

邹光富, 毛琼, 丛峰, 等. 滇西勐养花岗岩体暗色包体的地球化学特征及成因[J]. 中国地质, 2016, 43(2): 419–431.

Zou Guangfu, Mao Qiong, Cong Feng, et al. Geochemical characteristics and genesis of the mafic enclaves in Mengyang intrusion in the Tengchong block, western Yunnan[J]. *Geology in China*, 2016, 43(2): 419–431(in Chinese with English abstract).

## 滇西勐养花岗岩体暗色包体的地球化学特征及成因

邹光富<sup>1</sup> 毛琼<sup>2</sup> 丛峰<sup>1</sup> 林仕良<sup>1</sup> 李再会<sup>1</sup> 高永娟<sup>1</sup>

(1. 成都地质矿产研究所, 四川 成都 610082; 2. 华北油田勘探开发研究院, 河北 任丘 062552)

**摘要:** 勐养侵入岩体主要由黑云母二长花岗岩(128 Ma)、花岗闪长岩(113 Ma)和辉长质(123 Ma)、闪长质包体(120 Ma)组成。暗色包体主要分布在花岗闪长岩中, 包体岩性主要为辉长岩包体和闪长岩包体。包体具有岩浆结构, 部分包体具有塑性流变特征, 有些包体具有淬冷边和反向脉, 包体中可见针状磷灰石, 表现出岩浆混合的岩相学特征。岩石地球化学特征研究表明, 寄主岩石与暗色包体同为准铝质–过铝质、钙碱性–高钾钙碱性系列岩石。寄主岩石与暗色包体的的稀土配分曲线模式和微量元素原始地幔标准化蛛网图形态基本一致, 为岩浆混合作用的结果。所有样品均富集大离子亲石元素(如 Rb、Th、U 和 Nd)、亏损高场强元素(如 Nb、Ta、Ce 和 Zr)。勐养早白垩世侵入岩形成于岩浆弧环境。暗色包体具有低的 SiO<sub>2</sub> 含量(SiO<sub>2</sub> 为 48.02% 和 59.8%) 和高的 Mg<sup>#</sup> 值(Mg<sup>#</sup> = 48.1~68.5), 表明暗色包体的原生岩浆应是板块俯冲带流体交代地幔橄榄岩的部分熔融的产物, 并受后期岩浆混合作用的改造。暗色包体锆石的  $\epsilon_{\text{m}}(t)$  为 3.6~6.2, Nb/Ta 值为 12.1~15.4, 显示岩浆源区具有亏损地幔特征。黑云二长花岗岩的 Mg<sup>#</sup> = 33.5, Nb/Ta 值为 10.9, 表明岩浆主要来源于古老的地壳物质的部分熔融。花岗闪长岩锆石的 Mg<sup>#</sup> = 44, Nb/Ta 值为 12.5, 岩浆主要来源于地幔和地壳, 为黑云二长花岗岩与幔源岩浆混合作用的产物。腾冲地块早白垩世勐养侵入岩体及其暗色包体的成因, 是左贡–保山板块洋壳向南西俯冲在波密–腾冲地块之下, 使区域地壳不断加厚并导致区域重力均衡隆升, 深部地壳物质在加热后抬升减压过程中发生部分熔融, 形成大量的花岗岩浆。由于俯冲洋壳板块在俯冲、碰撞过程中诱导的幔源岩浆与重熔物质发生岩浆混合作用, 形成花岗闪长岩和暗色包体。

**关键词:** 花岗岩类; 暗色包体; 岩浆混合; 腾冲地块; 滇西

中图分类号: P595; P581 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2016)02-0419-13

## Geochemical characteristics and genesis of the mafic enclaves in Mengyang intrusion in the Tengchong block, western Yunnan

ZOU Guang-fu<sup>1</sup>, MAO Qiong<sup>2</sup>, CONG Feng<sup>1</sup>, LIN Shi-liang<sup>1</sup>, LI Zai-hui<sup>1</sup>, GAO Yong-juan<sup>1</sup>

(1. Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610082, Sichuan, China; 2. Institute of Exploration and Development, North China Oilfield, Renqiu 062552, Hebei, China)

**Abstract:** Located in Mengyang area of the Tengchong block in western Yunnan, the Mengyang intrusion consists of biotite monzo-granite (128 Ma) and granodiorite (113 Ma) with abundant gabbroic enclaves (123 Ma) and dioritic enclaves (120 Ma). The dark

收稿日期: 2015-03-14; 改回日期: 2015-04-23

基金项目: 中国地质调查局“云南 1:5 万梁河县、江东、帕底幅区域地质调查项目”(1212010784007)资助。

作者简介: 邹光富, 男, 1963 年生, 博士, 研究员, 长期从事青藏高原区域地质调查和矿产资源研究工作; E-mail: zguangfu@163.com。

enclaves, which are mainly gabbroic enclaves and dioritic enclaves, are mainly distributed in the granodiorite. The dark enclaves have igneous texture, and some of them are characterized by plastic flow deformation, quenching boundary, reverse pulse and acicular apatite, suggesting petrographic characteristics of magma mixing. Geochemical data show that the host granitoids and mafic enclaves are all metaluminous to peraluminous and high-K calc-alkaline enclaves enriched in LILE (such as Rb, Th, U, Nd and Pb) and depleted in HFSE (such as Nb, Ta, Sr, Zr). The host rock and dark enclaves are metaluminous, calc-alkaline and high-K calc-alkaline series rocks. Geochemical data show that the host granitoids and mafic enclaves are all metaluminous to peraluminous, calc-alkaline and high-K calc-alkaline series rocks enriched in LILE (such as Rb, Th, U, Nd and Pb) and depleted in HFSE (such as Nb, Ta, Sr, Zr). The REE patterns and primitive mantle normalized trace element spider diagrams of the host rock and dark enclaves are nearly of the same shape, which indicates that they have a close relationship in magma mixing. The Early Cretaceous granitoids are considered to be of the volcanic island arc tectonic setting. The gabbroic enclaves and dioritic enclaves are characterized by low SiO<sub>2</sub>, high MgO, high K<sub>2</sub>O and high Mg<sup>#</sup> (Mg<sup>#</sup> = 48.1–68.5). Zircon in the dioritic enclaves has  $\epsilon_{\text{Hf}}$ (122 Ma) values of 3.6–6.2,  $T_{\text{DM1}}\text{Hf}$  ratios of 535–665 Ma, and Nb/Ta ratios of 12.1–15.4, suggesting that the dioritic enclaves had the nature of mantle derived magmas, and that mafic magma was directly derived from depleted mantle source region and was subjected to magma mixing in late reformation. The Mg<sup>#</sup> value of biotite monzogranite is 33.5, and Nb/Ta ratio is 10.9. The Mg<sup>#</sup> value of granodiorite is 44 and Nb/Ta ratio is 12.5. It is thus held that the biotite monzogranite and the dark enclaves were derived from partial melting of the Mid-Proterozoic metamorphosed basement (Gaoligong Group), and granodiorite from the mixing of mantle-derived magma and partial melting crust. The early Cretaceous intrusive rocks in the Tengchong block were intimately related to the oceanic crust of Zuogong – Baoshan plate subducted to the bottom of the Bomi–Tengchong block in the southwest; as a result, the regional crustal was continuously thickening and led to continuous regional gravity isostatic uplift; deep crustal partial melting occurred after heating uplift during decompression and formed lots of granite. Because of plate subduction and collision, the mantle magma and melting substances produced magma mixing, and formed granodiorite and dark enclaves.

**Key words:** host rock; dark enclaves; magma mixing; Tengchong block; western Yunnan

**About the first author:** ZOU Guang-fu, male, born in 1963, doctor and senior researcher, engages in regional geological survey, mineral exploration and geology of the Tibetan plateau; E-mail: zguangfu@163.com.

**Fund support:** Supported by China Geological Survey Program (No. 1212010784007).

滇西腾冲地块属于西南三江构造带南段,是青藏高原冈底斯构造岩浆岩带的东(南)延部分。为东特提斯构造带的重要组成部分,是研究青藏高原东缘造山带形成演化的重要窗口。该区构造岩浆活动频繁,地质构造复杂而独特,历来受到中外地质学家们的关注<sup>[1-18]</sup>。多期次强烈的构造岩浆活动形成了不同类型花岗岩为主的波密—腾冲构造岩浆带。笔者通过对滇西芒市梁河地区详细的区域地质填图,在滇西勐养村北东 15 km 的勐养村花岗闪长岩中发现存在大量的大小不等、形状各异的暗色闪长质包体,具有明显的岩浆混合特征。但工作区这种暗色闪长质包体的时代、岩石学、地球化学特征及其成因缺乏系统的研究。而花岗闪长岩中的闪长质岩石包体通常是探测岩石圈深部的“探针”和“窗口”。本文以梁河县勐养村花岗岩中的暗色闪长质包体及其寄主岩石为研究对象,通过对寄主岩石及其辉长质、闪长质包体的岩石学、地球化学

的研究,结合其锆石 U–Pb 年龄和 Hf 同位素特征,揭示本区闪长质包体形成时代、岩石成因及其形成的构造背景。为探讨腾冲地块晚中生代花岗岩成因及其形成的地球动力学构造环境提供新资料。

## 1 地质背景

滇西梁河县勐养村花岗岩及其中的暗色闪长质包体位于腾冲地块梁河县南部勐养村一带,东以泸水—瑞丽板块缝合带与保山地块为界,西以密支拉板块缝合带与东缅甸地块相邻(图 1)。区内出露的最老地层为属于该地块结晶基底的古元古代高黎贡山群,为一套中深变质岩系,其岩性主要为黑云斜长片麻岩、花岗片麻岩、混合岩、云母片岩、云母石英片岩、斜长角闪岩、黑云母斜长变粒岩、大理岩及石英岩<sup>[2,12-13]</sup>,为变质强度达绿片岩相—角闪岩相变质岩石。向南西延至缅甸境内称为 Mogok 岩系<sup>[3,4-5,13]</sup>。古生代地层分布于研究区北西部,主要为下石炭统邦读组(C<sub>1b</sub>),

岩性组合为灰、灰紫色中厚层状浅变质长石石英细砂岩、浅变质粉砂岩、灰色绢云板岩、粉砂质板岩、灰色钙质板岩夹白云岩、大理岩。新近系芒棒组( $N_2m$ )分布于研究区中部和北东部,其岩性为一套陆相沉积的砾岩、砂岩和黏土岩夹褐煤层。第四系火山和沉积岩主要分布于研究区中部梁河及西部旧城镇一带。研究区广泛发育三叠纪、早白垩纪、早古近纪花岗岩<sup>[10-11]</sup>。并以早白垩世花岗岩分布面积

最广<sup>[2,15-18]</sup>。岩性主要为碱长花岗岩、二长花岗岩和花岗闪长岩。在梁河县勐养村一带早白垩世花岗岩中含大量的暗色辉长岩、闪长质包体。并发育同源闪长岩岩株和岩脉(图1)。

## 2 岩体地质特征与样品

本文研究的早白垩世勐养花岗岩体主要为黑云母二长花岗岩、花岗闪长岩和镁铁质暗色包体

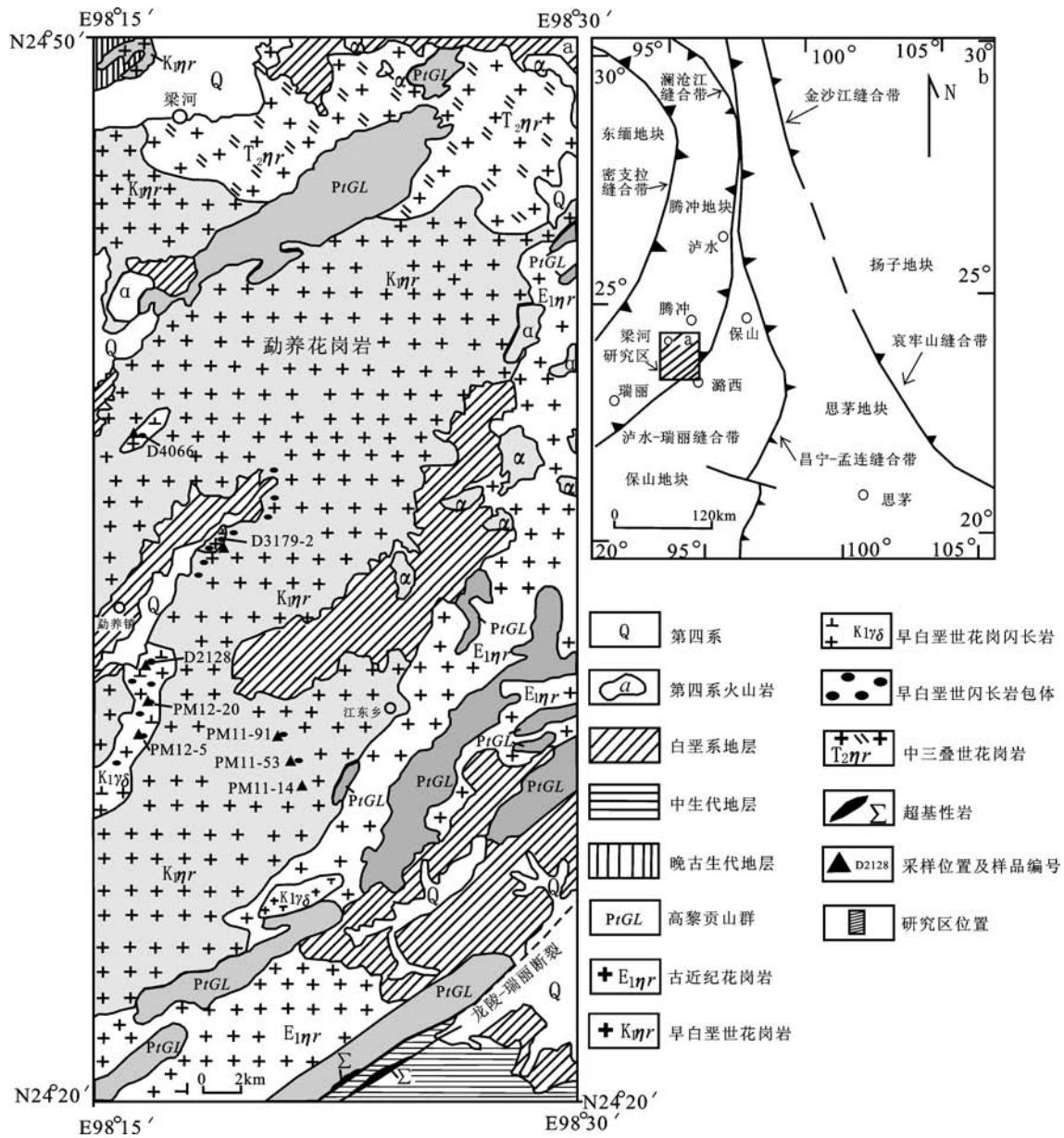


图1 研究区区域地质简图及采样位置

Fig.1 Simplified geological map and sampling position of the study area

(图1)。用于本文研究的8件岩石样品分别采自梁河县勐养村黑云母二长花岗岩、花岗闪长岩体及其中的暗色辉长岩、闪长质包体和芒市江东乡潞—梁公路一带(图1)。岩石类型主要有黑云母二长花岗岩、花岗闪长岩和镁铁质暗色包体3类。辉长岩包体和暗色闪长质包体主要分布在花岗闪长岩中。有少量镁铁质暗色包体分布在黑云母二长花岗岩中。在研究区还有闪长岩岩墙和岩脉侵入(图1)。寄主岩石黑云母二长花岗岩、花岗闪长岩和镁铁质暗色包体的侵位年龄分别为127.7 Ma、115.2 Ma和122.6 Ma<sup>[11]</sup>。

花岗闪长岩为浅灰色—灰色,中粗粒半自形粒状花岗结构,部分为似斑状花岗结构,块状构造。主要矿物成分有:斜长石,含量为57%~62%,呈半自形板状,具钠长石双晶,部分斜长石空隙中有条纹长石和榍石充填。碱性长石,含量约10%,为条纹长石和微斜长石。石英含量约20%,呈他形粒状,充填于斜长石的间隙中,具波状消光。暗色矿物主要为黑云母,含量为2%~3%;其次为角闪石,含量约2%。黑云母和角闪石充填于的间隙中。副矿物主要为锆石、磁铁矿、榍石和磷灰石(图2)。

在研究区梁河县勐养村花岗闪长岩中含有较多的辉长岩包体、闪长质包体(图2-a~d)。暗色辉长岩包体(图2-d)、闪长岩包体(图2-a~c)为灰黑色,粒度比寄主花岗闪长岩粒度细,为微粒—细粒结构。多数集中在0.03~0.05 mm。包体大小不等,大者直径在5~30 cm,小者在1.5~3 cm,多数在5~10 cm。包体形态多样,主要呈椭球状、透镜状、水滴状、火焰状和不规则状(图2-a~d),部分包体呈拉长状(图2-c~d),显示出明显的塑性流变特点。有些包体具有淬冷边和反向脉(图2-d)。包体与寄主岩石之间的接触界线明显,边界清晰,但二者的接触界面多呈圆弧形或港湾状(图2-c~d)。此外,亦有包体与寄主岩之间为渐变过渡关系,呈弥散状,与主岩界线模糊(图2-c)。有的暗色包体呈椭球状(图2-a~b),且粒度和寄主花岗闪长岩基本一致,均为似斑状结构,包体中可见到与其寄主岩花岗闪长岩中相似的斜长石斑晶,个别包体边部还可见到较大的斜长石斑晶横跨包体和寄主岩石边界(图2-b~c)。上述包体产生的地质现象和包体的岩石学特征表明,该区花岗闪长岩及其暗色包体存在岩浆混

合作用。

在显微镜下观察发现,暗色辉长岩包体、闪长岩包体具有典型的岩浆结构特征。闪长岩包体具有典型的岩浆结构特征,具体有微细粒半自形粒状结构、似斑状结构和嵌晶结构,块状构造。主要矿物成分有:斜长石,含量为45%~48%,以更长石和中长石为主,可见少量条纹长石。石英(含量为1%~2%);暗色矿物为占46%~48%,以普通角闪石(42%)、辉石(含量为2%~3%)和黑云母(含量为2%~3%)为主,常被绿泥石、帘石类矿物交代。副矿物主要为锆石、磷灰石、榍石和磁铁矿等。锆石多呈半自形状,以短柱状或粒状为主。包体中的磷灰石呈细长的针状(图2-f),长宽比在1:40~1:50范围之间,明显不同于其寄主岩石花岗闪长岩中的短柱状磷灰石。这种磷灰石是淬冷成因,指示岩石包体是在较大温度梯度下快速淬火结晶而成的。辉长岩包体,呈灰色—暗灰色,具有典型的岩浆结构特征,具体有微细粒半自形粒状结构、似斑状结构,块状构造。斑晶主要为斜长石、角闪石和石英,粒径为3~5 mm,基质具细—微粒结构。主要由斜长石(40%~45%)、普通角闪石(25%~30%)、黑云母(10%~25%)、辉石(5%~10%)组成。副矿物主要为锆石、磷灰石、榍石和磁铁矿等。锆石多呈半自形状,以短柱状或粒状为主。包体中的磷灰石呈细长的针状。

### 3 岩石地球化学特征

#### 3.1 分析方法

本文用于主量元素和微量元素测定的样品,为新鲜无污染粉碎至200目以下。岩石主量元素分析在国土资源部西南矿产资源监督检测中心完成,分析方法为X-荧光光谱法(XRF),分析误差1%~3%。微量元素分析在中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室完成,分析方法为等离子质谱(ICP-MS),分析准确度优于5%。主量元素、微量元素分析结果见表1。

#### 3.2 分析结果

用于本文研究的8件代表性样品的主量元素和微量元素分析结果及相关参数列于表1。黑云母二长花岗岩SiO<sub>2</sub>含量为73.18%,Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O=6.87%,高K<sub>2</sub>O含量3.99%,中—高K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O=1.39,显示出富钾

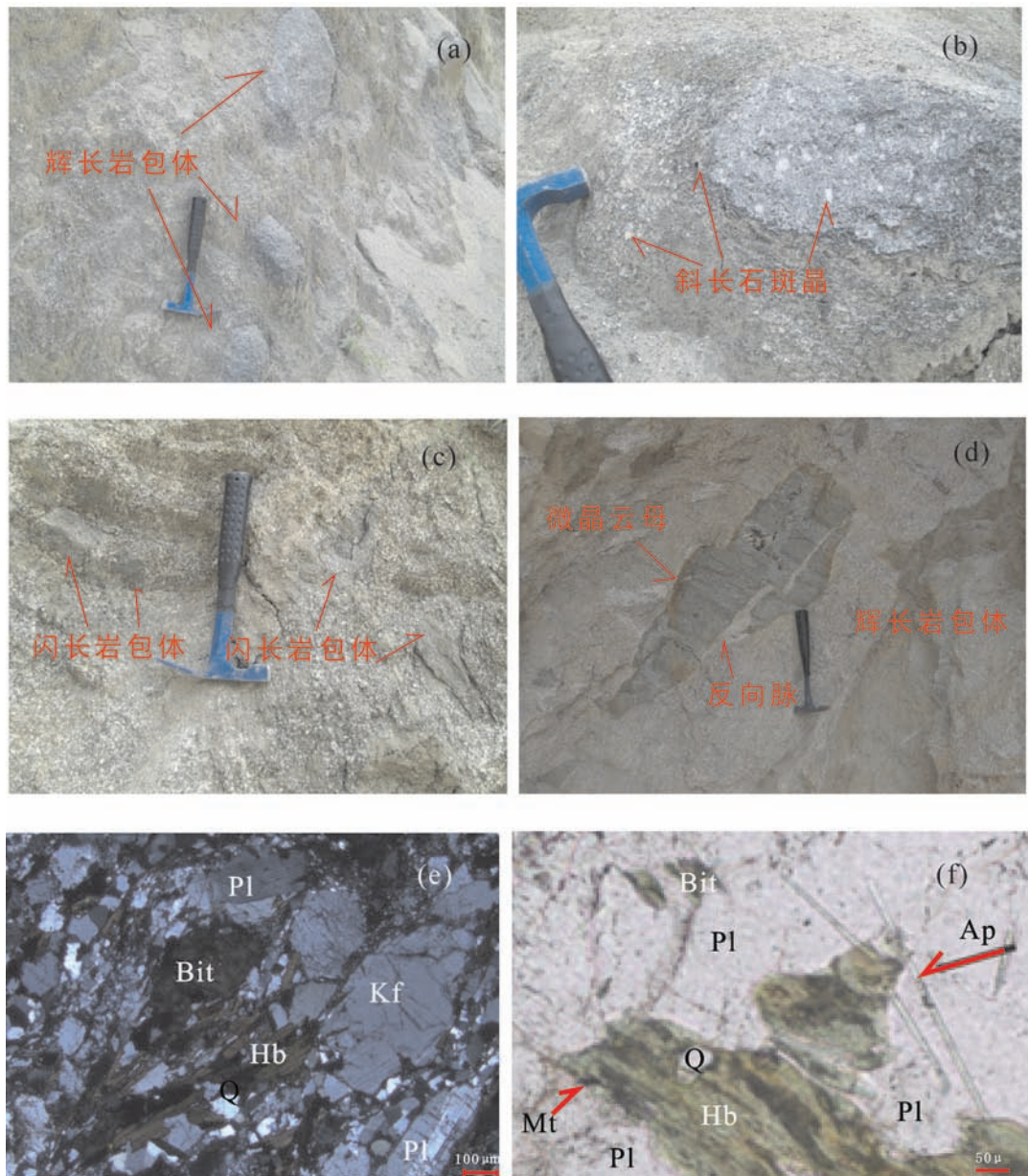


图2 花岗闪长岩和闪长岩的野外露头及镜下特征

a-d—花岗闪长岩和闪长岩包体的野外露头; e—花岗闪长岩的镜下特征(正交偏光); f—闪长岩包体的镜下特征(单偏光); Kf—钾长石; Q—石英; Pl—斜长石; Bit—黑云母; Hb—普通角闪石; Ap—磷灰石; Mt—磁铁矿

Fig. 2 Structural and fabric characteristics of the granodiorite and diorite

a-d—Photographs of granodiorite samples; e—Microphotographs of granodiorite samples; f—Microphotographs of diorite samples; Kf—Potash feldspar; Q—Quartz; Pl—Plagioclase; Bit—Biotite; Hb—Hornblende; Ap—Apatite; Mt—Magnetite

的特征。P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 含量为 0.33%; MgO 含量为 0.51%。在 TAS 岩石分类图中(图 3), 样品点落入高钾钙碱性系列区域。在 A/CNK-A/NK 图解中, 样品点落入过铝质花岗岩区域(图 4)。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>=13.62%, 铝饱和指数(A/CNK)为 1.12, 为强过铝质花岗岩系列(图 4)。CIPW 计算结果显示, 标准矿物中皆出现钾长石

(Kf)、钠长石(Ab)和石英(Q), 且刚玉分子(C)含量为 1.533, 说明岩石属铝和硅过饱和 S 型花岗岩。

寄主岩石花岗闪长岩 SiO<sub>2</sub> 含量为 62.6%, Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O=6.62%, K<sub>2</sub>O 含量为 2.72%, 贫钾 K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O=0.69; 低 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 含量为 0.24% 为特征; MgO 含量为 1.92%; Mg<sup>#</sup>=44.0, 表明斜长石结晶分离作用相对较

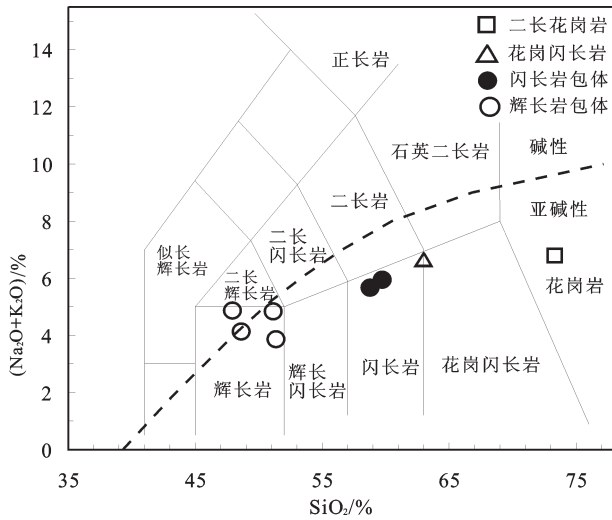


图3 劬养岩体 SiO<sub>2</sub>-(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O)图解(引自文献[19])  
Fig. 3 SiO<sub>2</sub>-(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O) diagram (after reference [19])

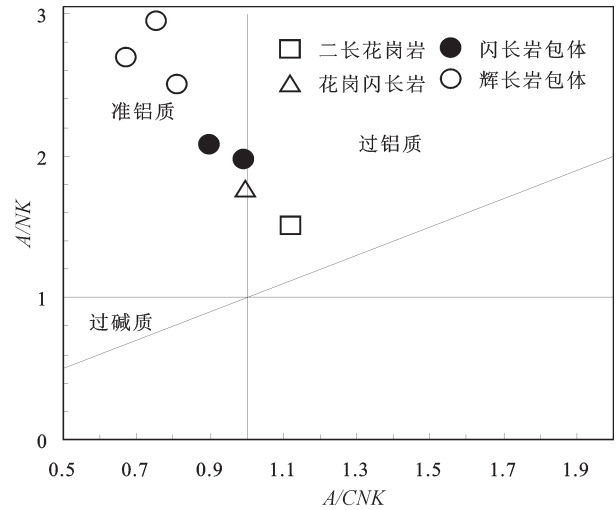


图4 A/CNK-A/NK图解(引自文献[20])  
Fig. 4 A/CNK-A/NK diagram (after reference [20])

强;在 A/CNK-A/NK 图解中,样品落在准铝质与过铝质分界线上(图4)。在 SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O 图解中,样品点落入钙碱性系列花岗岩区域(图5)。在 A/MF-C/MF 图解中,样品落在基性岩或变质火成岩与变质杂砂岩交界的熔融区(图6)。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量为 16.64%, 铝饱和指数(A/CNK)为 0.99, 为准铝质花岗岩系列。反映劬养寄主岩石花岗闪长岩具有 I 型及 S 型花岗岩特点。

研究区闪长岩包体的 SiO<sub>2</sub> 含量为 48.02%~

59.80%, Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O=3.89%~5.95%, 高 K<sub>2</sub>O 含量(0.94%~2.12%), 贫钾 K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O=0.32~0.56; 低 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 含量(0.12%~0.44%) 为特征; MgO=2.39%~7.07%。Mg<sup>#</sup>=48.10~54.2。表明斜长石结晶分离作用较强烈。在 TAS 岩石分类图中(图3), 该闪长岩包体样品落入闪长岩范围内。岩石样品落在虚线以下, 主要属于亚碱性岩石(图3)。在 A/CNK-A/NK 图解中, 样品均落在准铝质花岗岩区域(图4)。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>=17.09%~17.10%, 铝饱和指数(A/CNK)介于 0.90~0.95, 为准铝质花岗岩系列。在 SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O 图解中,

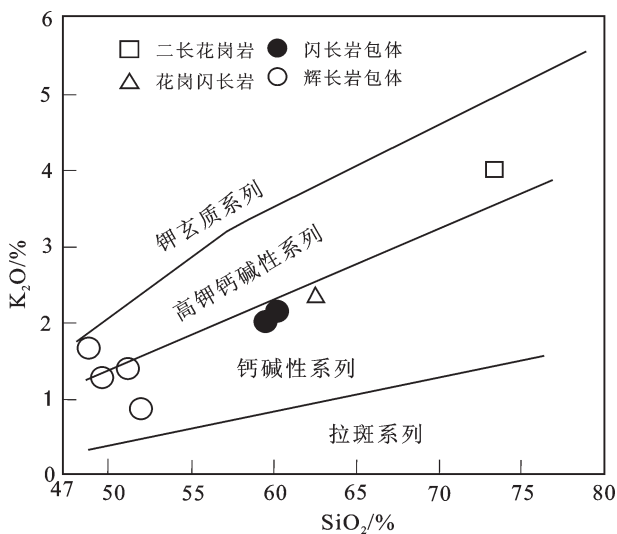


图5 劬养岩体 SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O 图解(底图引自文献[21])  
Fig. 5 SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O diagram (base map after reference [21])

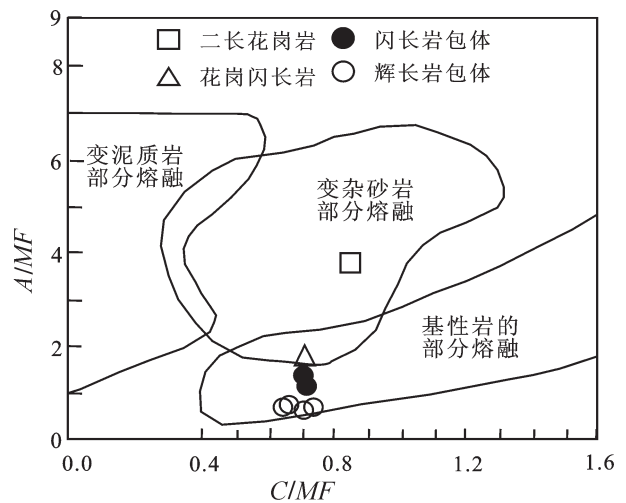


图6 A/MF-C/MF图解(底图引自文献[22])  
Fig. 6 A/MF-C/MF diagram (base map after reference [22])

表1 勐养二长花岗岩、花岗闪长岩、暗色包体的主量元素(%)和微量元素( $10^{-6}$ )的地球化学分析数据  
 Table 1 Major(%) and trace elements ( $10^{-6}$ ) compositions of the biotite monzogranite, granodiorite and dark enclaves (123 Ma) in Mengyang granite

分析项目	PM11-91	PM12-5	PM11-53	D3179-2	D2128	D4066	PM12-20	PM11-14
	辉长岩包体			闪长岩包体			花岗闪长岩	黑云母 二长花岗岩
SiO <sub>2</sub>	48.02	48.59	51.07	51.4	59.8	58.12	62.6	73.18
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.06	17.9	18.10	16.06	17.09	17.17	16.64	13.62
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.83	6.41	8.41	4.32	1.92	4.85	4.11	1.64
FeO	3.79	3.1	3.71	3.69	4.1	2.34	1.99	0.88
CaO	8.24	9.54	8.48	10	5.16	5.94	4.09	1.68
MgO	4.83	6.15	5.43	7.07	2.41	3.4	1.92	0.51
K <sub>2</sub> O	1.74	1.22	1.42	0.94	2.12	2.05	2.72	3.99
Na <sub>2</sub> O	3.29	2.95	3.62	2.95	3.83	3.66	3.9	2.88
TiO <sub>2</sub>	2.12	1.04	1.23	1.3	1.12	0.98	0.93	0.33
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.44	0.18	0.36	0.12	0.28	0.26	0.24	0.06
MnO	0.18	0.15	0.15	0.17	0.09	0.15	0.09	0.07
烧失量	1.37	1.44	0.89	1.19	1	0.58	0.62	1.02
总量	99.91	98.67	99.16	99.48	98.93	99.5	99.85	99.72
A/CNK	0.81	0.76	0.79	0.67	0.95	0.90	0.99	1.12
Mg <sup>#</sup>	50.9	61.8	52.9	68.5	49.1	54.2	44.0	33.5
Rb	105	51.5	77.1	44.2	132	96	138	264.00
Sr	355	364	451	317	332	250	280	172.00
Y	42.1	38	29.9	19.7	37.1	22	28.6	32.50
Zr	106	82.3	162	101	118	7.89	146	162
Nb	24	9.51	10.6	4.1	17.6	12	13.4	20.50
Cs	14.3	1.44	16.3	1.26	10	7.12	4.95	12.60
Ba	229	215	444	162	379	179	960	386
La	29.4	21.4	23.8	10.6	45	34.3	57.4	56.7
Ce	67.8	50.8	52	22.8	91.5	86.4	108	102
Pr	8.92	6.88	6.62	2.97	10.8	8.73	11.5	12
Nd	38.2	27.9	26.3	12.9	41.8	31.8	41.9	41.8
Sm	8.79	6.24	5.9	3.2	8.68	6.76	7.56	7.9
Eu	2.25	1.4	1.53	1.17	1.62	1.13	1.58	0.994
Gd	8.08	5.91	5.24	3.33	7.08	5.07	6.65	5.962
Tb	1.39	1.05	0.89	0.63	1.22	0.99	1.01	0.979
Dy	7.91	5.96	5.11	3.56	6.73	5.77	5.35	5.35
Ho	1.63	1.37	1.13	0.81	1.45	1.27	1.14	1.11
Er	4.42	3.84	3.15	2.14	3.75	3.46	3.03	3.13
Tm	0.599	0.59	0.43	0.31	0.52	0.49	0.423	0.466
Yb	4	3.95	2.83	1.92	3.27	3.08	2.56	2.98
Lu	0.593	0.566	0.44	0.27	0.46	0.45	0.352	0.445
Hf	2.67	2.55	3.35	2.53	2.89	0.51	3.57	4.43
Ta	1.64	0.765	0.70	0.29	1.14	0.99	1.07	1.88
Ti	0.67	0.22	0.22	0.58	0.68	0.89	0.53	1.12
Pb	11.3	7.29	8.14	7	15	16.7	17.2	35.4
Th	5.42	7.28	3.97	3	14.7	4.69	11.7	35.7
U	0.744	1.25	0.69	0.51	2.1	2.73	1.57	4.69
ΣREE	184	138	135.37	66.61	223.88	189.70	248.46	242
δ Eu	0.27	0.23	0.36	0.36	0.21	0.19	0.22	0.14
(La/Yb) <sub>N</sub>	4.76	3.51	5.44	3.57	8.90	7.21	14.5	12.3

大多数样品点落入钙碱性系列区域(图5)。在A/MF-C/MF图解中位于基性岩或变质火成岩的熔融区(图6)。反映闪长岩包体具有地幔原生岩浆的特点。

研究区辉长岩包体的SiO<sub>2</sub>=48.02%~51.4%, Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O=3.89%~5.04%, 高K<sub>2</sub>O含量(0.94%~1.74%), 贫钾K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O=0.32~0.53; 低P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>含量

(0.12%~0.44%)为特征; MgO=4.83%~7.07%, Mg<sup>#</sup>=50.9~68.5。表明斜长石结晶分离作用较强烈; 与地幔原生岩浆的Mg<sup>#</sup>(68~72)<sup>[23]</sup>接近。在TAS岩石分类图中(图3), 该闪长岩包体样品落入辉长岩范围内。大多数岩石样品落在虚线以下, 主要属于亚碱性岩石(图3)。在A/CNK-A/NK图解中, 样品均落在准铝质花岗岩区域(图4)。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>=16.06%~

18.10%, 铝饱和指数( $A/CNK$ )介于0.67~0.81, 为准铝质花岗岩系列。在 $SiO_2-K_2O$ 图解中, 大多数样品点落入钙碱性系列区域, 有1件样品点落入高钾钙碱性系列区域(图5)。在 $A/MF-C/MF$ 图解中位于基性岩或变质火成岩的熔融区(图6)。反映勐养辉长岩包体具有地幔原生岩浆的特点。这些现象表明勐养花岗闪长岩体具有岩浆混合作用的特点。

### 3.3 稀土元素

从研究区侵入岩的微量、稀土元素分析结果(表1)可见: 寄主岩石的 $\Sigma REE$ 为 $242 \times 10^{-6} \sim 248.46 \times 10^{-6}$ ,  $(La/Yb)_N$ 为12.3~14.5,  $\Sigma LREE/\Sigma HREE=10.84 \sim 11.11$ , 为轻稀土与重稀土分馏较为明显, 轻稀土富集的右倾的稀土型分布模式(图7)。岩石 $\delta Eu$ 为0.14~0.22, 具有弱的负Eu异常。表明岩石包体经历了一定程度的斜长石的分离结晶作用。暗色包体(辉长岩包体、闪长岩包体)的 $\Sigma REE$ 为 $66.61 \times 10^{-6} \sim 223.88 \times 10^{-6}$ , 平均为 $156.26 \times 10^{-6}$ 。各样品的稀土配分曲线较为一致, 显示同源岩浆演化的特点。 $(La/Yb)_N$ 为介于3.51~8.90, 变化范围较大, 表明后期岩浆分异较为强烈。 $\Sigma LREE/\Sigma HREE=1.94 \sim 8.22$ , 为富集轻稀土型分布模式(图7)。 $\delta Eu=0.19 \sim 0.36$ , 显示为弱的负Eu异常。表明岩石包体经历了一定程度的斜长石的分离结晶作用。或有部分斜长石残留。 $Sm/Nd$ 为0.21~0.25, 高于地壳丰度值。这些特征表明闪长岩包体具有幔源岩浆结晶分异的产物之特征, 并且幔源岩浆受到了地壳物质的一定混染。从稀土元素

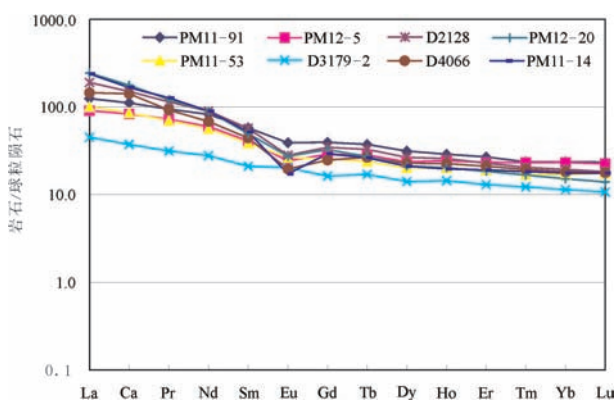


图7 滇西梁河县勐养岩体稀土元素配分样式图(标准化数据引自文献[24])

Fig. 7 REE patterns for trace elements of Mengyang intrusion in western Yunnan (normalized data after Reference[24])

配分模式图(图7)可见, 由暗色包体到寄主岩石的负钬异常没有增大的趋势, 寄主岩石样品的负钬异常甚至减弱(由0.36变到0.14), 显示暗色包体与寄主岩石并非同源岩浆结晶分异的产物。

### 3.4 微量元素

研究区寄主岩石和暗色包体的微量元素原始地幔标准化蛛网图形态相似(图8), 相对于原始地幔, 所有样品均相对富集大离子亲石元素(如Rb、Th、U和Nd), 相对亏损高场强元素(如Nb、Ta、Ce和Zr)。表明寄主岩石和暗色包体在成分上具有的地球化学亲源性, 并且经历了相似的岩浆演化过程。而黑云母二长花岗岩中的Rb、Th、U、La、Pb、Nd和Sm的含量明显高于花岗闪长岩暗色包体, 暗示这几种元素在它们的源区丰度不同。来自大离子亲石元素Ba的亏损是残余基性岩浆的体现。黑云二长花岗岩的Rb/Sr值为1.53, Nb/Ta值为10.9, 岩浆具有地壳物质的部分熔融的壳源岩浆特点。暗色包体的Rb/Sr值为0.14~0.40, Nb/Ta值为12.1~15.4, 介于地幔与地壳比值之间。花岗闪长岩的Rb/Sr值为0.49, Nb/Ta值为12.5, 介于地幔与地壳比值之间; 显示具有幔源岩浆与壳源岩浆混合的特点。

## 4 讨论

### 4.1 暗包体的形成时期

最近, 作者测得勐养花岗岩体中辉长岩包体的LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄值为 $(122.6 \pm 0.8) Ma^{[1]}$ ,

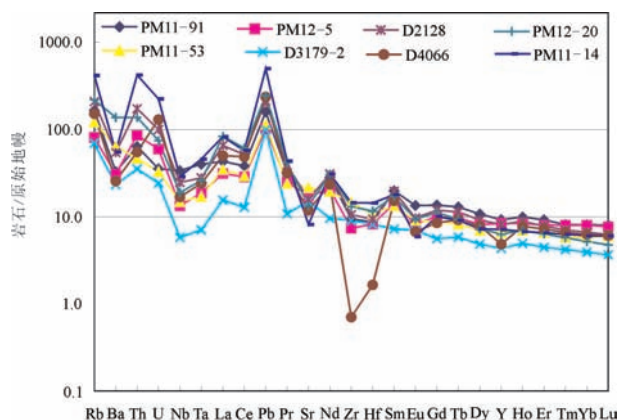


图8 滇西梁河县勐养岩体微量元素原始地幔标准化蛛网图(标准化数据引自文献[24])

Fig. 8 Normalized diagram for trace elements of Mengyang intrusion in western Yunnan (normalized data after Reference[24])



闪长质包体锆石U-Pb年龄值为 $(119.8 \pm 1.0) \text{ Ma}$ <sup>[16,17]</sup>。而岩体内寄主岩石的花岗闪长岩锆石U-Pb年龄值为 $(115.2 \pm 1.1) \text{ Ma}$ ;黑云二长花岗岩锆石U-Pb年龄值为 $(127.7 \pm 0.7) \text{ Ma}$ <sup>[11]</sup>。显示暗色微粒包体的形成时代为早白垩世中期。

#### 4.2 暗色包体的成因

滇西腾冲地块发育大面积的中新生代中酸性侵入岩。这些花岗岩系主要侵入到前寒武纪高黎贡山群变质基底中,岩石组合主体为黑云二长花岗岩、花岗岩闪长岩和闪长岩包体的中酸性-中基性岩石组合。

勐养早白垩世岩体中的暗色包体与寄主岩石花岗岩闪长岩、黑云二长花岗岩之间具有密切的成因联系,主要表现在:(1)三者锆石U-Pb年龄值基本一致。这就排除了闪长质包体岩石来源于深部固体岩石熔融残留体或浅部围岩捕虏体的可能性。揭示腾冲-梁河地块在115~127 Ma早白垩世发生了广泛的中基性和花岗质深成岩浆活动。表明黑云二长花岗岩和花岗闪长岩寄主岩石中的暗色辉长质和闪长质包体不是原岩浆固态难熔残余或围岩捕虏体;也排除了闪长质包体之中基性岩浆在花岗质岩浆固结后才侵入的可能。而是基性和中酸性花岗质深成岩浆混合作用的产物。从年代学上提供了岩浆混合成因的重要证据。(2)早白垩世岩体暗色包体与寄主岩石花岗岩闪长岩在空间上既有明显的接触界线,也有呈渐变过渡关系的接触关系。(3)早白垩世岩体暗色包体与寄主岩石花岗岩闪长岩具有相似的REE配分型式及微量元素变化特征。这些特征与勐养早白垩世花岗岩体存在明显的岩浆混合作用有关。(4)暗色闪长岩包体粒度比寄主花岗岩闪长岩粒度细,为微粒-细粒结构。暗色闪长岩包体主要呈椭球状、透镜状、水滴状、火焰状和不规则状,多有塑性流变外貌。显示呈液态混入偏酸性寄主岩浆中流动的特征。闪长质包体与寄主花岗岩的接触界线呈不规则状,具有淬冷边和反向脉。在包体及其与寄主岩石混合带中,主要矿物边缘多呈港湾状、锯齿状及不规则状的熔蚀结构。在包体与寄主岩石接触部位,寄主岩石中矿物在两者的接触部位界限具有熔蚀现象。磷灰石在寄主岩石中呈短柱状,在包体中的磷灰石呈细长的针状,长宽比在1:30~1:50,明显不同于其

寄主岩石花岗岩闪长岩中的短柱状磷灰石。包体具有细粒结构及针状磷灰石等岩浆淬冷的标志。寄主岩石及镁铁质包体的地质特征表明,该区花岗岩体存在较明显的岩浆混合作用特点。

#### 4.3 暗色包体的岩浆源区

已有的研究表明,镁安山岩-闪长岩类-英安岩及相应侵入岩是岛弧及大陆边缘弧的标志性火成岩组合<sup>[26-30]</sup>,而本文的辉长岩、闪长岩-花岗岩闪长岩-黑云母二长花岗岩作为对应侵入岩组合符合这一特征。在Hf/3-Ta-Th构造环境判别图解上,寄主岩石与暗色包体(辉长岩、闪长岩)均落入“岛弧拉斑玄武岩及分异产物区”(图9-a);在Rb/30-Hf-3Ta图解上,寄主岩石黑云母二长花岗岩落入“同碰撞区”;花岗岩闪长岩落入“火山弧区”;辉长岩、闪长岩样品落入“火山弧区”、“板内区”及“同碰撞区”和“后碰撞区”(图9-b)。因此,勐养早白垩世侵入岩寄主岩石与暗色包体形成于碰撞后岛弧构造环境。经历了板块俯冲、碰撞成弧造山作用过程。

研究区岩石地球化学特征研究表明,勐养岩体中的暗色包体具有低的SiO<sub>2</sub>、高MgO特征。暗色包体为准铝质-过铝质、钙碱性-高钾钙碱性系列岩石。富集LILE和LREE。推测其来源于地幔物质的部分熔融作用的产物。另外,暗色包体的 $\text{Mg}^\# = 50.9 \sim 68.5$ ,低于地幔原生岩浆的 $\text{Mg}^\# (68 \sim 72)$ <sup>[23]</sup>。表明暗色包体的岩浆在形成和演化过程中经历了一定程度的结晶分异,并受后期岩浆混合作用的改造。

暗色包体富集LILE和LREE,亏损高场强元素Nb、Ta、Ce和Zr,具有岛弧岩浆岩的地球化学特征,表明其地幔源区受到了板块俯冲流体的交代作用的改造。已有的研究表明,岩石圈地幔本身为难熔残余地幔,只有受到俯冲洋壳脱水形成的流体或洋壳沉积物熔体交代的富集地幔才能熔融形成镁铁质岩浆<sup>[31-32]</sup>。俯冲板片来源的流体具有较高的Rb、Ba、Sr、U、Pb含量,而来源于俯冲带沉积物熔体则富集Th和LREE<sup>[25,30-32]</sup>。寄主岩石黑云二长花岗岩的 $\text{Mg}^\# = 33.5$ , Nb/Ta值为10.9,表明岩浆主要来源于古老的地壳物质的部分熔融。花岗闪长岩的 $\text{Mg}^\# = 44$ , Nb/Ta值为12.5,岩浆主要来源于地幔和地壳,为幔源岩浆与黑云二长花岗岩混合作用产物。

研究区寄主岩石黑云二长花岗岩、花岗岩闪长岩和闪长岩包体的锆石Hf同位素研究结果表明<sup>[16]</sup>,不

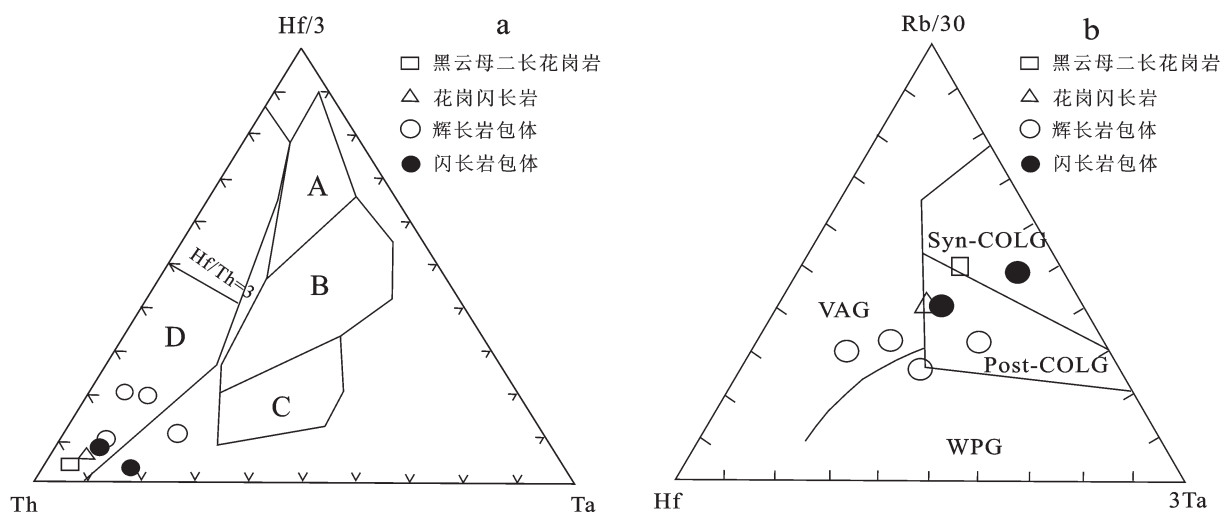


图9 勐养岩体 Hf-Th-Ta (a 据文献[26])和(Rb/30)-Hf-(Ta×3)(b 据文献[28])判别图解

A—正常洋脊玄武岩; B—富集型洋脊玄武岩; C—板内玄武岩; D—岛弧玄武岩; Syn—COLG—同碰撞花岗岩; WPG—板内花岗岩; VAG—火山弧花岗岩; Post—COLG—后碰撞花岗岩

Fig. 9 Diagrams of the tectonic setting of trace elements for Mengyang intrusion

(Fig. a after reference [26]; Fig. b after reference [28])

A—N—MORB; B—E—MORB; C—Intraplate basalt; D—Island—arc basalt; VAG—Volcanic Arc Granites; Syn—COLG—Syn—Collision Granites; WPG—Intraplate Granites; ORG—Ocean Ridge Granites; Post—COLG—Post—Collision Granites

同类型岩石的锆石 Hf 同位素组成明显不同。其中, 黑云母二长花岗岩锆石的  $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$  比值较低, 为 0.282447~0.282547, 对应的  $\varepsilon_{\text{Hf}}(127 \text{ Ma})$  值为 -9.1~-5.4,  $T_{\text{DM2}}\text{Hf}$  值为 1.5~1.7 Ga, 远大于其 U-Pb 年龄值。为来源于古老的地壳物质的部分熔融的产物。在 AMF-CMF 图解中, 黑云二长花岗岩主要位于变质火成岩或杂砂岩的部分熔融区。因此黑云二长花岗岩浆可能来源于本区中元古代高黎贡山群的地壳物质的部分熔融。具有 S 型花岗岩的特征。

辉长岩包体的锆石  $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$  比值较高, 为 0.282803~0.282875,  $T_{\text{DM1}}\text{Hf}$  值为 535~665 Ma, 大于其 U-Pb 年龄值, 对应的  $\varepsilon_{\text{Hf}}(122 \text{ Ma})$  值为 3.6~6.2<sup>[6]</sup>, 显示岩浆源区具有亏损地幔特征。表明辉长岩包体可能直接来源于亏损地幔源区的基性岩浆。具有 I 型花岗岩的特征。一般来说, 由于 Nb、Ta 性质相近, Nb/Ta 比值在岩浆分异中不会有较大的分异。因此, 可以用来指示岩浆源区特征及演化过程; 通常, 幔源岩浆的 Nb/Ta 比值在  $17.5 \pm 2$ , 而壳源岩浆的 Nb/Ta 比值为 11~12。而本区闪长岩包体的 Nb/Ta 比值为 12.1~15.4, 因此, 闪长岩包体具幔源岩浆性质。

花岗闪长岩的锆石  $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$  比值为 0.282576~

0.282704, 对应的  $\varepsilon_{\text{Hf}}(115 \text{ Ma})$  值为 -4.5~0,  $T_{\text{DM2}}\text{Hf}$  值为 1.1~1.4 Ga<sup>[16]</sup>, 远大于其 U-Pb 年龄值。其  $\varepsilon_{\text{Hf}}(115 \text{ Ma})$  值为 -4.5~0, 介于黑云二长花岗岩和闪长岩包体之间。指示花岗闪长岩可能来源于岩浆混合过程。具有 S 型和 I 型花岗岩的特征。

#### 4.4 构造动力学背景

在大地构造位置上滇西腾冲地块位于班公湖—怒江—龙陵—瑞丽板块缝合带与雅鲁藏布江—密支那板块缝合带之间, 是青藏高原冈底斯构造岩浆岩带的东(南)延部分。多期次强烈的构造岩浆活动导致在腾冲地块中形成多期花岗岩浆的侵入, 并形成以不同类型花岗岩为主的中新生代波密—腾冲花岗岩浆带。

在早、中侏罗世, 冈瓦纳大陆北缘沿班公湖—怒江—泸水—瑞丽一线发生海底扩张, 开始形成班公湖—怒江—泸水—瑞丽洋盆。在中、晚侏罗世, 左贡—保山微板块沿班公湖—怒江—泸水—瑞丽板块缝合带向南西与波密—腾冲微板块发生洋壳俯冲, 班公湖—怒江—泸水—瑞丽洋逐渐关闭。在晚侏罗世末—早白垩世初, 随着班公湖—怒江—泸水—瑞丽洋盆的闭合, 左贡—保山板块俯冲插入到波密—腾冲板块之下; 随着板块俯冲、碰撞造山

作用的进行,形成波密—腾冲岛弧。研究表明,在俯冲—碰撞的动力学背景下容易发生幔源岩浆对下地壳的底侵作用。底侵基性岩浆带来的巨大热量,导致地壳物质熔融。深部地壳物质在加热后抬升减压过程中发生部分熔融,形成大量的花岗岩浆和壳源岩浆房。在本区由于俯冲洋壳板块在俯冲、碰撞、成弧过程中诱导的幔源岩浆及其高温热源也引起腾冲地块古老地壳物质的重熔并与重熔物质发生岩浆混合作用,如果混合作用进行得比较彻底,则会形成较为均一的花岗质岩石,不会出现暗色包体。梁河县勐养花岗岩及其中的辉长岩、闪长岩包体暗色包体正是幔源的岩浆与壳源岩浆相混合时不彻底的产物,为该区板块俯冲、碰撞成弧造山作用过程的岩浆活动响应。

## 5 结 论

(1)勐养侵入岩体主要由黑云母二长花岗岩、花岗闪长岩和辉长质、闪长质包体组成。暗色包体主要分布在花岗闪长岩中,包体岩性主要为辉长岩包体和闪长岩包体。包体具有岩浆结构,部分包体具有塑性流变特征,有些包体具有淬冷边和反向脉,包体中可见针状磷灰石,表现出岩浆混合的岩相学特征。暗色闪长质包体锆石的U—Pb年龄为120~123 Ma。表明暗色包体的形成时代为早白垩世中期。

(2)早白垩世勐养花岗岩体寄主岩石、暗色包体的野外分布特征、岩石地球化学特征和同位素特征反映出岩浆具有混合作用的特征。黑云二长花岗岩浆可能来源于本区中新元古代高黎贡山群为代表的地壳物质的部分熔融。代表岩浆混合的酸性端元,岩浆主要来源于地壳。辉长岩、闪长岩暗色包体的原生岩浆是地幔橄榄岩部分熔融的产物,来源于地幔;花岗闪长岩岩浆是来源于幔源岩浆底侵生成的壳源熔体与上升的幔源熔体发生岩浆混合作用形成的。暗色包体的形成时代为早白垩世中期。

(3)勐养岩体中的寄主岩石与暗色包体为准铝质—过铝质、钙碱性—高钾钙碱性系列岩石。富集大离子亲石元素(如Rb、Th、U和Nd)、亏损高场强元素(如Nb、Ta、Ce和Zr)。暗色包体具有低的SiO<sub>2</sub>含量和高的Mg<sup>#</sup>值,包体的锆石的 $\epsilon_{\text{Hf}}$ (122 Ma)值为3.6~6.2,显示岩浆源区具有亏损地幔特征。因此,

暗色包体的原生岩浆可能是板块俯冲带流体交代地幔楔的部分熔融的产物,并受后期岩浆混合作用的改造。

(4)腾冲地块早白垩世勐养侵入岩体及其暗色包体的成因,是左贡—保山板块洋壳向南西俯冲在波密—腾冲地块之下,使区域地壳不断加厚并导致区域重力均衡隆升,深部地壳物质在加热后抬升减压过程中发生部分熔融,形成大量的花岗岩浆。由于俯冲洋壳板块在俯冲、碰撞过程中诱导的幔源岩浆与重熔物质发生岩浆混合作用,形成花岗闪长岩和暗色包体。

**致谢:**《中国地质》编辑部杨艳老师及审稿专家对本文进行了细致的评审,提出了宝贵的修改意见;本文的岩石地球化学分析测试工作得到了国土资源部西南矿产资源监督检测中心和中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室的帮助。在此一并表示衷心感谢。

## 参考文献(References):

- [1] 黄汲清,陈炳蔚. 中国及邻区特提斯海的演化[M]. 北京:地质出版社, 1987: 1-109.  
Huang Jiqing, Chen Bingwei. The Evolution of the Tethys in China and Adjacent Region [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1987: 1-109 (in Chinese with English abstract).
- [2] 云南省地质矿产局. 云南省区域地质志[M]. 北京:地质出版社, 1990, 1-290.  
Bureau of Geology and Resources of Yunnan. Regional Geology of Yunnan [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1990: 1-290 (in Chinese with English abstract).
- [3] 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: 6-85.  
Liu Zengqian, Li Xingzhen, Ye Qingtong, et al. Division of Tectono-magmatic Zone and the Distribution of Deposits in the Sanjiang area (Nujiang-Lancang-Jinsha Rivers Area) [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993: 6-85 (in Chinese with English abstract).
- [4] 吕伯西,王增,张能德,等. 三江地区花岗岩类及其成矿专属性[M].北京:地质出版社, 1993:1-245.  
Lv Boxi, Wang Zeng, Zhang Nengde, et al. Granitoids in the Sanjiang Region and Their Metallogenic Specialization[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993: 1-245 (in Chinese with English abstract).
- [5] 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.
- Zhang Qi, Zhou Dejin, Zhao Dasheng, et al. Wilson cycle of the paleo-Tethyan orogenic belt in western Yunnan: Record of magmatism and discussion on mantle processes [J]. Acta Petrologica Sinica, 1996, 12(1): 17-28(in Chinese with English abstract).
- [6] 张玉泉, 谢应雯. 横断山区花岗岩类地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1995: 1-126.
- Zhang Yuquan, Xie Yingwen. Geochemistry of Granitoid Rocks in Hengduan Mountains Region [M]. Beijing: Science Press, 1995: 1-126(in Chinese with English abstract).
- [7] 毛景文, 张士鲁, Rossi P. 云南腾冲地区含锡花岗岩及其与成矿关系[J]. 岩石学报, 1987, 11(4): 32-43.
- Mao Jingwen, Zhang Shilu, Rossi P. The tin-granites and their relation to mineralization in Tengchong, Yunnan [J]. Acta Petrologica Sinica, 1987, 11(4): 32-43 (in Chinese with English abstract).
- [8] 陈吉琛. 滇西花岗岩类 Pb、Sr 同位素组成特征及其基底时代和性质[J]. 地质科学, 1991, 26(2): 174-183.
- Chen Jichen. Characteristics of Pb, Sr isotopic compositions in west Yunnan granites: Discussion on the age and nature of the basement in west Yunnan[J]. Scientia Geologica Sinica, 1991, 26(2): 174-183 (in Chinese with English abstract).
- [9] 陈福坤, 李秋立, 王秀丽, 等. 滇西地区腾冲地块东侧混合岩锆石年龄和 Sr-Nd-Hf 同位素组成[J]. 岩石学报, 2006, 22(2): 439-448.
- Chen Fukun, Li Qiuli, Wang Xiuli, et al. Zircon age and Sr-Nd-Hf isotopic composition of migmatite in the eastern Tengchong block, western Yunnan[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(2): 439-448 (in Chinese with English abstract).
- [10] 邹光富, 林仕良, 李再会, 等. 滇西澜西邦木二长花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其构造意义[J]. 中国地质, 2011, 38(2): 77-85.
- Zou Guangfu, Lin Shenliang, Li Zaihui, et al. SHRIMP zircon U-Pb dating of bangmu admellite in Luxi, western Yunnan, and its tectonic implications[J]. Geology in China, 2011, 38(2): 77-85 (in Chinese with English abstract).
- [11] 邹光富, 毛英, 林仕良, 等. 滇西梁河勐养花岗岩的锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及其地质意义[J]. 矿物岩石, 2013, 33(3): 87-99.
- Zou Guangfu, Mao Ying, Lin Shenliang, et al. Zircon U-Pb age and geochemistry of Mengyang intrusion and its tectonic implications in the Lianghe, western Yunnan[J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 2013, 33(3): 87-99(in Chinese with English abstract).
- [12] 翟明国, 从柏林, 乔广生, 等. 中国滇西南造山带变质岩的 Sm-Nd 和 Rb-Sr 同位素年代学[J]. 岩石学报, 1990, 11(4): 1-11.
- Zhai Mingguo, Cong Boling, Qiao Guangsheng, et al. Sm-Nd and Rb-Sr Geochronology of metamorphic rocks from southwestern Yunnan orogenic zones, China[J]. Acta Petrologica Sinica, 1990, 11(4): 1-11 (in Chinese with English abstract).
- [13] 赵成峰. 高黎贡山西坡浅变质岩系时代归属探讨 [J]. 云南地质, 2000, 19(3): 244-253.
- Zhao Chengfeng. A discussion about the age of the epimetamorphic rock series on the west slope of Gaoligong Mountains[J]. Yunnan Geology, 2000, 19(3): 244-253 (in Chinese with English abstract).
- [14] 李兴振, 江新胜, 孙志明, 等. 西南三江地区碰撞造山过程[M]. 北京: 地质出版社, 2002: 1-213.
- Li Xingzhen, Jiang Xinsheng, Sun Zhiming, et al. Collide Orogenetic Process of the Nujiang-Lancangjiang-Jinshajiang area, Southwest China[M]. Beijing: Science Press, 2002, 1-213 (in Chinese)
- [15] 钟大赉. 滇川西部古特提斯造山带[M]. 北京: 科学出版社, 1998, 1-232.
- Zhong Dalai. Paleotethysides in West Yunnan and Sichuan, China[M]. Beijing: Science Press, 1998: 1-232 (in Chinese with English abstract).
- [16] 丛峰, 林仕良, 邹光富, 等. 梁河花岗岩岩浆混合作用: 锆石微量元素、U-Pb 和 Hf 同位素示踪[J]. 中国科学(D辑), 2011, 41(4): 468-481.
- Cong Feng, Lin Shiliang, Zou Guangfu, et al. Magma mixing of granites at Lianghe: In situ zircon analysis for trace elements, U-Pb ages and Hf isotopes [J]. Science in China (Series D), 2011, 41(4): 468-481 (in Chinese).
- [17] 高永娟, 林仕良, 丛峰, 等. 滇西梁河地区闪长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素特征及其地质意义[J]. 地质通报, 2015, 33(10): 1482-1491.
- Gao Yongjuan, Lin Shiliang, Cong Feng, et al. LA-ICP-MS Zircon U-Pb ages and Hf isotope compositions of zircons from lower Cretaceous diorite-dykes in Lianghe area, western Yunnan, and their geological implications[J]. Geological Bulletin of China, 2014, 33(10): 1482-1491 (in Chinese with English abstract).
- [18] 罗君烈. 滇西锡矿的花岗岩类及其成矿作用[J]. 矿床地质, 1991, 10(1): 81-96.
- Luo Junlie. Granitoids related to western Yunnan (Dianxi) tin deposits and their metallization [J]. Mineral Deposits, 1991, 10

- (1):81-96(in Chinese with English abstract).
- [19]Middlemost E A K. Naming materials in the magma/igneous rock system[J]. *Earth-Sci. Rev.*, 1994, 37: 215-224.
- [20] Rickwood P C. Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides of major and minor elements[J]. *Lithos*, 1989, 22(4) : 247-263.
- [21]Maniar P D, Piccolli P M. Tectonic discrimination of granitoids[J]. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 1989,101(5):635-643.
- [22] Altherr R, Holl A, Hegner E, et al. High-potassium,calc-alkaline plutonism in the European Variscides: Northern Vosges (France) and northern Schwarzwald (Germany) [J]. *Lithos*, 2000, 50: 51-73.
- [23] Frey F A, Green D H, Roy S D. Integrated models of basalt petrogenesis:a study of quartzite holeites to olivine melilitites from south eastern Australia utilizing geochemical and experimental petrological data[J]. *J. Petrol.*, 1978, 19: 463-513.
- [24] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes[J]. *Geol. Soc. London Spec. Pub.*, 1989, 42: 313-345.
- [25] Hawkesworth C J, Kemp A I S. The differentiation and rates of generation of the continental crust[J]. *Chemical Geology*, 2006, 226: 134-143.
- [26] Meschede M. A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb-Zr-Y diagram [J]. *Chem. Geol.*, 1986, 56: 207-218.
- [27] Pearce J A. Sources and setting of granitic rocks[J]. *Episodes*, 1996, 19 (4) : 120-125.
- [28] Harris N B W, Pearce J A , Tindle A G. Geochemical characteristics of collision-zone magmatism[C]//Coward M P , Reis A C(eds.). *Collision Tectonics*. Geological Society of London, Special Publication , 1986, 19 : 67-81.
- [29] BarBarin B. A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments[J]. *Lithos*, 1999, 46:605-626.
- [30] Pearce J A. Trace element characteristics of lave from destructive plate boundaries[M]. Thorpe R S. *Andesites*. Chichester: Wiley, 1982: 525-548.
- [31] Shaw A, Downes H, Thirlwall M F. The quartz-diorites of Limousin: Element and isotopic evidence for Devonian-Carboniferous subduction in the Hercynian belt of French Massif Central[J]. *Chemical Geology*, 1993, 107: 1-18.
- [32] Atherton M P, Petford N. Generation of sodium-rich magmas from newly underplated basaltic crust[J]. *Nature*, 1993, 362: 144-146.