

华北克拉通南缘豫西燕山期花岗岩类的 Pb、Sr、Nd 同位素地球化学特征*

陈岳龙

张本仁

(地球化学室, 北京 100083) (地球化学系, 武汉 430074)

摘要 对华北克拉通南缘豫西燕山期具类似于板块俯冲带花岗岩成分变化规律(成分极性)的八宝山、柳关、后瑶峪花岗斑岩类的 Pb、Sr、Nd 同位素地球化学特征的研究, 揭示了这些斑岩的主要物质来源是新太古代的太华群斜长角闪岩部分熔融产生的熔浆与地幔来源物质混合形成的产物。稀土元素含量非常低的八宝山花岗斑岩在岩石形成过程中有流体与其发生交代作用, 由于交代及混合作用造成花岗斑岩类的 Rb-Sr 等时线多为假等时线; 柳关花岗斑岩基本上完全由太华群的斜长角闪岩提供物质。豫西地区燕山期的花岗岩岩基其物质来源更为复杂, 可能有宽坪群为其提供物质。

关键词 花岗斑岩, 同位素示踪, 成分极性, 花岗质岩浆源区。

中图法分类号 P597, P588.121

第一作者简介 陈岳龙, 男, 1962年生, 1990年毕业于中国科学院贵阳地球化学研究所获博士学位, 现为中国地质大学(北京)博士后研究人员, 主要从事花岗岩类地球化学研究。

0 引言

华北克拉通南缘是著名的钼成矿带, 钼—多金属矿床均与燕山期小斑岩体有关。这些斑岩以黑沟—铁炉子断裂为界, 在相同岩相条件下存在由南至北, K_2O 、LREE、 K_2O/Na_2O 规律性增长, 而 Mg、Ca、全铁含量规律性减小^[1] 的类似板块俯冲岛弧带花岗岩类成分的空间变化规律。由于华北和扬子两古陆板块碰撞的主期为海西—印支期, 很明显这些斑岩的成分特征不可能由大洋板块向大陆板块的俯冲作用机制产生, 因此, 通过 Nd、Sr、Pb 等同位素及微量元素地球化学, 揭示其物质来源及形成机理, 对区域构造演化发展历史及花岗岩类成岩成矿规律认识具极其重要的意义。

1 地质概况

华北克拉通南缘紧邻秦岭造山带, 基底主要由北部的新太古代花岗岩—绿岩地体和南部太华群为代表的高级区组成, Kroner^[2] 等对鲁山太华群英云闪长质片麻岩中的 3 颗锆石获得

1994年2月21日收稿。

* 本文由国家自然科学基金和地质行业科学发展基金(No.48970171)以及国家自然科学基金(No.91922001)联合资助。

的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄为 2 841Ma 和 2 806Ma. 元古宙初期是一套绿片岩相的变质火山沉积岩系, 以安沟群为代表, 与下部登封群成角度不整合. 随后的嵩山群不整合于安沟群或太华群之上; 中新元古代的熊耳群、汝阳群、洛峪群属于华北地区的沉积盖层, 它们是深入陆内的边缘裂陷槽构造环境中的产物, 其中熊耳群以钙碱性—碱性双峰玄武安山岩和英安—流纹岩组合为特征^[3]; 晚三叠世以砾岩、含砾粗砂岩、粗砂岩、粉砂岩和千枚岩组岩的陆相沉积为特征.

该区最早的花岗岩类除了太华群为代表的高级区中的新太古代 TTG 岩套外, 是中新元古代花岗岩类, 以张家坪、桂家峪和龙王幢岩体为代表, 前两岩体侵入太华群中, 后者侵入太华群和宽坪群中^[4], 形成年龄为 1 035 ~ 1 552Ma. 早古生代的花岗岩在该区分布局限, 以侵入太华群的华山岩体和老牛岩体为代表, Rb—Sr 等时线年龄为 428Ma. 中生代花岗岩类在华北克拉通南缘广泛分布, 以岩基和斑岩类岩株形式产出. 小斑岩体分布于黑沟—栾川断裂以北, 区域构成北西向的构造岩浆带, 在每一具体地区小斑岩体沿北北东向的断裂分布, 代表性的一个带是卢氏县西从南向北的八宝山、柳关、后瑶峪花岗斑岩类 (如图 1 所示). 结晶年龄以金堆城、南泥湖、上房沟、银家沟岩体为代表, 为 132 ~ 152Ma^[5]. 这些小斑岩体均由早期石英闪长斑岩、中期二长花岗斑岩及晚期钾长花岗斑岩组成^[1], 以钼为主的多金属矿床与这类中、酸性斑岩体有着密切的关系. 花岗岩岩基分布于华北克拉通南缘和北秦岭的豫西地区, 如侵入太华群、熊耳群、宽坪群和二郎坪群中的牧护关、花山、伏牛山、老君山、二郎坪等岩体.

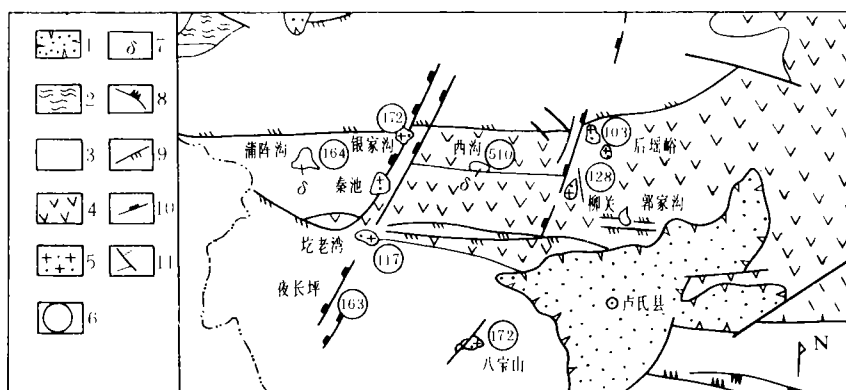


图 1 豫西卢氏地区中酸性岩浆岩分布图 (据文献[1])

Fig.1 The Distribution of intermediate-acid magmatic rocks in the Lushi region of Western Henan Province

1. 第三—第四纪盆地沉积; 2. 古生代海相沉积地层; 3. 元古宙海相沉积地层; 4. 太古宙变质岩系; 5. 燕山期花岗斑岩类岩体; 6. 同位素年龄 (Ma); 7. 闪长岩类岩体; 8. 东西向构造带主断裂; 9. 东西向张性—压扭断裂; 10. 新华夏系主断裂; 11. 次要断裂

豫西卢氏—灵宝地区从南向北东带的八宝山、柳关、后瑶峪的同类型斑岩显示出 K_2O 含量及 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 、 ΣREE 、 LREE 、 HREE 及 LREE/HREE 的变化类似于岛弧带岩浆的成分极性^[4].

2 Pb 同位素地球化学

华北克拉通南缘豫西地区燕山期花岗斑岩类及二郎坪花岗岩中有关矿物的 Pb 同位素组成如表 1 所示. 从表 1 所列结果可知: 除秦池次火山岩相花岗闪长斑岩 ϕ 值为 0.5871

表 1 华北克拉通南缘豫西花岗斑岩类钾长石及方铅矿矿石的 Pb 同位素组成

Table 1 Pb isotope ratios of K-feldspar of granite-porphyrries and galena of ores on the southern margin of North China Craton and North Qinling Belt in Western Henan Province

岩体	岩性	测定对象	样号	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	φ
后瑶峪	斜长花岗斑岩	方铅矿	LW04	17.783 1	15.574 9	38.223 8	0.623 7
柳关	二长花岗斑岩	钾长石	LL02	17.212 6	15.246 1	37.258 9	0.626 4
八宝山	二长花岗斑岩	钾长石	LB01	17.093 4	15.263 9	37.639 6	0.638 3
八宝山	石英闪长斑岩	钾长石	LB03	17.675 3	15.374 2	38.130 8	0.607 1
八宝山	花岗斑岩	钾长石	BK-Pb-1	17.238	15.406	37.836	0.644 6
八宝山	花岗斑岩	钾长石	BK-Pb-2	17.753	15.583	38.022	0.626 2
秦池	花岗闪长斑岩	钾长石	LQ01	17.010 0	14.816 1	35.857 4	0.587 1
银家沟	铅锌矿脉	方铅矿	316-465-Ga*	16.79	15.03	37.52	0.618 0
银家沟	铅锌矿脉	方铅矿	616-650-Ga*	17.44	15.50	39.90	0.640 1
银家沟	硫化物矿石	方铅矿	2901-Ga*	17.49	15.45	39.89	0.630 1
银家沟	花岗斑岩	钾长石	1802-909-K*	17.55	15.37	37.87	0.615 8
银家沟	花岗斑岩	钾长石	6405-150-K*	17.47	15.46	37.81	0.632 9
南泥湖	辉钼矿-方铅矿矿石	方铅矿	DF-2*	17.45	15.54	39.01	0.644 2
南泥湖	黑云母花岗闪长岩	钾长石	J-5*	17.806	15.569	38.508	0.620 7
南泥湖	斑状花岗岩	钾长石	J-4*	17.894	15.482	38.093	0.604 2
二郎坪	黑云母二长花岗岩	钾长石	XE9105	17.581 9	15.345 7	37.506 0	0.610 5

* 数据引自文献[1]; 其它数据由中国科学院地质研究所测定。

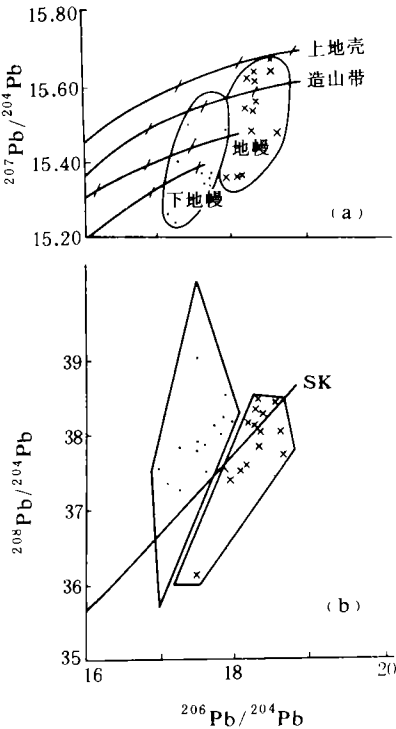


图 2 北秦岭和华北地台南缘花岗岩类 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}-^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (a) 和 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}-^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (b) 图解

Fig. 2 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}-^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (a) and $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}-^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (b) covariant plots for K-feldspars of granitoids in the North Qinling Belt and on the southern margin of North China Craton SK: Stacey 和 Kramers 两阶段地球演化线. 1. 华北克拉通南缘燕山期花岗斑岩、花岗岩及有关矿石; 2. 北秦岭花岗岩类

外, 其它样品的 φ 值均大于 0.6, 给出的单阶段模式年龄为 191 ~ 611Ma, 均大于岩石或矿石的形成年龄。

为了便于对比, 将北秦岭丹凤地区花岗岩类的 Pb 同位素数据与本区的一并投于 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}-^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (图 2a) 和 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}-^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (图 2b) 协变图上, 明显揭示了华北克拉通南缘豫西花岗斑岩及花岗岩与北秦岭丹凤地区的花岗岩在 Pb 同位素组成上的差异; 北秦岭丹凤地区的花岗岩类以富集 ^{206}Pb 为特征。

由于 ^{206}Pb 由 ^{238}U 衰变产生, 而现今 $^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$ 比值为 137.8^[6], 从而说明华北克拉通南缘燕山期花岗斑岩的源岩相对于北秦岭丹凤地区花岗岩的源岩贫 U, 根据 U、

Th 的地球化学特征,即沉积岩的 Th/U 比值一般低于火成岩的,而火成岩的 Th/U 比值从基性到酸性趋向降低,可以推断华北克拉通南缘燕山期花岗斑岩的源岩所含的沉积物较少,是非成熟性的.从图 2 样点分布可知两区的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 与 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 及 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 呈线性关系,在图 2a 上主要分布于造山带与下地壳铅演化线之间,从而说明华北克拉通南缘的燕山期花岗斑岩不是单一的物质来源.

3 Sr、Nd 同位素地球化学

华北克拉通南缘豫西卢氏花岗岩类及燕山期二郎坪花岗岩的 Rb、Sr、Nd 同位素组成如表 2 所示. $\epsilon_{\text{Sr}}(t)$ 、 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 所采用的年龄为 140Ma.

表 2 华北克拉通南缘豫西花岗岩类 Rb、Sr、Nd 同位素组成

Table 2 The contents and isotopic constitutions of Rb, Sr, Sm and Nd of granitoids on the southern margin of North China Craton in Western Henan Province

样号	LW01	LL02	LB01	LB03	LQ01	XF9105
岩体	后瑶峪	柳关	八宝山	八宝山	秦池	二郎坪
岩性	斜长花岗斑岩	二长花岗斑岩	二长花岗斑岩	石英闪长斑岩	花岗闪长斑岩	黑云母二长花岗岩
Rb($\times 10^{-6}$)	141	237	206	203	132	179
Sr($\times 10^{-6}$)	471	363	174	245	431	158
$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	0.8669	1.8906	3.4282	2.3993	0.8868	3.2806
$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr} \pm 2\sigma$	0.71068 ± 0.00003	0.71357 ± 0.00011	0.72078 ± 0.00034	0.71585 ± 0.00003	0.70964 ± 0.00021	0.71291 ± 0.00013
$\epsilon_{\text{Sr}}(t)$	65.6	77.7	137	95.7	48.8	29.1
Sm($\times 10^{-6}$)	5.954	4.856	2.880	5.920	4.977	3.983
Nd($\times 10^{-6}$)	39.458	30.248	17.315	37.597	27.530	20.216
$^{147}\text{Sm}/^{143}\text{Nd}$	0.09127	0.09711	0.1006	0.09525	0.1094	0.1192
$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} \pm 2\sigma$	0.511567 ± 0.000018	0.511250 ± 0.000011	0.511655 ± 0.000005	0.511661 ± 0.000005	0.512199 ± 0.000005	0.512248 ± 0.000007
$\epsilon_{\text{Nd}}(t)$	-19.0	-25.3	-17.5	-17.3	-7.01	-6.23
$t_{\text{DM}}(\text{Ma})$	1964	2472	2008	1910	1388	1453

注: Rb、Sr 分析由地质矿产部岩矿测试技术研究所张宗清、宋尔良用 X 荧光检查部分样品; Sr 同位素样品由作者制备. 中国地质科学院地质研究所陈启桐等完成质谱测定; Sm、Nd 同位素化学分离由作者完成, 质谱分析由中国地质科学院研究所张宗清完成.

从表 2 所列结果可知: 这类具有成分极性的花岗斑岩类, $\epsilon_{\text{Sr}}(t)$ 的变化与北秦岭早古生代花岗岩相反, 即 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 的降低伴随着 $\epsilon_{\text{Sr}}(t)$ 的降低. 这可能是斑岩体在形成过程中或形成后, 成矿流体的作用使 Rb、Sr 同位素体系容易受到改造所致, 据张本仁等^[1]研究表明, 这些斑岩多遭受钾化, 即钾长石交代斜长石, 使 Sr 带出、Rb 带入, Rb/Sr 比值增大, 而 Sm、Nd 同位素在此过程中, 由于具有非常强的稳定性, 基本未受到改造. 这样, 由于 Rb、Sr 体系的改造很难用 Rb-Sr 等时线获得岩石的结晶年龄^[5]. 也许这种反常的正相关关系是鉴别 Rb-Sr 假等时线的重要标志之一, 事实上 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) - 1/Sr 之间的正相关关系并不能证明 Rb-Sr 等时线是假等时线, 真实的等时线也可有此相关关系. 检查已有的花岗岩体系的 Rb-Sr 等时线, 大多数 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) 与 1/Sr 之间存在着正相关关系, 岩石的 $\epsilon_{\text{Sr}}(t)$ 与 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 之间如果不具负相关关系, 说明岩石形成时

或形成后受到混染或后期交代作用影响,如与海水的相互作用,由于海水的稀土元素含量极低,据 Faure^[7] 仅为 $(0.347 \sim 0.800) \times 10^{-12}$,而海水的 Sr 含量可达 13×10^{-6} ,因此与海水作用后的岩石是 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 基本不变,而 $\epsilon_{\text{Sr}}(t)$ 变化范围大,地壳岩石的 Sr 含量基本稳定,但稀土元素含量变化大,与地壳物质混合的上地幔来源物质将使 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 基本不变,而 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 具有大的变化范围,在 $\epsilon_{\text{Nd}}(t) - \epsilon_{\text{Sr}}(t)$ 协变图上表现出垂向变化规律。

豫西卢氏地区花岗斑岩类的 $\epsilon_{\text{Nd}}(t) - \epsilon_{\text{Sr}}(t)$ 协变关系如图 3 所示。从该图可知八宝山岩体主要受流体作用的影响,柳关岩体基本由地壳物质形成,从而说明这些斑岩类的 Rb、Sr 同位素体系形成的等时线是假等时线,得出的等时线年龄 274Ma(LW01、LB01、LB03) 无任何地质意义。秦池花岗斑岩与燕山期二郎坪大花岗岩基物质来源上与上述花岗岩具明显的差别,以具最高的 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 和最低的 $\epsilon_{\text{Sr}}(t)$ 为特征。除了秦池、二郎坪岩体的 $t_{\text{DM}} < 1500\text{Ma}$ 外,其它花岗斑岩类的模式年龄 t_{DM} 为 1910 ~ 2472Ma,柳关花岗斑岩具最大的模式年龄。这些模式年龄均大于北秦岭早古生代花岗岩的年龄,说明其源岩明显较北秦岭花岗岩的源岩老。

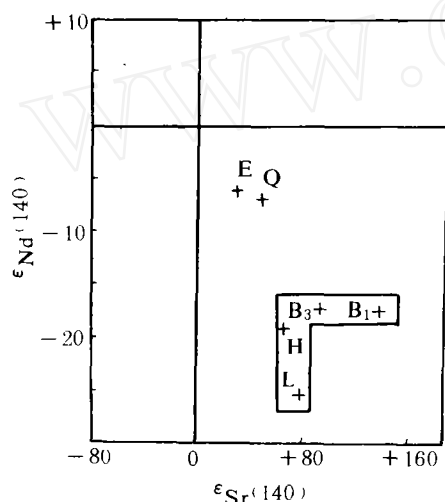


图3 豫西燕山期花岗斑岩类 $\epsilon_{\text{Nd}}(140) - \epsilon_{\text{Sr}}(140)$ 图解
Fig.3 $\epsilon_{\text{Nd}}(140) - \epsilon_{\text{Sr}}(140)$ covariant plot for the Yan-shanian granite-porphyries in Western Henan Province
B. 八宝山花岗斑岩,石英闪长斑岩;H. 后瑶峪斜长花岗岩;E. 二郎坪二长花岗岩;L. 柳关二长花岗岩;
Q. 秦池花岗闪长斑岩

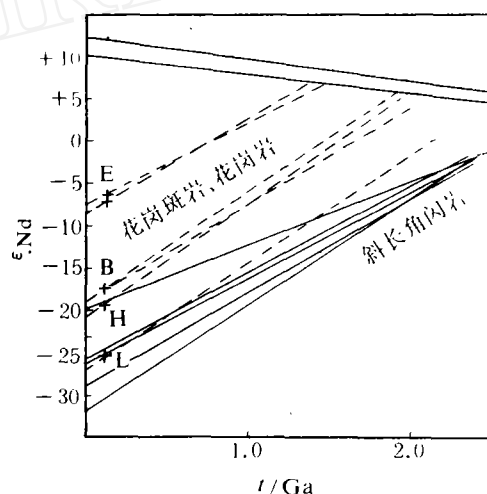


图4 豫西卢氏花岗斑岩及太华群斜长角闪岩的 $\epsilon_{\text{Nd}} - t$ 关系图
Fig.4 The diagram of $\epsilon_{\text{Nd}} - t$ for granite-porphyries in Lushi and amphibolites of the Taihua Group in Western Henan Province
图例同图3

4 讨论

由模式年龄可知:华北克拉通南缘花岗斑岩类的源岩明显老于秦岭群,而华北克拉通南缘豫西地区较秦岭群老的岩石,是分布最广泛的新太古代太华群的有关岩石。太华群斜长角闪岩^①及豫西卢氏花岗斑岩、二郎坪花岗岩的 ϵ_{Nd} 随年龄的变化关系如图 4 所示。从该图可知,柳关

① 张宗清,北秦岭变质地层秦岭、宽坪、陶湾群年代学研究报告,1992。

二长花岗斑岩 $\varepsilon_{\text{Nd}}(140)$ 位于太华群斜长角闪岩的演化线上,说明主要由太华群岩石演化而来;八宝山二长花岗斑岩、石英闪长斑岩的 $\varepsilon_{\text{Nd}}(140)$ 位于太华群斜长角闪岩演化线以上,后瑶峪斜长花岗斑岩 $\varepsilon_{\text{Nd}}(140)$ 位于太华群斜长角闪岩演化线之上部边界,三者的斜率基本平行,且大于斜长角闪岩 ε_{Nd} 随 t 演化的直线斜率,这说明即使柳关二长花岗斑岩仅由太华群斜长角闪岩提供物质,其 Sm、Nd 也经历了分馏,使 Nd 相对 Sm 更为富集,这样的分馏过程只能是岩浆作用。由于 Sm、Nd 分馏,使花岗岩的模式年龄并不等于其源岩——斜长角闪岩的模式年龄,且较后者年轻;同时,由于花岗斑岩形成时,地幔物质的混入,使其 $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$ 增高,也会使模式年龄减小。从同位素特征考察,柳关二长花岗岩由太华群斜长角闪岩提供物质,斜长角闪岩的 Nd 含量为 $(15.498 \sim 29.047) \times 10^{-6}$,而柳关二长花岗斑岩的 Nd 含量达 30.248×10^{-6} ,只有通过部分熔融才能使 Nd 含量增高。应用基性成分体系的 Nd 的矿物/熔体分配系数^[8]及角闪岩相—麻粒岩相的残留矿物组合,用平衡部分熔融模式^[9]计算得到:当太华群斜长角闪岩平均 Nd 含量为 21.7×10^{-6} ,熔体 SiO_2 含量为 55.18%,未达到花岗岩的成分范围;当 Nd 含量取最低值 15.498×10^{-6} 时, $F=0.3502 \sim 0.3561$,熔体的 SiO_2 含量可超过 60%,从而说明柳关二长花岗斑岩可以由太华群斜长角闪岩部分熔融产生的熔浆形成。

八宝山花岗闪长斑岩、二长花岗斑岩具最高的 ε_{Nd} 值,表明在花岗岩类形成时,有地幔物质加入。计算得到 140Ma 前,亏损地幔的 $\varepsilon_{\text{Nd}}=9.69$,根据 Carlson 等^[10]的结果,上地幔物质(玄武岩质)的 Nd 含量为 18×10^{-6} ,其 SiO_2 含量为 52%;太华群斜长角闪岩的 $\varepsilon_{\text{Nd}}=-22.7$,Nd 含量为 15.498×10^{-6} ,将主要元素与微量元素相结合,可导出如下方程

$$\begin{aligned} \text{Nd}_1 \cdot \varepsilon_{\text{Nd}_1} \cdot f + [\text{Nd}_2 / ((1 - D_{\text{Nd}}^S) \cdot F + D_{\text{Nd}}^S)] \cdot \varepsilon_{\text{Nd}_2} (1 - f) \\ = \varepsilon_{\text{Nd}_m} \cdot [\text{Nd}_1 \cdot f + (1 - f) \cdot \text{Nd}_2 / ((1 - D_{\text{Nd}}^S) \cdot F + D_{\text{Nd}}^S)] \end{aligned} \quad (1)$$

$$K_m = f \cdot K_1 + (1 - f) \cdot [K_2^0 - (1 - F) \cdot K_2^R / F] \quad (2)$$

上两式中 Nd_1 、 Nd_2 分别为地幔物质与太华群斜长角闪岩的 Nd 含量, f 为地幔物质对花岗斑岩类的贡献分数, F 为斜长角闪岩的部分熔融程度, D_{Nd}^S 为平衡残留体—熔体间的 Nd 总分配系数; K_m 为花岗斑岩的氧化物(SiO_2)含量, K_1 、 K_2^0 分别为地幔物质和太华群斜长角闪岩的该氧化物含量, K_2^R 为残留相氧化物含量; $\varepsilon_{\text{Nd}_m}$ 为花岗斑岩类的 ε_{Nd} 值。对八宝山花岗闪长斑岩, $\varepsilon_{\text{Nd}_m}=-17.3$, $K_m=56.47\%$,代入(1)、(2)得 $F=0.4013$;对于二长花岗斑岩, $\varepsilon_{\text{Nd}_m}=-17.5$, $K_m=65.76\%$ 代入(1)、(2)得到 $F=0.1965$, $f=0.3651$;对于后瑶峪斜长花岗斑岩, $\varepsilon_{\text{Nd}_m}=-19$, $K_m=66.87\%$,代入(1)、(2)得到 $F=0.2052$, $f=0.2715$ 。由此可知,从八宝山二长花岗斑岩到后瑶峪斜长花岗斑岩,主要提供物质的太华群斜长闪岩的部分熔融程度基本未变,地幔来源的玄武质物质的贡献比例从 36.51% 降低到 27.15%,从而说明华北克拉通南缘花岗斑岩类的成分极性性主要是由地幔物质参与的程度不同造成的;花岗闪长岩是太华群斜长角闪岩较大比例熔融(41.38%)和较多的地幔来源物质参与下形成的。另外,据表 2,八宝山二长花岗岩的 Sm、Nd 含量低于太华群斜长角闪岩和玄武岩质的地幔物质,由于这种花岗斑岩又具有较高的 ε_{Nd} 值,因此不能把其归结为由比斜长角闪岩更酸性的源岩提供物质,因为偏酸性源岩的 ε_{Nd} 值不可能高于同时代的斜长角闪岩,如果与斜长角闪岩具同等的熔融程度,其熔体的 Nd 小于 10×10^{-6} ,从微量元素混合比例上要求地幔来源玄武质熔体的贡献分数大于 90%,而 90% 的玄武岩成分,即使熔体为纯硅质,混合物的 SiO_2 含量仅达 57.55%。从而进一步证明八宝山二长花岗岩在形成过程中或形成后受到了流体的交代。

秦池花岗闪长斑岩与二郎坪黑云母二长花岗岩虽然相距甚远,且属于不同的构造单元,但 $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$ 及模式年龄非常一致,明显不同于卢氏西部的燕山期花岗斑岩,如果它们也是由太华群斜长角闪岩熔融产生的熔浆与地幔来源玄武质熔浆混合形成,对秦池花岗闪长斑岩依前述方法计算得到 $F=6.38\%$, $f=78.13\%$. 这样低的 F 值,将导致熔体几乎为纯硅质相,与实际成分不符;由于熊耳群的 $\varepsilon_{\text{Nd}}(0)$ 为 $-26 \sim -28.4^{[1]}$ 比太华群的 $\varepsilon_{\text{Nd}}(0)$ 还小,但 $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ 与太华群相似,从而证明熊耳群也不是两类花岗岩的源岩。

根据张宗清^[4]对宽坪群有关岩石元素和同位素的研究表明,其中斜长角闪岩存在两种稀土元素分布模式,一是轻、重稀土强烈分馏, Nd 含量 $(34.921 \sim 40.521) \times 10^{-6}$;二是轻、重稀土分馏不明显, Nd 含量极低,平均为 $(7.61 \pm 1.919) \times 10^{-6}$, 平均 $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ 为 0.1942, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 为 0.512893, 140Ma 前,它们的 $\varepsilon_{\text{Nd}}(140)$ 分别为 -5.35 , $+5.02$, 此时该群中的黑云斜长片麻岩的 $\varepsilon_{\text{Nd}}(140) = -15.8$. 从而表明二郎坪黑云母二长花岗岩可以由宽坪群有关岩石作为源岩;秦池花岗闪长斑岩尽管也可以由宽坪群为源岩加以解释,但由于产生不同构造单元,其源岩有待进一步深入研究。

综上所述,我们认为晚古生代扬子板块北缘与华北板块南缘发生碰撞之后,进入中生代,由于陆内碰撞及断裂活动诱发上地幔岩浆的上升,同时基底太华群岩石发生部分熔融,产生的熔浆与地幔来源物质混合,由于混合比例的不同,形成具成分极性的燕山期花岗斑岩类,宽坪群在陆内碰撞过程中深部发生熔融,形成以二郎坪岩体为代表的大花岗岩基。

徐守礼同志协助完成野外工作,中国地质科学院地质研究所张宗清同志为同位素分析提供了极大的方便,特此谢忱。

参 考 文 献

- 1 张本仁,李泽九,骆庭川等. 豫西卢氏—灵宝地区区域地球化学研究. 中华人民共和国地质矿产部地质专报(三),矿物,岩石,地球化学第5号. 北京:地质出版社,1987.92~158
- 2 Kroner A. Age and tectonic setting of Late Archean greenstone-gneiss terrian in Henan Province, China as revealed by single-grain zircon dating. *Geology*, 1988, 16: 211~215
- 3 张国伟主编. 秦岭造山带的形成及其演化. 西安:西北大学出版社,1988.1~27
- 4 骆庭川,张宏飞,刘建雄. 华北克拉通南缘与北秦岭花岗岩地球化学特征及构造环境,见:张本仁主编. 秦巴区域地球化学文集. 武汉:中国地质大学出版社,1990.67~90
- 5 尚瑞均,严阵. 秦巴花岗岩. 武汉:中国地质大学出版社,1988.69~105
- 6 Faure G. Principles of isotope geology. New York: Wiley, 1977. 59~248
- 7 Faure G. Principles of isotope geology. Sec ed: New York: Wiley, 1980. 217~248
- 8 涂光炽编著. 地球化学. 上海:上海科学技术出版社,1984. 190~258
- 9 陈岳龙. 兼顾主要元素和微量元素的模拟计算方法及应用. 现代地质——中国地质大学研究生院学报, 1993, 7(2): 161~168
- 10 Carlson R W. Columbia River volcanism: the question of mantle heterogeneity or crustal contamination. *Geochim Cosmochim Acta*, 1981, 45: 2483~1499
- 11 黄莹,吴利仁. 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, 1990.(2): 1~11

Pb, Sr and Nd Isotope Geochemistry of Yanshanian and Granitoids on Southern Margin of North China Craton in Western Henan Province

Chen Yuelong

(China University of Geosciences, Beijing 100083)

Zhang Benren

(China University of Geosciences, Wuhan 430074)

Abstract

The Yanshanian granite-porphyrries in the Lushi district exhibit a regular compositional variation from the Babaoshan stock in the south, the Liuguan stock in the intermediate area to the Houyaoyu stock in the north. The composition variation is very similar to the composition polarity shown by arc-type granites, as well as the Early Paleozoic granites of arc-type in the North Qinling Belt. Their Pb, Sr and Nd isotopic characteristics reveal that the major source material of the granite-porphyrries was a mixture of a melt produced by partial melting of the amphibolite of the Archean Taihua Group with a small proportion of basaltic magma originated from the upper mantle. The Babaoshan granite-porphyry with very low REE contents infers that the rock suffered hydrothermal metasomatism which resulted in pseudoisochron of Rb-Sr isotopic system of the porphyry. The Liuguan granite-porphyry originated from almost single source rock—the amphibolite of Taihua Group. The Yanshanian granite from the Erlangping batholith in the North Qinling Belt should have a more complicated source rock in the light of its Pb, Sr and Nd isotopic features. The rocks of the Kuanping Group might provide material for the granitic magma.

Key words granite-porphyry, isotopic tracing, compositional polarity, source of granitic magma.