科学通报
第40卷 第21期 CHINESE SCIENCE BULLETIN 1995年11月

北秦岭古洋壳物质再循环：岛弧花岗质岩石源区同位素示踪证据*

张宏飞 张本仁 凌文黎 骆庭川 许继峰

(中国地质大学地球化学系，武汉 430074)

关键词 北秦岭 岛弧花岗岩 同位素示踪 古洋壳 再循环

对现代或近代板块俯冲消减带上岛弧岩浆的研究表明，洋壳物质参与了岛弧岩浆的形成，洋壳物质再循环是相当明显的[1]. 按照对现代岛弧岩浆的成果推断，在古岛弧岩浆形成过程中也应有着古洋壳物质的参与. 然而人们很少见有在古岛弧岩浆源区研究中有关古洋壳物质再循环的报道. 本文通过北秦岭古岛弧花岗质岩石源区的同位素示踪研究，论证了北秦岭古岛弧岩浆的形成与古洋壳物质的再循环有关.

1 地质简述

秦岭地区自晚元古代到早古生代存在类似现代构造体制的板块构造运动已基本得到共识，其中商南-丹凤断裂带为秦岭地区该时期的板块俯冲碰撞的主缝合带. 该断裂带北侧的北秦岭地区为发生板块俯冲消减的活动大陆边缘，自晚元古代以来发育一系列的花岗质岩浆活动，笔者等通过详细的地质和地球化学的研究，已鉴定出侵入于秦岭群中并形成于晚元古代的黄柏峪岩体((670±40) Ma, Rb-Sr)和蔡凹岩体((659±50) Ma, Rb-Sr)与早古生代的灰池子岩体(382 Ma, Rb-Sr)[2]和枣园岩体((444±11) Ma, Rb-Sr)等属于岛弧型花岗岩类，它们与古洋壳板块向北秦岭的俯冲消减运动存在联系[3, 4]，有关这些岛弧花岗岩的地质和地球化学特征详见有关著作[2, 3].

2 样品的测试方法及其结果

本文中岛弧花岗岩的Nd, Sr同位素样品在中国科学技术大学超净实验室制备，质谱分析在中国地质大学(武汉)MAT-261上完成，Nd和Sr同位素质谱分馏校正分别采用 $^{146}Nd/^{144}Nd=0.721\,9$ 和 $^{86}Sr/^{88}Sr=0.119\,4$，BCR-1和La Jolla国际标样的 $^{143}Nd/^{144}Nd$ 测定值分别为(0.512 644±12)(2σ)和(0.511 860±12)(2σ)，NBS987标样的 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 测定值为(0.7102 2±2)(2σ)，Pb同位素由中国科学院地质研究所测定，3个比值的测定精度好于 ±0.1%. 有关Nd, Sr和Pb同位素测试结果分别列于表1和2.

1995-03-28收稿，1995-06-21收修改稿
* 国家自然科学基金资助项目

表 1 北秦岭岛弧花岗岩类及相关岩类的 Nd、Sr 同位素特征参数[a)]

岩 体	时代/Ma	岩石类型	样品数	$\varepsilon_{Nd}(t)$	T_{DM}	$\varepsilon_{Sr}(t)$
蔡 凹	659±50	花岗闪长岩	2	+2.97(0.19)	1.07(0.08)	+6.97(5.10)
黄柏峪	670±40	花岗闪长岩	2	+2.10(0.30)	1.10(0.04)	+29.71(6.02)
灰池子	382[2]	黑云母花岗岩	3	−0.84(0.54)	1.05(0.05)	+26.18(5.73)
枣 园	444±11	黑云母花岗岩	5	−3.86(0.82)	1.47(0.16)	+45.48(15.62)
松树沟	983±140[5]	变玄武岩[5]	3	+6.83(0.86)	1.1(0.04)	
蛇绿岩	1030[b)]	变玄武岩[b)]	5	+5.70	1.3	

a) $\varepsilon_{Nd}(t)$ 单个样品的测定精度 $^{143}Nd/^{144}Nd$ 好于 ±0.000 020(2σ), $^{87}Sr/^{86}Sr$ 好于 ±0.000 08(2σ), 表中括号内的数字为样品间的标准离差. $\varepsilon_{Nd}(t)$ 的计算采用 $(^{143}Nd/^{144}Nd)_{CHUR}=0.512\,638$, $(^{147}Sm/^{144}Nd)_{CHUR}=0.196\,7$; $\varepsilon_{Sr}(t)$ 的计算采用 $(^{87}Sr/^{86}Sr)_{UR}=0.704\,5$, $(^{87}Rb/^{86}Sr)_{UR}=0.082\,7$; T_{DM} 的计算采用 $(^{143}Nd/^{144}Nd)_{DM}=0.513\,15$, $(^{147}Sm/^{144}Nd)_{DM}=0.213\,57$

b) 据周鼎武 (1995)[1)]

表 2 北秦岭岛弧花岗岩类及相关岩石 Pb 同位素组成[a)]

岩 体	岩石类型	测定对象	样品数	$^{206}Pb/^{204}Pb$	$^{207}Pb/^{204}Pb$	$^{208}Pb/^{204}Pb$
黄柏峪	花岗闪长岩	长石	2	18.221(0.030)	15.615(0.004)	38.309(0.168)
蔡 凹	花岗闪长岩	长石	2	18.350(0.126)	15.601(0.069)	38.345(0.005)
灰池子	黑云母花岗岩	长石	3	18.197(0.021)	15.626(0.035)	38.493(0.012)
枣 园	黑云母花岗岩	长石	4	18.092(0.195)	15.429(0.175)	37.854(0.372)
松树沟	变玄武岩	全岩	2	18.609(0.070)	15.625(0.008)	38.531(0.095)
松树沟	超镁铁质岩	全岩	2	18.248(0.013)	15.669(0.005)	38.441(0.043)

a) Pb 同位素三个比值的测定精度好于 ±0.1%, 表中括号内的数字为样品间的标准离差

3 结果讨论

北秦岭分布于秦岭群中晚元古代的蔡凹、黄柏峪岩体和早古生代的灰池子、枣园等岩体经岩石地球化学特征的分析, 其成因类型均属 I 型花岗岩[3, 4], 反映它们的岩浆源区主要为火成物质. 同位素组成特征显示(表 1 和表 2): 上述花岗质岩石 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 值均较低, 变化于 +6 ~ +46 之间; 晚元古代的蔡凹岩体和黄柏峪岩体岩石的 $\varepsilon_{Sr}(t)$ 值分别为 +2.97 和 +2.10, 反映岩浆源区具有亏损地幔源的性质, 早古生代的灰池子岩体和枣园岩体岩石的 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 分别为 −0.84 和 −3.86, 后者反映岩浆中可能含有一定数量的陆壳物质, 从 Nd 同位素模式年龄 (T_{DM}) 看, 除枣园岩体岩石为 1.47 Ga 稍偏高外, 其余岩体岩石的 T_{DM} 均在 ~ 1.1 Ga 左右, 反映这些花岗质岩浆的源区物质主要形成于该时期; 各岩体有非常相似的长石 Pb 同位素组成, 均以富放射成因铅为特征.

上述岛弧型花岗岩侵入的秦岭群围岩是北秦岭最古老的基底, 其形成时代大约在早元古代, 根据秦岭群片麻岩 10 多件样品的 Nd 和 Sr 同位素资料[6] 计算, 其 Nd 同位素模式年龄 (T_{DM}) 在 1.8 ~ 2.1 Ga 之间, 在相当于上述岛弧花岗质岩体形成时, 片麻岩类具有较低的 ε_{Nd} 值, 例如, 当 $t=700$ Ma 时, ε_{Nd} 在 −7 左右, 当 $t=400$ Ma 时, ε_{Nd} 值在 −10.5 左右, 这与上述花岗质岩石的 ε_{Nd} 值相差很大. 另外在相当于上述岩体形成时, 片麻岩类的 ε_{Sr} 值在 +350 以上, 这也与上述花岗质岩石的 ε_{Sr} 值相差甚大, 况且秦岭群片麻岩类经原岩恢复为一套负变质岩, 与上述属于 I 型花岗岩类的源岩类型不符. 以上论证充分表明, 秦岭群片麻岩类没有清晰地构成与上述岩体的成因联系. 至于秦岭群斜长角闪岩类岩石来说, 该类岩石在秦岭群片麻

岩类中呈夹层产出，规模很小，其主要形成时代为 1.98 Ga[6]，这些斜长角闪岩的 Nd 同位素模式年龄主要集中在 1.4～2.0 Ga 之间[6]，因此，秦岭群斜长角闪岩的形成年龄和 Nd 模式年龄也明显大于上述花岗岩的 Nd 模式年龄．另外，由于它们规模很小，因而它们不太可能提供本区大面积分布的花岗质岩浆的源区（如灰池子岩体：340 km^2），显然秦岭群斜长角闪岩也不可能作为上述岩体形成的主要源岩．由此看来，上述岩体的岩浆源区在秦岭群之下，但也不太可能直接来自于秦岭群之下的地幔岩石的熔融，因为现有成果表明，只有极少量的花岗岩是通过直接的幔源岩浆分异形成．以上分析并不排除在岛弧岩浆上升过程中可能有着少量上部陆壳碎屑物质（如秦岭群片麻岩）的参与，例如，枣园岩体岩石具有较低的 ε_{Nd} 值是较为明显的．由于上述花岗质岩体形成于岛弧的构造环境，因此它们的成因必然会联想到与古洋壳板片物质的俯冲消减作用和洋壳物质的再循环有关．

在北秦岭区，松树沟蛇绿岩片是否属于洋壳性质一直存在着争论，但从近期研究趋势看，属于洋壳残片性质的可能性增大[3, 5]．如能证明在古岛弧岩浆中存在有类似松树沟岩片物质的再循环，就可进一步确定该岩片具有洋壳残片性质的认识．同位素示踪结果表明，上述岛弧型花岗岩长石铅同位素组成与松树沟蛇绿岩片中的变玄武岩的铅同位素组成相近（表 2），但后者的铅同位素组成略高于前者．若根据变玄武岩的 U、Pb 含量（其平均值分别为 $U=0.29\times10^{-6}$，$Pb=4.45\times10^{-6}$）对其铅同位素进行时间校正（例如，当 $t=400$ Ma，$^{206}Pb/^{204}Pb=18.393$，$^{207}Pb/^{204}Pb=15.640$，当 $t=700$ Ma 时，$^{206}Pb/^{204}Pb=18.258$，$^{207}Pb/^{204}Pb=15.621$），则与岛弧花岗岩的长石铅同位素组成更为相似，反映它们之间的成因联系；从 Nd 同位素组成特征对比看（表 1），上述岛弧花岗岩的 Nd 模式年龄，除枣园岩体稍偏高外，其它岩体与松树沟蛇绿岩片中变玄武岩的形成年龄和 Nd 模式年龄非常相似，根据资料计算[5]1)，变玄武岩在 $t=700$ Ma 时，ε_{Nd} 值在 +3.5 左右，在 $t=400$ Ma 时，ε_{Nd} 在 +2.0 左右，这比上述岛弧型花岗岩形成时的 ε_{Nd} 值略偏高，但它们基本还能反映具有统一的 Nd 同位素演化趋势，同时指示在岩浆上升过程中有少量陆壳物质的混入．若把松树沟蛇绿岩片物质作为一个端圆，把秦岭群片麻岩类作为另一端圆，进行 Nd 同位素两端圆混合模型的计算[7]，结果表明上述岛弧岩浆中类似松树沟岩片物质的组成比例，除枣园岩体低于 70% 以外，其它岩体均高于 70% 以上．

以上多元同位素体系的示踪分析表明，把类似松树沟蛇绿岩片物质作为上述岛弧花岗质岩浆形成的主要源区是完全可以匹配的，从而进一步确证了松树沟岩片具有洋壳残片性质的认识，由于洋壳的俯冲消减作用和洋壳物质的再循环，形成了上述岛弧花岗质岩石．

参　考　文　献

1　Hart S R, Gulen L. Crust/Mantle Recycling at Convergence Zones. Turkey: Klawer Acad Publ, 1988. 1～220

2　严　阵．陕西省花岗岩．西安：西安交通大学出版社，1988. 9～16

3　张本仁，骆庭川，高　山等．秦巴岩石圈构造及成矿规律地球化学研究．武汉：中国地质大学出版社，1994. 446

4　张宏飞，张本仁，骆庭川．北秦岭晚元古代花岗岩类的成因及构造环境的地球化学研究．地球科学，1993, 18: 194～202

5　李曙光，陈移之，张国伟等．一个距今 10 亿年侵位的阿尔卑斯型橄榄岩体：北秦岭晚元古代板块构造存在的证据．地质论评，1991, 37: 235～242

6　张宗清，刘敦一，付国明等．北秦岭变质地层同位素年代学研究．北京：地质出版社．1994. 119

7　Faure G. Principle of Isotope Geology, 2nd ed. New York: John Willey & Sons, 1986. 200～249

1) 周鼎武．秦岭造山带元古宙构造体制研究报告．1995