

# 高镁安山岩/闪长岩类(HMA)和镁安山岩/闪长岩类(MA):与洋俯冲作用相关的两类典型的火成岩类

邓晋福<sup>1,2</sup> 刘 翠<sup>1</sup> 冯艳芳<sup>1,2</sup> 肖庆辉<sup>1,2</sup>  
苏尚国<sup>1</sup> 赵国春<sup>1</sup> 孔维琼<sup>1</sup> 曹文燕<sup>1</sup>

(1.中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室,北京 100083;2.中国地质调查局发展研究中心,北京 100037)

**摘要:**本文主要基于对实验岩石学成果的简要评述,讨论与洋俯冲作用有关的两类典型的火成岩类:楔形地幔在含水条件下橄榄岩局部熔融产生的高镁安山岩/闪长岩类(HMA)和俯冲洋壳局部熔融岩浆与地幔楔相互作用产生的镁安山岩/闪长岩类(MA)。提出:(1)识别 HMA 和 MA 必须同时运用两套参数系统:SiO<sub>2</sub>-MgO 系统和 SiO<sub>2</sub>-FeO/MgO 系统;(2)区别 HMA 和 MA 是在它们均符合 LF-CA(低 Fe 钙碱趋势)特征条件下,再用 SiO<sub>2</sub>-MgO 系统进一步加以鉴别;(3)识别 HMA 和 MA 的方法,或用在给定 SiO<sub>2</sub> 时, MgO 和 FeO/MgO 的具体数值,或用图解法。

**关键词:**高镁安山岩/闪长岩类;镁安山岩/闪长岩类;与洋俯冲有关的火成岩类

**中图分类号:** P588.12\*2; P588.14\*4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2010)04-1112-07

## 1 前 言

众所周知,高镁安山岩的经典产地是日本 Setouchi 火山带<sup>[1]</sup>,玻安岩的经典产地是日本的 Bonin 岛<sup>[2]</sup>。Shirey & Hauson<sup>[3]</sup>把类似 Setouchi 火山带的高镁安山岩的太古宙二长闪长岩和粗面安山岩称为 Sanukitoid。Crawford et al<sup>[4]</sup>把上述高镁安山岩/闪长岩类统称为 Boninites。Jenner (1981. 转自 Le Maitre 主编,火成岩分类及术语辞典,王碧香等翻译,1991 年版,术语辞典, P.121)<sup>[5]</sup>提出,用高镁安山岩(high-Mg andesite)替代 boninite 名称。Tatsumi<sup>[6]</sup>则把 Bonin 岛的 boninite 和 Setouchi 火山带的高镁安山岩统称为 HMA(s)(高镁安山岩类)。本文把上述富 Mg 的火成岩类称为高镁安山岩/闪长岩类,并常常简称为 HMA(high-Mg andesitic rocks)。

镁安山岩的经典产地是阿留申。Kay<sup>[7]</sup>把两个阿留申的安山岩(70-B49 和 ADK-53)称为镁安山岩

(magnesian andesite, MA), Yagodinski et al<sup>[8,9]</sup>同样地把西阿留申的低 FeO/MgO 安山岩称为 MA。本文则把具镁安山岩特征的闪长岩类与镁安山岩放在一起称镁安山岩/闪长岩类,并常常简称为 MA(Mg andesitic rocks)。

根据对高镁安山岩和镁安山岩的矿物学、岩石学、地球化学的研究,以及它们现今产于环太平洋俯冲带上面的弧盆系内,一般认为,HMA 是俯冲带上面的楔形地幔在俯冲洋壳放出 H<sub>2</sub>O 的条件下发生局部熔融的产物,MA 则是俯冲洋壳脱水熔融产生的岩浆与上覆楔形地幔发生相互作用后形成的岩浆(图 1)。实验岩石学的研究支持上述观点。本文主要是对已有实验成果的评述,讨论 HMA 和 MA 的鉴别,它们对于造山带内与俯冲作用有关的过程的识别,包括识别洋中脊扩张型(Mid-Ocean Ridge Spreading, MORS)和俯冲带上面(Supra-Subduction zone, SSZ)形成的蛇绿岩,有重要意义。

收稿日期:2010-04-15;改回日期:2010-05-30

基金项目:中国地质大学(北京)开放实验室项目(GPMR0735),国家自然科学基金项目(NSFC40802020)及中国地质调查局地质大调查项目(1212010633902,1212010633903,1212010911028,1212010711814)资助。

作者简介:邓晋福,男,1935 年生,教授,博士生导师,岩石学专业;E-mail: dengjinfu@21cn.com。

## 2 高镁安山岩/闪长岩类(HMA)

### 2.1 关于岩石命名的多种方案

关于高镁安山岩/闪长岩类的命名有多种方案。但主要有两种:一种方案是以 MgO (%) 为标准,另一种方案则以 Mg 值为标准。

按 Le Maitre<sup>[9]</sup>的定义,HMA 为 SiO<sub>2</sub>>53%,且 MgO>8%,TiO<sub>2</sub>>0.5%。后来,Le Bas<sup>[10]</sup>代表国际地科联火成岩分类学分会对 SiO<sub>2</sub> 含量进行了修正,提出从 53 % 降到 52 %。而 Tatsumi & Ishizaka<sup>[11]</sup>则把 MgO 含量规定为>6%。

Crawford 等<sup>[12]</sup>将 HMA 定义为 SiO<sub>2</sub>>53 % 和 Mg 值(Mg 值=Mg/(Mg+Fe<sup>+2</sup>,均为分子数))>0.6,这里的 Fe<sup>2+</sup>为全铁,即等于 Fe<sup>+2</sup>+Fe<sup>+3</sup>。而 Cameron 等<sup>[13]</sup>则把 Mg 值规定为>0.7。

这两种命名方案均在国内外文献中广泛使用。一般来说, SiO<sub>2</sub>>52% 的安山岩/闪长岩类, MgO% 高时, Mg 值也高,因此,按任何一种分类方案 HMA 的命名不会有误。但是,自然界情况复杂,岩石成因的机制多样,有时 MgO 含量高时, Mg 值不高,或 Mg 值高时, MgO 并不高,由此,造成了 HMA 命名的误用,进而使构造环境和岩石成因的判断出现错误,笔者曾进行过简要的讨论<sup>[12]</sup>。

### 2.2 有关实验岩石学的简述

地幔橄榄岩在干条件和 CO<sub>2</sub> 加入条件下,不能形成 SiO<sub>2</sub>>52 % 的安山质岩浆,只能形成玄武质岩

浆,只有在 H<sub>2</sub>O 加入的条件下,才能形成安山质岩浆<sup>[13]</sup>,后者正符合洋俯冲带上面的楔形地幔区橄榄岩发生局部熔融的条件(图 1-A),因为俯冲的洋壳玄武岩含 H<sub>2</sub>O,随着俯冲向下,温度和压力的升高,会依次转变为绿片岩、角闪岩、基性麻粒岩及榴辉岩,同时不断地放出 H<sub>2</sub>O,上升进入地幔楔形区,诱发那里的橄榄岩从干的条件进入含水条件,在达到固相线温度后熔出 HMA 岩浆。

这样,含水橄榄岩(hydrous peridotite)的局部熔融实验将为 HMA 的形成提供重要约束。

基于实验岩石学成果<sup>[16,17]</sup>,和 Bonin 岛的 Chichijima HMA<sup>[9]</sup>,Setouchi HMA<sup>[11,18]</sup>,构筑 HMA 的 SiO<sub>2</sub>-MgO 图(图 2-A)和 SiO<sub>2</sub>-FeO/MgO 图(图 2-B)。

由图 2 可知,实验成果对 HMA 的限定有如下几点:

(1)按 SiO<sub>2</sub>-MgO 关系(图 2-A)中的 PQ 线,HMA 的 MgO(%) 的最低值依赖于 SiO<sub>2</sub>(%),而不是一个数值(如前言中所讨论的 MgO 或>8%,或>6%)(表 1)<sup>[22]</sup>。PQ 线的关键点见表 1。

(2)在 SiO<sub>2</sub>-FeO/MgO(%) 关系中(图 2-B),HMA 均位于 LF-CA 区内,或具有强 CA 趋势。

### 2.3 识别 HMA 的建议

(1)从上面的实验岩石学成果的简要讨论,可以认为两个参数(MgO 和 FeO/MgO)的同时使用对鉴别是否为 HMA 是必需的。同样,从自然界典型的

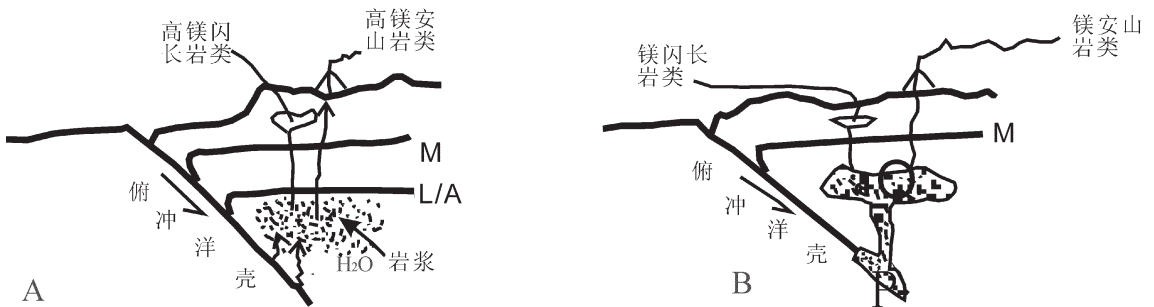


图 1 高镁安山岩/闪长岩类(A)和镁安山岩/闪长岩类(B)形成示意图  
M—莫霍面;L/A—岩石圈/软流圈界面;↑H<sub>2</sub>O—俯冲洋壳放出的水;P—俯冲洋壳脱水熔融形成的岩浆;  
Q—与楔形地幔橄榄岩(包括软流圈和/或岩石圈)反应后形成的岩浆

Fig.1 Diagrammatic map showing the formation of HMA (A) and MA (B) magma

M—Moho;L/A—Boundary between lithosphere and asthenosphere;↑H<sub>2</sub>O—H<sub>2</sub>O—Water from dehydration of subducted oceanic crust;  
P—Melt from dehydration melting of the subducted oceanic basaltic crust;Q—Melt formed by the interaction between the melt (P) and peridotite

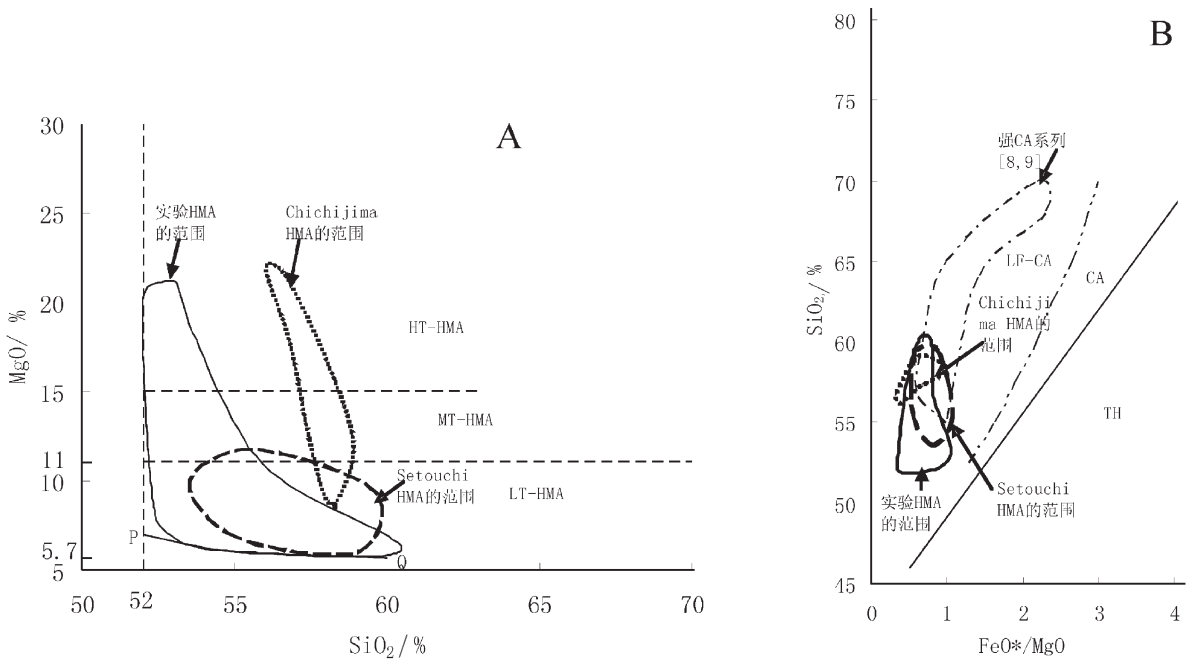


图2 HMA 的 SiO<sub>2</sub>-MgO 图(A)和 SiO<sub>2</sub>-FeO/MgO 图(B)(据 Deng et al<sup>[12,19]</sup>简化)

A 图: PQ 线为 HMA 在 SiO<sub>2</sub> 给定 MgO 最低值(即边界);竖虚线表示 SiO<sub>2</sub>=52%;MgO=11%的虚线表示从实验熔体统计得到的 LT-HMA(低温高镁安山岩)与 MT-HMA(中温高镁安山岩)的分界线;MgO=15%的虚线表示 MT-HMA 与 HT-HMA(高温高镁安山岩)的分界

B 图:直线为 Miyashiro<sup>[20]</sup>的 CA 与 TH 分界线;点划线范围为 Yogodzinski 等<sup>[8,9]</sup>的强 CA 系列;双点划线为 Arculus<sup>[21]</sup>的低 Fe 与中 Fe 系列的边界,本文称前者为低 Fe CA (LF-CA);为方便起本文采用 FeO/MgO 的参数,而不是 Mg 值

Fig.2 SiO<sub>2</sub>-MgO diagram (A) and SiO<sub>2</sub>-FeO/MgO diagram (B) of the HMA (simplified after Deng et al., 2007<sup>[19]</sup>, 2009<sup>[22]</sup>)  
 Fig.2-A:Three contours: solid line is the range of experimental HMA-melt form Fig.1; dot and dashed lines are ranges of Chichijima and setouchi HMA. Line PQ is the lowest MgO at the same given SiO<sub>2</sub> (boundary)

Fig.2-B:Three contours are the same as Fig.2-A. The straight line is the CA/TH boundary by Miyashiro<sup>[20]</sup>. The dot line is strong CA series by Yogodzinski<sup>[8,9]</sup>. The double-dot line is the boundary between low Fe and medium Fe, which is named low Fe CA (LF-CA) by this paper. This paper substitutes FeO/MgO for Mg

HMA 发育地区,日本的 Bonin 岛和 Setouchi 火山带的 HMA 具有与实验熔融同样的特征(图 2-A 和 B),进一步支持了实验岩石学的成果。

(2)HMA 的识别必须同时满足:① MgO≥表 1 中所建议的最低值;② FeO/MgO 位于 LF-CA 区内。

### 3 镁安山岩/闪长岩类(MA)

#### 3.1 MA 和 Adakite(埃达克岩)

Kay<sup>[7]</sup>首先把两个阿留申的安山岩叫镁安山岩(magnesium andesites, MA),一个标本是 70-B49,位于阿留申脊的西端,另一个标本 ADK-53 是从 Adak 岛取到的。两个标本均有异常低的 FeO/MgO 比值(70-B49:SiO<sub>2</sub>=58.5%,FeO/MgO=0.73;ADK-53:SiO<sub>2</sub>=55.5%,FeO/MgO=1.11),同时有高的 Sr, La/Yb, Ni 和 Cr, 和低的同位素 Sr 和 Pb, 这些特征是大多数弧岩浆所不典型的(atypical)。Kay<sup>[2]</sup>解释,

它们是英安质组成的俯冲板片的熔浆,其残余为榴辉岩(Ga+Cpx),然后,与上覆地幔橄榄岩相互作用后转变为安山质组成,最后喷出地表;从而,把镁安山岩(MA)看作为一个永恒的汇聚板块边缘的岩浆岩类型。

Defant & Drummond<sup>[23]</sup>提出,年轻的热的俯冲板片可以熔融生成具有不寻常地球化学印记的安山质和英安质岩浆,并指出,Kay(1978)首先在阿留申弧的 Adak 岛把类似的岩石归因于板片——熔浆(体)(Slab-melt),从而取名为 adakites(埃达克岩),它的地球化学特征(高 Sr,>400×10<sup>-6</sup>;低 Y,≤18×10<sup>-6</sup>,低 HREE,例如 Yb≤1.9×10<sup>-6</sup>,正 Eu 和正 Sr 异常)被认为是与榴辉岩(Ga+Cpx)残余相符合,因此,高的 Sr/Y (>40) 和 La/Yb (>20) 比值可用来鉴别 adakites。

随后,按照高 Sr/Y 和 La/Yb 比值的地球化学

指标,不少研究者,例如 Atherton & Petford<sup>[24]</sup>, Zhang et al<sup>[25]</sup>, 以及 Defant<sup>[25]</sup> 指出,还有另一类 adakites,它们出现于加厚陆壳( $\geq 50$  km)底部榴辉岩熔融产生。

由上可以看出,高 Sr/Y 和 La/Yb 比值指示的榴辉岩源岩的特征是识别 MA 与埃达克岩的必要条件;而低 FeO/MgO,高 MgO、Ni、Cr 特征的 MA 才是满足与洋俯冲有关的火成岩的充分条件<sup>[23]</sup>。下面的讨论,将不再涉及埃达克岩,只限于 Kay 定义的 MA。

### 3.2 有关实验岩石学的简述

俯冲的玄武质洋壳脱水熔融产生的富 SiO<sub>2</sub> 的岩浆,在上升过程中必通过地幔楔形区(图 1-B),在 P 处为富 SiO<sub>2</sub> 熔浆,在上升达楔形地幔区时,必定会与橄榄岩在化学上是不平衡的,反应之后被地幔混染的岩浆为 Q 处,它们富 MgO,低 FeO/MgO 或高 Mg 值。由于橄榄岩比富 SiO<sub>2</sub> 的板片熔浆的 MgO、Mg 值高得多,这样,最后喷出地表或侵位于地表内的必定是镁安山岩/闪长岩类。因此,玄武岩熔融产生的岩浆与橄榄岩的相互作用的实验具有十分重要的关键性意义。

基于玄武岩熔融实验<sup>[27-33]</sup>和玄武岩熔融产生富 SiO<sub>2</sub> 的岩浆与橄榄岩反应的实验<sup>[33-35]</sup>以及阿留申弧 MA<sup>[7-9]</sup>,Panama 的 MA<sup>[6]</sup>,构筑了鉴别 MA 的 SiO<sub>2</sub>-MgO 图(图 3-A)和 SiO<sub>2</sub>-FeO/MgO 图(图 3-B)。

由图 3 可知,实验成果对 MA 的限定如下:

(1) 按 SiO<sub>2</sub>-MgO 关系(图 3-A)中的 RS 线为 MA 的 MgO 最低值,它依赖于 SiO<sub>2</sub>,RS 线的关键点见表 2。

(2) 在 SiO<sub>2</sub>-FeO/MgO 关系(图 3-B)中,MA 均位于 LF-CA 区,或具有强 CA 趋势。

### 3.3 识别 MA 的建议

(1) 由实验岩石学成果的简述中可以看出,两个参数(MgO 和 FeO/MgO)的同时使用是必需的。同样,从自然界阿留申弧 MA 和 Panama MA 具有与

实验 MA 同样的特征(图 3-A 和 B),进一步支持了实验岩石学的成果。

(2) MA 的识别必须同时满足:① MgO $\geq$ 表 2 中所建议的最低值;② FeO/MgO 位于 LF-CA 区内。

## 4 讨论:HMA 和 MA 识别的标志

(1) HMA 和 MA 的识别必需同时使用 SiO<sub>2</sub>-MgO 参数系统和 SiO<sub>2</sub>-FeO/MgO 参数系统,而不是单独的一个 MgO 值或单独的一个 FeO/MgO 值(或 Mg 值)。

(2) 在 SiO<sub>2</sub>-FeO/MgO 参数系统中(图 2-B, 3-B),HMA 和 MA 均为 LF-CA 特征,这表明这一参数系统对识别 HMA 和 MA 均是重要的,但是,它无法区分 HMA 和 MA。这一特征正是某些文献中只根据 Mg 值或 FeO/MgO 比值确认为 HMA 或 MA 造成的混乱,即 HMA 或可能被认为是 MA,MA 可被误鉴定为 HMA,如 Yogodziski et al<sup>[9]</sup>的 Piip 型“MA”实为 HMA,而 Pilbara 太古宙“高镁闪长岩”<sup>[37]</sup>实为 MA<sup>[12]</sup>。

SiO<sub>2</sub>-FeO/MgO 参数系统中,在给定 SiO<sub>2</sub> 时,FeO/MgO 的最低值,即在图 2-B 和图 3-B 中 LF-CA 曲线的 FeO/MgO 比值的最低值列于表 3 (据 Arculus(2003)的低 Fe(LF)和中 Fe(MF)的边界数据<sup>[21]</sup>)。

在 SiO<sub>2</sub>-MgO 关系中(图 2-A, 3-A 和表 1, 表 2)可以看出,HMA 的 MgO,在给定的 SiO<sub>2</sub> 时,要高于 MA,这样,在 FeO/MgO 比值是 LF-CA 特征的基础上,根据 SiO<sub>2</sub>-MgO 关系,可以区分 HMA 和 MA。也就是说,我们在上面讨论时多次强调的,在识别和区分 HMA 和 MA 时,两个参数系统(SiO<sub>2</sub>-MgO 系统和 SiO<sub>2</sub>-FeO/MgO 系统)同时使用是必需的。

(3) 必须强调,本文所指出的 HMA 和 MA 是一组具体的岩石,不是某一具体岩石的名称,即 HMA

表 1 实验的 HMA 熔浆的 MgO 最低值和本文建议值<sup>[22]</sup>

Table 1 The lowest value of MgO % of the experimental HMA-melt and the suggested values<sup>[22]</sup>

	实验的 HMA 的 MgO 最低值			本文建议的 MgO 最低值		
SiO <sub>2</sub> /%	52.89	54.35	60.26	52	55	60
MgO/%	6.58	6.00	5.77	7.0	6.0	5.7

表 2 基于实验建议的 MA 熔浆在给定 SiO<sub>2</sub> % 时, MgO % 最低值(据 Deng et al., 2009<sup>[12]</sup>)

Table 2 The suggested lowest value of MgO % at the given value of SiO<sub>2</sub> % based on experiment of MA magma (after Deng et al., 2009<sup>[12]</sup>)

SiO <sub>2</sub>	52	55	60	62.5	65	67.5	70
MgO	4.5	3.5	2.9	2.5	2.0	1.0	0.8

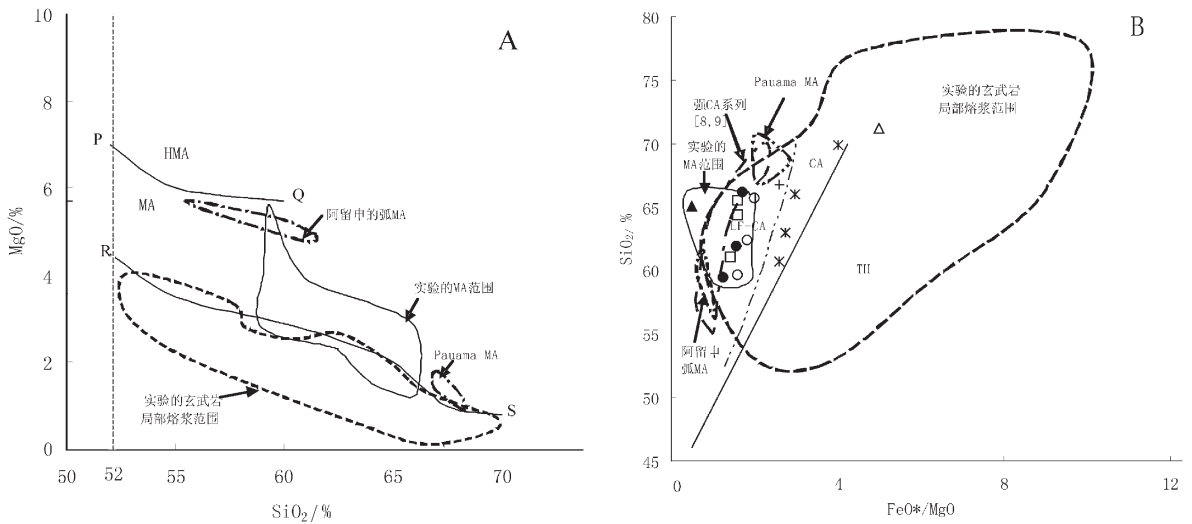


图3 MA的SiO<sub>2</sub>-MgO图(A)和SiO<sub>2</sub>-FeO/MgO图(B)(均据Deng et al., 2009<sup>[12]</sup>简化)

A图:实线范围为实验的MA;虚线为实验的玄武岩局部熔浆(即非MA);点划线范围为阿留申弧MA;双点划线为Paunamm MA;上、下两条实线PQ和RS分别为HMA/MA与MA/非MA的边界,竖虚线表示SiO<sub>2</sub>=52%

B图:线范围所代表的与3-A中一样(见图中标注);其他线符号同图2-B

\* , x, Δ代表没有和地幔橄榄岩发生反应的玄武岩局部熔浆;O, ●, □, ▲分别代表与地幔橄榄岩发生反应后的镁安山岩(MA)熔体的组成<sup>[33,34,35]</sup>

Fig.3 SiO<sub>2</sub>%-MgO % diagram(Fig. 3-A)and SiO<sub>2</sub>%-FeO %/ MgO % diagram(Fig.3-B)of MA (simplified after Deng et al., 2009<sup>[12]</sup>)

Fig.3-A: The area of solid line represents MA from experiment; the area of dashed line represents partial melt of basalt from experiment (non-MA); the area of dot-dash line represents the MA of Aleutian; the area of double-dot dash line represents the MA of Paunamm; the lines PQ and RS mean the boundary of HMA/MA and MA/non-MA respectively. The dashed line means SiO<sub>2</sub>=52%.

Fig.3-B: The areas defined by different lines are the same as those in Fig. 3A; the functions of other lines are the same as those in Fig. 2-B.

\* , x, Δ represent the partial melts of basalt which were not reacted with peridotite of the mantle, respectively. "O, ●, □, ▲" represent the MA melts which were reacted with peridotite of the mantle<sup>[33,34,35]</sup>.

表3 SiO<sub>2</sub>-FeO/MgO系统中LF-CA与CA的边界值<sup>[21]</sup>  
Table 3 Boundary values of LF-CA/CA in the system of SiO<sub>2</sub>%-FeO %/ MgO %

SiO <sub>2</sub> %	52.5	55	57.5	60	62.5	65	67.5	70
FeO/MgO	1.30	1.65	1.90	2.20	2.40	2.65	2.85	3.00

常包括常用岩石学分类中的玄武安山岩、安山岩,甚至英安岩及其对应的侵入岩,MA常包括常用岩石学分类中的玄武安山岩、安山岩、英安岩,甚至流纹岩及其对应的侵入岩。这样,HMA和MA实际上相当于岩石系列的名称。

(4)识别HMA和MA的实例,请参见刘翠等<sup>[38]</sup>和冯艳芳等<sup>[39]</sup>的文章,她们的文章表明,太古宙时期存在板块俯冲机制。

致谢:感谢王学明教授的邀约完成此文,并以此文庆贺李廷栋院士80寿辰。

参考文献(References):

- [1] Tatsumi Y, Ishizaka K. Origin of high-magnesium andesites in the Setouchi volcanic belt, Southwest Japan, I.petrographical and chemical characteristics[J]. EPSL, 1982, 60:293-304.
- [2] Taloy R N, Nesbitt R W, Vidal P, et al. Mineralogy, chemistry and genesis of the boninite series volcanics, Chichijima, Bonin Island, Japan[J]. J. Petrol., 1994, 35(3):577-617.
- [3] Shirey S B, Hanson G N. Mautle-derive Archean monzodiorites and trachy andesites[J]. Nature,1984,310:222-224.
- [4] Crawford A J. Boninites[M]. London:Unwin Hyman, 1989:1-465.
- [5] Le Maitre R W. A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms[M]. Blackwell Sci. Pub., 1989:1-253.
- [6] Tatsumi Y. Origin of high-magnesian andesites in the Setouchi volcanic belt, Southwest Japan, II .Melting phase relations at high pressure[J]. EPSL, 1982, 60:305-317.
- [7] Kay R W. Aleutian magnesian andesites:melts from subducted Pacific Ocean crust[J]. J. Vol. Geotherm, Res 1978, 4:117-132.
- [8] Yogodzinski G M, Volynets O N, Koloskov A V, et al. Magnesian andesites and the subdcution component in a strongly calc-alkaline

- series at Piip volcanic, Far Western Aleutians [J]. *J. Petrol.*, 1994, 35: 163–204.
- [9] Yogodzinski G M, Kay R W, Volynets O N, et al. Magnesian andesites in the western Aleutians Komandorsky region: Implications for slab melting and processes in the mantle wedge [J]. *GSA Bull.*, 1995, 107(5):505–519.
- [10] Le Bas M J. IUGS reclassification of the high-Mg and picritic volcanic rocks [J]. *J. Petrol.*, 2000, 40(10):1467–1470.
- [11] Cameron W E, Mcculloch M T, Walker D A. Boninite petrogenesis: Chemical and Nd–Sr isotopic constraints [J]. *EPSL*, 1983, 60:78–89.
- [12] Deng J F, Flower M F J, Liu C, et al. Nomenclature, diagnosis and origin of high-magnesian andesites (HMA) and magnesian andesites (MA): A review from petrographic and experimental data [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Volume 73, Issue 13 Supplement 1 (June 2009), 2009, A279.
- [13] Wyllie P J. Constraints imposed by experimental petrology on possible and impossible magma sources and products [J]. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.* A310, 1984:429–456.
- [14] Kushiro I. Partial melting of mantle wedge and evolution of island arc crust [J]. *JGR (B10)* 1990:15429–15939.
- [15] Hirose K, Kawamoto T. Hydrous partial melting of lherzolite at 1 G Pa: the effect of H<sub>2</sub>O on the genesis of basaltic magma [J]. *EPSL*, 1995, 133:463–473.
- [16] Hirose K. Melting experiments on lherzolite KLB-1 under hydrous conditions and generation of high-magnesian andesites melts [J]. *Geol.*, 1997, 25:42–44.
- [17] Fiallon T J, Danyushevsky L V. Melting of refractory mantle at 1.52 and 2.5 G Pa under anhydrous and H<sub>2</sub>O under saturated conditions: Implications for the petrogenesis of high-Ca boninites and the influence of subduction components on mantle melting [J]. *J. Petrol.*, 2000, 41(2):257–283.
- [18] Shimoda G, Tatsumi Y, Nohda S, et al. Setouchi high-Mg andesites revisited: geochemical evidence for melting of subducting sediments [J]. *EPSL*, 1998, 160:479–492.
- [19] Deng J F, Flower M F J, Liu C, et al. A review of experimental constraints on boninitic magma genesis [J]. *AOGS 4th Annual Meeting, Bangkok 31 Jul–4 Aug*, Abstract, www.asiaoceania.org, 2007.
- [20] Miyashiro A. Volcanic rock series in island arc and active continental margins [J]. *Am. J. Sci.*, 1974, 274:321–355.
- [21] Arculus R J. Use and abuse of the terms calcalkaline and calcalkalic [J]. *J. Petrol.*, 2003, 44(5):929–935.
- [22] 邓晋福, 肖庆辉, 苏尚国, 等. 火成岩组合与构造环境: 讨论 [J]. *高校地质学报*, 2007, 13(3):392–402.  
Deng Jinfu, Xiao Qinghui, Su Shangguo, et al. Igneous petrotectonic assemblages and tectonic setting: A discussion [J]. *Geol. J. China Univ.*, 2007, 13 (3):392–402 (in Chinese with English abstract).
- [23] Defaut M J, Drummond M S. Derivation of some modern arc magma by melting of young subducted lithosphere [J]. *Nature*, 1990, 347:662–665.
- [24] Atherton M P, Petford N. Generation of sodium-rich magmas from newly underplated basaltic crust [J]. *Nature*, 1993, 362:144–146.
- [25] 张旗, 钱青, 王二七, 等. 燕山中晚期中国东部高原: 埃达克岩的启示 [J]. *地球科学*, 2001, 36(2):248–255.  
Zhang Qi, Qian Qing, Wang Erqi, et al. An east China plateau in mid-late Yanshannian period: implication from adakites [J]. *Geol. Sci.*, 2001, 36(2):248–255 (in Chinese with English abstract).
- [26] Defaut M J, Xu J F, Kepezhinskas P, et al. Adakites: some variations on a theme [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2002, 18(2): 129–142.
- [27] 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(4):891–931.
- [28] Rapp R P. Amphibole-out phase boundary in partially melted metabasalt, its control over liquid fraction and composition, and source permeability [J]. *JGR* 100(B8):1995:15, 601–15, 610.
- [29] Seu C, Dunu T. Dehydration melting of a basaltic composition amphibolite at 1.5 and 2.0 G Pa: Implications for the origin of adakites [J]. *CMP*, 1994, 117:397–409.
- [30] Seu C, Dunu T. Experimental model metasomatism of a spinel lherzolite and the production of amphibole-bearing peridotite [J]. *CMP*, 1994, 119:422–432.
- [31] Wolf M B, Wyllie P J. Dehydration melting of amphibolite at 10 Kbar: the effects of temperature and time [J]. *CMP*, 1994, 115: 369–383.
- [32] Xiong X L, Adam J, Greau T H. Rutile stability and rutile/melt HFSE partitioning during partial melting of hydrous basalt: Implications for TTG genesis [J]. *Chem. Geol.*, 2005, 218:339–359.
- [33] Carroll M R, Wyllie P J. Experimental phase relations in the systems tonalite–peridotite–H<sub>2</sub>O at 15 Kbar: Implications for assimilation and differentiation processes near the crust–mantle boundary [J]. *J. Petrol.*, 1989, 30:1351–1382.
- [34] Rapp R P, Shimizu N, Norman M D, et al. Reaction between slab-derived melts and peridotite in the mantle wedge: experimental constraints at 3.8 G Pa [J]. *Chem., Geol.*, 1999, 160:335–356.
- [35] Prouteau G, Scailier B, Pichavaut M, et al. Evidence for mantle metasomatism by hydrous silicic melts derived from subducted oceanic crust [J]. *Nature*, 2001, 410:197–200.
- [36] Defaut M J, Richerson P M, Deboer J Z, et al. Dacite genesis via both slab melting and differentiation: Petrogenesis of La Yeguada Volcanic complex, Pauama [J]. *J. Petrol.*, 1991, 32:1101–1142.
- [37] Smithies R H, Champion D C. The Archean high-Mg diorite suite: Links to tonalite–trondhjemite–granodiorite magmatism and implications for Archean crustal growth [J]. *J. Petrol.*, 2000, 41(12): 1653–1671.
- [38] Liu Cui, Deng Jinfu, Li Desheng, et al. Recognition of HMA in the Neoproterozoic Wutai Greenstone Belt, North China Craton and

its significance[J]. *Acta Geologica Sinica (English Education)*, 2010, in Press..

[39] 冯艳芳, 邓晋福, 王世进. 鲁西地区早前寒武纪花岗岩类中镁安山质岩石系列(MA)的识别及大陆地壳生长[J]. *中国地质*, 2010, 37(3): 1119-1129

Feng Yanfang, Deng Jinfu, Wang Shijin et al. Recognition of the magnesian andesitic series (MA) among the Precambrian granitic rocks in western Shandong Province and the continental crustal growth[J]. *Geology in China*, 2010, 37(3):1119-1129(in Chinese with English abstract).

## High magnesian andesitic/dioritic rocks (HMA) and magnesian andesitic/dioritic rocks (MA): two igneous rock types related to oceanic subduction

DENG Jin-fu<sup>1,2</sup>, LIU Cui<sup>1</sup>, FENG Yan-fang<sup>1,2</sup>, XIAO Qing-hui<sup>1,2</sup>,  
SU Shang-guo<sup>1</sup>, ZHAO Guo-chun<sup>1</sup>, KONG Wei-qiong<sup>1</sup>, CAO Wen-yan<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, Key Laboratory of Lithospheric Tectonics and Lithoprobe Technology of Ministry of Education, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. China Geological Survey, Beijing 100037, China)

**Abstract:** This paper discusses two igneous rock types (HMA and MA) related to oceanic subduction based on a brief review of the experimental petrological data. On such a basis, some suggestions are put forward as follows: (1) The utilization of both the MgO % and FeO/MgO (% ratio) at given SiO<sub>2</sub> as the diagnostic parameters is emphasized in recognition of HMA and MA. (2) On the basis of the LF-CA (Low-Fe calc-alkaline) characteristics, HMA and MA may be distinguished from each other by using the SiO<sub>2</sub>%-MgO % parameter system. (3) Either of the two methods, i.e., the diagram approach (Fig.2&3) or the numeric approach (Table 1,2&3), may be used for the nomenclature of HMA and MA.

**Key words:** high-Mg andesitic rocks (HMA); Mg andesitic rocks (MA); igneous rocks related to oceanic subduction

**About the first author:** DENG Jin-fu, male, born in 1935, professor and supervisor of doctor candidates, engages in the study of petrology; E-mail: dengjinfu@21cn.com.