

云南建水腊里河超基性岩地质特征及其构造意义

刘 娇^{1,2}, 周 洋³, 郭宏杰², 熊 昕², 李德威^{2,4}

(1. 武汉科技大学城市学院, 湖北 武汉 430083; 2. 中国地质大学(武汉)地球科学学院, 湖北 武汉 430074; 3. 武汉地质资源环境工业技术研究院, 湖北 武汉 430074; 4. 中国地质大学(武汉)青藏高原研究中心, 湖北 武汉 430074)

[摘要]川滇黔等地在二叠世晚期发生峨眉山玄武岩短期内大规模溢流喷发。滇西地区发育的镁铁—超镁铁质岩均被认为是峨眉山大火成岩省的产物,但在滇东地区却一直缺少该类岩石组合的报道。本文在滇东建水地区首次发现了腊里河超基性岩体,通过 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年分析表明该超基性岩先期形成年龄为 (246 ± 5.2) Ma, 为晚二叠—早三叠世的产物,后期中侏罗世晚期 (169.6 ± 2.0) Ma (MSWD=3.5) 发生岩浆活化。该超基性岩 $Mg^\#$ 值平均为 78.73, 稀土元素表现出略微右倾的平坦型特征, Rb、Sr、Ba、Pb 等大离子亲石元素相对富集, 高场强元素 Zr、Hf 相对亏损, Ta 异常富集。其地化特征表现出富集型地幔源区特征, 与峨眉山玄武岩成因关系密切。晚二叠世建水地区由于地幔柱活动形成地表溢流玄武岩, 在深部岩浆房由玄武质岩浆结晶分异作用形成超基性侵入岩, 到中侏罗世晚期, 伴随着华南地区发生多期次构造运动, 先前存在于岩浆房中的超镁铁质岩经过后期热液改造活化, 沿着断层裂隙侵入地表。

[关键词]超镁铁岩; 锆石 U-Pb 测年; 大火成岩省; 热液改造; 云南建水

[中图分类号] P588.12*5 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1000-5943(2016)03-0178-09

1 引言

滇东地区大地构造位置处于兰坪—思茅地块与华夏地块和扬子地块的交界处, 区域地质构造较为复杂。该区从晚古生代至中生代, 先后经历: 一、晚二叠世末期峨眉山玄武岩短期内大规模喷发溢流; 二、晚三叠世古特提斯洋分支闭合^[1-4]; 三、晚中生代大规模陆内伸展构造及其成岩成矿事件^[5-8]。在滇西地区, 据报道, 存在较多的镁铁—超镁铁质侵入岩, 根据前人研究, 均被认为其形成与峨眉山大火成岩省的溢流玄武岩关系密切^[9-10]。而在滇东地区却鲜有该类岩石组合的报道。本文作者在滇东建水地区新发现了腊里河超基性二辉橄榄岩, 总结前人研究, 现今地表出露的橄榄岩存在以下三种成因^[11]: ①构造侵位, 如蛇绿岩、阿尔卑斯型超镁铁岩; ②岩浆捕获, 一般以

捕虏体或包体产出于其它岩体之中; ③岩浆侵位结晶分异成因。由此可见, 橄榄岩出露于地表可以是洋壳闭合, 构造侵位的结果, 也可以是岩浆侵位分异的产物, 或者是被其它经过壳幔相互作用的岩浆捕获, 带出地表所形成。因此, 橄榄岩对研究区域深部地质过程尤其是壳幔相互作用过程具有非常重要的意义^[12-14]。本文通过详细的野外地质调查, 对超基性岩进行采样分析, 从年代学、地球化学等方面对新发现的腊里河超基性岩进行详细的研究, 结合区域地质背景以及前人在研究区附近发现的超基性—基性岩石组合, 探讨腊里河超基性岩的成因及其地质意义, 为滇东地区构造演化提供一定依据。

2 地质背景

研究区位于扬子板块西南缘, 西临红河断裂,

[收稿日期] 2016-07-08

[基金项目] 中国地质调查局: 云南 1:5万龙朋等六幅区域地质调查(项目编号: 1212011220400)。

[作者简介] 刘娇(1990—), 女, 硕士, 构造地质学专业。

[通讯作者] 李德威(1962—), 男, 教授, 博士生导师, 构造地质专业。

靠近哀牢山造山带,东南为加里东褶皱带(图1)。区内断层按走向、活动性等特征可分为三种类型:一、NW向断层,代表性断层有曲江断裂、建水—石屏断裂;二、NEE向断层,以师宗—弥勒断裂及其次级断裂为代表,是继承基底间歇性活动的同沉积断层;三、S-N向断层,以小江断裂及其次级断裂为主,是一条重要活动断层带。研究区背景

区域上发育的基性喷出岩主要为二叠纪峨眉山组($P_3\beta$)火山岩。这套基性喷出岩以玄武岩为主,局部夹有少量橄榄玄武岩,安山质玄武岩,凝灰质玄武岩,火山角砾岩等。区域内侵入岩较为少见,主要以本文新发现的腊里河二辉橄榄岩及其北西约30 km的元江青龙厂附近超镁铁质—镁铁质岩石组合为主。

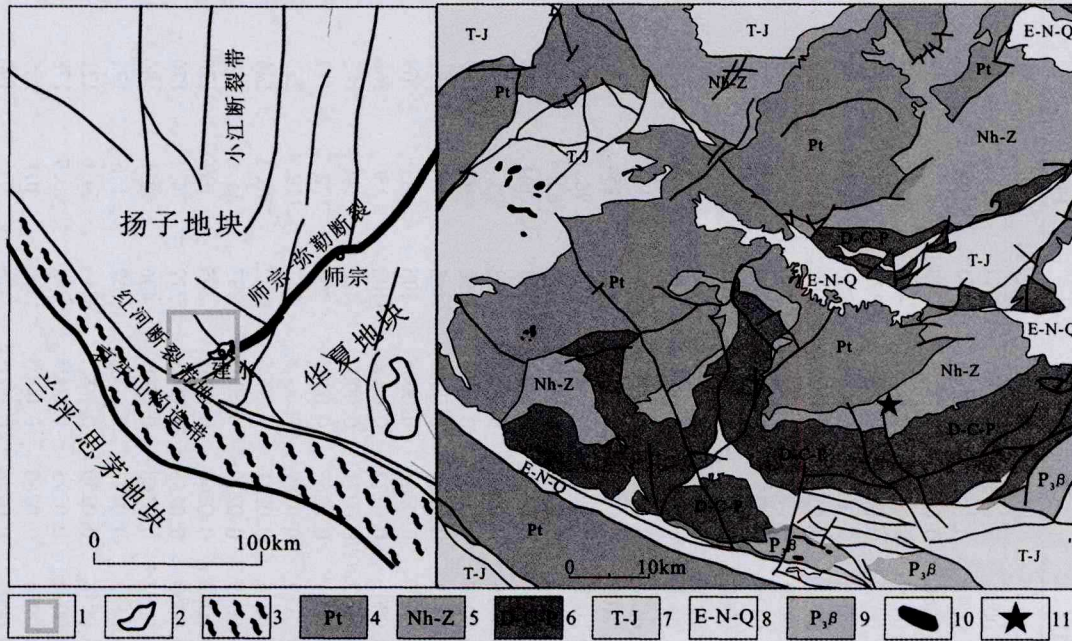


图1 建水地区构造背景及地质简图

Fig. 1 Geologic sketch and structural background of Jianshui Fig

1—研究区;2—盆地;3—构造带;4—元古界;5—南华系-震旦系;6—泥盆-石炭-二叠系;7—三叠-侏罗系;
8—古近系-新近系-第四系;9—二叠玄武岩;10—超基性岩;11—采样位置

3 年代学特征

本文在野外地质调查中,对超基性岩采样进行锆石 U-Pb 定年,采样位置为 $102^{\circ}34'52''$, $23^{\circ}32'31''$ 。锆石单矿物分离由河北省区域地质调查研究所承担。锆石制靶和阴极发光等图像采集在武汉上谱分析科技有限责任公司完成。选择环带清晰、晶形较好的锆石,圈定了36个无包体、无裂缝的点做微区原位分析。锆石 La-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素定年在中国冶金地质总局山东局分析测试中心完成,激光剥蚀系统为 GeoLas Complex 102F, ICP-MS 为 X Serious II。对离线数据的处理使用软件 ICPMSDataCal^[15-16]完成。所有的测点均采用 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄值,置信度大于90%。

该岩石样品锆石含量极少。锆石以长柱状和短柱状居多,多为浅色、透明晶体,颗粒大小变化

于 $40\sim 150\ \mu\text{m}$ 之间,长宽比介于 $1:1\sim 4:1$ 之间, CL 图像(图2)显示大部分锆石具有清晰的震荡环带,部分具有扇形分带的结构。在圈定的36个锆石分析点中(表1),锆石的 U、Th 含量变较大,

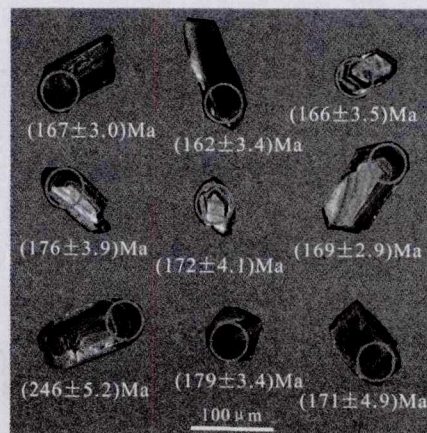


图2 二辉橄榄岩部分锆石阴极发光图

Fig. 2 Zircons cathode luminescence image of the herzolite

表1 建水地区二辉橄辉岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb zircon dating results of lherzolite from Jianshui area

点号	^{232}Th		Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$				
	10^{-6}	$\times 10^{-6}$		比值	σ	比值	σ	Age(Ma)	σ	Age(Ma)	σ	Age(Ma)	σ			
1	45.6	1890	1042	1.81	0.0536	0.0017	0.1875	0.0059	0.0252	0.0004	354	75.0	175	5.0	161	2.3
2	9.59	187	264	0.71	0.0539	0.0023	0.1998	0.0091	0.0266	0.0005	369	98	185	7.7	169	3.1
3	17.18	366	444	0.82	0.0508	0.0018	0.1974	0.0066	0.0283	0.0005	232	89.8	183	5.6	180	3.0
4	6.87	130	199	0.65	0.0559	0.0032	0.2028	0.0124	0.0261	0.0007	456	125.0	187	10.5	166	4.2
5	12.95	284	369	0.77	0.0529	0.0021	0.1893	0.0074	0.0261	0.0005	324	90.7	176	6.3	166	3.2
6	15.95	352	425	0.83	0.0522	0.0022	0.1947	0.0085	0.0270	0.0005	300	98.1	181	7.2	172	3.2
7	10.84	283	282	1.00	0.0481	0.0024	0.1830	0.0093	0.0275	0.0005	106	115	171	8.0	175	2.9
8	23.41	544	633	0.86	0.0501	0.0018	0.1874	0.0069	0.0270	0.0004	198	78.7	174	5.9	171	2.2
9	6.40	120	191	0.63	0.0521	0.0031	0.1881	0.0118	0.0259	0.0006	300	144	175	10.1	165	4.1
10	12.88	285	352	0.81	0.0510	0.0022	0.1916	0.0080	0.0271	0.0004	243	100.0	178	6.8	172	2.5
11	49.0	1413	1154	1.22	0.0496	0.0014	0.1945	0.0056	0.0282	0.0004	176	66.7	180	4.8	179	2.7
12	6.05	105	163	0.64	0.0514	0.0027	0.1906	0.0098	0.0273	0.0006	257	122	177	8.4	174	3.7
13	5.10	122	138	0.89	0.0510	0.0044	0.1819	0.0126	0.0274	0.0007	243	198	170	10.9	174	4.3
14	12.24	248	326	0.76	0.0510	0.0034	0.1955	0.0109	0.0271	0.0006	243	154	181	9.2	173	3.6
15	21.6	676	541	1.25	0.0549	0.0024	0.1941	0.0079	0.0256	0.0004	406	98.1	180	6.7	163	2.6
16	32.3	922	917	1.00	0.0502	0.0019	0.1745	0.0062	0.0252	0.0004	211	82.4	163	5.4	161	2.6
17	11.87	240	319	0.75	0.0536	0.0025	0.1974	0.0091	0.0267	0.0005	354	101	183	7.7	170	3.2
18	27.0	803	694	1.16	0.0506	0.0020	0.1833	0.0078	0.0260	0.0005	233	95.4	171	6.7	165	3.2
19	16.07	375	423	0.89	0.0490	0.0022	0.1789	0.0077	0.0263	0.0005	150	106	167	6.6	167	3.0
20	54.0	2143	1316	1.63	0.0568	0.0030	0.2069	0.0145	0.0254	0.0005	483	116	191	12.2	162	3.4
21	63.4	2919	1520	1.92	0.0502	0.0018	0.1808	0.0064	0.0261	0.0006	206	83	169	5.5	166	3.5
22	10.23	218	278	0.79	0.0480	0.0028	0.1802	0.0091	0.0277	0.0006	102	130	168	7.9	176	3.9
23	21.3	682	557	1.22	0.0554	0.0034	0.1972	0.0097	0.0271	0.0007	428	140	183	8.2	172	4.1
24	23.53	839	607	1.38	0.0503	0.0026	0.1846	0.0094	0.0265	0.0005	206	122.2	172	8.1	169	2.9
25	17.18	169	385	0.44	0.0527	0.0020	0.2835	0.0119	0.0389	0.0008	317	119.4	253	9.4	246	5.2
26	17.43	333	492	0.68	0.0480	0.0020	0.1861	0.0078	0.0281	0.0005	98.2	96.3	173	6.7	179	3.4
27	73.4	3325	1866	1.78	0.0520	0.0013	0.1926	0.0065	0.0270	0.0008	287	55.6	179	5.5	171	4.9
28	12.39	295	341	0.87	0.0515	0.0025	0.1824	0.0082	0.0260	0.0005	265	109	170	7.0	165	2.9
29	30.9	1057	838	1.26	0.0517	0.0017	0.1820	0.0060	0.0255	0.0005	272	74.1	170	5.2	162	2.8
30	12.20	274	339	0.81	0.0548	0.0023	0.2014	0.0082	0.0268	0.0005	406	92.6	186	6.9	170	3.1
31	22.1	757	589	1.29	0.0492	0.0034	0.1839	0.0132	0.0273	0.0008	167	156	171	11.4	173	5.2
32	73.9	2343	2093	1.12	0.0510	0.0013	0.1835	0.0048	0.0259	0.0003	243	54.6	171	4.1	165	2.1
33	24.8	673	661	1.02	0.0511	0.0020	0.1914	0.0074	0.0273	0.0005	243	90.7	178	6.3	173	2.8
34	16.99	453	440	1.03	0.0525	0.0025	0.1993	0.0084	0.0280	0.0005	306	107	185	7.1	178	3.1
35	15.78	357	410	0.87	0.0541	0.0025	0.2053	0.0092	0.0276	0.0005	376	71	190	7.7	175	3.0
36	24.4	1040	546	1.90	0.0539	0.0020	0.2075	0.0083	0.0279	0.0006	365	86.1	191	7.0	178	3.9

Th / U 比值为 0.63 ~ 1.92, 均大于 0.4。表现出岩浆锆石的特征。在 36 个测点数据中, 其中 1 颗锆石的 $^{206}\text{Pb} / ^{238}\text{U}$ 年龄值 (246 ± 5.2) Ma, 其它 35 颗锆石 $^{206}\text{Pb} / ^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 (169.6 ± 2.0) Ma (MSWD=3.5) (图 3)。

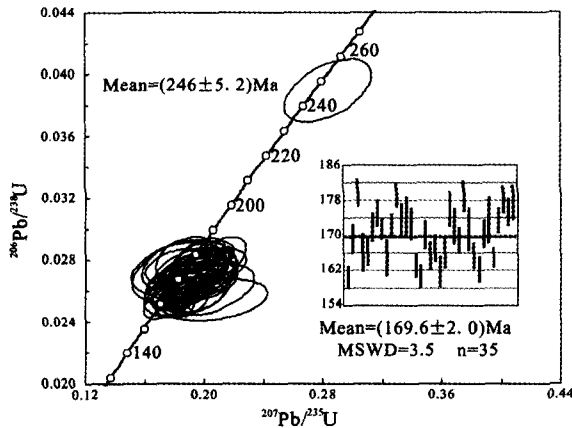


图 3 二辉橄榄岩锆石 U-Pb 年龄谐和图

Fig. 3 The zircon U-Pb age Concordia plot of lherzolite

4 岩石地球化学特征

样品全岩的主、微量及稀土元素分析是在地

质矿产部武汉综合岩矿测试中心完成。主量元素的测试采用 X-射线荧光熔片法 (XRF), 用国家标准样监控测定过程, 分析误差小于 2%。微量及稀土元素均使用电感耦合等离子体质谱仪 (ICP-MS) 分析, 微量元素中除 Zr、Nb、Hf、Ta 使用过氧化钠溶样外, 其余元素均使用 HF、HNO₃、HCl、HClO₄ 溶样, 之后用 10% HCl 提取, 稀土元素使用 KNO₃、H₂SO₄、HClO₄、HF 溶样, 王水提取。分析精度小于 5%。

腊里河超基性岩 SiO₂ 含量在 43.07% ~ 44.24% 之间, 具有较低含量的碱质 (Na₂O+K₂O=1.06% ~ 1.42%)。MgO (16.27% ~ 17.68%) 和 TFeO (9.62% ~ 9.83%) 含量较高, 其 Mg[#] 值变化范围较小 (77.75 ~ 79.21), 平均为 78.73, 反映了该超基性岩原始岩浆具有与幔源原生玄武质岩浆相似的地球化学特征 (表 2)。

该岩石稀土元素总量较低, 变化范围较小 ($\Sigma\text{REE} = 26.10 \text{ ppm} \sim 33.83 \text{ ppm}$) (表 2)。轻稀土元素相对富集, 重稀土元素含量较低, 亏损程度较大, LREE / HREE 比值为 2.62 ~ 2.75, (La / Yb)_N 平均为 2.00。在稀土元素球粒陨石标准化图中 (图 4a), 表现为略微右倾的平坦型稀土元素

表 2 建水二辉橄榄岩主量元素 (%)、微量 ($\times 10^{-6}$) 元素测试结果

Table 2 Major (%) and trace element ($\times 10^{-6}$) test results of lherzolite of Jianshui are

编号	HC-01	HC-02	HC-03	HC-04	HC-05	HC-06	HC-07	HC-08	HC-09	HC-10	HC-11	HC-12	HC-13
SiO ₂	44.05	44.24	43.23	43.27	43.25	43.14	43.23	43.30	43.15	43.58	44.01	43.15	43.07
TiO ₂	0.88	0.89	0.81	0.80	0.82	0.82	0.83	0.81	0.81	0.83	0.88	0.80	0.79
Al ₂ O ₃	11.77	12.05	11.22	11.19	11.31	11.05	11.18	11.16	11.18	11.50	11.81	11.04	11.09
Fe ₂ O ₃	2.94	2.87	3.10	3.13	3.16	3.06	3.24	3.09	3.23	2.83	2.92	3.09	3.16
FeO	7.18	7.18	6.83	6.82	6.83	7.02	6.85	6.98	6.75	7.15	7.17	6.95	6.85
MnO	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
MgO	16.49	16.27	17.31	17.52	17.27	17.42	17.29	17.59	17.30	17.01	16.61	17.68	17.46
CaO	10.20	10.35	10.08	10.03	9.84	10.01	10.00	9.92	9.95	10.30	10.31	9.81	10.08
Na ₂ O	0.87	0.88	0.64	0.62	0.63	0.66	0.71	0.75	0.61	0.78	0.88	0.63	0.65
K ₂ O	0.42	0.45	0.60	0.64	0.71	0.61	0.61	0.31	0.81	0.39	0.41	0.72	0.65
P ₂ O ₅	0.08	0.07	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.06	0.07	0.06	0.07	0.07	0.06
H ₂ O ⁺	4.40	4.18	5.36	5.26	5.34	5.39	5.28	5.34	5.35	4.95	4.29	5.46	5.44
CO ₂	0.23	0.06	0.21	0.15	0.23	0.21	0.19	0.15	0.25	0.10	0.12	0.08	0.19
Mg [#]	77.87	77.75	79.05	79.22	78.92	78.89	78.78	79.08	78.98	78.63	78.05	79.21	79.07
Sc	34.58	39.53	36.88	41.00	39.53	38.96	38.47	26.52	40.49	38.05	37.20	36.75	35.42
Co	63.38	67.14	67.88	77.36	77.32	72.96	71.65	50.78	72.74	70.89	67.88	72.07	68.43
Cu	79.01	89.48	80.29	87.30	89.22	83.60	83.10	57.67	83.79	84.98	87.01	79.79	73.19
Zn	59.80	63.23	61.45	67.00	68.72	67.62	69.92	44.24	68.41	62.34	62.56	61.40	61.62
Rb	6.48	7.37	9.48	11.56	13.37	10.36	10.40	3.92	15.73	6.66	7.53	12.19	11.49
Zr	40.30	39.40	36.90	35.90	35.50	35.60	36.30	35.70	35.30	37.00	39.10	36.30	34.80

续表 2

编号	HC-01	HC-02	HC-03	HC-04	HC-05	HC-06	HC-07	HC-08	HC-09	HC-10	HC-11	HC-12	HC-13
Nb	3.97	4.41	4.90	3.66	5.34	5.39	4.48	2.78	4.69	6.09	5.98	4.60	6.65
Hf	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3	1.2	1.2
Ta	0.51	0.52	1.20	0.38	1.40	1.35	0.90	0.46	1.00	1.85	1.80	1.05	1.87
Pb	0.60	0.85	0.64	0.80	1.02	1.00	1.03	0.19	1.15	0.46	0.47	0.65	1.09
Th	0.45	0.49	0.43	0.54	0.56	0.45	0.55	0.30	0.88	0.61	0.73	0.41	0.62
U	0.20	0.20	0.16	0.17	0.19	0.17	0.18	0.13	0.17	0.17	0.22	0.16	0.17
Ba	56.60	66.45	68.53	59.82	75.03	70.53	68.11	67.40	74.71	55.81	50.01	72.81	90.60
Cr	1114	1225	1574	1166	1448	1445	1351	1333	1493	1360	1467	1266	1320
Ni	697.9	701.3	781.6	795.6	788.9	787.8	765.2	860.4	784.4	752.8	711.8	794.0	813.6
Sr	137.9	143.8	127.6	133.7	126.3	127.6	129.6	154.3	128.7	144.5	142.1	131.6	134.2
V	215.7	231.7	216.5	212.8	217.9	217.5	218.0	229.0	217.4	220.0	223.1	211.9	212.5
La	4.63	4.22	4.56	3.89	3.83	4.13	4.08	4.05	4.04	4.49	3.91	3.42	4.40
Ce	9.28	9.02	8.85	8.27	8.05	8.60	8.43	8.39	8.32	8.90	8.45	7.13	7.96
Pr	1.43	1.37	1.42	1.24	1.20	1.31	1.31	1.25	1.27	1.45	1.27	1.04	1.37
Nd	6.94	6.65	6.57	6.15	5.86	6.39	6.26	6.16	6.27	7.08	6.41	5.29	6.61
Sm	1.85	1.82	1.85	1.61	1.74	1.71	1.78	1.78	1.74	1.87	1.77	1.49	1.78
Eu	0.67	0.67	0.67	0.61	0.64	0.67	0.67	0.65	0.65	0.71	0.63	0.52	0.66
Gd	2.11	2.24	2.10	2.05	1.97	2.12	2.12	2.06	2.07	2.19	2.10	1.81	2.15
Tb	0.42	0.40	0.38	0.37	0.36	0.36	0.36	0.37	0.36	0.38	0.40	0.37	0.39
Dy	2.53	2.54	2.48	2.30	2.33	2.47	2.46	2.36	2.47	2.58	2.32	1.93	2.50
Ho	0.54	0.56	0.52	0.49	0.50	0.50	0.49	0.52	0.52	0.53	0.56	0.53	0.54
Er	1.51	1.55	1.53	1.36	1.38	1.44	1.49	1.49	1.39	1.50	1.52	1.49	1.46
Tm	0.23	0.24	0.22	0.21	0.21	0.22	0.22	0.23	0.20	0.23	0.23	0.22	0.23
Yb	1.47	1.42	1.41	1.39	1.37	1.33	1.41	1.38	1.44	1.46	1.38	1.16	1.57
Lu	0.22	0.22	0.20	0.21	0.19	0.20	0.21	0.21	0.20	0.21	0.22	0.19	0.21
Y	12.93	13.33	12.95	11.97	11.99	12.70	12.60	12.39	12.33	13.27	12.66	10.99	13.1
REE	33.83	32.93	32.79	30.16	29.65	31.45	31.38	30.75	31.14	33.65	31.07	26.10	31.1
(La/Yb) _N	2.12	2.01	2.18	1.89	1.89	2.10	1.96	1.99	1.89	2.08	1.92	2.00	1.1
δCe	1.03	1.01	1.04	1.03	1.06	1.07	1.04	1.03	1.04	1.07	0.99	0.96	1.1
δEu	0.84	0.88	0.81	0.88	0.88	0.86	0.85	0.87	0.86	0.81	0.89	0.88	0.8

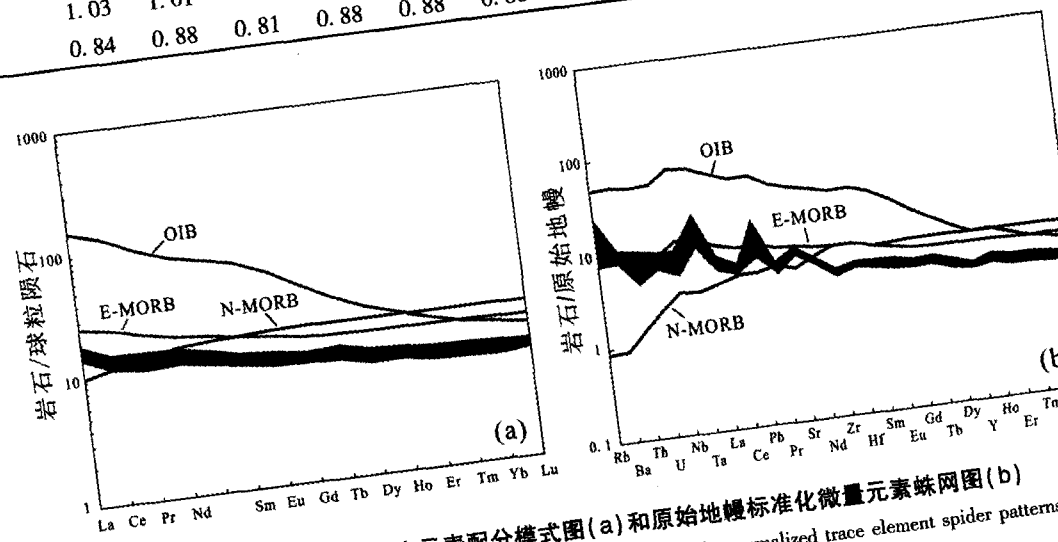


图 4 球粒陨石标准化稀土元素配分模式图 (a) 和原始地幔标准化微量元素蛛网图 (b)
 Fig. 4 Chondrite-normalized REE distribution patterns (a) and primitive mantle-normalized trace element spider patterns (b)

特征。区域上,在离建水县北西 30 km 处的元江青龙厂超镁铁质—镁铁质岩石组合,其稀土元素配分曲线都表现为轻稀土富集的缓右倾型特征^[17],与本文研究的岩石稀土元素配分模式具有一致性。通过样品原始地幔标准化微量元素蛛网可见(图 4b),该岩石 Rb、Sr、Ba、Pb 等大离子亲石元素相对富集,高场强元素 Zr、Hf 等相对亏损,整体上高场强元素除 Ta 表现出明显的正异常外,其它含量均较低。这些微量及稀土元素特征与邱检生等^[18]报道的鲁西中、新生代镁铁质火成岩较为相似,该种岩石特征被认为是典型的幔源岩浆成因特征^[19-20]。

5 讨论

5.1 年代学讨论

锆石一直被认为是具有高稳定性的矿物,矿物中普通铅含量低,U、Th 等放射性元素含量高,具有较高的封闭温度,被作为 U-Pb 定年法最理

想的矿物^[21-22]。但是随着研究的深入,地质学家们发现锆石在热液作用下极易发生蚀变和改造^[23-24]。众所周知,橄榄岩类属于 Zr 和 SiO₂ 不饱和的岩石类型,在橄榄岩中很难形成原生锆石^[25-30]。因此,超镁铁质岩石在运用锆石 U-Pb 定年,尤其是对其年龄的解释时需要非常谨慎。

Hoskin^[31]在研究了热液锆石的微量元素特征后提出,利用 $(Sm/La)_N-La$ 与 $(Sm/La)_N-\delta Ce$ 图解可以很好的区分热液锆石和岩浆锆石。在该图解中,本文研究的超基性岩大部分锆石都落在了热液锆石区域,仅有极少部分落在了岩浆锆石和变质锆石区(图 5)。除此之外,前人研究还认为热液锆石具有高的普通 Pb 含量,本文二辉橄榄岩中年龄较小的锆石中 Pb 含量在 0.28~4.35 ppm 之间,而二辉橄榄岩全岩中 Pb 的含量在 0.19~1.15 ppm 之间,显然锆石中普通 Pb 的含量较高。综上所述,本文二辉橄榄岩中年龄较小的 35 颗锆石具有热液锆石特征,与岩浆锆石差异较大,其所代表的年龄(169.6±2.0)Ma,为中侏罗世后期热液对早期岩体蚀变(蛇纹石化蚀变)的年龄。

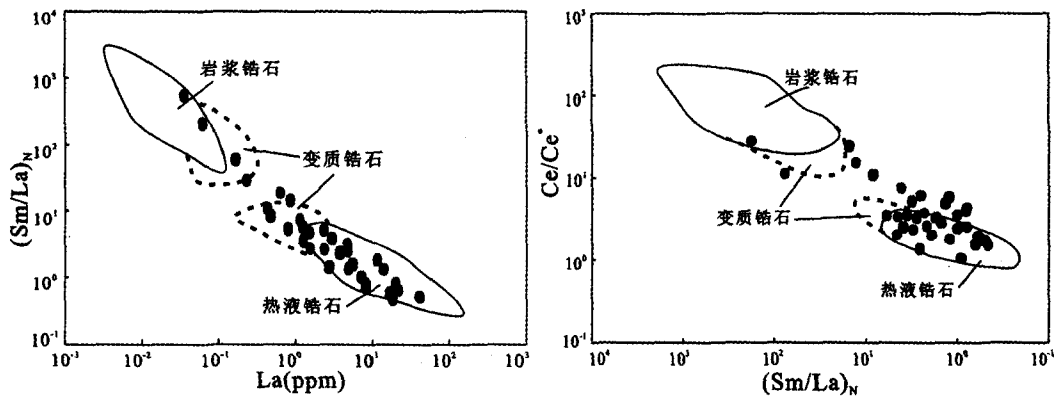


图 5 建水地区二辉橄榄岩年龄较小锆石 $(Sm/La)_N-La$ 与 $(Sm/La)_N-\delta Ce$ 图解(底图据文献[31])

Fig. 5 The $(Sm/La)_N-La$ and $(Sm/La)_N-\delta Ce$ diagram of younger zircon age of lherzolite in Jianshui area

本次二辉橄榄岩锆石 U-Pb 测年中获得的一颗较老的锆石年龄,该锆石具有岩浆锆石的典型特征,没有明显的变质核和继承锆石特征,利用 $(Sm/La)_N-La$ 与 $(Sm/La)_N-\delta Ce$ 图解对该锆石进行判别,结果都落入了岩浆锆石的区域(图 6)。该项目组其他成员在对研究区二叠纪火山岩锆石年代学特征中,取得了精确的 U-Pb 锆石年龄:(261.9±2.2)Ma(流纹岩)、(264.8±1.7)Ma(安山岩)、(258.7±2.2)Ma(高镁火山岩),其中流纹岩锆石的 Th/U 比值 0.29~0.85,高镁火山岩锆石 Th/U 比值在 0.19~0.89 之间。以上锆石 U-Pb 年龄及锆石 Th/U 均与该颗锆石所测得的值相似。因此

认为该二辉橄榄岩形成的年龄为(246±5.2)Ma 左右,为晚二叠—早三叠世产物。

5.2 岩石形成环境

二辉橄榄岩 TiO₂ 含量为 0.79%~0.89%,Ti/Y 比值为 89~103。该特征与 Xu et al. 划分的峨眉山大火成岩省的低钛玄武岩一致(Ti/Y < 500, TiO₂ < 2.5%)^[32]。在 Th/Hf-Ta/Hf 判别图解^[33-34]中(图 7),样品大部分落入地幔热柱玄武岩区。综合以上主微量元素的判别特征,二辉橄榄岩具有 E-MORB 的构造特征,同时兼有 E-MORB 的稀土元素特征,说明其源于富集地幔。前

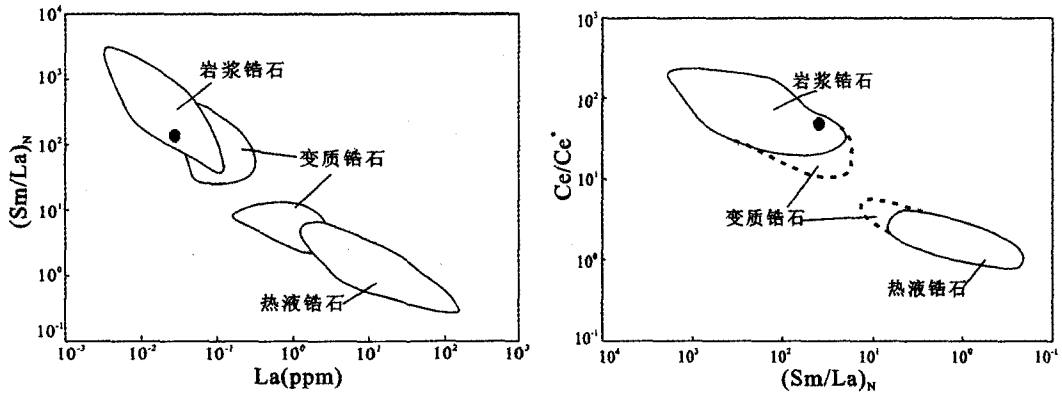


图6 建水地区二辉橄榄岩年龄较大锆石 $(Sm/La)_N$ -La 与 $(Sm/La)_N$ - δCe 图解(底图据文献[31])

Fig. 6 The $(Sm/La)_N$ -La and $(Sm/La)_N$ - δCe diagram of elder zircon age of lherzolite in Jianshui area

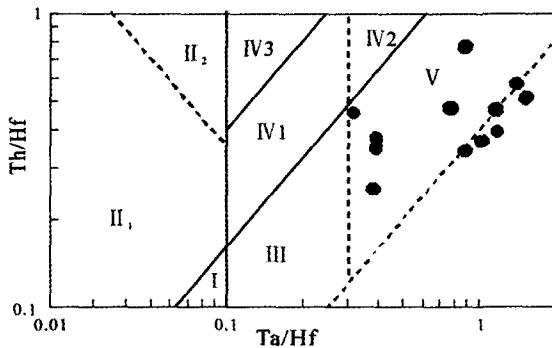


图7 Th / Hf-Ta / Hf 图解^[34]

Fig. 7 Th/Hf-Ta/Hf diagram

I—板块发散边缘 N-MORB 区; II—板块汇聚边缘; II₁—大洋岛弧玄武岩区; II₂—陆缘岛弧及陆缘火山弧; III—大洋板内洋岛]海山玄武岩区及 T-MORB、E-MORB 区; IV—大陆板内; IV₁—陆内裂谷及陆缘裂谷拉玉环玄武岩区; IV₂—陆内裂谷碱性玄武岩区; IV₃—大陆拉张带或初始裂谷; V—地幔热柱玄武岩区

人通过对峨眉山大火成岩省的研究认为,大火成岩省的原始岩浆亦起源于富集地幔,因此认为本文研究的二辉橄榄岩的形成环境与地幔柱有着密切联系。

扬子板块西南缘峨眉山大火成岩省通常被认为是地幔柱活动的产物。前人研究认为峨眉山火成岩的喷发时间主要集中在晚二叠世^[35-36](263~251Ma)。本文二辉橄榄岩其成岩年龄为(246±5.2)Ma,与峨眉山火成岩的喷发时间较为接近。从大火成岩省的分布范围来看,峨眉山大火成岩省主要分布于我国的四川、云南、贵州三省^[37-38],向西以哀牢山-红河断裂为界,本研究区二叠系枕状玄武岩被部分学者认为是峨眉山玄武岩的一部分^[39-41],而本文新发现的二辉橄榄岩也在峨眉山大火成岩省的分布范围内。从岩石组合上来看,峨眉山大火成岩省出露范围内存在近南北向的层状超镁铁—镁铁质岩石组合,在研究区相邻

区域上,也存在与本文超镁铁岩相配套的层状超镁铁—镁铁质岩石组合^[17]。从地化特征对比发现,本文二辉橄榄岩与峨眉山低钛玄武岩的 Nb / Yb, Th / Yb 比值(图 8)存在明显的相似性。由此可见,建水地区发现的二辉橄榄岩与峨眉山大火成岩省有着直接的联系,为峨眉山大火成岩省成因的超镁铁质岩石。

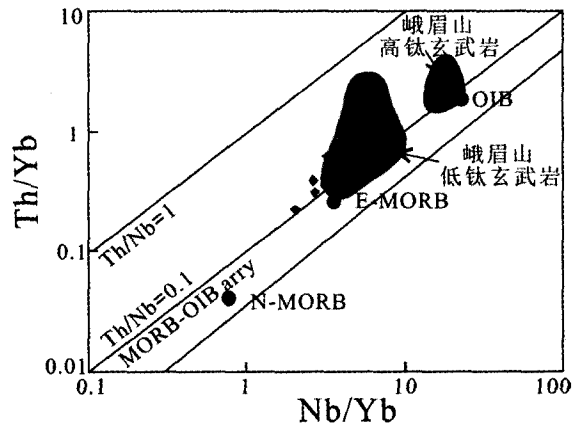


图8 Nb / Yb-Th / Yb 图解(峨眉山玄武岩数据[42])

Fig. 8 Nb/Yb-Th/Yb diagram (the data of Emeishan basalt[42])

可见,晚二叠世建水地区由于地幔柱活动形成地表溢流玄武岩,在深部岩浆房中由于玄武质岩浆的结晶分异作用形成超镁铁岩,该部分岩浆在岩浆房中并未喷出或侵入浅层地表。到中侏罗世晚期,华南地区发生多期次较为强烈的构造运动,并伴随着一系列的成岩成矿事件,先前存在于岩浆房中的超镁铁质岩浆经过后期热液改造活化,沿着断层裂隙侵入地表。

6 结论

(1)建水地区新发现的超基性岩为二辉橄榄

岩,LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄表明,其形成时代为(246±5.2)Ma,为晚二叠一早三叠世的产物,并在中侏罗世早期(169.6±2.0)Ma(MSWD=3.5)发生一定程度的热液蚀变。

(2)二辉橄榄岩 Mg#值平均为 78.73, MgO 含量与 SiO₂、Al₂O₃、TiO₂、CaO 含量呈负相关性,具有略微右倾的平坦型稀土元素特征, Rb、Sr、Ba、Pb 等大离子亲石元素相对富集,高场强元素 Zr、Hf 相对亏损, Ta 异常富集。与富集型地幔源区特征相同,为峨眉山大火成岩省的产物。

致谢:本稿在成文过程中,中国地质大学(武汉)廖群安老师、吴元保老师给予了指导性的建议,在此表示衷心的感谢,感谢参与审稿本稿的专家。

[参考文献]

- [1] 董云鹏,朱炳泉.滇东南建水岛弧型枕状熔岩及其对华南古特提斯的制约[J].科学通报,1999,44(21):2323-2328.
- [2] 谢静,常向阳,朱炳泉.滇东南建水二叠纪火山岩地球化学特征及其构造意义[J].中国科学院研究生院学报.2006,23(3):349-354.
- [3] 张斌辉,丁俊,张林奎,等.陈敏华滇东南八布蛇绿岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学研究[J].地质学报,2013,87(10):1498-1507.
- [4] 方维萱,张海,贾润辛.滇桂个旧—那坡三叠纪弧后裂谷盆地动力学与成矿序列[J].大地构造与成矿学,2011,35(4):552-566.
- [5] Li Jianhua, Zhang Yueqiao, Dong Shuwen, et al. Late Mesozoic-Early Cenozoic deformation history of the Yuanma Basin, central South China[J]. Tectonophysics, 2012, 570(10): 163-183.
- [6] 沈晓明,张海祥,张伯友.华南中生代变质核杂岩构造及其与岩石圈减薄机制的关系初探[J].大地构造与成矿,2008,32(1):11-19.
- [7] Zhou Xinmin, Sun T, Shen W Z et al. Petrogenesis of Mesozoic granitoids and volcanic rocks in South China: A response to tectonic evolution. Episodes, 2006, 29(1): 26-33.
- [8] 范蔚若,王岳军,郭锋等.湘赣地区中生代镁铁质岩浆作用与岩石圈伸展[J].地学前缘,2003,10(3):159-169.
- [9] 寇彩化,张招崇,侯通,等.滇西剑川 OIB 型苦橄玢岩:俯冲板块断离的产物[J].岩石学报,2011,27(9):2679-2693.
- [10] 张招崇, John J Mahoney, 王福生,等.峨眉山大火成岩省西部苦橄岩及其共生玄武岩的地球化学:地幔柱头部熔融的证据[J].岩石学报,2006,22(6):1538-1552.
- [11] 桑隆康,马昌前.岩石学[M].地质出版社,2011.
- [12] Zheng J P. Comparison of Mantle-derived Materials from Different Spatiotemporal Settings: Implications for Destructive and Accretional Processes of the North China Craton[J]. Chinese Science Bulletin, 2009, 54(19): 3397-3416.
- [13] 张宏福,英基丰,汤艳杰,等.华北东部中、新生代岩石圈地幔的不均一性:来自橄榄石的组成填图结果[J].岩石学报,2006,22(9):2279-2288.
- [14] 汤艳杰,张宏福,英基丰,等.地幔橄榄岩中橄榄石的指示意义[J].地球科学与环境学报,2011,33(1):24-31.
- [15] Liu Y, Hu Z, Gao S, et al. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard. Chemical Geology, 2008, 257(1-2): 34-43.
- [16] Liu Y, Gao S, Hu Z, et al. Continental and oceanic crust recycling-induced melt-peridotite interactions in the trans-north China Orogen: U-Pb dating, Hf isotopes and trace elements in Zircon from Mantle Xenoliths. Journal of Petrology, 2010, 51(1-2): 537-571.
- [17] 云南省地质局第二区测大队.建水幅 F-48-1 1:20 万地质图、矿产图及其说明书.1969.
- [18] 邱检生,胡建,蒋少涌,等.鲁西中、新生代镁铁质岩浆作用与地幔化学演化[J].地球科学-中国地质大学学报,2005,30(6):646-656.
- [19] 支霞臣.山东蓬莱、临朐新生代碱性玄武岩的痕量元素和岩石成因[J].地质论评,1990,36(5):385-393.
- [20] 支霞臣,陈道公,张宗清.山东蓬莱、临朐新生代碱性玄武岩的钕、铈同位素组成[J].地质论评,1994,40(6):526-533.
- [21] Buick R, Thornett J R, M C Naughton N J, Smith J B, Barley M E, Savage M Record of emergent continental crust similar to 3.5 billion years ago in the Pilbara craton of Australia [J]. Nature. 1995. 375: 574-575.
- [22] Wilde S A, Valley J W, Peck W H, Graham CM Evidence from detrital zircons for the existence of continental crust and oceans on the Earth 4.4 Gyr ago [J]. Nature, 2001, 409: 175-178.
- [23] Rubin J N, Henry C D, Price J G. Hydrothermal zircons and zircon overgrowths, Sierra Blanca Peaks, Texas [J]. Am Mineral, 1989, 74: 865-869.
- [24] Geisler T, Rashwan A A, Rahn M k W. Low temperature hydrothermal alteration of natural metamict zircons from the Eastern Desert, Egypt [J]. IV Mineral Mag, 2003, 67(3): 485-507.
- [25] Zheng Y F, Yang J J, Gong B, et al. Partial equilibrium of radiogenic and stable isotope systems in garnet peridotite during ultra-high-pressure metamorphism. Am Mineral, 2003, 88: 1633-1643.
- [26] 高天山,陈江峰,谢智,等.苏鲁地体胡家林石榴橄榄岩中锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义[J].科学通报,2004,49:1660-1666.
- [27] Zhang R Y, Yang J S, Wooden J L, et al. U-Pb SHRIMP geochronology of zircon in garnet peridotite from the Sulu UHP terrane, China: Implications for mantle metasomatism and subduction-zone UHP metamorphism. Earth Planet Sci Lett, 2005, 237: 729-743.
- [28] Katayama I, Muko A, Iizuka T, et al. Dating of zircon from Ti-clinohumite-bearing garnet peridotite: Implication for timing of

- mantle metasomatism. *Geology*, 2003, 31: 713-716.
- [29] Griffin W L, Pearson N J, Belousova E, et al. The Hf isotope composition of cratonic mantle: LAM-MC-ICPMS analysis of zircon megacrysts in kimberlites. *Geochim Cosmochim Acta*, 2000, 64: 133-147.
- [30] Dubinska E, Bylinab P, Kozłowska A, et al. U-Pb dating of serpentinization: Hydrothermal zircon from a metasomatic rodingite shell (Sudetic ophiolite, SW Poland). *Chemical Geology*, 2004, 203: 183-203.
- [31] Hoskin P W O. Trace-element composition of hydrothermal zircon and the alteration of Hadean zircon from the Jack Hills Australia [J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 2005, 69 (3): 637-648.
- [32] Xu YG, Chung SL, Jahn BM, et al. Petrologic and geochemical constraints on the petrogenesis of Permian-Triassic Emeishan flood basalts in southern China [J]. *Lithos*, 2001, 58: 145-168.
- [33] 汪云亮, 张成江, 修淑芝. 玄武岩类形成的大地构造环境的 Th / Hf-Ta / Hf 图解判别 [J]. *岩石学报*, 2001, 07 (3): 413-421.
- [34] Coffin M F, Eldholm O. Large igneous provinces: Crustal structure, dimensions, and external consequences [J]. *Rev. Geoph*, 1994, 32: 1-36.
- [35] 朱江, 张招崇, 侯通, 等. 贵州盘县峨眉山玄武岩系顶部凝灰岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄: 对峨眉山大火成岩省与生物大规模灭绝关系的约束 [J]. *岩石学报*, 2011, 27 (9): 2743-2751.
- [36] He B, Xu Y G, Hang X L, Luo Z Y, Shi Y R, Yang Q J and Yu S Y. Age and duration of the Emeishan flood volcanism, SW China: Geochemistry and SHRIMP zircon U-Pb dating of silicic ignimbrites, post-volcanic Xuanwei Formation and clay tuff at the Chaotian post-volcanic Xuanwei Formation and clay tuff at the Chaotian section. *Earth and Planetary Science Letters* 2007, 255: 355-323.
- [37] Hanski E, Kamenetsky V S, Luo Z Y, Xu Y G, Kuzmin D V. Igneous Province. Primitivesouthwestern China and northern Vietnam. magmas in the Emeishan LargeLithos, 2010, 119: 75-90.
- [38] 宋谢炎, 王玉兰, 曹志敏, 等. 峨眉山玄武岩, 峨眉地裂运动与幔热柱 [J]. *地质地球化学*, 1998, (1): 47-52.
- [39] 王登红. 地幔柱的概念、分类、演化与大规模成矿—中国西南部的探讨 [J]. *地学前缘*, 2001, 8(3): 67-72.
- [40] 何斌, 徐义刚, 肖龙, 等. 峨眉山大火成岩省的形成机制及空间展布: 来自沉积地层学的新证据 [J]. *地质学报*, 2003, 77(2): 194-202.
- [41] 胡瑞忠, 陶琰, 钟宏等. 地幔柱成矿系统: 以峨眉山地幔柱为例 [J]. *地学前缘*. 2005, 12(1): 42-54.
- [42] Xiao L, Xu Y-G, Mei HJ, Zheng Y-F, He B, Pirajno F. Distinct mantle sources of low-Ti and high-Ti basalts from the western Emeishan large igneous province, SW China: implications for plume-lithosphere interaction. *Earth and Planetary Science Letters*. 2004; 228: 525-546.

Geological Characteristics and the Tectonic Significance of Ultrabasic Rock of Nali River in Jianshui, Yunnan Province

LIU Jiao^{1,2}, ZHOU Yang³, GUO Hong-jie², XIONG Xin², LI De-wei^(2,4)

(1. Wuhan University Of Science And Technology City College, Wuhan, 430083, Hubei, China; 2. Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan, 430074, Hubei, China; 3. Wuhan Industrial Technology Research Institute of Georesources and Environment CO, LTD, Wuhan, 430074, Hubei, China; 4. Research Center of the Tibet Plateau, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan, 430074, Hubei, China)

[Abstract] Emeishan basalts happened mass effusive eruption in the short term late Permian, in Sichuan, Yunnan, Guizhou et al. Ultrabasic rock was considered to be the production of Emeishan large igneous province, Yunnan west. However, there has been lack of report about ultrabasic rock Yunnan east. In this paper, the ultrabasic rock has been discovered for the first time in Jianshui, Yunnan east, Through the analysis of zircon U-Pb age, the ultrabasic rock formed early in (246±5.2) Ma, then it has happened magmatic activation in the late of middle Jurassic (169.6±2.0) Ma (MSWD=3.5). Mg# average value is 78.73, REE shows flat type characteristics with slightly to the right, LILE (Rb, Sr, Ba, Pb) shows relative enrichment, HFSE (Zr, Hf) shows relative depletion, Ta shows abnormal enrichment. Geochemical features show that the lherzolite has originated from enrichment type mantle source region, closely related with formation of Emeishan basalt. Late Permian the mantle plume activity make the formation of surface overflow basalt, in the deep magma chamber, basaltic magma crystallization differentiation form ultrabasic rock. By the late of middle Jurassic, along with multiphase tectonic activity south China, the early ultramafic rock in the magma chamber go through lately hydrothermal activation, invade into surface along the fault crevice.

[Key words] Ultrabasic rock; Zircon U-Pb age; Large igneous province; Hydrothermal modification; Jian Shui