

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

扬子板块西缘北段新元古代花岗岩类的地球化学特征和成因

沈渭洲¹⁾ 凌洪飞¹⁾ 徐士进¹⁾ 周新民¹⁾ 赵子福²⁾ 郭建强³⁾

1) 南京大学地球科学系, 南京大学成矿作用国家重点实验室, 210093

2) 中国科学技术大学地球和空间科学系, 合肥, 230026

3) 四川省地质矿产局区域地质调查大队, 成都, 610213

内容提要 扬子板块西缘北段新元古代花岗岩类分布较广。它们具有准铝质化学成分($A/NKC < 1.03$); 贫 Rb、U、Th、Nb、Hf, 相对富 Sr、Ba、Zr; 稀土总量较低, 轻、重稀土分馏不明显; ϵ_{Nd} 较高 (> -4.3), I_{Sr} 较低 (< 0.7050), $\delta^{18}O$ 低 ($< 7.6\%$)。这些特征与华南同熔型花岗岩类的值十分相似, 反映其源区具有壳-幔混合特点。新元古代花岗岩类的 Nd 模式年龄 (1.81~1.14 Ga) 介于该区初生地壳 (1.0 Ga 左右) 和古老地壳 (> 2.0 Ga) 之间, 推测这些花岗岩类主要是由上述两端元按不同比例组成的混合源区衍生的。母岩浆的形成可能同新元古代早期 (晋宁期) 滇青藏大洋板块向扬子古板块的俯冲有关。

关键词 同位素 花岗岩类 新元古代 扬子板块西缘北段

扬子板块西缘新元古代花岗岩类分布于康滇岩浆岩带中。北起四川丹巴、南至云南峨山, 在南北延伸达近千千米范围内, 大小岩体达 60 多个。对康滇岩浆岩带中段和南段的新元古代花岗岩类, 前人已作过较详细的研究 (刘俨然等, 1988)。但对康滇岩浆岩带北段, 除丹巴地区格宗和东谷岩体有过研究 (徐士进等, 1996; 凌洪飞等, 1998) 外, 其余新元古代花岗岩类未见有研究成果报道。本文对该区一些代表性岩体, 从研究它们的主要元素、微量元素、稀土元素和 Nd、Sr、O 同位素着手探讨其物质来源和成因。

1 地质背景

本文研究范围从丹巴经康定至石棉, 属康滇岩浆岩带北段。研究的岩体自北向南依次为丹巴县春牛场混合花岗岩, 康定县下索子花岗岩、野坝石英闪长岩和瓦斯沟斜长花岗岩, 石棉县田湾闪长岩、扁路岗角闪花岗岩和黄草山花岗岩 (图 1)。其中以黄草山岩体规模最大 (798 km²), 扁路岗岩体规模最小 (约 2 km²), 其余岩体的出露范围介于 50~250 km² 之间。这些岩体呈岩基、岩株或岩枝状产出, 侵入前震旦系, 并被上震旦系及显生宙地层沉积覆盖。

岩石类型有闪长岩类和花岗岩类。闪长岩类包括闪长岩、斜长花岗岩、石英闪长岩, 闪长岩岩性变化较大, 可在小范围内从闪长岩渐变至石英闪长岩、英云闪长岩 (如田湾岩体)。矿物组成以斜长石、角闪石和黑云母为主, 含少量石英、钾长石及辉石。副矿物以磁铁矿、磷灰石、榍石为主, 锆石少见。花岗岩类岩性变化小, 以正常花岗岩为主, 其次为二长花岗岩。矿物组成以钾

注: 本文为教育部博士点基金 (编号 96028429) 资助项目的成果。

本文 1999 年 6 月收到, 2000 年 1 月改回, 刘淑春编辑。

长石、石英、斜长石为主,黑云母、角闪石少量。副矿物以磁铁矿、钛铁矿、磷灰石、锆石、褐帘石、独居石等为主,榍石、石榴子石少量。

2 样品和分析方法

对野外采集的样品经显微镜观察研究后,选择新鲜和具代表性的样品进行同位素测试。Sm、Nd 和 Rb、Sr 同位素分析由中国科学院地质研究所同位素地质实验室完成,详细分析流程已有文献叙述(黄萱等,1990)。质谱测定采用 VG-354 质谱计,Sr 同位素比值测定采用 $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr}=0.1194$ 进行质量分馏校正,Nd 同位素比值测定采用 $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.7219$ 进行标准化。实验室全流程本底:Rb、Sr 为 $10^{-10}\sim 10^{-11}$ g,Sm、Nd 为 $10^{-11}\sim 10^{-12}$ g。样品的初始 Nd、Sr 同位素组成以 ϵ_{Nd} 和 I_{Sr} 值表示。全岩氧同位素组成由中国科学技术大学地球化学动力学研究实验室采用 BrF_5 方法分析,收集的 CO_2 由 MAT-252 质谱计测定。

3 结果与讨论

3.1 主要元素

由表 1 所列的主要元素组成可知,新元古代花岗岩质岩石的 SiO_2 含量变化较大,其中闪长岩类为 54.30%~66.30%(平均为 61.64%),花岗岩类为 68.52%~77.42%(平均为 73.75%);相对富 Na 贫 K, $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 值较高(14.04~0.75,平均为 3.32);在 $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O}$ 和 $\text{Na}_2\text{O-K}_2\text{O}$ 相关图上,所有数据点均投影于华南同熔型花岗岩类区域内(徐克勤等,1984;王德滋等,1993,1995);它们的 SiO_2 与 TiO_2 、 Al_2O_3 、 CaO 、 MgO 、 Fe_2O_3 、 FeO 呈明显的负相关;相对贫 Al, A/NKC 值除一个样品(SC-56)大于 1(1.03)外,其余均小于 1(0.86~0.97),属准铝质岩石系列。

3.2 微量元素

本区花岗岩类的微量元素含量虽因岩性变化而显示出较大的波动(表 1),但总体上仍具有较低的 Rb($5.0\times 10^{-6}\sim 182\times 10^{-6}$,平均为 88×10^{-6})、Nb($3.5\times 10^{-6}\sim 14.0\times 10^{-6}$,平均为 9.3×10^{-6})、Hf($1.8\times 10^{-6}\sim 8.2\times 10^{-6}$,平均为 4.6×10^{-6})、Th($1.7\times 10^{-6}\sim 24.0\times 10^{-6}$,平

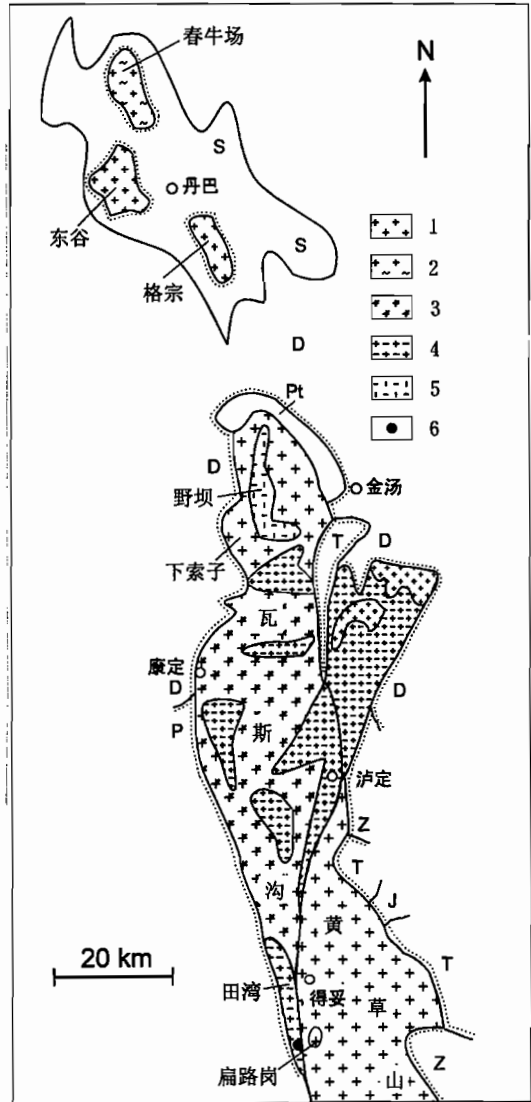


图 1 扬子板块西缘北段新元古代花岗岩类分布略图

Fig.1 Sketch map of granitoid distribution at north part of the western margin of the Yangtze block

Pt—元古宙黄水河群;1—花岗岩;2—混合花岗岩;3—斜长花岗岩;4—闪长岩;5—石英闪长岩;6—取样点
Pt—Proterozoic Huangshuihe Group; 1—granite; 2—migmatite granite; 3—plagioclase granite; 4—diorite; 5—quartz-diorite; 6—location of sampling

均为 9.7×10^{-6}) 和 U 含量 ($< 1 \times 10^{-6} \sim 4.3 \times 10^{-6}$) 及较高的 Ba ($230 \times 10^{-6} \sim 1337 \times 10^{-6}$, 平均为 626×10^{-6})、Sr ($47 \times 10^{-6} \sim 691 \times 10^{-6}$, 平均为 258×10^{-6}) 和 Zr ($42 \times 10^{-6} \sim 287 \times 10^{-6}$, 平均为 155×10^{-6}) 含量。这些微量元素特征与华南同熔型花岗岩类的值 (刘英俊等, 1984; 徐克勤等, 1984; 王德滋等, 1993) 十分相似。

表 1 新元古代花岗岩类的主要元素(%)、微量元素($\times 10^{-6}$)和稀土元素($\times 10^{-6}$)组成

Table 1 Major element (%), trace element ($\times 10^{-6}$) and rare earth element ($\times 10^{-6}$) of Neoproterozoic granitoids

岩体名称	春牛场	瓦斯沟	野坝	田湾	扁路岗	下案子		黄草山	
岩性	混合花岗岩	斜长花岗岩	石英闪长岩	闪长岩	角闪花岗岩	花岗岩		花岗岩	
样号	SC-01	SC-42	SC-39	W-01	P16-1	SC-36	SC-38	SC-55	SC-56
SiO ₂	69.32	64.33	66.30	54.30	68.52	74.85	76.95	77.42	75.44
TiO ₂	0.17	0.60	0.56	0.70	0.50	0.15	0.14	0.11	0.16
Al ₂ O ₃	16.53	14.73	13.81	17.63	13.93	12.60	11.52	11.32	12.16
Fe ₂ O ₃	0.36	2.71	5.42	3.24	1.65	0.91	1.52	0.70	1.06
FeO	1.06	2.96	0.67	4.44	2.07	0.96	0.60	0.40	0.56
MnO	0.03	0.23	0.09	0.18	0.14	0.05	0.02	0.03	0.04
MgO	0.83	2.27	1.86	4.93	1.26	0.23	0.15	0.35	0.59
CaO	2.73	4.34	4.58	7.83	2.67	1.02	0.81	0.56	0.39
Na ₂ O	6.54	4.64	2.54	3.65	3.75	4.97	5.02	3.66	3.58
K ₂ O	1.14	1.39	2.74	0.26	3.50	3.37	2.82	4.62	4.80
P ₂ O ₅	0.15	0.35	0.26	0.15	0.20	0.12	0.10	0.11	0.11
LOI	0.88	1.04	1.34	2.43	1.17	0.74	0.32	0.51	0.85
总量	99.74	99.59	100.17	99.74	99.36	99.97	99.97	99.79	99.74
A/NKC	0.97	0.86	0.89	0.86	0.94	0.92	0.90	0.94	1.03
La		12.06	21.15	13.90	45.29	34.67	38.68	16.67	24.29
Ce		33.38	42.72	32.90	91.46	73.98	80	34.14	49.29
Pr		7.877	5.433	4.31	9.473	9.066	11.35	4.431	5.847
Nd		26.73	17.97	24.50	37.48	33	42.39	14.42	19.44
Sm		8.722	3.925	5.51	6.869	7.104	9.878	3.223	4.325
Eu		1.513	0.8988	1.46	1.295	0.7366	1.31	0.4018	0.4931
Gd		11.16	3.883	4.52	6.526	7.297	10.67	3.148	4.194
Tb		2.093	0.7141	0.73	0.97	1.262	1.806	0.6132	0.7814
Dy		14.59	3.639	4.51	5.685	7.596	11.18	3.232	4.224
Ho		3.089	0.8075	0.93	1.257	1.692	2.435	0.7448	0.9519
Er		9.172	2.255	2.52	3.515	4.992	7.083	2.17	2.729
Tm		1.304	0.3676	0.34	0.5577	0.8017	1.079	0.3761	0.4589
Yb		8.501	2.126	2.04	4.072	5.432	7.016	2.48	2.987
Lu		1.181	0.3499	0.30	0.6456	0.8658	1.053	0.3946	0.4761
Y		81.91	19.82	19.6	32.53	46.56	62.9	19.36	24.32
ΣREE		141.4	106.2	98.43	215.1	188.5	225.9	86.4	120.5
LREE/HREE		1.30	4.60	3.31	5.85	4.00	3.22	4.15	4.57
δEu		0.47	0.70	0.83	0.59	0.31	0.39	0.38	0.35
Rb	22.3	42	96	5.0	181	82	31	154	182
Sr	691	278	355	540	230	50	61	47	72
U	<1	<1	2.4	0.3	4.3	1.8	1.6	2.8	3.6
Th	1.7	2.8	7.0	5.6	24.0	8.9	9.3	11.8	16.7
Zr	42	200	214	76	165	198	287	72	139
Hf	3.6	6.5	7.1	2.1	2.7	5.5	8.2	1.8	4.1
Nb	3.5	7.3	7.3	4.5	14.0	13.0	11.4	10.7	12.2
Ba	510	362	1337	23	545	947	778	346	579

注: 主要元素由南京大学地球科学系中心实验室测试; 微量元素由南京大学现代分析中心 X 光荧光实验室测试; 稀土元素由南京大学成矿作用国家重点实验室采用 ICP-AES 方法测试, 样品 SC-01 的稀土总量很低 (11.44×10^{-6}), 测试误差较大, 故未列入。

3.3 稀土元素

除春牛场岩体($\Sigma\text{REE}=11.44\times 10^{-6}$)外,本区花岗岩类稀土总量也较低($86.4\times 10^{-6}\sim 225.9\times 10^{-6}$,平均为 149.0×10^{-6});稀土分馏不明显($\text{LREE}/\text{HREE}=1.3\sim 5.8$,平均为3.9),稀土配分模型呈弱右倾型(图 2);具有中等的铕负异常($\delta\text{Eu}=0.31\sim 0.83$,平均为0.50)。这些特征与华南同熔型花岗岩类的值(徐克勤等,1984;王德滋等,1993)十分相似。

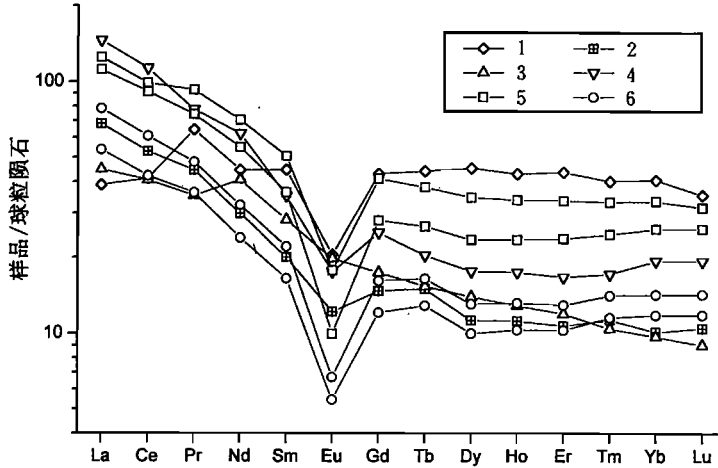


图 2 新元古代花岗岩类球粒陨石标准化稀土元素模式

Fig. 2 Chondrite-normalized REE patterns of Neoproterozoic granitoids

1—瓦斯沟;2—野坝;3—田湾;4—扁路岗;5—下索子;6—黄草山

1—Wasigou; 2—Yeba; 3—Tianwan; 4—Bianlugang; 5—Xiasuozhi; 6—Huangcaoshan

3.4 同位素特征

(1) 氧同位素 如表 2 所示,扬子板块西缘北段新元古代花岗岩类均具有低的全岩 $\delta^{18}\text{O}$ 值($<7.6\%$),其中相当一部分样品的 $\delta^{18}\text{O}$ 值($5.1\%\sim 5.8\%$)低于正常地幔值(5.9%)(Taylor, 1968)。 ^{18}O 的亏损最可能由贫 ^{18}O 的雨水热液蚀变引起(Hoefs, 1980)。这种蚀变作用或者发生在花岗岩类源区物质部分熔融之前,或者发生在花岗岩固化过程中。进一步的判断有待详细的单矿物氧同位素研究才能加以证实。

(2) 锶同位素 扬子板块西缘北段新元古代花岗岩类均具有低的 I_{Sr} 值(<0.7050 ,表 2),反映它们来源于具低 Rb/Sr 值的源区。本区大多数样品(如 SC-39、P16-1、SC-36、SC-55 和 SC-56)的 I_{Sr} 值明显偏低,即使考虑年龄误差在内,计算的 I_{Sr} 值仍低于这些花岗岩类形成时期正常的亏损地幔值(0.7020)。这些花岗岩异常的 I_{Sr} 值可能反映其 Rb、Sr 同位素体系在成岩后受到过扰动(Samson et al., 1995)。同位素年代学的研究表明,这些新元古代花岗岩类在形成以后,又至少经历了燕山早期、燕山中期和喜马拉雅早期 3 次构造热事件的影响(徐士进等,1996;郭建强等,1998),导致放射成因锶丢失。尤其是在 Rb/Sr 值较高的样品(如 SC-55 和 SC-56)中,丢失更为明显,使计算的 I_{Sr} 值低于 0.700。

(3) 钕同位素 如表 2 所示,扬子板块西缘北段新元古代花岗岩类的 ϵ_{Nd} 值变化较大,为 $-4.32\sim 4.54$ 。这种变化不仅表现在不同的花岗岩体之间,即使在同一个花岗岩体内部(如黄草山岩体)也都显示出一定程度的变化,反映它们的源区物质在成分上存在着明显的差异。在 $\epsilon_{\text{Nd}}-t$ 图上,除 SC-56 外,所有数据点都位于华南元古宙地壳与亏损地幔演化线之间(图 3),与华南同熔型花岗岩类范围相似,显示其物质来源具有壳-幔混合成因的特点。

花岗岩类的 Nd 模式年龄通常代表其源区物质的平均地壳存留年龄。由表 2 所列数据可知,扬子板块西缘北段新元古代花岗岩类的 t_{DM} 年龄为 1812~1138 Ma(主要集中于 1500 Ma 左右),明显大于它们的结晶年龄(876~786 Ma)。表明这些花岗岩类或来源于先期(1.8~1.1 Ga)幔源形成的地壳物质的部分熔融,或来源于由更古老的地壳和初生地壳组成的复合源区。从研究区域内格宗岩体(结晶年龄 864 Ma)中存在比其 Nd 模式年龄(1320 Ma)更古老的继承锆石(1585 Ma,徐士进等,1996)来看,后一种推测较为合理。

表 2 新元古代花岗岩类的 Nd、Sr、O 同位素组成

Table 2 Nd, Sr and O isotopic compositions of Neoproterozoic granitoids

岩体名称	春牛场	瓦斯沟	野坝	田湾	扁路岗	下索子		黄草山	
岩性	混合花岗岩	英云闪长岩	石英闪长岩	闪长岩	角闪花岗岩	花岗岩		花岗岩	
样号	SC-01	SC-42	SC-39	W-01	P16-1	SC-36	SC-38	SC-55	SC-56
年龄(Ma)	798(?)	786	823(?)	823	876	802	802	786	786
Rb($\times 10^{-6}$)	25.08	44.75	100.3	3.485	181.4	88.51	30.33	144.3	197.0
Sr($\times 10^{-6}$)	691.4	273.0	358.1	657.7	229.9	48.80	60.13	40.47	74.53
$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	0.1050	0.4745	0.8112	0.01534	2.290	5.097	1.484	10.42	7.703
$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(2\sigma)$	0.705396 ±23	0.708794 ±26	0.711463 ±20	0.703786 ±14	0.730145 ±12	0.758538 ±47	0.722000 ±46	0.810352 ±42	0.784733 ±22
I_{Sr}	0.70420	0.70346	0.70193	0.70361	0.70148	0.70016	0.70500	0.69340	0.49828
Sm($\times 10^{-6}$)	0.3258	12.02	4.868	7.112	6.367	8.630	13.48	3.998	5.280
Nd($\times 10^{-6}$)	1.509	38.19	24.03	30.10	33.75	41.87	60.67	19.35	26.06
$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	0.1306	0.1904	0.1225	0.1429	0.1141	0.1247	0.1344	0.1250	0.1226
$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}(2\sigma)$	0.512202 ±14	0.512600 ±9	0.512222 ±9	0.512580 ±18	0.512267 ±13	0.512306 ±10	0.512288 ±8	0.512171 ±9	0.512035 ±10
ϵ_{Nd}	-1.74	-0.10	-0.29	4.54	2.02	0.09	-0.43	-1.90	-4.32
t_{DM} (Ma)	1614	1470	1517	1138	1194	1401	1510	1616	1812
$\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$	7.6	7.5	7.0	5.8	5.5	5.7	6.5	7.6	5.1

注:黄草山、下索子、田湾与扁路岗岩体:锆石 U-Pb 年龄(郭建强等,1998;沈渭洲等,2000);春牛场岩体的年龄采用毗邻的岩石学和地球化学特征相似的东谷岩体的锆石 U-Pb 年龄(徐士进等,1996);瓦斯沟岩体为黑云母 K-Ar 年龄(四川省地质矿产局,1984);根据 1:20 万地质图,野坝岩体与田湾岩体属同一侵入期,由此假定其年龄和田湾岩体相同。为了减少 Sm-Nd 分馏对单阶段 Nd 模式年龄计算值产生的影响,本文采用两阶段模式(Liew et al.,1988;陈江峰等,1999)计算 Nd 模式年龄:

$$t_{\text{DM}} = \frac{1}{\lambda} \ln \left\{ 1 + \frac{(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_m - (^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_{\text{DM}} - [(^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})_m - (^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})_c]e^{\lambda t} - 1}{(^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})_c - (^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})_{\text{DM}}} \right\}$$

式中,m 代表样品的现今测定值;t 代表岩石结晶年龄; $\lambda = 6.54 \times 10^{-12} \text{a}^{-1}$; $(^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})_c = 0.118$; $(^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})_{\text{DM}} = 0.2136$; $(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_{\text{DM}} = 0.513151$ 。

3.5 物质来源与成因探讨

综合上述主要元素、微量元素、稀土元素和 Nd、Sr、O 同位素特征,扬子板块西缘北段新元古代花岗岩类不可能仅仅由地幔物质或古老地壳物质衍生,而是反映两者不同程度的混合。壳-幔混合的方式是多种多样的,它包括岩浆混合、地壳混染和源区复合(由初生地壳和古老地壳按不同比例复合组成)。从现有资料看,源区复合可能是形成这些新元古代花岗岩类的一种最主要的壳-幔混合方式。在扬子板块西缘北段地区,古元古代康定群和中元古代黄水河群的存在是众所周知的(李复汉等,1988)。新元古代初生地壳的存在也是普遍的,如锆石 U-Pb 年龄为 937 Ma(徐士进等,1998)的石棉大水沟斜长角闪岩;全岩 Sm-Nd 等时线年龄为 1180 Ma(侯立玮,私人通信,1994)的汶川马松岭细碧角斑岩;石棉和泸定等地的元古宙蛇绿岩(孙传敏,1994)和基性、超基性岩(四川省地质矿产局,1984)等。田湾与扁路岗岩体的 t_{DM} 年龄(1194

~1138 Ma) 与该区初生地壳的年龄较为相似, 它们又具有高的 ϵ_{Nd} 值 (4.54 ~ 2.02), 低的 I_{Sr} 值 (< 0.7036), 因此, 这两个岩体很可能主要由初生地壳衍生。其余岩体的 t_{DM} 年龄 (1812 ~ 1401 Ma) 都介于初生地壳和古老地壳年龄之间, 反映它们来源于由初生地壳和古老地壳按不同比例组成的复合源区。鉴于扬子板块西缘北段新元古代花岗岩类具有准铝质的化学成分, 较高的 ϵ_{Nd} 值 (> -4.32), 低的 I_{Sr} 值 (< 0.7050), 及低的 $\delta^{18}O$ 值 (< 7.6‰), 因此, 在花岗岩形成过程中卷入古老地壳可能也主要由低成熟度组分组成。

在 Rb-Y+Nb 图解 (Pearce et al., 1984) 中, 极大部分数据都落在火山弧花岗岩区域内 (图 4), 意味着这些花岗岩类的形成主要与俯冲作用有关。已有的研究 (罗志立, 1979; 李建林等, 1990; 孙传敏, 1994) 表明, 在新元古代早期 (晋宁运动时期), 扬子板块西缘存在板块构造活动的证据是非常明显的, 例如: 沿红河—程海—管河—金河—泸定深断裂带及其东侧, 断续分布有晋宁期蛇缘岩套、宽达 100 km 以上的巨型钙碱性岩浆岩带以及深海—半深海相复理石建造等。因此, 在西侧的滇青藏大洋板块向扬子古板块俯冲过程中, 很可能借助于地幔来源玄武质岩浆底侵而导致由初生地壳和古老地壳组成的复合源区发生部分熔融, 形成花岗质岩浆。由于源区初生地壳和古老地壳组分比例的差异, 即源区物质成分的不均一, 使所研究的花岗岩类的地球化学特征表现出一定程度的差异。

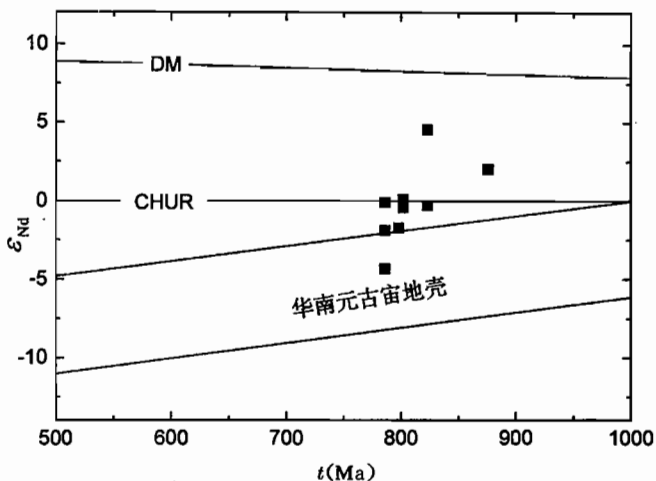


图 3 新元古代花岗岩类的 $\epsilon_{Nd}-t$ 图
(华南元古宙地壳演化区域据沈渭洲等, 1993)
Fig. 3 $\epsilon_{Nd}-t$ diagram of Neoproterozoic granitoids
(evolutional range of Proterozoic crust in South China
after Shan Weizhou et al., 1993)
DM—亏损地幔; CHUR—球粒陨石均一化源区
DM—Deficit mantle; CHUR—chondrite uniform reservoir

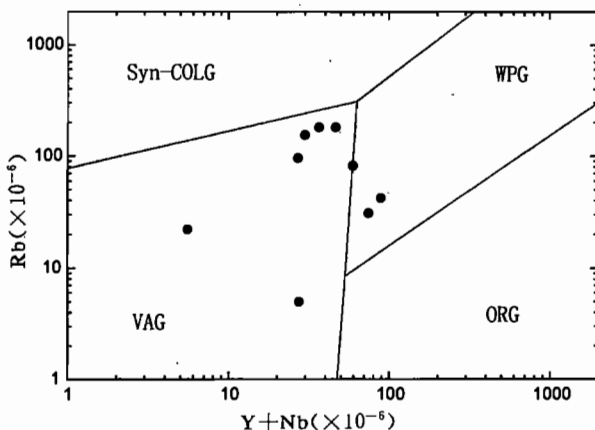


图 4 新元古代花岗岩类的 Rb-Y+Nb 图
Fig. 4 Rb vs Y+Nb diagram of Neoproterozoic granitoids
Syn-COLG—同碰撞花岗岩; WPG—板内花岗岩;
VAG—火山弧花岗岩; ORG—洋中脊花岗岩
Syn-COLG—Syn-collision granite; WPG—within plate granite;
VAG—volcanic arc granite; ORG—ocean ridge granite

参 考 文 献

- 陈江峰,江博明. 1999. Nd, Sr, Pb 同位素示踪和中国东南大陆地壳演化. 见:郑永飞主编. 化学地球动力学. 北京:科学出版社, 262~287.
- 郭建强,游再平,沈渭洲等. 1998. 川西石棉地区田湾与扁路岗岩体的锆石 U-Pb 定年. 矿物岩石, 18(1): 91~94.
- 李复汉,覃嘉明,申玉连等. 1988. 康滇地区的前震旦系. 重庆出版社.
- 李建林,董熔生,刘鸿允. 1990. 扬子地区晋宁期板块构造的探讨. 地质科学, (3): 215~223.
- 凌洪飞,徐士进,沈渭洲等. 1998. 格宗、东谷岩体 Nd, Sr, Pb, O 同位素特征及其与扬子边缘其它晋宁期花岗岩之对比. 岩石学报, 14(3): 269~277.
- 刘昌实,沈渭洲,王德滋. 1995. 华南火成黄英岩的特征和成因机理. 地质学报, 69(1): 221~231.
- 刘俨然,金明霞,邢雪芬等. 1988. 西昌—滇中地区花岗岩类及其含矿特征. 重庆出版社.
- 刘英俊,张景荣,孙承轶等. 1984. 华南花岗岩类中微量元素的地球化学特征. 见:徐克勤,涂光炽主编. 花岗岩地质和成矿关系. 南京:江苏科学技术出版社, 511~525.
- 罗志立. 1979. 扬子古板块的形成及其对中国南方地壳发展的影响. 地质科学, (2): 127~138.
- 沈渭洲,朱金初,刘昌实等. 1993. 华南基底变质岩的 Sm-Nd 同位素及其对花岗岩类物质来源的制约. 岩石学报, 9(2): 115~124.
- 沈渭洲,徐士进,王汝成等. 2000. 扬子板块西缘黄草山和下索子花岗岩体锆石 U-Pb 年代学研究. 高校地质学报, 6(3)(在印刷中).
- 四川省地质矿产局. 1984. 四川省区域地质志. 北京:地质出版社.
- 孙传敏. 1994. 川西元古代蛇绿岩与扬子板块西缘元古代造山带. 成都理工学院学报, 21(4): 11~16.
- 王德滋,刘昌实,沈渭洲等. 1993. 桐庐 I 型和相山 S 型两类碎斑熔岩对比. 岩石学报, 9(1): 44~54.
- 黄萱,吴利仁. 1990. 陕西地区岩浆岩 Nd, Sr 同位素特征及其与大地构造发展的联系. 岩石学报, 6(2): 1~11.
- 徐士进,王汝成,沈渭洲等. 1996. 松潘—甘孜造山带中晋宁期花岗岩的 U-Pb 和 Rb-Sr 同位素定年及其大地构造意义. 中国科学(D 辑), 26(1): 52~58.
- 徐士进,沈渭洲,王汝成等. 1998. 大水沟锆石含矿斜长角闪岩的锆石 U-Pb 定年. 科学通报, 43(8): 883~885.
- 徐克勤,孙翥,王德滋等. 1984. 华南花岗岩成因与成矿. 见:徐克勤,涂光炽主编. 花岗岩地质和成矿关系. 南京:江苏科学技术出版社, 1~20.
- Hoefs J. 1980. Stable isotope geochemistry. Springer Verlag, Berlin/Heidelberg/New York.
- Liew T C, Hofmann A W. 1988. Precambrian crustal compositions, plutonic assimilations, plate environment of the Hercynian fold belt of central Europe; Indications from a Nd and Sr isotopic study. Contrib. Mineral. Petrol., 98: 129~138.
- Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. J. Petrol., 25: 956~983.
- Samson S D, Coler D G, Speer J A. 1995. Geochemical and Nd-Sr-Pb isotopic compositions of Alleghanian granites of the southern Appalachians; origin, tectonic setting, and source characterization. Earth Planet. Sci. Lett., 134: 359~376.
- Taylor H P. 1968. The oxygen isotope geochemistry of igneous rocks. Contrib. Mineral. Petrol., 19: 1~71.

Geochemical Characteristics and Genesis of Some Neoproterozoic Granitoids in the Northern Part of the Western Margin of the Yangtze Block

Shen Weizhou¹⁾ Ling Hongfei¹⁾ Xu Shijin¹⁾ Zhou Xinmin¹⁾ Zhao Zifu²⁾ Guo Jianqiang³⁾

1) Department of Earth Sciences and State Key Laboratory of Mineral Deposit Research, Nanjing University, Nanjing, 210093

2) Department of Earth and Space Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei, 230026

3) Regional Geological Survey Party, Sichuan Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Sichuan Province, Chengdu, 610213

Abstract

Neoproterozoic granitoids are widespread in the northern part of the western margin of the

Yangtze block. They have low concentrations of Rb, U, Th, Nb, Hf and REE, low values of A/NKC (<1.03), $\delta^{18}\text{O}$ ($<7.6\%$) and initial $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio (<0.7069), high Sr, Ba and Zr concentrations and ϵ_{Nd} values (> -5.0). The fractionation between LREE and HREE is not significant. These characteristics are similar to those of syntexis-type granitoids in South China. Their Nd model ages (1.81~1.14 Ga) are between the ages of the old crust (>2.0 Ga) and juvenile crust (≈ 1.0 Ga). These features suggest that the sources of the granitoids should be mixtures derived from the mantle and crust. The formation of the magmas may be associated with the subduction of the early Neoproterozoic Yunnan—Qinghai—Tibet oceanic plate under the Yangtze block.

Key words: isotope; granitoids; Neoproterozoic; northern part of the western margin of the Yangtze block

作者简介

沈渭洲,男,1939年生。1965年南京大学地质系研究生毕业。现为南京大学地球科学系教授,博士生导师,主要从事同位素地球化学的教学与科研工作。通讯地址:210093,南京大学地球科学系。
