第11卷 第1期
1995年2月

岩 石 学 报
ACTA PETROLOGICA SINICA

Vol. 11, No. 1
Feb., 1995

西天山琼阿乌孜超基性岩体的稀土元素和Sr、Nd同位素研究*

REE and Sr-Nd Isotopic Study of Qiongawuzi Ultramafic Intrusion, West Tianshan

倪守斌　满发胜　陈江峰
Ni Shoubin, Man Fasheng and Chen Jiangfeng

(中国科学技术大学地球空间科学系　合肥　230026)
(*Department of Earth and Space Sciences, University of Science and Technology of China*)

摘　要　对西天山琼阿乌孜超基性岩体和围岩片麻岩作了Sm、Nd、Rb、Sr同位素和稀土元素的研究，获得岩体的形成年龄为314±19Ma，ΣREE约为4.0～7.6μg/g。其主体岩石是由来源于未亏损地幔较高程度熔融而产生的岩浆在结晶分异作用中形成。其岩体的边缘[$\varepsilon_{Nd}=-5$，$(^{87}Sr/^{86}Sr)_i=0.7055$，ΣREE=111.56μg/g]同化了围岩[$\varepsilon_{Nd}=-16.7$，$(^{87}Sr/^{86}Sr)_i=0.7537$，ΣREE=196μg/g]，并同时发生结晶作用，经历了AFC过程，形成了特有的琼阿乌孜超基性岩侵入体。

Abstract　REE Concentrations and Sr and Nd isotope compositions are analysed for samples from Qiongawuzi ultramafic intrusion and its country rock, west Tianshan Mountains of Xinjiang. ΣREE contents of ultramafic rocks, gabbro in marginal facies and country rock are about 4～7.6μ/g, 112μ/g and 196μg/g, respectively. ε_{Nd} and $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ of gabbro and country rock samples are −5.0, −16.7 and 0.7055, 0.7537. Sm-Nd mineral isochron gives an age of 314±19 Ma. REE patterns suggest that ultramafic rocks are very likely cumulates of gabbroic magma formed by large percent of partial melting of the mantle. This marginal gabbro is formed by AFC (assimilation coupled with fractional crystallization) process. This indicates that the intrusion is not a part of ophiolite suit but a product of magmatism.

主题词　超基性岩　稀土元素　Sr、Nd同位素　岩石成因　西天山　新疆

Key Words: Ultramafic rocks; REE; Sr-Nd isotopic composition; Petrogenesis; West Tianshan; Xinjiang

---

* 本文1993年2月22日改到，1994年10月改回.
本文为国家"七五"攻关项目75-56-02-51(Ⅰ Ⅴ7-4)的部分研究成果
第一作者简介：倪守斌　1953年出生　副教授　地球化学专业

分类号：P588.125；P595；P597
Classific. code：P588.125；P595；P597

西天山琼阿乌孜岩体为南天山北缘基性超基性岩带中一种特殊的岩石类型。前人工作曾认为琼阿乌孜超基性岩可能是洋壳的一部分，但却未发现天山古生代蛇绿岩所表现的两种序列(王作勋等 1990)。稀土元素和 Sr、Nd 同位素数据表明岩体可能来自于未亏损地幔较高程度熔融而生成的岩浆，在其上侵过程中结晶分异形成琼阿乌孜超基性岩主体部分。岩体边缘在结晶分异中同化了围岩片麻岩，形成了这二端元组分混合的辉长岩。

1 地质概况

琼阿乌孜岩体位于昭苏县夏塔木札尔特河谷上游，哈拉周里哈雪山北侧，大致沿中天山与南天山之间的断裂带分布。与蓝片岩-绿片岩带相伴。岩体的围岩为蓝闪-绿片岩相变质火山岩及复理石砂页岩组成。岩体北侧为中天山拉尔敦群混合片麻岩及眼球状混合片麻岩。琼阿乌孜沟断裂为那拉提山南缘断裂带的西段(图 1)，任纪舜等(1980)称中天山南缘断裂带，此带入哈萨克斯坦，称“尼古拉耶夫线”。

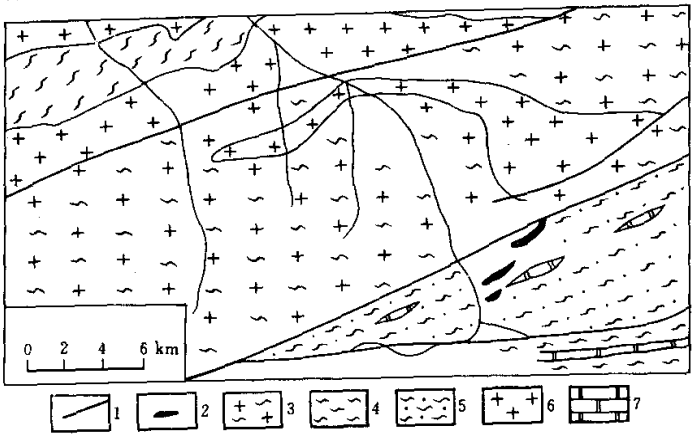

图 1 琼阿乌孜地质略图

1. 断层；2. 超基性岩；3. 花岗片麻岩；4. 片岩；5. 蓝闪石片岩；6. 花岗岩；7. 大理岩；

Fig. 1 Geological sketch map of Qiongawuzi

琼阿乌孜岩体呈东西向延长的透镜状产出，具单斜状分带现象，自北向南为(1)深绿色中细粒辉石闪长岩，(2)全蛇纹岩化方辉辉橄岩，(3)蛇纹岩化方辉辉橄岩，(4)灰白色黑黝帘石透闪石岩，(5)浅黄色菱镁矿化、含硫化物超基性岩。(4)和(5)呈不规则状出现或呈团块状出现，总体以蛇纹石化方辉辉橄岩为主。岩体 Mg/Fe 值为 7.47～9.42，属镁质超基性岩，具有低的碱金属($Na_2O+K_2O<0.30\%$)、低 TiO_2($<0.1\%$)、低的 FeO 和 Fe_2O_3、高的 MgO 特征(表 1)。

表 1　琼阿乌孜岩石化学成分(重量%)

Table 1　Chemical composition (wt. %) of rocks from Qiongawuzi, Xinjiang

样品号	岩　性	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	H_2O^+	H_2O^-	TiO_2	P_2O_5	MnO	总量
S115	蛇纹石化辉橄岩	39.53	1.32	7.06	1.83	36.63	0.95	0.10	0.08	11.40	0.32	0.07	0.07	0.10	99.46
S117	辉　橄　岩	36.12	1.22	6.19	1.98	39.85	0.32	0.05	0.05	13.02	0.52	0.07	0.10	0.10	99.59
S127	蛇纹石化辉橄岩	39.93	1.27	7.18	2.43	37.16	0.47	0.05	0.08	10.78	0.30	0.03	0.07	0.08	99.83
S126	辉　长　岩	55.86	13.96	2.10	3.73	8.82	7.19	3.25	1.18	2.89		0.42	0.24	0.10	99.75
XT-11	片　麻　岩	70.32	13.99	4.70	—	2.45	0.45	2.88	—	4.56		0.65	0.20	0.05	100.25

注：S115、S117 采自岩体中部剖面；S115 采自岩体北部；S117 采自岩体中心部位；S126、S127 采自岩体西部剖面；S126 采自岩体边缘；S127 采自岩体中部；XT-11 采自岩体围岩.

2　测定方法与结果

样品中的稀土元素含量在北京大学测试中心测定。用国产标准样监控，测定误差在 0.5%左右，岩体 4 个样品和围岩一个样品的分析结果列入表 2。全岩和单矿物的同位素分析在南京大学现代分析中心和地质矿产部宜昌地质矿产研究所进行。分析流程已分别由 Yang Jiedong et al. (1986)、王银喜等(1988)和李志昌等(1988)作了报道。在$^{87}Sr/^{86}Sr$ 和$^{143}Nd/^{144}Nd$ 同位素比值分析时分别对$^{86}Sr/^{88}Sr=0.1194$ 和$^{146}Nd/^{144}Nd=0.7219$ 正常化。琼阿乌孜超基性岩体蛇纹石化强烈，采用较为新鲜的辉长岩(S126)测定全岩中的 Sm、Nd、Rb、Sr 的含量和同位素组成。并从此辉长岩中分离出辉石、斜长石单矿物，测定了其 Sm、Nd 含量和同位素组成。此外还分析了一个围岩样品(XT-11)，分析结果列入表 3。

表 2　琼阿乌孜岩石稀土元素含量(μ/g)

Table 2　REE composition (μ/g) of rocks from Qiongawuzi, Xinjiang

样品号	岩　性	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	ΣREE	$(\frac{La}{Lu})_N$
S115	蛇纹石化辉橄岩	1.29	2.32	0.35	1.65	0.48	0.07	0.41	0.06	0.32	0.08	0.24	0.04	0.24	0.03	7.58	4.30
S117	辉　橄　岩	0.69	1.16	0.21	0.8	0.25	0.04	0.32								~4.0	~4.3
S127	蛇纹石化辉橄岩	0.88	1.37	0.23	0.88	0.27	0.04	0.29								~4.6	~4.3
S126	辉　长　岩	26.57	45.25	6.00	20.54	3.84	0.90	3.01	0.42	2.05	0.46	1.23	0.17	0.96	0.16	111.56	16.61
XT-11	片　麻　岩	44.27	73.45	10.38	36.62	8.09	1.31	7.16	1.02	5.54	1.25	3.35	0.50	2.77	0.46	196.17	9.62
	球粒陨石	0.34	0.91	0.121	0.64	0.195	0.073	0.26	0.047	0.30	0.078	0.20	0.032	0.22	0.034	3.45	1

球粒陨石平均值引自 Wakita 等人(1971)资料. S117 和 S127 样品 Tb～Lu 含量低于检测限没有警告得数据. ΣREE 根据其 REE 丰度曲线与 S115 样品大体平行推断得出.

3　讨　论

3.1　岩体形成时代

琼阿乌孜岩体采用 Sm-Nd 法定年(见表 3)。获得辉长岩的全岩、斜长石和辉石的内部等时线年龄为 314±19Ma，初始比值为 0.511978±14(图 2)，相当于 ε_{Nd}为−5.0，MSWD 值为

表 3 琼阿乌孜岩石 Sr、Nd 同位素分析结果

Table 3 Sr and Nd isotope compositions of rocks from Qiongawuzi, Xinjiang

样品号	岩石名称	Rb μg/g	Sr μg/g	$\frac{^{87}Rb}{^{86}Sr}$	$\frac{^{87}Sr}{^{86}Sr}$	$(\frac{^{87}Sr}{^{86}Sr})_i$	Sm μg/g	Nd μg/g	$\frac{^{147}Sm}{^{144}Nd}$	$\frac{^{143}Nd}{^{144}Nd}$	年龄 (Ma)	$(\frac{^{143}Nd}{^{144}Nd})_i$	$\varepsilon_{Nd}(t)$
	辉长岩	2.013	15.98	0.3590	0.707096 ±30	0.705492 ±35	3.834	18.41	0.1260	0.512233 ±16			
S126	斜长石						0.655	5.195	0.0763	0.512135 ±16	314 ±19	0.511978	−0.50
	辉石						5.301	24.7	0.1298	0.512248 ±15			
TX-11	片麻岩	166.3	44.51	10.87	0.80232	0.7537	2.42	12.28	0.1196	0.511624 ±11		0.511378	−16.7

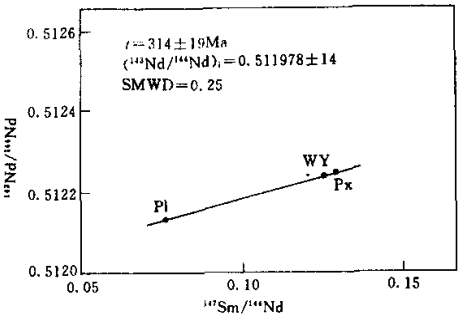

图 2 琼阿乌孜超基性岩的 Sm-Nd 等时线图解

Fig. 2 Diagram of Sm-Nd isochron ages for Qiongawuzi ultrabasic rocks

0.25，完全符合等时线的条件。Sm、Nd 含量关系满足质量平衡要求。因此获得的等时线年龄及初始比值代表了琼阿乌孜岩体的形成年龄，并提供岩浆源区及其演化过程的一些信息。

本岩体的形成时代与菁布拉克基性超基性岩带各岩体的形成时代(320～324Ma)一致(倪守斌等 1994)，也与本区海西中期花岗岩类年龄(310～340Ma，中国科学院登山考察队 1985)和东天山花岗岩年龄(340±20～300±20Ma，新疆地质矿产局区域地质调查大队 1985)相当，从而表明天山在海西中期存在一次较大规模的地质运动。这次活动在北疆地区均有表现。象黄山地区含 Cu、Ni 基性超基性岩 Rb-Sr 年龄约 319Ma(王金良 1990)和喀拉通克 Cu、Ni 矿岩体的 Rb-Sr 年龄 302±14Ma(邓振球 1990)，都反映了本区在海西期板块运移调整过程中相互间的制约性。喀拉通克杂岩带位于阿尔曼太-加波萨尔晚古生代岛弧带的弧后盆地(王有标 1990；邓振球 1990)；黄山杂岩带位于觉罗塔格石炭纪岛弧带的弧后盆地中，北山杂岩带处于在北山古生代裂谷带中(王有标 1990)，这些表明在晚古生代天山运动时期，北疆板块南移，致使北疆地区处于拉张环境，原来统一的块体发生分解，产生一些岛弧带的弧后盆地和裂谷。这为地幔部分熔融的岩浆上涌提供了有利的通道，造成了北疆地区特有的基性超基性杂岩带的形成环境并使它们具有同时性的特征。

3.2　超基性岩稀土元素特征

从表 2 中可能看出，琼阿乌孜的 REE 丰度很低。S117 和 S127 两样品的 HREE 丰度低于检出限。在球粒陨石标准化图(图 3)上，此三个超基性岩样品的 LREE 丰度曲线大体平行，$\Sigma REE=4.0\sim7.6\mu g/g$，$(La/Lu)_N$ 约为 4.3，即 LREE 略富集，落在大陆超基性岩的范围内，具有 Eu 的负异常($Eu/Eu^*=0.44\sim0.48$)和 Ce 的负异常[$(Ce/La)_N=0.58\sim0.67$]。众所周知，在结晶分异占主导地位的各岩相带岩石的 REE 分布型式大体互相平行(涂光炽等 1984)。因此，琼阿乌孜超基性岩主体部分是由同源岩浆通过结晶分异作用形成。低的 ΣREE 表明岩浆来自地幔的较高程度的部分熔融。岩石结构和矿物组合表明超基性岩可能是辉长质岩浆早期结晶的堆晶岩。大的 Eu 负异常则很可能是斜长石相分离结晶作用的表现。Ce 的负异常也许表明岩石形成于氧化环境，即地壳浅部。

3.3　侵入体边缘相岩石的 REE 和 Sr、Nd 同位素特征

采自岩体西部边缘的辉长岩(S126)的 REE 分布与侵入体的主体超基性岩很不相同。其 ΣREE 为 111.56μg/g，$(La/Lu)_N=16.61$，有小的 Eu 负异常。高的 ΣREE 丰度和 LREE 较高的富集，反映了有沉积岩或沉积变质岩的同化混染作用。这种同化混染源很可能来自于岩体的围岩片麻岩(XT-11)，其 $\Sigma REE=196.17\mu g/g$，$(La/Lu)_N=9.62$。由于琼阿乌孜母岩浆的 REE 丰度很低，而片麻岩的 REE 丰度比它高得多，因此同化少量围岩可以影响 REE 的丰度和分配型式，并使轻稀土富集。但 S126 的 $(La/Lu)_N$ 值大于以片麻岩(XT-11)为代表的混染源，单纯从围岩同化是不能解释的，必定要求从辉长岩浆的进一步结晶分异来解释。

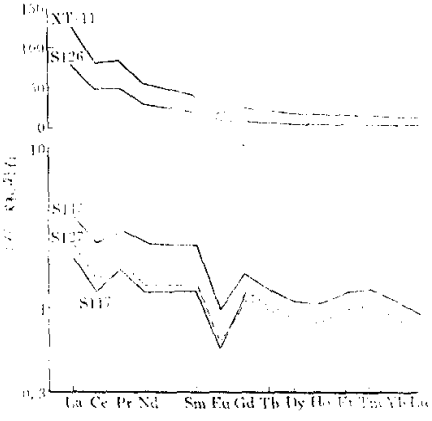

图 3　琼阿乌孜岩类稀土配分型式

Fig. 3　REE Pattern

从获得的年龄数据和样品中 Sr 同位素比值，可能扣除自岩石形成以来积累的放射成因同位素，从而计算 S126 样品中的 Sr 同位素初始比值。得到 $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ 为 0.7055。由 Sm-Nd 等时线获得 $(^{143}Nd/^{144}Nd)_i$ 为 0.511978，即 ε_{Nd} 为 −5.0。由 MORB 源和未亏损地幔或原始地幔(CHUR)或其混合物熔融产生的岩浆的 ε_{Nd} 一般为正值，而琼阿乌孜岩体边缘相岩石 ε_{Nd} 为 −5.0，$^{147}Sm/^{144}Nd$ 为 0.126，远偏离了地幔端元组分，结晶分异不会导致同位素初始比值的改变。只有古老地壳的同化作用才能使其 ε_{Nd} 改变。事实上琼阿乌孜岩体的一个围岩(XT-11)的 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 为 −16.7，显然围岩同化混染在琼阿乌孜岩体边缘相岩石形成过程中起了重要作用。由于母岩浆的 Nd 含量极低，约 1μg/g(表 3)，同化少量围岩足以使边缘相岩石的同位素组成有显著变化。粗略的质量估计表明围岩同化量约为岩浆质量的 10%。

但是 S126 的 Sr 含量和$^{147}Sm/^{144}Nd$ 比值低于母岩浆和围岩的值，Nd 含量高于母岩浆和围岩，这是混染作用所不能解释的。在结晶分异过程中，Sr 含量下降，Nd 含量增高，且$^{147}Sm/^{144}Nd$ 下降。可见在琼阿乌孜岩浆侵入到近地表环境时，边部的岩浆同化了围岩同时发生结晶分异作用，即发生所谓 AFC 过程。

4 结 论

(1)西天山琼阿乌孜岩体 Sm-Nd 等时年龄为 314±19Ma，代表岩体形成时代，与本区菁布拉克基性超基性岩带和花岗岩类以及北疆黄山、喀拉通克基性超基性杂岩带，同时在拉张环境下形成，表明北疆地区在古生代晚期(天山运动)北疆板块南移，产生岛弧带的弧后盆地和裂谷。在这期间形成了北疆地区特有的基性超基性杂岩带。

(2)琼阿乌孜超基性岩主体部分是由来自未亏损地幔较高程度部分熔融形成的岩浆经过结晶分异作用形成的，超基性岩可能是辉长岩浆早期结晶的堆晶岩。

(3)超基性岩体的边缘相受到了地壳物质的同化混染，其岩石成分、REE 分配型式、同位素组成受地幔和地壳二端元组分的制约，成岩作用中经历了 AFC 过程。

参 考 文 献

中国科学院登山考察队. 1985. 天山托木尔峰地区的地质与古生物. 乌鲁木齐：新疆人民出版社，86～94

王有标. 1990. 新疆铜镍硫化物矿床的基本地质特点. 新疆地质，(4)：305～320

王作勋，邬继易，吕喜朝，张经国，刘成德(黄汲清、姜春发指导). 1990. 天山多旋回构造演化及成矿. 北京：科学出版社，83～188

王金良. 1990. 对新疆北部主要含铜镍基性-超基性杂岩带(体)地质特征认识. 新疆矿产地质，(1～2)：11～16

邓振球. 1990. 新疆铜镍硫化物矿床地质地球物理模式及找矿标志. 新疆地质，(3)：193～204

王银喜，杨杰东，陶仙聪，李惠民. 1988. 化石、矿物和岩石样品的 Sm-Nd 同位素实验方法研究及其应用. 南京大学学报(自然科学版)，(2)：297～308

任纪舜，姜春发，张正坤，秦德余(黄汲清指导). 1980. 中国大地构造及其演化. 北京：科学出版社. 90～105

李志昌，万廷华，杜同民. 1988. 钐钕法实验条件研究和地质应用. 中国地质科学院宜昌地质矿产研究所所刊，(13)：1～23

涂光炽主编. 1984. 地球化学. 上海：上海科技出版社. 447

倪守斌，满发胜，陈江峰. 1994. 新疆菁布拉克基性超基性岩带的 Sm-Nd 同位素年龄. 岩石矿物学杂志，(3)：227～231

新疆维吾尔自治区地质矿产局区域地质调查大队. 1985. 天山花岗岩地质. 北京：地质出版社，3～21

Yang Jiedong, Wang Yinxi et al. 1986. In: Chen Junyan ed, Aspects of Cambrian-Ordovician boundary in Dayangcha, China. China Prospect House, 72～78