

# 西南天山阔克萨彦岭地区巴雷公地幔 橄榄岩成因及其地质意义

王超<sup>1,2</sup>, 刘良<sup>2</sup>, 罗金海<sup>2</sup>, 车自成<sup>2</sup>, 张静艺<sup>2</sup>, 桂小军<sup>3</sup>

1. 中国地质调查局西安地调中心, 陕西西安 710054

2. 大陆动力学国家重点实验室, 西北大学地质学系, 陕西西安 710069

3. 长庆油田公司勘探开发研究院, 陕西西安 710021

**摘要:** 巴雷公蛇绿混杂岩位于西南天山阔克萨彦岭地区, 代表了南天山古生代洋盆的洋壳残片. 通过其中的地幔橄榄岩进行详细的地球化学研究, 分析其岩石成因及其形成环境. 主量和微量元素特征显示巴雷公蛇纹石化橄榄岩 Ti、Al 含量低, Cr (1 604~3 863), Ni ( $1.719 \times 10^{-6} \sim 2.375 \times 10^{-6}$ ) 和  $Mg^\#$  值 (0.90~0.92) 高; 样品的稀土强烈亏损 ( $\Sigma REE = 0.28 \times 10^{-6} \sim 0.35 \times 10^{-6}$ , Yb = 0.1~0.11  $\times$  CD), 呈宽缓的 U 型 REE 配分模式; 原始地幔标准化蛛网图显示, 强烈富集 Rb、U 和 Sr, 从 LILE (Cs、Rb、Ba、U、K 和 Sr) 到 HREE, 元素含量自左向右随不相容性的逐渐降低, 呈右倾标准化微量元素配分型式; 橄榄岩熔融程度在 20%~25% 之间, 为俯冲带氧化条件下的熔融残留物. 上述特征显示了俯冲板片流体与俯冲带上地幔楔物质的相互作用, 具有俯冲带型地幔橄榄岩特征. 结合区域新获得的资料, 指示了南天山早古生代洋盆为一成熟的大洋, 早古生代曾发生过洋内俯冲作用. 巴雷公蛇纹石化橄榄岩可能产生在南天山古生代洋内俯冲作用中的大洋岛弧的弧前地幔楔部位.

**关键词:** 地幔橄榄岩; 俯冲带; 地幔熔融; 巴雷公; 阔克萨彦岭; 南天山.

中图分类号: P588.14; P59; P581

文章编号: 1000-2383(2008)02-0165-09

收稿日期: 2007-09-25

## Petrogenesis and Geological Implication of Serpentinized Peridotites in the Kokshal Segment, South Tianshan

WANG Chao<sup>1,2</sup>, LIU Liang<sup>2</sup>, LUO Jin-hai<sup>2</sup>, CHE Zi-cheng<sup>2</sup>, ZHANG Jing-yi<sup>2</sup>, GUI Xiao-jun<sup>3</sup>

1. *Xi'an Institute of Geology and Mineral Resource, China Geological Survey, Xi'an 710054, China*

2. *State Key Laboratory of Continental Dynamics, Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, China*

3. *Institute of Exploration and Development, Changqing Oilfield Company, Xi'an 710021, China*

**Abstract:** South Tianshan is a prominent intracontinental collisional orogenic belt and a key to understand the central Asia tectonic evolution. The serpentinized peridotites from Baleigong ophiolitic mélangé was emplaced in the southwestern Kokshal area, which represents lithosphere remnants of the Early Paleozoic Southwestern Tianshan Ocean. The serpentinized peridotites are characterized by low Ti, Al contents and high Cr (1 604—3 863), Ni ( $1.719 \times 10^{-6} \sim 2.375 \times 10^{-6}$ ),  $Mg^\#$  (0.90—0.92). The right slopping PUM-normalized trace element patterns and the U-shape chondrite-normalized REE pattern reveal that these rocks cannot be residues of simple melt extraction. They can be modeled as restites after 20%—30% partial melting from already depleted mantle in a supra-subduction zone (SSZ) geotectonic setting, in which a constant flux of a slab-derived fluid component added to the mantle wedge during melting. Combined with recent studies, it is concluded that the Paleozoic Southwestern Tianshan Ocean was a mature one that had even experienced a subduction event in Early Paleozoic. The serpentinized peridotites were formed at the fore-arc of the intra-oceanic subduction zone.

**Key words:** mantle peridotite; supra-subduction zone; mantle melting; Baleigong; Kokshal; South Tianshan.

地幔橄榄岩包含有从岩浆组分中不易得到的地幔熔融萃取过程中的丰富信息 (Johnson *et al.*, 1990). 上地幔岩石可以形成于洋中脊、洋岛、海地平原、岛弧、俯冲带、弧前或弧后等构造环境. 一系列的研究表明, 无论是大陆环境还是大洋环境的橄榄岩均反映了上地幔存在不同程度的地幔交代、熔体交换或熔体—岩石反应 (郑建平等, 2003, 2006; Rampone *et al.*, 2004). 地幔橄榄岩的全岩地球化学和矿物化学特征的详细研究, 为深入认识岩石圈地幔演化和构造环境提供了新的途径.

南天山造山带为中天山南缘断裂带以南的天山地区, 从我国新疆, 沿中吉边境, 经吉尔吉斯斯坦、塔吉克斯坦和乌兹别克斯坦, 直到咸海, 长达千余公里 (图 1a). 在震旦纪—早古生代, 它是卡拉库姆—塔里木板块和哈萨克斯坦板块之间的一个宽阔的古洋盆 (Volkava and Budanov, 1999). 在南天山造山带中分布有许多蛇绿混杂岩. 前人多是对其中的上部熔岩 (镁铁质岩石) 进行研究, 而对其中的地幔橄榄岩均未进行详细研究. 地幔橄榄岩具有丰富而特殊的岩石圈地幔动力学演化信息, 这对于认识南天山地质演化过程中的地球动力学和构造演化具有非常重要的意义. 阔克萨彦岭巴雷公地区的镁铁—超镁铁质岩套作为蛇绿混杂岩已见报道 (梁云海等,

1999; 王超等, 2007a). 本文通过对该岩套中的地幔橄榄岩详细的地球化学研究, 分析其岩石成因及其熔融过程中的流体作用, 讨论其形成环境, 为深入认识南天山及邻区洋盆演化过程中的岩石圈地幔演化和构造环境提供启示.

### 1 地质背景

阔克萨彦岭地区位于南天山西南缘冲断带之中, 由一系列冲断岩片组成, 主要为志留纪—泥盆纪和石炭纪地层 (图 1b). 志留—泥盆纪地层与中亚南天山东阿赖地区十分相似, 主要由碎屑岩、灰岩和火山岩组成. 碎屑岩发育特征的含炭千枚岩化泥质岩, 火山岩主要为基性火山熔岩和少量中性火山岩, 基性熔岩主要为玄武岩、细碧岩、细碧玢岩, 中性火山岩主要为蚀变安山岩. 石炭纪地层主要由碎屑岩和灰岩组成, 夹极少量玄武岩—流纹岩. 1/20 万阿合奇幅区域地质图将其中的志留—泥盆纪地层定为乌帕塔尔坎群 ((S—D<sub>2</sub>)<sub>wp</sub>). 近年来境外阔克萨彦岭地区的研究进展表明, 在南天山洋开始于罗迪尼亚超大陆事件造成的裂解时期 (何国

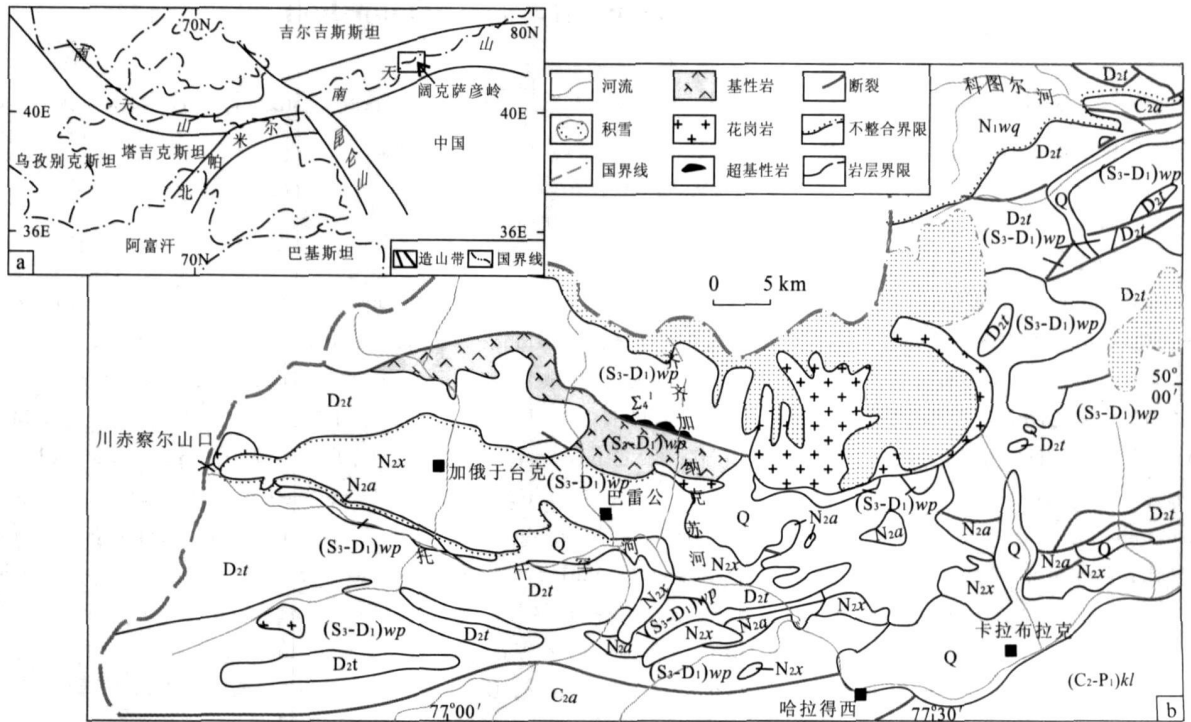


图 1 (a) 南天山构造轮廓图; (b) 巴雷公地区地质图

琦等, 2001). 在晚志留—早泥盆世, 阔克萨彦岭为被动陆缘斜坡带, 沿阔克萨彦岭主脊一带, 向西延入哈萨克斯坦境内(梁云海, 2000).

巴雷公镁铁—超镁铁质岩石出露于乌帕塔尔坎群之中, 位于阔克萨彦岭西南部(阿合奇县城西北约 120 km 处), 托什罕河上游北岸的齐齐加纳克苏河两侧(图 1b). 该岩体呈近东西向分布, 长轴平行齐齐加纳克苏逆冲断层走向. 岩体主要由蛇纹石化橄榄岩、辉绿(辉长)岩、辉绿玢岩和块状玄武岩组成, 伴生有硅质岩、泥灰岩等. 岩体和伴生岩石多呈残块状分布于构造岩片之中.

## 2 岩石特征

超镁铁质岩石主要为蛇纹石化橄榄岩, 其出露宽约 20 m, 呈透镜体状沿齐齐加纳克苏断裂分布, 北侧与 S<sub>1</sub>—D<sub>2</sub> 变砂泥岩呈断层接触, 南侧与泥灰岩断层接触. 手标本为墨绿色, 细晶质块状, 蛇纹石化非常强烈. 显微镜下观察, 发育网状结构, 主要矿物为蛇纹石(80%), 其他矿物主要为磁铁矿(6%~9%)、方解石(6%~8%)、绢石(2%~5%)和铬铁矿(1%~2%)等. 蛇纹石以纤维蛇纹石和叶蛇纹石为主, 具有碳酸岩化.

## 3 测试方法

本文选取了新鲜岩石样品, 经粗碎后, 挑选足够多的新鲜无脉体的碎块细碎至 200 目以下, 进行地球化学分析. 主量、微量元素分析在西北大学大陆动力学国家重点实验室完成, 分析结果见表 1. 主量元素含量在日本理学 RIX2100 XRF 仪上测定; 微量和稀土元素是在美国 Perkin Elmer 公司 Elan 6100DRC 型电感耦合等离子质谱(ICP-MS)仪上测试, 样品测试中采用 AVG-1 和 BHVO-1 国际标样监控. 具体测试方法见柳小明等(2004).

## 4 地球化学特征

### 4.1 主量和微量元素

岩石主量和微量元素分析结果见表 1, 表中数据均为原始数据. 由于巴雷公地幔橄榄岩受到了不同程度的水化和碳酸盐化作用, 烧失量较高. 本文对

表 1 巴雷公蛇纹岩化橄榄岩主量元素(%)和微量元素( $\mu\text{g/g}$ )化学分析组成

Table 1 Whole-rock major and trace element data for peridotites from Baleigong, South Tianshan

样品	05QQ77	05QQ79	05QQ96
SiO <sub>2</sub>	37.03	33.46	38.94
TiO <sub>2</sub>	0.03	0.02	0.01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.57	0.56	0.63
TFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.53	6.68	8.61
MnO	0.12	0.17	0.06
MgO	38.61	38.56	37.64
CaO	0.20	1.90	0.60
Na <sub>2</sub> O	0.05	0.06	0.03
K <sub>2</sub> O	0.01	0.00	0.00
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.01	0.01	0.01
LOI	14.85	18.92	13.46
Total	100.01	100.34	99.99
Mg <sup>#</sup>	0.90	0.92	0.90
Li	0.57	4.81	9.59
Be	0.01	0.00	0.01
Sc	5.86	5.29	9.62
V	31.2	20.7	36.3
Cr	3864	1604	3001
Co	110	93	121
Ni	1828	1719	2375
Cu	2.83	2.00	7.00
Zn	43.2	39.8	42.2
Ga	0.64	0.45	0.74
Ge	0.76	0.69	3.22
Rb	0.01	0.03	0.47
Sr	3.87	18.9	79.8
Y	0.09	0.27	0.15

样品	05QQ77	05QQ79	05QQ96
Zr	0.25	0.51	0.28
Nb	0.10	0.13	0.29
Cs	0.01	0.04	0.00
Ba	2.32	2.39	5.08
La	0.05	0.05	0.05
Ce	0.08	0.12	0.09
Pr	0.03	0.01	0.01
Nd	0.10	0.07	0.03
Sm	0.01	0.01	0.01
Eu	0.01	0.01	0.01
Gd	0.01	0.02	0.01
Tb	0.00	0.00	0.00
Dy	0.01	0.02	0.01
Ho	0.00	0.00	0.00
Er	0.01	0.01	0.02
Tm	0.00	0.00	0.00
Yb	0.02	0.02	0.03
Lu	0.00	0.00	0.01
Hf	0.01	0.02	0.01
Ta	0.02	0.03	0.01
Pb	3.61	1.99	0.44
Th	0.06	0.09	0.07
U	0.06	0.02	0.00
ΣREE	0.33	0.35	0.28
(La/Yb) <sub>N</sub>	2.39	2.09	1.00
(La/Sm) <sub>N</sub>	2.58	2.12	6.02
(Gd/Yb) <sub>N</sub>	0.57	0.97	0.20

$$\text{Mg}^{\#} = \text{Mg}^{2+} / (\text{Mg}^{2+} + \text{Fe}^{2+} (\text{total}))$$

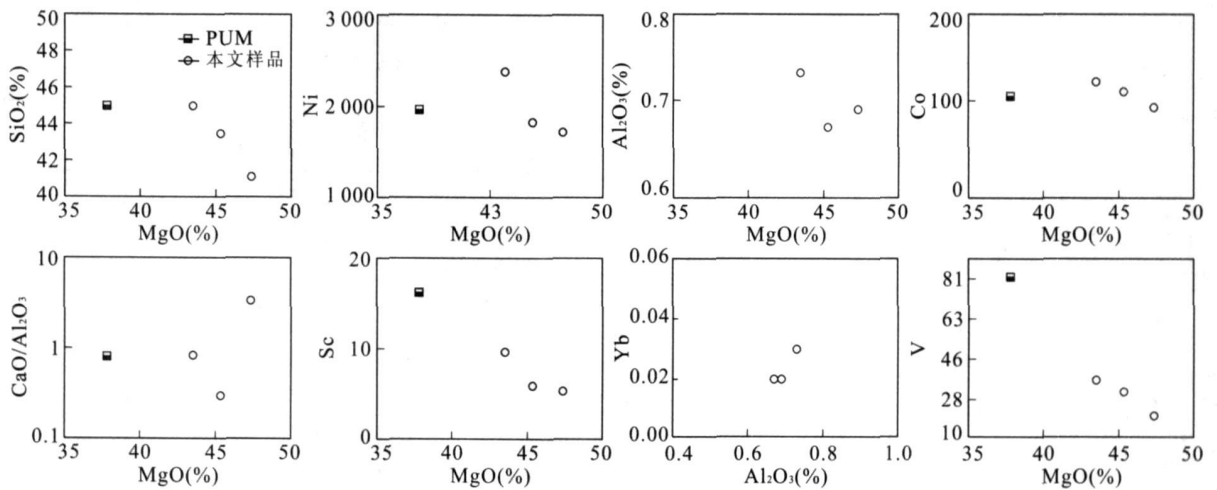


图 2 MgO(无水)及相关元素关系图解

Fig. 2 Plots of abundance of variation elements against MgO (anhydrous)

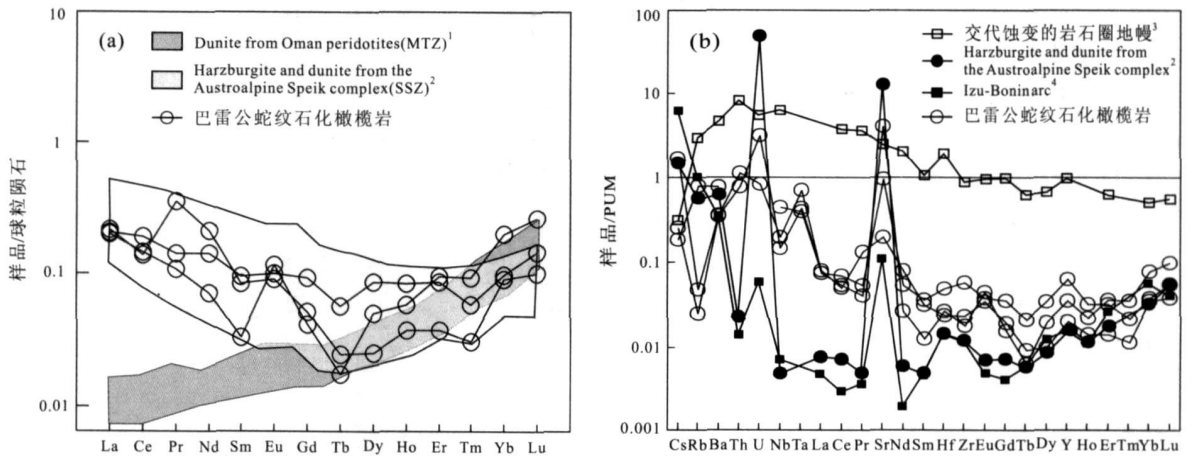


图 3 (a)巴雷公蛇纹石化橄榄岩球粒陨石标准化稀土配分模式及(b)微量元素原始地幔标准化蛛网图

Fig. 3 (a) Chondrite-normalized rare earth element diagrams and (b) whole rock multielement diagrams normalized to primitive upper mantle (PUM, McDonough and Sun, 1995) for ultramafic samples of Baleigong

参考数据为 1. Godard *et al.* (2000); 2. Melcher *et al.* (2002); 3. Hartmann and Wedepohl (1990); 4. Parkinson and Pearce (1998); 球粒陨石数据引自 Sun and McDonough (1989); PUM 数据引自 McDonough and Sun (1995)

讨论涉及的部分主量元素扣除烧失量后进行了重新计算. 与原始地幔相比, 巴雷公蛇纹石化橄榄岩具有高 MgO (43.50% ~ 47.36%, 无水)、Cr ( $(1\ 604 \sim 3\ 863) \times 10^{-6}$ ) 和 Ni ( $(1\ 719 \sim 2\ 375) \times 10^{-6}$ ) 含量和低的 Ti、Al 和 Ca 含量, 显示了原始地幔经过高度部分熔融的残留地幔橄榄岩特征. MgO 与 SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Y、V、Sc、Ni 和 Co 均呈负相关 (图 2), 显示了其不相容程度和橄榄岩亏损程度的关系. Yb 和 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 呈正相关关系, 说明 Al 和 Yb 与熔融程度相关, 在蚀变过程中具有不活动性. CaO 与 MgO 相互关系不明显, 可能是碳酸盐化影响的结果. 由于 Ni 和 Co 在地幔熔融过程中是相容元素, 在地幔橄榄

岩中应当随 MgO 含量增加而增加, 所以图 2 中的负相关特征与正常地幔熔融特征不一致.

#### 4.2 稀土和微量元素配分型式

样品的稀土总量非常低, 强烈亏损 ( $\Sigma\text{REE} = 0.28 \times 10^{-6} \sim 0.35 \times 10^{-6}$ ,  $\text{Yb} = 0.1 \sim 0.11 \times \text{CI}$ ), 呈宽缓的 U 型 REE 配分模式 (图 3a), 轻稀土相对于中、重稀土富集, 中稀土含量最低 ( $\text{La}_N/\text{Yb}_N = 1.00 \sim 2.39$ ,  $\text{La}_N/\text{Sm}_N = 2.12 \sim 6.02$ ,  $\text{Gd}_N/\text{Yb}_N = 0.20 \sim 0.97$ ), 与东阿尔卑斯早中生代 Speik Complex 中的俯冲带 (suprasubduction zone) 成因的方辉橄榄岩相似. 这种配分型式在其他俯冲型蛇绿岩中的橄榄岩也有报道, 如 Cyclops (Monnier *et al.*,

1999)、New Caledonia (Prinzhofer and Allègre, 1985)和 Mariana(Parkinson *et al.*, 1992)等. 它不同于阿曼蛇绿岩中壳幔转换带(MTZ)物质底辟上升熔融形成的纯橄岩(Godard *et al.*, 2000)和 East Pacific Rise 的深海橄榄岩(Niu and Hrdkian, 1997)(图 3a). 部分样品具有正的 Eu 异常, 可能反映了一个早期来自于洋中脊或者早期古大陆裂解形成 MORB 源区的熔融事件(Parkinson and Pearce, 1998).

原始地幔标准化蛛网图(图 3b)显示, 从 LILE (Cs, Rb, Ba, U, K 和 Sr)到 HREE, 除 Rb、U、Ta 和 Sr 外, 其他元素的含量自左向右随不相容性的逐渐降低, 从 Sm 到 Lu 呈凹型, 曲线趋于平缓, 呈右倾标准化微量元素配分型式. 活动元素(Cs, Rb, Ba, U, K 和 Sr)相对富集, Sr 和 Y 相对于毗邻元素富集. 这种总体特征与高度亏损两阶段熔融的俯冲带橄榄岩(Parkinson and Pearce, 1998; Monnier *et al.*, 1999; Proenza *et al.*, 1999; Melcher *et al.*, 2002)相似, 但 LILE 和 LREE 含量更高.

## 5 讨论及结论

### 5.1 岩石成因及源区性质

由于巴雷公橄榄岩发生了强烈的蛇纹石化作用, 其原始矿物组合已经消失, 不能利用矿物学特征去讨论其岩石成因. 本文主要利用地球化学特征去判别其原岩、成因和讨论其形成的大地构造环境.

5.1.1 蛇纹石化作用对元素活动性的影响 由于橄榄岩受到的蛇纹石化、交代或变质作用不是等化

学的, 因此在用岩石化学研究其成因和源区性质要注意各类元素的活动性. Si/(Mg+Fe)-LOI 图解(El-Rus *et al.*, 2006)可以显示主量元素在不同程度蛇纹石化作用中的活动性. Si/(Mg+Fe)和烧失量(LOI)呈负相关关系(图 4b), 说明在蛇纹石化作用中存在 Si 的迁出. 样品中  $L_{AN}/Y_{BN}$ 、 $L_{AN}/S_{mN}$  比值与 LOI 的变化没有明显的对应关系, 说明仅靠蛇纹石化作用不能导致 LREE 的富集. 由于样品强烈的蛇纹石化可以改变其原始的 Si、Ca 和 Mg 的含量, 所以对其原岩类型只能做粗略的估计. 本文通过扣除水后重新计算, 巴雷公蛇纹石化橄榄岩的 Si/(Mg+Fe)值介于 0.58~0.62 之间, 显示其为橄榄石( $Si/(Mg+Fe)=0.5$ )和斜方辉石( $Si/(Mg+Fe)\approx 1.0$ )的组合, 原岩可能为方辉橄榄岩(图 4a). 巴雷公橄榄岩几乎全部蛇纹石化, 强烈富集活动性元素(Cs, Rb, Ba, U 和 Sr 等)(图 5), 可以解释为俯冲板片弯曲部位的张性断层的海水热液流体渗滤和弧前地幔楔物质受到俯冲板片释放的水稀释的蛇纹石化作用(Li and Aeolus, 2006), 见下文讨论.

5.1.2 熔融程度 不相容元素的含量与熔融萃取程度相关, 对于部分熔融过程应该用不受俯冲带交代影响的元素来模拟, 如 Ni、Co、Sc、V、Ga、Al、Y 和 HREE 等(Pearce and Parkinson, 1993). 部分熔融与氧逸度的关系密切, 钒(V)的含量受熔融过程中的氧逸度控制, 可以很好地反映地幔橄榄岩的熔融程度(Pearce and Parkinson, 1993; Canil, 2004).

深海橄榄岩形成于还原条件下(QFM-1), V 是中等不相容元素, 部分熔融导致残留地幔中 V 的低度亏损; 而俯冲带橄榄岩为氧化条件下(QFM+

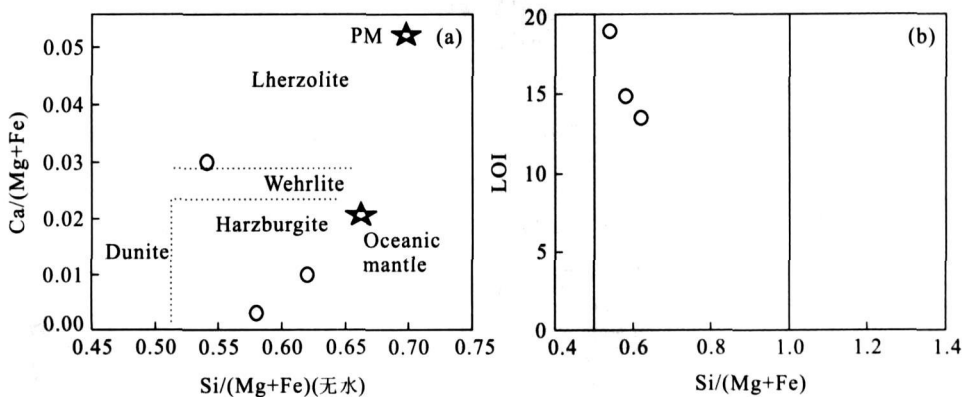


图 4 (a) Si/(Mg+Fe)-Ca/(Mg+Fe) (无水) 图解(El-Rus *et al.*, 2006); (b) Si/(Mg+Fe)-LOI 图解 Fig. 4 (a) Rock classification based on the relationship between the atomic ratios Si/(Mg+Fe) and Ca/(Mg+Fe) (anhydrous) (El-Rus *et al.*, 2006); (b) Si/(Mg+Fe)-LOI diagram

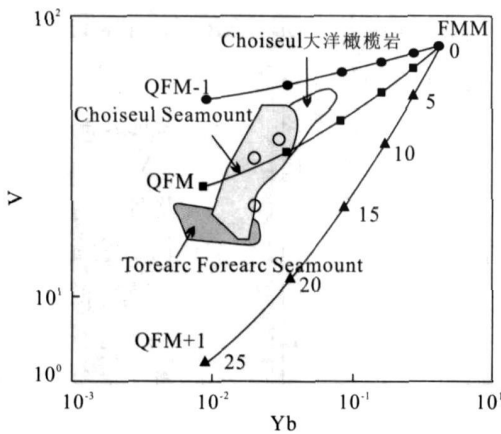


图 5 巴雷公蛇纹石化橄榄岩的 Yb—V 图解 (Pearce and Parkinson, 1993)

Fig. 5 Bivariate diagrams of Yb vs. V (in ppm) for residual peridotites, according to Pearce and Parkinson (1993) 图中数字代表地幔熔融程度(%), V—Yb 图解上面的落点表示不同氧逸度的熔融分馏趋势; QFM 指铁橄榄石—磁铁矿—石英; QFM-1 为还原条件下的部分熔融曲线; QFM+1 为氧化条件下的部分熔融曲线

1) 部分熔融的产物, V 为高度不相容元素, 在残留地幔中强烈亏损. V—Yb 图解可以有效地判别俯冲带橄榄岩及其熔融程度 (Pearce and Parkinson, 1993). 巴雷公蛇纹石化橄榄岩的氧逸度分布在 QFM 附近 (图 5), 具有向高氧逸度 (QFM+1) 靠近的趋势, 与俯冲带岩浆—残留 MORB 地幔 (residual MORB mantle) 反应的 Conical Seamount 橄榄岩特征相似. 其熔融程度在 20%~25% 之间, 该橄榄岩高度亏损的程度具有许多俯冲带环境的特征 (Parkinson and Pearce, 1998; Monnier *et al.*, 1999; Melcher *et al.*, 2002).

**5.1.3 流体—地幔相互作用** 熔体—地幔反应是地幔楔中的一个重要过程. 岩浆和残留橄榄岩的组分受熔体—地幔反应的形式和数量控制 (Kelemen *et al.*, 1990). 俯冲板片流体对地幔楔橄榄岩的渗滤作用主要表现在 2 个方面: (1) 通过与橄榄岩发生水合作用和降低橄榄岩的固相线使橄榄岩熔融程度升高; (2) 携带俯冲板片中的易活动元素进入橄榄岩, 使地幔楔橄榄岩富集 (Bizimis *et al.*, 2000). 弧下地幔中的含水流体可以降低橄榄岩的固相线使其发生熔融, 但是 H<sub>2</sub>O 也是地幔橄榄岩矿物相中的高度不相容组分, 所以发生初次熔融后的残留橄榄岩应当是基本无水的 (Michael, 1988). 为了保持进一步熔融, 还需要新的流体渗滤. 俯冲板片含水矿物相

(如角闪石、多硅白云母等) 的分解 (Stolper and Newman, 1994) 和俯冲板片在地幔楔中的脱水反应 (Poli and Schmidt, 1995) 可以产生富 H<sub>2</sub>O 流体, 这种连续的流体渗滤使橄榄岩发生高度熔融 (Bizimis *et al.*, 2000). 新近的研究进一步表明, LREE 和 Sr 富集的 U 型 REE 配分模式是方辉橄榄岩和纯橄岩常见的 REE 配分模式, 并且这种 REE 配分模式不受蛇纹石化程度影响, 而可以由大量多孔渗流体的熔融萃取、开放体系的熔融和熔体—岩石的反应形成 (Melcher *et al.*, 2002).

巴雷公蛇纹石化橄榄岩具有 U 型 REE 配分模式, 但 LREE 不是强烈富集 ( $C_e = 0.11 \times CI$ ), 稀土总量变化不大, 并且部分具有 Eu 正异常, 不同于上升的地幔熔体以底辟熔融形成的 U 型 LREE 富集型稀土配分模式 (Prinzhofer and Allègre, 1985). 其主、微量元素特征及其高的熔融程度说明该橄榄岩是高度地幔熔融的残留物. 不相容元素的强烈富集 (如 LREE 富集型式) 和 MgO—Ni、MgO—Co 的负相关关系均与标准的上地幔平衡熔融模式不一致 (Shaw, 1970), 反映了变质作用或交代流体的影响 (Niu, 2004), 可能是熔体—残留地幔反应的结果 (Rampone *et al.*, 2004). 结合其氧化条件下的高熔融程度 (20%~25%) 以及富集不相容元素微量元素特征, 指示了一个俯冲带环境下的熔融过程. 由于在地幔楔中存在含水流体的渗滤作用, 巴雷公橄榄岩可能是早期熔融亏损的洋壳随着俯冲消减, 俯冲板片流体与古大洋岩石圈在地幔楔中熔融的残留物.

## 5.2 地质意义

目前在中国南天山中主要对南天山古洋盆的性质、洋盆的多次开合以及洋盆最终闭合、碰撞造山的时限等问题进行了较多研究 (王超等, 2007a, 2007b 及其引文), 为认识中亚构造演化和显生宙地壳增生的方式提供了重要的信息. 但前人对于南天山古洋盆的早期演化过程涉及很少. 南天山分布的大量镁铁—超镁铁质岩石 (或蛇绿岩) 对认识南天山古洋盆的演化历史提供了丰富的信息.

近几十年来通过岩石学和地球化学等方面的研究, 国内外将蛇绿岩形成的构造环境与地幔动力学联系起来, 划分出了洋中脊 (MOR, mid-ocean ridges) 型和俯冲带 (SSZ, Supra-subduction-type ophiolites) 型蛇绿岩 (Pearce *et al.*, 1984; 史仁灯等, 2005; 兰朝利等, 2007). 其中, 地幔橄榄岩是一个重要的判别标志, MOR 型蛇绿岩的地幔橄榄岩和

大陆橄榄岩一般以二辉橄榄岩为主 (Pearce *et al.*, 1984), 现代大洋岩石圈的地幔橄榄岩大部分主要为方辉橄榄岩, 但其 REE 配分模式绝大部分 LREE 亏损至强烈亏损; 然而 SSZ 型蛇绿岩的地幔橄榄岩类型主要为具有 LREE 富集的 U 型配分模式的方辉橄榄岩, 且多含铬铁矿 (王希斌和鲍佩声, 1996; Parkinson and Pearce, 1998; Melcher *et al.*, 2002; 史仁灯等, 2005)。巴雷公岩体的地球化学特征说明该蛇纹石化橄榄岩来自大洋地幔岩石圈, 代表了 SSZ 型蛇绿岩的地幔橄榄岩的残片, 是俯冲板片流体与俯冲带上地幔楔物质不断相互作用的产物, 指示了南天山古生代洋盆为一成熟大洋, 早期可能曾发生过洋内俯冲事件。

最近研究表明该橄榄岩南侧的镁铁质岩石具有洋岛玄武岩的性质, 在中晚奥陶世南天山洋已经为一个成熟的多岛洋盆 (王超等, 2007a)。但蛇纹石化橄榄岩和洋岛火山岩的不相容元素比值具有很大差异, 它们不是来自于同一个母岩浆源区。该洋岛火山岩是由原始岩浆经历了橄榄石和斜方辉石低压分离结晶作用而形成的 (王超等, 2007a), 它与其下部的 SSZ 型蛇绿岩的地幔橄榄岩残片不存在化学成分上的互补关系, 它们具有不同的构造属性。巴雷公蛇纹石化橄榄岩可能产生在南天山古生代洋内俯冲作用中的大洋岛弧的弧前地幔楔部位。

## References

- Bizimis M., Salters Vincent J. M., Bona E., 2000. Trace and REE content of clinopyroxenes from supra-subduction zone peridotites: Implications for melting and enrichment processes in island arcs. *Chemical Geology*, 165: 67—85.
- Canil, D., 2004. Mildly incompatible elements in peridotites and the origins of mantle lithosphere. *Lithos* 77: 375—393.
- El-Rus, M. A. A., Neumann, E. R., Peters V., 2006. Serpentinization and dehydration in the upper mantle beneath Fuerteventura (eastern Canary Islands): Evidence from mantle xenoliths. *Lithos* 89: 24—46.
- Godard, M., Jousset D., Bodinier, J. L., 2000. Relationships between geochemistry and structure beneath a palaeo-spreading centre: A study of the mantle section in the Oman ophiolite. *Earth and Planetary Science Letters*, 180: 133—148.
- Hartmann G., Wedepohl K. H., 1990. Metasomatically altered peridotite xenoliths from the Hessien depression (Northwest Germany). *Geochim. Cosmochim. Acta*, 54: 71—86.
- He, G. Q., Li M. S., Liu, D. Q., et al., 2001. Geotectonic research of Southwest Tianshan and its west adjacent area, China. *Xinjiang Geology*, 19(1): 7—11 (in Chinese with English abstract).
- Johnson, K. T. M., Dick, H. J. B., Shimizu N., 1990. Melting in the oceanic upper mantle: An ion microprobe study of diopsides in abyssal peridotites. *J. Geophys. Res.*, 95: 2661—2678.
- Kelemen P. B., Johnson K. T. M., Kinzler R. J., et al., 1990. High-field-strength element depletions in arc basalts due to mantle-magma interaction. *Nature* 345: 521—524.
- Lan, C. L., Li, J. L., He, S. L., 2007. Ocean-continent subduction within the paleotethyan archipelagic ocean from Muztagh ophiolite. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 32(3): 321—328 (in Chinese with English abstract).
- Li, Z-X. A., Lee, C-T. A., 2006. Geochemical investigation of serpentinized oceanic lithospheric mantle in the Feather River ophiolite, California; Implications for the recycling rate of water by subduction. *Chemical Geology*, 235: 161—185.
- Liang, Y. H., Li, W. Q., 2000. Discussion of opening-closing tectonic belt of Paleozoic in south Tianshan mountains, China. *Xinjiang Geology*, 18(3): 220—228 (in Chinese with English abstract).
- Liang, Y. H., Li, W. Q., Li, W. D., et al., 1999. Ophiolitic emplacement mechanism of Xinjiang. *Xinjiang Geology*, 17(4): 344—349 (in Chinese with English abstract).
- Liu, X. M., Liu, Y., Wang, J. Q., et al., 2004. Examination of sample particle sizes and element contamination in grinding by using different kinds of Mortar Mills. *Rock and Mineral Analysis*, 23(2): 121—124 (in Chinese with English abstract).
- McDonough, W. F., Sun, S. S., 1995. The composition of the earth. *Chemical Geology*, 120: 223—253.
- Melcher, E., Meisel, T., Puhl, J., et al., 2002. Petrogenesis and geotectonic setting of ultramafic rocks in the Eastern Alps: Constraints from geochemistry. *Lithos* 65: 69—112.
- Michael, P. J., 1988. The concentration, behavior and storage of H<sub>2</sub>O in the suboceanic mantle: Implications for mantle metasomatism. *Geochim. Cosmochim. Acta* 52: 555—566.

- Monnier, C., Girardeau, J., Pubellier, M., et al., 1999. Petrology and geochemistry of the cyclopsophiolites (Irian Jaya, East Indonesia): Consequences for the Cenozoic evolution of the north Australian margin. *Mineral. Petrol.*, 65: 1–28.
- Niu, Y., 2004. Bulk-rock major and trace element compositions of abyssal peridotites: Implications for mantle melting, melt extraction and post-melting processes beneath ocean ridges. *J. Petrol.*, 45: 2423–2458.
- Niu, Y., Hekinian, R., 1997. Basaltic liquids and harzburgitic residues in the Garrett transform: A case study at fast-spreading ridges. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 146: 243–258.
- Parkinson, I. J., Pearce, J. A., Thirlwall, M. F., et al., 1992. Trace element geochemistry of peridotites from Izu-Bonin-Mariana forearc, Leg 125. *Proc. Ocean Drill. Program Sci. Results*, 125: 487–506.
- Parkinson, I. J., Pearce, J. A., 1998. Peridotites from the Izu-Bonin-Mariana forearc (ODP Leg 125): Evidence for mantle melting and melt-mantle interaction in a supra-subduction zone setting. *J. Petrol.*, 39: 1577–1618.
- Pearce, J. A., Lippard, S. J., Roberts, S., 1984. Characteristics and tectonic significance of supra-subduction zone ophiolites. In: Kokelaar, B. P., Howells, M. F., eds., *Marginal basin geology*. *Geological Society of London Special Publication*, 16: 77–94.
- Pearce, J. A., Parkinson, I. J., 1993. Trace element models for mantle melting: Application to volcanic arc petrogenesis. In: Pritchard, H. M., Alabaster, T., Harris, N. B. W., et al., eds., *Magmatic processes and plate tectonics*. *Geological Society of London Special Publication*, 76: 373–403.
- Polì, S., Schmidt, M. W., 1995. H<sub>2</sub>O transport and release in subduction zones: Experimental constraints on basaltic and andesitic systems. *J. Geophys. Res.*, 100: 22299–22314.
- Prinzhofer, A., Allègre, C. J., 1985. Residual peridotites and the mechanisms of partial melting. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 74: 251–265.
- Proenza, J., Gervilla, F., Melgarejo, J. C., et al., 1999. Al-rich and Cr-rich chromitites from the Mayaí-Baracoa ophiolitic belt (eastern Cuba): Consequence of interaction between volatile-rich melts and peridotites in supra-subduction mantle. *Econ. Geol.*, 94: 547–566.
- Rampono, E., Romairone, A., Hofmann, A. W., 2004. Contrasting bulk and mineral chemistry in depleted mantle peridotites: Evidence for reactive porous flow. *Earth and Planetary Science Letters*, 218: 491–506.
- Shaw, D. M., 1970. Trace element fractionation during anatexis. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 34: 237–243.
- Shi, R. D., Yang, J. S., Xu, Z. Q., et al., 2005. Recognition of MOR- and SSZ-type ophiolites in the Bangong Lake ophiolite mélange, western Tibet: Evidence from two kinds of mantle peridotites. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 24(5): 397–408 (in Chinese with English abstract).
- Stolper, E., Newman, S., 1994. The role of water in the petrogenesis of Mariana trough magmas. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 121: 293–325.
- Sun, S., McDonough, W. F., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. In: Saunders, A. D., Norry, M. J., eds., *Magmatism in the ocean basins*. *Geological Society of London Special Publication*, 42: 313–345.
- Volkava, N. I., Budanov, V. I., 1999. Geochemical discrimination of metabasalt rocks of the Far-Karategin transitional blueschist/greenschist belt, South Tianshan, Tajikistan, seamount volcanism and accretionary tectonics. *Lithos*, 47: 201–216.
- Wang, C., Liu, L., Che, Z. C., et al., 2007a. Geochronology, petrogenesis and significance of Baleigong mafic rocks in Kokshal segment, Southwest Tianshan. *Geological Review*, 53(6): 743–754 (in Chinese with English abstract).
- Wang, C., Liu, L., Luo, J. H., et al., 2007b. Late Paleozoic post-collisional magmatism in the southwestern Tianshan orogenic belt: Take the Baleigong pluton in the Kokshal region as an example. *Acta Petrologica Sinica*, 23(8): 1830–1840 (in Chinese with English abstract).
- Wang, X. B., Bao, P. S., 1996. Genetic types of Chinese ophiolite and their metallogenetic specialization. In: Zhang, Q., ed., *Study on ophiolites and geodynamics*. Geological Publishing House, Beijing, 69–74 (in Chinese).
- Zheng, J. P., Lu, F. X., Yu, C. M., et al., 2003. Mantle replacement: Evidence from comparison in trace elements between peridotite and diopside from refractory and fertile mantle, North China. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 28(3): 235–240 (in Chinese with English abstract).
- Zheng, J. P., Lu, F. X., Yu, C. M., et al., 2006. Peridotite petrochemistry of the eastern North China: Significance for lithospheric mantle evolution. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 31(1): 49–56 (in Chinese with English abstract).



附中文参考文献

何国琦, 李茂松, 刘德全, 等. 2001. 中国西南天山及邻区大地构造研究. 新疆地质, 19(1): 7—11.

兰朝利, 李继亮, 何顺利. 2007. 古特提斯多岛洋洋—陆俯冲: 木孜塔格蛇绿岩的矿物学证据. 地球科学——中国地质大学学报, 32(3): 321—328.

梁云海, 李文铅. 2000. 南天山古生代开合带特征及其讨论. 新疆地质, 18(3): 220—228.

梁云海, 李文铅, 李卫东, 等. 1999. 新疆蛇绿岩就位机制. 新疆地质, 17(4): 344—349.

柳小明, 刘晔, 王建其, 等. 2004. 不同砾体研磨地质样品产生的元素污染及粒度分布探讨. 岩矿测试, 23(2): 121—124.

史仁灯, 杨经绥, 许志琴, 等. 2005. 西藏班公湖存在 MOR 型和 SSZ 型蛇绿岩——来自两种不同地幔橄榄岩的证据. 岩石矿物学杂志, 24(5): 397—408.

王超, 刘良, 车自成, 等. 2007a. 西南天山阔克萨彦岭巴雷公镁铁质岩石的地球化学特征、年代学及其大地构造意义. 地质论评, 53(6): 743—754.

王超, 刘良, 罗金海, 等. 2007b. 西南天山晚古生代后碰撞岩浆作用: 以阔克萨彦岭地区巴雷公花岗岩为例. 岩石学报, 23(8): 1830—1840.

王希斌, 鲍佩声. 1996. 试论中国蛇绿岩成因及其成矿专属性. 见: 张旗, 编. 蛇绿岩及地球动力学研究. 北京: 地质出版社, 69—74.

郑建平, 路凤香, 余淳梅, 等. 2003. 地幔置换作用: 华北两类橄榄岩及其透辉石微量元素对比证据. 地球科学——中国地质大学学报, 28(3): 2: 35—240.

郑建平, 路凤香, 余淳梅, 等. 2006. 华北东部橄榄岩岩石学特征及其岩石圈地幔演化意义. 地球科学——中国地质大学学报, 31(1): 49—56.

\*\*\*\*\*

### 热烈祝贺《地球科学》(英文版)进入国际著名检索系统 SCIE

根据美国汤姆森科技信息集团科学信息研究所(Thomson ISI)的正式通知和 ISI 网查询,《地球科学》(英文版)(Journal of China University of Geosciences, ISSN: 1002—0705)已经被列入美国《科学引文索引(扩展库)》(SCIE)来源期刊, 2007 年第 18 卷第 1 期开始正式收录.

《地球科学》(英文版)创刊于 1990 年, 十几年来, 在中国地质大学学校领导的大力支持下, 学报编辑部坚持按照国际期刊规范办刊, 坚定不移地走国际化、专业化的道路, 报道中国地球科学领域前瞻性的研究成果和最新发现, 该刊的学术质量稳步上升.

尤其是 1999 年以来,《地球科学》编辑部确立了进入 SCI 的奋斗目标, 为了提高期刊质量, 严格按照 SCI 选刊、评估标准办刊, 并且采取了一系列措施: 2003 年改革了编委会, 增加了 17 名国际编委, 2004—2006 年聘请了英国语言学博士 Paul Richard Weldon 来编辑部工作, 2005 年 9 月与国际著名出版公司 ELSEVIER 签订了合作出版、发行英文版电子版的协议; 2006 年起由国际著名出版集团 ELSEVIER 独家海外发行英文版电子版, 扩大了英文版的国际知名度. 2007 年 6 月 28 日期盼已久的美国汤姆森公司发来喜讯:《地球科学》(英文版)2007 年起正式被 SCIE 收录.

八年来,《地球科学》编辑部在中国地质大学学校和编委会的正确领导下, 主编王亨君教授率领的《地球科学》团队求真务实, 开拓创新, 在选题策划、编辑人才培养、网站建设和国际化发展等方面付出了艰辛的努力, 取得了一次又一次的成绩, 为繁荣科技出版和地球科学事业做出了应有贡献.

今后《地球科学》编辑部将要承担着更大的压力和挑战, 要不断与时俱进, 开拓创新, 为争创国际一流科技期刊而努力奋斗.