

# 四川攀西红格矿区辉长岩和正长岩的 SHRIMP U-Pb 和 Sm-Nd 定年及其地质意义

李华芹<sup>1</sup>, 王登红<sup>2</sup>, 张利国<sup>1</sup>, 任海涛<sup>3</sup>, 王晓地<sup>1</sup>, 贾小辉<sup>1</sup>, 杨文强<sup>1</sup>  
LI Huaqin<sup>1</sup>, WANG Denghong<sup>2</sup>, ZHANG Ligu<sup>1</sup>, REN Haitao<sup>3</sup>, WANG Xiaodi<sup>1</sup>,  
JIA Xiaohui<sup>1</sup>, YANG Wenqiang<sup>1</sup>

1. 中国地质调查局武汉地质调查中心, 湖北 武汉 430205; 2. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037;  
3. 四川省地质矿产勘查开发局一〇六地质队, 四川 成都 611130

1. Wuhan Center of Geological Survey, CGS, Wuhan 430205, Hubei, China;

2. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;

3. No.106 Geological Party, Sichuan Bureau of Geology and Mineral Resources Exploration, Chengdu 611130, Sichuan, China

**摘要:**用 SHRIMP U-Pb 和 Sm-Nd 定年技术, 对攀西红格矿区含矿层状辉长岩、碱性正长岩进行了年龄测定。获得红格辉长岩中 3 种不同晶形锆石的 U-Pb 年龄分别为  $258.4 \pm 4.1$  Ma、 $1841 \pm 34$  Ma、 $2487 \pm 12$  Ma, 由辉长岩、辉石和磷灰石所构成的 Sm-Nd 等时线年龄为  $253 \pm 14$  Ma; 碱性正长岩中锆石的 U-Pb 年龄为  $257.2 \pm 1.5$  Ma。结果表明, 红格辉长岩中具有典型基性岩锆石特征的锆石 U-Pb 年龄 (258 Ma) 与同一地质样品的 Sm-Nd 年龄 (全岩+矿物内部等时线年龄), 以及同一矿区的正长岩锆石 U-Pb 年龄在测定误差范围内一致。鉴于层状辉长岩和碱性正长岩在空间上密切共生, 在形成时间上一致, 可以认为它们都属于晚二叠世末岩浆活动的产物; 而 1841 Ma 和 2487 Ma 的锆石, 可能是在基性-超基性岩浆的上侵过程中, 从基底所捕获的岩浆锆石和继承锆石, 其年龄信息, 揭示了康滇地轴岩浆岩带的下部或结晶基底存在元古代甚至新太古代末期的岩石或物质。

**关键词:**攀西红格矿区; 辉长岩; 正长岩; SHRIMP 锆石 U-Pb 定年; Sm-Nd 等时线

**中图分类号:** P588.12; P597+.3      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1671-2552(2017)05-0698-08

Li H Q, Wang D H, Zhang L G, Ren H T, Wang X D, Jia X H, Yang W Q. SHRIMP U-Pb and Sm-Nd dating of the gabbro and syenite from the Hongge ore district in western Panzhihua and its geological significance. *Geological Bulletin of China*, 2017, 36(5):698-705

**Abstract:** Adopting the SHRIMP U-Pb and Sm-Nd method, this paper reported the dating results of the bedded ore-bearing gabbros and alkaline syenites from the Hongge ore district in western Panzhihua area. The results show that the zircons from gabbro in Hongge have ages of  $258.4 \pm 4.1$  Ma,  $1841 \pm 34$  Ma and  $2487 \pm 12$  Ma, the Sm-Nd isochron age of the gabbro, pyroxene and apatite samples is  $253 \pm 14$  Ma, while the zircon U-Pb age of alkaline syenite is  $257.2 \pm 1.5$  Ma. These data show that the zircon U-Pb age (258 Ma) of the typical mafic rock is similar to the Sm-Nd isochron age of the same samples, and also similar to the zircon U-Pb age of syenite. Considering the close relationship between layered gabbro and alkaline syenite rock in space and in time, it is suggested that both of them resulted from Permian Magmatism, but 1841 Ma and 2487 Ma zircon might have been magmatic zircon and inherit-

收稿日期: 2016-09-18; 修订日期: 2017-02-27

资助项目: 中国地质调查局项目《中国矿产地质与区域成矿规律综合研究(中国矿产地质志)》(编号: 1212011220369)和《全国重要矿产和区域成矿规律研究》(编号: 1212010633903)

作者简介: 李华芹(1939-), 男, 研究员, 从事地质年代学研究。E-mail: hqliyc@126.com

通讯作者: 王登红(1967-), 男, 博士生导师, 从事成矿学与地幔柱及相关研究。E-mail: wangdenghong@sina.com

ed zircons, which originated from the basement. These data imply the existence of Paleo-Petrozoic or even Archean materials in the lower part of Kangdian axis magmatic rock belt or the crystalline basement.

**Key words:** Panxi area (western Panzhihua) ore district; syenite; gabbro; SHRIMP zircon U-Pb dating; Sm-Nd isochron

红格层状基性-超基性岩体位于攀枝花-西昌成矿带上,是中国铁钒钛等金属矿产资源极其重要的生产基地。从 20 世纪 70 年代开始,一些研究者<sup>[1-5][10]</sup>对红格层状基性-超基性岩体的岩石类型、岩相特征、成岩成矿、岩石矿床地球化学特征等进行过较多的研究。关于红格层状基性-超基性岩体和碱性正长岩的年代学研究也有报道,如张宗清等<sup>[6]</sup>对攀西地区红格、攀枝花和白马岩体进行过详细的 Sm-Nd 同位素年代学研究,分别获得攀枝花岩体上部辉长岩全岩和岩体下部辉长岩全岩+矿物 Sm-Nd 等时线年龄为  $210 \pm 43 \text{Ma}$  和  $209 \pm 32 \text{Ma}$ ; 获得白马岩体辉长岩全岩年龄为  $197 \pm 60 \text{Ma}$ ; 获得红格岩体不同岩相中粗粒橄榄辉长岩和含铁磷灰石辉长岩全岩所拟合的 Sm-Nd 等时线年龄为  $288 \pm 45 \text{Ma}$  ( $2\sigma$ ), 获得辉长岩型浸染状矿石的矿物等时线年龄为  $261 \pm 45 \text{Ma}$ , 认为攀枝花岩体、白马岩体和红格岩体的形成时代有 2 期: 以红格岩体为代表 ( $288 \text{Ma}$ ) 的岩体形成于海西晚期, 而攀枝花和白马岩体形成于印支期, 二者属于不同期次岩浆活动的产物。夏斌等<sup>[7]</sup>采用高灵敏、高精度的 SHRIMP U-Pb 定年技术测定红格侵入体和红格钠闪石花岗岩体中锆石 U-Pb 年龄为  $259.3 \text{Ma}$  和  $239 \text{Ma}$ 。该结果比早期 Sm-Nd 法测定的年龄更可靠。为了精确厘定红格层状侵入体及与层状侵入体密切共生的碱性正长岩的时代, 本文对层状辉长岩锆石、辉长岩中的矿物及正长岩体中的锆石, 应用 SHRIMP U-Pb 和 Sm-Nd 同位素年代学方法进行详细研究, 并对其地质意义进行了讨论。

## 1 岩体地质概况

红格层状侵入体位于四川攀枝花市以东的红格区。在区域构造位置上处于扬子板块西缘康滇隆起带中段, 为川滇南北构造带中富含钒钛磁铁矿的层状侵入体。岩体定位于二叠纪玄武岩与震旦系灯影组灰岩的接触带上, 呈南北向展布, 长约 16km, 东西宽 5~

10km, 面积近  $100 \text{km}^2$ , 产状向东缓倾斜, 倾角  $16^\circ \sim 20^\circ$ , 与震旦系产状基本一致, 呈单斜层状。岩石自上而下由辉长岩、辉石岩、橄榄岩组合的基性-超基性岩体组成, 其相带特征明显, 自上而下岩性呈逐渐过渡。根据岩石组合、结构构造、矿化程度, 以及矿体形态、产状等特点, 可将含矿岩体自上而下分为辉长岩相、辉石岩相和橄榄岩相 3 个岩相带, 各相带又各自划分为 2 个含矿层。矿体主要呈层状、似层状、条带状产出, 其产状也与岩体产状基本一致 (图 1)。

## 2 样品及分析方法

### 2.1 样品

红格矿区用于定年的辉长岩大样 (HgH) 采自露天采坑, 其具体采样位置为: 北纬  $26^\circ 38' 21''$ 、东经  $101^\circ 58' 22''$ 。岩石特征见显微镜下照片 (图 2), 岩石主要成分为斜长石 (Pl)、辉石 (Px)、角闪石 (Hbl)、尖晶石 (Spl); 副矿物为磷灰石 (Ap)、磁铁矿; 蚀变矿物为绢云母、黝帘石。岩石具辉长结构、反应边结构, 席勒构造、块状构造, 镜下定名为蚀变辉长岩。斜长石呈半自形和柱状, 具聚片双晶, 粒径为  $0.1 \sim 0.2 \text{mm}$ , 含量占岩石总量的  $45\% \sim 50\%$ ; 辉石为半自形

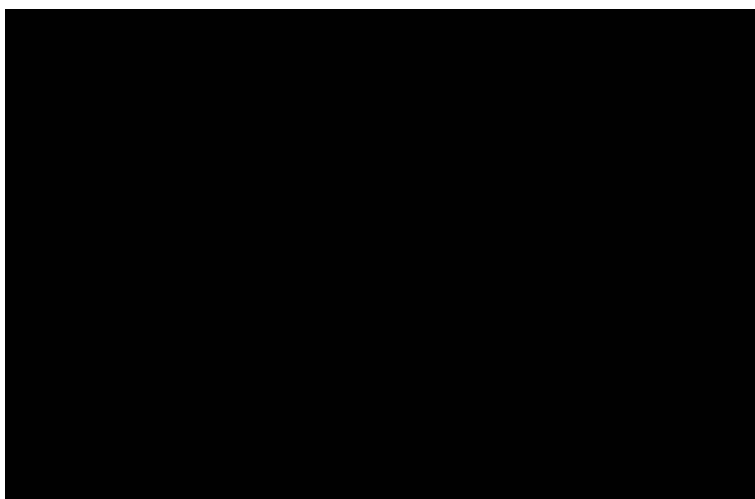


图 1 攀西红格矿区地质简图<sup>[5]</sup>

Fig. 1 Geological sketch map of the Hongge ore district in the Panxi area  
Q—第四系; Nx—新近系昔格达组; Pt<sub>1</sub>—元古界河口群; C<sub>N</sub>—正长岩;  
v—基性-超基性岩; 1—含矿岩体; 2—断层

图2 红格矿区含矿辉长岩显微镜下照片

Fig. 2 Microscope photos showing the features of the ore-bearing gabbro from the Hongge ore district  
Pl—斜长石;Px—辉石;Hbl—角闪石;Spl—尖晶石;Ap—磷灰石

柱状,浅黄色-浅绿色调,主要为单斜辉石中的普通辉石,极少量的斜方辉石,部分颗粒状铁质沿其解理分布呈席勒构造,主要粒径为1~5mm,含量为30%~35%;角闪石呈他形,不规则状、闪石解理,沿辉石边部为褐色角闪石,粒径为0.1~0.5mm,含量为4%~5%;磁铁矿为他形不规则粒状,常与角闪石一起充填于辉石和斜长石颗粒间,岩石具有强磁性,判断为磁铁矿,粒径为0.1~1mm,含量占岩石总量的8%~10%;磷灰石为自形柱状,含量占岩石总量的4%~5%。正长岩定年样品采样位置为:北纬26°38'

17"、东经101°58'21",经镜下鉴定为中粗粒棕闪石正长岩。岩石主要成分为钾长石(Kfs)、角闪石(Hbl)、辉石(Px)、石英(Qtz)、斜长石(Pl);副矿物为磁铁矿、榍石;蚀变矿物为方解石,结构构造特征如图3所示。钾长石呈他形粒状,主要为条纹长石、微斜长石,粒径为2~15mm,含量为75%~80%;角闪石半自形柱状、闪石解理,不同程度碳酸盐化,粒径为2~5mm,含量为10%~15%。辉石呈半自形柱状,主要为单斜辉石,粒径为2~5mm,含量为3%~4%。黑云母呈自形片状,含量为2%~3%。斜长石呈他形柱

图3 红格矿区闪石正长岩岩石薄片显微镜下特征

Fig. 3 Microscope photos showing the features of the ore-bearing mafic-ultramafic rocks from the Hongge ore district  
Kfs—钾长石;Hbl—角闪石;Px—辉石;Qtz—石英;Pl—斜长石

状,聚片双晶,含量为 4%~5%。石英呈他形粒状,含量少许。用于 Sm-Nd 矿物内部等时线定年的样品,是从分选锆石重砂样品中精选出的辉石和磷灰石单矿物。

## 2.2 分析方法

### 2.2.1 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年方法

SHRIMP 锆石 U-Pb 定年方法采用宋彪等<sup>[8]</sup>报道的实验流程,按常规方法分选出晶形完好、无裂纹和无包体或少包体的锆石颗粒,将被测锆石与参考锆石(TEM, 417Ma)一起在玻璃板上用环氧树脂粘结固定,抛光至暴露出锆石的中心面,然后结合反射光和透射光照相,以及阴极发光图像,选定锆石微区分析靶位,然后用高灵敏度的二次离子探针对所选的点进行分析。应用实测  $^{204}\text{Pb}$  校正锆石中的普通铅。锆石微区原位 U-Pb 同位素定年在北京离子探针中心的 SHRIMP II 上完成。

### 2.2.2 Sm-Nd 定年方法

全岩-矿物和全岩分相 Sm-Nd 内部等时线定年样品制备的实验方法流程参见相关文献[9-10]。Sm 和 Nd 含量及  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  值,分别采用同位素稀释法和热电离质谱直接测定。仪器工作状态和分析流程分别用 JMC 和 BCR-2 进行质量监控。全部化学操作均在 100 级超净化工作台内完成,使用的器皿均由氟塑料或高纯石英制成,所用试剂为市售

高纯试剂经亚沸蒸馏器蒸馏。Sm 和 Nd 的全流程空白分别为  $C_{\text{Nd}} < 1 \times 10^{-10}\text{g}$ 、 $C_{\text{Sm}} < 0.7 \times 10^{-10}\text{g}$ 。上述标准物质测定值分别为:JMC 的  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.511559 \pm 10(2\sigma)$ ;BCR-2 的  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} = 0.1376$ ,与推荐值 0.1382 之差仅为 4.3%, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  的测定值为  $0.512632 \pm 4$ ,与推荐值  $0.512636 \pm 2$  在测定误差范围内一致<sup>[11]</sup>。Sm-Nd 同位素分析在中国地质调查局武汉地调中心同位素实验室的热电离质谱仪 Triton 上完成。

## 3 测定结果

### 3.1 红格辉长岩锆石 U-Pb 及 Sm-Nd 年龄

表 1 列出红格矿区辉长岩的锆石 U-Pb 定年结果。由表 1 可以看出,被测锆石点的 Th/U 值变化较大,从锆石阴极发光图像(图 4)看,辉长岩体存在 3 类不同晶形的锆石:一种(图 4 中 1.1)为板状,内部结构均匀,且不具明显的环带特征,代表了典型的基性-超基性岩锆石,是被测辉长岩锆石样品的主体;第二种锆石的外形结晶完好,内部结构显示较清晰的振荡环带结构(图 4 中 10.1);第三种锆石外形似圆球状(图 4 中 7.1),具远距离搬运的继承锆石特征。3 种不同晶形锆石的 12 个测点在  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ - $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  谐和图(图 5)上,均集中在谐和线上或其附近的 3 个年龄区间。红格矿区样品中由编号为

表 1 红格矿区辉长岩锆石 U-Th-Pb 年龄测定结果  
Table 1 Zircon U-Th-Pb age determination results of the gabbro from the Hongge ore district

分析点	$^{206}\text{Pb}/\%$	U/ $10^{-6}$	Th/ $10^{-6}$	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}^*/10^{-6}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄/Ma	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄/Ma	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$ 年龄/Ma	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm/\%$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm/\%$	Rho
HGH-1.1	--	1017	919	0.93	35.4	256.16 $\pm$ 0.98	277 $\pm$ 30	240.3 $\pm$ 2.5	0.2896	1.4	0.04054	0.39	0.286
HGH-2.1	0.05	256	45	0.18	72.6	1,836.0 $\pm$ 8.8	1,840 $\pm$ 12	1,723 $\pm$ 30	5.109	0.84	0.3295	0.55	0.651
HGH-3.1	0.00	256	136	0.55	9.12	262.0 $\pm$ 1.9	363 $\pm$ 55	253.3 $\pm$ 5.4	0.3077	2.6	0.04147	0.73	0.284
HGH-4.1	0.28	630	392	0.64	22.0	255.5 $\pm$ 1.4	223 $\pm$ 60	252.7 $\pm$ 4.7	0.2821	2.7	0.04043	0.55	0.205
HGH-7.1	0.04	102	130	1.32	41.2	2,489 $\pm$ 18	2,492 $\pm$ 13	2,479 $\pm$ 28	10.62	1.1	0.4712	0.86	0.755
HGH-9.1	0.32	698	330	0.49	25.0	262.2 $\pm$ 1.2	235 $\pm$ 51	224.4 $\pm$ 4.8	0.2912	2.3	0.04151	0.47	0.206
HGH-10.1	0.11	448	51	0.12	136	1,955.6 $\pm$ 7.9	1,862 $\pm$ 14	1,850 $\pm$ 78	5.564	0.93	0.3544	0.47	0.507
HGH-11.1	1.66	379	198	0.54	96.5	1,646.7 $\pm$ 8.3	1,862 $\pm$ 90	1,728 $\pm$ 150	4.57	5.0	0.2910	0.60	0.119
HGH-12.1	0.13	585	290	0.51	245	2,551.4 $\pm$ 8.6	2,484.7 $\pm$ 7.2	2,898 $\pm$ 26	10.897	0.59	0.4855	0.41	0.694
HGH-14.1	0.32	117	71	0.63	36.4	1,979 $\pm$ 19	1,867 $\pm$ 22	1,938 $\pm$ 44	5.656	1.7	0.3593	1.1	0.667
HGH15.1	3.30	421	623	1.53	15.3	259.4 $\pm$ 3.1	-252 $\pm$ 590	244 $\pm$ 15	0.235	23	0.04106	1.2	0.053
HGH16.1	1.71	939	466	0.51	244	1,675.1 $\pm$ 7.4	1,793 $\pm$ 17	1,604 $\pm$ 50	4.485	1.1	0.2967	0.50	0.463

注:误差为 1  $\sigma$ ; Pb<sub>0</sub> 和 Pb\* 分别代表普通铅和放射性成因铅,应用实测  $^{204}\text{Pb}$  校正普通铅; Rho 为误差相关系数

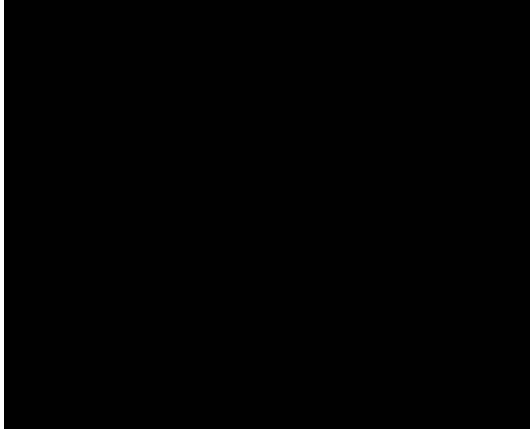


图4 红格矿区辉长岩体代表性锆石的阴极发光图像、分析点位及 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄

Fig. 4 Cathodoluminescence (CL) image of zircons from the Hongge ore district and  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  age of the measuring points

HGH-1.1、3.1、4.1、9.1和15.1五个锆石点数据计算的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 $258.4\pm 4.1\text{Ma}$ (图5-a, 95%置信度,  $\text{MSWD}=5.8$ ), 由HGH-2.1、10.1、11.1、14.1和16.1五个锆石点数据计算的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{Pb}$ 年龄

加权平均值为 $1841\pm 34\text{Ma}$ (图5-b, 95%可信度,  $\text{MSWD}=0.29$ ); 由7.1和12.1这两个锆石点数据计算的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{Pb}$ 年龄加权平均值为 $2487\pm 12\text{Ma}$ (图5-c, 95%可信度,  $\text{MSWD}=0.29$ )。同一岩体的全岩+矿物及全岩分相的Sm-Nd内部等时线年龄测定结果见表2和图6。如图6所示, 由辉长岩全岩、辉石和磷灰石矿物, 以及由2个辉长岩全岩分相的王水溶出相、HF溶出的残留相等7个样品点所构筑的Sm-Nd内部等时线, 具有良好的线性关系( $\text{MSWD}=0.44$ ), 求得相应的等时线年龄为 $253\pm 14\text{Ma}$ (图6, 95%可信度,  $n=7$ ,  $\text{MSWD}=0.44$ )。该年龄与同一岩体锆石U-Pb年龄( $258.4\text{Ma}$ )的结果在测定误差范围内一致, 表明红格辉长岩的侵位时间( $253\sim 258\text{Ma}$ )为晚二叠世早期。

### 3.2 红格矿区碱性正长岩锆石U-Pb年龄

采自红格钒钛磁铁矿区的闪石碱性正长岩体的锆石U-Pb年龄结果列于表3, 图7为被测锆石的部分阴极发光(CL)图像及测点位置和相应的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 单个测点年龄。由表3数据可以看出, 所有测点的Th/U值集中分布在 $0.62\sim 1.39$ 之间, 在阴

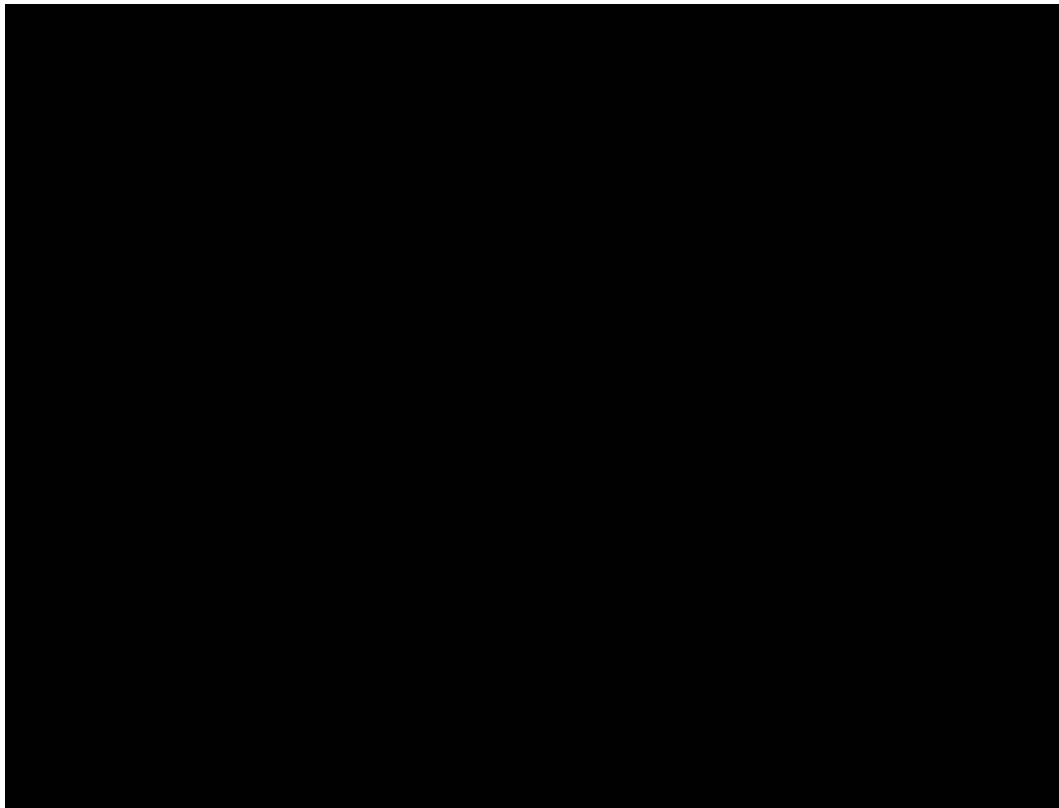


图5 红格矿区辉长岩体的锆石U-Pb谱和图

Fig. 5 Concordia diagram of zircon SHRIMP U-Pb data from gabbro in the Hongge ore district



表 2 红格矿区辉长岩全岩分相组分及矿物 Sm-Nd 年龄测定结果

Table 2 Sm-Nd age determination results of gabbro and mineral samples from the Hongge ore district

实验室编号	原送样号	样品名称	Sm/10 <sup>-6</sup>	Nd/10 <sup>-6</sup>	<sup>147</sup> Sm/ <sup>144</sup> Nd	<sup>143</sup> Nd/ <sup>144</sup> Nd
9015003	HGH	红格矿区辉长岩	15.8	75.21	0.1271	0.512535±0.000004
9015001	HGH-辉长	红格矿区辉长岩中辉石	8.692	31.21	0.1737	0.512610±0.000006
9015008	HGH-磷灰石	红格矿区辉长岩中磷灰石	128.1	649.4	0.1193	0.512522±0.000007
3c	HGH-可溶相	辉长岩王水可溶相	32.16	149.1	0.1305	0.512537±0.000006
3c	HGH-王水可溶相	辉长岩王水可溶相	36.95	172.6	0.1295	0.512535±0.000010
3f	HGH-残留相	辉长岩残留相	1.54	5.786	0.1610	0.512590±0.000004
3f	HGH-残留相	辉长岩残留相	3.919	13.93	0.1702	0.512605±0.000009

极发光图像中锆石内部均显示清晰的环带结构(图 7),表明其为典型的岩浆结晶锆石;在 <sup>207</sup>Pb/<sup>235</sup>U-<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 谐和图(图 8)上,样品点均投影在谐和线上或其附近,也表明锆石在结晶后未受到后期地质事件的扰动。由 <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 值计算的年龄值变化于 253~262Ma 之间,其变化幅度和单个测点之间的测定误差均较小。由 12 个锆石点数据计算的 <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 年龄加权平均值为 257.2±1.5Ma(图 9,95% 可信度, n=12, MSWD=1.4)。由于上述 12 个测点几乎覆盖了锆石的不同结晶域,且结果相对集中,年龄精确可靠,可以准确地反映闪石碱性正长岩体的形成年龄。

## 4 讨论

### 4.1 红格辉长岩体形成年龄

红格基性-超基性岩体侵位于震旦系灯影组灰岩中,岩体呈南北向分布(图 1),在岩体北部和西部接触带被正长岩侵入。岩体东北部出露峨眉山玄武岩。据张宗清等<sup>[7]</sup>研究,红格层状岩体的形成应早于峨眉山玄武岩的喷发(250Ma),因为全岩 Sm-Nd 等时线年龄为 283±38Ma(2σ),矿物 Sm-Nd 等时线年龄为 261±45Ma(2σ),同一岩体的全岩和矿物等时线年龄相差约 20Ma。该结果与 20 世纪 80 年代初期<sup>[12]</sup>报道的红格岩体中角闪石 K-Ar 年龄

表 3 红格矿区碱性正长岩锆石 U-Th-Pb 年龄测定结果

Table 3 U-Th-Pb age determination results of zircon from the syenite in the the Hongge ore district

分析点	<sup>206</sup> Pb/%	U/10 <sup>-6</sup>	Th/10 <sup>-6</sup>	<sup>232</sup> Th/ <sup>238</sup> U	<sup>206</sup> Pb*/10 <sup>-6</sup>	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U 年龄/Ma	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb 年龄/Ma	<sup>208</sup> Pb/ <sup>232</sup> Th 年龄/Ma	<sup>207</sup> Pb*/ <sup>235</sup> U ±/%	<sup>206</sup> Pb*/ <sup>238</sup> U ±/%	Rho		
HGZ-1.1	0.06	1756	1058	0.62	61.8	258.8 ±1.9	243 ±25	246.6 ±2.7	0.2883	1.3	0.04097	0.75	0.572
HGZ-2.1	0.19	1284	1042	0.84	44.8	255.9 ±1.9	241 ±36	243.8 ±2.9	0.2847	1.7	0.04049	0.75	0.440
HGZ-3.1	0.14	499	381	0.79	17.4	255.9 ±2.1	311 ±43	241.0 ±3.7	0.2936	2.1	0.04050	0.86	0.412
HGZ-4.1	0.18	930	974	1.08	32.1	253.6 ±1.9	235 ±32	240.8 ±2.7	0.2815	1.6	0.04012	0.78	0.487
HGZ-5.1	0.51	361	484	1.39	12.6	254.9 ±2.4	232 ±100	246.1 ±4.7	0.283	4.5	0.04034	0.96	0.213
HGZ-6.1	--	582	622	1.10	20.2	254.9 ±2.1	316 ±39	243.2 ±3.2	0.2932	1.9	0.04034	0.84	0.441
HGZ-7.1	--	924	956	1.07	32.2	256.1 ±2.6	317 ±31	244.9 ±3.2	0.2947	1.7	0.04053	1.0	0.601
HGZ-8.1	0.13	1988	1425	0.74	70.2	259.1 ±1.9	175 ±49	243.4 ±2.8	0.2804	2.2	0.04102	0.73	0.331
HGZ-9.1	--	1362	1071	0.81	47.5	256.7 ±2.1	228 ±26	243.6 ±2.7	0.2841	1.4	0.04063	0.82	0.596
HGZ-10.1	0.10	2047	1284	0.65	73.0	261.8 ±1.9	227 ±33	246.0 ±3.1	0.2897	1.6	0.04144	0.72	0.452
HGZ-11.1	0.11	1297	1028	0.82	45.4	257.3 ±1.9	218 ±37	240.4 ±2.9	0.2836	1.8	0.04072	0.75	0.425
HGZ-12.1	--	1399	1291	0.95	49.2	258.9 ±1.9	224 ±25	244.8 ±2.5	0.2861	1.3	0.04098	0.76	0.579

注:误差为 1σ;Pb 和 Pb\* 分别代表普通铅和放射性成因铅,应用实测 <sup>204</sup>Pb 校正普通铅;Rho 为误差相关系数



图6 红格矿区辉长岩体全岩+矿物及全岩分相Sm-Nd内部等时线图

Fig. 6 Sm-Nd isochron age of gabbro and mineral samples from the Hongge ore district

(266Ma)、角闪石 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 全熔年龄(288Ma)、全岩Rb-Sr年龄(304Ma),在误差范围内一致。这些结果表明,红格层状岩体形成于262~304Ma,即岩体侵位时间可能发生在早一中二叠世。本次研究表明,辉长岩体存在3种不同晶形的锆石,其中的主体锆石为基性-超基性岩侵入结晶锆石,其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 $258.4\pm 4.1\text{Ma}$ ,与矿物Sm-Nd内部等时线年龄( $253\pm 14\text{Ma}$ )基本一致,也与王登红等<sup>[13]</sup>获得的攀枝花基性-超基性岩体中条带辉长岩中的

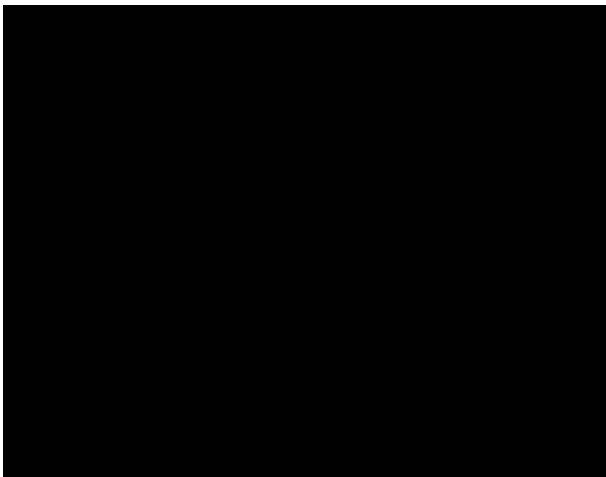


图8 红格矿区闪石碱性正长岩体锆石U-Pb谐和图  
Fig. 8 Concordia diagram of SHRIMP U-Pb data of zircon from syenite in the Hongge ore district

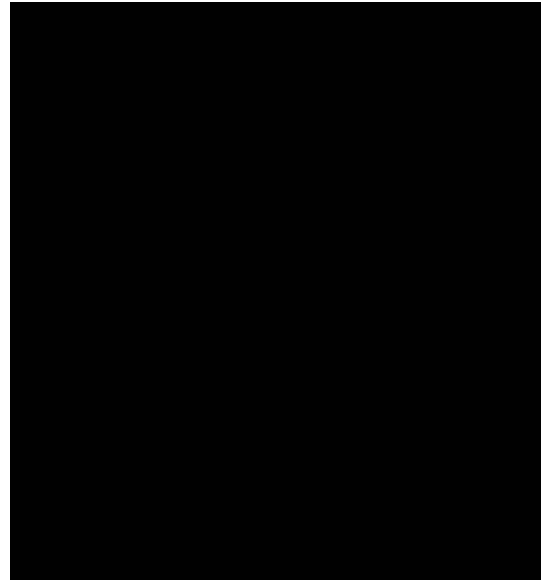


图7 红格矿区碱性正长岩体中部分锆石的阴极发光图像、分析点位及 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 视年龄

Fig. 7 Cathodoluminescence (CL) image of zircons from syenite in the Hongge ore district and  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  age of the measuring points

片状黑云母的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄( $256.85\pm 3\text{Ma}$ )一致,这也证明了Sm-Nd年龄的可靠性。但由于矿物Sm-Nd同位素体系的封闭温度较锆石结晶封闭温度低,且矿物Sm-Nd同位素体系容易受到后期地质事件的扰动,因此,由辉长岩体锆石U-Pb年龄(258Ma)代表红格岩体的侵位时间更加合理。红格

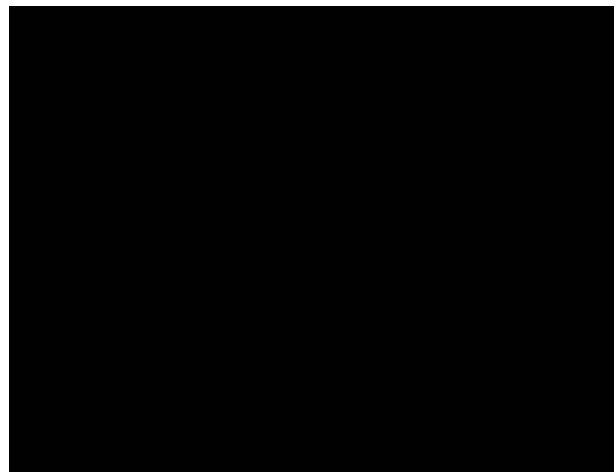


图9 红格矿区碱性正长岩体锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均图  
Fig. 9  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  weighted average age of zircons from the syenite in the Hongge ore district

辉长岩体中另外2种晶形的锆石为典型的岩浆结晶锆石,5个样品点的年龄变化范围为1793~1967Ma,  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为  $1841\pm 34\text{Ma}$ (图5-b, 95%置信度)。点号为HGH-7.1和12.1的2个锆石点数据计算的继承锆石  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为  $2487\pm 12\text{Ma}$ 。1841Ma和2487Ma的年龄信息,可能代表了来自地幔源区的基性-超基性岩浆,在上侵过程中从康滇地轴结晶基底或下部地层中捕获的岩浆和继承锆石,暗示在康滇地轴结晶基底或下部地层中存在古元古代岩石或物质。

#### 4.2 正长岩的形成年龄

关于红格矿区正长岩的形成时间,尚未有文献报道。夏斌等<sup>[9]</sup>曾对红格酸性-碱性岩(钠闪石花岗岩)中的锆石,用SHRIMP U-Pb定年技术进行了测定,获得的锆石U-Pb年龄为239Ma,相当于中三叠世,属印支期岩浆活动的产物。本文的定年样品来自红格矿区南、北层状侵入体的接触带上,经镜下鉴定为闪石碱性正长岩。在部分代表性锆石的阴极发光图像中可见锆石的外形具有边界,内部显示清晰的条带结构(图7),表明其为岩浆经过了分异而结晶的锆石。在谐和图(图8)上,样品点均投影在谐和线上,其  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄变化于253~261Ma之间,变化幅度较小,由12个锆石点数据计算的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为  $257.2\pm 1.5\text{Ma}$ ,与本次测得的红格含矿辉长岩中锆石U-Pb年龄( $258.4\pm 2\text{Ma}$ ),相差1Ma。这一结果也与正长岩和辉长岩呈侵入接触关系的地质特征吻合。因此,红格矿区层状侵入体中的辉长岩与正长岩基本同时形成,属于同一期岩浆活动的产物,均形成于晚二叠世。

### 5 结论

(1)获得红格矿区含矿层状辉长岩体SHRIMP锆石U-Pb年龄为  $258\pm 4\text{Ma}$ ,辉长岩-矿物Sm-Nd等时线年龄为  $253\pm 14\text{Ma}$ ,闪石正长岩中SHRIMP锆石U-Pb年龄为  $257\pm 2\text{Ma}$ ,结果表明,同一矿区的层状辉长岩和闪石正长岩的U-Pb和Sm-Nd等时线年龄在误差范围内一致。鉴于层状辉长岩和闪石正长岩在空间上密切共生,在形成时间上高度一致,可以认为它们都属于晚二叠世末的同期不同阶段岩浆活动的产物。

(2)获得层状辉长岩体1841Ma和2487Ma的锆

石的阴极发光(CL)图像显示,基性-超基性岩浆在上侵过程中,可能从基底捕获岩浆锆石和继承锆石,其年龄信息揭示了康滇地轴岩浆岩带的下部或结晶基底存在古元古代的岩石或物质。

**致谢:**野外采样过程中得到中国地质调查局成都地质调查中心齐先茂研究员、四川省地质矿产勘查开发局一〇六地质队田小林总工程师和蒋先忠副总工程师的大力支持,并协助完成采样工作,SHRIMP锆石定年得到北京离子探针中心车晓超助理研究员的帮助,在锆石年龄数据的解释方面与万渝生研究员进行了有益的讨论,在此一并表示衷心的感谢。

#### 参考文献

- [1]四川省地质矿产局攀西地质大队,四川红格钒钛磁铁矿床成矿条件及地质特征(地质专报,第5号)[M].北京:地质出版社,1987.
  - [2]王子正,范文玉,高建华,等.攀西铁矿成矿带地质矿产特征及找矿方向[J].沉积与特提斯地质,2012,32(1):97-105.
  - [3]李佑国,许家斌,张月姣,等.红格矿床地质地球化学特征与岩浆演化[J].矿物学报,2013,(S2):107-108.
  - [4]罗金华,邱克辉,张佩聪,等.红格钒钛磁铁矿中钛磁铁矿的矿物学特征研究[J].矿物岩石,2013,33(3):1-6.
  - [5]胡素芳,钟宏,刘秉光,等.攀西地区红格层状岩体的地球化学特征[J].地球化学,2001,30(2):131-139.
  - [6]张宗清,卢记仁.攀西层状基性-超基性岩体的Sm-Nd年龄[J].地质学报,1999,(3):263-271.
  - [7]夏斌,刘红英,张玉泉.攀西古裂谷钠质碱性岩锆石SHRIMP U-Pb年龄及地质意义——以红格、白马和鸡街岩体为例[J].大地构造与成矿学,2004,28(2):149-154.
  - [8]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,2002,48(S1):26-30.
  - [9]李华芹,谢才富,常海亮,等.新疆北部有色贵金属矿床成矿作用年代学[M].北京:地质出版社,1998:13-25.
  - [10]张利国,段桂玲,杨红梅,等.玄武岩分相Sm-Nd内部等时线定年方法流程[J].岩矿测试,2014,33(5):640-648.
  - [11]Qiu X F, Ling W L, Liu X M, et al. Recognition of Gernuillian Volcanic suite in the shenonggia regaon and its tectonic significance for the south china craton[J]. Precambrian Research, 2011, 191:101-119.
  - [12]袁海华,张树平,张平,等.攀西裂谷岩浆岩同位素地质年代学初步研究[C]//中国攀西裂谷文集(第1集).北京:地质出版社,1985:241-257.
  - [13]王登红,李建康,王成辉,等.与峨眉地幔柱有关年代学研究的进展及其意义[J].矿床地质,2007,26(5):550-556.
- ①成都地质矿产研究所.红格基性-超基性复合岩体的岩石类型、岩相特征及其成岩成矿机理研究报告.1979:53-91.