西昆仑中带两个花岗岩体的年龄和可能的源区

袁 超① 孙 敏① 李继亮②

(① 香港大学地球科学系,香港薄扶林道; ②中国科学院地质研究所,北京 100029)

摘要 对西昆仑中带2个重要岩体进行了年代学和同位素示踪方面的研究. 单颗粒锆石U-Pb测年结果表明,库地北岩体(404 Ma)形成于加里东末期的一次岩浆活动;而阿卡阿孜山岩体中二长花岗岩215 Ma的年龄则表明原被整个划入海西期的岩体实际上至少包括一部分印支期的岩浆活动. Sm/Nd同位素数据表明这2个花岗岩的源区并不均一,有地壳物质的加入且不排除壳幔混合成因的可能性.

关键词 西昆仑 花岗岩体 年龄 源区

1 研究背景

青藏高原自昆仑山向南,近平行发育着一系列以蛇绿岩为标志的由老渐新的构造缝合带. 本文的研究区在构造上即处于第4和第5缝合线(库地北构造带)之间[1~4],属于西昆仑中带的范畴[4]. 由于原特提斯和古特提斯的消减,使该区发育了大量的钙碱性花岗岩类. 本文所提到的2个岩体为库地北岩体和阿卡阿孜山岩体. 其中库地北岩体位于库地以北,克沟枕状熔岩以南,该岩体侵入元古宙库浪那古群中,向东为哈拉斯坦断裂所截,出露面积约为135 km^2,大致呈一个北西向分布的狭长岩基. 该岩体岩性相对单一,主要为黑云母二长花岗岩. 1980年,新疆第一区调队曾获得347 Ma的黑云母K-Ar年龄,遂将该岩体划入海西中、晚期的范围. 1987年新疆第2地质大队用同样的方法测得其年龄为445Ma,属于加里东晚期的产物[5]. 之后许荣华和张玉泉等又分别对该岩体进行了包括黑云母Rb-Sr、$^{40}Ar/^{39}Ar$以及多颗粒锆石U-Pb法在内的定年工作,测年结果分布于384和397 Ma之间,认为属于加里东晚期[6~7]. 由于该岩体被认为与原特提斯的俯冲消减有关[8~9, 11],因此准确测定其形成时代就显得尤为必要.

阿卡阿孜山岩体位于库地的西、南侧,分布于昆仑山脉的主峰地带,出露面积超过2 800 km^2. 岩体北侧侵入元古界库浪那古群中,南侧被麻扎-康西瓦和库浪那古断裂所截. 在赛力亚克达坂以北,岩体侵入早二叠世赛力亚克群火山岩中. 该岩体的岩性主要为花岗闪长岩和二长花岗岩,其次为石英闪长岩. 由于该岩体规模巨大,岩性又不均一,且又地处高山,许多地方更是常年为冰雪所覆盖,因此研究程度极低. 关于该岩体的年龄也有不同的认识,在岩体不同部位所采的样品的K-Ar年龄分布于163 ~ 274 Ma之间[5]. 该岩体曾长期被认为是海西期[5, 9],但对采于胜利桥附近二长花岗岩的黑云母$^{40}Ar/^{39}Ar$法测年结果却为印支期[10]. 因此,阿卡阿孜山岩体年龄仍是一个有待解决的问题.

另一方面,关于这些花岗岩的源区也有许多不同的看法,有壳源说、俯冲洋壳说和壳幔混合说等多种假说[8~9, 11~12],但由于缺乏同位素证据,上述各说均有待验证. 本文运用单颗粒锆石U-Pb方法测定了这2个岩体的年龄,获得了较好的一致年龄. 同时在Sm/Nd同位素数据的基础上对这2个花岗岩体的源区进行了讨论.

2 样品的获得和分析方法

用于选取锆石做U-Pb定年的2个样品分别取自新藏公路148.2 km处(库地北岩体)和不孜完沟铁矿周围的花岗岩(阿卡阿孜山岩体),所采样品的岩性均为二长花岗岩. 由于分别采自修筑公路和采矿时留下的工作面,因此样品新鲜程度较好. 样品被破碎以后,经分级、重液和精淘可使锆石富集达90%以上. 2个岩体的锆石在形态上大致相同,都以四方双锥晶型为主,未见有明显的残留核,属于典型的岩浆锆石. 长宽比由1:1.5至1:3以上,大小由几十微米至200μm以上,但多数锆石都小于200 μm. 除此以外,锆石的颜色也不尽相同,主要有无色,黄色和棕色3种. 一般说来,颗粒较大的锆石,颜色也较深,而且通常含有连生体、包体以及裂缝等不利于锆石U-Pb分析的因素. 因而为获取一致线年龄,所选的锆石均是150 μm以下的颗粒. 单颗粒锆石U-Pb分析在地矿部天津地质矿产研究所进行,分析方法遵循李惠民等人[13]的分析.

用于Sm/Nd同位素分析的样品选用200目以下的全岩样品. 实验方法和流程遵循李献华等人[14]的方法. 样品在中国科学院广州地球化学研究所完成化学分离和质谱测试.

3 结果和讨论

3.1 锆石U-Pb结果

每个岩体分别选取2个不同颜色及不同长宽比的锆石,其分析结果列于表1中. 由表1还可以看出,$^{206}Pb/^{238}U$和$^{207}Pb/^{235}U$及$^{207}Pb/^{206}Pb$ 3个表面年龄在实验误差范围内一致. 在谐和图上,2个岩体的锆石都位于谐和曲线上(图1),而且同一样品中不同颜色和长宽比的锆石具有相同的年龄,但颜色较深的锆石比颜色较浅的锆石含有更多的U和Pb,这或许与它们结晶时的条件有关. 用ISOPLOT对分析数据的处理结果表明,库地北岩体的年龄为404 Ma,属于加里东末期的产物. 与前人的结果相比,本次获得的库地北岩体的年龄与许荣华及张玉泉等人的结果比较相近[6~7],考虑到锆石的封闭温度较高,因而更能反映岩体的成岩年龄. 本文这一结果表明库地北岩体是加里东末期一次岩浆活动的产物,而阿卡阿孜山岩体215 Ma的年龄与前人的$^{40}Ar/^{39}Ar$年龄吻合,反映出该岩基有印支期岩浆活动的事实. 由于该年龄与前人的K-Ar法数据均不相同,因此或者由于钾氩数据未能真实地反映该岩体的年龄,或者该大岩基本身就包含了不同时代侵入体.

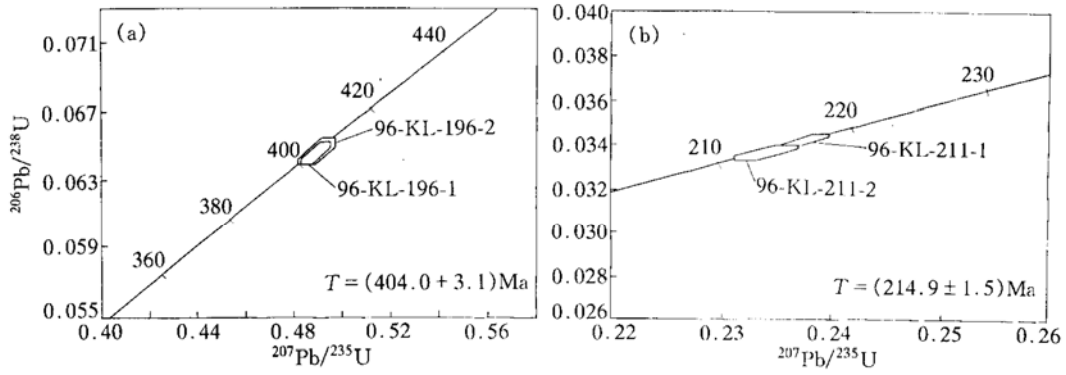


图1 库地北岩体和阿卡阿孜山岩体锆石U-Pb一致曲线图

(a) 库地北岩体;(b) 阿卡阿孜山岩体

表1 锆石 U-Pb 分析结果

岩体	样品号	颜色	长宽比	重量 /μg	U浓度 /μg·g^{-1}	Pb浓度 /μg·g^{-1}	普通铅含量 /ng	同位素原子比率[a)]					表面年龄/Ma		
								$^{206}Pb/^{204}Pb$	$^{208}Pb/^{206}Pb$	$^{206}Pb/^{238}U$	$^{207}Pb/^{235}U$	$^{207}Pb/^{206}Pb$	$^{206}Pb/^{238}U$	$^{207}Pb/^{235}U$	$^{207}Pb/^{206}Pb$
库地北	96-KL-196-1	黄褐色、透明	3:1	30	629	53	0.350	208	0.1318	0.064 68(65)	0.489 6(60)	0.054 90(35)	404.0	404.6	408.1
	96-KL-196-2	无色、透明	3:1	30	389	31	0.140	261	0.166 1	0.064 69(80)	0.489 7(79)	0.054 91(51)	404.1	404.7	408.5
阿卡阿孜山	96-KL-211-1	黄褐色、透明	3:1	30	1 588	57	0.042	1 042	0.134 3	0.034 11(33)	0.237 4(26)	0.050 48(24)	216.2	216.3	217.1
	96-KL-211-2	无色、透明	2:1	30	1 084	39	0.049	688	0.133 4	0.033 63(35)	0.234 1(30)	0.050 48(33)	213.3	213.6	217.3

a) $^{206}Pb/^{204}Pb$ 未对实验室空白(Pb = 0.050 ng, U = 0.002 ng, $^{206}Pb/^{205}Pb$ = 17.97 ± 1, $^{207}Pb/^{204}Pb$ = 15.55 ± 0.5, $^{208}Pb/^{204}Pb$ = 37.706 ± 1.5),稀释剂($^{206}Pb/^{205}Pb$ = 0.052 765, $^{206}Pb/^{204}Pb$ = 185.14, $^{206}Pb/^{207}Pb$ = 15.4, $^{206}Pb/^{208}Pb$ = 6.306 3)和普通铅(根据 Stacey and Kramers 模式按相应答年龄对应的同位素组成扣除)进行了校正. 较正后的$^{206}Pb/^{204}Pb$ 组成为:96-KL-196-1,236;96-KL-196-2,351;96-Kl211-1,2452;96-KL-211-2,1434. 其他原子比率中的铅同位素均为放射性成因同位素. 括号内的数字为 2σ 绝对误差,例如 0.064 68(65)表示 0.064 65 ± 0.000 65(2σ)

表2 Sm/Nd 同位素分析结果

岩体	样品号	Sm/10^{-6}	Nd/10^{-6}	$^{147}Sm/^{144}Nd$	$^{143}Nd/^{144}Nd$	$\varepsilon_{Nd}(t)$[a)]	T_{DM}(Ga)[b)]	岩体	样品号	Sm/10^{-6}	Nd/10^{-6}	$^{147}Sm/^{144}Nd$	$^{143}Nd/^{144}Nd$	$\varepsilon_{Nd}(t)$[a)]	T_{DM}(Ga)[b)]
库地北	96-KL-176	12.8	74.9	0.103	0.512 172 ± 13	−4.2	1.34E+09	阿卡阿孜山	96-KL-260	5.45	38.0	0.086 7	0.512 083 ± 22	−7.8	1.28E+09
	96-KL-177	15.9	99.3	0.096 6	0.511 881 ± 11	−9.6	1.65E+09		96-KL-262	4.61	28.9	0.096 0	0.511 886 ± 12	−11.9	1.63E+09
	96-KL-179	15.7	97.9	0.097 4	0.511 977 ± 14	−7.8	1.53E+09		96-KL-263	5.47	31.3	0.106	0.512 344 ± 11	−3.2	1.29E+09
	96-KL-182	11.4	76.1	0.090 8	0.512 207 ± 10	−3.0	1.17E+09		96-KL-264	3.84	23.2	0.100	0.512 259 ± 13	−4.7	2.08E+09
	96-KL-193	13.9	87.7	0.095 8	0.512 247 ± 15	−2.4	1.17E+09		96-KL-265	8.21	39.6	0.125	0.511 995 ± 13	−10.6	1.98E+09
	96-KL-196	11.5	72.5	0.096 0	0.512 056 ± 10	−6.2	1.41E+09								

a) $(^{147}Sm/^{144}Nd)_{CHUR}$ = 0.196 7; $(^{143}Nd/^{144}Nd)_{CHUR}$ = 0.512 638; b) 亏损地幔的 Sm/Nd 同位素组成采用 John B D, et al[18];分析单位:中国科学院广州地球化学研究所

3.2 Sm/Nd 同位素结果

包括 3 个阿卡阿孜山岩体样品、6 个库地北岩体样品的 Sm/Nd 同位素分析结果列于表 2 中. 由表 2 可以看出,2 个岩体的 Sm,Nd 含量相差很大. 阿卡阿孜山岩体的 Sm 含量一般小于 10×10^{-6},Nd 一般小于 55×10^{-6};相比之下,库地北岩体的 Sm 含量在 10×10^{-6}以上,Nd 含量更是在 70×10^{-6}以上. 二者之间的明显差异表明二者可能分别来自不同的源区或经历了不同程度的演化. 根据二者年龄计算所得的 $\varepsilon_{Nd}(t)$值也列于表 2 中,均为不同程度的负值. 其中,库地北岩体的 $\varepsilon_{Nd}(t)$值介于 $-2.4\sim-9.6$ 之间,而阿卡阿孜山岩体的 $\varepsilon_{Nd}(t)$值介于 -3.2 和 -11.9 之间. 二者 $\varepsilon_{Nd}(t)$的变化范围均较大,表明二者的源区可能是不均一的,有地壳物质的加入且不排除壳幔混合的可能性. 最近的研究表明,由于太古代之后全球热流值显著下降等原因,洋壳在消减过程中主要发生脱水而不是部分熔融[15]. Peacock 等人曾就岛弧岩浆来自消减洋壳的可能性进行了专门的讨论,指出在大多数消减带,消减洋壳的熔融需要非常高的剪切压力(>100 MPa);而在缺少高剪切压的消减带,只有非常年轻的洋壳(<5Ma)才有可能发生部分熔融[16]. 考虑到本区缺乏高剪切压存在的证据[17],以及蛇绿岩和花岗岩之间的年龄差距[2~3, 5],作者初步认为本区花岗岩来自消减洋壳的可能性不大.

致谢 中国科学院北京地质所的侯泉林、王志洪、方为民、周辉等参加了部分野外工作. 天津地质矿产研究所的李惠民研究员以极大的细心完成了本文所需的单颗粒锆石 U-Pb 定年工作,并对数据的解释提出了许多宝贵的意见. 中国科学院广州地球化学研究所的李献华研究员为 Sm/Nd 同位素的分析提供了极大的帮助;新疆地质矿产研究所的李向东研究员和中国科学院广州地球化学研究所张玉泉研究员为本文的写作提供了许多宝贵的资料,与北京大学地质系张立飞教授的讨论使作者受益非浅,香港大学 CRCG 项目(335/029/0012)为本研究提供了经费上的支持,特此致心衷心感谢.

参 考 文 献

1 潘裕生. 西昆仑构造特征与演化. 地质科学,1990, (3): 224~231
2 潘裕生. 青藏高原第五缝合带的发现与论证. 地球物理学报, 1994, 37(2): 184~192
3 邓万明. 喀喇昆仑-西昆仑地区蛇绿岩的地质特征及其大地构造意义. 岩石学报, 1995, 11(增): 98~111
4 赵 民. 西昆仑构造单元划分. 见: 姜春发. 昆仑开合构造. 第一版. 北京: 地质出版社, 1993. 161~169
5 汪玉珍,胡利忠,邓良栋. 新疆地质矿产局第二地质大队, 1/50 万新疆南疆西部地质图及说明. 1985 (技术报告)
6 许荣华,张玉泉,谢应雯, 等. 西昆仑北部早古生代构造-岩浆岩带的发现. 地质科学, 1994, 29(4): 313~327
7 张玉泉,朱炳泉,谢应雯, 等. 青藏高原西部的抬升速率:叶城-狮泉河花岗岩^{40}Ar-^{39}Ar年龄的地质解释. 岩石学报,1995, 14(1):11~21
8 韩玉玲, 李向东. 加里东期俯冲花岗岩带. 见: 李永安, 李向东, 孙东江, 等. 中国新疆西南部喀喇昆仑羌塘地块及康西瓦构造带的演化. 第一版. 乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社, 1995. 20~24
9 刘伟新. 西昆仑造山带花岗岩的地质特征及其构造意义. 见: 丁道桂,王道轩,刘伟新,等.西昆仑造山带与盆地. 第一版. 北京: 地质出版社, 1996. 72~106
10 Xu R, Zhang Y, Xie Y, et al. Isotopic Geochemistry of plutonic rocks. In: Pan Yusheng eds. Geological Evolution of the Karakorum and Kunlun Mountains. Beijing: Seismological Press, 1996. 137~186
11 Zhang Y, Xie Y, Xu R. Philippe Vidal and Nicolas Arnard. Geochemistry of Granitoid rocks. In: Pan Yusheng eds. Geological Evolution of the Karakorum and Kunlun Mountains. Beijing: Seismological Press, 1996. 94~136
12 张德全. 昆仑花岗岩成因初探. 见: 姜春发. 昆仑开合构造. 第一版. 北京: 地质出版社, 1993. 97~100
13 李惠民,董传万,徐夕生, 等. 泉州辉长岩中单粒锆石 U-Pb 法定年——闽东南基性岩浆岩的起源. 科学通报, 1995, 40(2): 158~160

14 李献华,胡瑞忠,饶 冰. 粤北白垩纪基性岩脉的年代学和地球化学. 地球化学, 1997, 26(2): 14~31
15 McCulloch M T. The role of subducted slabs in an evolving earth. Earth and Planetary Science Letters. 1993, 115: 89~110
16 Peacock S M, Rushmer T, Thompson A B. Partial melting of subducting oceanic crust. Earth and Planetary Science Letters. 1994, 121: 227~244
17 边千韬,林传勇,史兰斌. 西昆仑库地变质橄榄岩的显微构造特征. 地质科学, 1995, 30(3): 275~282
18 John B D, Zhou X H, Li J L. Formation and tectonic evolution of Southeastern China and Taiwan: isotopic and geochemical constrain. Tectonophysics, 1990, 183: 145~160

(1998-03-11 收稿,1998-06-18 收修改稿)

高压下 $MgO-ZnO-SiO_2$ 体系的亚固相相关系

李建平① Jacques Kornprobst② Didier Laporte②
(①中国科学院广州地球化学研究所,广州 510640; ②Département des Sciences de la Terre, Université Blaise Pascal, 63038 Clermont – Ferrand, France)

摘要 在1.0 GPa和1 200 ℃条件下,利用活塞圆筒高压装置实验确定了 $MgO-ZnO-SiO_2$ 体系的亚固相相关系. 结果显示该体系具有不同于其他类似的三元体系的相组合特征,无法形成 $Mg_2SiO_4-Zn_2SiO_4$ 橄榄石和 $Mg_2Si_2O_6-Zn_2Si_2O_6$ 辉石连续固溶体. 这种相组合特征是由 Zn^{2+} 具有 $(Ar)3d^{10}$ 外层电子结构,不同于其他过渡金属离子,如 Fe^{2+}, Ni^{2+} 和 Co^{2+} 的性质所制约.

关键词 高压 $MgO-ZnO-SiO_2$ 体系 亚固相 相关系

锌在自然界中主要呈 Zn^{2+} 存在,并常与硫结合形成硫化物(ZnS). 在硫逸度较低,并有其他亲硫元素存在时, Zn^{2+} 亦可进入氧化物和硅酸盐矿物中. 如在地幔条件下, Zn^{2+} 可以替代Mg进入石榴石、尖晶石、橄榄石和辉石中[1, 2]. 但实验研究已表明, Zn^{2+} 无法完全替代Mg形成 Zn_2SiO_4 橄榄石和 $Zn_2Si_2O_6$ 斜方辉石端员矿物[3~5],这意味着ZnO的加入可改变 $MgO-SiO_2$ 体系的相关系,而不是对MgO的简单替代. 可是,已有的实验研究主要着重于单纯合成简单的 $(Mg,Zn)_2SiO_4$ 和 $(Mg,Zn)_2Si_2O_6$ 硅酸盐而研究其晶体结构. 为此,本文试图系统求得地幔条件(1.0 GPa, 1 200℃)下 $MgO-ZnO-SiO_2$ 体系的亚固相相关系.

1 实验方法

1.1 实验起始成分、仪器和技术

实验的起始成分由高纯度的MgO, ZnO和 SiO_2 氧化物混合而成. 在混合前将MgO和 SiO_2 置于1 000℃的炉内加热12 h,使其中的 H_2O 和 CO_2 等挥发份完全去除;由于常温下ZnO不易与 CO_2 结合形成 $ZnCO_3$,而且高温下于空气中加热ZnO有可能使其氧化,只有在120 ℃温度下将其干燥. 将混合物用玛瑙研钵在丙酮中进行1~2 h研磨达到均匀,然后置于温度为120℃的炉内加热直至第2天实验装样,从而保证了实验的无水条件.

实验的样品盛器材料为金属铂. 实验在直径为19.05 mm的活塞圆筒中完成;使用NaCl-Pyrex玻璃-石墨-MgO作为炉内高压组合;采用"逐渐加压法"(Piston-in)技术加压. 压力在实验过程中控制在±0.04 GPa范围内变化. 温度用WRe5-WRe26热电偶测定,且控制在±1℃范围