2003 年 12 月
24 卷 6 期:584-588

地 球 学 报
ACTA GEOSCIENTICA SINICA

Dec. 2003
24(6):584-588

东昆仑造山带花岗岩类 Pb-Sr-Nd-O 同位素特征

刘成东[1,2)] 莫宣学[1)] 罗照华[1)] 喻学惠[1)] 谌宏伟[1)] 李述为[1)] 赵 欣[1)]

(1)中国地质大学,北京,100083; 2)东华理工学院,江西 抚州,344000)

摘 要 本文报道了东昆仑造山带三叠纪辉长岩、花岗岩类及其包裹体的 Pb、Sr、Nd 和 O 同位素组成。东昆仑造山带花岗质岩石全岩和长石 Pb 同位素组成相差不大,具明显的造山带 Pb 同位素特征;Sr 同位素初始值(I_{Sr})变化于 0.70144～0.70972 之间,暗示幔源成因;εNd 值变化于 -4.49939～-9.19258 之间,具壳源成因特点;Nd 同位素模式年龄(t_{DM})在 1.38～1.761 Ga 之间,与中元古代变质岩相当;O 同位素组成变化范围 7.8～9.5,表明花岗岩类成岩物质主要来自地壳。综合岩石的同位素组成,结合矿物学、岩石地球化学的研究,表明花岗岩浆主要起源于地壳,但与来自地幔的基性岩浆曾发生过混合作用,从而导致同位素组成趋于一致。

关键词 花岗岩成因 岩浆混合作用 同位素 东昆仑

Pb-Sr-Nd-O Isotope Characteristics of Granitoids in East Kunlun Orogenic Belt

LIU Chengdong[1,2)] MO Xuanxue[1)] LUO Zhaohua[1)] YU Xuehui[1)]
CHEN Hongwei[1)] LI Shuwei[1)] ZHAO Xin[1)]

(1)*China University of Geosciences, Beijing*, 100083; 2)*East China Institute of Technology, Fuzhou, Jiangxi*, 344000)

Abstract This paper reports Pb, Sr, Nd and O isotopic compositions of gabbro and granitoids formed in East Kunlun orogenic belt in Triassic. Granitoids and potassic feldspar have similar Pb isotopic compositions. Studies show that they were formed in an orogenic environment. Initial $(^{87}Sr/^{86}Sr)t$ ratios range from 0.70144 to 0.70972, and εNd values from -4.49939 to -9.19258. Nd isotopic model ages (t_{DM}) vary from 1.38 Ga to 1.761 Ga, being close to the age of mesoproterozoic metamorphic rocks. O isotopic compositions range from 7.8 to 9.5, indicating that the granitoids were derived from the crust. Based on all isotope data and mineralogical as well as petrochemical studies, it is held that the granitoids were mainly derived from the crust and mixed with the mantle-derived materials. The mixing process between the crust materials and the mantle-derived materials is responsible for the nearly identical isotope compositions.

Key words origin of granite magmatic mixture isotope East Kunlun

东昆仑造山带位于青藏高原的北部,青海省腹地。该带在显生宙主要经历了 3 个构造-岩浆旋回,其中以晚海西-印支旋回花岗岩最为重要,构成了东昆仑造山带火成岩的主体。该期花岗岩类多数呈大型复式岩基状产出,总体上近 EW 向展布,与区域构造线方向基本一致。岩石中普遍发育暗色微粒包体,是东昆仑造山带花岗质侵入岩的重要特征。

花岗岩是探索地壳深部的窗口,而暗色微粒包体则是研究壳幔相互作用的探针。该区花岗岩形成的大地构造背景及其成因前人曾做过研究(袁万明等,2000;郭正府等,1998),而有关花岗岩类岩石中暗色微粒包体的成因及探讨花岗岩物质来源的系统的同位素示踪资料则鲜有报道。本文在前人研究的基础上,进行了大量的野外地质及室内岩矿鉴定和岩石化学研究,系统地报道了此方面的资料。

1 花岗岩体地质和岩石学特征

时代为晚海西-印支期的约格鲁岩体是东昆仑造山带中暗色微粒包体最发育的岩体之一。它位于青海省香日德镇以南约 20 km 处(图 1),昆中断裂北侧,呈岩基侵入于变质岩中,近 EW 向展布,出露面积约100 km^2。其主体岩石为中粗粒花岗闪长

本文由中国地质调查局重点项目"花岗岩重大地质问题研究"(编号 200113900018)及国家重点基础研究发展规划项目(G1998040800, 2002CB412600)资助。
责任编辑:宫月萱。
第一作者:刘成东,男,1964 年生,副教授,在职博士生,从事岩石学的教学与研究;E-mail:cdliu@ecgi.jx.cn。

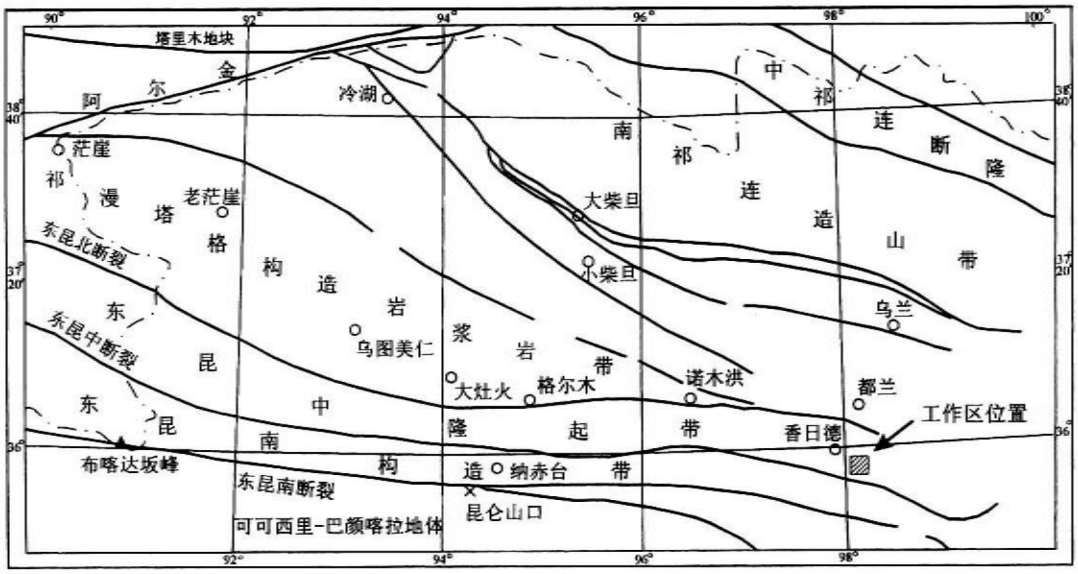


图 1　工作区构造位置图(据张以弗,略有改动)

Fig. 1　The tectonic location map of work area(after Zhang Yifu, modified)

岩,此外,还有二长花岗岩、正长花岗岩、闪长岩以及角闪辉长岩等(图 2)。岩石为钙碱性、准铝质或过铝质岩石系列。

花岗闪长岩与二长花岗岩和中基性岩呈渐变过渡接触关系或断层接触关系。花岗闪长岩呈灰—灰白色,半自形中-粗粒结构,块状构造。主要矿物为斜长石、钾长石和石英,次要矿物有角闪石和黑云母等暗色矿物。副矿物组合是锆石、磷灰石、磁铁矿、褐铁矿、钛铁矿和榍石(刘成东等,2002)。岩体中分布有大量的暗色微粒包裹体。

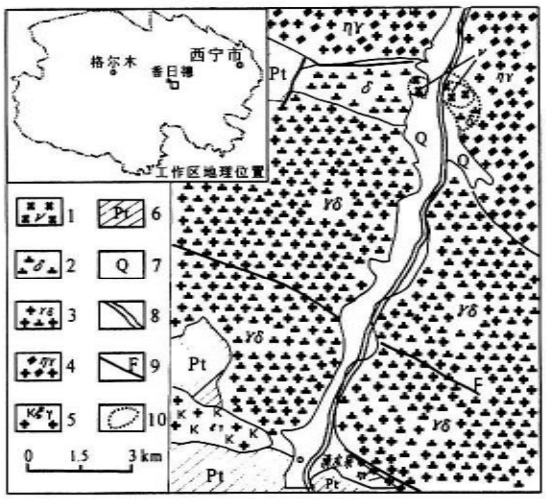


图 2　约格鲁岩体地质略图

Fig. 2　The sketch map of Yuegelu massif

1-角闪辉长岩;2-闪长岩;3-花岗闪长岩;4-二长花岗岩;5-正长花岗岩;6-金水口群变质岩;7-第四系;8-公路;9-断裂;10-渐变关系

1-Hb-gabbro; 2-diorite; 3-granodiorite; 4-adamellite; 5-syenogranite; 6-Jinshuikou metamorphic group; 7-Quaternary; 8-road; 9-fault; 10-defused boundary

暗色微粒包裹体与其寄主岩界线一般比较清楚,少量呈渐变过渡关系,有的具冷凝边。包裹体的形态复杂,但多数以浑圆状、透镜状和条带状为主,显示强烈的塑性流变特点。包裹体大小一般直径为几十厘米,最大达几米。多数呈密集定向分布,与岩体走向基本一致。分布不均匀,边部较多,且定向性较好。包裹体的结构相对其寄主岩而言较细,但矿物种类与之相同,只是包裹体中更富暗色矿物。该区与包裹体成分较接近的岩石是角闪辉长岩,为该区最基性的岩石类型。

角闪辉长岩出露面积小,呈岩枝状产出,与周围岩石呈过渡接触关系。岩体内成分不均匀,边部变化更大,逐渐变化为闪长岩和花岗闪长岩。岩石具细粒结构或斑状结构,块状构造,主要由斜长石、角闪石、黑云母以及少量钾长石和石英组成。由于岩石形成于造山带富水环境,所以暗色矿物以角闪石和黑云母为主,虽然不含辉石矿物,但其色率和化学成分已达到基性岩标准,所以还是将其归为辉长岩类。据以往研究(刘成东等,2002),它可能代表发生岩浆混合作用的基性端元,但现在的成分比原始成分已略显酸性。

2　Nd-Sr 同位素地球化学特征

2.1　样品和分析方法

本文所采的 6 个具有较好代表性的新鲜样品,先做了岩矿鉴定和岩石学的初步研究,然后进行同位素测定。岩石的 Sm、Nd、Rb 和 Sr 同位素采用阳

离子交换提纯方法，测试工作在 VG-354 质谱仪上完成，详细分析方法和流程请参考黄萱等(1990)文献。Sr 同位素比值测定采用$^{86}Sr/^{88}Sr=0.1194$ 进行质量分馏校正，Nd 同位素比值测定采用$^{146}Nd/^{144}Nd$等于 0.7219 进行标准化。实验室全流程本底：Rb 和 Sr 为 10^{-10}~10^{-11}g，Sm 和 Nd 为 10^{-11}~10^{-12} g。国际标样测定结果：LA 为$^{143}Nd/^{144}Nd$ 等于 0.511861±9，BRC-1，$^{143}Nd/^{144}Nd$ 等于 0.512613±10；NBS987 为$^{87}Sr/^{86}Sr$ 等于 0.710205±11；NBS607 为$^{87}Sr/^{86}Sr$等于 1.20051±13。此次 O 同位素分析数据是用 BrF_5 分析方法获得的，质谱仪型号是 MAT 251 EM，分析精密度为±0.2‰。所有分析结果列于表 1。

2.2 Nd-Sr 地球化学特征

由表 1 和图 3 可见，花岗质类岩石样品的 I_{Sr}值变化于0.70144~0.70940之间，显示下地壳低 I_{Sr}

表 1 约格鲁岩体花岗岩类 Sr、Nd、Pb 和 O 同位素组成

Table 1 Sr, Nd, Pb and O isotopic compositions of granitoids in Yuegelu massif

序号	样号	岩石名称	年龄/Ma	Sm/×10⁻⁶	Nd/×10⁻⁶	$^{147}Sm/^{144}Nd$	$^{143}Nd/^{144}Nd(2\sigma)$	εNd(t)	t_{DM}*
1	Q1013	包体	239	4.937	21.91	0.1363	0.512313±9	−4.49939	1380
2	Q1018	闪长质包体	239	8.968	43.83	0.1238	0.512053±15	−9.19258	1761
3	Q1028	花岗闪长岩	243	2.928	14.17	0.125	0.512269±17	−4.97657	1422
4	Q1032	花岗闪长岩	242	3.152	13.61	0.1401	0.512232±19	−6.22503	1518
5	Q1161	闪长岩	256	3.437	12.96	0.1604	0.512319±13	−5.03943	1438
6	Q1160	辉长岩	241	5.796	23.47	0.1494	0.512297±11	−5.19	1438

样号	Rb/×10⁻⁶	Sr/×10⁻⁶	$^{87}Rb/^{86}Sr$	$^{87}Sr/^{86}Sr(2\sigma)$	I_{Sr}	$^{206}Pb/^{204}Pb(2\sigma)$	$^{207}Pb/^{204}Pb(2\sigma)$	$^{208}Pb/^{204}Pb(2\sigma)$	$\delta^{18}O_{V\text{-}SMOW}$/‰
Q1013	74.28	234.6	0.9171	0.712677±13	0.70963	18.6635±12	15.6328±11	38.6567±28	8.3
Q1013(Or)	—	—	—	—	—	18.31339±50	15.54044±45	38.1807±10	—
Q1018	65.62	237.6	0.7996	0.711304±16	0.70864	18.6026±15	15.6221±13	37.9893±30	7.8
Q1028	94.19	225.5	1.2098	0.713491±11	0.70940	18.7709±14	15.6190±12	38.7659±28	9.1
Q1032	101.9	234.2	1.26	0.707503±11	0.70326	18.8058±15	15.6174±12	38.7096±23	9
Q1161	128.9	214.7	1.738	0.707636±12	0.70144	18.8240±13	15.6230±10	38.6805±25	9.5
Q1161(Or)	—	—	—	—	—	18.3558±22	15.5795±23	38.3250±66	—
Q1160	40.29	364.8	0.3197	0.710799±8	0.70973	18.5576±10	15.6042±8	38.6385±19	8.6

注：* Nd 模式年龄是采用两阶段模式参数(陈江峰，1998)进行计算获得的，其目的是为了最大限度减少地壳演化阶段内 Sm-Nd 分馏对单阶段模式年龄计算值产生的影响。年龄为 SHRIMP 和 TIMS 单颗锆石年龄。$t_{DM}=\frac{1}{\lambda}\ln\left[1+\frac{(^{143}Nd/^{144}Nd)_m-(^{143}Nd/^{144}Nd)_{DM}-[(^{147}Sm/^{144}Nd)_m-(^{147}Sm/^{144}Nd)_c](e^{\lambda t}-1)}{(^{147}Sm/^{144}Nd)_c-(^{147}Sm/^{144}Nd)_{DM}}\right]$，式中：$m$ 代表样品现今测定值；t 代表岩石结晶年龄，计算时采用的标准化数据及参数：衰变常数 $\lambda_{Rb\text{-}Sr}=1.42\times10^{-11}a^{-1}$，$\lambda_{Sm\text{-}Nd}=6.54\times10^{-12}a^{-1}$；$(^{147}Sm/^{144}Nd)_c=0.118$；$(^{147}Sm/^{144}Nd)_{DM}=0.2136$；$(^{143}Nd/^{144}Nd)_{DM}=0.513151$(扬学明等译，2000)。测试单位：Rb-Sr 和 Sm-Nd 测定在中国科学院地质与地球物理研究所固体同位素实验室完成；Pb 和 O 分别在中国地质科学院地质研究所和矿产资源研究所同位素实验室完成。

值的特征为0.702~0.705(杨学明等，2000)。因此单凭这点，成岩物质可能来自下地壳或至少有部分幔源物质的参与。但从 εNd(t)值变化于−4.97657~−6.22503 之间，均为负值来看，花岗质岩石应起源于地壳。结合岩体的野外产状和岩石学特征(Q1028 的 A/CNK 等于 1.509)，岩石显然应起源于下地壳，从而排除幔源岩浆结晶分异的可能。岩石的 Nd 模式年龄为 1 380~1 760 Ma，与区域上中元古代的变质岩相当，亦是佐证。

基性岩的 I_{Sr}值为 0.70973，比通常的要高，而包体 I_{Sr}值为 0.70864~0.70963，均大于 0.7045；基性岩的 εNd(t)值为 −5.19960，而包裹体的为−4.49939和−9.19258，变化较大，但均小于 0。这些数据似乎暗示其曾与地壳物质发生过混和作用。实际上，来自地球化学不均一的富集地幔源区或者即使来自正常地幔源区但因受到地壳物质的加入等因素的影响，其同位素组成也会在相当大的范围内变动。研究区于中三叠世，由于阿尼玛卿洋的向北俯冲，在局部应力释放的条件下，造成幔源岩浆的底侵作用，由地幔上来的基性岩浆，具有较高的温度并有较强的活动性，诱发地壳物质的部分熔融，并在适当的条件下与之发生混合作用。若混合彻底就形成化学成分均一的岩浆；但有时是机械混合，就留下各种各样的包体。混合的方式和程度不同将导致包裹体 εNd(t)值的变化范围较大。即暗色微粒包裹体是基性岩浆注入到酸性岩浆中未被完全混合的基性岩浆团块。由于同位素比常量元素更易达到均一，所以导致花岗岩类岩石的I_{Sr}绝对值变小，而基性岩

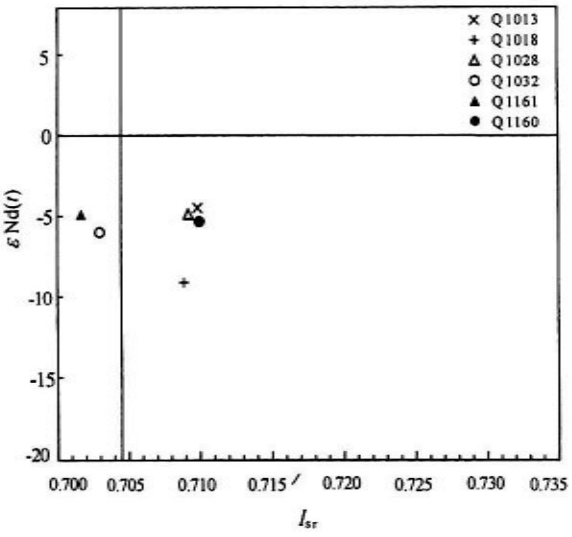


图 3　东昆仑约格鲁岩体花岗类的 $\varepsilon Nd(t)$-I_{Sr}图

Fig. 3　$\varepsilon_{Nd}(t)$-I_{Sr} diagram of granitoids in Yuegelu massif in Eastern Kunlun

或包裹体的值增大,二者趋于相同。Nd 同位素也有类似的情况,混合的结果使同位素组成趋同。

3　Pb、O 同位素地球化学特征

Pb 同位素结果见表 1,钾长石单矿物比全岩略小,说明岩石中只有少部分放射成因铅存在。该基性侵入岩和包体的$^{206}Pb/^{204}Pb$、$^{207}Pb/^{204}Pb$、$^{208}Pb/^{204}Pb$值显示富集地幔的特征。在$^{143}Nd/^{144}Nd$对$^{206}Pb/^{204}Pb$同位素相关图解上(图 4),基性侵入岩和包体样品投影点落在 EMⅡ区附近,即富集地幔Ⅱ。该类型地幔的重要特征是具有高的$^{87}Sr/^{86}Sr$比值(杨学明等,2000)。由上可知,约格鲁基性侵入岩和包体具有高的$^{87}Sr/^{86}Sr$比值和$^{206}Pb/^{204}Pb$、

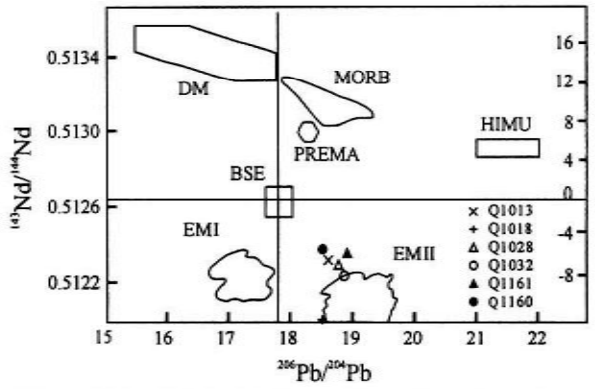


图 4　东昆仑约格鲁岩体$^{143}Nd/^{144}Nd$-$^{206}Pb/^{204}Pb$关系图

Fig. 4　$^{143}Nd/^{144}Nd$-$^{206}Pb/^{204}Pb$ diagram of granitoids in Yuegelu massif in Eastern Kunlun

$^{207}Pb/^{204}Pb$、$^{208}Pb/^{204}Pb$比值,以及低的$^{143}Nd/^{144}Nd$比值等特点,表明约格鲁岩体中的基性岩及花岗闪长岩中的包裹体源区为富集地幔Ⅱ,幔源岩浆在下地壳底部与长英质岩浆发生过混合作用,才使得同位素组成趋于一致。

从 Pb 同位素构造模式图投影结果看(图 5),几乎所有投影点均落入造山带 Pb 演化线附近,显示了造山带 Pb 同位素组成的特征。

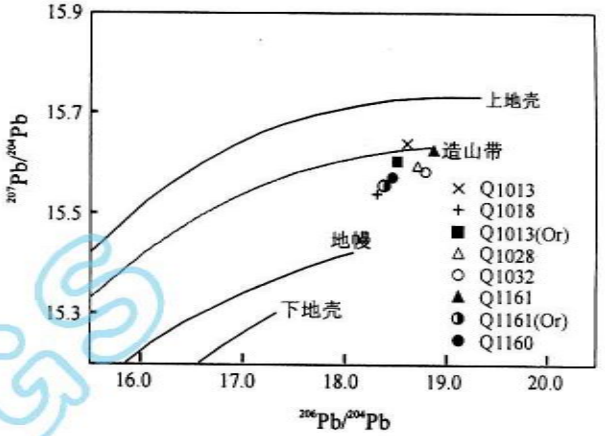


图 5　东昆仑约格鲁岩体 Pb 构造模式图

Fig. 5　The plumo tectonic diagram of granitoids in Yuegelu massif in Eastern Kunlun

O 同位素也是研究花岗岩成因的重要手段。特别是结合 Sr 同位素可以探讨壳幔混合作用。一般而言,O 同位素随着岩性而变化,基性岩一般较小,酸性岩大。O 同位素分析结果采用 SMOW 国际标准,用以下公式:

$$\delta^{18}O_{sample\text{-}SMOW}=\frac{\delta^{18}O_{sample\text{-}reference}+10^3}{\delta^{18}O_{standard\text{-}reference}+10^3}(\delta^{18}O_{standard\text{-}SMOW}10^3)-10^3$$

获得 $\delta^{18}O$ 值在 7.8‰～9.5‰之间变化,显示具壳幔混合成因的特点,与 Nd 同位素获得的结果相一致。

4　结论

东昆仑造山带花岗质岩石全岩和长石 Pb 同位素较高,具明显的造山带 Pb 同位素特征;花岗岩的初始($^{87}Sr/^{86}Sr$)比值较小,这是由于其与基性岩浆发生了混合作用,使之减小;基性岩和包体的初始($^{87}Sr/^{86}Sr$)比值则相对同类岩石较高,是因为混合了壳源高的 Sr 初始值的结果。从 εNd 值均为负值来看,显然花岗岩类岩石的物质来源主要是壳源,但也混染了部分幔源组分,O 同位素也得出类似的结

CAGS

论。基性岩、花岗岩类岩石和其中包裹体的同位素趋同性,证明花岗岩类岩石的成因与岩浆混合作用有关。东昆仑地区原本较低 Sr 初始比值的古老地壳衍生物,加上混合了底侵等原因上来的幔源物质是导致花岗质岩石具较低 Sr 初始比值的原因。因此,地幔物质以底侵等方式纵向进入地壳很可能是东昆仑造山带地壳生长的重要方式。

致谢 青海地质调查研究院、天津地质矿产研究所、中国地质大学等单位同行们对野外工作给予很多帮助。测试工作由中国科学院地质与地球物理研究所李潮峰,中国地质科学院地质研究所张巧大和杨淳等同志完成,在此一并致谢!

参 考 文 献

陈江峰. 1998. 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. 地球化学动力学论文集. 北京:科学出版社.

范洪海,凌洪飞,沈渭洲等. 2001. 相山火山-侵入杂岩 Nd-Sr-Pb 同位素地球化学特征. 岩石学报,17(3): 395~402.

郭正府,邓晋福,许志琴等. 1998. 青藏东昆仑晚古生代末—中生代中酸性火成岩与陆内造山过程. 现代地质, 12(3):345~352.

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.

刘成东,张文秦,莫宣学等. 2002. 东昆仑约格鲁岩体暗色微粒包体特征与成因. 地质通报,21(11):739~744.

李龙,郑永飞,王峥嵘. 1999. 铅同位素动力学模型及其在示踪花岗岩成因中的应用. 地学前缘,7(2):413~429.

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板块边缘其它晋宁期花岗岩对比. 岩石学报,14(3):269~277.

罗照华,柯珊,谌宏伟等. 2002 . 东昆仑印支晚期幔源岩浆活动. 地质通报, 21(6):292~297.

李献华,桂训唐. 1991. 万洋山-诸广山加里东期花岗岩的物质来源——I. Sr-Nd-Pb-O 多元同位素体系示踪. 中国科学(B 辑),(5):533~540.

马芳,穆治国,刘玉林. 2003. 北京房山侵入体:微量元素、稀土元素及同位素组成对其成因的制约. 地球学报,24(2):105~110.

沈渭洲,陈繁荣,刘昌实等. 1992. 江西两类火山-侵入杂岩的同位素地球化学特征和物质来源. 岩石学报,8(2):177~183.

沈渭洲,凌洪飞,李武显. 1999. 中国东南部花岗岩类 Nd-Sr 同位素研究. 高校地质学报,5(1):22~32.

杨学明,杨晓勇,陈双喜译. 2000. 岩石地球化学. 合肥:中国科学技术大学出版社.

袁万明,莫宣学,喻学惠等. 2000. 东昆仑印支期区域构造背景的花岗岩记录. 地质论评,46(2):203~211.

张宏飞,欧阳建平,凌文黎等. 1997. 南秦岭宁陕地区花岗岩类 Pb、Sr、Nd 同位素组成及其深部地质信息. 岩石矿物学杂志,16(1):22~32.

张理刚,邢凤鸣. 1993. 安徽省中生代花岗岩长石铅同位素组成及其地质意义. 岩石学报,9(3):254~257.

References

Ayuso R A. 1986. Lead-isotopic evidence for distinct sources of granite and for distinct basements in the Northern Appalachians, Maine. Geology, 14:322~325.

Chen Jiangfeng. 1998. Nd,Sr,Pb isotope traceing and continental crust evolution in East-South China. in Zheng Yongfei (eds), Beijing: Science Press(in Chinese with English abstract).

Fan Honghai, Ling Hongfei, Shen Weizhou et al. 2001. Nd-Sr-Pb isotope geochemistry of the volcanic-intrusive complex at Xiangshan, Jiangxi province. Acta Petrologica Sinica, 17(3): 395 ~ 402 (in Chinese with English abstract).

Guo Zhengfu, Deng Jinfu, Xu Zhiqin et al. 1998. Late Palaeozoic-Mesozoic intracontinental orogenic process and intermediate-acidic igneous rocks from the Eastern Kunlun Moutains of North Western China. Geoscience, 12(3):344~352(in Chinese with English abstract).

Huang Xuan, Wu Liren. 1990. Nd-Sr isotopes of granitoids from Shanxi province and their significance for tectonic evolution. Acta Petrologica Sinica, 6(2):1~11(in Chinese).

Liu Chengdong, Zhang Wenqin, Mo Xuanxue et al. 2002. The Features of mafic microgranular enclaves of Yuegelu granite and its origin in Eastern Kunlun. Geological Bulletin of China, 21(11):739~744(in Chinese with English abstract).

Li Long, Zheng Yongfei, Zhou Jianbo. 2001. Dynamic model for Pb isotope evolution in the continental crust of China. Acta Petrologica Sinica, 17(1) :61~68(in Chinese with English abstract).

Ling Hongfei, Xu Shijin, Shen Weizhou et al. 1998. Nd,Sr,Pb and O isotopic compositions of Late Proterozoic Gezong-and Donggu-granites in the Western Margin of Yangtze Plate and comparison with other coeval Granitoids. Acta Petrologica Sinica,14(3):269~277.

Luo Zhaohua, Ke Shan, Cao Yongqing et al. 2002. Late indosinian mantle-derived magmatism in the East Kunlun. Geological Bulletin of China, 21(6):292~297.

Li Xianhua, Gui Xuntang. 1991. On the material sources of the caledonian granites in Wan Yang Shan-Zhu Guang Shan Mountain. Science in China (Series B),(5):533~540(in Chinese).

Ma Fang, Mu Zhiguo, Liu Yulin. 2003. Fangshan intrusion, Beijing: constraints from trace and rare earth elements as well as Sr-Isotope composition. Acta Geoscientia Sinica, 24(2):105~110(in Chinese with English abstract).

Shen Weizhou, Chen Fan rong, Liu Changshi et al. 1992. Isotopic geochemical characteristics and source material for two types of volcanic-intrusive complexes in Jiangxi province. Acta Petrologica Sinica, 8(2):177~184(in Chinese).

Shen Weizhou, Ling Hongfei, Li Wuxian et al. 1999. The Nd-Sr isotope study of Mesozoic granitoids in Jiangxi province. Chinese Science Bulletin, 44(15):1427~1431(in Chinese with English abstract).

Yang Xueming, Yang Xiaoyong, Chen Shuangxi. 2000. Petroche-mistry. Hefei: Science and Technology University Press (in Chinese with English abstract).

Yuan Wanming, Mo Xuanxue, Yu Xuehui et al. 2000. The record of indosinian tectonic setting from the granotoid of Eastern Kunlun Mountains. Geological Review, 46(2):203~211(in Chinese with English abstract).

Zhang Hongfei, Ouyang Jianping, Li Wenli. 1997. Pb, Sr, Nd Isotope composition of Ningshan granitoids, South Qinling and their deep geological information. Acta Petrological et Mineralogica, 16(1): 22~32(in Chinese with English abstract).

Zhang Ligang, Xing Fengming. 1993. Feldspar Pb isotopic compositions and geological significance of Mesozoic granites in Anhui province. Acta Petrologica Sinica, 9(3):254~257(in Chinese).

CAGS