

文章编号: 1009-3850(2012)04-0070-06

四川九龙新火山花岗岩体单颗粒锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年及其地质意义

马国桃¹, 姚 鹏¹, 马东方¹, 高大发¹, 汪名杰¹,

李建忠¹, 张慧华¹, 陈敏华¹, 梁 鲸²

(1. 成都地质矿产研究所, 四川 成都 610081; 2. 四川里伍铜业股份有限公司, 四川 九龙 626200)

摘要: 本文对四川九龙新火山花岗岩岩体中的锆石进行了详细的 LA-ICP-MS U-Pb 同位素年龄测定。该岩体中的锆石发育较好的环带结构, Th/U 值较高(大于 0.13), 具有岩浆成因锆石的特征。研究结果表明, 新火山岩体中锆石的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $181.2 \pm 1.4\text{Ma}$ (MSWD = 3.3), 代表了新火山花岗岩的结晶年龄, 为早侏罗世, 反映了松潘-甘孜造山带燕山期岩浆活动的一个重要阶段, 为进一步理解松潘-甘孜燕山期花岗质岩浆活动及其动力学背景等提供了有力的证据。

关键词: 锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年; 燕山期花岗岩; 九龙

中图分类号: P588.12⁺¹

文献标识码: A

松潘-甘孜造山带位于青藏高原东部, 经历了古特提斯和新特提斯两个造山阶段, 发育巨厚的西康群复理石沉积, 其构造形迹复杂, 但主要构造变形发生在晚三叠世^[1-3]。中生代时期, 松潘-甘孜地体内的花岗岩浆活动($219 \pm 8\text{Ma} \sim 185 \pm 3\text{Ma}$)持续了大约 30Ma ^[4]。这些花岗岩导致了印支晚期-燕山早期(190~160Ma)松潘-甘孜地区变质核杂岩成穹事件的发生^[5-7], 形成了如江浪、长枪、恰斯、瓦厂等沿锦屏逆冲推覆带呈链状分布的变质核杂岩, 沿这些变质核杂岩边部分布一系列的铜、铅、锌矿床^[8-10], 引起了许多学者的高度关注, 取得了许多重要的研究成果。

新火山岩体是松潘-甘孜地区白垩纪花岗岩体群的重要组成部分, 但一直以来对其研究比较薄弱。尤其在对该岩体的年代学研究上, 缺少令人信服的数据。四川省地质局第一区域地质测量大队

曾在新火山以单矿物黑云母作钾氩法测定绝对年龄值为 $131 \pm 5\text{Ma}$, 从而认为新火山花岗岩体形成于燕山期。笔者在前人研究工作基础上, 首次利用锆石激光剥蚀等离子体分析技术(LA-ICP-MS)进行锆石的 U-Pb 同位素精确定年, 以期丰富对松潘-甘孜地质和矿产的研究成果, 特别是对评价燕山运动对松潘-甘孜构造带的影响和燕山期花岗岩与稀土、铜、锌的成矿关系提供更多证据。

1 新火山花岗岩体概况

新火山岩体为似斑状黑云母花岗岩, 出露于九龙河与雅砻江汇合处, 坐标大致为 $E101^{\circ}40' \sim E101^{\circ}50'$, $N28^{\circ}30' \sim 28^{\circ}36'$ 。岩体似椭圆形, 长轴与围岩构造线一致, 沿江浪背斜的北东翼侵入, 接触面均向北东倾斜, 倾角一般为 70° , 面积约 34km^2 。

收稿日期: 2012-08-04

作者简介: 马国桃(1981-), 男, 硕士, 工程师, 现主要从事矿床勘查与研究。E-mail: jzmaguotao@126.com

资助项目: 本文为四川李伍铜矿、泸沽铁矿床成矿规律总结研究项目(编号: 20089952)和四川省九龙县黑牛洞铜矿详查项目资助的成果



图1 新火山花岗岩体地质简图(据四川第一区域地质测量大队修编)

O. 奥陶系; S. 志留系; C. 石炭系; P. 二叠系; T. 三叠系; $\gamma\beta_3^2$. 燕山期黑云母花岗岩; γK_5^2 . 燕山期钾长花岗岩; $\gamma\pi_5^2$. 燕山期流纹岩、霏细岩; 1. 逆冲带; 2. 蛇绿混杂岩带; 3. 侵入岩相界限; 4. 平推断层; 5. 复合断层; 6. 正断层; 7. 逆断层; 8. 本次研究同位素年龄样品采集地点
 Fig.1 Simplified geological map of the Xinhuoshan granite masses
 O = Ordovician; S = Silurian; C = Carboniferous; P = Permian; T = Triassic; $\gamma\beta_3^2$ = Yanshanian biotite granite; γK_5^2 = Yanshanian moyite; $\gamma\pi_5^2$ = Yanshanian rhyolite and felsite. 1 = obduction zone; 2 = ophiolitic mélange; 3 = lithofacies boundary of intrusive rocks; 4 = strike-slip fault; 5 = compound fault; 6 = normal fault; 7 = thrust fault; 8 = sample location

新火山花岗岩体(图1)侵位于下奥陶统、二叠系地层中,两者呈明显的侵入接触,与围岩接触面波状起伏。前人依据岩石中矿物组分和结构及矿物结晶程度、颗粒大小等特征,将岩体划分为两个相带:即边缘相和内部相,两个相带为逐渐过渡关系。其中边缘相似斑状黑云母花岗岩的基质均由微粒-细粒的石英、微斜长石及更长石集合体组成,似斑晶由微斜长石及个别石英聚晶组成,中心相似斑状黑云母花岗岩基质为细粒-中粒,似斑晶为粗粒的微斜长石,岩体出露完整。

2 样品及分析方法

本次研究测年样品的采集地点如图1所示,采于新火山花岗岩体中心部位,坐标为 $E101^{\circ}45'02''$, $N28^{\circ}32'30''$ 岩石新鲜,为灰白色中粗粒似斑状花岗岩结构,主要由微斜长石、偏中性更长石、石英、黑云

母及少量的角闪石、白云母组成。

测试样品经人工破碎后,按常规重力和磁选方法分选出锆石,最后在双目镜下挑选。锆石样品靶的制备与 SHRIMP 定年的锆石样品制备方法基本相同^[11]。在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室的扫描电镜加载阴极发光仪上完成锆石的反射光和透射光及阴极发光(CL)显微照相。测试点的选取首先根据锆石反射光和透射光显微照片进行初选,再通过 CL 照片反复对比,力求避开内部裂隙和包裹体以及不同成因的区域,以获得较准确的年龄信息。

本文锆石 U-Pb 同位素定年在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室(GPMR)利用 LA-ICP-MS 分析完成。激光剥蚀系统为 GeoLas 2005, ICP-MS 为 Agilent 7500a。激光剥蚀过程中采用氦气作载气、氩气为补偿气以调节灵敏度,二者在进入 ICP 之前通过一个 T 型接头混合。在等离子体中心气流(Ar + He)中加入了少量氦气,以提高仪器灵敏度、降低检出限和改善分析精度^[12]。每个时间分辨分析数据包括大约 20 ~ 30s 的空白信号和 50s 的样品信号。对分析数据的离线处理(包括对样品和空白信号的选择、仪器灵敏度漂移校正、元素含量及 U-Th-Pb 同位素比值和年龄计算)采用软件 ICPMSDataCal^[13-14] 完成。详细的仪器操作条件和数据处理方法同 Liu et al. (2008, 2010)。

锆石微量元素含量利用多个 USGS 参考玻璃(BCR-2G, BIR-1G 和 GSE-1G)作为多外标、Si 作内标的方法进行定量计算(Liu et al., 2010)。这些 USGS 玻璃中元素含量的推荐值据 GeoReM 数据库(<http://georem.mpch-mainz.gwdg.de/>)。U-Pb 同位素定年中采用锆石标准 91500 作外标进行同位素分馏校正,每分析 5 个样品点,分析两次 91500。对于与分析时间有关的 U-Th-Pb 同位素比值漂移,利用 91500 的变化采用线性内插的方式进行了校正(Liu et al., 2010)。锆石标准 91500 的 U-Th-Pb 同位素比值推荐值据 Wiedenbeck et al. (1995)^[15]。锆石样品的 U-Pb 年龄谱和图绘制和年龄权重平均计算均采用 Isoplot/Ex_ver3(Ludwig 2003)完成。

3 分析结果

新火山花岗岩体中锆石晶粒为无色透明至浅黄色,呈长柱状、正方双锥状、半截锥状、少数浑圆状晶体,绝大多数结晶较好,呈典型的长柱状晶形,

晶体长介于 $90 \sim 290 \mu\text{m}$ 之间,宽介于 $40 \sim 140 \mu\text{m}$,晶体长宽比介于 $2:1 \sim 3:1$,阴极发光 (CL) 图像 (图 2) 显示大多数锆石具有典型的岩浆韵律环带和明暗相间的条带结构,表明为岩浆结晶产物(简平等 2001; 吴元保等 2004),其中部分锆石 (H-ZR-

05、H-ZR-06、H-ZR-09、H-ZR-15、H-ZR-19、H-ZR-20) 具有明显的残留核,可能为继承核或捕获核,为了避免继承锆石对测年的干扰,所选择的测点均位于明显的岩浆环带上,这就保证了定年研究的准确性。

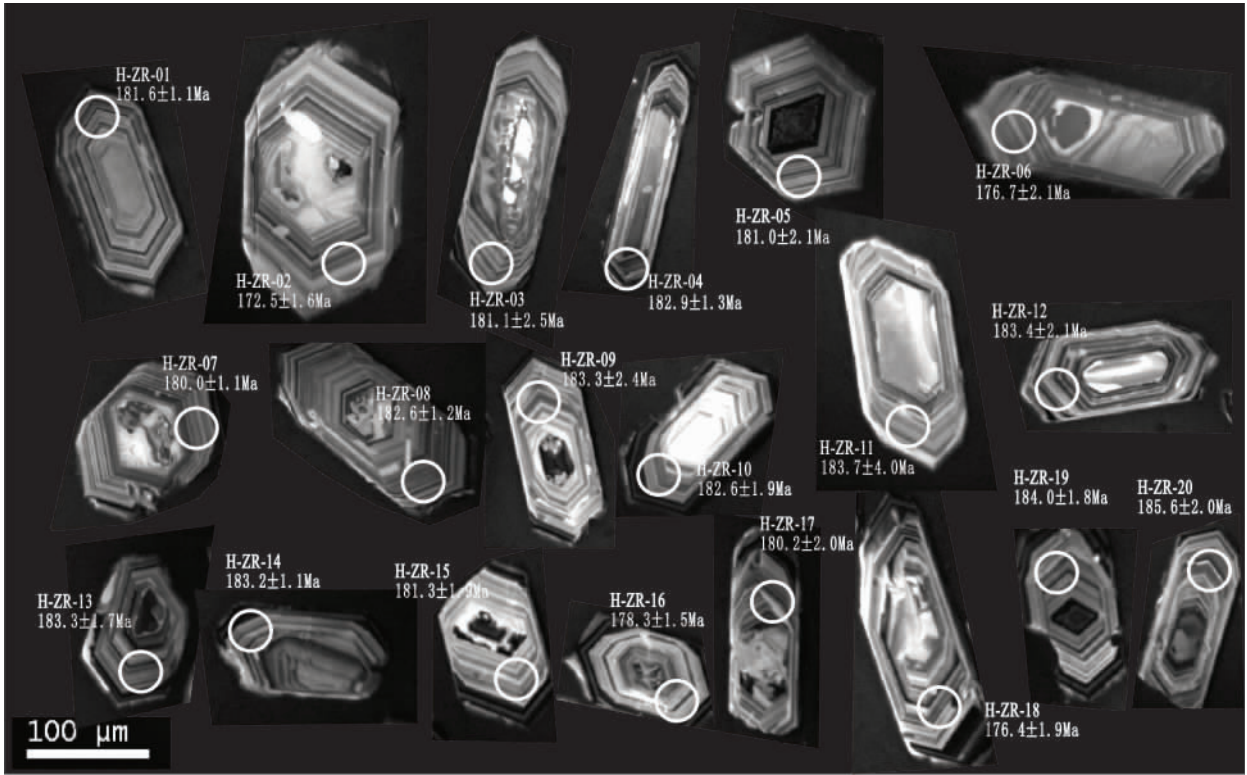


图 2 九龙新火山花岗岩锆石的阴极发光 (CL) 图像和年龄

Fig. 2 The cathodoluminescence images and ages of analyzed zircons from the Xinhuoshan granites in Jiulong

采自新火山花岗岩体的 H-ZR 号样品测试得到的同位素比值和年龄数据(表 1)显示,锆石具有较高的 Th/U 值,为 $0.13 \sim 1.45$ (大部分介于 $0.18 \sim 0.81$ 之间) 表明了岩浆成因锆石的特征^[16-17]。花岗岩样品的 20 个测点的 Th 含量变化为 $188.92 \times 10^{-6} \sim 8610.4 \times 10^{-6}$,U 含量变化为 $1418.71 \times 10^{-6} \sim 7878.91 \times 10^{-6}$,且 Th、U 均呈现出较好的正相关关系,与典型的岩浆锆石特征一致。 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄具有较小的变化范围,为 $172.5\text{Ma} \sim 185.6\text{Ma}$, $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 年龄变化于 $169.19 \sim 287.86\text{Ma}$ 之间。在 U-Pb 谐和图上(图 3),这些锆石具有谐和的 U-Pb 年龄,大部分数据点都位于谐和线上或附近,个别数据点偏离谐和线,表现为 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 值较大,这主要与 ^{207}Pb 难以测准有关^[18],而 ^{207}Pb 的测定结果并不影响 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 值。这表明锆石在形成后其 U-Pb 体系一直保持封闭状态,基本上没有 Pb 的丢失,得到的下交点年龄为 $188 \pm 11\text{Ma}$,对采集的 20 个数据进行

加权平均值计算,获得 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 $181.2 \pm 1.4\text{Ma}$ (MSWD = 3.3),两者在误差范围内一致,代表了花岗岩的结晶年龄,笔者将新火山花岗岩的形成年龄确定为 $181.2 \pm 1.4\text{Ma}$,其形成时代为早侏罗世(据 2005 年国际地层学委员会)。

4 讨论

4.1 新火山花岗岩体形成年龄的重新厘定

四川省地质局第一区域地质测量大队在《金矿幅区域地质调查报告》中将新火山及其附近的 4 个岩体(里庄、张家坪子、乌拉溪、嘎拉子)划为白垩纪,其依据主要基于两点:其一是地质接触关系,即“除张家坪子岩体是与中上石炭统接触外,余者均侵入中、晚三叠世地层,其中里庄岩体、四合村、马六村、羊坪子已侵入至晚二叠世的白果湾组。因此,从侵入体与地层的接触关系来看,岩体产出时代应为二叠纪以后”。其二是依据样品的年龄测试结果,

表1 九龙新火山花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 分析数据

Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb age determinations for the Xinquoshan granites in Jiulong

分析号	Th ($\times 10^{-6}$)	U ($\times 10^{-6}$)	Th/U	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄 (Ma)	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄 (Ma)	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ
H-ZR-01	266.07	1479.12	0.18	181.6	1.1	194.5	25.0	0.0500	0.0012	0.1973	0.0048	0.0286	0.0002
H-ZR-02	188.92	1418.71	0.13	172.5	1.6	142.7	68.5	0.0489	0.0014	0.1831	0.0052	0.0271	0.0003
H-ZR-03	289.16	1625.45	0.18	181.1	2.5	239.0	38.9	0.0509	0.0009	0.2011	0.0045	0.0285	0.0004
H-ZR-04	765.18	2597.65	0.29	182.9	1.3	190.8	46.3	0.0499	0.0010	0.1986	0.0039	0.0288	0.0002
H-ZR-05	8610.40	7878.91	1.09	181.0	2.1	566.7	55.5	0.0587	0.0015	0.2310	0.0051	0.0285	0.0003
H-ZR-06	341.52	1817.82	0.19	176.7	2.1	576.0	76.8	0.0593	0.0020	0.2303	0.0090	0.0278	0.0003
H-ZR-07	484.07	2093.93	0.23	180.0	1.1	233.4	72.2	0.0507	0.0009	0.1983	0.0035	0.0283	0.0002
H-ZR-08	630.63	2537.59	0.25	182.6	1.2	166.8	36.1	0.0492	0.0008	0.1955	0.0034	0.0287	0.0002
H-ZR-09	299.31	1634.97	0.18	183.3	2.4	242.7	64.8	0.0510	0.0014	0.2033	0.0058	0.0288	0.0004
H-ZR-10	459.47	2807.22	0.16	182.6	1.9	333.4	50.0	0.0516	0.0011	0.2048	0.0048	0.0287	0.0003
H-ZR-11	410.77	1601.22	0.26	183.7	4.0	638.9	72.2	0.0610	0.0021	0.2419	0.0076	0.0289	0.0006
H-ZR-12	621.67	2583.42	0.24	183.4	2.1	253.8	57.4	0.0513	0.0013	0.2041	0.0048	0.0289	0.0003
H-ZR-13	400.91	1725.57	0.23	183.3	1.7	257.5	70.4	0.0514	0.0016	0.2037	0.0055	0.0288	0.0003
H-ZR-14	601.85	2863.89	0.21	183.2	1.1	368.6	37.0	0.0540	0.0009	0.2151	0.0036	0.0288	0.0002
H-ZR-15	669.77	1879.72	0.36	181.3	1.9	398.2	51.8	0.0547	0.0013	0.2159	0.0054	0.0285	0.0003
H-ZR-16	4790.80	3306.72	1.45	178.3	1.5	1331.5	45.8	0.0857	0.0020	0.3330	0.0078	0.0281	0.0002
H-ZR-17	4287.21	5295.96	0.81	180.2	2.0	172.3	52.8	0.0495	0.0012	0.1948	0.0048	0.0284	0.0003
H-ZR-18	856.95	3023.06	0.28	176.4	1.9	750.0	96.3	0.0642	0.0029	0.2495	0.0123	0.0277	0.0003
H-ZR-19	389.46	1920.11	0.20	184.0	1.8	344.5	133.3	0.0532	0.0031	0.2137	0.0114	0.0290	0.0003
H-ZR-20	570.27	2556.23	0.22	185.6	2.0	279.7	122.2	0.0518	0.0028	0.2109	0.0098	0.0292	0.0003

注:应用实测 ^{204}Pb 校正锆石中的普通铅,采用年龄为 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{Pb}$ 年龄。

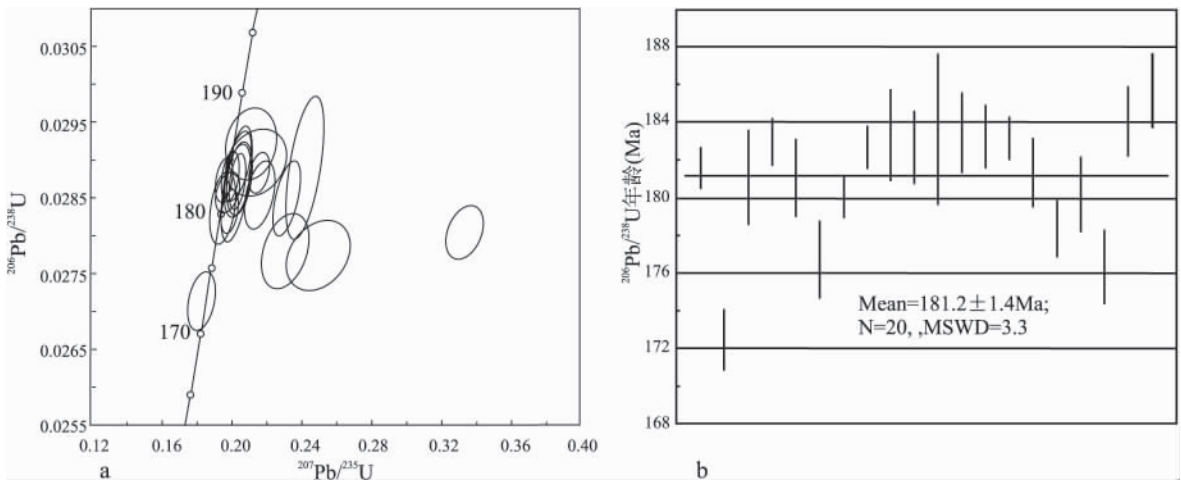


图3 九龙新火山花岗岩中锆石 LA-ICP-MS U-Pb 谐和图 (a) 和年龄加权平均值 (b)

Fig. 3 LA-ICP-MS zircon U-Pb concordia diagram (a) and weighted mean age (b) of the Xinquoshan granites in Jiulong

新火山黑云母花岗岩以单矿物黑云母经西南地质研究所经 K-Ar 法测定绝对年龄为 $131 \pm 5\text{Ma}$,同时测定了马头山、里庄等岩体,年龄值分布为 $78 \sim 114\text{Ma}$,从而认为这些花岗岩体形成于白垩纪。

本次研究工作中经笔者仔细观察,新火山岩体侵入到下奥陶统、二叠系地层中,未直接与三叠纪

地层接触,但二叠纪与三叠纪地层同时发生褶皱后才被新火山岩体侵入,所以岩体的侵入应发生在三叠纪以后。所取样品新鲜,位于岩体中心相,通过典型的岩浆锆石精确厘定了新火山花岗岩的形成年龄为 $181.2 \pm 1.4\text{Ma}$,其形成时代为早侏罗世,而非前人所述的白垩纪,但同属于燕山期岩浆活动的

产物。

4.2 新火山花岗岩与区域上相当时代花岗岩的关系

川西可尔因伟晶岩型稀有金属矿床二云母花岗岩的 Rb-Sr 年龄为 206Ma, 锆石 U-Pb 年龄为 204Ma^[19], 因此其二云母花岗岩的成岩年龄为 204~206Ma, 而其成矿年龄为 152Ma^[7]; 甲基卡二云母花岗岩的成岩作用发生于 198.9Ma, 成矿年龄为 195.7Ma, 属于早侏罗世成岩成矿, 表明伟晶岩脉形成于燕山早期^[20]; 猛古黑云母岩的 K-Ar 年龄为 206Ma; 丹巴地区的伟晶岩脉成岩成矿的时代为早侏罗世-白垩纪(84~183Ma), 其中包括李建康等(2006)所测二道桥和李家工地伟晶岩脉内白云母的⁴⁰Ar-³⁹Ar 法坪年龄 125.01±0.58Ma 和 114.68±0.32Ma; 杨柳坪铜镍铂族矿床的成矿元素的活化迁移及部分成矿发生于 143~61Ma 之间^[21]; 而新火山岩体精确厘定的成岩年龄为 181.2±1.4Ma, 而其所侵入的变质核杂岩中的李伍铜锌矿床的成矿年龄为 142.2~184Ma^[22], 黑牛洞铜锌矿床的成矿年龄为 136.43±0.77Ma^[23]。

因此, 新火山花岗岩与松潘-甘孜地体的一部分花岗岩形成的时间具有一致性, 而与岩体形成相关的各类矿产与岩体存在成岩成矿时差^[6, 20], 可能表明李伍铜锌矿床和黑牛洞铜锌矿床以及穹窿中的矿(化)点(柏香林、挖金沟、笋叶林、上海底)与新火山岩体有一定的成因联系。

4.3 新火山花岗岩与松潘-甘孜造山运动的关系

从三叠纪末古特提斯洋和阿尼玛卿洋封闭, 到新特提斯洋闭合、喜马拉雅运动开始的这段时期内, 松潘-甘孜造山带经历了复杂的地质过程^[1]。在三叠纪末, 昌都-羌塘陆块和昆仑陆块分别与扬子陆块发生陆陆碰撞, 造山带主体发生自西向东和自北向南的双向收缩, 形成多层次逆冲-滑脱剪切带, 其产生的剪切热致使地壳发生局部熔融, 同时双向会聚作用又使造山带主体的岩石圈处于高度收缩的应力状态, 从而造成大量的印支晚期至燕山早期地壳重熔型花岗岩侵入如甲基卡二云母花岗岩(198.9Ma)、猛古黑云母岩(206Ma)等同构造花岗岩体以及一系列的热隆伸展(如锦屏山逆冲推覆带边缘的踏卡、江浪、长枪、恰斯、三垭变质穹隆体, 丹巴地区的公差、青杠林、大桑、格宗、春牛场等混合岩穹隆体)。此外, 造山带主体还发育广泛的区域变质作用(如丹巴地区的巴洛型变质作用)。总体看来, 在印支晚期-燕山期, 造山带主体的构造和岩浆活动剧烈^[6, 20]。

松潘-甘孜造山带在经历了印支末期-燕山早期的剧烈构造运动后, 在 152Ma 左右地壳运动进入相对稳定发展的阶段, 为各种成矿作用的发生提供了必要条件^[6]。

新火山岩体成岩时间的准确厘定为 181.2±1.4Ma, 而非此前的 131±5Ma。这明确了该岩体与江浪穹窿中的李伍铜锌矿(142.2~184Ma)和黑牛洞铜锌矿(136.43±0.77Ma)等形成时代上的先后顺序, 为将岩体与矿床的成因联系在一起提供了一个基本的条件。如何确定两者之间的关系, 还需做进一步的研究工作。

5 结论

(1) 锆石 U-Pb 年龄时代测试结果表明, 新火山花岗岩的形成年龄为 181.2±1.4Ma, 其形成时代为早侏罗世。本次研究虽精确厘定了新火山花岗岩的年龄, 但是否意味着其附近的几个岩体均属于早侏罗世, 仍需做进一步的地质年代学研究。

(2) 松潘-甘孜构造带燕山期花岗质岩浆活动为印支晚期-燕山早期松潘-甘孜地区变质核杂岩成穹事件的发生提供了基本条件, 形成了大量的稀有金属矿床及铜铅锌矿床。加强各矿床点的成矿时代研究可以更明晰松潘-甘孜燕山期岩浆活动的时限及其与各类成矿作用的关系。

致谢: LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄测定得到刘勇胜教授、胡兆初副研究员的帮助, 锆石 CL 照相得到中国地质大学(武汉)郑署老师的帮助, 审稿专家对论文给出了建设性的修改意见。在野外工作中得到里伍铜业股份有限公司程道前董事长、王发清高级工程师、唐高林工程师、邓全琳主任等相关地质人员的大力支持和协助, 在此一并致谢。

参考文献:

- [1] 许志琴, 侯立伟, 汪宗秀, 等. 中国松潘甘孜造山带的造山过程[M]. 北京: 地质出版社, 1992. 1-190.
- [2] BURCHFIELD B C, CHEN Z L, LIU Y P, ROYDEN L H. Tectonics of the Longmen Shan and adjacent regions, central China[J]. Int. Geol. Rev., 1995, 37(8): 661-735.
- [3] YIN A, HARRISON T M. Geologic evolution of the Himalayan Tibetan orogen[J]. Ann. Rev. Earth Planet. Sci., 2000, 28: 211-280.
- [4] 胡健民, 孟庆任, 石玉若, 等. 松潘-甘孜地体内花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其构造意义[J]. 岩石学报, 2005, 21(3): 865-880.
- [5] 傅昭仁, 宋鸿林, 颜丹平. 扬子地台西缘江浪变质核杂岩结构及对成矿的控制[J]. 地质学报, 1997, 71(2): 113-122.

- [6] 李建康,王登红,付小方. 川西可尔因伟晶岩型稀有金属矿床的⁴⁰Ar/³⁹Ar年代及其构造意义[J]. 地质学报, 2006, 80(6): 843-848.
- [7] 李建康,王登红,付小方. 四川丹巴伟晶岩型白云母矿床的成矿时代及构造意义[J]. 矿床地质, 2006, 25(1): 95-100.
- [8] 李建忠,汪名杰,姚鹏,等. 四川九龙黑牛洞铜矿床地质特征及其外围找矿方向初探[J]. 沉积与特提斯地质, 2006, 26(4): 69-77.
- [9] 姚鹏,汪名杰,李建忠,等. 四川里伍式富铜矿成矿特征及其形成机制初探[A]. 第八届全国矿床会议论文集[C]. 北京: 地质出版社, 2006. 284-286.
- [10] 汪名杰,李建忠,姚鹏. 四川省九龙县里伍铜矿外围普查报告[R]. 2007. 1-202.
- [11] 宋彪,张玉海,万渝生,等. 锆石 SHRIMP 样品制靶、年龄测定及有关现象讨论[J]. 地质论评, 2002, 5(增刊): 26-30.
- [12] HU Z C, GAO S, LIU Y S, HU S H, CHEN H H, YUAN H L. Signal enhancement in laser ablation ICP-MS by addition of nitrogen in the central channel gas [J]. Journal of Analytical Atomic Spectrometry, 2008, 23: 1093-1101.
- [13] LIU Y S, HU Z C, GAO S, GUNTHER D, XU J, GAO C G, CHEN H H. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard [J]. Chemical Geology, 2008, 257: 34-43.
- [14] LIU Y, GAO S, HU Z, GAO C, ZONG K, WANG D. Continental and oceanic crust recycling-induced melt-peridotite interactions in the Trans-North China Orogen: U-Pb dating, Hf isotopes and trace elements in zircons of mantle xenoliths [J]. Journal of Petrology, 2010, 51: 537-571.
- [15] WIEDENBECK M, ALLE P, CORFU F, GRIFFIN W L, MEIER M, OBERLI F, QUADT A V, RODDICK J C, SPIEGEL W. Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analyses [J]. Geostandards and Geoanalytical Research, 1995, 19: 1-23.
- [16] PIDGEON R T, WILDE S A. The interpretation of complex zircon U-Pb systems in Archaean granitoids and gneisses from the Jack Hills, Narryer Gneiss Terrane, Western Australia [J]. Precambrian Research, 1998, 91(3/4): 309-332.
- [17] CLAESSENS S, VETRIN V, BAYANOVA T, DOWNES H. 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.
- [18] 袁洪林,吴福元,高山,等. 东北地区新生代侵入体的锆石激光探针 U-Pb 年龄测定和稀土元素成分分析[J]. 科学通报, 2003, 48(14): 1511-1520.
- [19] 廖远安,姚学良,金川. 一过铝多阶段花岗岩体演化特征及其与成矿关系[J]. 矿物岩石, 1992(1): 12-22.
- [20] 王登红,李建康,付小方. 四川甲基卡伟晶岩型稀有金属矿床的成矿时代及其意义[J]. 地球化学, 2005, 34(6): 19-21.
- [21] 王登红,刘凤山,楚莹石,等. 峨眉地幔柱与杨柳坪铜镍铂族元素矿床[M]. 北京: 兵器工业出版社, 2003. 42-46.
- [22] 宋鸿林,田竞亚,颜丹平等. 扬子地台北缘江浪变质核杂岩变形变质作用及李伍式铜矿成矿模式. “八五”地质矿产部重点科技攻关项目研究成果报告[R]. 1995. 1-82.
- [23] 马国桃,汪名杰,姚鹏,等. 四川省九龙县黑牛洞富铜矿床黑云母⁴⁰Ar-³⁹Ar测年及其地质意义[J]. 地质学报, 2009, 83(5): 671-679.

LA-ICP-MS zircon U-Pb dating and geological implications for the Xihuoshan granites in Jiulong, Western Sichuan

MA Guo-tao¹, YAO Peng¹, MA Dong-fang¹, GAO Da-fa¹, WANG Ming-jie¹, LI Jian-zhong¹, ZHANG Hui-hua¹, CHEN Min-hua¹, LIANG Jing²

(1. Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610081, Sichuan, China; 2. Liwu Copper Mining Co. Ltd., Jiulong 626200, Sichuan, China)

Abstract: The LA-ICP-MS zircon U-Pb dating is made for the Xihuoshan granites in Jiulong, Western Sichuan. The selected zircon grains from the granites display well-defined girdle structures in the cathodoluminescence images and higher Th-U ratios (more than 0.13) characteristic of magmatic origin. The ²⁰⁶Pb/²³⁸Pb weighted average age of 181.2 ± 1.4 Ma (Early Jurassic) for the Xihuoshan granites (MSWD = 3.3) represents the age of crystallization of the Xihuoshan granites, and an important phase of the Yanshanian magmatism in the Songpan-Garze orogenic zone. The findings in this study may serve as the circumstantial evidence for better understanding of the granitic magmatism and dynamic settings in the Songpan-Garze orogenic zone during the Yanshanian.

Key words: LA-ICP-MS zircon U-Pb dating; Yanshanian granite; Jiulong