

# 藏北羌塘中部果干加年山斜长花岗岩定年及其构造意义

施建荣,董永胜,王生云

SHI Jian-rong, DONG Yong-sheng, WANG Sheng-yun

吉林大学地球科学学院,吉林 长春 130061

College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, Jilin, China

**摘要:** 果干加年山蛇绿岩中首次发现了斜长花岗岩,它对于蛇绿岩的成因研究,特别是对蛇绿岩形成和演化过程的精确年龄测定,具有重要意义。通过野外地质特征和岩石学、地球化学、同位素年代学初步研究,斜长花岗岩具有埃达克岩的特点,如高 Al (14.84%~15.35%), Sr ( $338 \times 10^{-6}$ ~ $356 \times 10^{-6}$ ), Sr/Y 值 (46.94~55.45) 和贫 Y、Yb ( $Y = 6.42 \times 10^{-6}$ ~ $7.20 \times 10^{-6}$ ,  $Yb = 0.56 \times 10^{-6}$ ~ $0.63 \times 10^{-6}$ ) 等。斜长花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为  $348 \text{Ma} \pm 9 \text{Ma}$ , 代表了洋壳俯冲的时间。上述地球化学特征表明,果干加年山斜长花岗岩可能是俯冲洋壳高压条件下直接部分熔融形成的,产于消减带之上的环境(SSZ 型)。

**关键词:** 青藏高原;羌塘地区;果干加年山蛇绿岩;斜长花岗岩;锆石 SHRIMP U-Pb 定年

中图分类号: P588.12<sup>+</sup>1; P597<sup>+</sup>.3

文献标志码: A

文章编号: 1671-2552(2009)09- 1236-08

Shi J R, Dong Y S, Wang S Y. Dating and tectonic significance of plagiogranite from Guoganjianian Mountain, central Qiangtang, northern Tibet, China. *Geological Bulletin of China*, 2009, 28(9): 1236-1243

**Abstract:** Plagiogranite is firstly found in the ophiolite in Guoganjianian Mountain. It has great significance for the petrogenesis of ophiolite studies, especially for the precise dating of ophiolite formation and evolution. Based on the study of field geological characteristics, petrology, geochemistry and isotope geochronology, the authors suggest the plagiogranite has similar characteristics of adakite, which is high in  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (14.84%~15.35%), Sr ( $338 \times 10^{-6}$ ~ $356 \times 10^{-6}$ ), Sr/Y (Sr/Y=46.94~55.45) and low in Y, Yb ( $Y = 6.42 \times 10^{-6}$ ~ $7.20 \times 10^{-6}$ ,  $Yb = 0.56 \times 10^{-6}$ ~ $0.63 \times 10^{-6}$ ). Zircon SHRIMP U-Pb dating age is ( $348 \pm 9$ ) Ma and it represents the subduction time of oceanic crust. The above geochemical characteristics indicate that plagiogranite in the Guoganjianian Mountain is the product of direct partial melting of subduction plate in high pressure, and these granites are likely produced in the environment of subduction zone (SSZ type).

**Key words:** Qinghai-Tibet Plateau; Qiangtang area; Guoganjianian Mountain ophiolite; plagiogranite; zircon SHRIMP U-Pb dating

花岗质岩石在蛇绿岩的岩石组合中只占很小部分,但是对于蛇绿岩的成因研究,特别是对蛇绿岩形成和演化过程的精确年龄测定,具有重要意义<sup>[1]</sup>。在很长一段时间里,蛇绿岩中的花岗质岩石被认为是由大洋玄武质岩石高水平(低压)条件下结晶分异形成的,代表海底扩张或洋壳形成<sup>[2-3]</sup>,即传统意义上的大洋斜长花岗岩。20 世纪 80 年代以来,研

究者注意到蛇绿岩中的花岗质岩石还可以由大洋分离中心附近、近水平的高温剪切带中的角闪岩的部分熔融形成,为剪切型花岗岩,反映洋内变质或变形事件<sup>[4-5]</sup>,还包括洋壳俯冲时本身和/或包括部分大洋或海沟沉积物的部分熔融形成的俯冲型花岗岩<sup>[1]</sup>,代表了洋壳的俯冲事件。这类由俯冲的大洋壳部分熔融形成的岩石喷出或者侵入在地壳中,

收稿日期: 2009-06-05; 修订日期: 2009- 2009-06-23

基金项目: 国家自然科学基金项目(编号: 40872146、40672147)和中国地质调查局项目(编号: 1212010818115)资助

作者简介: 施建荣(1983- ),男,在读硕士,构造地质学专业。E-mail: shijianrong13@163.com

通讯作者: 董永胜(1968- ),男,博士,副教授,岩石学专业。E-mail: ydong2505@163.com

被称为埃达克岩(adakite)或埃达克质侵入岩,如赣东北蛇绿岩中的西湾钠长花岗岩便具有埃达克质岩石的主要地球化学特征<sup>[6]</sup>,以及蛇绿岩仰冲就位到大陆壳上时,推覆面之下的边缘盆地沉积物(或沉积物+火山岩)部分熔融形成<sup>[7-8]</sup>的仰冲型花岗岩。

近来,在果干加年山地区的蛇绿岩中首次发现了斜长花岗岩,为了探讨它的形成时代与成因,笔者进行了岩石学、地球化学、同位素年代学的初步研究。本文报道了斜长花岗岩的岩石地球化学特征和形成时代,并讨论了其成因与构造意义。

1 区域地质背景与岩石学特征

果干加年山在羌塘算不上是高山,但是由于地质内容复杂和引起的讨论而闻名,是龙木错-双湖蛇绿混杂岩带中一个特殊的地理地质单元<sup>[9]</sup>。果干加年山呈东西向夹持于龙木错-双湖缝合带之中,向南逆冲于片石石榴辉岩高压变质岩带之上,北侧为龙木错-双湖缝合带的北主边界断裂<sup>[10]</sup>。该区是研究青藏高原大陆碰撞、增生和古特提斯洋演化的重要窗口,也是西藏地区开展地质研究工作最早的地区之一<sup>[11]</sup>。

据前人的资料,果干加年山山体主要由蛇绿混杂岩、上石炭统浅变质岩、上三叠统和大量的外来岩块组成<sup>[9]</sup>(图 1)。早古生代蛇绿岩主要出露于果干加年山的中西段,由变质橄榄岩、堆晶岩、辉长岩岩墙群、玄武岩、硅质岩等组成,呈北西-南东向长条状分布,宽约 4km,长约 20km,南部与上石炭统白云母石榴子石片岩、石英岩以断层接触,见有规模较大的斜长花岗岩侵入于堆晶辉长岩之中(图 2-1、图 3),斜长花岗岩的长轴方向与蛇绿岩的展布方向一致,呈东西向,长约 2km,宽度约 200m<sup>[9, 12]</sup>。由于变质作用的改造,堆晶辉长岩遭受了较强烈的绿片岩相变质作用<sup>[13]</sup>,矿物组成为阳起石(80%)、斜长石(15%~20%)和石英(2%~3%),但仍保存了完整的堆晶岩的结构构造特征,辉石与斜长石呈韵律层交替出现。斜长花岗岩呈浅灰白色,块状构造,中细粒结构,矿物成分主要为斜长石(60%~65%)和石英(35%~40%),局部见白云母和绿泥石(早期角闪石和黑云母变质形成的),楣石、锆石等副矿物较少,基本没有碱性长石。石英呈半自形粒状,粒度普遍比长石小,矿物粒度为 1~2.5mm,多数小于 2mm。斜长石为板柱状,晶形完好,经过后期的变质作用,斜长石内部多钠黝帘

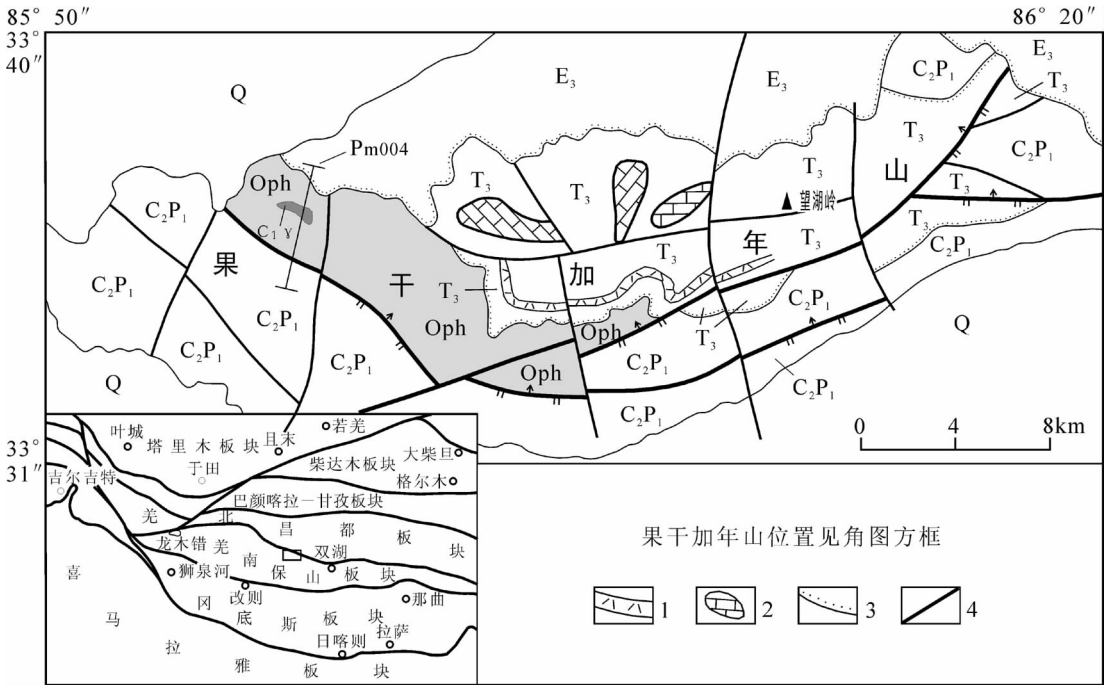


图 1 果干加年山地区地质简图(据参考文献[9]修改)

Fig. 1 The geological sketch map of Guoganjianian Mountain area

Q—第四系;E<sub>3</sub>—渐新统唢呐湖组;T<sub>3</sub>—上三叠统望湖岭组;C<sub>1</sub>γ—早石炭世斜长花岗岩;C<sub>2</sub>P<sub>1</sub>—上石炭统-下二叠统浅变质岩系;Oph—龙木错-双湖缝合带蛇绿岩;Pm004—实测剖面;  
1—望湖岭组流纹岩夹层;2—望湖岭组中的滑塌岩块;3—角度不整合界线;4—主要断层

石化(图 2-3),但由于变质改造不彻底,仍可看到聚片双晶残留。白云母呈鳞片状,闪突起明显,干涉色鲜艳。白云母沿着岩石的新生裂隙生长(图 2-4),为晚期形成的。由于晚期改造作用轻微,斜长石晶形保持完好。因此,斜长花岗岩尽管受到晚期构造作用的影响,但仍保持了原岩的特点。

2 地球化学特征

果干加年山斜长花岗岩主量组分及微量(含稀土)元素分析结果见表 1。

据主量元素分析结果(表 1),果干加年山斜长花岗岩化学成分表现为高硅富钠贫钾的特点。在 SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O<sup>[2]</sup>图(图略)中投点落入典型大洋斜长花岗岩区。SiO<sub>2</sub> 含量为 73.26%~74.63%,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>14.84%~15.35%(均值 15.10%),MgO0.51%~0.53%,TiO<sub>2</sub>0.19%~0.24%,P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>0.08%,K<sub>2</sub>O0.74%~0.77%,(K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O)5.42%~5.75%,Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O=6.32~6.47,属低钾(拉斑玄武质)系列,Mg<sup>#</sup>46.96~47.16。岩石铝饱和指数 [A/CNK=Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/(CaO+Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O)] 均大于 1,在

1.20~1.25 之间,为过铝质。

稀土元素配分曲线(图 4)显示轻稀土元素(LREE)富集,重稀土元素(HREE)较平缓,这与传统的大洋斜长花岗岩相区别<sup>[9]</sup>。通过计算,ΣLREE/ΣHREE=4.59~4.61,稀土元素具总量很低(ΣREE=20.41×10<sup>-6</sup>~22.12×10<sup>-6</sup>)和 Eu 正异常(δEu<sub>N</sub>=2.22~2.38)的特点。原始地幔标准化蛛网图(图 5)显示,Th、La、Ce、Nd 相对富集。Nb、Ta 具有明显的负异常,这类似于俯冲带玄武岩的微量元素特征,可能意味着该斜长花岗岩与俯冲带的构造背景有一定的联系。Sr=338×10<sup>-6</sup>~356×10<sup>-6</sup>,Sr/Y=46.94~55.45,Yb=0.56×10<sup>-6</sup>~0.63×10<sup>-6</sup>,Y=6.42×10<sup>-6</sup>~7.20×10<sup>-6</sup>。

与陆壳花岗岩比较,微量元素分析结果(表 1)表明,岩体低 Rb(24.8×10<sup>-6</sup>~25.4×10<sup>-6</sup>),中等含量 Ba(132×10<sup>-6</sup>~134×10<sup>-6</sup>),Rb/Sr=0.0697~0.0751,中等含量 Zr(113×<sup>-6</sup>~135×10<sup>-6</sup>)、Th(0.49×10<sup>-6</sup>~0.59×10<sup>-6</sup>),而 Cr、Ni、Co、V 和 Zn 含量相对较低。

综上分析,果干加年山斜长花岗岩具有埃达克岩的特征,具有高 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(>15%)、MgO(Mg<sup>#</sup> 为

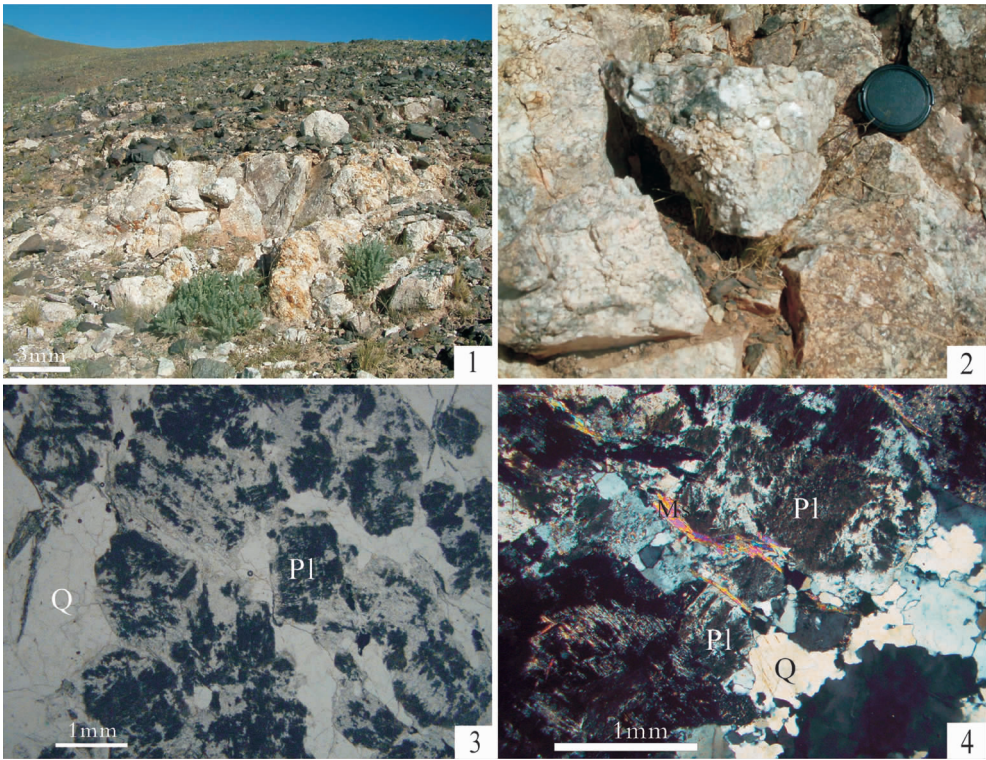


图 2 果干加年山地区斜长花岗岩产状和显微照片

Fig. 2 Occurrence and micrographs of the plagiogranite in the Guoganjianian Mountain area

1—斜长花岗岩产于变质堆晶辉长岩中;2—斜长花岗岩露头近景(镜头盖直径 52mm);  
3—斜长花岗岩斜长石钠黝帘石化;4—后生白云母沿斜长石晚期构造裂隙分带

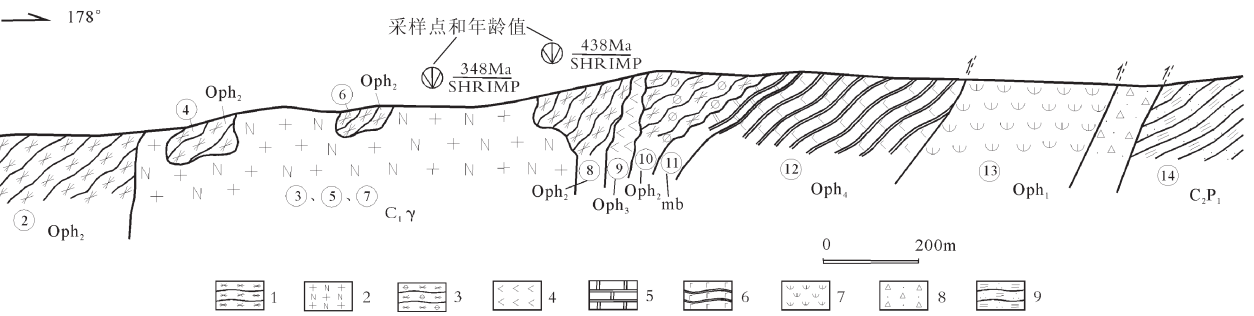


图 3 果干加年山地区斜长花岗岩剖面

Fig. 3 Profile of the plagiogranite in Guoganjianian Mountain area

1—阳起片岩;2—斜长花岗岩;3—石榴阳起片岩;4—角闪岩;5—大理岩;6—变质玄武岩;7—蛇纹岩;8—构造破碎带;  
9—白云母石英片岩;Oph<sub>1</sub>—蛇纹岩(变质橄榄岩);Oph<sub>2</sub>—变质堆晶辉长岩;Oph<sub>3</sub>—变质辉长岩岩墙;Oph<sub>4</sub>—变质玄武岩  
(阳起片岩);C<sub>1</sub>γ—斜长花岗岩;mb—大理岩夹层;C<sub>2</sub>P<sub>1</sub>—上石炭统-下二叠统浅变质岩系;圈码 2~14 为蛇绿岩的分层号

表 1 果干加年山斜长花岗岩主量元素、稀土元素、微量元素分析结果

Table 1 Concentrations of major elements, REE and trace elements  
of the plagiogranite in the Guoganjianian Mountain

| 主量元素     | SiO <sub>2</sub> | TiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MnO  | MgO  | CaO  | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | LOI  | 总量     |      |       |     |      |      |     |      |       |      |      |      |
|----------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|------|-------------------|------------------|-------------------------------|------|--------|------|-------|-----|------|------|-----|------|-------|------|------|------|
| P04-03-1 | 73.26            | 0.19             | 15.35                          | 1.27                           | 0.01 | 0.51 | 2.08 | 4.98              | 0.77             | 0.08                          | 1.12 | 99.62  |      |       |     |      |      |     |      |       |      |      |      |
| P04-03-2 | 74.63            | 0.24             | 14.84                          | 1.33                           | 0.01 | 0.53 | 1.85 | 4.68              | 0.74             | 0.08                          | 1.18 | 100.11 |      |       |     |      |      |     |      |       |      |      |      |
| 稀土元素     | La               | Ce               | Pr                             | Nd                             | Sm   | Eu   | Gd   | Tb                | Dy               | Ho                            | Er   | Tm     | Yb   | Lu    |     |      |      |     |      |       |      |      |      |
| P04-03-1 | 4.16             | 6.04             | 0.92                           | 3.98                           | 0.93 | 0.74 | 1.0  | 0.17              | 0.95             | 0.21                          | 0.56 | 0.099  | 0.56 | 0.093 |     |      |      |     |      |       |      |      |      |
| P04-03-2 | 4.31             | 7.20             | 0.93                           | 4.04                           | 0.96 | 0.73 | 1.06 | 0.17              | 1.04             | 0.23                          | 0.63 | 0.10   | 0.63 | 0.096 |     |      |      |     |      |       |      |      |      |
| 微量元素     | Li               | Be               | Sc                             | V                              | Cr   | Co   | Ni   | Cu                | Zn               | Ga                            | Ge   | Rb     | Sr   | Y     | Zr  | Nb   | Cs   | Ba  | Hf   | Ta    | Pb   | Th   | U    |
| P04-03-1 | 18.8             | 0.73             | 3.15                           | 21.6                           | 7.61 | 1.99 | 8.11 | 3.81              | 49.5             | 15.0                          | 0.57 | 24.8   | 356  | 6.42  | 113 | 0.75 | 1.66 | 134 | 2.68 | 0.064 | 6.85 | 0.49 | 0.78 |
| P04-03-2 | 25.3             | 0.76             | 3.58                           | 23.6                           | 6.63 | 2.34 | 9.0  | 5.31              | 30.0             | 14.9                          | 0.57 | 25.4   | 338  | 7.20  | 135 | 1.01 | 1.69 | 132 | 3.13 | 0.083 | 7.13 | 0.59 | 1.11 |

注:由西北大学大陆动力学国家重点实验室测试;氧化物含量为%,稀土和微量元素含量为 10<sup>-6</sup>

46.96~47.16)、Na<sub>2</sub>O>K<sub>2</sub>O (Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O>2), 高 Sr 和 Sr/Y 比值 (>20~40); 低 HREE (Yb<1.9×10<sup>-6</sup> 和 Y<18×10<sup>-6</sup>) 的特点。稀土元素明显分异, 配分曲线右倾 (La/Yb=6.841~7.429), 并且出现明显的正 Eu 异常(图 4)。微量元素蛛网图呈尖棱状, 出现强烈的 Sr 峰和明显的右倾形式(图 5)。高 Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O 比表明基性火成岩的源区。高 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Sr 和正 Eu 异常、HREE 亏损, 反映部分熔融出现在较高的压力条件下, 这类花岗岩常常与 SSZ 型蛇绿岩共生, 可以见于蛇绿岩的各个单元的岩石中, 以地幔橄榄岩层序中最为常见, 它的形成时间代表了洋壳俯冲的时间<sup>[1]</sup>。

3 锆石 SHRIMP U-Pb 年代学

为了精确地测定果干加年山斜长花岗岩的形成

年龄, 选择了 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄测定方法。在廊坊区域地质调查院用常规方法从样品中分离锆石, 分离出的锆石阴极发光图像显示锆石具有较典型的岩浆振荡环带结构(图 6), 应为岩浆成因, 且晶形相对完整, 长约 150μm, 长/宽比为 1:3~2:5, 符合岩浆型锆石的特点, 其年龄数据代表了斜长花岗质岩浆的结晶年龄, 或者说代表了斜长花岗岩的形成时代。单矿物锆石样品靶和锆石阴极发光照相在中国地质科学院地质研究所北京离子探针中心完成, 斜长花岗岩锆石 U-Pb 同位素分析在北京离子探针中心 SHRIMP II 型离子探针仪上完成, 详细的分析原理和流程参见宋彪等<sup>[15]</sup>和 Williams 等<sup>[16]</sup>的相关文献, 仪器工作调节和分析方法详见宋彪等<sup>[15]</sup>的相关文献。数据处理采用 Ludwig<sup>[17-18]</sup>的 SQUID1.0 和

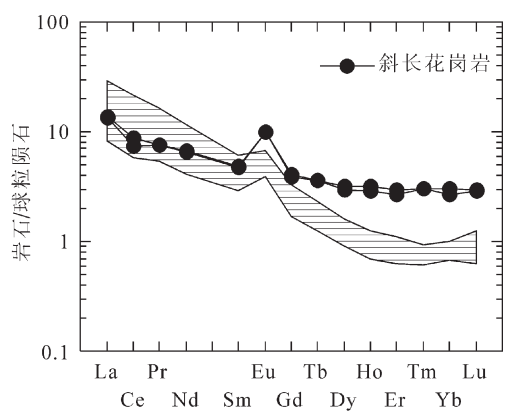


图 4 斜长花岗岩稀土元素配分曲线  
(球粒陨石据 Boynton,1984;俯冲型花岗岩据参考文献[14])

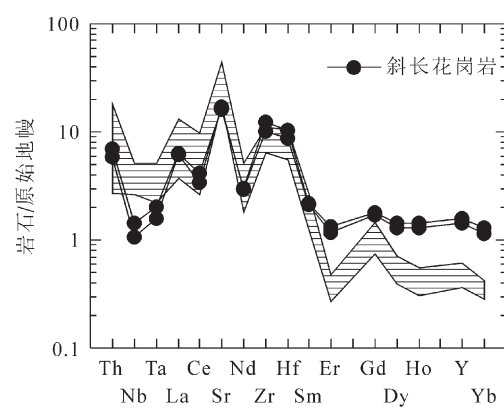


图 5 斜长花岗岩微量元素蛛网图  
(原始地幔据 Sun 等,1989;俯冲型花岗岩据参考文献[14])

Fig. 4 REE distribution pattern curves of the plagiogranite

Fig. 5 Trace elements spidergram of the plagiogranite

ISOPLOT 程序,衰变常数使用 Steiger 等<sup>[19]</sup>的推荐值,普通铅校正使用直接测定  $^{208}\text{Pb}$  的方法<sup>[20]</sup>。表 2 中所列单次测量的数据点的误差为  $1\sigma$ 。所有样品均采用  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄,加权平均值具有 95%的置信度。

本次共测定了 22 个锆石颗粒获得 23 组数据。已有研究表明,岩浆型锆石  $\text{Th}/\text{U}$  比值大于 0.1,而且各锆石的  $\text{Th}$  和  $\text{U}$  之间具有正相关关系<sup>[21]</sup>。从表 2 可以看出,锆石  $\text{U}$  含量变化范围(排除 3.1U-Pb 分析点(为捕获锆石)数据,以下均同)在  $1669\times10^{-6}\sim3768\times10^{-6}$  之间,  $\text{Th}/\text{U}$  比值变化于 0.17~0.27 之间,除 1 个点外,其他所有数据点在  $\text{U}-\text{Pb}$  谐和图(图 7)上集中落在谐和线上及其附近。所获得的 23 个

$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  比值介于 0.0456~0.0602 之间,  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$  为 0.352~0.460,获得  $(348\pm9)\text{Ma}$  的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  谐和年龄。

通过上述分析,蛇绿混杂岩中斜长花岗岩的 SHRIMP 锆石  $\text{U}-\text{Pb}$  年龄为  $348\text{Ma}\pm9\text{Ma}$ ,为斜长花岗岩的形成年龄,属早石炭世早期。

4 岩石成因与构造意义讨论

在 Maniar 等<sup>[22]</sup>花岗岩的构造环境类型划分图解中(图略),斜长花岗岩均落入大洋斜长花岗岩

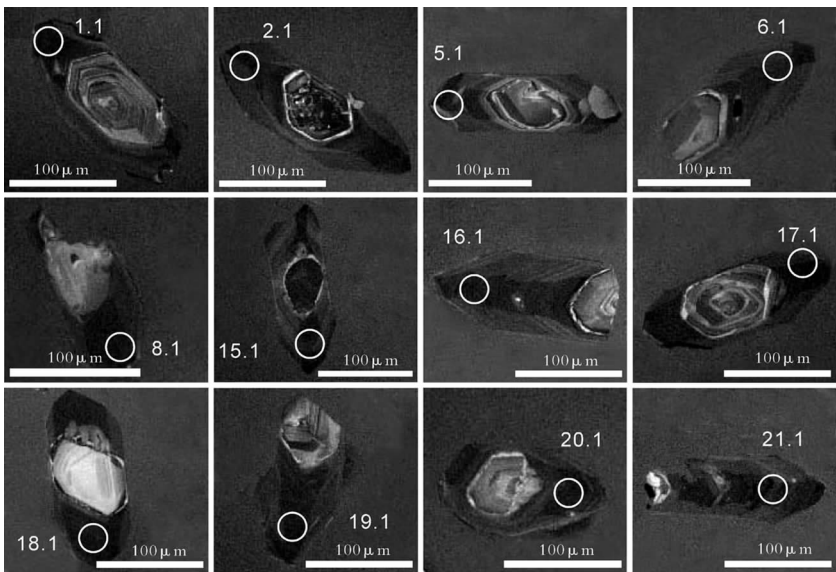


图 6 果干加年山斜长花岗岩代表性锆石阴极发光图像  
Fig. 6 Representative cathodoluminescence images of zircons from the plagiogranite in Guoganjianian Mountain

区。但在 CIPW 标准矿物中,样品含有少量刚玉(2.72%~3.15%),与传统大洋斜长花岗岩相区别。Coleman 和 Peterman 认为海底扩张有利于大洋斜长花岗岩的形成,尽管这一岩石在 Coleman 和 Peterman 定义的斜长花岗岩的范畴内,但根据其 REE、Sr 同位素组成和明显晚于堆晶辉长岩的年代<sup>[9,13]</sup>关系,也就是晚于早古生代蛇绿岩的形成时代关系,推断其成因与俯冲消减作用而不是与大洋中脊玄武质岩浆的演化作用有关。

表 2 果干加年山斜长花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年结果

Table 2 SHRIMP U-Pb dating results of zircons of the plagiogranite in Guoganjianian Mountain

| 测点编号        | $^{206}\text{Pb}_c$<br>‰ | U<br>$/10^{-6}$ | Th<br>$/10^{-6}$ | $^{232}\text{Th}$<br>$^{238}\text{U}$ | $^{206}\text{Pb}^*$<br>$/10^{-6}$ | $^{207}\text{Pb}^*$<br>$^{206}\text{Pb}^*$ | $^{207}\text{Pb}^*$<br>$^{235}\text{U}$<br>±% | $^{206}\text{Pb}^*$<br>$^{238}\text{U}$<br>±% | 误差校正<br>±% | $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$<br>年龄/Ma | $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$<br>年龄/Ma | 不谐和度<br>/% |       |      |     |     |     |
|-------------|--------------------------|-----------------|------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------|------------|-------|------|-----|-----|-----|
| P04-03-1.1  | 0.14                     | 2638            | 612              | 0.24                                  | 137                               | 0.05331                                    | 0.96                                          | 0.443                                         | 3.3        | 0.0602                                    | 3.2                                        | 0.957      | 377   | ±12  | 342 | ±22 | -10 |
| P04-03-2.1  | 0.14                     | 2111            | 356              | 0.17                                  | 104                               | 0.05457                                    | 1.3                                           | 0.432                                         | 3.4        | 0.0574                                    | 3.2                                        | 0.926      | 360   | ±11  | 395 | ±29 | 9   |
| P04-03-3.1  | 0.28                     | 623             | 354              | 0.59                                  | 43.7                              | 0.0577                                     | 2.0                                           | 0.649                                         | 3.8        | 0.0815                                    | 3.2                                        | 0.846      | 505   | ±15  | 519 | ±44 | 3   |
| P04-03-4.1  | 0.00                     | 2838            | 409              | 0.15                                  | 137                               | 0.05922                                    | 0.75                                          | 0.460                                         | 3.2        | 0.0564                                    | 3.2                                        | 0.973      | 353   | ±11  | 575 | ±16 | 39  |
| P04-03-5.1  | 0.84                     | 2060            | 481              | 0.24                                  | 90.5                              | 0.0548                                     | 2.5                                           | 0.383                                         | 4.0        | 0.0507                                    | 3.2                                        | 0.788      | 318.7 | ±9.9 | 405 | ±55 | 21  |
| P04-03-6.1  | 1.07                     | 2645            | 547              | 0.21                                  | 121                               | 0.0550                                     | 2.1                                           | 0.399                                         | 3.8        | 0.0526                                    | 3.2                                        | 0.833      | 331   | ±10  | 413 | ±47 | 20  |
| P04-03-6.2  | 0.32                     | 2099            | 410              | 0.20                                  | 107                               | 0.05384                                    | 1.4                                           | 0.441                                         | 3.5        | 0.0594                                    | 3.2                                        | 0.914      | 372   | ±11  | 364 | ±32 | -2  |
| P04-03-7.1  | 1.36                     | 2544            | 575              | 0.23                                  | 110                               | 0.0576                                     | 3.2                                           | 0.394                                         | 4.5        | 0.0495                                    | 3.2                                        | 0.700      | 311.5 | ±9.7 | 516 | ±71 | 40  |
| P04-03-8.1  | 0.11                     | 2217            | 514              | 0.24                                  | 111                               | 0.05367                                    | 1.1                                           | 0.430                                         | 3.4        | 0.0581                                    | 3.2                                        | 0.943      | 364   | ±11  | 357 | ±25 | -2  |
| P04-03-9.1  | 1.59                     | 2676            | 530              | 0.20                                  | 110                               | 0.0555                                     | 3.0                                           | 0.359                                         | 4.3        | 0.0469                                    | 3.2                                        | 0.731      | 295.5 | ±9.2 | 434 | ±66 | 32  |
| P04-03-10.1 | 0.20                     | 1868            | 314              | 0.17                                  | 91.3                              | 0.05272                                    | 1.8                                           | 0.413                                         | 3.7        | 0.0568                                    | 3.2                                        | 0.865      | 356   | ±11  | 317 | ±42 | -12 |
| P04-03-11.1 | 1.69                     | 3370            | 776              | 0.24                                  | 143                               | 0.0537                                     | 2.9                                           | 0.358                                         | 4.3        | 0.0484                                    | 3.2                                        | 0.743      | 304.6 | ±9.4 | 357 | ±64 | 15  |
| P04-03-12.1 | 0.39                     | 3339            | 583              | 0.18                                  | 131                               | 0.05601                                    | 1.2                                           | 0.352                                         | 3.4        | 0.0456                                    | 3.2                                        | 0.932      | 287.1 | ±8.9 | 453 | ±27 | 37  |
| P04-03-13.1 | 0.58                     | 2507            | 581              | 0.24                                  | 107                               | 0.05549                                    | 1.6                                           | 0.377                                         | 3.5        | 0.0492                                    | 3.2                                        | 0.896      | 309.8 | ±9.6 | 432 | ±35 | 28  |
| P04-03-14.1 | 1.62                     | 2825            | 742              | 0.27                                  | 121                               | 0.0619                                     | 2.3                                           | 0.420                                         | 4.0        | 0.0492                                    | 3.2                                        | 0.811      | 309.7 | ±9.7 | 669 | ±50 | 54  |
| P04-03-15.1 | 0.12                     | 1669            | 240              | 0.15                                  | 83.6                              | 0.05299                                    | 1.3                                           | 0.426                                         | 3.4        | 0.0583                                    | 3.2                                        | 0.928      | 365   | ±11  | 328 | ±29 | -11 |
| P04-03-16.1 | 0.56                     | 2316            | 531              | 0.24                                  | 109                               | 0.05552                                    | 1.5                                           | 0.419                                         | 3.5        | 0.0547                                    | 3.2                                        | 0.902      | 343   | ±11  | 433 | ±34 | 21  |
| P04-03-17.1 | 1.09                     | 2722            | 643              | 0.24                                  | 127                               | 0.0546                                     | 1.9                                           | 0.406                                         | 3.8        | 0.0539                                    | 3.2                                        | 0.861      | 339   | ±11  | 397 | ±43 | 15  |
| P04-03-18.1 | 0.81                     | 3658            | 854              | 0.24                                  | 179                               | 0.05191                                    | 1.7                                           | 0.405                                         | 2.9        | 0.0566                                    | 2.3                                        | 0.805      | 355.1 | ±8.1 | 281 | ±40 | -26 |
| P04-03-19.1 | 0.46                     | 2842            | 539              | 0.20                                  | 139                               | 0.0527                                     | 2.1                                           | 0.410                                         | 3.2        | 0.0565                                    | 2.4                                        | 0.747      | 354.2 | ±8.1 | 314 | ±48 | -13 |
| P04-03-20.1 | 0.96                     | 3307            | 815              | 0.25                                  | 163                               | 0.0538                                     | 2.1                                           | 0.421                                         | 3.1        | 0.0568                                    | 2.4                                        | 0.747      | 356.2 | ±8.1 | 362 | ±47 | 2   |
| P04-03-21.1 | 2.03                     | 3768            | 846              | 0.23                                  | 171                               | 0.0541                                     | 2.8                                           | 0.387                                         | 3.6        | 0.0518                                    | 2.4                                        | 0.648      | 325.8 | ±7.5 | 376 | ±62 | 13  |
| P04-03-22.1 | 0.74                     | 2649            | 635              | 0.25                                  | 121                               | 0.05485                                    | 1.8                                           | 0.399                                         | 3.0        | 0.0527                                    | 2.4                                        | 0.798      | 331.3 | ±7.6 | 406 | ±40 | 18  |

注:  $^{206}\text{Pb}_c$ (%)指普通  $^{206}\text{Pb}$  占总  $^{206}\text{Pb}$  的百分比,  $\text{Pb}^*$  表示放射性成因 Pb

斜长花岗岩侵入体在微量元素蛛网图(图 5)上,曲线呈尖棱状,具有 Sr 正异常和 Nb 负异常,这些特征明显不同于多数蛇绿岩中分异出的典型的大洋斜长花岗岩。另一方面,由基性岩浆分离结晶产生酸性岩浆,并使 REE 发生高程度的富集,要求分馏系数非常小,也就是说,有大量物质(辉石、角闪石、斜长石)结晶,产生很少量的残余岩浆。斜长石对 Sr 和 Eu 的分配系数大于 1,斜长石结晶的过程中使岩浆中的 Sr 和 Eu 大量消耗,在残留岩浆中 Sr 和 Eu 含量将大大下降,这与斜长花岗岩中 Sr 的含量高和 Eu 不亏损不相符。斜长石一般具有很大的 Eu 正异常,斜长石中 Eu 亏损与富集的程度取决于岩浆分异演化的程度,岩浆强烈分离结晶会引起长石中 Eu 发生亏损,由基性岩浆形成斜长花岗岩必须是岩浆强烈分离结晶,其结果是斜长石中的 Eu 发生亏损<sup>[23]</sup>。所以,由斜长石分离结晶而形成的可能性不大,因为在分离结晶过程中大量斜长石的结晶不会使 LREE 富集,反而使 Eu 亏损。而果干加年山斜长花岗岩中斜长石富 Eu,与上述情况不符。并且果干加年山斜长花岗岩的地球化学数据与蛇绿岩俯冲成因的花岗质岩石<sup>[1,6,14]</sup>的稀土元素配分曲线(图 4 阴影部分)、微量元素蛛网图(图5 阴影部分)吻合较好,反映了该斜长花岗岩为俯冲型花岗岩。因此,果干加年山斜长花岗岩不是结晶分异形成的,很可能是俯冲带消减板片直接部分熔融形成的。

消减板片主要由具 MORB 特征的洋壳及少量深海沉积物组成,板片直接部分熔融产生中酸性岩浆,这种中酸性岩浆上侵到上覆的地幔橄榄岩中,一部分与地幔橄榄岩交代后上侵到地壳中或喷出地表,形成埃达克质侵入岩或埃达克岩;另一部分保留在地幔橄榄岩中,并与这些地幔橄榄岩一起仰冲到陆壳上,构成蛇绿混杂岩<sup>[1]</sup>。果干加年山斜长花岗岩高  $Al_2O_3$ ,富 Na,具 Eu 正异常,高 Sr 和 Sr/Y 比值,低 HREE,低 Yb、Y,低 Nb( $0.75\times 10^{-6}\sim 1.01\times 10^{-6}$ )、Ta( $0.064\times 10^{-6}\sim 0.083\times 10^{-6}$ ),La/

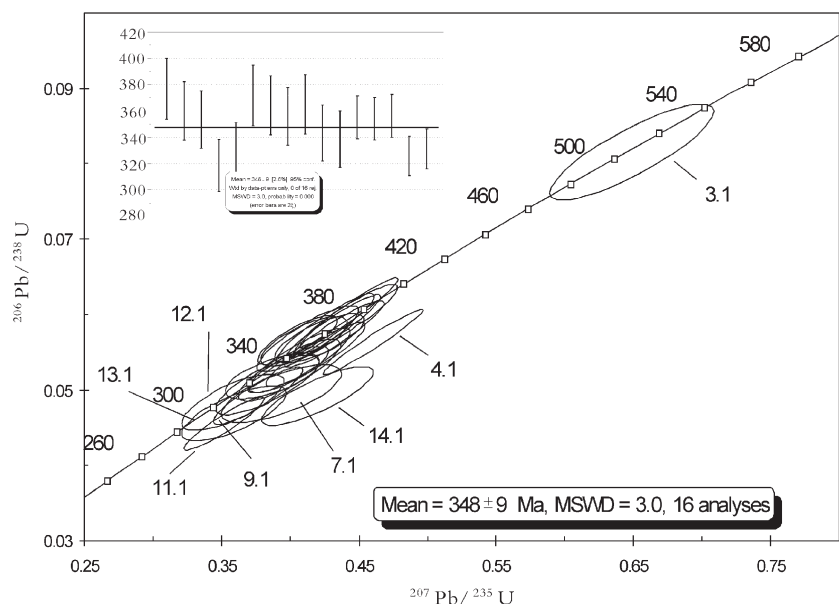


图 7 果干加年山斜长花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 谐和曲线图  
Fig. 7 SHRIMP U-Pb concordant diagram of zircons from the plagiogranite in Guoganjianian Mountain

Nb=4.27~5.55。高  $Al_2O_3$ 、 $Na_2O$ ,Eu 正异常,高 Sr 说明源区很少或没有斜长石,低 HREE 说明源区含有石榴子石,低 Nb、Ta 说明源区存在含 Ti 相矿物(如金红石)或角闪石。通过分析,果干加年山斜长花岗岩为俯冲的大洋岩石圈在高压条件下小比例部分熔融形成的,源区残留矿物有较大比例的角闪石和石榴子石。

5 结 论

与蛇绿岩关系密切的斜长花岗岩存在多种成因类型,通过野外地质调查和岩石学、地球化学、锆石组成等的综合研究确定其成因类型,对蛇绿岩中相关岩类 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学研究至关重要。果干加年山斜长花岗岩上述综合特征显示它不是堆晶辉长岩等基性岩浆分离结晶的产物,更可能是俯冲带消减板片直接部分熔融形成的。其形成时代为早石炭世早期,代表了洋壳俯冲的时间,是古特提斯洋壳的一次俯冲消减事件的记录。

致谢:野外工作得到李才教授的细心指导,葛文春教授、张旗研究员对论文初稿进行了详细审阅,并提出了建设性的修改意见,在此向他们表示衷心的感谢!

## 参考文献

- [1]李武显,李献华.蛇绿岩中的花岗质岩石成因类型与构造意义[J]. 地球科学进展, 2003, 18(3): 392–397.
- [2]Coleman R G, Peterman Z E. Oceanic plagiogranite[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1975, 80(8): 1099–1108.
- [3]Coleman R G, Donato M M. Oceanic plagiogranite revisited[C]// Barker F. *Trondhjemites, dacites, and related rocks*. Amsterdam: Elsevier Sci. Publ. Co., 1979:150–168.
- [4]Flagler P A, Spray J G, Nakamura K, et al. Generation of plagiogranite by amphibolite anatexis in oceanic shear zones[J]. *Geology*, 1991, 19(1): 70–73.
- [5]Pedersen R B, Malpas J. The origin of oceanic plagiogranites from the Karmøy Ophiolite, western Norway [J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1984, 88(1/2): 36–52.
- [6]李武显,李献华.赣东北蛇绿岩中的埃达克型花岗岩——地球化学和 Nd 同位素证据[J]. *高校地质学报*, 2004, 10(2): 199–208.
- [7]Pearce J A. High T/P metamorphism and granite genesis beneath ophiolite thrust sheets[J]. *Ofoliti*, 1989, 14(3): 195–211.
- [8]Cox J, Searle M, Pedersen R. The petrogenesis of leucogranitic dykes intruding the northern Semail ophiolite, United Arab Emirates; field relationships, geochemistry and Sr/Nd isotope systematics [J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1999, 137(3): 267–287.
- [9]李才,董永胜,翟庆国,等.青藏高原羌塘早古生代蛇绿岩——堆晶辉长岩的锆石 SHRIMP 定年及其意义[J]. *岩石学报*, 2008, 24(1): 31–36.
- [10]李才,黄小鹏,翟庆国,等.龙木错—双湖—吉塘板块缝合带与青藏高原冈瓦纳北界[J]. *地学前缘*, 2006, 13(4): 136–147.
- [11]Hening A. *Eur Petrographic and Geologie Von Sudwest Tibet. Southern Tibet*[J]. *Noratet*, 1915, 5: 220.
- [12]李才,翟庆国,董永胜,等.冈瓦纳大陆北缘早期的洋壳信息——来自青藏高原羌塘中部早古生代蛇绿岩的依据[J]. *地质通报*, 2008, 27(10): 1605–1612.
- [13]王立全,潘桂棠,李才,等.藏北羌塘中部果干加年山早古生代堆晶辉长岩的锆石 SHRIMP U–Pb 年龄——兼论原—古特提斯洋的演化[J]. *地质通报*, 2008, 27(12): 2045–2056.
- [14]Li W X, Li X H. Adakite granites within the NE Jiangxi Ophiolites, South China : Geochemical and Nd isotopic evidence [J]. *Precambrian Research*, 2003, 122: 29–44.
- [15]宋彪,张玉海,万渝生. 锆石 SHRIMP 样品靶制样、年龄测定及有关现象讨论[J]. *地质论评*, 2002, 48 (增刊): 26–30.
- [16]Williams I S, Claesson S. Isotopic evidence for the Precambrian provenance and Caledonian metamorphism of high grade paragneisses from the Seve Nappes, Scandinavian Caledonides: 2, Ion microprobe zircon U–Th–Pb [J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1987, 97(2): 205–217.
- [17]Ludwig K R. *Spuid 1.02: A user manual*[J]. *Berkeley Geochronological Center, Special Publication*, 2001, 34: 219.
- [18]Ludwig K R. *Using Isoplot/EX, version 2, A geochronological Toolkit for Microsoft Excel*[M]. *Berkeley Geochronological Center Special Publication 1a*, 1999:47.
- [19]Steiger R H, Jaeger E. Subcommission on geochronology; convention on the use of decay constants in geo- and cosmochemistry[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1977, 36(3): 359–362.
- [20]Compston W, Williams I S, Meyer C E. U–Pb geochronology of zircons from lunar breccia 73217 using a sensitive high mass–resolution ion microprobe[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1984, 89: (Suppl.B): 525–534.
- [21]Claesson S, Vetrin V, Bayanova T, et al. U–Pb zircon ages from a Devonian carbonatite dyke, Kola Peninsula, Russia: a record of geological evolution from the Archaean to the Palaeozoic [J]. *Lithos*, 2000, 51(1/2): 95–108.
- [22]Maniar P D, Piccoli P M. Tectonic discrimination of granitoids[J]. *Geological Society of America Bulletin*, 1989, 101(5): 635–643.
- [23]王一先,包志伟. 赣东北蛇绿混杂岩带中大洋斜长花岗岩的地球化学和岩石成因[J]. *地球化学*, 1999, 28(4): 367–373.