

文章编号: 1000-4734(2008)04-0335-08

新疆东准噶尔 A 型花岗岩的锆石 Hf 同位素初步研究

唐红峰¹, 赵志琦², 黄荣生², 韩宇捷^{1,3}, 苏玉平^{1,3}

(1. 中国科学院 地球化学研究所 地球深部物质与流体作用地球化学研究室, 贵州 贵阳 550002)

(2. 中国科学院 地球化学研究所 环境地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002)

(3. 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

摘要: 新近在 New Wave UP213 型激光器 (LA) 和 Nu Plasma 多接收电感耦合等离子体质谱仪 (MC-ICPMS) 上建立了一种锆石 Hf 同位素分析方法, 以这种新建的方法对新疆东准噶尔 A 型花岗岩首次开展锆石 Hf 同位素研究。结果表明, 东准噶尔 A 型花岗岩有高的正 $\epsilon_{\text{Hf}}(T)$ 值, 变化范围为 10.3 ~ 13.7。综合考虑这些花岗岩的地质背景和地球化学组成, 我们认为它们的源岩主要是具亏损地幔 Hf/Nd 同位素组成的年轻玄武质洋壳, 并在源区混入了少量陆源大洋沉积物。本文的 Hf 同位素结果为阐明东准噶尔地区 A 型花岗岩的起源提供了新的证据。

关键词: Hf 同位素; LAMC-ICPMS; A 型花岗岩; 东准噶尔; 新疆

中图分类号: P588.12; P597 **文献标识码:** A

作者简介: 唐红峰, 男, 1963 年生, 博士, 研究员, 主要从事岩石地球化学和实验岩石学研究。

Loiselet 和 Wones^[1] 提出 A 型花岗岩名词和概念时, 主要强调的是该类岩石的碱性、无水和非造山特性, 而没有明确的源岩含义。因此, A 型花岗岩的源岩性质和岩浆起源是自其概念提出以来就一直存在争论的问题。新疆东准噶尔 A 型花岗岩属于中亚 A 型花岗岩带的一部分^[2,3], 在新疆和国内花岗岩研究中有重要地位。前人研究认为这些花岗岩的岩浆主要起源于: ① 亏损地幔^[4,6]; ② 具幔源同位素特征的玄武质地壳^[3,7,8]。上述认识是两种完全不同的观点, 必须利用多方面资料进行检验。

锆石是花岗岩中普遍发育的、有强抗蚀变能力的副矿物, 由于它有很高的 Hf 含量和非常低的 Lu/H 比值, 其 Hf 同位素初始值直接代表了花岗岩源岩的 Hf 同位素组成。因此, 锆石的 Hf 同位素示踪已成为研究花岗岩起源的有效途径^[9-14]。对于 A 型花岗岩, 因为其富碱而有很高的 Rb 含量和 Rb/Sr 比值, 加上可能的热液蚀变作用, 使得准确获得全岩 Sr 同位素组成较为困难, 甚至得到

明显不合理的数据^[5,15-18]。因此, 通常的 Nd-Sr 同位素联合示踪在研究 A 型花岗岩岩浆起源时受到一定制约, 其 Hf 同位素研究就更为重要。近年来通过将激光微区熔样技术与多接收电感耦合等离子体质谱仪的联用, 在不同的仪器系统上建立了锆石 Hf 同位素组成的原位测定方法。该方法方便、快捷, 不仅可免除耗时长、环境条件要求苛刻的化学分离, 而且有一定的空间分辨能力。此外, 由 ¹⁷⁶Lu 的衰变常数 $\lambda = 1.865 \times 10^{-11} \text{ a}^{-1}$ ^[9] 知道, ¹⁷⁶Lu \rightarrow ¹⁷⁶Hf 的半衰期远比 ¹⁴⁷Sm \rightarrow ¹⁴³Nd 的短, 因此在进行岩石的同位素地球化学示踪研究时, Hf 同位素不仅可与 Nd 同位素联合, 而且有比 Nd 同位素更高的分辨能力。

本文报道我们最近建立的锆石激光微区原位 Hf 同位素分析方法, 以及在此基础上对东准噶尔 A 型花岗岩的锆石 Hf 同位素进行初步研究的结果。我们的锆石 Hf 同位素分析方法在仪器使用、测试过程等方面与国内其他实验室已建立的方法不同, 有其自身的特色。而对东准噶尔 A 型花岗岩的 Hf 同位素研究, 填补了目前新疆北部花岗岩锆石 Hf 同位素研究的空白, 并为阐明这些花岗岩的源岩性质提供了新的证据。

收稿日期: 2008-09-03

基金项目: 国家自然科学基金项目 (批准号: 40772044 40773006)

1 分析方法

锆石 H 同位素分析是在中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室的 MC-ICPMS 上开展的。该仪器由 Nu Instruments Ltd 生产, 配备有 12 个法拉第杯 (high 6—high 1, axial low 1—low 5) 和 3 个离子计数器 (ion counter 0—ion counter 2)。H 同位素分析时接收器的安排如下: ^{171}Yb (low 3), ^{173}Yb (low 2), ^{174}Hf (low 1), ^{175}Lu (axial), $^{176}\text{Hf} + \text{Yb} + \text{Lu}$ (high 1), ^{177}Hf (high 2), ^{178}Hf (high 3), ^{179}Hf (high 4)。锆石熔

样用 New Wave Research 生产的 UP-213 型 ($\lambda = 213\text{ nm}$) Nd:YAG 激光器, 以 He 气为载气。为了减少质谱仪优化时样品锥上对灵敏度有明显影响的沉淀物, 我们引入一个膜去溶进样装置 (desolvating nebuliser, 型号 DSN-100)。由三通管将质谱仪、激光器和膜去溶进样装置连接。进行激光熔样分析前用实验室配制的纯 H 溶液, 通过膜去溶进样对质谱仪优化。原位分析时所用的激光束斑直径为 $40\ \mu\text{m}$ 。整个分析系统的工作条件详见表 1。

表 1 锆石 H 同位素分析的 LA-MC-ICPMS 工作条件

Table 1 LA-MC-ICPMS instrumentation parameters for Hf isotope analysis of zircons

MC-ICPMS		Laser system	
Model	Nu Plasma (from Nu Instruments)	Model	UP-213 Nd:YAG (from New Wave)
Forward power	1300 W	Wave length	213 nm
Reflected power	< 10 W	Crater diameter	$40\ \mu\text{m}$
Gas flow rate	CO ₂ 13.0 L/min Auxiliary 0.7 L/min	Repetition rate	10 Hz
Sampler cone	Ni with 0.9 mm orifice	Pulse energy density	7.0—11.5 J/cm ²
Skimmer cone	Ni with 0.65 mm orifice	Ablation time	~60 s
DSN-100	Nebulizer pressure 26.5—31.0 Psi Spray chamber 0.2 L/min (Ar) Membrane 2.90—3.10 L/min (Ar) Temperature 105°C	He gas flow rate	~1.40 L/min
Integration time	0.2 s	Standard	Zircon 91500
Background determination	30 s		

等离子体质谱仪对 H 的质量歧视效应的校正采用指数法, 计算 H 的质量歧视因子 (β_{Hf}) 时 $^{179}\text{Hf}/^{177}\text{Hf} = 0.7325^{[20]}$ 。由于锆石含很微量的 Lu 和一定的 Yb 因此开展锆石 H 同位素测定时需要校正 ^{176}Lu 和 ^{176}Yb 两个同质异位素对 ^{176}Hf 的干扰。根据 Iizuka 和 Hirata^[21] 的研究, Lu 的质量歧视因子 (β_{Lu}) 可用 β_{Hf} 近似, 而 Yb 的质量歧视因子 (β_{Yb}) 则与 β_{Hf} 有明显的偏差, 计算 β_{Yb} 时 $^{173}\text{Yb}/^{171}\text{Yb}$ 的真值采用 1.12346^[22]。 ^{176}Lu 和 ^{176}Yb 的强度分别按照 $^{176}\text{Lu}/^{175}\text{Lu} = 0.026549^{[23]}$ 和 $^{176}\text{Yb}/^{173}\text{Yb} = 0.78696^{[22]}$ 进行计算。

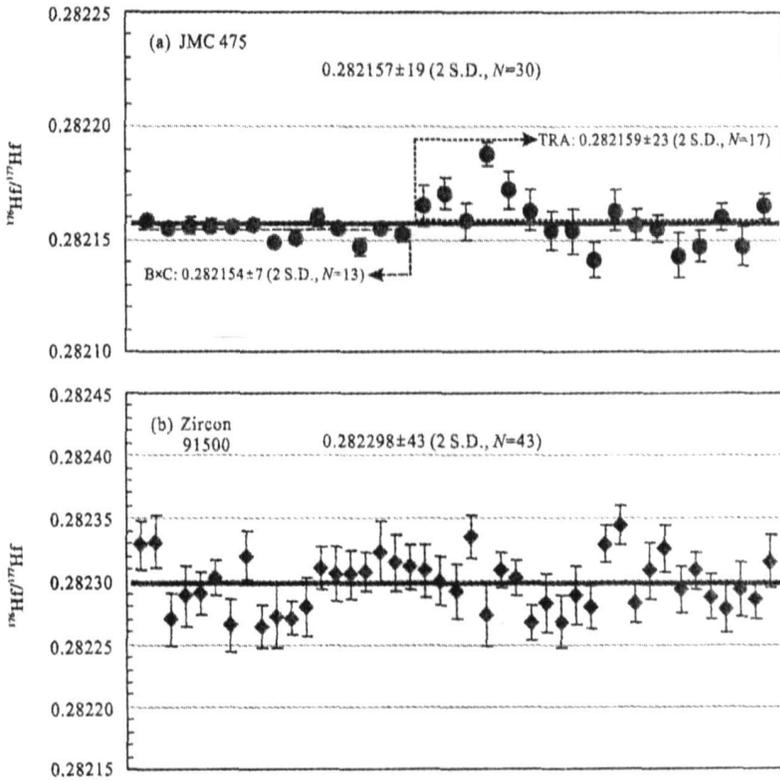
仪器安装后, 对国际标准样品 MC 475 断续地开展了少量 B×C (Block×Cycle) 方式的 H 同位素分析。采用正常的溶液进样 (MC 475 的浓

度约 1×10^6), 单次测定 3 (组) × 15 (个/组) 数据, 每组本底测定时间 30 s, 每个数据积分时间 10 s, 单次测定的总时间约 13 min 获得的 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 比值有很高的内部精度 (≤ 0.000004), 其平均值为 0.282154 ± 7 (2 S.D., $n=13$) (图 1a), 与文献报道的结果^[21, 24, 25] 在误差范围内一致。考虑到锆石激光原位的 H 同位素分析必须用耗时短的时间分辨 (TRAF Time Resolved Analysis) 方式, 为此我们对 MC 475 溶液也采用了与激光熔样完全相同的 TRAF 方式分析。具体是本底测定 30 s, 由 DSN 进样 (MC 475 溶液浓度约 0.1×10^6), 样品测定时间约 60 s, 每个数据的积分时间 0.2 s, 单次测定的总时间约 1.5 min 所获结果尽管其内部精度 ($0.000005 \sim 0.000010$) 和平均值

的标准偏差比 B×C 方式的稍差, 但 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 比值为 0.282159 ± 23 (2 S.D., $n=17$) (图 1 a), 也与文献报道的一致。锆石的激光原位 H 同位素测定也采用前述 TRA 方式, 不同的是需要根据仪器状况对 DS 的工作条件进行适当调整, 使其与通过激光器的载气 (H_2) 流量匹配, 从而获得最佳

的质谱信号。

在实际样品分析前及分析过程中对国际标准 zircon 91500 进行了 H 同位素测定, 其 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 比值为 0.282298 ± 43 (2 S.D., $n=43$) (图 1 b), $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ 比值为 0.000304 ± 27 它们与许多文献报道的数据^[21-24,28] 在误差范围内完全一致。



B×C (Block× Cycle)和 TRA (Time Resolved Analysis)分别表示对 MC 475 溶液分析的两种方式, 详见正文

图 1 MC 475 (a)和 zircon 91500 (b)的 H 同位素测定结果

Fig. 1. Hf isotopic analyses of MC 475 (a) and zircon 91500 (b).

2 A 型花岗岩的锆石 H 同位素组成

本次研究的东准噶尔 A 型花岗岩样品共 6 件, 包括卡拉麦里构造带的黄羊山岩体 (2 件)、萨北岩体 (1 件)、苏吉泉岩体 (1 件) 和乌伦古河的别里阿屯岩体 (2 件), 样品位置如图 2。这些岩石的地质背景、锆石 U-Pb 年龄和地球化学组成已

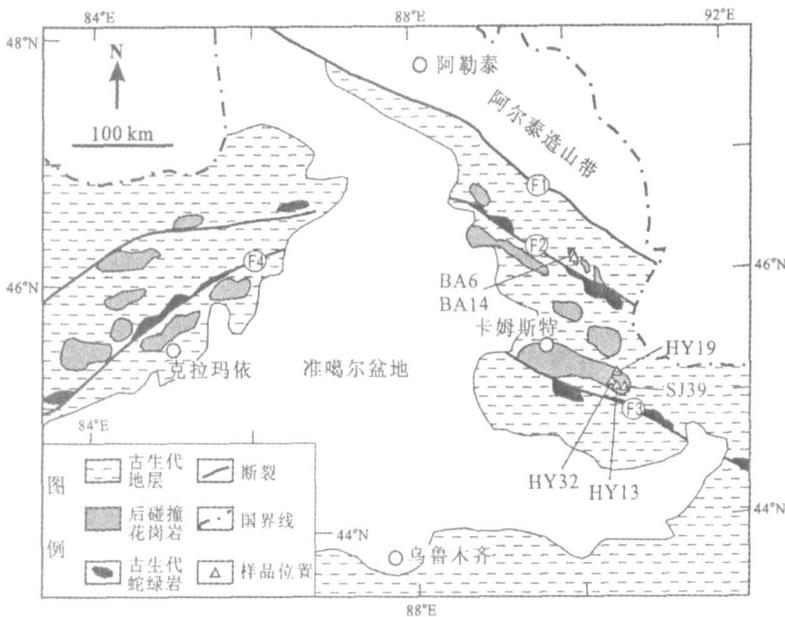
有详细报道^[17-29,32]。

由 6 件花岗岩样品的锆石 H 同位素测定结果, 结合已获得的锆石 U-Pb 年龄值, 得到每件花岗岩样品单个锆石颗粒的 $\epsilon_{\text{Hf}}(T)$ 值 (图 3 计算时球粒陨石的 $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ 和 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 比值为 0.0332 和 0.282772 ^[33]) 和两阶段 H 模式年龄 $T_{\text{DM}_2}(\text{Hf})$ 、 $T_{\text{DM}_2}(\text{H})$ 由下式计算:

$$T_{\text{DM}_2}(\text{Hf}) = \frac{1}{\lambda} \ln \left[1 + \frac{(^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf})_s - (^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf})_{\text{DM}} - [(^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf})_s - (^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf})_{\text{CC}}] \times (e^{\lambda T} - 1)}{(^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf})_{\text{CC}} - (^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf})_{\text{DM}}} \right]$$

其中 T 为锆石的 U-Pb 年龄, 下标 S、DM 和 CC 分别表示样品、亏损地幔和大陆地壳; 亏损地幔的 $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ 和 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 比值为 0.0384 和 0.28325 ^[26], 大陆地壳的 $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ 比值为

0.015 ^[27]。由 ISOPLOT 程序^[34] 计算每件样品的 $\epsilon_{\text{Hf}}(T)$ 和 $T_{\text{DM}_2}(\text{H})$ 权重平均值 (图 3, 表 2)。结果表明, 所研究的 6 件花岗岩样品均有较高的正 $\epsilon_{\text{Hf}}(T)$ 值, 其变化范围分别是 $10.3 \sim 13.7$ 。这些



F1—额尔齐斯断裂, F2—乌伦古断裂, F3—卡拉麦里断裂, F4—达拉布特断裂

图 2 准噶尔地区地质简图 (据文献 [8] 修改) 及样品位置

Fig. 2. Geological sketch map of the Junggar area with sample localities

表 2 东准噶尔 A型花岗岩的 HfNd同位素组成

Table 2 Hf and Nd isotopic compositions of the A-type granites in eastern Junggar

样品	岩体名称	岩性	类型	锆石 U-Pb 年龄 /Ma	$\epsilon_{Nd}(T)$	$\epsilon_{Hf}(T)$	$T_{DM2} Hf / Ma$
HY13	黄羊山	碱性花岗岩	碱性 A型	302 ± 2	6.5 ± 0.1	10.3 ± 0.7	663 ± 41
HY32	黄羊山	碱性花岗岩	碱性 A型	310 ± 4	4.8 ± 0.2	13.7 ± 0.4	440 ± 25
HY19	萨北	碱性花岗岩	碱性 A型	306 ± 3	4.9 ± 0.2	10.3 ± 0.3	662 ± 21
SJ39	苏吉泉	碱长花岗岩	铝质 A型	304 ± 2	5.9 ± 0.1	11.4 ± 0.6	588 ± 40
BA6	别里阿屯	碱长花岗岩	铝质 A型	282 ± 2	6.1 ± 0.1	12.7 ± 0.4	487 ± 28
BA14	别里阿屯	碱长花岗岩	铝质 A型	283 ± 5	6.1 ± 0.1	12.2 ± 0.5	519 ± 33

注: 表中数据的误差均为 2σ; 黄羊山、萨北和苏吉泉岩体出露于东准噶尔的贝勒库都克锡矿带, 别里阿屯岩体出露于东准噶尔的乌伦古河地区; 锆石 U-Pb年龄和 Nd同位素组成详见文献 [17 29-32]; $T_{DM2} Hf$ 根据每颗锆石的值, 用 ISOPLOT程序 [34] 计算的权重平均值。

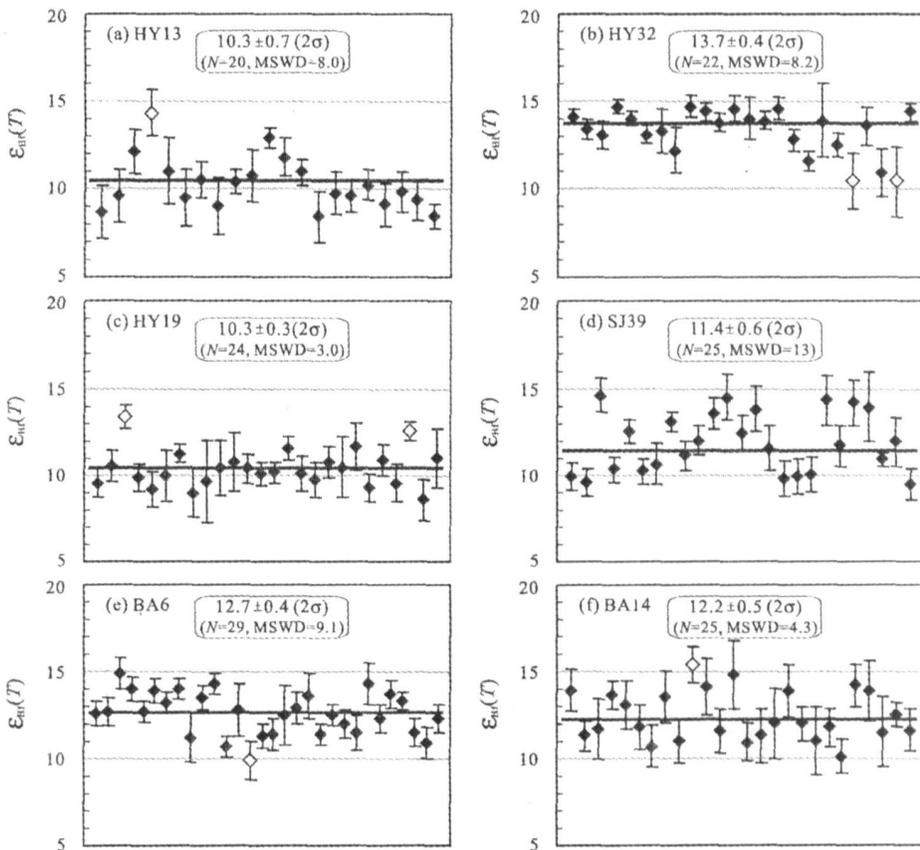
花岗岩的 $T_{DM2} Hf$ 也大体相近, 并且与它们各自的两阶段 Nd模式年龄 ($T_{DM2} Nd$)在误差范围内接近, 但都明显大于其 U-Pb年龄值 (表 2)。

3 讨论和结论

Hf同位素结果表明, 本文报道的东准噶尔 A型花岗岩的 $\epsilon_{Hf}(T)$ 值在 12.0左右, 而这些花岗岩成岩时亏损地幔的 $\epsilon_{Hf}(T)$ 值为 15.9 ($T=300 Ma$), 16.0 ($T=280 Ma$)。因此, 所研究的花岗岩的岩浆有接近于亏损地幔的 Hf同位素组成, 同时还有一定的、导致 $\epsilon_{Hf}(T)$ 值降低而偏离亏损地幔

端元的陆源物质。

与亏损地幔有类似同位素组成的火成岩, 其岩浆可以直接起源于亏损地幔, 但也可以是早先来源于亏损地幔的玄武质地壳。根据以下几方面事实: ①东准噶尔 A型花岗岩在空间上与代表洋壳残留的卡拉麦里蛇绿岩 (黄羊山、萨北和苏吉泉等岩体) 和阿尔曼太蛇绿岩 (别里阿屯岩体) 紧密共生 (图 2); ②沉积特征显示晚石炭世东准噶尔地区地壳构造演化已进入后碰撞阶段 [35], 而 A型花岗岩的成岩时代属于晚石炭世或其后, 且在相关的构造环境判别图上, 它们都落入后碰撞构



图中每个数据点及其误差线是单个锆石颗粒的 $\epsilon_{\text{Hf}}(T)$ 值和 2σ 误差; 方框内的值是根据 ISOPLOT 程序计算的每件花岗岩样品的 $\epsilon_{\text{Hf}}(T)$ 权重平均值, 其中空心方块的数据点被程序自动剔除, 没有参与计算

图 3 东准噶尔 A 型花岗岩的 $\epsilon_{\text{Hf}}(T)$ 值

Fig. 3. $\epsilon_{\text{Hf}}(T)$ values of the A-type granites in eastern Junggar

造背景^[29,30], 因此该区 A 型花岗岩不是非造山、而属于后造山阶段的产物; ③所研究的花岗岩有明显老于成岩时代的 H 模式年龄(表 2), 就是扣除有老模式年龄的陆源物质的影响也还是如此; ④实验岩石学研究已证实, 基性玄武岩在一定条件下的部分熔融, 可以形成中酸性岩浆^[36-38]。我们认为, 本文报道的花岗岩的岩浆不是直接起源于亏损地幔, 而更可能是在准噶尔洋发育阶段形成的玄武质洋壳。因此, 可以选择与后碰撞花岗岩密切共生的、目前已有详细年代学和地球化学研究^[39,40]的卡拉麦里蛇绿岩为本文花岗岩源区的一个重要端元, 其 Nd 同位素结果显示, 形成卡拉麦里蛇绿岩的地幔源区属于正常的亏损地幔。

对于加入到花岗岩的陆源物质, 有 3 种可能的途径: ①岩浆源区的物质混合, ②幔源岩浆上升途中的陆壳混染, ③两种岩浆的混合。鉴于准噶尔盆地的基底时代和性质一直存在争议, 而越来越多的研究显示该盆地很可能没有前寒武纪的陆

壳基底^[8,41,42], 且本区后碰撞花岗岩的分布主要受深大断裂控制的拉伸构造背景, 因此上面的第 2 种可能性不大。另外, 东准噶尔地区晚石炭世之前的地层以发育厚度巨大的碎屑沉积岩为主, 但在该区还没有发现接近 300 Ma 具负 $\epsilon_{\text{Nd}}(T)$ 值的花岗岩, 因此上面的第 3 种可能性也不大。然而, 准噶尔洋存在时陆源的大洋沉积物直接发育于玄武质洋壳之上, 这些沉积物随洋壳一起向俯冲带迁移并可最终被卷入造山带中。大洋沉积物与其周边的陆壳组成密切相关, 但新疆北部老陆壳基底的元素和同位素组成变化很大^[43], 难以得到合适的端元组成, 为此笔者选取全球俯冲沉积物组成^[44]近似为本文花岗岩的沉积物端元, 该组成是通过全球范围内大量数据统计获得的, 有一定的代表性。

根据以上讨论, 由所选择的端元组成进行二元混合模拟计算^[45], 结果显示, 本文 A 型花岗岩的沉积物比例在 5% ~ 10% 之间(图 4)。

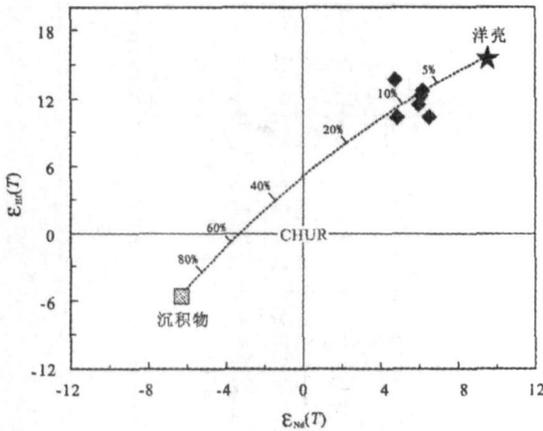


图 4 东准噶尔 A 型花岗岩的 $\epsilon_{Hf}(T) - \epsilon_{Nd}(T)$ 协变图
 Fig 4. $(Hf(T) \text{ vs } (Nd(T) \text{ diagram of the A-type granites in eastern Junggar$

二元混合模拟计算中: 洋壳端元以卡拉麦里蛇绿岩代表, $\epsilon_{Nd}(T=300 \text{ Ma}) = +9.4$ (据文献 [39-40] 的数据平均), $Hf = 1.82 \mu g/g$ (据文献 [40] 平均), $\epsilon_{Hf}(T=300 \text{ Ma}) = +15.7$ (由文献 [46] 的公式 $\epsilon_{Hf} = 1.33\epsilon_{Nd} + 3.19$ 估算); 沉积物端元以全球俯冲沉积物代表, $\epsilon_{Nd}(T=300 \text{ Ma}) =$

-6.4 ($Hf = 4.06 \mu g/g$ 据文献 [44]), $\epsilon_{Hf}(T=300 \text{ Ma}) = -5.7$ (由文献 [46] 的公式 $\epsilon_{Hf} = 1.34\epsilon_{Nd} + 2.82$ 估算) 图中虚线上的刻度和数字表示沉积物的比例。

应该指出, 用不同端元组成计算, 得到的结果会稍有差异。考虑到上述模拟计算本身就是一种近似的估计, 因此这一差异并不影响结论的本质。由此我们认为这些花岗岩的源区物质主要是具亏损地幔 HfNd 同位素组成的年轻玄武质洋壳, 与少量卷入造山带的陆源大洋沉积物的混合物。本文的 H 同位素结果, 进一步支持前人 [3, 7, 8] 和我们前期 [17, 29, 30, 32] 对东准噶尔地区 A 型花岗岩成因的认识。

综合上述结果和讨论, 有以下结论: ①我们在 213 nm 固体激光器和 Nu Plasma 等离子体质谱仪上建立的锆石 H 同位素激光原位分析方法, 可以为岩石的 H 同位素研究提供符合要求的高精度数据。②东准噶尔 A 型花岗岩的源岩主要是具亏损地幔 HfNd 同位素组成的年轻玄武质洋壳, 并在源区混入了少量陆源大洋沉积物。

参 考 文 献:

[1] Loisele M Ç, Wones D R. Characteristics and origin of anorogenic granites [J]. Geological Society of America Abstract 1979 11: 468
 [2] 许保良, 阎国翰, 张 臣, 等. A 型花岗岩的岩石学亚类及其物质来源 [J]. 地学前缘, 1998 5(3): 113-124
 [3] 洪大卫, 王式洗, 谢锡林, 等. 兴蒙造山带正 $\epsilon(Nd)$ 值花岗岩的成因和大陆地壳生长 [J]. 地学前缘, 2000 7: 441-456
 [4] 刘家远, 袁奎荣, 吴郭泉, 等. 新疆东准噶尔富碱花岗岩及其成矿作用 [M]. 长沙: 中南工业大学出版社, 1996 170
 [5] Han B F, Wang S G, Jahn B M, et al. Depleted-mantle source for the Uluqungur River A-type granites from North Xinjiang, China: geochemistry and Nd-Sr isotopic evidence and implications for Phanerozoic crustal growth [J]. Chem Geol 1997 138: 135-159
 [6] 韩宝福, 何国琦, 王式洗. 后碰撞幔源岩浆活动、底垫作用及准噶尔盆地基底的性质 [J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 1999 29: 16-21
 [7] 赵振华, 王中刚, 邹天人, 等. 新疆乌伦古富碱侵入岩成因探讨 [J]. 地球化学, 1996 25(3): 205-220
 [8] Chen B ip, Jahn Borming. Genesis of Post-collisional granitoids and basement nature of the Junggar Terrane, NW China: Nd-Sr isotope and trace element evidence [J]. J Asian Earth Sci 2004 23: 691-703
 [9] Kemp A I S, Womald R J, Whitehouse M J, et al. Hf isotopes in zircon reveal contrasting sources and crystallization histories for alkaline to peralkaline granites of Temora, southeastern Australia [J]. Geology 2005 33: 797-800
 [10] Hawkesworth C J, Kemp A I S. Using hafnium and oxygen isotopes in zircons to unravel the record of crustal evolution [J]. Chem Geol 2006 226: 144-162
 [11] Yang J in-Hui, Wu Fu-Yuan, Chung Sun-Lin, et al. A hybrid origin for the Qianshan A-type granite, northeast China: geochemical and Sr-Nd-Hf isotopic evidence [J]. Lithos 2006 89: 89-106
 [12] Goodge J W, Vervoort J D. Origin of Mesoproterozoic A-type granites in Laurentia: Hf isotope evidence [J]. Earth Planet Sci Lett 2006 243: 711-731
 [13] Kemp A I S, Hawkesworth C J, Foster G L, et al. Magmatic and crustal differentiation history of granitic rocks from HfO isotopes in zircon [J]. Science 2007 315: 980-983
 [14] Li Xian-Hua, Li Zheng-Xiang, Li Wu-Xian, et al. U-Pb zircon geochemical and Sr-Nd-Hf isotopic constraints on age and origin of Jurassic I and A-type granites from central Guandong, SE China: A major igneous event in response to foundering of a subducted flat slab [J]. Lithos 2007 96: 186-204

- [15] Wu Fu-Yuan, Sun De-You, Li Hu-in et al. A-type granites in northeastern China: Age and geochemical constraints on their Petrogenesis [J]. *Chem Geol* 2002, 187: 143-173.
- [16] 苏玉平, 唐红峰, 侯广顺, 等. 新疆西准噶尔达拉布特构造带铝质 A 型花岗岩的地球化学研究 [J]. *地球化学*, 2006, 35(1): 55-67.
- [17] 苏玉平, 唐红峰, 刘丛强, 等. 新疆东准噶尔苏吉泉铝质 A 型花岗岩的确立及其初步研究 [J]. *岩石矿物学杂志*, 2006, 25(3): 175-184.
- [18] 肖娥, 邱检生, 徐夕生, 等. 浙江瑶坑碱性花岗岩体的年代学 I: 地球化学及其成因与构造指示意义 [J]. *岩石学报*, 2007, 23(6): 1431-1440.
- [19] Scherer E, Munker C, Mezger K. Calibration of the lutetium-hafnium clock [J]. *Science* 2001, 293: 683-687.
- [20] Patchett P J, Kuvo O, Hedge C E, et al. Evolution of continental crust and mantle heterogeneity: evidence from Hf isotopes [J]. *Contrib Mineral Petrol* 1981, 78: 279-297.
- [21] Izuka T, Hirata T. Improvements of precision and accuracy in in situ Hf isotope microanalysis of zircon using the laser ablation MC-ICPMS technique [J]. *Chem Geol* 2005, 220: 121-137.
- [22] Thirlwall M, Anczkiewicz R. Multidynamic isotope ratio analysis using MC-ICPMS and the causes of secular drift in Hf, Nd and Pb isotope ratios [J]. *Int J Mass Spectrom* 2004, 235: 59-81.
- [23] Chu N C, Taylor R N, Chavagnac V, et al. Hf isotope ratio analysis using multi-collector inductively coupled plasma mass spectrometry: an evaluation of isobaric interference correction [J]. *J Anal At Spectrom* 2002, 17: 1567-1574.
- [24] Goolkens A, Mattielli N, Jong J, et al. Hf and Lu isotopic reference values for the zircon standard 91500 by MC-ICPMS [J]. *Chem Geol* 2004, 206: 1-9.
- [25] Wu Fu-Yuan, Yang Yue-Heng, Xie Lie-Wen, et al. Hf isotopic compositions of the standard zircons and baddeleyites used in U-Pb geochronology [J]. *Chem Geol* 2006, 234: 105-126.
- [26] Griffin W L, Pearson N J, Belousova E, et al. The Hf isotope composition of cratonic mantle: LAM-ICPMS analysis of zircon megacrysts in kimberlites [J]. *Geochim Cosmochim Acta* 2000, 64: 133-147.
- [27] Griffin W L, Wang X, Jackson S E, et al. Zircon chemistry and magma mixing: SE China in situ analysis of Hf isotopes. Tonglu and Pingtan igneous complexes [J]. *Lithos* 2002, 61: 237-269.
- [28] Woodhead J D, Hergt J M. A preliminary appraisal of seven natural zircon reference materials for in situ Hf isotope analysis [J]. *Geostand Geoanal Res* 2005, 29: 183-195.
- [29] 唐红峰, 屈文俊, 苏玉平, 等. 新疆萨惹什克锡矿与萨北碱性 A 型花岗岩成因关系的年代学制约 [J]. *岩石学报*, 2007, 23(8): 1989-1997.
- [30] Su Yuping, Tang Hongfeng, Sylvester Paul J, et al. Petrogenesis of Karamaili alkaline A-type granites from East Junggar, Xinjiang (NW China) and their relationship with tin mineralization [J]. *Geochim J* 2007, 41: 341-357.
- [31] 苏玉平. 新疆准噶尔 A 型花岗岩的年代学和地球化学研究 [D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2007.
- [32] 苏玉平, 唐红峰, 丛峰. 新疆东准噶尔黄羊山碱性花岗岩体的锆石 U-Pb 年龄和岩石成因 [J]. *矿物学报*, 2008, 28(2): 117-126.
- [33] Blichert-Toft J, Albarède F. The Lu-Hf isotope geochemistry of chondrites and the evolution of the mantle-crust system [J]. *Earth Planet Sci Lett* 1997, 148: 243-258.
- [34] Ludwig K R. Users manual for Isoplot 3.00: a geochronological toolkit for Microsoft Excel [J]. Berkeley Geochronology Center, Special Publication 2003, (4): 71.
- [35] 李锦轶. 新疆东部新元古代晚期和古生代构造格局及其演变 [J]. *地质论评*, 2004, 50(3): 304-322.
- [36] Beard J S, Lofgren G E. Dehydration melting and water saturation melting of basaltic and andesitic greenstones and amphibolites at 3 and 6.9 kbar [J]. *J Petrol* 1991, 32: 365-401.
- [37] Peacock S M, Rushmer T, Thompson A B. Partial melting of subducting oceanic crust [J]. *Earth Planet Sci Lett* 1994, 121: 227-244.
- [38] Rapp R P, Watson E B. Dehydration Melting of Metabasalt at 8-32 kbar: Implications for Continental Growth and Crust-Mantle Recycling [J]. *J Petrol* 1995, 36: 891-931.
- [39] 唐红峰, 苏玉平, 刘丛强, 等. 新疆北部卡拉麦里斜长花岗岩的锆石 U-Pb 年龄及其构造意义 [J]. *大地构造与成矿学*, 2007, 31(1): 110-117.
- [40] 刘希军, 许继峰, 侯青叶, 白正华, 雷敏. 新疆东准噶尔克拉麦里蛇绿岩地球化学: 洋脊俯冲的产物 [J]. *岩石学报*, 2007, 23(7): 1591-1602.
- [41] 郑建平, 王方正, 成中梅, 吴晓智, 张义杰. 拼合的准噶尔盆地基底: 基底火山岩 Sr-Nd 同位素证据 [J]. *地球科学*, 2000, 25: 179-185.
- [42] 龙晓平, 孙敏, 袁超, 肖文交, 陈汉林, 赵永久, 蔡克大, 李继亮. 东准噶尔石炭系火山岩的形成机制及其对准噶尔盆地闭合时限的制约 [J]. *岩石学报*, 2006, 22(1): 31-40.

- [43] Hu A Q, Jahn B M, Zhang G X, Chen Y B, Zhang Q F. Crustal evolution and Phanerozoic crustal growth in northern Xinjiang: Nd isotopic evidence. Part I. Isotopic characterization of basement rocks. *J. Tectonophysics*, 2000, 328: 15-51.
- [44] Plank T, Langmuir C H. The chemical composition of subducting sediment and its consequences for the crust and mantle. *J. Chem Geol*, 1998, 145: 325-394.
- [45] Langmuir C H, Vocke Jr R D, Hanson G N, et al. A general mixing equation with applications to Icelandic basalts. *J. Earth Planet Sci Lett*, 1978, 37: 380-392.
- [46] Vervoort J D, Patchett P J, Blicher-Toft J, et al. Relationships between Lu-Hf and Sm-Nd isotopic systems in the global sedimentary system. *J. Earth Planet Sci Lett*, 1999, 168: 79-99.

PRIMARY Hf ISOTOPIC STUDY ON ZIRCONS FROM THE A-TYPE GRANITES IN EASTERN JUNGGAR OF XINJIANG, NORTHWEST CHINA

TANG Hong-feng¹, ZHAO Zhi-qiang², HUANG Rong-sheng³, HAN Yu-jie³, SU Yu-ping³

(1. Laboratory for Study of the Earth's Interior and Geofluids, Institute of Geochemistry, CAS, Guiyang 550002, China)

(2. State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, CAS, Guiyang 550002, China)

(3. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract Reported in this paper are a new method of Hf isotope analysis on zircons, which has been recently established by using NewWave UP-213 laser plus Nu Plasma MC-ICPMS, and the results of the first Hf isotopic study on the zircons from the A-type granites in eastern Junggar of Xinjiang. The results showed that the A-type granites have relatively high $\epsilon_{\text{Hf}}(T)$ values ranging from 10.3 to 13.7. From the geological setting in which the A-type granites were formed and their geochemical compositions, it is suggested that the source materials of the A-type granites come mainly from young basaltic oceanic crust which is similar to the depleted mantle and some marine sediments from the continents in Hf and Nd isotopic compositions. The results of Hf isotopic analysis in this study provide new evidence for the origin of the A-type granites in eastern Junggar of Xinjiang.

Key words: Hf isotope; LA-MC-ICPMS; A-type granite; eastern Junggar; Xinjiang