

# 西藏班公湖—怒江结合带中段恐弄拉地区 辉长岩特征及其地质意义

廖铸敏,曾禹人,白培荣,黄建国,李月森

(贵州省地质调查院,贵州 贵阳 550081)

**[摘 要]**通过对恐弄拉地区马前蛇绿混杂岩中辉长岩进行岩石学、地球化学等特征的研究,明确其属副长石辉长岩、钾玄岩系列;大离子亲石元素中 Rb、K、P 相对富集,Th、Sr 亏损,高场强元素中 Nb、Ta 富集,而 Zr、Hf 相对亏损,岩浆源为富集型地幔,熔融程度较高,根据  $TiO_2/10-MnO-P_2O_5$  构造环境判别图解,岩石形成于洋岛环境下。采用 LA-MC-ICP-MS 技术获得锆石 U-Pb 同位素年龄为  $166.9\pm2.5$  Ma( $n=16$ ,MSWD=3.4)。笔者认为恐弄拉地区的辉长岩是中侏罗世中期(巴通期)怒江洋盆加速萎缩、俯冲带附近地幔活动强烈、洋壳向南侧冈底斯地块俯冲加剧时洋岛碱性玄武岩岩浆活动的产物。

**[关键词]** 锆石 U-Pb;中侏罗世;地球化学;恐弄拉;西藏

**[中图分类号]** P588.12<sup>+</sup>4;P595 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1000-5943(2017)04-0273-07

班公湖—怒江结合带横贯西藏中部,带内断续出露众多蛇绿混杂岩,前人对其形成演化及年代学有诸多研究。其中,有学者通过对这些蛇绿岩或蛇绿岩中的辉长岩进行锆石 U-Pb 测年,获得过  $184.2\pm3.0$  Ma 和  $167.0\pm1.4$  Ma 的年龄值,并认为这些年龄分别代表了班公湖—怒江洋盆的打开和俯冲消减时间(曲晓明等,2010;史仁灯,2007)。不仅如此,许多学者在与造山带演化密切相关的中酸性岩体中也获取了能反映怒江洋萎缩时限的可靠数据,如班怒带中段恐弄拉地区卡来花岗岩闪长斑岩中反映怒江洋盆开始萎缩的年龄值  $175.0\pm2.7$  Ma(曾禹人等,2017)。

本次,笔者通过在恐弄拉地区开展的 1:5 万区调工作中发现的蛇绿混杂岩,尝试通过对其中重要组成部分的辉长岩进行地球化学研究,判断该套岩体的大地构造背景,探讨其成岩环境,从而为更进一步的研究班怒带中段的地质演化提供不一样的数据支持。

地构造属于班公湖—双湖—怒江—昌宁对接带一级构造区,分属于班公湖—怒江结合带二级构造区,位于班公湖—怒江蛇绿混杂岩带三级构造区(潘桂棠等,2013)。区内岩浆岩出露较多,主要有变质基性岩、蛇绿岩、中酸性侵入岩和火山岩。蛇绿岩为马前乡蛇绿混杂岩(J-K<sup>m</sup>)中的蛇绿岩残片,包括苦橄玢岩及其配套产出的辉长岩、角闪辉石岩、玄武岩、玄武质火山碎屑岩等。

辉长岩在大日玛儿波至通那一带断续出露,呈近东西向、北西向、北西西向延伸,以岩墙群的形式产出,倾向南西,长度百余米至十几公里不等,宽度几十至几百米不等。在研究区最西侧,辉长岩呈断夹块产于下白垩统桂牙岩组与古新统一始新统牛堡组之间;在通那一数那敌来一带,辉长岩呈断块形式产出于中侏罗世花岗岩闪长斑岩和中侏罗统桑卡拉侖组之间(图 1)。

## 2 岩石学、地球化学特征

### 2.1 岩石学特征

研究区位于西藏班戈县北侧恐弄拉一带,大

本次辉长岩样品由贵州省地质调查院岩矿鉴

[收稿日期] 2017-09-28

[基金项目] 中国地质调查局项目《西藏恐弄拉 1:5 万四幅区域地质调查》(编号:12120114062301)资助。

[作者简介] 廖铸敏(1988—),女,工程师,长期从事区域地质矿产调查研究工作。E-mail:515991998@qq.com

[通讯作者] 曾禹人(1986—),男,在读博士,高级工程师,长期从事区域地质矿产调查研究工作。E-mail:287057210@qq.com

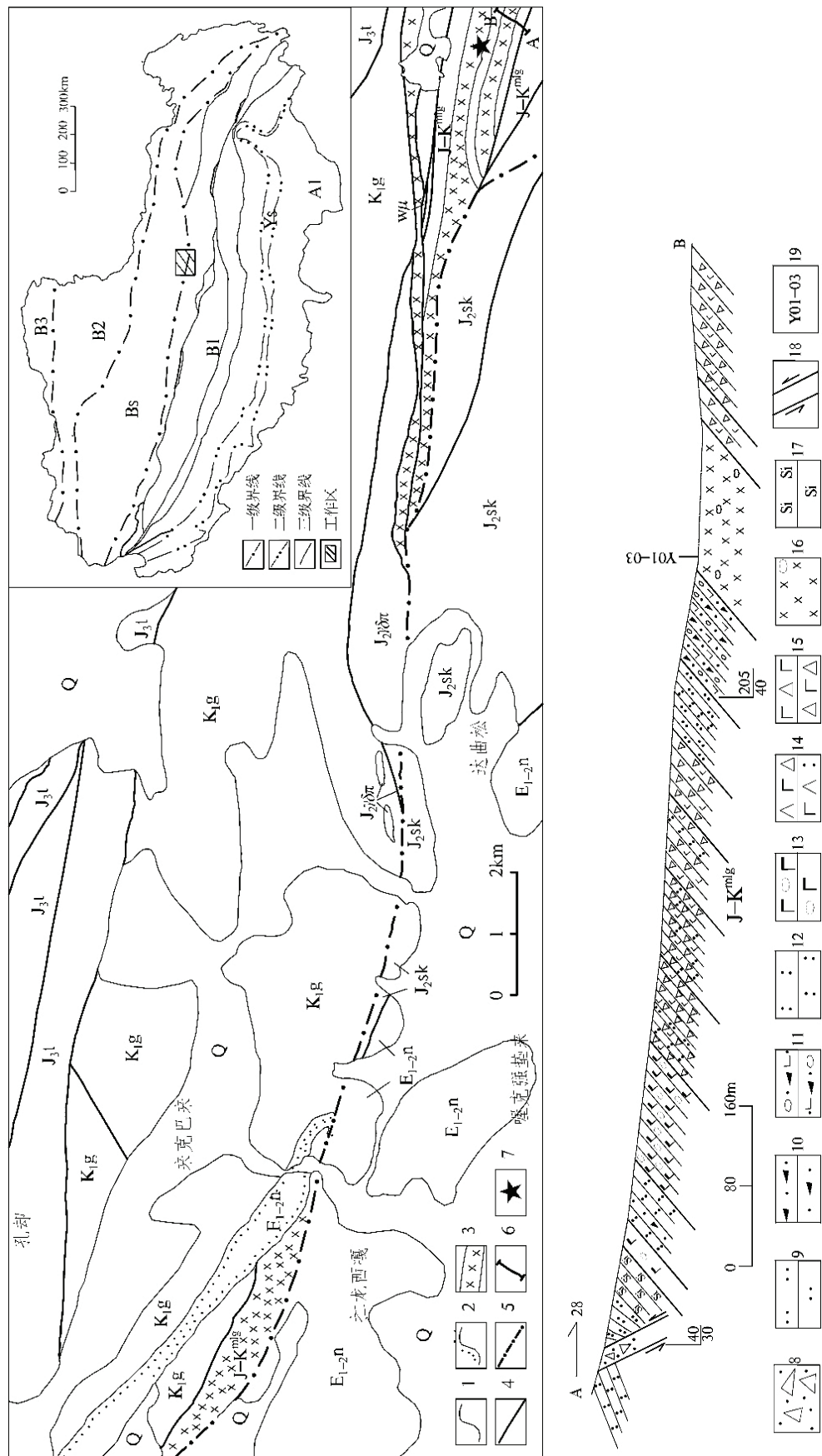


图1 西藏班戈县恐弄拉地区地质简图、大地构造位置图及采样位置剖面图

Fig.1 Geological sketch, geotectonic position and sampling location of Kongnongla area in Bange, Tibet

1—地质界线; 2—角度不整合界线; 3—辉长岩体; 4—断层; 5—一级界线; 6—采样剖面位置; 7—铅石取点; 8—第四系堆积物; 9—粉砂岩; 10—岩屑砂岩; 11—含钙质砾质岩屑砂岩; 12—沉凝灰岩; 13—含杏仁状拉斑玄武岩; 14—玄武质凝灰角砾岩; 15—玄武质火山角砾岩; 16—含杏仁状拉斑玄武岩; 17—硅质岩; 18—断层带; 19—采样位置及编号; A<sub>1</sub>—喜马拉雅板片; B<sub>1</sub>—冈底斯—念青唐古拉板片; B<sub>2</sub>—羌塘—三江复合板片; B<sub>3</sub>—南昆仑—巴颜喀拉板片; Y<sub>s</sub>—雅鲁藏布江缝合带; B<sub>s</sub>—班公湖—怒江缝合带; Q—第四系; E<sub>1-2</sub>n—古新世—始新世牛堡组; K<sub>1</sub>g—下白垩统桂牙组; J<sub>3</sub>l—侏罗统卡里组; J<sub>3</sub>t—侏罗统桑卡组; J<sub>2</sub>sk—中侏罗统花冈闪长斑岩; J<sub>2</sub>g—侏罗统桑卡组; J<sub>1-2</sub>n—中侏罗统卡里组; J<sub>1</sub>—侏罗统桑卡组; wμ—苦橄玢岩

定中心鉴定,定名为含杏仁辉长岩,呈深灰褐色、深墨绿色,具辉长结构或自形一半自形粒状结构,具块状构造或杏仁状构造。其中杏仁体为绿泥石充填气孔形成,含量约 3%,直径<5.00 mm,形态不一(不规则状)。岩石由斜长石、辉石及少量不透明矿物共同构成。其中,斜长石约占样品总量 58%~70%,发育聚片双晶,结晶粒度<5.00~0.20 mm,中细粒,板柱状,自形一半自形,具弱绢云母化现象;辉石约占样品总量 26%~37%,种属为普通辉石,结晶粒度<5.00~0.20 mm,中细粒,柱状,自形一半自形,具弱角闪石化现象,具典型辉石式解理,多色性不显著。不透明矿物约占样品总量 2%~5%,结晶粒度<2.00~0.20 mm、细粒,粒状,自形一半自形。

2.2 地球化学特征

2.2.1 主量元素

本次研究在马前乡蛇绿混杂岩中采取 3 件辉长岩样品进行全岩地球化学分析,其采样位置见图 1,样品分析测试在成都综合岩矿测试中心完成。辉长岩硅酸盐含量分析结果表(表 1),SiO<sub>2</sub> 含量 48.18%~48.75%,TiO<sub>2</sub> 含量 3.07%~3.25%,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量 13.39%~13.62%,MgO 含量为 3.82%~4.09%,Mg<sup>#</sup> 介于 35.87~

37.38,介于印度洋辉长岩的 Mg<sup>#</sup> 范围(32~88),属于蛇绿岩中的镁铁质堆晶岩(Coleman, 1977),低于原生岩浆范围(68-75),表明成岩过程中发生了一定的分异作用。全碱(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O)含量 6.89%~7.18%,从 Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O-SiO<sub>2</sub> 岩类判别图解中(图 2 左),可知所采辉长岩样品属副长石辉长岩,且样品全部落入碱性区。在 K<sub>2</sub>O-SiO<sub>2</sub> 岩浆系列判别图解上(图 2 右),样品均落于钾玄岩系列区域内,说明样品均属于钾玄岩碱性系列。

岩石的 CIPW 标准矿物计算结果表(表 2),样品含有橄榄石(Ol)、透辉石(Di)和紫苏辉石(Hy),不含霞石(Ne),表现为正常系列-SiO<sub>2</sub> 低度不饱和状态。其固结指数(SI)16.94~17.77,平均 17.29,分异指数(DI)48.56~50.34,平均 49.60,反映出岩浆成岩固结性较差,分异程度较高。

2.2.2 微量和稀土元素

从微量元素原始地幔蛛网图(图 3 左)上看,样品曲线整体呈平坦一向右缓倾的配分型式,大离子亲石元素中 Rb、K、P 相对富集,Th、Sr 亏损,高场强元素中 Nb、Ta 富集,而 Zr、Hf 相对亏损,此外 Y、Yb 也出现明显亏损。样品整体上表现出富集型地幔源区的特征。反映了成岩源浆为富集型地幔。

表 1 辉长岩主量元素、微量元素、稀土元素含量及稀土元素计算表

| Table 1 Content of major elements, trace elements and REE, REE calculation of gabbro |                  |                  |                                |                                |                                  |      |      |      |                   |                  |                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|------|------|------|-------------------|------------------|-------------------------------|
| 样品号                                                                                  | 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> |
| Y01                                                                                  | 48.75            | 3.1              | 13.54                          | 4.99                           | 6.84                             | 0.21 | 3.93 | 7.39 | 2.44              | 4.74             | 0.74                          |
| Y02                                                                                  | 48.18            | 3.25             | 13.39                          | 5.25                           | 6.85                             | 0.22 | 4.09 | 7.56 | 2.39              | 4.5              | 0.77                          |
| Y03                                                                                  | 48.66            | 3.07             | 13.62                          | 4.84                           | 6.83                             | 0.21 | 3.82 | 7.77 | 2.49              | 4.6              | 0.79                          |
| 样品号                                                                                  | Loss             | 总量               | Rb                             | Sr                             | Nb                               | Ta   | Zr   | Hf   | Th                | V                | Cr                            |
| Y01                                                                                  | 2.64             | 99.31            | 57.5                           | 225                            | 66.6                             | 4.14 | 350  | 7.91 | 5.56              | 238              | 30.6                          |
| Y02                                                                                  | 2.86             | 99.31            | 55.3                           | 233                            | 68.3                             | 4.08 | 348  | 6.94 | 6.70              | 239              | 28.9                          |
| Y03                                                                                  | 2.61             | 99.31            | 54.1                           | 221                            | 67.9                             | 4.09 | 345  | 8.59 | 5.18              | 236              | 26.7                          |
| 样品号                                                                                  | Co               | Ni               | Li                             | Sc                             | Mo                               | Cd   | Te   | La   | Ce                | Pr               | Nd                            |
| Y01                                                                                  | 30.8             | 5.72             | 11.0                           | 13.3                           | 0.75                             | 0.13 | 0.04 | 59.4 | 115               | 13.8             | 61.0                          |
| Y02                                                                                  | 33.8             | 7.19             | 11.6                           | 14.0                           | 0.70                             | 0.12 | 0.02 | 57.4 | 115               | 13.7             | 61.3                          |
| Y03                                                                                  | 31.5             | 5.39             | 9.62                           | 13.2                           | 0.72                             | 0.13 | 0.02 | 54.4 | 108               | 13.2             | 58.7                          |
| 样品号                                                                                  | Sm               | Eu               | Gd                             | Tb                             | Dy                               | Ho   | Er   | Tm   | Yb                | Lu               | Y                             |
| Y01                                                                                  | 11.9             | 3.42             | 10.9                           | 1.59                           | 9.19                             | 1.58 | 4.12 | 0.52 | 3.36              | 0.52             | 39.5                          |
| Y02                                                                                  | 12.0             | 3.68             | 11.5                           | 1.70                           | 9.29                             | 1.68 | 4.29 | 0.58 | 3.37              | 0.54             | 39.7                          |
| Y03                                                                                  | 11.8             | 3.43             | 10.8                           | 1.61                           | 8.90                             | 1.56 | 4.14 | 0.52 | 3.31              | 0.50             | 39.9                          |
| 样品号                                                                                  | ΣREE             | LREE             | HREE                           | LREE/HREE                      | La <sub>N</sub> /Yb <sub>N</sub> | δEu  | δCe  |      |                   |                  |                               |
| Y01                                                                                  | 296.30           | 264.52           | 31.78                          | 8.32                           | 12.68                            | 0.90 | 0.95 |      |                   |                  |                               |
| Y02                                                                                  | 296.03           | 263.08           | 32.95                          | 7.98                           | 12.22                            | 0.94 | 0.97 |      |                   |                  |                               |
| Y03                                                                                  | 280.87           | 249.53           | 31.34                          | 7.96                           | 11.79                            | 0.91 | 0.96 |      |                   |                  |                               |

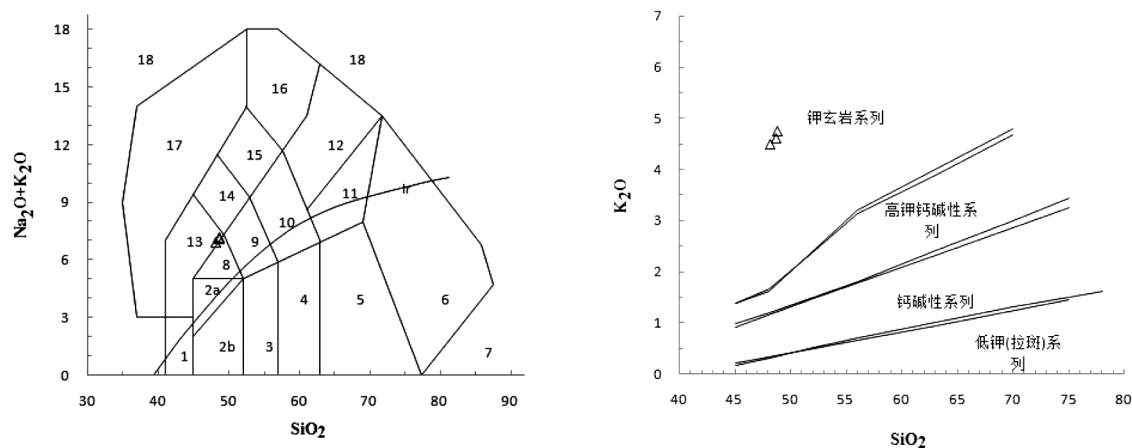


图 2 马前乡蛇绿混杂岩中辉长岩的  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3$  和  $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$  图解

Fig. 2  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}+\text{Al}_2\text{O}_3$  and  $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$  diagram of gabbro from ophiolitic melange in Maqian

1—橄榄辉长岩;2a—碱性辉长岩;2b—亚碱性辉长岩;3—辉长闪长岩;4—闪长岩;5—花岗闪长岩;6—花岗岩;7—硅英岩;8—二长辉长岩;9—二长闪长岩;10—二长岩;11—石英二长岩;12—正长岩;13—副长石辉长岩;14—副长石二长闪长岩;15—副长石二长正长岩;16—副长正长岩;17—副长深成岩;18—霓方钠岩/磷霞岩/粗白榴岩;Ir—Irvine 分界线,上方为碱性,下方为亚碱性

| 表 2 辉长岩 CIPW 标准矿物计算表                                              |          |          |          |          |           |          |
|-------------------------------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|
| Table 2 CIPW standard mineral calculations of granodiorite gabbro |          |          |          |          |           |          |
| 样品号                                                               | 钙长石 (An) | 钠长石 (Ab) | 正长石 (Or) | 透辉石 (Di) | 紫苏辉石 (Hy) | 橄榄石 (Ol) |
| Y01                                                               | 12.41    | 21.36    | 28.98    | 16.65    | 2.85      | 2.9      |
| Y02                                                               | 12.98    | 20.98    | 27.58    | 16.8     | 3.6       | 2.81     |
| Y03                                                               | 12.82    | 21.79    | 28.11    | 17.62    | 1.68      | 3.2      |

| 样品号 | 钛铁矿 (Il) | 磁铁矿 (Mt) | 磷灰石 (Ap) | 锆石 (Zr) | 铬铁矿 (Cm) | 合计     |
|-----|----------|----------|----------|---------|----------|--------|
| Y01 | 6.09     | 6.93     | 1.77     | 0.07    | 0.01     | 100.02 |
| Y02 | 6.4      | 6.93     | 1.85     | 0.07    | 0.01     | 100.01 |
| Y03 | 6.03     | 6.79     | 1.89     | 0.07    | 0.01     | 100.01 |

| 样品号 | 分异指数 (DI) | 密度, g/cc | 液相密度 | 干粘度  | 湿粘度  | 液相线温度 |
|-----|-----------|----------|------|------|------|-------|
| Y01 | 50.34     | 2.96     | 2.63 | 2.38 | 2.25 | 1206  |
| Y02 | 48.56     | 2.97     | 2.64 | 2.29 | 2.17 | 1214  |
| Y03 | 49.9      | 2.96     | 2.63 | 2.37 | 2.25 | 1208  |

| 样品号 | H <sub>2</sub> O 含量 | A(碱性长石) | P(斜长石) | A/CNK | SI    | AR   |
|-----|---------------------|---------|--------|-------|-------|------|
| Y01 | 0.41                | 43.94   | 18.81  | 0.6   | 17.16 | 1.61 |
| Y02 | 0.38                | 41.85   | 19.69  | 0.594 | 17.77 | 1.98 |
| Y03 | 0.41                | 43.07   | 19.65  | 0.587 | 16.94 | 1.61 |

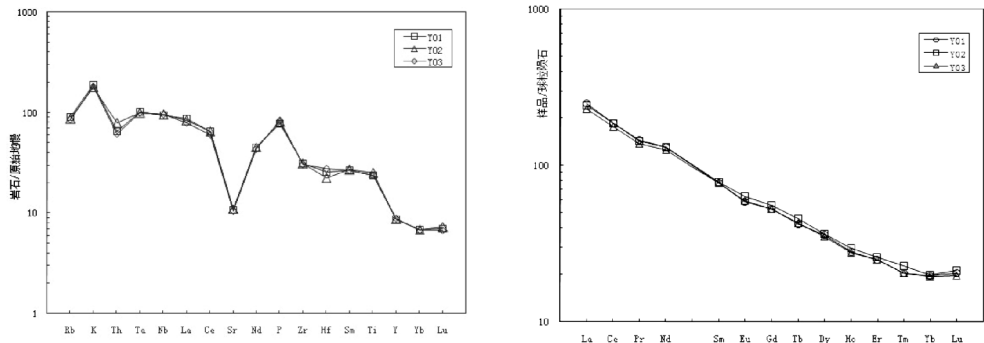


图 3 马前乡蛇绿混杂岩中辉长岩的微量元素原始地幔标准化图和稀土元素球粒陨石标准化图

Fig. 3 Primitive mantle-normalized trace element patterns and Chondrite-normalized REE distribution pattern of gabbro from ophiolitic melange in Maqian

辉长岩稀土元素分析结果见表 1,  $\Sigma \text{REE}$  为  $280.87 \times 10^{-6} \sim 296.30 \times 10^{-6}$ , 平均为  $291.07 \times 10^{-6}$ , 稀土总量较高, 与众多研究者在西藏班公湖蛇绿岩中辉长岩所测稀土总值  $(42.5 \sim 126.43) \times 10^{-6}$  (曹圣华等, 2005; 冯晔等, 2005) 相比较, 分析其原因, 推测是所采样品含有少量杏仁体, 其充填物为绿泥石, 导致所测稀土总量偏高。LREE 为  $249.53 \times 10^{-6} \sim 264.52 \times 10^{-6}$ , 平均  $259.04 \times 10^{-6}$ , HREE 为  $31.34 \times 10^{-6} \sim 32.95 \times 10^{-6}$ , 平均  $32.02 \times 10^{-6}$ , LREE/HREE 为  $7.96 \sim 8.32$ , 平均 8.09, 分配曲线呈向右倾斜且轻稀土相对富集 (图 3 右)。 $\delta \text{Ce}$  值在  $0.95 \sim 0.97$  之间, 平均 0.96, 而  $\delta \text{Eu}$  值为  $0.90 \sim 0.94$  之间, 平均 0.92, 反映铈、铕均具微弱的负异常, 表明斜长石分离结晶程度低。 $(\text{La}/\text{Yb})\text{N}$  介于  $11.79 \sim 12.68$  之间, 平均为 12.23, 表明轻、重稀土元素之间存在明显的分异。综上所述, 表明了岩浆成岩过程中熔融程度较高, 同时有部分上地壳沉积物的参与。

### 3 锆石 U-Pb 测年

#### 3.1 分析方法

本次在马前乡蛇绿混杂岩中的辉长岩获取了一件样品 (D2614) 进行锆石 U-Pb 同位素年代学

研究。采取样品 10 kg 以上送往河北廊坊宇能岩石矿物分选技术服务有限公司进行锆石挑选, 选择环带清晰、晶型完好的岩浆锆石制靶、摄制 CL 图, 并在中国地质调查局天津地质调查中心实验室采用激光等离子质谱测年 (LA-MC-ICP-MS) 技术 (周红英, 2011) 测定其 U-Pb 同位素组成和年龄。测定采用 Qinghu、Plesovice、nist610 三件国际标准锆石做外标, 对辉长岩样靶 D2614 中的 16 颗锆石进行了数据采集, 采集过程中充分对照 CL 图 (图 4 左) 和阴极发光图选择无裂痕、环带清晰、晶型完好的锆石进行测试, 采用 Andersen 等的方法对普通铅进行校正, 采用 Isoplot 程序完成年龄计算, 采用 ICPMSDataCal 程序进行协和图的绘制 (图 4 右)。

#### 3.2 测年结果

样品中的锆石颗粒多呈方粒状, 体量大多比较大, 个体不太完整, 大小在  $40 \times 50 \mu\text{m} \sim 60 \times 110 \mu\text{m}$  之间, 可见环带发育, U/Th 比值在  $0.005 \sim 0.019$  之间, 反映出以原生锆石为主, 锆石总数 16 颗, 均进行了 U-Pb 测定, 所有锆石的不一致线与谐和线下交点年龄为  $166.9 \pm 2.5 \text{ Ma}$  ( $n=16$ ,  $\text{MSWD}=2.0$ , 图 4), 可以代表辉长岩的成岩时代。根据辉绿岩岩石中的年龄数据判断, 马前乡蛇绿混杂岩的形成时限应在 166 Ma 左右。

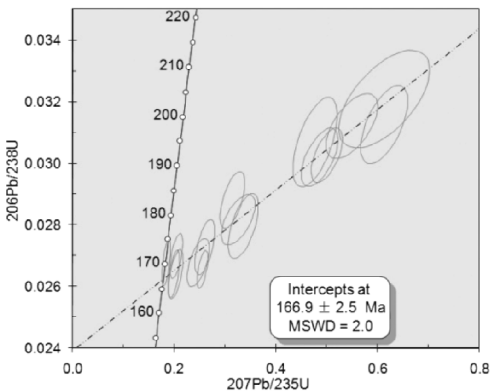
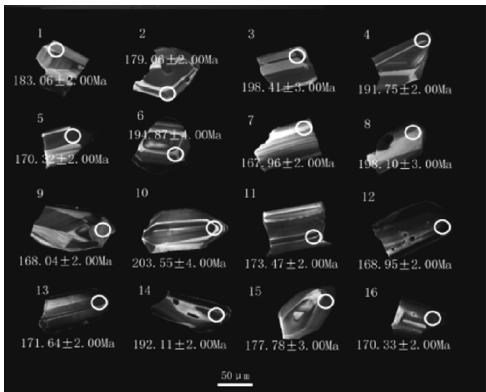


图 4 辉长岩中典型锆石的 CL 图象和锆石 U-Pb 谐和年龄图

Fig. 4 CL image of typical zircon in gabbro and upb concordant age

### 4 构造背景

在  $\text{TiO}_2/10-\text{MnO}-\text{P}_2\text{O}_5$  构造环境判别图解中 (图 5), 样品落入洋岛碱性玄武岩区域中, 反映辉长岩产于俯冲带的洋岛型碱性玄武岩。前述地球化学结果显示岩石富含大离子亲石元素 Rb、K、P 和

高场强元素 Nb、Ta, 岩浆源为富集型地幔, 较高的轻稀土含量反映有岩浆混入上地壳或海沟沉积物。结合近期有学者基于怒弄拉地区花岗闪长岩所获得的怒江洋盆开始萎缩时限早于中侏罗世的结论 (曾禹人等, 2017), 笔者认为该套辉长岩是中侏罗世中期 (巴通期) 怒江洋盆加速萎缩、俯冲带附近地幔活动强烈、洋壳向南侧冈底斯地块俯

表 3 辉长岩 LA-MC-ICP-MS 锆石 U-Pb 分析结果  
Table 3 Analytical results of LA-MC-ICP-MS zircon U-Pb of gabbro

| 样品号      | 含量( $\times 10^{-6}$ ) |      | 同位素比值                            |            |                                  |            |                                   |            | 年龄(Ma)                           |            |                                  |            |                                   |            |
|----------|------------------------|------|----------------------------------|------------|----------------------------------|------------|-----------------------------------|------------|----------------------------------|------------|----------------------------------|------------|-----------------------------------|------------|
|          | Pb                     | U    | $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ | 1 $\sigma$ | $^{206}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ | 1 $\sigma$ | $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ | 1 $\sigma$ | $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ | 1 $\sigma$ | $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ | 1 $\sigma$ | $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ | 1 $\sigma$ |
| d2614.01 | 297                    | 266  | 0.0288                           | 0.0004     | 0.3141                           | 0.0098     | 0.0791                            | 0.0023     | 183                              | 2          | 277                              | 9          | 1174                              | 57         |
| d2614.02 | 285                    | 325  | 0.0282                           | 0.0003     | 0.3260                           | 0.0136     | 0.0839                            | 0.0034     | 179                              | 2          | 286                              | 12         | 1291                              | 79         |
| d2614.03 | 224                    | 180  | 0.0313                           | 0.0005     | 0.6128                           | 0.0191     | 0.1422                            | 0.0044     | 198                              | 3          | 485                              | 15         | 2254                              | 54         |
| d2614.04 | 415                    | 426  | 0.0302                           | 0.0004     | 0.4857                           | 0.0147     | 0.1167                            | 0.0027     | 192                              | 2          | 402                              | 12         | 1906                              | 42         |
| d2614.05 | 436                    | 661  | 0.0268                           | 0.0003     | 0.1843                           | 0.0032     | 0.0499                            | 0.0006     | 170                              | 2          | 172                              | 3          | 191                               | 29         |
| d2614.06 | 229                    | 225  | 0.0307                           | 0.0006     | 0.4771                           | 0.0178     | 0.1128                            | 0.0037     | 195                              | 4          | 396                              | 15         | 1844                              | 59         |
| d2614.07 | 384                    | 409  | 0.0264                           | 0.0003     | 0.2029                           | 0.0058     | 0.0558                            | 0.0015     | 168                              | 2          | 188                              | 5          | 443                               | 62         |
| d2614.08 | 460                    | 698  | 0.0312                           | 0.0004     | 0.5490                           | 0.0207     | 0.1276                            | 0.0040     | 198                              | 3          | 444                              | 17         | 2065                              | 55         |
| d2614.09 | 175                    | 419  | 0.0264                           | 0.0003     | 0.1994                           | 0.0046     | 0.0548                            | 0.0010     | 168                              | 2          | 185                              | 4          | 402                               | 42         |
| d2614.10 | 316                    | 331  | 0.0321                           | 0.0006     | 0.6127                           | 0.0364     | 0.1385                            | 0.0083     | 204                              | 4          | 485                              | 29         | 2209                              | 104        |
| d2614.11 | 236                    | 495  | 0.0273                           | 0.0004     | 0.2601                           | 0.0078     | 0.0692                            | 0.0018     | 173                              | 2          | 235                              | 7          | 904                               | 54         |
| d2614.12 | 476                    | 1023 | 0.0266                           | 0.0003     | 0.2553                           | 0.0042     | 0.0697                            | 0.0009     | 169                              | 2          | 231                              | 4          | 921                               | 28         |
| d2614.13 | 288                    | 634  | 0.0270                           | 0.0003     | 0.2039                           | 0.0052     | 0.0548                            | 0.0013     | 172                              | 2          | 188                              | 5          | 404                               | 52         |
| d2614.14 | 410                    | 575  | 0.0302                           | 0.0004     | 0.5000                           | 0.0126     | 0.1199                            | 0.0031     | 192                              | 2          | 412                              | 10         | 1955                              | 47         |
| d2614.15 | 184                    | 303  | 0.0280                           | 0.0004     | 0.3358                           | 0.0120     | 0.0871                            | 0.0027     | 178                              | 3          | 294                              | 11         | 1363                              | 60         |
| d2614.16 | 365                    | 767  | 0.0268                           | 0.0003     | 0.2472                           | 0.0090     | 0.0670                            | 0.0022     | 170                              | 2          | 224                              | 8          | 837                               | 69         |

注:表中所列误差均为 1 $\sigma$  误差

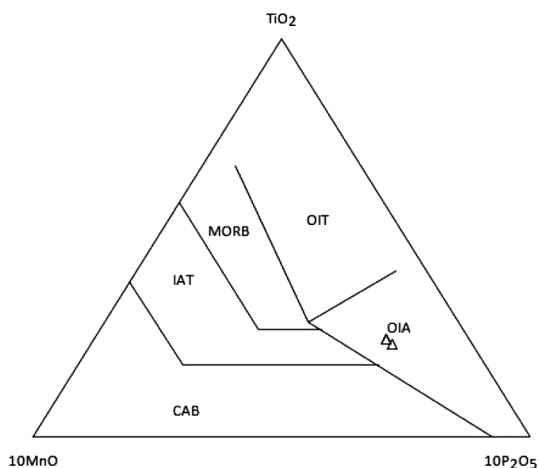


图 5 马前乡蛇绿混杂岩中辉长岩的  $\text{TiO}_2$ - $10\text{MnO}$ - $10\text{P}_2\text{O}_5$  图解

Fig. 5  $\text{TiO}_2$ - $10\text{MnO}$ - $10\text{P}_2\text{O}_5$  diagram of gabbro from ophiolitic melange in Maqian

冲加剧时洋岛碱性玄武岩浆活动的产物。

## 5 结论

一直以来,作为西藏最重要的缝合带之一,班怒带记录了从晚古生带以来的特提斯洋发展—消亡—洋陆转换—陆内造山的演化过程,作为缝合带俯冲消减过程中形成的特殊地质体—蛇绿混杂岩,是研究缝合带俯冲极性、消亡时限最理想的地质对象。但狭长的班怒带其俯冲、闭合并不是在同一时间完成,而是呈自东向西渐进式地在一个时期内完成(李金祥、秦克章、李光明等,2010;潘桂棠、王立全等,2013),因此要客观完整的弄清班怒带俯冲消减过程,仅仅靠一两个年龄数据很难以点概面,必须在结合带不同部位收集各种地质体的年龄数据,丰富、填补结合带地质演化时间数据库。目前,整个班怒带从西向东、从南到北、从基性岩到酸性岩中获取的年龄数据仍然较少。本文的研究对象位于班怒带中段南侧,是蛇绿混杂岩中的重要组成部分—辉长岩,其年龄数据填补了班怒带中段南侧基性岩锆石 U-Pb 年代学的数据空白,辉长岩  $166.9 \pm 2.5 \text{ Ma}$  ( $n=16$ ,  $\text{MSWD}=2.0$ ) 的成岩年龄可以代表班怒带中段残余洋壳年龄,该数据为进一步完善和探索班怒带俯冲、消减演化的进程增添了新数据。

**致谢:**本文锆石 U-Pb 测年在天津地质调查中心实验室完成,岩矿鉴定由贵州地调院王敏研

究员亲自完成。文中所有数据、成果均基于已完成的《西藏怒弄拉地区 1:5 万四幅区调》项目,在此对参加该项目和给予帮助的各位老师和同仁一并表示衷心的感谢。

## [参考文献]

Coleman RG. 1977. Ophiolites: Ancient Oceanic Lithosphere. Berlin: Springer Verlag, 1-140.

曹圣华,廖六根,邓世权,等. 2005. 西藏班公湖蛇绿岩组合层序、地球化学及其成因研究[J]. 沉积与特提斯地质, 25(3): 101-110.

冯晖,廖六根,徐平. 2005. 西藏班公湖蛇绿岩地质特征及形成时代[J]. 资源调查与环境, 26(3): 185-170.

贵州省地质调查院. 2017. 中华人民共和国区域地质调查报告(西藏怒弄拉地区 1:5 万 H45E002024、H46E002001、H46E003001、H46E003002)[R].

李金祥,秦克章,李光明,等. 西藏班公湖带多龙超大型富金斑岩铜矿床的岩浆-热液演化:U-Pb 和 Ar-Ar 年代学的证据[J]. 矿产地质, 29(增): 460-461.

潘桂棠,王立全,等. 2013. 青藏高原及邻区大地构造图及说明书[M]. 北京:地质出版社.

曲晓明,辛洪波,赵元艺,等. 2010. 西藏班公湖中特提斯洋盆的打开时间:镁铁质蛇绿岩地球化学与锆石 U-Pb LA-ICP-MS 定年结果[J]. 大地构造与成矿学, 38(1): 157-167.

史仁灯. 2007. 班公湖 SSZ 型蛇绿岩年龄对班-怒洋时限的制约[J]. 科学通报, 52(2): 223-227.

曾禹人,白培荣,黄建国,等. 2017. 西藏班公湖怒江结合带中段怒弄拉地区卡来花岗闪长斑岩锆石 U-Pb 测年[J]. 贵州地质.

周红英,李惠民. 2011. U-Pb 同位素定年技术及其地质应用潜力[J]. 地质调查与研究, 34(1): 63-70.

监测资料的不断积累。

(3)本次研究,地震释放能量参数的离散化分辨率为 $0.1^{\circ}\times0.1^{\circ}$ ,大致相当于每 $100\text{ km}^2$ 为一个“像素”,得出的地震释放能量密度图图像较为粗糙,难以反映断裂构造的细部情况。如果提高分辨率,相信情况会更好。

(4)本次研究,制作了2009—2015年七幅分年度的地震释放能量密度图,从中分析得出了断裂构造活动存在时空变化的结论。如果缩小各幅密度图的时间区段,改为每半年一幅,或者进一步改为每季度一幅,也许能更细致地反映断裂构造活动的时空变化情况。

[参考文献]

陈德琴,毛志中,等. 1980. 1:50 万贵州省主要构造体系与地震分布规律图及其说明书[R]. 贵阳:贵州省地质局.  
王尚彦,等. 2009. 贵州省地震震中分布图[R]. 贵阳:贵州省地震局.  
卢定彪,戴传固,谯文浪,等. 2011. 贵州省活动构造特征及地壳稳定性评价[M]. 北京:地质出版社.  
刘家仁,王尚彦,刘宇. 2011. 贵州地震时空分布规律探析[J]. 贵州地质,28(4):295-299.  
戴传固,秦守荣,陈建书,等. 2013. 试论贵州深部隐伏断裂特征[J]. 地质科技情报,32(6):1-6.

Analysis on Activity of Guizhou Fault Structure From the Point of Earthquake Energy-releasing

LIU Yu

(Guizhou Earthquake Administration, Guiyang 550004, Guizhou, China)

[Abstract] Energy released by earthquake is the direct expression of structural activity. From the point of earthquake energy releasing, the activity of geological structure is studied, it shows fault structural activity of Guizhou decrease progressively from west to east, the fault trend of underground activity are NW, NE, SN and EW. It's the same as the actual situation. The underground fault structure isn't correspond completely with ground fault structure on the plane, the fault structure activity shows the variation in time and space.

[Key words] Earthquake; Earthquake wave; Energy; Density map; Fault structure; Activity; Guizhou

(上接第 279 页)

Geological Characteristics and Its Significance of Gabbro in the Middle Bangonghu-Nu River Suture Belt, Kongnongla Area, Tibet

LIAO Zhu-min, ZENG Yu-ren, BAI Pei-rong, HUANG Jian-guo, LI Yue-shen

(Guizhou Geological Survey, Guiyang 550081, Guizhou, China)

[Abstract] By study the Ophiolitic Melange about petrological and geochemical characteristics in Kongnongla area, it indicated that this kind of gabbro belong to plagioclase gabbro and K-feldspar series. The characteristics of the rock are: the Rb, K and P in large ion stone elements are relative lacked, Zr and Hf are relatively deficient, the magma source is enriched mantle with higher melting degree. According to the tectonic discrimination diagram for gabbro  $\text{TiO}_2-10\text{MnO}-10\text{P}_2\text{O}_5$ , rocks are formed under the environment fo Yuyang island. The U-Pb isotopic age of zircons obtained by LA-MC-ICP-MS is  $166.9\pm2.5\text{ Ma}$  ( $n=16$ , MSWD=3.4). The research shows that the gabbro in Kongnongla area were producted by Nu river basin accelerated atrophy, subduction zone near the mantle activity, strong oceanic crust to South Gangdese terrane subduction intensified ocean island alkaline magma activity in the middle Jurassic(Bathonian).

[Key words] Zircon U-Pb; Middle Jurassic; Geochemistry; Kongnongla; Tibet