and Asian accretion: Tectonic and palaeogeographic evolution of eastern Tethys [J]. *Journal of Asian Earth Sciences* 2013 66: 1–33.
- [4] DENG J, WANG QF, LI GJ, LI CS, WANG CM. Tethys tectonic evolution and its bearing on the distribution of important mineral deposits in the Sanjiang region, SW China [J]. *Gondwana Research* 2014 26(2): 419–437.
- [5] 魏启荣,沈上越,莫宣学,等. 三江地区古特提斯火山岩源区物质的 Nd-Sr-Pb 同位素体系特征[J]. *矿物岩石* 2003 23(3): 55–60.
- [6] 闫全人,王宗起,刘树文,等. 西南三江特提斯洋扩张与晚古生代东冈瓦纳裂解:来自甘孜蛇绿岩辉长岩的 SHRIMP 年代学证据[J]. *科学通报* 2005 50(2): 158–166.
- [7] 李龚健,王庆飞,禹丽,等. 哀牢山古特提斯洋缝合时限:晚二叠世花岗岩类锆石 U-Pb 年代学与地球化学制约[J]. *岩石学报* 2013 29(11): 3883–3900.
- [8] 刘俊来,唐渊,宋志杰,等. 滇西哀牢山构造带:结构与演化[J]. *吉林大学学报(地球科学版)* 2011 41(5): 1285–1303.
- [9] 刘翠,邓晋福,刘俊来,等. 哀牢山构造岩浆带晚二叠世—早三叠世火山岩特征及其构造环境[J]. *岩石学报* 2011 27(12): 3590–3602.
- [10] WANG X F, METCALFE I, JIAN P, HE L Q, WANG C S. The Jinshajiang-Ailaoshan Suture Zone, China: Tectonostratigraphy, age and evolution [J]. *Journal of Asian Earth Sciences* 2000 18(6): 675–690.
- [11] METCALFE I. Palaeozoic and Mesozoic tectonic evolution and palaeogeography of East Asian crustal fragments: The Korean Peninsula in context [J]. *Gondwana Research* 2006 9(1–2): 24–46.
- [12] METCALFE I. Tectonic framework and Phanerozoic evolution of Sundaland [J]. *Gondwana Research* 2011 19(1): 3–21.
- [13] 邓军,王长明,李龚健. 三江特提斯叠加成矿作用样式及过程[J]. *岩石学报* 2012 28(5): 1349–1361.
- [14] 葛良胜,邓军,郭晓东,等. 哀牢山多金属矿集区深部构造与成矿动力学[J]. *中国科学 D 辑:地球科学* 2009 39(3): 271–284.
- [15] 葛良胜,邓军,王长明. 构造动力体制与成矿环境及成矿作用—以三江复合造山带为例[J]. *岩石学报* 2013 29(4): 1115–1128.
- [16] 徐涛,张桂林,张峰. 云南哀牢山成矿带南段金矿控矿因素分析[J]. *桂林工学院学报* 2007 27(4): 474–479.
- [17] 薛传东,侯增谦,刘星,等. 滇西北北衙金多金属矿田的成岩

- 成矿作用: 对印-亚碰撞造山过程的响应[J]. 岩石学报, 2008, 24(3): 457–472.
- [18] 杨立强, 刘江涛, 张闯, 等. 哀牢山造山型金成矿系统: 复合造山构造演化与成矿作用初探[J]. 岩石学报, 2010, 26(6): 1723–1739.
- [19] 张博, 张世涛. 滇西北保山核桃坪铅锌矿床铅同位素和成矿过程对比研究[J]. 科学技术与工程: 地球科学, 2011, 11(21): 4972–4976.
- [20] 张旗, 周德进, 赵大升, 等. 滇西古特提斯造山带的威尔逊旋回: 岩浆活动记录和深部过程讨论[J]. 岩石学报, 1996, 12(1): 17–28.
- [21] 邓军, 杨立强, 王长明. 三江特提斯复合造山与成矿作用研究进展[J]. 岩石学报, 2011, 27(9): 2501–2509.
- [22] 宋彪, 张玉海, 万渝生, 等. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论[J]. 地质论评, 48(增刊): 2002: 26–30.
- [23] 宋彪, 张拴宏, 王彦斌, 等. 锆石 SHRIMP 年龄测定数据处理时系统偏差的避免——标准锆石分段校正的必要性[J]. 岩矿测试, 2006, 25(1): 9–14.
- [24] 黄志英, 臧祥祥, 唐贯宗, 等. 腾冲地块内早印支期构造事件的厘定: 来自那邦闪长岩锆石 U-Pb 定年和 Lu-Hf 同位素证据[J]. 中国地质, 2013, 40(3): 730–741.
- [25] 简平, 程裕淇, 刘敦一. 变质锆石成因的岩相学研究——高级变质岩 U-Pb 年龄解释的基本依据[J]. 地学前缘, 2001, 8(3): 183–191.
- [26] 吴元保, 郑永飞. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约[J]. 科学通报, 2004, 49(16): 1589–1604.
- [27] 王保弟, 王立全, 王冬兵, 等. 三江上叠裂谷盆地人支雪山组火山岩锆石 U-Pb 定年与地质意义[J]. 岩石矿物学杂志, 2011, 30(1): 25–33.
- [28] 莫宣学, 潘桂棠. 从特提斯到青藏高原形成: 构造-岩浆事件的约束[J]. 地学前缘, 2006, 13(6): 43–51.
- [29] 沈上越, 魏启荣, 程惠兰, 莫宣学. “三江”哀牢山—李仙江带火山岩构造岩浆类型[J]. 矿物岩石, 1998, 18(2): 18–24.
- [30] 范蔚茗, 彭头平, 王岳军. 滇西古特提斯俯冲碰撞过程的岩浆作用记录[J]. 地学前缘, 2009, 16(6): 291–302.
- [31] JIAN P, LIU DY, KRONER A, et al. Devonian to Permian plate tectonic cycle of the Paleo-Tethys Orogen in southwest China (II): Insights from zircon ages of ophiolites, arc/back-arc assemblages and within-plate igneous rocks and generation of the Emeishan CFB province [J]. Lithos, 2009, 113(3–4): 767–784.
- [32] 刘汇川, 王岳军, 蔡永丰, 等. 哀牢山构造带新安寨晚二叠世末期过铝质花岗岩锆石 U-Pb 年代学及 Hf 同位素组成研究[J]. 大地构造与成矿学, 2013, 37(1): 87–98.
- [33] 赵德军, 陈洪德, 王道永, 等. 哀牢山造山带南段中二叠世晚期娘宗岩体厘定[J]. 地质科技情报, 2013, 32(3): 19–25.

## The granites from the Huangcaoling region, Luchun, Yunnan: SHRIMP zircon U-Pb chronology and geological implications

ZHU Guo-ren<sup>1</sup>, GUAN Jun-lei<sup>2</sup>, WANG Guo-zhi<sup>1,3</sup>, ZHENG Lai-lin<sup>2</sup>, LONG Teng<sup>1</sup>, LU Xu-yang<sup>1</sup>, Xu Peng<sup>1</sup>

(1. College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China; 2. Chengdu Center, China Geological Survey, Chengdu 610081, Sichuan, China; 3. State Key Laboratory of Oil and Gas Resources Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China)

**Abstract:** The present paper deals with the SHRIMP zircon U-Pb chronology, major and trace element geochemistry, and obtain a SHRIMP zircon U-Pb age of  $249.8 \pm 4.3$  Ma for the granites from the Huangcaoling region, Luchun, Yunnan. Geochemically, the granites in the study area display normal anomalies of K, Rb, U, Th and Pb, and negative anomalies of Nb, Ta, Ti, Hf and Eu, indicating the peraluminous, high-K cal-alkaline S-type granites formed in the island-arc tectonic setting. During the Early Triassic, there once occurred the westward subduction of the Ailaoshan Ocean, and the transition from the mature island arc to the continent-continent collision in the Luchun region, Yunnan.

**Key words:** Jinshajiang-Ailaoshan suture zone; granite; SHRIMP zircon U-Pb dating; Luchun