江西云山岩体的成因:年代学、地球化学及Nd-Hf同位素制约

王存智,黄志忠,邢光福,赵希林,舒徐洁,鞠冬梅
中国地质调查局南京地质调查中心,南京,210016

内容提要:云山岩体位于赣北的江南造山带东段九岭隆起带东北端,主要由二云母二长花岗岩组成。本文对该岩体进行了详细的锆石U-Pb年代学、主量元素、微量元素以及Nd-Hf同位素研究。LA-ICP-MS锆石U-Pb定年表明云山二云母二长花岗岩的形成年龄为125.6±1.1Ma,为燕山晚期早阶段岩浆活动的产物。岩相学和岩石地球化学研究表明云山岩体属于高分异的S型花岗岩,具高硅、富碱、过铝质,锆饱和温度低、轻重稀土分馏明显、富集Rb、Th、U、K、Pb等元素而亏损Ba、Nb、Sr和Ti等元素、铕负异常显著($Eu/Eu^*=0.13\sim0.20$)的特点。云山岩体的全岩$\varepsilon_{Nd}(t)$值与锆石$\varepsilon_{Hf}(t)$值分别变化于$-3.9\sim-5.1$和$-1.0\sim-8.8$,两阶段Nd和Hf同位素模式年龄分别为$T_{DM2}(Nd)=1.35\sim1.44$ Ga和$T_{DM2}(Hf)=1.25\sim1.75$ Ga,Nd同位素的模式年龄重叠于Hf同位素模式年龄。结合其CaO/Na_2O值均小于0.3,本次研究认为云山岩体的源区很可能是来自于双桥山群中的富泥质变质沉积岩及少量火成岩,形成于早白垩世古太平洋板块俯冲之后的弧后伸展的构造环境。

关键词:二云母二长花岗岩;岩石成因;早白垩世;云山岩体;赣北

华南地区燕山期强烈的岩浆活动一直是国内外学者的研究热点,它不仅是了解华南中生代以来大地构造演化性质及其地球动力学背景的"窗口",而且与大规模W、Sn、Mo等多金属矿床密切相关。近年来,在钦杭成矿带东段大湖塘和朱溪地区发现了世界级的超大型钨多金属矿(Chen Guohua et al., 2012; Jiang Shaoyong et al., 2015; Zhang Mingyu et al., 2018)。

云山岩体位于扬子板块东南缘,江南造山带九岭隆起带东北端,隶属钦杭成矿带东段(图1a)。本世纪初新一轮国土资源大调查在云山岩体北侧发现了邓家山锡矿床,开拓了云山"空白区"新的找矿领域和思路(Zhu Hanqing, 2006)。但是目前对于云山岩体的研究程度相对较低,仅获得一个云山二云母二长花岗岩的黑云母K-Ar同位素年龄(JXGMB, 1984),还缺乏较为可靠的精确锆石U-Pb年龄。前人根据地球化学特征认为其属于S型花岗岩(Zhu Hanqing, 2006; Mei Huicheng et al., 2012),但对其成因及源区特征研究还较为薄弱。因此,本文对云山岩体二云母二长花岗岩开展了详细的LA-ICP-MS锆石U-Pb定年、全岩主量和微量稀土元素、Nd同位素和锆石Hf同位素组成的研究工作,以深入探讨二云母二长花岗岩的岩石成因类型、物质来源及构造环境。

1 区域地质概况及样品特征

钦杭成矿带是基于钦杭结合带之上的成矿带,钦杭结合带大致自西南端的广西钦州湾、经湘东和赣中延伸到东北端浙江杭州湾,长约2000km,整体呈NE向反"S"状弧形展布(Zhou Yongzhang et al., 2017)。华东地区内主要是东段,其北西以宜丰-景德镇-歙县断裂为界,南东以萍乡-江山-绍兴断裂为界(图1a),是扬子和华夏地块的结合带(Yang Minggui and Mei Yongwen, 1997)。

注:本文为中国地质调查局地质调查项目(编号121201102000150012)资助成果。
收稿日期:2018-04-08;改回日期:2018-05-07;网络发表日期:2018-12-20;责任编辑:周健。
作者简介:王存智,男,1983年生。硕士,高级工程师,从事区域地质矿产调查研究。Email:32107407@qq.com。

引用本文:王存智,黄志忠,邢光福,赵希林,舒徐洁,鞠冬梅. 2019. 江西云山岩体的成因:年代学、地球化学及Nd-Hf同位素制约. 地质学报,93(5):1055~1068, doi: 10.19762/j.cnki.dizhixuebao.2019049.
Wang Cunzhi, Huang Zhizhong, Xing Guangfu, Zhao Xilin, Shu Xujie, Ju Dongmei. 2019. Petrogenesis of the Yunshan pluton in Jiangxi Province: constrains from geochronology, geochemistry and Nd-Hf isotopes. Acta Geologica Sinica, 93(5): 1055~1068.

云山岩体位于钦杭成矿带东段的赣北永修县江上乡附近。区内 NE 向断层发育，大致按 3～5km 的间距等距分布。出露地层主要为新元古代双桥山群修水组和安乐林组，岩性为灰—深灰色变凝灰质砂岩与绢云绿泥板岩、含炭凝灰质板岩互层，普遍发生低绿片岩相变质作用。最新的年代学研究表明双桥山群形成于新元古代（Wang X L et al.，2008，2014；Gao Linzhi et al.，2012；Zhou Xiaohua etal.，2012）。南华系—寒武系覆盖于双桥山群之上，在研究区西北部出露（图 1b）。

云山岩体呈 NWW-SEE 向纺锤体型侵入双桥山群中（图 1b），岩体东西长 20km、南北宽 3～7km，出露面积约 111km^2。岩体与围岩接触面呈波状或锯齿状，均倾向围岩，接触带热蚀变作用强烈，形成

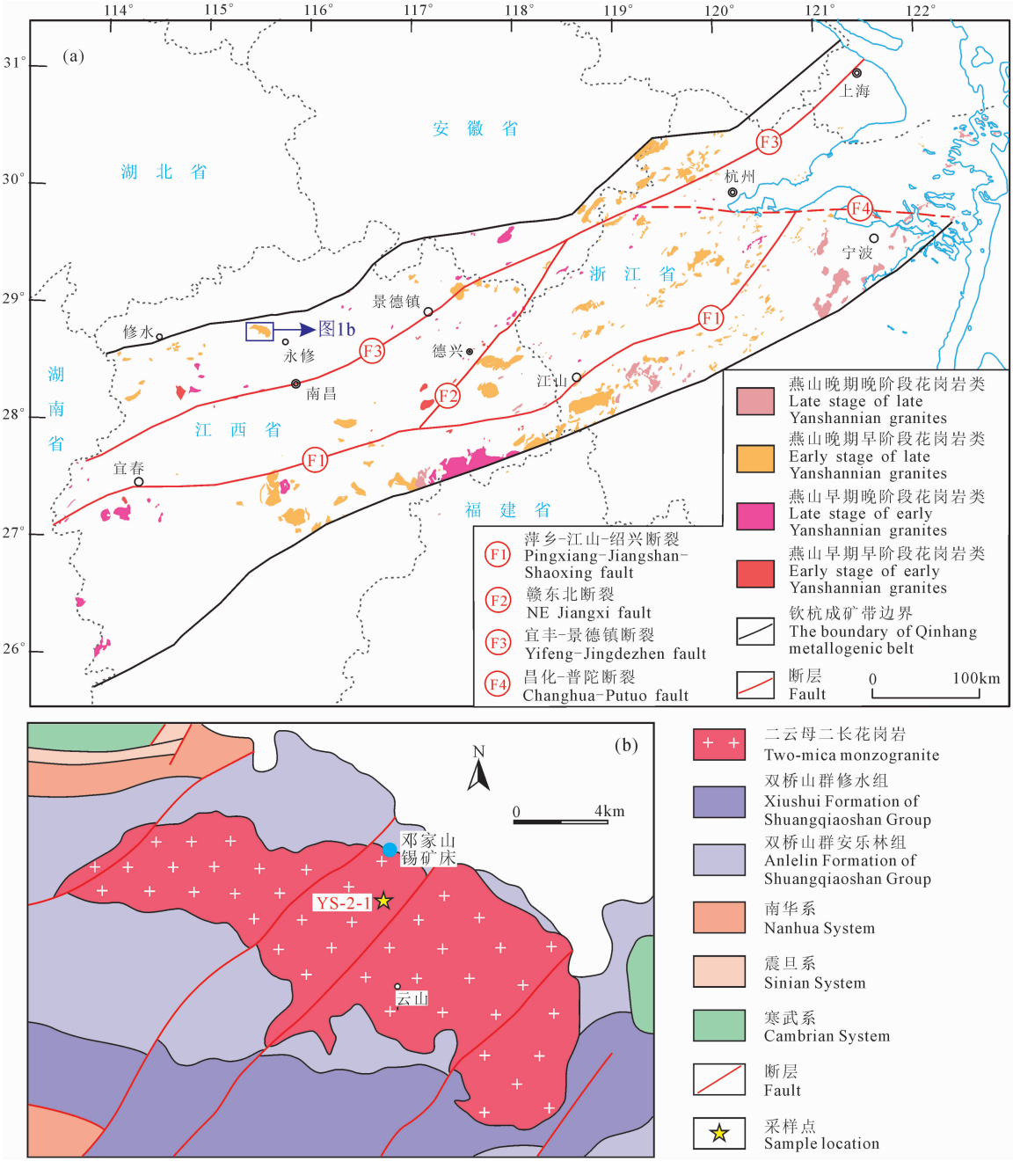

图 1 江西北部云山地区地质构造图

Fig. 1 Geological sketch map of Yunshan area in northern Jiangxi Province

(a)—钦杭成矿带东段燕山期花岗岩分布图（据 Lü Jinsong et al.，2017）；(b)—云山岩体地质简图（据 Mei Huicheng et al.，2012 修改）

(a)—Distribution of Yanshanian granitic rocks in eastern segment of Qinhang metallogenic belt (modified after Lü Jinsong et al.，2017)；(b)—simplified geologic map of Yunshan pluton (modified after Mei Huicheng et al.，2012)

宽约 0.6～1.5km 的角岩带，发育锡、铜、钨矿多个矿化点（Mei Huicheng et al.，2012），靠近岩体北侧的双桥山群中发现了邓家山锡矿床（Zhu Hanqing，2006）。云山岩体主要由中粗粒二云母二长花岗岩组成，灰白色，块状构造，中粗粒花岗结构（图 2a），主要矿物成分为石英（30%），斜长石（28%～32%，可见聚片双晶），条纹长石（25%～30%），黑云母（5%～7%）及白云母（4%～6%）（图 2b）。副矿物有榍石、磁铁矿、磷灰石、锆石等。

2　实验分析方法

本次采集了云山岩体 7 个代表性的新鲜二云母二长花岗岩进行全岩主量和微量元素分析，对其中 4 件样品进行 Sr-Nd 同位素分析，并对其中一个样品（YS-2-1）挑选锆石，进行 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年和 Hf 同位素分析。

全岩粉末样处理及锆石分选工作在河北省廊坊市辰昌岩矿检测技术服务有限公司进行。选取代表性锆石颗粒在北京锆年领航科技有限公司制靶，并采用阴极发光（CL）照相对锆石内部结构进行分析。

全岩主量和微量元素分析在中国地质调查局南京地质调查中心实验室完成。主量元素用 X 射线荧光光谱法（XRF）分析，仪器为 AFS-2202a 型 X 射线荧光光谱仪。其中 Fe 的含量由 XRF 法测得 TFe_2O_3 含量，然后用滴定法测得 FeO 含量，最后计算得到 Fe_2O_3 含量，计算公式为：$Fe_2O_3 = TFe_2O_3 - FeO \times 1.113$。微量元素采用等离子质谱法（ICP-MS）完成，仪器为 Finnigan Element 2 型电感耦合等离子体质谱仪。分析精度相对误差符合 DZ/T0130-2006 行业标准。

全岩 Nd 同位素在南京大学内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室完成，采用 Thermo Scientific Neptune Plus 多接收等离子体质谱仪测定。将样品烘干后称取 50mg 完全溶解于 HF＋HNO_3 的混合酸中，采用 Bio Rad 50WX8 阳离子交换树脂分离提纯出 Nd，详细的分析流程参考 Pu Wei et al.（2004，2005）。

LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年测试分析在中国地质调查局天津地质调查中心完成，分析所用仪器为 Finnigan Neptune 型 MC-ICP-MS 及与之配套的 Newwave UP 193 激光剥蚀系统。锆石 U-Pb 定年激光剥蚀束斑直径为 35μm，激光剥蚀样品的深度为 20～40μm，能量密度为 13～14 J/cm^2，频率为 8～10Hz。锆石年龄计算采用国际标准锆石 91500 作为外标。元素含量采用人工合成硅酸盐玻璃 NIST SR610 作为外标，^{29}Si 作为内标元素进行校正。数据处理采用 ICPMSDataCal 4.3 程序（Liu et al.，2008，2010），并采用软件对测试数据进行普通铅校正（Andersen，2002），年龄计算及谐和图绘制采用 ISOPLOT（3.0）软件完成。

锆石 Hf 同位素分析测试工作在南京大学内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室完成。该项分析是在锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年的基础上，参照锆石 CL 图像，选择在原年龄测点位置或附近进行，所用仪器为 New Wave UP193 激光剥蚀系统及其相连接的 Thermo Neptune Plus 多接收等离子体质谱仪，以 He 作为载气，分析中使用的激光束斑直

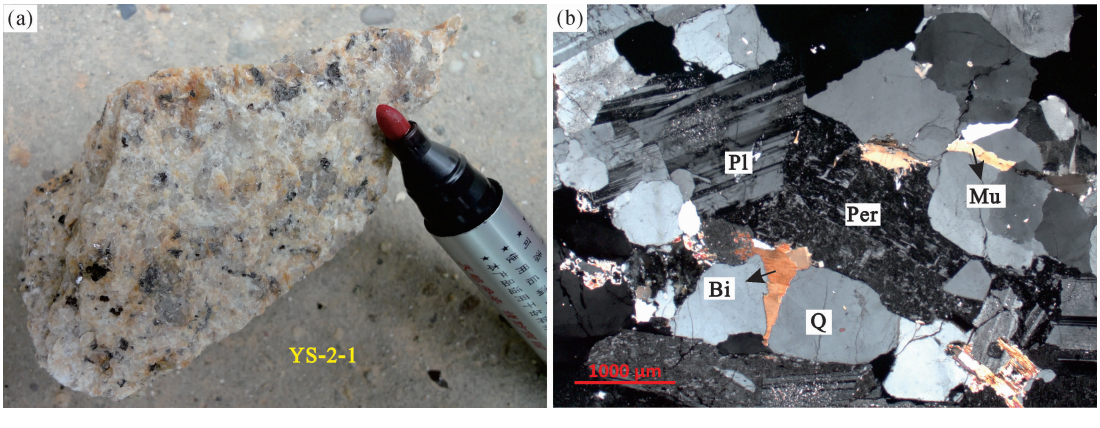

图 2　云山岩体手标本（a）及镜下照片（b）

Fig. 2　Hand sample (a) and thin section photographs (b) of Yunshan pluton

Q—石英；Pl—斜长石；Per—条纹长石；Bi—黑云母；Mu—白云母

Q—Quartz; Pl—plagioclase; Per—perthite; Bi—biotite; Mu—muscovite

径为 44 μm，频率为 8 Hz，剥蚀时间为 26s，采用 MT 作为外部标样，$^{176}Hf/^{177}Hf$ 比值为 0.282530±0.000030。$\varepsilon_{Hf}(t)$ 计算采用的 ^{176}Lu 的衰变常数为 1.865×10^{-11}（Scherer et al.，2001），球粒陨石 $^{176}Hf/^{177}Hf=0.282772$，$^{176}Lu/^{177}Hf=0.0332$（Blichert，1997）。亏损地幔 Hf 模式年龄（T_{DM1}）采用 $^{176}Hf/^{177}Hf=0.283251$，$^{176}Lu/^{177}Hf=0.0384$（Vervoot and Blichert-Toft，1999），二阶段 Hf 模式年龄（T_{DM2}）采用平均大陆壳 $^{176}Lu/^{177}Hf=0.015$ 计算（Griffin et al.，2002）。

3 分析结果

3.1 锆石 U-Pb 年龄

云山岩体二云母二长花岗岩（YS-2-1）LA-ICPMS 锆石 U-Pb 定年数据列于表 1。锆石均透明，淡黄—无色，绝大多数结晶较好，呈柱状晶形，长在 100～120μm 之间，宽在 40～60μm 之间，长宽比大多介于 2∶1 到 3∶1。在 CL 阴极发光照片中，均显示清晰的岩浆震荡环带（图 3），指示为岩浆结晶的产物。本次对该样品进行了 24 个点的分析，结果显示锆石中 Th 含量变化于 14×10^{-6}～124×10^{-6} 之间，U 含量变化大，介于 216×10^{-6}～2927×10^{-6} 之间，Th/U 比介于 0.01～0.27 之间，大部分小于 0.1，低于典型岩浆锆石的 Th/U 比值（Wu and Zheng，2004），但其结晶环带清晰，仍表明它们是岩浆成因性质，这种低 Th/U 比值的岩浆锆石在其他淡色花岗岩中也有发现（Qi Xuexiang et al.，2008；Huang Chunmei et al.，2013；Wei Xiaopeng et al.，2017）。24 个分析点中除 16 号点外，所有的样品点都位于谐和线上（图 4a），其中 11 号点 $^{206}Pb/^{238}U$ 表面年龄为 254±5Ma，可能为继承锆石。其余 22 个点 $^{206}Pb/^{238}U$ 表面年龄全部集中在 121～130 Ma 间，加权平均值为 125.6 ±1.1 Ma（$n=22$，MSWD=2.5）（图 4b）。

3.2 全岩主量和微量元素特征

云山岩体全岩主量和微量元素分析结果见表 2。从表 2 中可见，云山二云母二长花岗岩在主量元素组成上明显富硅（SiO_2 为 73.56%～76.48%）、富碱（K_2O+Na_2O=7.50%～8.41%）且富钾（K_2O 为 4.38%～5.06%）。此外，还具有贫镁（MgO 为 0.12%～0.2%）、低钛（TiO_2 为 0.10%～0.14%）和低钙（CaO 为 0.18%～0.45%）的特点。饱和指

表 1 云山岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Th-Pb 同位素分析结果

Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Th-Pb data of Yunshan granites

分析点	元素含量（×10⁻⁶）			Th/U	同位素比值						同位素年龄（Ma）			
	Pb	U	Th		$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ
YS-2-01	22	1192	19	0.016	0.0508	0.0009	0.1400	0.0030	0.0200	0.0002	231	39	128	2
YS-2-02	12	568	124	0.218	0.0520	0.0012	0.1449	0.0039	0.0202	0.0003	285	53	129	2
YS-2-03	43	2389	29	0.012	0.0495	0.0008	0.1334	0.0025	0.0195	0.0002	173	37	125	1
YS-2-04	10	567	28	0.049	0.0482	0.0010	0.1293	0.0031	0.0195	0.0002	109	51	124	2
YS-2-05	23	1279	26	0.020	0.0497	0.0008	0.1316	0.0027	0.0192	0.0002	179	38	123	2
YS-2-06	10	543	18	0.033	0.0489	0.0011	0.1349	0.0035	0.0200	0.0003	144	55	128	2
YS-2-07	13	686	26	0.038	0.0486	0.0011	0.1363	0.0032	0.0203	0.0003	130	51	130	2
YS-2-08	12	654	19	0.029	0.0490	0.0011	0.1282	0.0032	0.0190	0.0002	146	52	121	1
YS-2-09	8	369	100	0.271	0.0476	0.0013	0.1340	0.0039	0.0204	0.0003	80	65	130	2
YS-2-10	9	507	18	0.036	0.0500	0.0011	0.1363	0.0034	0.0198	0.0002	195	52	126	1
YS-2-11	9	216	28	0.130	0.0521	0.0017	0.2892	0.0112	0.0402	0.0007	292	76	254	5
YS-2-12	52	2927	31	0.011	0.0485	0.0007	0.1295	0.0024	0.0194	0.0002	125	33	124	2
YS-2-13	11	614	14	0.023	0.0507	0.0010	0.1379	0.0031	0.0197	0.0002	228	46	126	1
YS-2-14	31	1725	29	0.017	0.0494	0.0007	0.1312	0.0023	0.0193	0.0002	168	32	123	1
YS-2-15	7	393	20	0.051	0.0492	0.0012	0.1337	0.0036	0.0197	0.0002	156	56	126	2
YS-2-16	53	724	30	0.041	0.0833	0.0010	0.8722	0.0144	0.0760	0.0010	1275	22	472	6
YS-2-17	8	414	47	0.114	0.0483	0.0014	0.1285	0.0039	0.0193	0.0002	112	66	123	2
YS-2-18	6	333	17	0.051	0.0501	0.0016	0.1353	0.0045	0.0196	0.0003	200	74	125	2
YS-2-19	14	772	29	0.038	0.0493	0.0011	0.1329	0.0034	0.0196	0.0002	160	52	125	1
YS-2-20	8	449	25	0.056	0.0516	0.0014	0.1390	0.0040	0.0195	0.0002	266	61	125	1
YS-2-21	8	419	64	0.153	0.0489	0.0015	0.1368	0.0044	0.0203	0.0003	144	74	129	2
YS-2-22	21	1140	33	0.029	0.0489	0.0011	0.1346	0.0035	0.0200	0.0004	143	54	127	2
YS-2-23	8	428	19	0.044	0.0488	0.0015	0.1344	0.0044	0.0200	0.0004	137	73	128	2
YS-2-24	13	719	26	0.036	0.0496	0.0010	0.1363	0.0040	0.0199	0.0004	176	47	127	3

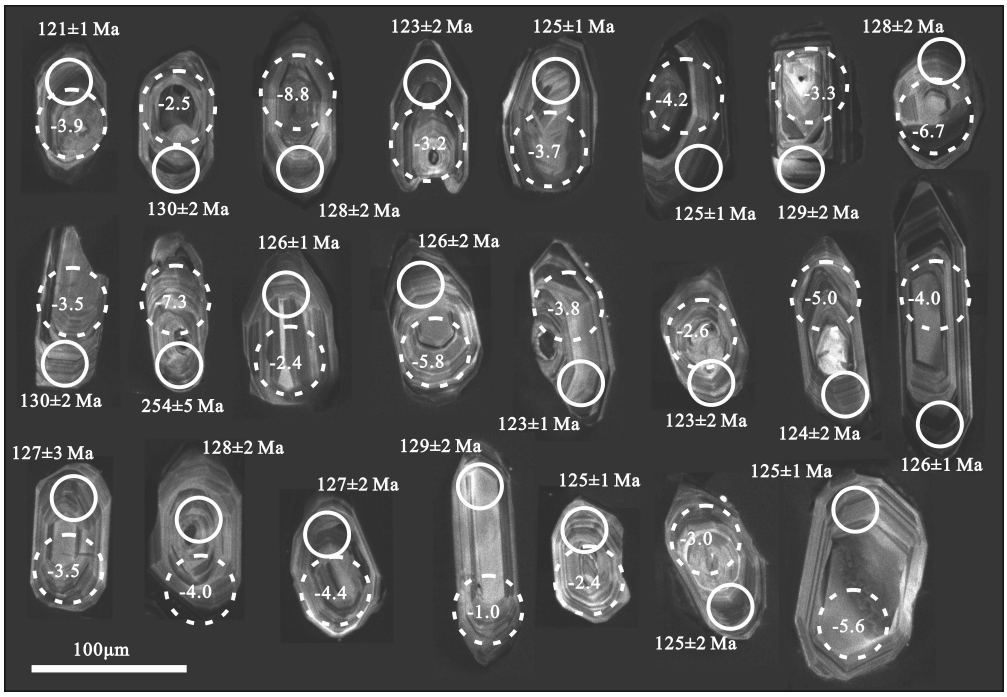

图 3　云山岩体锆石 CL 及分析点位图

Fig. 3　Cathodoluminescence (CL) images of representative zircons of Yunshan granites

实线小圈代表 U-Pb 同位素分析点位，虚线大圈代表 Hf 同位素分析点位(括号内为 $\varepsilon_{Hf}(t)$值)

Small solid circles are spots for U-Pb isotopic analyses, and big dashed circles are spots for Hf isotopic analyses. Age and $\varepsilon_{Hf}(t)$ values are also shown for each spot

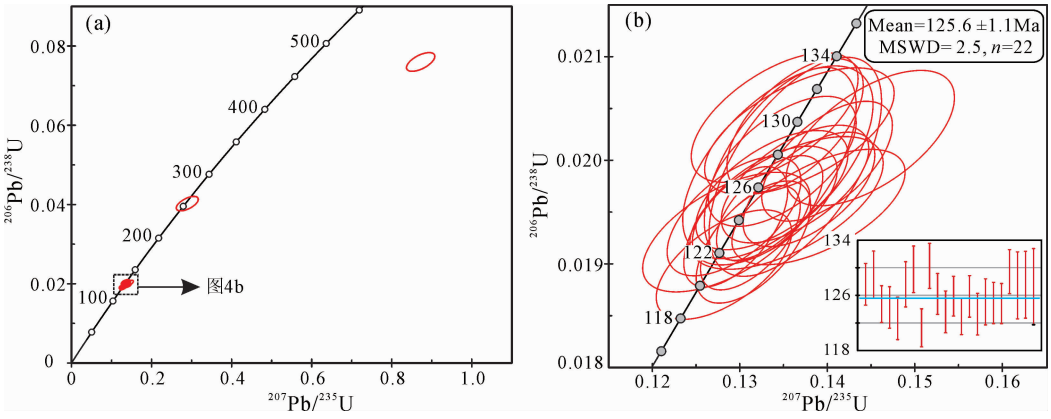

图 4　云山岩体锆石 U-Pb 年龄谐和图

Fig. 4　Zircon U-Pb concordia diagrams of Yunshan granites

数(A/CNK)变化于 1.13～1.31 之间，为过铝质花岗岩(图 5a)。在 K_2O-SiO_2 图解中，样品全部落入高钾钙碱性系列(图 5b)。

在微量元素组成上，二云母二长花岗岩稀土总量∑REE 较低，为 24.72～49.75μg/g。在球粒陨石标准化稀土元素配分图上(图 6a)，表现为轻稀土富集的右倾分布型式，轻重稀土明显分馏，$(La/Yb)_N$=4.18～8.91(平均值为 6.03)，并呈现显著的 Eu 负异常，Eu/Eu* 值介于 0.13～0.20 之间(平均值为 0.17)。在原始地幔标准化蛛网图上(图 6b)，二云母二长花岗岩富集 Rb、Th、U、K、Pb 等元素，亏损 Ba、Nb、Sr 和 Ti 等元素。

3.3　全岩 Nd 同位素及锆石 Hf 同位素

全岩 Nd 同位素和锆石 Hf 同位素分析结果分别见表 3 和表 4，基于文中 125.6Ma 为云山二云母二长花岗岩侵入的年龄计算相关的参数。对云山岩体 4 个样品进行了分析，计算得到的 $\varepsilon_{Nd}(t)$值变化于－3.9～－5.1 之间，利用两阶段模式计算出的 Nd

表 2 云山岩体全岩主量元素(%)、稀土元素和微量元素含量($\times10^{-6}$)

Table 2 Major element (%), REE and trace element ($\times10^{-6}$) contents of Yunshan granites

样号	YS-1	YS-2-1	YS-2-2	YS-3	YS-4	YS-5	YS-6
SiO_2	73.56	75.26	74.79	76.48	75.45	74.92	75.18
Al_2O_3	14.14	13.42	13.6	12.42	13.03	13.23	13.12
Fe_2O_3	0.80	0.19	0.07	0.48	0.41	0.50	0.43
FeO	0.71	0.87	0.93	0.58	1.07	0.61	0.80
CaO	0.18	0.35	0.38	0.42	0.45	0.37	0.41
MgO	0.16	0.13	0.13	0.15	0.20	0.12	0.17
Na_2O	3.20	3.30	3.49	3.03	3.12	3.35	3.27
K_2O	4.82	4.64	4.76	4.53	4.38	5.06	4.79
TiO_2	0.13	0.098	0.095	0.096	0.14	0.11	0.12
MnO	0.027	0.026	0.023	0.028	0.023	0.064	0.033
P_2O_5	0.27	0.31	0.30	0.30	0.28	0.27	0.26
烧失量	1.61	1.04	0.95	1.14	1.13	0.91	1.04
总量	99.61	99.63	99.52	99.65	99.68	99.51	99.62
A/CNK	1.31	1.21	1.17	1.17	1.22	1.13	1.16
A/NK	1.35	1.28	1.25	1.26	1.32	1.20	1.24
FeO^T	1.43	1.04	0.99	1.01	1.44	1.06	1.19
La	6.5	4.2	4.1	6.4	8.5	6.4	8.2
Ce	15.0	9.2	9.2	14.1	19.3	14.7	18.6
Pr	2.1	1.3	1.3	1.9	2.6	2.0	2.5
Nd	7.8	4.9	4.8	7.2	10	7.6	9.6
Sm	2.0	1.3	1.3	1.8	2.5	1.9	2.4
Eu	0.074	0.056	0.063	0.110	0.110	0.086	0.160
Gd	1.6	1.1	1.0	1.5	2.1	1.6	1.9
Tb	0.29	0.23	0.21	0.30	0.38	0.29	0.33
Dy	1.6	1.3	1.2	1.6	2.0	1.5	1.6
Ho	0.26	0.22	0.2	0.28	0.33	0.25	0.25
Er	0.67	0.57	0.51	0.7	0.79	0.61	0.62
Tm	0.12	0.11	0.096	0.12	0.14	0.11	0.1
Yb	0.83	0.72	0.65	0.8	0.88	0.73	0.66
Lu	0.12	0.051	0.092	0.12	0.12	0.1	0.093
Li	136	217	230	185	222	159	125
Be	1.5	1.4	1.4	1.5	2.5	1.9	1.6
Rb	694	712	698	619	601	580	558
Sr	8.3	9.5	10.6	12	10.8	8.3	14.6
Y	6.5	5.7	4.7	6.8	8	6	5.9
Nb	17.1	14.4	13.1	9.5	12	9.5	10.1
Mo	0.16	0.17	0.18	0.2	0.3	0.34	0.17
Cs	55.3	67.1	65.6	52.2	68.9	52.3	37.7
Ba	20.9	14.5	16.2	26.2	40.4	26.4	57.8
Ta	3.5	4	2.8	3.2	2.9	2.2	2.5
W	8.1	12.4	11.4	10.6	13.1	8.9	7.4
Pb	12.2	10.8	11.1	12.7	12.5	16	13.9
Th	7.2	4.9	4.5	5.6	8.3	6.6	7.1
U	11.9	8.9	12.6	12	18.6	18.4	10.8
Sc	4.4	3.8	3.5	2.7	3.5	2.7	2.9
Cr	3.3	1.9	2.3	2.1	4	2.1	3.2
Co	1.7	0.95	0.98	2.3	1.8	1.9	1.2
Ga	27.1	25.2	24.6	20.2	23.2	21.3	21.7
Zr	71.3	58.8	53.1	73.6	87.7	64.1	72.8
Hf	2.4	2.6	2.2	2.3	3.8	2.8	2.9
T_{Zr}(℃)	773	755	745	772	789	758	770

同位素模式年龄 T_{DM2} 介于 1.35～1.44 Ga 之间。同时测试了样品 YS-2-1 二云母二长花岗岩的 23 颗锆石 Hf 同位素组成，计算得到的 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 值变化大，介于－1.0～－8.8 之间，平均为－4.1，Hf 同位素两阶段的模式年龄 T_{DM2}＝1.25～1.75 Ga，峰值在 1.43 Ga 左右。

4 讨论

4.1 云山岩体的成岩年龄

对于云山岩体的成岩年龄，目前仅通过黑云母 K-Ar 法测得的二云母花岗岩年龄为 115Ma (JXBGM，1984)。但矿物的 K-Ar 体系的封闭温度较低(＜400℃，Chiaradia et al.，2014)，与矿化密切相关的二云母二长花岗岩热液蚀变较为强烈，由于岩浆或是热液事件可能会重置 K-Ar 同位素体系(Lawire et al.，2007)。相比之下，锆石的 U-Pb 体系封闭温度较高，抗蚀变能力很强(＞900°C)(Wu and Zheng，2004)，不易受外界条件的影响，年龄可信度较高。因此本次获得的云山岩体二云母二长花岗岩的 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 年龄为 125.6±1.1 Ma，可以代表云山岩体的成岩时代。

4.2 岩石成因类型

自 I、S、A 型花岗岩分类被提出之后(Chappell and White，1974；Whalen et al.，1987；Bonin，2007)，大量的地球化学分类方法用于区分这几种类型的花岗岩(Chappell and White，1992；Landenberger and Collins，1996；Clemens，2003)。通常情况下，通过岩体特殊指示矿物和一些经典的地球化学判别图解能较好的区分 I、S 和 A 型花岗岩，但高分异的 I、S 与 A 型花岗岩在地球化学上具有一些类似的特征，存在较大的区分难度(Linnen and Cuney，2004；Breiter et al.，2013；Wu et al.，2017；Shu Xujie et al，2018)。经历过较高程度分离结晶的高分异花岗质岩浆会具有一些较为独特的地球化学特征，前人研究工作也提出了一些可以用来判断分异程度的地球化学指标。随着花岗质岩浆分异程度的增加，元素 Li、Rb 等含量会增加，而 Cr、Ni、Sr、Ba 等元素在残余熔体中含量会降低(Lee and Morton，2015)，同时岩浆的 K/Rb、Zr/Hf、Nb/Ta 等元素比值会降低(Bau，1996；Linnen and Keppler，2002；Deering and Bachmann，2010；Ballouard et al.，2016)。

云山岩体具有较高的 SiO_2 (73.56%～76.48%)和 Rb(558×10^{-6}～712×10^{-6})含量，较低

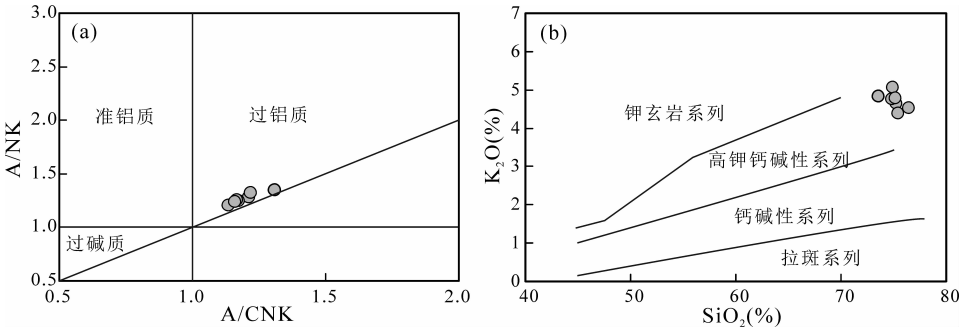

图 5　云山岩体 A/NK-A/CNK 图解(a，据 Maniar and Piccoli，1989)和 K_2O-SiO_2 图解(b，据 Rickwood，1989)

Fig. 5　A/NK vs. A/CNK diagram (a, after Maniar and Piccoli, 1989) and K_2O vs. SiO_2 diagram (b, after Rickwood, 1989) of Yunshan granites

表 3　云山岩体全岩 Nd 同位素组成

Table 3　Nd isotope compositions of representative samples of Yunshan granites

样品号	年龄(Ma)	Sm($\times10^{-6}$)	Nd ($\times10^{-6}$)	$^{147}Sm/^{144}Nd$	$^{143}Nd/^{144}Nd$	2σ	$\varepsilon_{Nd}(t)$	T_{DM2}(Ga)
YS-1	125.6	2.0	7.8	0.001163	0.512217	0.000020	−5.1	1.44
YS-2-1	125.6	1.3	4.9	0.001063	0.512238	0.000014	−4.7	1.41
YS-3	125.6	1.8	7.2	0.000288	0.512272	0.000009	−4.0	1.36
YS-5	125.6	1.9	7.6	0.000487	0.512279	0.000012	−3.9	1.35

表 4　云山岩体锆石 Hf 同位素组成

Table 4　Zircon Hf isotopic compositions of Yunshan granites

测点号	年龄 (Ma)	$^{176}Yb/^{177}Hf$	$^{176}Lu/^{177}Hf$	$^{176}Hf/^{177}Hf$	1σ	$(^{176}Hf/^{177}Hf)_i$	$\varepsilon_{Hf}(t)$	1σ	T_{DM1} (Ga)	T_{DM2} (Ga)
YS-2-1	125.6	0.010378	0.000377	0.282507	0.000007	0.282506	−6.7	0.23	1.04	1.61
YS-2-2	125.6	0.017342	0.000657	0.282603	0.000008	0.282601	−3.3	0.27	0.91	1.39
YS-2-3	125.6	0.024224	0.000867	0.282578	0.000007	0.282576	−4.2	0.25	0.95	1.45
YS-2-4	125.6	0.017834	0.000638	0.282590	0.000008	0.282589	−3.7	0.29	0.93	1.42
YS-2-5	125.6	0.016874	0.000585	0.282604	0.000008	0.282603	−3.2	0.28	0.91	1.39
YS-2-6	125.6	0.013539	0.000492	0.282446	0.000011	0.282445	−8.8	0.37	1.13	1.74
YS-2-7	125.6	0.017310	0.000647	0.282626	0.000009	0.282624	−2.5	0.33	0.88	1.34
YS-2-8	125.6	0.027947	0.001035	0.282585	0.000013	0.282583	−3.9	0.44	0.95	1.43
YS-2-9	125.6	0.040635	0.001515	0.282600	0.000013	0.282596	−3.5	0.46	0.94	1.48
YS-2-10	125.6	0.035227	0.001274	0.282630	0.000009	0.282627	−2.4	0.31	0.89	1.33
YS-2-11	254.0	0.027159	0.001025	0.282412	0.000009	0.282407	−7.3	0.31	1.19	1.75
YS-2-12	125.6	0.025048	0.000879	0.282554	0.000007	0.282552	−5.0	0.24	0.99	1.50
YS-2-13	125.6	0.007195	0.000245	0.282581	0.000008	0.282580	−4.0	0.27	0.93	1.44
YS-2-14	125.6	0.032928	0.001197	0.282590	0.000012	0.282588	−3.8	0.41	0.94	1.42
YS-2-15	125.6	0.006970	0.000228	0.282531	0.000008	0.282530	−5.8	0.28	1.00	1.55
YS-2-17	125.6	0.010531	0.000371	0.282621	0.000011	0.282620	−2.6	0.37	0.88	1.35
YS-2-18	125.6	0.013898	0.000504	0.282609	0.000009	0.282608	−3.0	0.31	0.90	1.38
YS-2-19	125.6	0.014517	0.000506	0.282536	0.000006	0.282535	−5.6	0.20	1.00	1.54
YS-2-20	125.6	0.011681	0.000409	0.282627	0.000009	0.282626	−2.4	0.32	0.87	1.34
YS-2-21	125.6	0.071973	0.002731	0.282673	0.000012	0.282667	−1.0	0.42	0.86	1.25
YS-2-1	125.6	0.024147	0.000871	0.282572	0.000008	0.282570	−4.4	0.28	0.96	1.46
YS-2-2	125.6	0.011563	0.000395	0.282582	0.000008	0.282581	−4.0	0.30	0.93	1.44
YS-2-3	125.6	0.005280	0.000169	0.282595	0.000007	0.282595	−3.5	0.25	0.91	1.41

的 Zr /Hf(平均值 25.65)、Nb/Ta(平均值 4.09)，表明云山岩体为高分异花岗岩类型(King et al.，2001；Ballouard et al.，2016)。在 Whalen et al.(1987)的判别图解中(图 7)，云山岩体的样品点分别落在了 A 型花岗岩和高分异花岗岩的区域内。然而，云山岩体高场强元素 Ce、Zr、Y 和 Nb 含量都偏低(表 2)，Ce+Zr+Y+Nb 的总和为 80.1×10^{-6} ～ 127×10^{-6}，远低于 A 型花岗岩的下限值(350×

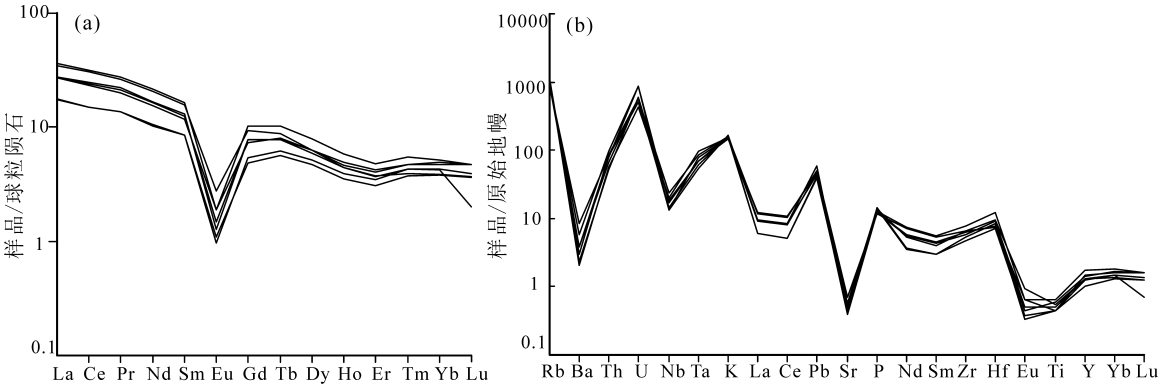

图 6 云山岩体球粒陨石标准化 REE 配分图(a)和原始地幔标准化微量元素蛛网图(b)
(球粒陨石及原始地幔值据 Sun and McDonough, 1989)

Fig. 6 Chondrite-normalized rare earth element (a) and primitive-mantle-normalized trace element (b) for samples of Yunshan granites (normalizing values from Sun and McDonough, 1989)

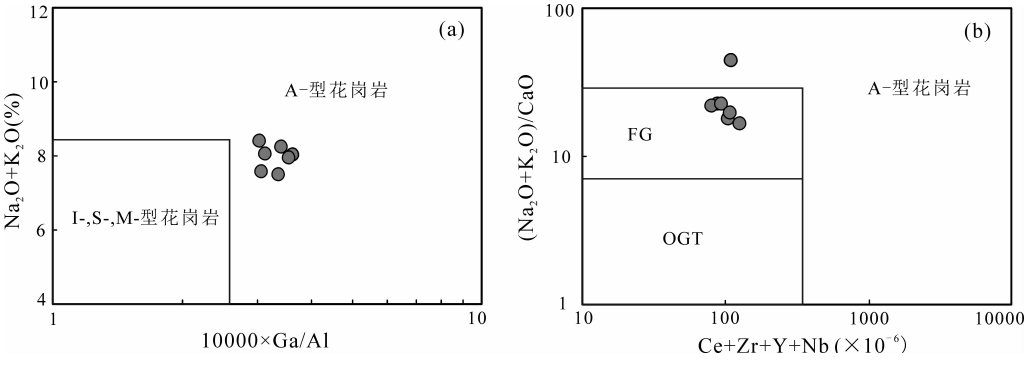

图 7 云山岩体(Na_2O+K_2O)-10000×Ga/Al 判别图(a)和(K_2O+Na_2O)/CaO-(Ce+Zr+Y+Nb)判别图(b)(据 Whalen et al., 1987)

Fig. 7 (Na_2O+K_2O) vs. 10000×Ga/Al (a) and (K_2O+Na_2O)/CaO vs. (Ce+Zr+Y+Nb) (b) discrimination diagrams (after Whalen et al., 1987)

FG—分异型的长英质花岗岩;OGT—未分异的 I-,S-,M-型花岗岩

FG—Fractionated felsic granites; OGT—unfractionated I-, S- and M-type granites

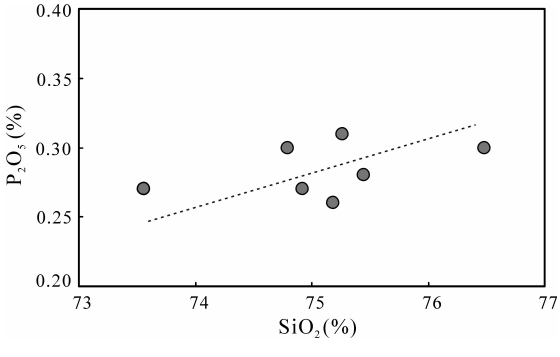

图 8 云山岩体 P_2O_5-SiO_2 图解

Fig. 8 P_2O_5 vs. SiO_2 diagram of Yunshan granites

10^{-6}) (Whalen et al., 1987)。并且根据 Watson and Harrison (2005)提出的锆饱和温度计,计算了云山二云二长花岗岩的成岩温度在 745～789℃之间(平均 766℃),因为有少量继承锆石的存在,说明岩浆源区已经发生锆饱和,全岩锆温度计计算结果应为最高温度(Miller et al., 2003),表明云山岩体形成温度较低,明显低于典型的 A 型花岗岩的锆石饱和温度(～900℃)。

另外,高分异 I 型花岗岩 FeO^T 通常小于 1 (Wang Qiang et al., 2000),而云山岩体缺乏角闪石类矿物,并且样品 FeO^T 含量均大于 1,与高分异 I 型花岗岩明显不同。高分异 S 型花岗岩通常拥有较高的 P_2O_5 值,如湖南王仙岭 S 型花岗岩,其 P_2O_5 值普遍在 0.15%～0.26%之间(Zhang Rongqing et al., 2016),并且与 SiO_2 含量有着正相关关系,这与其中磷灰石的饱和度有关(Li X H et al., 2007)。云山岩体中 P_2O_5 含量较高,介于 0.26%～0.31%之间,在 P_2O_5-SiO_2 相关图中(图 8),样品的 SiO_2 和 P_2O_5 之间整体具有明显的正相

关关系，并且云山岩体的 A/CNK 值为 1.13～1.31，为过铝质花岗岩，因此本文认为云山岩体为高分异 S 型花岗岩类。

4.3　源区特征

实验表明，不同源区部分熔融产生的 S 型花岗岩，其 CaO/Na_2O 比值极其不同。其中，泥质岩生成的强过铝质花岗岩所含的 CaO/Na_2O 比值一般较小（<0.3），而砂屑岩所生成的强过铝质花岗岩所含的 CaO/Na_2O 比值一般大于 0.3（Sylvester，1998）。云山岩体的 CaO/Na_2O 平均值为 0.11，变化范围为 0.06～0.14，都小于 0.3，表明其源区可能以泥质岩为主。在 CaO/Na_2O-Al_2O_3/TiO_2 判别图中，样品全部落入泥质岩的源区（图 9a）。在 $Al_2O_3/(MgO+FeO^T)$-$CaO/(MgO+FeO^T)$（摩尔比）图解中，云山岩体落入变质泥岩部分熔融的范围（图 9b），进一步说明云山岩体可能为成熟度较高的泥质沉积物部分熔融的产物。

云山岩体的 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 值与 $\varepsilon_{Hf}(t)$ 值分别变化于 −3.9～−5.1 之间和 −1.0～−8.8 之间，说明其源区以成熟的地壳物质为主（图 10）。并且云山岩体的 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 值落于双桥山群 Nd 同位素演化线范围内（图 10a），指示其原岩很可能是来自于双桥山群中的富泥质岩石。同时，云山岩体的 $\varepsilon_{Hf}(t)$ 值落入下地壳与球粒陨石之间，部分 $\varepsilon_{Hf}(t)$ 值靠近球粒陨石，指示源区可能还有部分新生地壳物质。已有的研究表明，双桥山群中火山岩 $\varepsilon_{Hf}(t)$ 值变化于 3.3～18.8 之间（Wang X L et al.，2008），具有较高的正值。利用两阶段模式计算出的 Nd 和 Hf 同位素模式年龄分别为 1.35～1.44 Ga 和 1.25～1.75 Ga，Nd 同位素的模式年龄重叠于 Hf 同位素模式年龄，表明云山岩体的源区为中元古代的地壳物质重熔而来。

4.4　构造环境

华南在燕山期经历了大规模岩浆爆发与成矿事件（Mao Jingwen et al.，2004，2008，2011；Hua

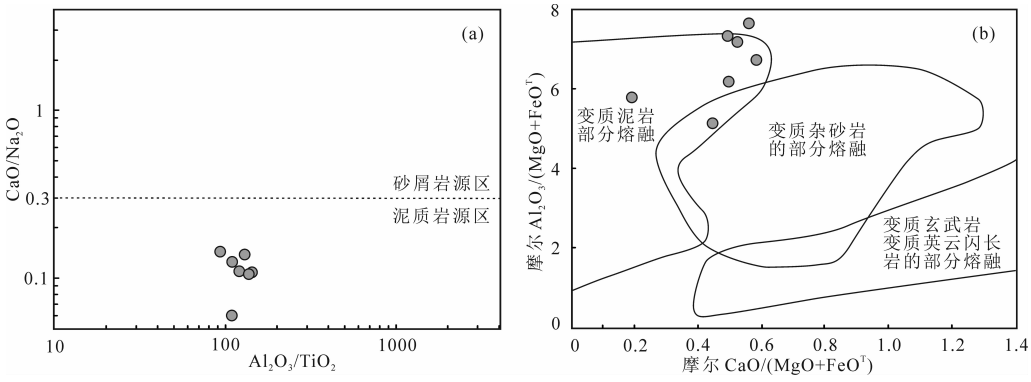

图 9　云山岩体 CaO/Na_2O-Al_2O_3/TiO_2 判别图（a，据 Sylvester，1998）和 $Al_2O_3/(MgO+FeO^T)$-$CaO/(MgO+FeO^T)$（摩尔比）判别图（b，据 Altherr et al.，2000）

Fig. 9　CaO/Na_2O vs. Al_2O_3/TiO_2 diagram (a) $Al_2O_3/(MgO+FeO^T)$ vs. $CaO/(MgO+FeO^T)$ diagram (b) of Yunshan granites (after Sylvester, 1998; Altherr et al., 2000)

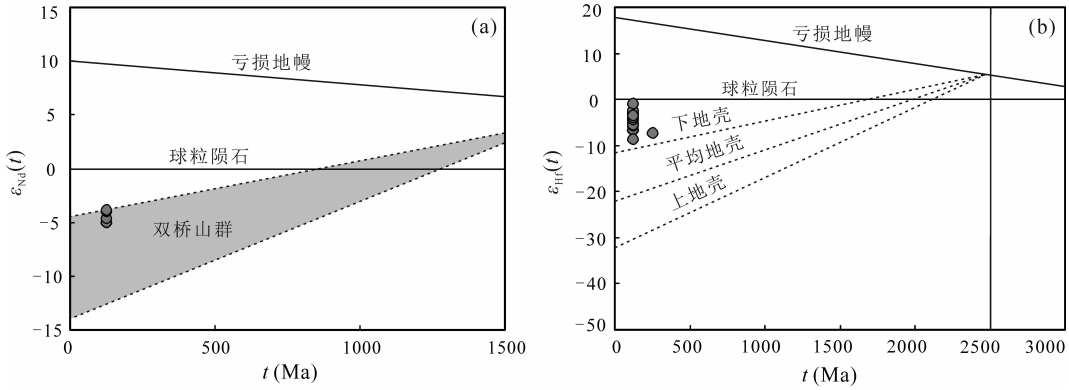

图 10　云山岩体的 $\varepsilon_{Nd}(t)$-t 图解（a，底图据 Huang Lanchun and Jiang Shaoyong，2012）和 $\varepsilon_{Hf}(t)$-t 图解（b，底图据 Wu Fuyuan et al.，2007）

Fig. 10　$\varepsilon_{Nd}(t)$ vs. age diagram (a, after Huang Lanchun and Jiang Shaoyong, 2012) and $\varepsilon_{Hf}(t)$ vs. age diagram (b, after Wu Fuyuan et al., 2007) of Yunshan granites

Renmin et al., 2003, 2005; Mao et al., 2014; Xing Guangfu et al., 2017)。钦杭成矿带东段作为华南地区重要的组成部分,岩浆活动也十分强烈,并且由于处于扬子与华夏地块结合部位,具有独特的岩浆成矿作用。在系统总结前人资料的基础上,Xing Guangfu et al. (2017)和 Lü Jinsong et al. (2017)提出钦杭成矿带东段燕山期岩浆活动及成矿作用可分为两期四阶段:早期早阶段(180～165Ma)主要形成Ⅰ型花岗岩及埃达克质岩,形成一系列铜多金属矿;早期晚阶段(165～140Ma)形成Ⅰ型、S 型花岗岩,伴生钨锡铌钽矿以及铀矿;晚期早阶段(140～125Ma)以形成 S 型花岗岩为主(136Ma 之后开始形成 A 型花岗岩),主要形成金银铅锌钨锡矿;晚期晚阶段(125～90Ma)主要形成 A 型花岗岩,形成了浅成低温热液型铜金银多金属矿。

本次研究获得的云山岩体形成于 125.6±1.1Ma,对应于第三阶段即燕山晚期早阶段的成岩作用。这一期岩浆活动除了云山岩体外,邻区还发育其他与钨锡矿有关的岩体,如彭山锡多金属矿内隐伏花岗岩 SHRIMP 和 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 128～129Ma(Luo Lan et al., 2010);大湖塘与钨矿密切相关的花岗斑岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 135Ma(Huang Lanchun and Jiang Shaoyong, 2013);香炉山钨矿内黑云母花岗岩全岩 Rb-Sr 等时线年龄为 126Ma(Zhang Jiajing et al., 2008)。除此之外,云山岩体还跟赣杭 A 型花岗岩带时代一致,如相山(137～135Ma, He et al., 2009; Yang et al., 2010, 2011)、大茅山(126～122Ma, Jiang et al., 2011)、三清山(132～130Ma, Sun et al., 2015)、灵山(134～130Ma, Zhou et al., 2013; Wang et al., 2017)、白菊花尖(126Ma, Wong et al., 2009)、铜山(129Ma, Jiang et al., 2011)、杨梅湾(135Ma, Yang et al., 2012)、大桥坞(136～133Ma, Yang et al., 2012)。

对于华南东部燕山期构造背景,尽管曾存在逆冲推覆成因(Hsü et al., 1988)、岩石圈伸展与软流圈地幔上涌(Li, 2000; Wang et al., 2003)、中生代开始的整个中国东海岸裂谷(Gilder et al., 1991)以及华南中生代地幔柱上升(Deng et al., 2004; Zhang Qi et al., 2009)等多种不同认识,但目前绝大多数学者已认可古太平洋板块对欧亚板块的俯冲消减作用才是形成华南东南部燕山期花岗质岩石-火山岩的根本动力学机制(Zhou and Li, 2000; Zhou et al., 2006; Li and Li, 2007; Sun et al., 2007; Chen et al., 2008; Wang et al., 2011; He and Xu, 2012; Li et al., 2012; Li et al., 2015),只是俯冲作用的具体形式还存在不同认识。如:Zhou and Li (2000)认为燕山期岩浆岩大致向洋年轻化趋势,建立了岩石圈消减和玄武质岩浆底侵相结合的模型,指出板片俯冲角度是逐渐增大的;Li and Li (2007)认为古太平洋板块最初经历了平板俯冲的阶段,然后发生了板片折断、拆沉以及向大洋一侧的板片后撤;Liu et al. (2016)提出古太平洋板块在晚中生代时沿北西向俯冲于中国东南部大陆岩石圈之下,于 145～118Ma 期间俯冲板片经历了 SE 向的后撤过程,但是不同纬度板片后撤作用发生的时代并不一致。上述模式板片俯冲方向都认为是 NW 向的,然而也有学者提出古太平洋板块 SW 向俯冲的构造模型(Wang et al., 2011); Sun et al. (2007)认为晚中生代时古太平洋板块的俯冲方向可能发生过多次改变,比如在 125Ma 左右时由南西向转变为北西向。

虽然俯冲作用的精细过程还存在多种观点,但目前对于第三阶段(140～125Ma)的岩浆活动,一般认为形成于伸展的构造背景(Li, 2000; Wang et al., 2003, 2008; Xing Guangfu et al., 2017)。广泛出露的 A 型花岗岩和双峰式火山岩拉分盆地的发育充分说明此时华南东部处于弧后的伸展环境(Zhou et al., 2006; Liu et al., 2016)。从侏罗纪到白垩纪,随着板片俯冲角度增加,弧后延伸作用逐渐增强。后续的软流圈上涌导致了陆下岩石圈地幔的熔融,产生了大量的玄武质岩浆底侵至下地壳(Zhou and Li, 2000)。玄武质岩浆的底侵为中新元古代基底沉积岩的大范围部分熔融提供了热源,从而产生了本区花岗质岩浆。

5 结论

(1)云山二云母二长花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 125.6±1.1Ma,代表了云山岩体的成岩时代。

(2)云山岩体具高硅、富碱、过铝质,锆饱和温度低、轻重稀土分馏明显、富集 Rb、Th、U、K、Pb 等元素而亏损 Ba、Nb、Sr 和 Ti 等元素、铕负异常显著的特点,属于高分异的 S 型花岗岩。

(3)云山岩体 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 值与 $\varepsilon_{Hf}(t)$ 值分别变化于 −3.9～−5.1 之间和 −1.0～−8.8 之间,两阶段 Nd 和 Hf 同位素模式年龄分别为 1.35～1.44 Ga 和 1.25～1.75 Ga,并且云山岩体 CaO/Na_2O 均小于 0.3,表明源区可能是来自于双桥山群中的富泥

质岩石及少量火成岩。

(4)云山岩体对应于华南燕山晚期早阶段岩浆活动，形成于华南早白垩世大规模弧后伸展的构造环境。

References

Altherr R, Holl A, Hegner E, Langer C, Kreuzer H. 2000. High-potassium, calc-alkaline I-type plutonism in the European Variscides: Northern Vosges (France) and northern Schwarzwald (Germany). Lithos, 50(1/3): 51～73.

Andersen T. 2002. Correction of common Pb in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb. Chemical Geology, 192(1/2): 59～79.

Ballouard C, Poujol M, Boulvais P, Branquet Y, Tartèse R, Vigneresse J L. 2016. Nb-Ta fractionation in peraluminous granites: A marker of the magmatic hydrothermal transition. Geology, 44: 231～234.

Bau M. 1996. Controls on the fractionation of isovalent trace elements in magmatic and aqueous systems: Evidence from Y/Ho, Zr /Hf, and lanthanide tetrad effect. Contributions to Mineralogy and Petrology, 123: 323～333.

Blichert-Toft J, Albarede F. 1997. The Lu-Hf isotope geochemistry of chondrites and the evolution of the mantle-crust system. Earth and Planet Science Letter, 148(1-2): 243～258.

Bonin B. 2007. A-type granites and related rocks: Evolution of a concept, problems and prospects. Lithos, 97(1-2): 1～29.

Breiter K, Gardenová N, Kanicky V, Vaculovi T. 2013. Gallium and germanium geochemistry during magmatic fractionation and postmagmatic alteration in different types of granitoids: A case study from the Bohemian Massif (Czech Republic). Geologica Carpathica, 64: 171～180.

Chappell B W, White A J R. 1974. Two contrasting granite types. Pacific Geology, 8(2): 173～174.

Chappell B W, White A J R. 1992. I- and S-type granites in the Lachlan Fold Belt. Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences, 83(1-2): 1～26.

Chen C H, Lee C Y, Shinjo R. 2008. Was there Jurassic paleo-Pacific subduction in South China? Constraints from ^{40}Ar/^{39}Ar dating, elemental and Sr-Nd-Pb isotopic geochemistry of the Mesozoic basalts. Lithos, 106(1-2): 83～92.

Chen Guohua, Wan Haozhang, Shu Liangshu, Zhang Chen, Kang Chuan. 2012. An analysis on ore-controlling conditions and geological features of the Cu-W polymetallic ore deposit in the Zhuxi area of Jingdezhen, Jiangxi Province. Acta Petrologica Sinica, 28(12): 3901～3914 (in Chinese with English abstract).

Chiaradia M, Schaltegger U, Spikings R A. 2014. Time scales of mineral systems Advances in understanding over the past decade. Society of Economic Geologists: 37～58.

Clemens J D. 2003. S-type granitic magmas-petrogenetic issues, models and evidence. Earth-Science Reviews, 61(1-2): 1～18.

Deering C D, Bachmann O. 2010. Trace element indicators of crystal accumulation in silicic igneous rocks. Earth and Planetary Science Letters, 297: 324～331.

Deng J F, Mo X X, Zhao H L, Wu Z X, Luo Z H, Su S G. 2004. A newmodel for the dynamic evolution of Chinese lithosphere: 'continental roots-plume tectonics'. Earth-Science Reviews, 65(3-4): 223～275.

Gao Linzhi, Huang Zhizhong, Ding Xiaozhong, Liu Yanxue, Pang Jianfeng, Zhang Chuanheng. 2012. Zircon SHRIMP U-Pb dating of Xiushui and Majianqiao formations innorthwestern Jiangxi Province. Geological Bulletin of China, 31(7): 1086～1093 (in Chinese with English abstract).

Gilder S A, Keller G R, Luo M, Goodell P C. 1991. Eastern Asia andthe Western Pacific timing and spatial distribution of rifting in China. Tectonophysics, 197(2-4): 225～243.

Griffin W L, Wang X, Jackson S E, Pearson N J, O'Reilly S Y, Xu X S, Zhou X M. 2002. Zircon geochemistry and magma mixing, SE China: In-situ analysis of Hf isotopes, Tonglu and Pingtan igneous conplexes. Lithos, 61: 237～269.

He Z Y, Xu X S, Yu Y, Zou H B. 2009. Origin of the Late Cretaceous syenite from Yandangshan SE China, constrained by zircon U-Pb and Hf isotopes and geochemical data. International Geology Review, 51: 556～582.

He Z Y, Xu X S. 2012. Petrogenesis of the Late Yanshanian mantle-derived intrusions in southeastern China: Response to the geodynamics of paleo-Pacific plate subduction. Chemical Geology, 328: 208～221.

Hsü K J, Sun S, Li J L, Chen H H, Pen H P, Sengor A M C. 1988. Mesozoic overthrust tectonics in south China. Geology, 16(5): 418～421.

Hua Renmi, Chen Peirong, Zhang Wenlan, Lu Jianjun. 2005. Three major metallogenic events in Mesozoic in South China. Mineral Deposits, 24(2): 99～107 (in Chinese with English abstract).

Hua Renmin, Chen Peirong, Zhang Wenlan, Liu Xiaodong, Lu Jianjun, Lin Jinfu, Yao Junming, Qi Huawen, Zhang Zhanshi, Gu Shengyan. 2003. Mesozoic and Cenozoic mineralization system related to granitoid in South China. Science in China (Series D), 33(4): 335～342 (in Chinese).

Huang Chunmei, Zhao Zhidan, Zhu Dicheng, Liu Dong, Huang Yu, Dong Mingchun, Hu Zhaochu, Zheng Jianping. 2013. Geochemistry, zircon U-Pb chronology and Hf isotope of Luozha leucogranite, southern Tibet: Implication for petrogenesis. Acta Petrologica Sinica, 29(11): 3689～3702 (in Chinese with English abstract).

Huang Lanchun, Jiang Shaoyong. 2012. Zircon U-Pb geochronology, geochemistry and petrogenesis of the porphyric-like muscovite granite in the Dahutang tungsten deposit, Jiangxi Province. Acta Petrologica Sinica, 28(12): 3887～3900 (in Chinese with English abstract).

Huang Lanchun, Jiang Shaoyong. 2013. Geochronology, geochemistry and petrogenesis of the tungsten-bearing porphyritic granite in the Dahutang tungsten deposit, Jiangxi Province. Acta Petrologica Sinica, 28(12): 4323～4335 (in Chinese with English abstract).

Jiang Shaoyong, Peng Ningjun, Huang Lanchun, Xu Yaoming, Zhan Gangle, Dan Xiaohua. 2015. Geological characteristic and ore genesis of the giant tungsten deposits from the Dahutang ore-concentrated district in northern Jiangxi Province. Acta Petrologica Sinica, 31(3): 639～655 (in Chinese with English abstract).

Jiangxi Geology & Mineral Exploration Bureau. 1984. Regional Geology of Jiangxi Province. Beijing: Geological Publishing House, 1～371 (in Chinese).

Jiang Y H, Zhao P, Zhou Q, Liao S Y, Jin G D. 2011. Petrogenesis and tectonic implications of Early Cretaceous S-and A-type granites in the northwest of the Gan-Hang rift, SE China. Lithos, 121(1): 55～73.

King P L, Chappell B W, Allen C M, White A J R. 2001. Are A type granites the high temperature felsic granites? Evidence from fractionated granites of the Wangrah Suite. Australian J. Earth Science, 48: 501～514.

Landenberger B, Collins W J. 1996. Derivation of A-type granites from a dehydrated charnockitic lower crust: Evidence from the Chaelundi complex, eastern Australia. Journal of Petrology, 37(1): 145～170.

Lawrie K C, Memagh T P, Ryan C G, van Achterbergh E, Black L P. 2007. Chemical fingerprinting of hydrothermal zircons: an example from the Gidginbung high sulphidation Au-Ag (Cu) deposit, New South Wales, Australia. Proceedings of the Geologists' Association, 118: 37～46.

Lee C T A, Morton D M. 2015. High silica granites: Terminal porosity and crystal settling in shallow magma chambers. Earth and Planetary Science Letters, 409: 23～31.

Luo Lan, Jiang Shaoyong, Yang Shuiyuan, Zhao Kuidong, Wang

Shilin, Gao Wenliang. 2010. Petrochemistry, zircon U-Pb dating and Hf isotopic composition of the granitic pluton in the Pengshan Sn-polymetallic orefied, Jiangxi Province. Acta Petrologica Sinica, 26(9): 2818～2834 (in Chinese with English abstract).

Li X H, Li W X, Li Z X. 2007. On the genetic classification tectonic implications of the early Yanshanian granitoids in the Nanling range, South China. Chinese Science Bulletin, 52 (14): 1873～1885.

Li X H. 2000. Cretaceous magmatism and lithospheric extension in southeast China. Journal of Asian Earth Sciences, 18 (3): 293～305.

Li Y, Ma C Q, Xing G F, Zhou H W, Zhang H. 2015. The Early Cretaceous evolution of SE China: Insights from the Changle-Nan'ao Metamorphic Belt. Lithos, 230: 94～104.

Li Z X, Li X H. 2007. Formation of the 1300 km wide intracontinental orogen and postorogenic magmatic province in Mesozoic South China: A flat slab subduction model. Geology, 35(2): 179～182.

Li Z X, Li X H, Chung S L, Lo C H, Xu X S, Li W X. 2012. Magmatic switch on and switch off along the South China continental margin since the Permian: Transition from an Andean type to a Western Pacific type plate boundary. Tectonophysics, 532～535: 271～290.

Linnen R L, Cuney M. 2004. Granite related rare element deposits andexperimental constraints on Ta-Nb-W-Sn-Zr Hf mineralization. In: Linnen R L, Samson I M, eds. Rare Element Geochemistry and Mineral Deposits. GAC Short Course Notes, 17:45～68.

Linnen R L, Keppler H. 2002. Melt composition control of Zr /Hf fractionation in magmatic processes. Geochimica et Cosmochimica Acta, 66: 3293～3301.

Liu L, Xu X S, Xia Y. 2016. Asynchronizing paleo-Pacific slab rollback beneath SE China: Insights from the episodic Late Mesozoic volcanism. Gondwana Research, 37: 397～407.

Liu Y S, Hu Z C, Gao S, Chen H L. 2008. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard. Chemical Geology, 257: 34～43.

Liu Y S, Gao S, Hu Z C, Wang D B. 2010. 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. Journal of Petrology, 51: 537～571.

Lü Jinsong, Zhang Xuehui, Sun Jiandong, Zhang Yong, Wu Bin, Luo Xuequan. 2017. Spatiotemporal evolution and metallogenic regularity of felsic rocks in the Yanshanian of the eastern segment Qinhang metallogenic belt, South China. Acta Petrologica Sinica, 33 (11): 3635 ～ 3658 (in Chinese with English abstract).

Maniar P D, Piccoli P M. 1989. Tectonic discrimination of granitoids. Geol. Soc. Am. Bull., 101(5): 635～643.

Mao J R, Li Z L, Ye H M. 2014. Mesozoic tectono magmatic activities in South China: Retrospect and prospect. Science China (Earth Sciences), 57(12): 2853～2877.

Mao Jingwen, Chen Maohong, Yuan Shunda, Guo Chunli. 2011. Geological characteristics of the Qinhang (or Shihang) metallogenic belt in South China and spatial temporal distribution regularity of mineral deposits. Acta Geologica Sinica, 85 (5): 636～658 (in Chinese with English abstract).

Mao Jingwen, Xie Guiqing, Guo Chunli, Yuan Shunda, Cheng Yanbo, Chen Yuchuan. 2008. Spatial temporal distribution of Mesozoic ore deposits in South China and their metallogenic settings. Geological Journal of China Universities, 14(4): 510～526 (in Chinese with English abstract).

Mao Jingwen, Xie Guiqing, Li Xiaofeng, Zhang Changqing, Mei Yanxiong. 2004. Mesozoic large scale mineralization and multiple lithospheric extension in South China. Earth Science Frontiers, 11(1): 45～55 (in Chinese with English abstract).

Mei Huicheng, Huang Shaochun, Liu Jiujin. 2012. Geochemical characteristics and related to Sn mineralization of Yunshan granitic pluton, Jiangxi Province. Geology and Mineral Resources of South China, 28(2): 100～106 (in Chinese with English abstract).

Miller C F, McDowell S M, Mapes R W. 2003. Hot and cold granites? Implications of zircon saturation temperatures and preservation of inheritance. Geology, 31(6): 529～532.

Pu Wei, Gao Jianfeng, Zhao Kuidong, Ling Hongfei, Jiang Shaoyong. 2005. Separation method of Rb-Sr, Sm-Nd using DCTA and HIBA. Journal of Nanjing University (Natural Sciences), 41 (4): 445 ～ 450 (in Chinese with English abstract).

Pu Wei, Zhao Kuidong, Ling Hongfei, Jiang Shaoyong. 2004. High precision Nd isotope measurement by Triton TI Mass Spectrometry. Acta Geoscientica Sinica, 25(2): 271～274 (in Chinese with English abstract).

Qi Xuexiang, Zeng Lingsen, Meng Xiangjin, Xu Zhiqin, Li Tianfu. 2008. Zircon SHRIMP U-Pb dating for Dala granite in the Tethyan Himalaya and its geological implication. Acta Petrologica Sinica, 24(7): 1501～1508 (in Chinese with English abstract).

Rickwood P C. 1989. Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides of major and minor elements. Lithos, 22(4): 247～263.

Scherer E, Munker C, Mezger K. 2001. Calibration of the lutetium-hafnium clock. Science, 293: 683～687.

Shu Xujie, Chen Zhihong, Zhu Yanhui, Liao Shengbing, Zhou Bowen, Li Gongzhen, Zhao Xuchen, Liu Shuang, Chen Leichao. 2018. Genesis of Donggu highly fractionated granites, Xingguo, southern Jiangxi, and its geological significance. Geological Review, 64(1): 108～126 (in Chinese with English abstract).

Sun F J, Xu X S, Zou H B, Xia Y. 2015. Petrogenesis and magmatic evolution of～130 Ma A-type granites in Southeast China. Journal of Asian Earth Sciences 98: 209～224.

Sun S S, McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalt: implications for mantle composition and processes. In: Sanders A D, Norry M J, eds. Magmatism in the Ocean Basins. Geological Society, London, Special Publications, 42: 313～345.

Sun W D, Ding X, Hu Y H, Li X H. 2007. The golden transformation of the Cretaceous plate subduction in the west Pacific. Earth and Planetary Science Letters, 262(3/4): 533～542.

Sylvester P J. 1998. Post-collisional strongly peraluminous granites. Lithos,45(1/4): 29～44.

Vervoort J D, Blichert-Toft J. 1999. Evolution of the depleted mantle: Hf isotope evidence from juvenile rocks through time. Geochimica et Cosmochimica Acta, 63(3/4): 533～556.

Wang C Z, Zhao X L, Huang Z Z, Xing G F, Wang L X. 2018. Early Cretaceous extensional-tectonism-related petrology of the Gan-Hang belt SE China: Lingshan A-type granite at ca. 130 Ma. Geological Journal, 53:2487～2506.

Wang F Y, Ling M X, Ding X, Hu Y H, Zhou J B, Yang X Y, Liang H Y, Fan W M, Sun W D. 2011. Mesozoic large magmatic events and mineralization in SE China: Oblique subduction of the Pacific plate. International Geology Review, 53(5/6): 704～726.

Wang Qiang, Zhao Zhenhua, Xiong Xiaolin. 2000. The ascertainment of late-Yanshanian A-type granite in Tongbai-Dabie orogenic belt. Acta Petrologica et Mineralogica, 19(4): 297～306 (in Chinese with English abstract).

Wang X L, Zhao G C, Zhou J C, Liu Y S, Hu J. 2008. Geochronology and Hf isotopes of zircon from volcanic rocks of the Shuangqiaoshan Group, South China: implications for the Neoproterozoic tectonic evolution of the eastern Jiangnan orogen. Gondwana Research, 14 (3): 355～367.

Wang X L, Zhou J C, Griffin W L, Zhao G C, Yu J H, Qiu J S,

Zhang Y J, Xing G F. 2014. Geochemical zonation across a Neoproterozoic orogenic belt: Isotopic evidence from granitoids and metasedimentary rocks of the Jiangnan orogen, China. Precambrian Research, 242: 154～171.

Wang Y J, Fan W M, Cawood P A, Li S Z. 2008. Sr-Nd-Pb isotopic constraints on multiple mantle domains for Mesozoic mafic rocks beneath the South China Block hinterland. Lithos, 106(3/4): 297～308.

Wang Y J, Fan W M, Guo F, Peng T P, Li C W. 2003. Geochemistry of Mesozoic mafic rocks adjacent to the Chenzhou Linwu fault, South China: Implications for the lithospheric boundary between the Yangtze and Cathaysia blocks. International Geology Review, 45 (3): 263～286.

Watson E B, Harrison T M. 2005. Zircon thermometer reveals minimum melting conditions on earliest Earth. Science, 308 (5723): 841～844.

Wei Xiaopeng, Wang He, Hu Jun, Mu Shenglu, Qiu Zhengwang, Yan Qinghe, Li Pei. 2017. Geochemistry and geochronology of the Dahongliutan two-mica granite pluton in western Kunlun orogen: Geotectonic implications. Geochimica, 46(1): 66～80 (in Chinese with English abstract).

Whalen J B, Currie K L, Chappell B W. 1987. A-type granites: Geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. Contributions to Mineralogy and Petrology, 95(4): 407～419.

Wong J, Sun M, Xing G F, Li X H, Zhao G C, Wong K, Yuan C, Xia X P, Li L M, Wu F Y. 2009. Geochemical and zircon U-Pb and Hf isotopic study of the Baijuhuajian metaluminous A-type granite: extension at 125～100 Ma and its tectonic significance for South China. Lithos, 112: 89～305.

Wu F Y, Ji W Q, Sun D H, Yang Y H, Li X H. 2012. Zircon U-Pb geochronology and Hf isotopic compositions of the Mesozoic granites in southern Anhui Province, China. Lithos, 150: 6～25.

Wu Fuyuan, Li Xianhua, Zheng Yongfei, Gao Shan. 2007. Lu-Hf isotopic systematics and their applications in petrology. Acta Petrologica Sinica, 26(2): 185～220 (in Chinese with English abstract).

Wu F Y, Liu X C, Ji W Q, Wang J M, Yang L. 2017. Highly fractionated granites: Recognition and research. Science China Earth Sciences, 60(7): 1201～1219.

Wu Y B, Zheng Y F. 2004. Genesis of zircon and its constraints on interpretation of U-Pb age. Chinese Science Bulletin, 49: 1554～1569.

Xing Guangfu, Hong Wentao, Zhang Xuehui, Zhao Xilin, Ban Yizhong, Xiao Fan. 2017. Yanshanian granitic magmatisms and their mineralizations in East China. Acta Petrologica Sinica, 33 (5): 1571～1590 (in Chinese with English abstract).

Yang Minggui, Mei Yongwen. 1997. Characteristics of geology and metallization in the Qinzhou-Hangzhou paleoplate juncture. Geology and Mineral Resources of south China, (3): 52～59 (in Chinese with English abstract).

Yang S Y, Jiang S Y, Jiang Y H, Zhao K D, Fan H H. 2011. Geochemical, zircon U-Pb dating and Sr-Nd-Hf isotopic constraints on the age and petrogenesis of an Early Cretaceous volcanic-intrusive complex at Xiangshan, Southeast China. Mineralogy and Petrology, 101(1-2): 21～48.

Yang S Y, Jiang S Y, Jiang Y H, Zhao K D, Fan H H. 2010. Zircon U-Pb geochronology, Hf isotope and geological implications of the rhyodacite and rhyodacitic porphyry in Xiangshan, Jiangxi Province. Science China Earth Sciences, 53 (10): 1411～1426.

Yang S Y, Jiang S Y, Zhao K D, Jiang Y H, Ling H F, Luo L. 2012. Geochronology, geochemistry and tectonic significance of two Early Cretaceous A-type granites in the Gan-Hang Belt, Southeast China. Lithos, 150: 155～70.

Zhang Jiajing, Mei Yuping, Wang Denghong, Li Huaqin. 2008. Geochronology study on the Xianglushan scheelite deposit in North Jiangxi Province and its geological significance. Acta Geologica Sinica, 82(7): 927～931 (in Chinese with English abstract).

Zhang Mingyu, Feng Chengyou, Li Daxin, Wang Hui, Zhou Jianhou, Ye Shaozhen, Wang Guohua. 2018. Geochemical and Hf isotopes of granites in the Kunshan W-Mo-Cu deposit, northern Jiangxi Province. Acta Geologica Sinica, 92(1): 77～93 (in Chinese with English abstract).

Zhang Qi, Jin Weijun, Li Chengdong, Wang Yuanlong. 2009. Yanshanian large-scale magmatism and lithosphere thinning in eastern China: Relation to large igneous province. Earth Science Frontiers, 16(2): 21～51 (in Chinese with English abstract).

Zhang Rongqing, Lu Jianjun, Wang Rucheng, Yao Yuan, Ding Teng, Hu Jiabin, Zhang Huaifeng. 2016. Petrogenesis of W-and Sn-bearing granites and the mechanism of their metallogenic diversity in the Wangxianling area, southern Hunan Province. Geochimica, 45 (2): 105～132 (in Chinese with English abstract).

Zhou J, Jiang Y H, Xing G F, Zeng Y, Ge W Y. 2013. Geochronology and petrogenesis of Cretaceous A-type granites from the NE Jiangnan Orogen, SE China. International Geology Review, 55: 1359～1383.

Zhou Xiaohua, Zhang Yanjie, Liao Shengbing, Yu Minggang, Chen Zhihong, Zhao Xilin, Jiang Yang. 2012. LA-ICP-MS zircon U-Pb geochronology of volcanic rocks in the Shuangqiaoshan Group at Anhui-Jiangxi boundary region and its geological implication. Geological Journal of China Universities, 18(4): 609～622 (in Chinese with English abstract).

Zhou X M, Li W X. 2000. Origin of Late Mesozoic igneous rocks in southeastern China: Implications for lithosphere subduction and underplating of mafic magmas. Tectonophysics, 326 (3/4): 269～287.

Zhou X M, Sun T, Shen W Z, Shu L S. 2006. Petrogenesis of Mesozoic granitoids and volcanic rocks in South China: A response to tectonic evolution. Episodes, 29(1): 26～33.

Zhou Yongzhang, Li Xingyuan, Zheng Yi, Shen Wenjie, He Junguo, Yu Pengpeng, Niu Jia, Zeng Changyu. 2017. Geological settings and metallogenesis of Qinzhou Bay-Hangzhou Bay orogenic juncture belt, South China. Acta Petrologica Sinica, 33(3): 667～681 (in Chinese with English abstract).

Zhu Hanqing. 2006. Geologic characteristics of the Dengjiashan tin deposit in the Yunshan area of Jiangxi Province. Geology of Fujian, 1: 25～31 (in Chinese with English abstract).

参 考 文 献

陈国华，万浩章，舒良树，张诚，康川. 2012. 江西景德镇朱溪铜钨多金属矿床地质特征与控矿条件分析. 岩石学报，28(12): 3901～3914.

高林志，黄志忠，丁孝忠，刘燕学，庞建峰，张传恒. 2012. 赣西北新元古代修水组和马涧桥组 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄. 地质通报，31(7): 1086～1093.

华仁民，陈培荣，张文兰，刘晓东，陆建军，林锦富，姚军明，戚华文，张展适，顾晟彦. 2003. 华南中、新生代与花岗岩类有关的成矿系统. 中国科学(D辑)，33(4): 335～342.

华仁民，陈培荣，张文兰，陆建军. 2005. 论华南地区中生代3次大规模成矿作用. 矿床地质，24(2): 99～107.

黄春梅，赵志丹，朱弟成，刘栋，黄玉，董铭淳，胡兆初，郑建平. 2013. 藏南洛扎地区淡色花岗岩锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素、地球化学与岩石成因. 岩石学报，29(11): 3689～3702.

黄兰椿，蒋少涌. 2013. 江西大湖塘富钨花岗斑岩年代学、地球化学特征及成因研究. 岩石学报，29(12): 4323～4335.

黄兰椿，蒋少涌. 2012. 江西大湖塘钨矿床似斑状白云母花岗岩锆石 U-Pb 年代学、地球化学及成因研究. 岩石学报，28(12): 3887～3900.

蒋少涌，彭宁俊，黄兰椿，徐耀明，占岗乐，但小华. 2015. 赣北大湖塘矿集区超大型钨矿地质特征及成因探讨. 岩石学报，31(03): 639～655.

江西省地质矿产局. 1984. 江西省区域地质志. 北京：地质出版社，1～371.

罗兰，蒋少涌，杨水源，赵葵东，汪石林，高文亮等. 2010. 江西彭山锡多金属矿集区隐伏花岗岩体的岩石地球化学、锆石 U-Pb 年

代学和 Hf 同位素组成. 岩石学报,26(9): 2819～2834.
吕劲松,张雪辉,孙建东,张勇,武彬,骆学全. 2017. 钦杭成矿带东段燕山期中酸性岩浆活动时空演化与成矿规律. 岩石学报,33(11): 3635～3658.
毛景文,陈懋弘,袁顺达,郭春丽. 2011. 华南地区钦杭成矿带地质特征和矿床时空分布规律. 地质学报,85(5): 636 ～658.
毛景文,谢桂青,郭春丽,袁顺达,程彦博,陈毓川. 2008. 华南地区中生代主要金属矿床时空分布规律和成矿环境. 高校地质学报,14(4): 510～526.
毛景文,谢桂青,李晓峰,张长青,梅燕雄. 2004. 华南地区中生代大规模成矿作用与岩石圈多阶段伸展. 地学前缘,11 (1): 45～55.
梅惠呈,黄韶春,刘九金. 2012. 江西云山复式岩体的地球化学特征及与锡成矿关系探讨. 华南地质与矿产,28(2): 100～106.
濮巍,高剑峰,赵葵东,凌洪飞,蒋少涌. 2005. 利用 DCTA 和 HIBA 快速有效分离 Rb-Sr、Sm-Nd 的方法. 南京大学学报(自然科学版), 41(4): 445～450.
濮巍,赵葵东,凌洪飞,蒋少涌. 2004. 新一代高精度高灵敏度的表面热电离质谱仪(Triton TI)的 Nd 同位素测定. 地球学报, 25(2): 271～274.
戚学祥,曾令森,孟祥金,许志琴,李天福. 2008. 特提斯喜马拉雅打拉花岗岩的锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义. 岩石学报,24(7): 1501～1508.
舒徐洁,陈志洪,朱延辉,廖圣兵,周博文,李功振,赵旭辰,刘爽,陈雷超. 2018. 赣南兴国东固高分异花岗岩成因及地质意义. 地质论评,64(1): 108～126.
王强,赵振华,熊小林. 2000. 桐柏-大别造山带燕山晚期 A 型花岗岩的厘定. 岩石矿物学杂志,19(4): 297～306.
魏小鹏,王核,胡军,慕生禄,丘增旺,闫庆贺,李沛. 2017. 西昆仑大红柳滩二云母花岗岩地球化学和地质年代学研究及其地质意义. 地球化学,46(1): 66～80.
吴福元,李献华,郑永飞,高山. 2007. Lu-Hf 同位素体系及其岩石学应用. 岩石学报,26(2): 185～220.
邢光福,洪文涛,张雪辉,赵希林,班宜忠,肖凡. 2017. 华东地区燕山期花岗质岩浆与成矿作用关系研究. 岩石学报,33 (5): 1571～1590.
杨明桂,梅勇文. 1997. 钦-杭古板块结合带与成矿带的主要特征. 华南地质与矿产, (3): 52～59.
张家菁,梅玉萍,王登红,李华芹. 2008. 赣北香炉山白钨矿床的同位素年代学研究及其地质意义. 地质学报,82(7): 937～931.
张明玉, 丰成友, 李大新, 王辉, 周建厚, 叶少贞, 汪国华. 2018. 赣北昆山钨钼铜矿床花岗岩地球化学及 Hf 同位素研究. 地质学报,92(1): 77～93.
张旗,金惟俊,李承东,王元龙. 2009. 中国东部燕山期大规模岩浆活动与岩石圈减薄:与大火成岩省的关系. 地学前缘,16(2): 21～51.
章荣清,陆建军,王汝成,姚远,丁腾,胡加斌,张怀峰. 2016. 湘南王仙岭地区中生代含钨与含锡花岗岩的岩石成因及其成矿差异机制. 地球化学,45(2): 105～132.
周效华,张彦杰,廖圣兵,余明刚,陈志洪,赵希林,姜杨,蒋 仁. 2012. 皖赣相邻地区双桥山群火山岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. 高校地质学报,18(4):609～622.
周永章,李兴远,郑义,沈文杰,何俊国,虞鹏鹏,牛佳,曾长育. 2017. 钦杭结合带成矿地质背景及成矿规律. 岩石学报,33(3): 0667～0681.
朱汗青. 2006. 江西云山地区邓家山锡矿床地质特征. 福建地质,1: 25～31.

Petrogenesis of the Yunshan pluton in Jiangxi Province: constrains from geochronology, geochemistry and Nd-Hf isotopes

WANG Cunzhi*, HUANG Zhizhong, XING Guangfu, ZHAO Xilin, SHU Xujie, JU Dongmei

Nanjing Centre, China Geological Survey, Nanjing, 210016

* *Corresponding author*: 32107407@*qq.com*

Abstract

The Yunshan pluton, located in the northeast of Jiuling uplift in the Jiangnan orogen, northern Jiangxi Province, consists lithologically of two-mica monzogranite. In this paper, we reported detailed studies on the LA-ICP-MS zircon U-Pb dating, major elements, trace elements, whole-rock Nd isotopic compositions and zircon Hf isotopic compositions of the two-mica monzogranite. LA-ICPMS zircon U-Pb ages show that the two-mica monzogranite was emplaced at 125.6±1.1 Ma and the product of early Late Yanshanian magmatic activity. The studies of petrography and geochemistry of this rock indicate that it is characterized by silica-rich, high alkalinity, peraluminous, low zircon saturation temperatures, enrichment in Rb, Th, U, K, Pb and depletion in Ba, Nb, Sr, Ti and significant negative Eu anomalies (Eu/Eu^* = 0.13～0.20). Hence, this rock belongs to highly fractionated S-type granite. $\varepsilon_{Nd}(t)$ and $\varepsilon_{Hf}(t)$ values of the Yunshan pluton vary from −3.9 to −5.1 and from −1.0 to −8.8, respectively, and the calculated two-stage model ages (T_{DM2}) of Nd and Hf isotopes are 1.35～1.44 Ga and 1.25～1.75 Ga, respectively. Coupled with CaO/Na_2O of <0.3, this study suggests that pelitic metasediments and minor amount of igneous rocks of Proterozoic Shuangqiaoshan Group may be the source rocks for the two-mica monzogranite. We propose that the ca. 126 Ma Yunshan granite was formed in a back-arc extensional setting in SE China during Early Cretaceous.

Key words: two-mica monzogranite; petrogenesis; Early Cretaceous; Yunshan pluton; northern Jiangxi Province