

川西北平武地区南一里花岗闪长岩锆石 U-Pb 定年及其地质意义

李佐臣 裴先治 丁仁平 刘战庆 王 飞 李高阳 李瑞保 李夫杰

(西部地质资源与地质工程教育部重点实验室, 长安大学 地球科学与资源学院, 陕西 西安 710054)

摘要:川西北平武地区的碧口地块中出露较多的印支期岩浆侵入岩类, 但缺乏精确的年代学资料。笔者运用阴极发光技术, 对碧口地块西南缘的南一里花岗闪长岩中的锆石进行了细致的内部结构分析, 并在此基础上利用 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 原位定年技术进行了同位素年龄测定。结果表明, 花岗闪长岩中锆石 Th/U 比值较高, 阴极发光图像显示锆石内部发育振荡环带, 具岩浆成因特点; 南一里花岗闪长岩的结晶年龄为 223.1 ± 2.6 Ma (MSWD=1.4), 表明其形成时代为晚三叠世早期。南一里花岗闪长岩侵入时代晚于勉略构造带的主碰撞期, 侵位于后碰撞环境, 或者至少是由同碰撞到后碰撞的转折阶段。

关键词:花岗闪长岩; LA-ICP-MS; 锆石 U-Pb 定年; 平武地区; 川西北

中图分类号: P597 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2007)06-1003-10

川西北及其邻区处于秦岭造山带、松潘—甘孜造山带和扬子地块汇聚交接地区, 是研究中国大陆构造及其大陆动力学的关键地区, 是探索中国大陆壳幔三维结构、多块体拼合、陆壳增生、消减机制的天然实验室, 具有复杂的构造图像和拼合历史。前人^[1-7]的研究认为秦岭—大别造山带形成于扬子地块和华北地块在中三叠世末期的碰撞过程中, 到三叠纪晚期扬子地块和华北地块完成拼合, 以出露巨量的超高压变质岩石而著名。超高压变质岩形成于 240~210 Ma, 主要是扬子地块岩石深俯冲于华北地块之下 100~150 km, 甚至 200 多千米深^[8]。秦岭造山带现今以商丹、勉略两缝合带及其分割的华北、扬子以及位于两缝合带之间的秦岭微地块为主要构造格架。它们是扬子板块在早古生代沿商丹俯冲带向华北板块俯冲碰撞基础上, 于晚古生代又沿勉略带拉张形成勉略洋盆后才发展演化为 3 个相互独立的板块, 于中晚三叠世最终完成碰撞造山过程并奠定了现今秦岭造山带的构造格局^[9]。在秦岭造山带西南侧的松潘—甘孜造山带虽然在新生代时期受到强烈的改造^[9], 但其变形过程主要发生在晚三叠世或印支期^[10-14]。同时在印支期扬子地块西北缘的龙门山构造带发生强烈的陆内造山作用而形成逆冲推覆构造。显然川西北及其邻区在印支期发生了强烈的造山作用, 而且最近的研究表明在勉略带以南、勉略带与商丹带之间、商丹带以北均存在印支期 220~

200 Ma 的花岗岩体, 这些岩体的出露呈面型分布, 没有显示出与周围构造带有明显的空间关系, 同一时期的花岗岩出露在不同的块体或造山带中, 这些岩体在时代和形成环境上有什么联系? 对这些花岗岩进行详细的年代学研究, 并进一步确定其构造属性、块体之间的拼合关系及其探索大陆动力学具有重要的地质意义。

笔者选择碧口地块西南缘的南一里花岗闪长岩体为研究对象 (图 1), 通过详细的岩石学及锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年代学研究, 结合前人的研究成果探讨该岩体的成因及与邻区同时代花岗岩体之间的关系以及岩体与碰撞造山之间的关系。

1 区域地质概况

碧口地块现今位于扬子地块的西北缘, 分别以勉略带、四川—阳平关断裂、岷江断裂与西秦岭造山带、龙门山构造带以及松潘—甘孜造山带相接, 呈长三角形块体, 向东构造尖灭^[14-16]。碧口地块是一套以中新元古界碧口群火山岩为主体的浅变质火山—沉积岩建造。早古生代仅在地块北缘、西缘有不完善的次稳定型沉积。西端志留系与西秦岭白龙江群类似。晚古生代转为松潘—甘孜孤盆(裂谷)体系中的远端地块, 以发育上古生界和三叠系稳定型沉积为特征。

收稿日期: 2007-04-03; 改回日期: 2007-07-05

基金项目: 国家自然科学基金项目(40572121、40234041)和教育部科学技术研究重点项目(104175)资助。

作者简介: 李佐臣, 男, 1979 年生, 博士生, 主要从事构造地质学研究; E-mail: lizuoichen2003@163.com。

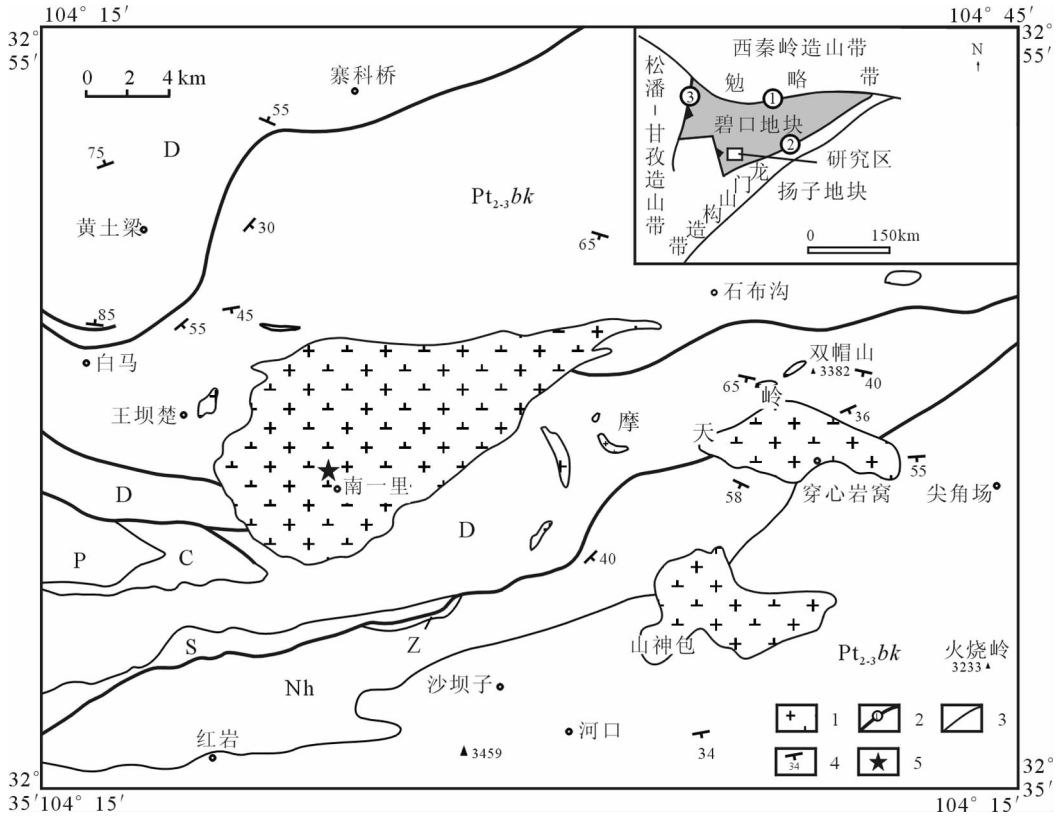


图 1 川西北平武地区南一里一带地质简图

Pt₂₋₃bk—中新元古界碧口群;Nh—南华系;Z—震旦系;S—志留系;D—泥盆系;C—石炭系;P—二叠系;1—花岗岩长岩;
2—断裂及其编号(①勉略带;②青川—阳平关断裂;③岷江断裂);3—地质界线;4—岩层产状;5—同位素年龄采样位置

Fig.1 Geological sketch map of Nanyili of the Pingwu area in northwest Sichuan

Pt₂₋₃bk—Meso- and Neoproterozoic Bikou Group;Nh—Nanhuan System;Z—Sinian;S—Silurian;D—Devonian; C—Carboniferous;
P—Permian;1—Granodiorite;2—Fault and its serial number (① Mianxian—Lueyang suture zone; ② Qinchuan—Yangpingguan fault;
③ Minjiang fault);3—Geological boundary;4—Attitude of layers;5—Sample Location

南一里花岗岩长岩体出露于碧口地块西南缘平武县北部南一里一带,岩体北侧与中新元古代碧口群变质沉积-火山岩呈侵入接触关系;南侧与泥盆纪变质细砂岩、粉砂质板岩呈侵入接触关系。在泥盆纪变质细砂岩、粉砂质板岩中见有蚀变带,片理发育,片理产状为 160°∠70°,产状向南逐渐变缓,倾角由 70°变为 40~45°,主要显示出绢云母、黑云母等变质矿物,与热接触变质作用有关。根据南一里岩体与周围地层的接触关系,可以初步得出该岩体的侵入时代应在泥盆纪之后。

2 岩石学及岩石地球化学特征

南一里花岗岩长岩岩体呈近三角形(图 1),分布面积约 140 km²。主要岩性为灰白色细粒二云母花岗岩长岩,呈灰白色,中细粒-细粒花岗结构,块状构造,内部无变形特征,并切割了区域主要断裂带,指示其形成侵位发生在主碰撞造山变质作用峰期之后。岩石主要由石英(30%~35%)、斜长石(35%

±)、钾长石(10%~15%),少量黑云母(5%±)、白云母(5%±)等组成,粒径 0.5~2 mm,副矿物以榍石和磷灰石为主,其次为锆石、褐帘石、斜黝帘石、磁铁矿等。

南一里花岗岩长岩的岩石地球化学分析表明^[9],岩石的 SiO₂ 含量为 70.64%,具有富 Al₂O₃ (16.21%,Al₂O₃>CaO+K₂O+Na₂O)和 K₂O(3.85%),贫 MgO(0.71%),高碱(Na₂O+K₂O=8.20%),富钠(Na₂O>K₂O,Na₂O/K₂O 比值为 1.13),Sr(1101×10⁻⁶)和 Ba(657.1×10⁻⁶)含量较高,Sr/Y(214.62)和 La/Yb(113.57)比值较高的特征。里特曼指数 δ=2.43,碱度率 AR=2.83,A/CNK=1.24,明显大于 1,表明属钙碱性系列、过铝质岩石。与正常的岛弧安山岩-英安岩-流纹岩相比,岩石的 LREE 显著富集,(La/Yb)_N=76.66,HREE 亏损,Yb(0.28×10⁻⁶)和 Y(5.13×10⁻⁶)含量较低,具弱的负铕异常(δEu=0.90)。这些地球化学特点与典型埃达克质岩^[13]相同,在 Sr/Y-Y 和 (La/Yb)_N-Yb_N 图解上落入埃达克质岩区域,表明南一里花岗岩长岩体具埃达克质岩特征。

3 分析方法

在南一里花岗闪长岩体中采集同位素年龄样品 1 件 (D202, 图 1), 采样点地理坐标为 N32°43'12.3", E104°21'54.6"。

样品采用常规方法进行粉碎至 80~100 目, 并用浮选和电磁选方法进行分选, 再在双目镜下挑选出晶形和透明度较好的锆石颗粒。将锆石颗粒粘在双面胶上, 然后用无色透明的环氧树脂固定, 待环氧树脂充分固化后, 对其表面进行抛光至锆石露出。锆石的阴极发光 (CL) 显微照相在中国科学院地质与地球物理研究所的 Cameca 电子探针仪器上完成, 分析电压为 15 kV, 电流为 19 nA。

锆石原位 U-Pb 同位素年龄分析在西北大学大陆动力学国家重点实验室的 LA-ICP-MS 仪器上用标准测定程序进行。分析仪器为 Elan 6100DRC 型四极杆质谱仪和 Geolas200M 型激光剥蚀系统, 激光器为 193 nm ArF 准分子激光器。激光剥蚀斑束直径为 30 μm , 剥蚀深度为 20~30 μm 。锆石年龄计算采用国际标准锆石 91500 作为外标, 元素含量采用美国国家标准物质局人工合成硅酸盐玻璃 NIST

SRM610 作为外标, ^{29}Si 作为内标元素进行校正。样品的同位素比值和元素含量数据处理采用 GLITTER (4.0 版, Macquarie University) 软件, 并采用 Andersen (2002) 软件对测试数据进行普通铅校正, 年龄计算及成图采用 ISOPLOT (2.49 版) [18-19] 软件完成。详细的实验原理和流程及仪器参数见参考文献 [20]。

4 测试结果

4.1 锆石的 CL 图像特征

南一里花岗闪长岩样品 (D202) 中的锆石为自形晶, 浅黄色—无色透明色。锆石的阴极发光 (CL) 图像如图 2 所示, 内部结构清楚, 表现出典型的岩浆生长振荡环带结构、韵律结构、核边结构, 属于岩浆结晶产物 [20-23]。根据锆石内部结构可分为 3 组: 第一组有 3 颗锆石 (测点 01、09、19, 图 2-a), 呈长柱状, 锆石颗粒粒径为 180~250 μm , 晶体长宽比为 2:1 \pm ; 第二组有 5 颗锆石 (测点 06、13、16、21、23, 图 2-b), 呈短柱状或近椭圆状, CL 图像上显示较强的发光性 (测点 13 除外), 锆石颗粒粒径为 150~200 μm , 晶体长宽比为 1:1~2:1, 锆石中有继承锆石的残留核, 残留核在阴极发光图像中显示为白色

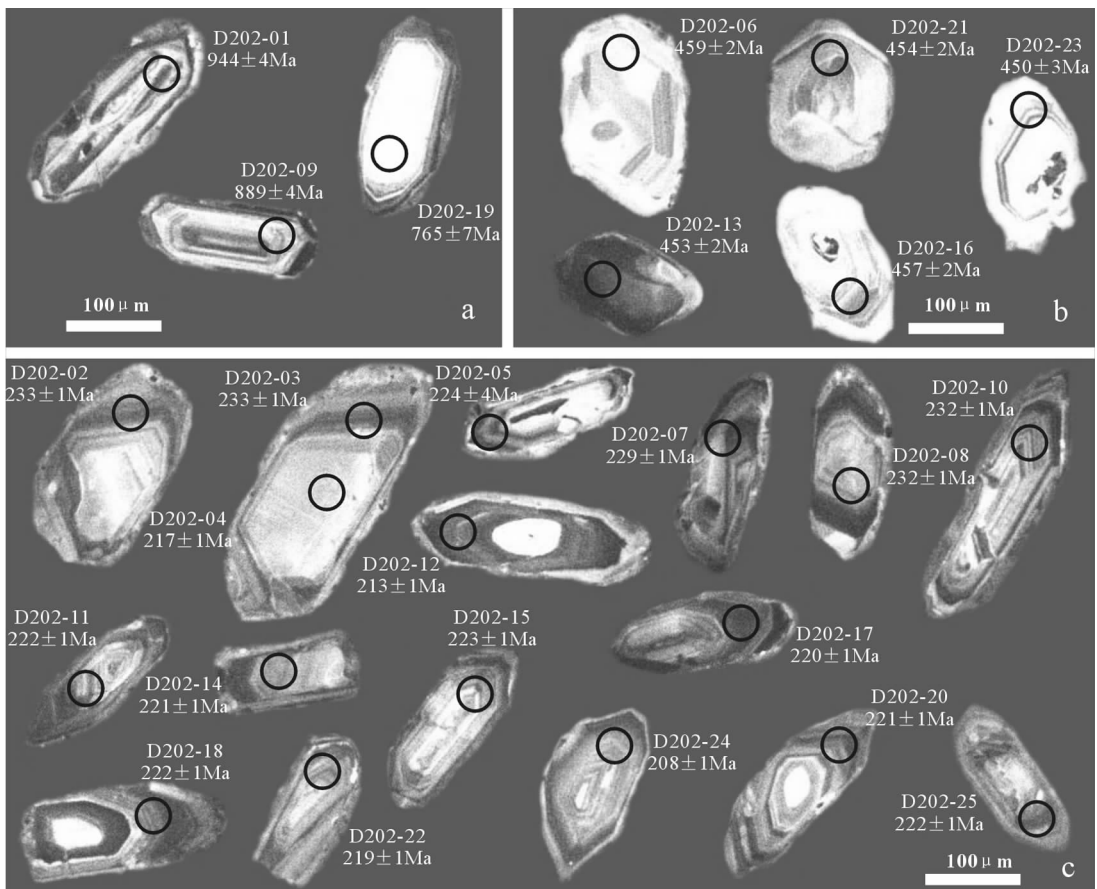


图 2 南一里花岗闪长岩单颗粒锆石 CL 图像和年龄值

Fig.2 CL images and ages of single zircons in the Nanyili granodiorite

椭圆状;第三组包括其余的 17 颗锆石(图 2-c), 锆石颗粒粒径为 150~300 μm, 柱状晶体长宽比为 1:1~3:1, 长柱状、半截锥状, 其中测点 12、18、20 中有继承锆石的残留核, 残留核在 CL 图像上显示较强的发光性。

4.2 锆石 Th、U 含量及 Th/U 比值

大量研究表明, 不同成因锆石有不同的 Th、U 含量及 Th/U 比值: 岩浆锆石的 Th、U 含量较高、Th/U 比值较大(一般>0.4); 变质锆石的 Th、U 含量低、Th/U 比值小(一般<0.1) [21-26]。火成岩典型 Th/U 比值为(0.1~1.0) [17], Th/U 比值变化较大, 说明锆石形成于化学成分相对不均匀的岩浆结晶条件下 [21]。在 25 个测点中(表 1), 第一组锆石的 Th 含量为 $45.77 \times 10^{-6} \sim 133.39 \times 10^{-6}$, U 含量为 $31.89 \times 10^{-6} \sim 567.31 \times 10^{-6}$, Th/U 比值为 0.24~1.44; 第二组锆石的 Th 含量为 $118.34 \times 10^{-6} \sim 609.63 \times 10^{-6}$, U 含量为 $228.08 \times 10^{-6} \sim 568.20 \times 10^{-6}$, Th/U 比值为 0.44~1.07; 第三组锆石的 Th 含量为 $136.99 \times 10^{-6} \sim 1479.95 \times 10^{-6}$, U 含量为 $100.17 \times 10^{-6} \sim 1010.58 \times 10^{-6}$, Th/U 比值为 0.11~1.09。这些分析点多位于明显的岩浆环带上, 保存了岩浆成因的特征。

4.3 锆石 U-Pb 年龄

南一里花岗闪长岩样品(D202) 共分析测试了 25 个点(表 1), 锆石的 Th/U 比值为 0.11~1.44, 表明了岩浆成因锆

石的特征。其锆石 U-Pb 年龄与 CL 图像对应可以分为 3 组: 第一组年龄有 3 个测点(01、09、19), 其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄分别为 951 Ma、903 Ma 和 793 Ma(图 3-a); 第二组有 5 个测点(06、13、16、21、23), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄分别为 459 Ma、459 Ma、455 Ma、454 Ma 和 453 Ma, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 和 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 的谐和年龄为 $456.2 \pm 4.1 \text{ Ma}$ (MSWD=0.41)(图 3-b); 第三组有 17 个测点, 其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 214~232 Ma, 其中 15 测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 和 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 谐和性较好, 谐和年龄为 $218.5 \pm 8.4 \text{ Ma}$ (MSWD=13)(图 3-c), 其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $223.1 \pm 2.6 \text{ Ma}$ (MSWD=1.4)(图 3-c), 代表了南一里花岗闪长岩结晶年龄, 其余 2 个测点(15、24)表现为有明显的谐和, 且位于谐和线之下, 存在一定的 Pb 丢失。因此, 笔者将南一里花岗闪长岩的结晶年龄确定为 $223.1 \pm 2.6 \text{ Ma}$, 其形成时代为晚三叠世早期。

5 讨论

对南一里花岗闪长岩体的锆石测年结果表明, 有 3 组不同的年龄, 反映了多期次构造热事件活动。第一组年龄可能是岩浆捕获锆石年龄, 而且很可能是捕获的新元古代基底岩石年龄, 是扬子地块周缘地区发生晋宁期构造-热事件的反

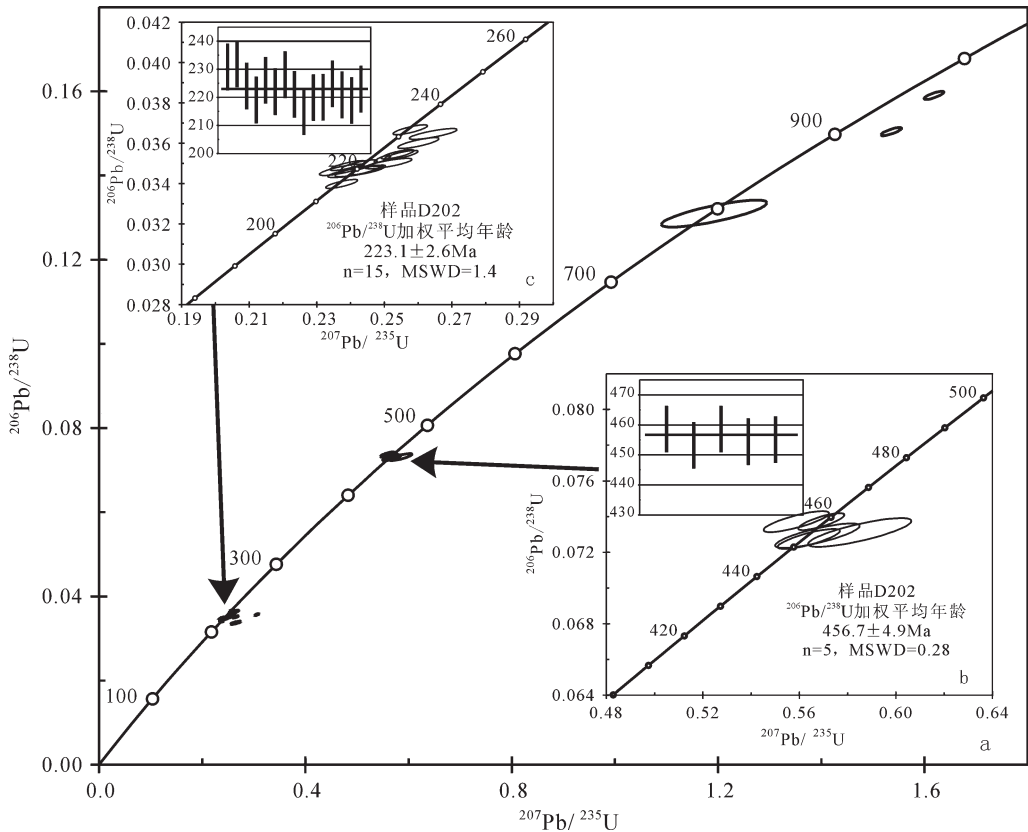


图 3 南一里花岗闪长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄谐和图
Fig.3 LA-ICP-MS zircon U-Pb concordia diagram of the Nanyili granodiorite

表 1 南一里花岗闪长岩体(D202)的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素分析结果
Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb isotopic analysis of the Nanyili granodiorite (D202)

测点号	^{206}Pb	^{232}Th	^{238}U	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	同 位 素 比 值			表 面 年 龄 (Ma)										
	$/10^{-6}$	$/10^{-6}$	$/10^{-6}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$								
D202.01	311.75	183.40	482.83	0.38	0.07393	0.00086	1.60909	0.01099	0.15778	0.00070	0.04416	0.00027	1035	12	977	6	951	4
D202.02	100.17	149.31	664.83	0.22	0.05479	0.00084	0.27793	0.00333	0.03677	0.00018	0.01261	0.00013	312	53	238	5	231	1
D202.03	255.79	422.48	1697.01	0.25	0.05109	0.00070	0.25887	0.00257	0.03674	0.00017	0.01146	0.00009	238	27	233	3	232	1
D202.04	247.77	208.67	1760.58	0.12	0.05537	0.00077	0.26162	0.00262	0.03426	0.00016	0.01361	0.00015	295	39	231	3	224	1
D202.05	144.34	154.85	994.31	0.16	0.06400	0.00108	0.31151	0.00426	0.03530	0.00019	0.01874	0.00023	225	68	220	6	219	1
D202.06	149.01	228.16	489.44	0.47	0.05603	0.00071	0.57057	0.00490	0.07385	0.00033	0.02294	0.00014	451	21	457	5	459	2
D202.07	181.30	1325.59	1213.40	1.09	0.06164	0.00083	0.30764	0.00293	0.03620	0.00017	0.01096	0.00006	682	20	271	3	226	1
D202.08	108.32	146.78	715.23	0.21	0.05513	0.00098	0.27855	0.00415	0.03665	0.00019	0.01390	0.00018	289	55	228	5	222	1
D202.09	347.04	133.39	567.31	0.24	0.07388	0.00087	1.50596	0.01075	0.14786	0.00066	0.05628	0.00039	1042	13	945	7	903	4
D202.10	138.37	169.27	913.02	0.19	0.05186	0.00083	0.26157	0.00336	0.03659	0.00018	0.01252	0.00015	302	33	235	4	228	1
D202.11	157.94	196.32	1086.72	0.18	0.05030	0.00072	0.24244	0.00259	0.03497	0.00016	0.01149	0.00012	213	30	221	3	221	1
D202.12	339.94	272.35	2428.21	0.11	0.05560	0.00070	0.25780	0.00219	0.03364	0.00015	0.01454	0.00013	226	40	216	3	215	1
D202.13	172.36	609.63	568.20	1.07	0.05609	0.00082	0.56289	0.00635	0.07282	0.00036	0.02261	0.00013	461	30	454	7	453	3
D202.14	122.87	171.80	844.12	0.20	0.04959	0.00083	0.23850	0.00330	0.03490	0.00018	0.01104	0.00014	179	41	216	4	220	1
D202.15	179.05	241.78	1220.79	0.20	0.05452	0.00079	0.26394	0.00291	0.03513	0.00017	0.01337	0.00013	400	30	238	4	222	1
D202.16	155.15	224.19	504.22	0.44	0.05466	0.00081	0.55389	0.00642	0.07354	0.00036	0.02292	0.00018	411	33	451	7	459	3
D202.17	354.51	355.86	2437.63	0.15	0.05230	0.00070	0.25019	0.00241	0.03472	0.00016	0.01190	0.00012	255	41	223	3	220	1
D202.18	291.90	397.71	1989.56	0.20	0.05159	0.00076	0.24875	0.00286	0.03499	0.00017	0.01202	0.00012	284	26	230	3	225	1
D202.19	16.87	45.77	31.89	1.44	0.06887	0.00244	1.19590	0.04065	0.12602	0.00131	0.04116	0.00052	808	114	797	39	793	15
D202.20	143.50	233.23	979.63	0.24	0.04937	0.00070	0.23713	0.00259	0.03486	0.00016	0.01164	0.00011	182	31	218	4	221	1
D202.21	70.06	118.34	228.08	0.52	0.05610	0.00099	0.56380	0.00840	0.07294	0.00040	0.02163	0.00021	470	42	456	9	454	3
D202.22	111.08	136.99	760.97	0.18	0.05039	0.00082	0.24039	0.00320	0.03463	0.00017	0.01118	0.00014	228	39	220	4	219	1
D202.23	80.34	168.29	263.15	0.64	0.05760	0.00109	0.57415	0.00948	0.07235	0.00043	0.02421	0.00022	532	50	468	11	455	4
D202.24	104.25	140.64	750.72	0.19	0.05570	0.00112	0.25229	0.00445	0.03287	0.00019	0.01378	0.00021	491	54	239	7	214	2
D202.25	1010.58	1479.95	6827.75	0.22	0.05096	0.00053	0.24575	0.00137	0.03500	0.00014	0.01846	0.00009	258	11	226	2	223	1

表 2 碧口地块及其周缘印支期侵入岩同位素年龄

Table 2 Isotope ages of Indosinian intrusive rocks of the Bikou massif and its surroundings

岩体名称	岩石类型	大地构造位置	年龄值 (Ma)	测试方法	测试时间	构造环境	数据来源
关山岩体	花岗岩	北祁连造山带	229±7	锆石 SHRIMP U-Pb	2006	后碰撞环境	张宏飞等 ^[27]
老君山岩体	环斑花岗岩	北秦岭造山带	214.4±3.0	锆石 TIMS U-Pb 年龄	1999	后碰撞环境 ^[25]	卢欣祥等 ^[28]
秦岭梁岩体	环斑花岗岩	北秦岭造山带	217.3±3.2	锆石 TIMS U-Pb 年龄	1999	后碰撞环境 ^[25]	卢欣祥等 ^[28]
沙河湾岩体	奥长环斑花岗岩	北秦岭造山带	213±2	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar 年龄	1999	后碰撞环境	张宗清等 ^[30]
沙河湾岩体	奥长环斑花岗岩	北秦岭造山带	213.9±0.5	全岩 Rb-Sr 等时线年龄	1999	后碰撞环境	张宗清等 ^[30]
沙河湾岩体	奥长环斑花岗岩	北秦岭造山带	212.1±1.8	锆石 TIMS U-Pb 年龄	1999	后碰撞环境	张宗清等 ^[30]
糜畹岭岩体	花岗岩	西秦岭造山带	212.6±2.8	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	2006	后碰撞环境	丁仁平等 (未刊)
光头山岩体	黑云花岗岩	南秦岭造山带	216±2	锆石 SHRIMP U-Pb	2000	后碰撞环境 ^[28]	孙卫东等 ^[31]
姜家坪岩体	二云二长花岗岩	南秦岭造山带	206±2	锆石 SHRIMP U-Pb	2000	后碰撞环境 ^[28]	孙卫东等 ^[31]
东江口岩体	石英二长花岗岩	南秦岭造山带	211±2	锆石 SHRIMP U-Pb	2000	后碰撞环境 ^[28]	孙卫东等 ^[31]
迷坝岩体	二长花岗岩	南秦岭造山带	220±1	锆石 SHRIMP U-Pb	2000	后碰撞环境 ^[29]	孙卫东等 ^[31]
张家坝岩体	石英闪长岩	南秦岭造山带	219±2	锆石 SHRIMP U-Pb	2000	后碰撞环境 ^[30]	孙卫东等 ^[31]
新院岩体	闪长花岗岩	南秦岭造山带	214±1	锆石 SHRIMP U-Pb	2000	后碰撞环境 ^[30]	孙卫东等 ^[31]
阳坝岩体	花岗岩	碧口地块	215.4±8.3	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	2005	造山晚期或后造山期	秦江锋等 ^[35]
南一里岩体	花岗岩	碧口地块	219.4±4.5	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	2006	后碰撞环境	本文
毛尔盖主岩体	黑云母二长花岗岩	松潘—甘孜造山带	211±4	锆石 SHRIMP U-Pb	2005	后碰撞环境	胡健民等 ^[36]
松林口岩体	黑云母二长花岗岩	松潘—甘孜造山带	215±3	锆石 SHRIMP U-Pb	2005	后碰撞环境	胡健民等 ^[36]
嘎伍岭岩体	黑云母花岗岩	松潘—甘孜造山带	199±3	锆石 SHRIMP U-Pb	2005	后碰撞环境	胡健民等 ^[36]
雅江岩体	黑云母二长花岗岩	松潘—甘孜造山带	197±3	锆石 SHRIMP U-Pb	2005	后碰撞环境	胡健民等 ^[36]
四姑娘山岩体	黑云母花岗岩	松潘—甘孜造山带	185±3	锆石 SHRIMP U-Pb	2005	后碰撞环境	胡健民等 ^[36]
干草岩体	黑云母花岗岩	松潘—甘孜造山带	229	锆石 U-Pb	2002	后碰撞环境	勾永东等 ^[37]
相阳阿岩体	斑状角闪花岗岩	松潘—甘孜造山带	237.2	锆石 U-Pb	2002	后碰撞环境	勾永东等 ^[37]
羊拱岩体	花岗岩	松潘—甘孜造山带	221±4	锆石 SHRIMP U-Pb	2006	后碰撞环境	张宏飞等 ^[38]
毛尔盖岩体	花岗岩	松潘—甘孜造山带	216±6	锆石 SHRIMP U-Pb	2006	后碰撞环境	张宏飞等 ^[38]

映,并使扬子板块最终形成结晶基底,揭示碧口地块为扬子板块的组成部分;第二组年龄可能代表碧口地块在晚奥陶世曾经发生过加里东期构造热事件,只是在现今的地表未有显示,另外,裴先治等对位于后龙门山构造带的毛塔子火山岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年代学研究表明,其喷发时代为晚奥陶,这与碧口地块在晚奥陶世的构造热事件是否存在联系,尚需进一步探索研究;第三组年龄则代表了南一里花岗闪长岩的结晶年龄。

近几年来对碧口地块、秦岭造山带、松潘—甘孜造山带以及祁连造山带中印支期花岗岩体的年代学研究^[27-38]表明(表2),碧口地块、秦岭造山带、松潘—甘孜造山带以及祁连造山带中的印支期花岗岩体的形成时间为220~205 Ma(松潘—甘孜造山带内的花岗岩体主要形成于晚三叠世,但岩浆活动可延续到早侏罗世晚期^[36]),即晚三叠世,其侵位时代比较集中,且并未受到各构造单元边界的限制,显然这些岩体的形成时代晚于各构造单元之间的相对拼合时间。

目前的研究认为秦岭造山带沿南秦岭勉略带—大别山的碰撞造山作用主要发生在中生代早期,形成南秦岭造山带,并最终完成扬子与华北地块的全面碰撞拼合^[1-4,39-41]。华北与扬子地块的碰撞主要发生在254~220 Ma^[42-43]。但是现有研究认为在东、西秦岭地区沿勉略带印支期发生碰撞峰期时间至少在(242±21)Ma^[37],其中勉略带中可代表主碰撞时代的黑沟峡绿片岩的峰期 Sm-Nd 变质年龄为240 Ma^[39,41]。如果将240 Ma 作为碰撞峰期年龄,则碧口地块以及西秦岭造山带、松潘—甘孜造山带和祁连造山带中的印支期花岗岩体侵位年龄至少晚了20 Ma 左右;而对典型碰撞造山带的研究认为后碰撞花岗岩的出现只比碰撞峰期年龄晚26 Ma(如喜马拉雅地区)或10~20 Ma(如阿尔卑斯地区)^[44,45]。

此外,花岗岩体地球化学特征研究表明^[27,29-30,32-36,38],这些花岗岩类多为高钾过铝质—准铝质岩石,其主量元素和微量元素具有后碰撞花岗岩的特征,同时具有埃达克质岩特征,显示它们是在地壳明显增厚背景下,由幔源的基性岩浆诱使地壳熔融形成的,是造山晚期或后造山期增厚的基性下地壳发生拆沉作用的产物。因此可以看出,在扬子与华北地块的全面碰撞之后,碧口地块、秦岭造山带、松潘—甘孜造山带以及祁连造山带都发生了面型的岩浆侵入活动,而这些花岗岩体就形成于地壳明显增厚背景下的后碰撞环境。对西秦岭洽力关和夏河花岗岩体的研究表明,其锆石 SHRIMP U-Pb 年龄分别为(245±6)Ma 和(238±4)Ma,形成于板块消减的活动陆缘构造环境,与活动陆缘加厚的下地壳熔融作用有关^[16]。这表明在印支期该区域发生了两期构造岩浆侵入活动,早期为同碰撞花岗岩,晚期为后碰撞花岗岩。

南一里花岗闪长岩体的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄为(223.1±2.6)Ma,与秦岭造山带、松潘—甘孜造山带中的印支期花岗岩体的锆石 U-Pb 年龄(220~205 Ma)^[46]在误差范围内基本一致,都稍晚于秦岭造山带的主造山期(242±21 Ma)^[39],因此它们都可能与印支期华北和扬子地块之间的后碰撞造

山作用有密切关系。由此看来,南一里花岗闪长岩体显然应形成于后碰撞构造环境,或者至少是形成于由同碰撞到后碰撞构造环境的转折阶段。

6 结论

(1) 根据 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测试结果,确定南一里花岗闪长岩体的结晶年龄为(223.1±2.6)Ma (MSWD=1.4),表明其形成时代为晚三叠世早期。南一里花岗闪长岩体晚于勉略构造带的主碰撞期,侵位于后碰撞构造环境,或者至少是形成于由同碰撞到后碰撞的转折阶段。

(2) 捕获锆石年龄 951 Ma、903 Ma 和 793 Ma 反映了晋宁期构造岩浆热事件,揭示出碧口地块为扬子板块的组成部分,且碧口地块在 456 Ma 曾经发生过加里东期构造热事件。

(3) 在扬子与华北地块的全面碰撞造山之后,碧口地块、秦岭造山带、松潘—甘孜造山带以及祁连造山带发生了面型的具埃达克质性质的岩浆侵入活动,这些岩体形成于地壳明显增厚背景下的后碰撞环境。

致谢:LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄测试得到西北大学大陆动力学国家重点实验室柳小明博士、第五春荣博士等的帮助,在此表示衷心感谢!

参考文献(References):

- [1] 张国伟, 张本仁, 袁学诚, 等. 秦岭造山带与大陆动力学 [M]. 北京: 科学出版社, 2001: 1-855.
Zhang Guowei, Zhang Benren, Yuan Xuecheng, et al. Qinling Orogenic Belt and Continental Dynamics[M]. Beijing: Science Press, 2001: 1-855(in Chinese).
- [2] 张国伟, 郭安林, 姚安平. 中国大陆构造中的西秦岭—松潘大陆构造结[J]. 地学前缘, 2004, 11(3): 23-32.
Zhang Guowei, Guo Anlin, Yao Anping. Western Qinling - Songpan continental tectonic node in China's continental tectonics [J]. Earth Science Frontiers, 2004, 11 (3): 23-32 (in Chinese with English abstract).
- [3] 张国伟, 董云鹏, 赖绍聪, 等. 秦岭—大别造山带南缘勉略构造带与勉略缝合带[J]. 中国科学(D 辑), 2003, 33(12): 1121-1135.
Zhang Guowei, Dong Yunpeng, Lai Shaocong, et al. Mianlue Tectonic Belt and Mianlue paleo-suture on the southern margin of the Qinling-Dabie Orogenic Belt [J]. Science in China (Series D), 2003, 33(12): 1121-1135(in Chinese).
- [4] 李亚林, 李三忠, 张国伟. 秦岭勉略缝合带组成与古洋盆演化[J]. 中国地质, 2002, 29(2): 129-134.
Li Yalin, Li Sanzhong, Zhang Guowei. Composition of the Mianlue suture zone and its relation with the evolution of the old oceanic basin [J]. Geology in China, 2002, 29(2): 129-134 (in Chinese with English abstract).
- [5] 裴先治, 李佐臣, 丁仁平, 等. 西秦岭天水地区岛弧型基性岩浆杂岩的地球化学特征及形成时代 [J]. 中国地质, 2005, 32 (4): 529-540.
Pei Xianzhi, Li Zuochen, Ding Saping, et al. Geochemical

- characteristics and zircon U-Pb ages of island-arc basic igneous complexes in the Tianshui area, West Qinling[J]. *Geology in China*, 2005, 32(4):529-540(in Chinese with English abstract).
- [6] 丁仁平, 裴先治, 刘会彬, 等. 西秦岭天水地区新元古代花岗岩片麻岩的锆石 LA-ICP-MS 定年及其地质意义 [J]. *中国地质*, 2006, 33(6):1217-1225.
- Ding Sapng, Pei Xianzhi, Liu Huibin, et al. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of the Xinyang Neoproterozoic granitoid gneisses in the Tianshui area, western Qinling, and its geological significance[J]. *Geology in China*, 2006, 33(6):1217-1225(in Chinese with English abstract).
- [7] 宋传中, 张国伟, 牛漫兰, 等. 秦岭造山带北缘的斜向碰撞与汇聚因子[J]. *中国地质*, 2006, 33(1):48-55.
- Song Chuazhong, Zhang Guowei, Niu Manlan, et al. Oblique collision and convergence factor on the northern margin of the Qinling orogenic belt[J]. *Geology in China*, 2006, 33(1):48-55(in Chinese with English abstract).
- [8] Ye K, Cong B, Ye D. The possible subduction of continental material to depths greater than 200 km[J]. *Nature*, 2000, 407:734-736.
- [9] Dewey J F, Shackelton R M, Cheng C, et al., The tectonic evolution of the Tibetan plateau [J]. *Phil. Trans. R. Soc. London*, 1988, A327:379-413.
- [10] 许志琴, 侯立玮, 王宗秀, 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.
- Xu Zhiqin, Hou Liwei, Wang Zhongxiu, et al. Orogenic Process of the Songpan-Ganzi Orogen in China [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1992, 1-190(in Chinese).
- [11] Hsü K, Pan Guitang, Sengor A M C, et al. Tectonic evolution of the Tibetan Plateau: a working hypothesis based on the archipelago model of orogenesis[J]. *International Geological Review*, 1995, 37: 473-508.
- [12] Burchfiel B C, Chen Z L, Liu Y P, et al. Tectonics of the Longmen Shan and adjacent regions, central China [J]. *International Geology Review*, 1995, 37:661-735.
- [13] Yin A, Harrison T M. Geologic evolution of the Himalayan-Tibetan orogen [J]. *Annual Review of Earth Planet of Sciences*. 2002, 28:211-280.
- [14] 张国伟, 孟庆任, 赖少聪. 秦岭造山带的结构构造 [J]. *中国科学 (B 辑)*, 1995, 25(9):994-1003.
- Zhang Guowei, Meng Qingren, Lai Shaocong. Structure and tectonics of the Qinling orogenic belt [J]. *Science in China (Series B)*, 1995, 25(3):994-1003(in Chinese).
- [15] 张国伟, 孟庆任, 丁在平, 等. 秦岭造山带的造山过程及其动力学特征[J]. *中国科学 (D 辑)* 1996, 26(3):193-200.
- Zhang Guowei, Meng Qingren, Ding Zaiping, et al. Orogenic processes and Cenozoic dynamics characteristics of the Qinling orogenic belt[J]. *Science in China (Series D)*, 1996, 26(3):193-200 (in Chinese).
- [16] 金维浚, 张旗, 何登发, 等. 西秦岭埃达克岩的 SHRIMP 定年及其构造意义[J]. *岩石学报*, 2005, 21(3):959-966.
- Jin Weijun, Zhang Qi, He Dengfa, et al. SHRIMP dating of adakites in western Qinling and their implication[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2005, 21(3):959-966(in Chinese with English abstract).
- [17] Defant M J, Drummond M S. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted litho sphere [J]. *Nature*, 1990, 347:662-665.
- [18] Ludwig K R. ISOPLOT (rev.2.49): A plotting and regression program for radiogenic isotope data. US Geological Survey Open-File Report, 1991, 39.
- [19] Ludwig K R. Users Manual for Isoplot/Ex (rev. 2. 49): A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center Special Publication, 2001, 1a:1-55.
- [20] 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 年龄测定与稀土元素成分分析 [J]. *科学通报*, 2003, 48(14):1511-1520.
- Yuan Honglin, Wu Fuyuan, Gao Shan, et al. Determination of U-Pb age and rare earth element concentrations of zircons from Cenozoic intrusions in northeastern China by laser ablation ICP-MS [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2003, 48(22):2411-2421.
- [21] Belousova E A, Suzanne G W, Fisher Y. Igneous zircon: trace element composition as an indicator of source rock type[J]. *Contrib Mineral Petrol*, 2002, 143:602-622.
- [22] Siebel W, Blaha U, Chen F, et al. Geochronology and geochemistry of a dyke-host rock association and implications for the formation of the Bavarian Pfahl shear zone, Bohemian Massif[J]. *Int. J. Earth Sci. (Geol Rundsch)*, 2005, 94:8-23.
- [23] 吴元保, 郑永飞. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约[J]. *科学通报*, 2004, 49(16):1589-1604.
- Wu Yuanbao, Zheng Yongfei. Genesis of zircon and its constraints on interpretation of U-Pb age [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2004, 49(15):1544-1569.
- [24] Zhang Chengli, Li Miao, Wang Tao, et al. U-Pb zircon geochronology and geochemistry of granitoids in the Douling Group in the Eastern Qinling [J]. *Acta Geological Sinica*, 2004, 78(1):83-95.
- [25] Chen Danlin, Liu Liang, Sun Yong, et al. Determination of the Neoproterozoic granite in the Eastern Qinling Mountains, Shichaogou syn-collisional belt, and its geological implications[J]. *Acta Geological Sinica*, 2004, 78(1):73-82.
- [26] 陈志宏, 陆松年, 李怀坤, 等. 北秦岭德河黑云二长花岗岩片麻岩体的成岩时代 TIMS 和 SHRIMP 锆石 U-Pb 同位素年代学[J]. *地质通报*, 2004, 23(2):136-142.
- Chen Zhihong, Lu Songnian, Li Huaikun, et al. The age of the Dehe biotite monzogranite gneiss in the North Qinling: TIMS and SHRIMP U-Pb zircon dating [J]. *Geological Bulletin of China*, 2004, 23(2):136-142(in Chinese with English abstract).
- [27] Zhang Hongfei, Zhang Benren, Nigel Harris, et al. U-Pb zircon SHRIMP ages, geochemical and Sr-Nd-Pb isotopic compositions of intrusive rocks from the Longshan-Tianshui area in the southeast corner of the Qilian orogenic belt, China: Constraints on

- petrogenesis and tectonic affinity[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2006, 27:751-764.
- [28] 卢欣祥, 尉向东, 肖庆辉, 等. 秦岭环斑花岗岩的年代学研究及意义[J]. *高校地质学报*, 1999, 5(4):373-377.
Lu Xinxiang, Wei Xiangdong, Xiao Qinghui, et al. Geochronological studies of rapakivi granites in Qinling and its geological implications [J]. *Geological Journal of China Universities*, 1999, 15(4):372-377(in Chinese with English abstract).
- [29] 王晓霞, 王涛, 卢欣祥, 等. 北秦岭老君山、秦岭梁环斑结构花岗岩及构造环境——一种可能的造山带型环斑花岗岩 [J]. *岩石学报*, 2003, 19(4):650-660.
Wang Xiaoxia, Wang Tao, Lu Xinxiang, et al. Laojunshan and Qinlingliang rapakivi-textured granitoids in North Qinling and their tectonic setting: A possible orogenic type of rapakivi granitoids [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2003, 19(4):650-660(in Chinese with English abstract).
- [30] 张宗清, 张国伟, 唐索寒, 等. 秦岭沙河湾奥长环斑花岗岩的年龄及其对秦岭造山带主造山期时间的限制 [J]. *科学通报*, 1999, 44 (9):981-983.
Zhang Zongqing, Zhang Guowei, Tang Suohan, et al. Age of the Shahewan rapakivi granite in the Qinling Orogen, China, and its constraints on the end time of the main orogenic stage of this orogen [J]. *Science in China*, 1999, 44(21):2001-2004.
- [31] 孙卫东, 李曙光, Yadong Chen, 等. 南秦岭花岗岩锆石 U-Pb 定年及其地质意义[J]. *地球化学*, 2000, 29(3):209-216.
Sun Weidong, Li Shuguang, Yadong Chen, et al. Zircon U-Ph dating of granitoids from South Qinling, Central China and their geological significance [J]. *Geochimica*, 2000, 29 (3):209-216(in Chinese with English abstract).
- [32] 张成立, 张国伟, 晏云翔, 等. 南秦岭勉略带北光头山花岗岩体群的成因及其构造意义[J]. *岩石学报*, 2005, 21(3):711-720.
Zhang Chengli, Zhang Guowei, Yan Yunxiang, et al. Origin and dynamic significance of Guangtoushan granitic plutons to the north of Mianlue zone in southern Qinling[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 21 (3):711-720(in Chinese with English abstract).
- [33] 李淼, 张成立, 苑克增, 等. 南秦岭迷坝岩体的地球化学特征及其地质意义[J]. *西北大学学报(自然科学版)*, 2004, 34(3):325-330.
Li Miao, Zhang Chengli, Yuan Kezeng, et al. Geochemical characteristics of Miba intrusion in the South Qinling Belt and its geological significance [J]. *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)*, 2004, 34(3):325-330(in Chinese with English abstract).
- [34] 晏云翔, 张成立. 南秦岭张家坝岩体和新院岩体地球化学特征及其形成环境[J]. *高校地质学报*, 2005, 11(3):425-433.
Yan Yunxiang, Zhang Chengli. Geochemical Characteristics and Tectonic Setting of Zhangjiaba and Xinyuan Plutons in South Qinling [J]. *Geological Journal of China Universities*, 2005, 11(3): 425-433(in Chinese with English abstract).
- [35] 秦江锋, 赖绍聪, 李永飞, 扬子板块北缘碧口地区阳坝花岗闪长岩体成因研究及其地质意义[J]. *岩石学报*, 2005, 21(3):697-710.
Qin Jiangfeng, Lai Shaocong, Li Yongfei. Petrogenesis and geological significance of Yangba granodiorites from Bikou area, Northern margin of Yangtze Plate[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2005, 21(3):697-710(in Chinese with English abstract).
- [36] 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): 867-880.
Hu Jianmin, Meng Qingren, Shi Yuruo, et al. SHRIMP U-Pb dating of zircons from granitoid bodies in the Songpan-Ganzi terrane and its implications[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2005, 21(3): 867-880(in Chinese with English abstract).
- [37] 勾永东, 徐天德. 川西反 S 形构造岩浆带北段侵入岩岩石构造组合序列的划分[J]. *四川地质学报*, 2002, 22(2):65-71.
Gou Yongdong, Xu Tiande. Division of Petrotectonic Association Sequence of Intrusive Rocks in North Reversed S-shaped Tectono-magmatic Zone, West Sichuan [J]. *Acta Geologica Sichuan*, 2002, 22(2):65-71(in Chinese with English abstract).
- [38] Zhang Hongfei, Zhang Li, Nigel Harris, et al. U-Pb zircon ages, geochemical and isotopic compositions of granitoids in Songpan-Garze fold belt, eastern Tibetan Plateau: constraints on petrogenesis and tectonic evolution of the basement [J]. *Contrib Mineral Petrol*, 2006, 152:75-88.
- [39] 张国伟, 程顺有, 郭安林, 等. 秦岭-大别中央造山系南缘勉略古缝合带的再认识——兼论中国大陆主体的拼合 [J]. *地质通报*, 2004, 23(9/10):846-853.
Zhang Guowei, Cheng Shunyou, Guo Anlin, et al. Mianlue paleo-suture on the southern margin of the Central Orogenic System in Qinling-Dabie—with a discussion of the assembly of the main part of the continent of China [J]. *Geological Bulletin of China*, 2004, 23(9/10):846-853(in Chinese with English abstract).
- [40] 赖绍聪, 张国伟, 董云鹏, 等. 秦岭-大别勉略构造带蛇绿岩与相关火山岩的性质及其时空分布 [J]. *中国科学 (D 辑)*, 2003, 33 (12):1174-1183.
Lai Shaocong, Zhang Guowei, Dong Yunpeng, et al. Geochemistry and regional distribution of ophiolite and associated volcanics in Mianlue suture, Qinling-Dabie Mountains [J]. *Science in China (Series D)*, 2004, 47(3):289-299.
- [41] 李曙光, 孙卫东, 张国伟, 等. 南秦岭勉略构造带黑沟峡变质火山岩的年代学和地球化学-古生代洋盆及其闭合时代的证据[J]. *中国科学(D 辑)*, 1996, 26(3):223-230.
Li Shuguang, Sun Weidong, Zhang Guowei, et al. Chronology and geochemistic of metavolcanic rocks from Heigouxia Valley in the Mian-lue tectonic zone. South Qinling: Evidence of a Palenozoic oceanic basin and its close time [J]. *Science in China (Series D)*, 1996, 26(3):223-230(in Chinese).
- [42] Zhang H F, Zhong Z Q, Gao S, et al. U-Ph zircon age of the foliated garnet-bearing granites in western Dabie Mountains, Central China[J]. *Chinese Science Buletin*, 2001, 46(19):1657-1661.
- [43] Hacker R B, Ratsehacher L, Webb L. U-Pb zircon ages constrain the architecture of the ultrahigh-pressure Qinling-Dabie Orogen, China [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1998, 61:

15-230.

Lithos, 1998, 45:29-44.

[44] Yin Q, Jagoute, Kroner A. Precambrian (?) blueschist/coesite - bearing eclogite belt in central China [J]. Terra Abstract, 1991, 3: 85-86.

[46] Sun W D, Li S C, Y D Chen, et al. Timing of synorogenic granotoids in the south Qinling, central China: Constraints on the evolution of the Qinling-Dabie Orogenic Belt [J]. J. Geology, 2002, 110:457-468.

[45] Sylvester P J. Post-collisional strongly peraluminous granites [J].

Zircon U-Pb dating of the Nanyili granodiorite in the Pingwu area, northwestern Sichuan, and its geological significance

LI Zuo-chen, PEI Xian-zhi, DING Sa-ping, LIU Zhan-qing,
WANG Fei, LI Gao-yang, LI Rui-bao, LI Fu-jie

(Key Laboratory of Geological Resources and Engineering of Western China, the Ministry of Education, School of Earth Science and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract: Plenty of Indosinian intrusive rocks outcrop in the Bikou massif in the Wuping area, northwestern Sichuan, but accurate chronological data are lacking. The authors analyzed the interior structures of zircons from the Nanyili granodiorite at the southwest margin of the Bikou massif by using the CL technique, and on that basis, they performed the in-situ zircon U-Pb dating using the LA-ICP-MS and obtained reliable age data. The results show that: the zircons from the granodiorite have higher Th/U ratios, and the CL images display oscillatory zoning in the interior of the zircons, suggesting the features of magmatic origin. The crystallization age of the Nanyili granodiorite is 223.1 ± 2.6 Ma (MSWD=1.4), indicating that the granodiorite formed in the early Late Triassic. The Nanyili granodiorite was intruded later than the main collision period of the Mianxian-Lueyang tectonic belt and emplaced in a post-collision setting or at least in a transition stage from syncollision to postcollision.

Key words: granodiorite; LA-ICP-MS dating; zircon U-Pb dating; Pingwu area; northwestern Sichuan

About the first author: LI Zuo-chen, male, born in 1979, Ph.D candidate, main research interests in regional tectonics; E-mail: lizuochen2003@163.com.