

# 低硅埃达克岩和高硅埃达克岩问题

张 旗

(中国科学院 地质与地球物理研究所, 北京 100029)

**摘 要:** 低硅埃达克岩(low-SiO<sub>2</sub> adakites, LSA, SiO<sub>2</sub> < 60%)和高硅埃达克岩(high-SiO<sub>2</sub> adakites, HSA, SiO<sub>2</sub> > 60%)的术语是 Martin 等(2005)提出来的。本文不赞同上述分类,因为,他们的低硅埃达克岩是赞岐岩而不是埃达克岩。赞岐岩是幔源的,埃达克岩是壳源的,虽然埃达克岩可以与地幔混合形成高镁的埃达克岩,但仍然是壳源的。不应当把壳源的岩浆和幔源的岩浆混淆起来。

**关键词:** 低硅埃达克岩,高硅埃达克岩,赞岐岩,幔源岩浆,壳源岩浆

中图分类号: P588.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2012)06-0897-04

## A discussion on the low-SiO<sub>2</sub> adakite and high-SiO<sub>2</sub> adakite

ZHANG Qi

(Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

**Abstract:** The terms of low-SiO<sub>2</sub> adakite (LSA, SiO<sub>2</sub> < 60%) and high-SiO<sub>2</sub> adakite (HSA, SiO<sub>2</sub> > 60%) were put forward by Martin *et al.* (2005). This paper does not agree with this classification, because the low-SiO<sub>2</sub> adakite is sanukite rather than adakite. Sanukite is a mantle source rock, whereas adakite is a crust-derived rock. Although adakite can be mixed with the mantle to form high-Mg adakite, it is still of the crust source. Crust- and mantle-derived magmas are different types of magma, so it is not proper to confuse them.

**Key words:** low-SiO<sub>2</sub> adakite; high-SiO<sub>2</sub> adakite; sanukite; mantle-derived magma; crust-derived magma

低硅埃达克岩和高硅埃达克岩术语最早是 Martin 等(2005)提出来的。他们收集了埃达克岩数据库 340 多个数据,发现按照埃达克岩的 SiO<sub>2</sub> 含量可以将其分为高硅埃达克岩(high-SiO<sub>2</sub> adakites, HSA, SiO<sub>2</sub> > 60%)和低硅埃达克岩(low-SiO<sub>2</sub> adakites, LSA, SiO<sub>2</sub> < 60%)两类:高硅埃达克岩(HSA)除了高硅外,还具有低 MgO(0.5%~4%), CaO+Na<sub>2</sub>O < 11% 和 Si < 1 100 × 10<sup>-6</sup> 的特点,对应的低硅埃达克岩(LSA)的 MgO = 4%~9%, CaO+Na<sub>2</sub>O > 10%, Sr > 1 000 × 10<sup>-6</sup> (Martin *et al.*, 2005)。

国内有不少学者支持上述分类,但笔者不赞同

上述分类,理由是:

(1) 低硅埃达克岩不符合埃达克岩的定义。按照 Defant 和 Drummond(1990)的定义,埃达克岩至少应当 SiO<sub>2</sub> > 56%, MgO < 3%。埃达克岩最重要的特征是富 Sr、贫 Y 和 Yb 以及高的 Sr/Y 和 La/Yb 比值(Castillo, 2006)。实际上,许多玄武质和安山质岩石也具有高 Sr、低 Yb 和 Y 的特征,因此, SiO<sub>2</sub> > 56% 是判断岩石是否埃达克岩的前提。Martin 等(2005)统计的低硅埃达克岩的 SiO<sub>2</sub> 平均含量仅为 56.25%(表 1),刚刚达到埃达克岩的下限,有些甚至接近 50% 左右(图 1),这已经明白无误地显示它们是玄武岩而非埃达克岩了。埃达克岩的 MgO 含量

通常  $< 3\%$  , 很少  $> 6\%$  (Defant and Drummond, 1990), 而低硅埃达克岩的  $MgO$  平均含量高达  $5.15\%$  ,  $Mg^\#$  平均为  $0.61$  (表 1), 也明显高于埃达克岩平均初始熔体 ( $\sim 0.5$ ) 以及全球埃达克岩的平均值 ( $0.54 \sim 0.40$ , 张旗等, 2008)。因此, 低硅埃达克岩是交代的地幔部分熔融形成的, 与赞岐岩类似 (表 1), 而不是与埃达克岩类似。

表 1 低硅埃达克岩 (LSA) 高硅埃达克岩 (HSA) 赞岐岩和实验熔融物的平均成分 [据 Martin 等 (2005) 中表 1 简化]  
Table 1 Average compositions of LSA, HSA, sanukitoids, and experimental melts (simplified from Table 1 of Martin *et al.*, 2005)

	LSA ( $n=77$ )	HSA ( $n=267$ )	赞岐岩 ( $n=31$ )	实验熔融物 ( $n=27$ )
$w_B/\%$				
$SiO_2$	56.25	64.80	58.76	68.94
$Al_2O_3$	15.69	16.64	15.80	17.70
$TFe_2O_3$	6.47	4.75	5.87	2.42
$MnO$	0.09	0.08	0.09	0.05
$MgO$	5.15	2.18	3.90	0.84
$CaO$	7.69	4.63	5.57	2.06
$Na_2O$	4.11	4.19	4.42	4.92
$K_2O$	2.37	1.97	2.78	2.53
$TiO_2$	1.49	0.56	0.74	0.78
$P_2O_5$	0.66	0.20	0.39	
$w_B/10^{-6}$				
Rb	19	52	65	98
Ba	1 087	721	1 543	651
Nb	11	6	10	11.4
Sr	2 051	565	1 170	333
Zr	188	108	184	196
Y	13	10	18	11.9
Ni	103	20	72	16
Cr	157	41	128	12
V	184	95	95	25
La	41.1	19.2	59.9	28.65
Ce	89.8	37.7	126	53.56
Nd	47.1	18.2	54.8	25.05
Sm	7.8	3.4	9.8	3.40
Eu	2.0	0.9	2.3	1.23
Gd	4.8	2.8	6.0	
Dy	2.8	1.9	3.2	2.35
Er	1.21	0.96	1.41	1.21
Yb	0.93	0.88	1.32	0.94
Lu	0.08	0.17	0.26	
$K_2O/Na_2O$	0.58	0.44		
$Mg^\#$	0.61	0.38		
$Sr/Y$	162.21	30.45		
$(La/Yb)_N$	29.32	29.85		

(2) 幔源岩浆和壳源岩浆不应当混淆。世界上的岩浆岩千千万万, 但是, 基本上可以划分为幔源和壳源的两大类, 二者成因不同, 源岩不同, 研究思路和方法不同, 不能混淆。这种区分很重要, 是岩石学和地球化学研究的前提。例如, 幔源岩浆可以发生结晶分离作用和混合作用, 而壳源岩浆很难, 幔源岩浆可以演化, 壳源岩浆不可以演化, 幔源岩浆的形成与软流圈地幔的性质和演化有关, 壳源岩浆的形成与下地壳组成、温度、压力及水含量等有关; 它们伴生的矿产也不同, 前者是 Cr、Ni、Co、Fe、Cu、Pt、Pa 等, 后者是 W、Sn、Cu、Au、Pb、Zn、Sb、U、Mo 等。玄武岩是最典型的幔源岩浆, 此外, 地幔在含水的情况下还可形成中等富硅 ( $SiO_2$  含量可达  $55\% \sim 60\%$ , 部分可超过  $60\%$ ) 的岩石, 如赞岐岩、玻安岩、高镁安山岩等。幔源的岩石也可以经过演化 (例如玄武质岩浆中角闪石的结晶分离) 产生少量安山质成分的岩石, 同样, 它们也是幔源的。幔源的岩石与壳源的岩石可以发生某种程度的混合作用, 形成具有安山质成分的岩石, 它们则具有壳幔混合的特征。但是, 幔源的岩石不可能演化为壳源的岩石, 幔源和壳源的岩石也不可能属于同一个岩石系列, 这是最基本的概念。但是, 最近国际上有一种趋势, 认为埃达克岩既可以是壳源的也可以是幔源的。如 Castillo (2006) 指出, 最近在对埃达克岩定义的理解上有一个很重要的变化, 是从强调板片熔融形成原生的埃达克岩 (Defant and Drummond, 1990), 转化到认为埃达克岩的形成有地幔橄榄岩直接或间接的参与。这种观点认为, 初始板片熔体可能只形成埃达克岩中的一小部分, 大部分的埃达克岩是板片熔体与地幔橄榄岩相互平衡或者是被交代的地幔橄榄岩直接熔融的产物, 而现代岛弧的大部分埃达克岩可能主要是岩浆混合物, 或者是熔体交代的地幔楔的熔融产物 (Castillo, 2006)。

(3) 埃达克岩可以与地幔发生混合或混染, 但仍然是壳源的。Defant 和 Drummond (1990) 最初在提出埃达克岩的概念时, 认为绝大部分埃达克岩的  $MgO$  含量应小于  $3\%$ , 这与高压、超高压下蚀变玄武岩熔融的实验岩石学证据一致。但是, 自然界中有些埃达克岩的  $MgO > 3\%$ , 且  $Mg^\# > 0.5$ 。实验研究表明, 在  $1 \sim 4$  GPa 的压力条件下, 玄武质源岩部分熔融形成的埃达克岩的  $Mg^\# < 0.5$ 。但是, 当熔体被地幔橄榄岩混染后其  $Mg^\#$  迅速增加可大于  $0.5$  (Peacock *et al.*, 1994)。因此, 高镁埃达克岩的形成

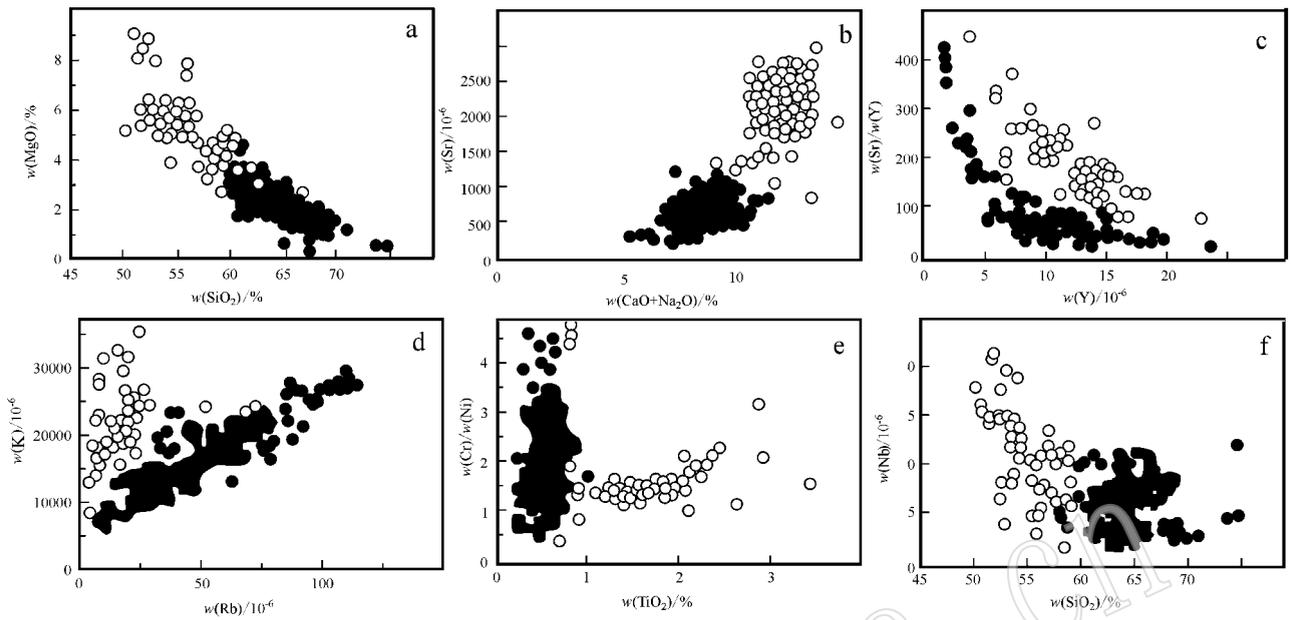


图 1 高硅埃达克岩(HSA)与低硅埃达克岩(LSA)的对比 [据 Martin 等(2005)中图 1]

Fig. 1 Correlation of HSA and LSA (after Fig. 1 of Martin *et al.*, 2005)

可能与俯冲板片熔融形成的原始埃达克质岩浆在上升过程中与地幔楔的交换作用有关。埃达克岩限定  $\text{SiO}_2$  含量  $>56\%$ ，是因为最早认为埃达克岩是俯冲的 MORB 经部分熔融形成的，MORB 是地壳而不是地幔。一组埃达克岩样品， $\text{MgO}$  含量有高有低，如果  $\text{MgO}$  含量大多是低的，仅部分样品  $\text{MgO}$  含量较高，该组样品可能属于埃达克岩，是壳源的，部分高镁的样品可能是埃达克质岩浆与地幔混合的产物 (Defant and Drummond, 1990)；如果一组埃达克岩样品  $\text{MgO}$  含量全部是高的，且  $\text{SiO}_2$  含量普遍较低，部分甚至低于  $56\%$ ，则可能属于高镁安山岩类(赞岐岩、玻安岩等)，有可能是幔源的，并非埃达克岩。

(4) 埃达克岩可以进行分类，分类的方法很多，可以分为低镁和高镁的，低钾和高钾的，钠质和钾质的，O 型和 C 型的等等，这些都是有意义的。但是，像 Martin 等(2005)这样将埃达克岩分为低硅和高硅的不好，有明显的副作用，不应当继续推广使用。

笔者认为，如果将埃达克岩理解为既有壳源的，也有幔源的，而且以幔源的为主，这样的认识既不合理，也违背了埃达克岩的原意。低硅埃达克岩按照 Martin 等(2005)的资料实际上是赞岐岩而非埃达克岩，他们也明白无误地表明这里的低硅埃达克岩是与来自消减板片长英质熔体发生过反应的橄榄岩地幔楔经部分熔融形成的 (Martin *et al.*, 2005)，这显然是赞岐岩形成的机制 (张旗等, 2008)。

全球岩浆岩种类庞杂，大体可分为幔源岩浆和壳源岩浆两大类 (张旗等, 2012)。二者性质不同、意义不同，研究思路和方法也不相同。幔源岩浆可以演化和结晶分离，幔源岩浆不可能结晶分离为壳源岩浆，壳源岩浆不可能结晶分离。例如，壳源的(C型)埃达克岩形成的压力高，与石榴石处于平衡，产于加厚下地壳的底部 (张旗等, 2008)。高镁安山岩和赞岐岩也是高 Sr 低 Yb 的， $\text{Sr}/\text{Y}$  很高，上述指标与埃达克岩一致，但却是地幔在含水条件下部分熔融形成的，与地壳厚度变化无关。如果把这种所谓的埃达克岩也拿来判断地壳厚度，岂不闹了笑话？

国内学术界对低硅和高硅埃达克岩有不同的认识，有些人支持低硅和高硅埃达克岩的提法，例如高山研究集体 (Gao *et al.*, 2004；王晓蕊等, 2005；黄华等, 2007)，范蔚茗研究集体 (Guo *et al.*, 2007；秦社彩等, 2007) 和李曙光研究集体 (Yang and Li, 2008) 等。高山研究集体和李曙光研究集体都认为辽西义县组火山岩为高镁埃达克岩，笔者不赞同这种看法。义县组恰好是热河生物群赖以生存的地层，代表温暖潮湿的环境，不可能有埃达克岩出现，不可能与加厚的地壳有关，不可能形成于高寒山区。浙江浦江火山岩 (秦社彩等, 2007) 由于  $\text{Mg}^\#$  值偏低，是否埃达克岩可以讨论，但延吉古新世火山岩 (Guo *et al.*, 2007) 不可能是埃达克岩。根据上述文献提供的数据，它们大多应是赞岐岩而非埃达克岩。至

于有人认为埃达克岩并非加厚地壳形成的,岩浆混合作用或正常地壳厚度也可以形成埃达克岩,则是可以讨论的。但是,前提是它们必须是壳源的而非幔源的。

笔者的上述评论不一定合适,欢迎大家各抒己见,尤其欢迎高山院士、范蔚茗研究员和李曙光院士的批评指正。

致谢 感谢审稿人对本文的评论,笔者考虑审稿意见对本文做了进一步的修改。

## References

- Castillo P R. 2006. An overview of adakite petrogenesis[ J ]. Chinese Science Bulletin , 51 : 257~268.
- Defant M J and Drummond M S. 1990. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subduction lithosphere[ J ]. Nature , 347 : 662~665.
- Gao S , Rudnick R L , Yuan H L , *et al.* 2004. Recycling lower continental crust in the North China crator[ J ]. Nature , 432 : 892~897.
- Guo F , Nakamura E , Fan W M , *et al.* 2007. Generation of Palaeocene adakitic andesites by magma mixing ; Yanji area , NE China[ J ]. Journal of Petrology , 48 : 661~692.
- Huang Hua , Gao Shan , Hu Zhaochu , *et al.* 2007. Geochemistry of the high-Mg andesites at Zhangwu , western Liaoning : Implication for delamination of newly formed lower crust[ J ]. Sciences in China ( D ) , 50 : 1 773~1 786.
- Martin H , Smithies R H , Rapp R , *et al.* 2005. An overview of adakite , tonalite-trondhjemite-granodiorite ( TTG ) , and sanukitoid : relationships and some implications for crustal evolution[ J ]. Lithos , 79 : 1~24.
- Peacock S M , Rushmer T and Thompson A B. 1994. Partial melting of subducting oceanic crust[ J ]. Earth and Planetary Science Letters , 121 : 227~244.
- Qin Shecai , Fan Weiming , Guo Feng , *et al.* 2006. Petrogenesis of late Mesozoic adakitic andesites from Pujiang area in Zhejiang Province , eastern China[ J ]. Acta Petrologica Sinica , 22 : 2 305~2 314 ( in Chinese with English abstract ).
- Wang Xiaorui , Gao Shan , Liu Xiaoming , *et al.* 2006. Geochemistry of high-Mg andesites from the early Cretaceous Yixian Formation , western Liaoning : Implications for lower crustal delamination and Sr/Y variations[ J ]. Sciences in China ( D ) , 49 : 904~914.
- Yang W and Li S G. 2008. Geochronology and geochemistry of the Mesozoic volcanic rocks in Western Liaoning : Implications for lithospheric thinning of the North China Crator[ J ]. Lithos , 102 : 88~117.
- Zhang Qi and Li Chengdong. 2012. Granite : Geodynamic Significance [ M ]. Beijing : Ocean Press , 1~276 ( in Chinese ).
- Zhang Qi , Wang Yan , Xiong Xiaolin , *et al.* 2008. Adakite and Granite : Challenge and Opportunity[ M ]. Beijing : China Land Press , 1~344 ( in Chinese with English abstract ).

## 附中文参考文献

- 黄华,高山,胡兆初,等. 2007. 辽西彰武地区中生代高镁安山岩地球化学及其对新生地壳拆沉作用的指示[ J ]. 中国科学( D ) , 37 : 1 287~1 300.
- 秦社彩,范蔚茗,郭锋,等. 2007. 浙江浦江晚中生代埃达克质火山岩的成因[ J ]. 岩石学报 , 22 : 2 305~2 314.
- 王晓蕊,高山,柳小明,等. 2005. 辽西四合屯早白垩世义县组高镁安山岩的地球化学:对下地壳拆沉作用和 Sr/Y 变化的指示[ J ]. 中国科学( D ) , 35 : 700~709.
- 张旗,李承东. 2012. 花岗岩:地球动力学意义[ M ]. 北京:海洋出版社,1~276.
- 张旗,王焰,熊小林,等. 2008. 埃达克岩和花岗岩:挑战与机遇[ M ]. 北京:中国大地出版社,1~344.