

# A 型花岗岩的标志和判别

## ——兼答汪洋等对“ A 型花岗岩的实质是什么 ”的质疑

张 旗

(中国科学院 地质与地球物理研究所, 北京 100029)

**摘 要:** A 型花岗岩是富硅、富碱、贫水的花岗岩类, 地球化学上以贫 Al、Sr、Eu、Ba、Ti、P 为特征, 形成于低压高温条件下, 对源岩没有选择。A 型(或南岭型)花岗岩的实质为: 在低压下熔融的花岗岩类, 大多产于地壳伸展减薄的构造背景。汪洋等(2013)举的几个国外 A 型花岗岩的实例笔者认为大多不是 A 型花岗岩, 不形成于低压条件下。

**关键词:** A 型花岗岩, 标志, 判别, 实质, 答复

中图分类号: P588.12<sup>+</sup>1

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2013)02-0267-08

### The criteria and discrimination for A-type granites: A reply to the question put forward by Wang Yang and some other persons for “A-type granite: what is the essence?”

ZHANG Qi

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

**Abstract:** A-type granites are silicon-, alkali-rich, water-poor granitoids, characterized geochemically by poor Al, Sr, Eu, Ba, Ti and P. A-type granites are formed under low pressure and high temperature conditions, and have no choice for source rocks. The essence of the A-type (or the Nanling type) granites lies in the melting of granitic magma under low pressure and their generation mainly in the tectonic setting of crustal extension and thinning. The several “A-type granites” abroad cited by Wang Yang *et al.* are actually mostly outside the category of A-type granites and were not formed under low pressure conditions.

**Key words:** A-type granite; criteria; discrimination; essence; reply

笔者对 A 型花岗岩的实质做了一些讨论(张旗等 2012), 汪洋等(2013)提出异议, 笔者表示欢迎。关于 A 型花岗岩的争论颇多, 笔者略有涉猎(张旗等 2008, 2010, 2012; 张旗和李承东, 2012), 但言犹未尽, 借汪洋等的质疑再啰嗦几句。

#### 1 A 型花岗岩的实质是什么?

首先, 汪洋等可能没有搞明白笔者的意思。笔者说的“实质”指的是其地球动力学意义而非其地球

化学特征。笔者指出：“对于 A 型花岗岩的含义，学术界有各种不同的看法。它的实质是什么呢？笔者认为，所谓 3A（富碱、无水、非造山）等说法可能并非 A 型花岗岩的实质，A 型花岗岩的实质应当是低压条件下熔融的花岗岩类（张旗等，2012）。”而汪洋等（2013）认为：“A 型花岗岩的实质是富铁贫镁、相对富碱，形成于高温的相对还原条件之下。”仍然把 A 型花岗岩的地球化学特征作为它的实质，且冠以“最实质”，只不过增加了一个富铁而已。

花岗岩总的来说是贫铁的，这是相对基性岩和中性岩来说的，指的是  $\text{FeO}$  和  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  的含量。同时，在各类岩浆岩中，花岗岩的  $\text{Mg}^\#$  数值则是最低的。从这个角度，花岗岩又是富铁的，是就镁铁比值而言的。与玄武岩和安山岩相比，花岗岩的  $\text{MgO}$  含量是最低的。国外有人对花岗岩的镁铁比值进行了研究，得出了新的认识（Frost *et al.*, 2001；Frost and Frost, 2011）。但是，笔者并不看好这类研究。因为，花岗岩的  $\text{MgO}$  含量极低，尤其酸性程度高的花岗岩，尤其 A 型花岗岩， $\text{MgO}$  含量甚至  $< 0.1\%$ ，相对来说铁含量也不是很高。基性岩很强调研究  $\text{Mg}^\#$ ，不仅因为  $\text{MgO}$  和  $\text{FeO}$  含量高，而且因为  $\text{MgO}$  和  $\text{FeO}$  变化大，意义大（张旗和李承东，2012）。对于花岗岩来说，大量的造岩矿物（石英和长石）是无镁和铁的，镁铁只存在于少量暗色矿物和部分副矿物中。因此，如果测试结果误差稍微大一些，就会明显影响镁铁比值，很可能造成数据上的波动、规律上的失真甚至判断上的失误。对于 A 型花岗岩来说，富

铁是没错的，但并不是一个更可靠、更简便的判别指标。汪洋等（2013）认为：“与 I 型、S 型花岗岩类相比，A 型花岗岩最实质的化学特征是铁相对于镁的富集，其成分点落在 Frost 等（2001）厘定的  $\text{FeO}^\text{T}/(\text{MgO} + \text{FeO}^\text{T}) - \text{SiO}_2$  图解中的铁质花岗岩区域（Frost and Frost, 2011）”。实际上，在 Frost 等（2001）厘定的图 7（见本文图 1）中，A 型花岗岩与 I 型和 S 型花岗岩有一部分是重叠的。原因是 A 型花岗岩富铁，其它类型的花岗岩既可以富铁也可以贫铁。因此，用富铁来概括 A 型花岗岩的特征并没有实质意义上的进步。更何况在科学发展的现阶段，在判断是否 A 型花岗岩方面，微量元素和 REE 指标明显比主元素有更大优越性。因此，今天如果再回到主元素上去并非明智的选择。

其次，A 型花岗岩是用得比较乱的一个术语，不同人的理解不同。据笔者的判断，文献中所说的 A 型花岗岩大多是对的，但也有一些误判。有少数文献所谓的 A 型花岗岩实际上可能是埃达克型或喜马拉雅型或浙闽型花岗岩，以后一类居多。正是由于这个原因，笔者才特意起了一个“南岭型”的术语。南岭型花岗岩是典型的 A 型花岗岩，其重要的标志是富  $\text{SiO}_2$  和  $\text{K}_2\text{O}$  贫  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、Sr、Ba、Eu，REE 分布具明显的负铕 Eu 异常（张旗等，2012）。据笔者考察，文献中发表的 A 型花岗岩数据，绝大多数是具有上述地球化学特征的，即南岭型花岗岩。对于那些不具有上述特征的 A 型花岗岩，我们将其归入其它的类型（或浙闽型或喜马拉雅型或埃达克型）。南岭型花岗岩形成于低

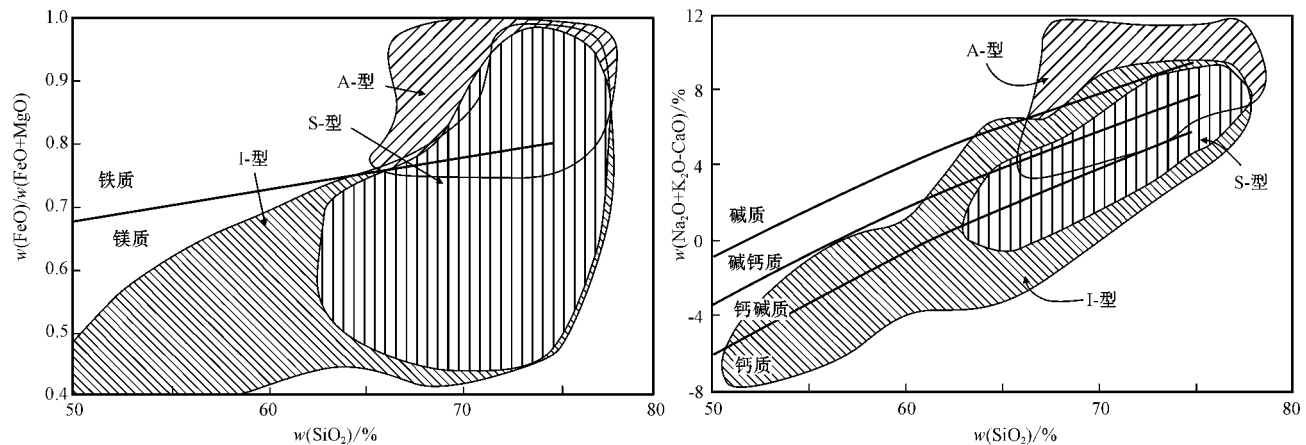


图 1 澳大利亚 Lachlan 褶皱带 I 型、S 型和 A 型花岗岩的  $\text{FeO}/(\text{FeO} + \text{MgO}) - \text{SiO}_2$  图 (a) 和  $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{CaO}) - \text{SiO}_2$  图 (b) (据 Frost 等, 2001)

Fig. 1  $\text{FeO}/(\text{FeO} + \text{MgO})$  versus  $\text{SiO}_2$  (a) and  $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{CaO})$  versus  $\text{SiO}_2$  (b) plots, showing the composition range for rocks from Lachlan Fold Belt (after Frost *et al.*, 2001)

压条件下,代表减薄的地壳,此即A型花岗岩最重要的地球动力学意义,即A型花岗岩的实质。

因此,是否A型花岗岩,应当有一个大家一致认可的标准。标准不一致,公说公有理,婆说婆有理,就没法进行讨论了。对于任何一个或一批花岗岩数据,它是否A型的,不是以原文献作者的判断为标志,不能认为原作者说它是A型的就是A型的,而要有一个衡量的标准。

例如汪洋(2008)报道的南岭几个侏罗纪典型的铝质A型花岗岩,据笔者判断,文中描述的柯树北、寨背和南昆山花岗岩是典型的A型花岗岩,但湘东南西山火山-侵入杂岩可能绝大多数不是A型的,按照笔者的分类(张旗等,2008,2010)应当属于浙闽型而非南岭型。

骑田岭花岗岩的资料相当多,邓希光等(2005)详细讨论了骑田岭花岗岩的地球化学特征,并不认为它们是A型的。我们的研究认为骑田岭花岗岩大多为浙闽型,部分属于浙闽型与南岭型之间的过渡类型。据陈富文和付建明(2005)研究,骑田岭花岗岩的主体Sr含量较高(10个样品平均的 $Sr = 141 \times 10^{-6}$ ,  $Yb = 3.68 \times 10^{-6}$ ,  $Eu/Eu^* = 0.42$ ),而4个补体花岗岩Sr含量较低(平均 $Sr = 43 \times 10^{-6}$ ,  $Yb = 4.76 \times 10^{-6}$ ,  $Eu/Eu^* = 0.19$ ),显然,前者是浙闽型的,后者是南岭型(A型)的。他们认为成矿与补体花岗岩关系密切。

汪洋等(2013)还提到国外的几个A型花岗岩的实例,例如:

(1)“美国Colorado的Silver Plume岩基和St. Vrain岩基,岩性为二云母矽线石花岗岩,根据岩石化学特征,Anderson和Thomas(1985)将其厘定为A型花岗岩,其 $Al_2O_3$ 含量在14%以上,Ba含量绝大多数在 $500 \times 10^{-6}$ 以上,甚至高达 $1300 \times 10^{-6}$ ,Sr含量在 $(90 \sim 240) \times 10^{-6}$ 之间”。

笔者评论:上述花岗岩富 $Al_2O_3$ 和Ba,Sr含量中等,不大可能是A型花岗岩。该文资料较老,微量元素数据很少,无REE资料,无法进一步讨论。

(2)“芬兰中部花岗岩杂岩体中具有A型花岗岩特征的紫苏花岗岩类具有高的Ba、Sr含量(El-liott,2003)。”

笔者评论:该文虽然是2003年发表的,但数据质量也不高,微量元素和REE只给出小数点以前的数据,也很难深入讨论。但是从该文发表的数据看,可能有浙闽型的,少数是南岭型的,还有相当多数据

类似埃达克型的特点。笔者在感叹之余觉得,该文应属于垃圾文章了。这样的文章在10年前的中国估计也很难通过审稿这一关。看来,对SCI刊物的确不能迷信。

(3)“欧洲西北部Faeroe-Shetland盆地中与拉斑玄武质岩床共生的斜长花岗岩床属于A型花岗岩,其 $K_2O$ 含量仅0.09%(Kanaris-Sotiriou and Gibb,1989;Bonin,2007)”。

笔者评论: $K_2O$ 含量如此低的斜长花岗岩是M型的,很少有人会把它当成A型花岗岩。把M型花岗岩和A型花岗岩搅在一起是很荒唐的。

国内外A型花岗岩研究的好文章俯拾即是,汪洋等(2013)选择的几个国外的“A型花岗岩”实例,数据都不过硬,而在资料不完善的情况下是很难深入进行讨论的。外国人怎么认为那是他们的事,不能人家说什么我们信什么,我们必须学会独立思考,不能让外国人牵着鼻子走。

## 2 评A型花岗岩的判别图

### 2.1 微量元素判别图

A型花岗岩的判别图很多,有的很好,有的不怎么好。大家推崇的以Ga/Al为标志的一系列微量元素判别图可能是比较好的一类,但是,也并非适合所有的A型花岗岩,也有误判的情况(吴锁平等,2007;李小伟等,2010),因为有些典型的A型花岗岩在这些判别图中竟然落不到A型花岗岩范围,例如南岭西华山花岗岩(Guo *et al.*,2012),河南熊耳山寨凹正长花岗岩(李厚民等,2012)的例子。西华山是赣南最重要的与钨矿有关的花岗岩,据Guo等(2012)的资料,西华山花岗岩明显贫 $Al_2O_3$ (12%~14%) and  $Sr (< 100 \times 10^{-6})$ ,富 $Y (> 50 \times 10^{-6})$ 和 $Yb (> 6 \times 10^{-6})$ ,有强烈的负钕异常( $Eu/Eu^* < 0.22$ )。西华山花岗岩分为4期,A期花岗岩的REE分布均为海鸥型(图2a),应当是典型的A型花岗岩,相当于南岭型(图2b)。可是,在微量元素判别图中它却不是A型的(图3)。寨凹正长花岗岩也是强烈亏损 $Sr (20 \times 10^{-6} \sim 55 \times 10^{-6})$ ,富 $Y (23 \times 10^{-6} \sim 57 \times 10^{-6})$ 和 $Yb (4 \times 10^{-6} \sim 8 \times 10^{-6})$ ,有强烈的负钕异常( $Eu/Eu^* 0.10 \sim 0.19$ ),是典型的A型花岗岩,但是在Ga/Al对Zr和Ga/Al对Zr+Nb+Ce+Y的图中均不在A型花岗岩区域(李厚民等,2012),这不能不说是判别图本身不好。

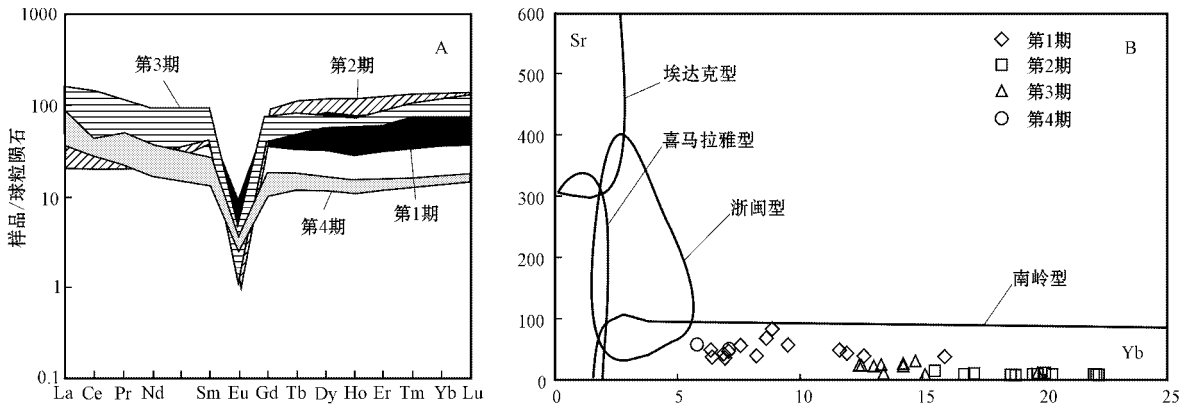


图 2 西华山花岗岩 REE 图 [a 据 Guo 等 (2012) 简化] 和 Sr-Yb 图 [b 据张旗等 (2010) 数据来自 Guo 等 (2012)]  
 Fig. 2 REE (a, simplified after Guo *et al.*, 2012) and Sr-Yb (b, after Zhang Qi *et al.*, 2010, data from Guo *et al.*, 2012) plots of Xihuashan granites in Jiangxi Province

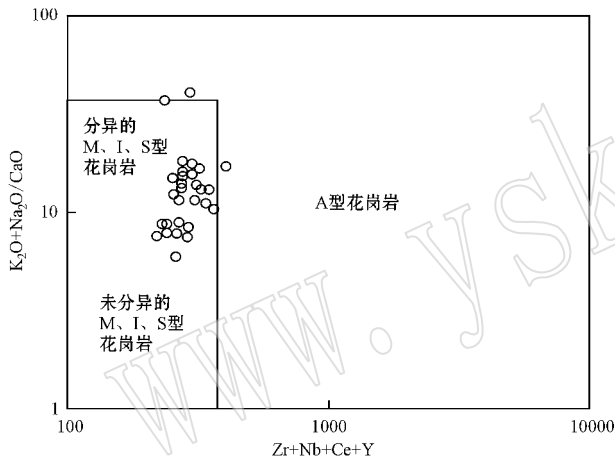


图 3 西华山花岗岩  $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/\text{CaO}$ -(Zr + Nb + Ce + Y) 判别图 [据 Guo 等 (2012) 简化]

Fig. 3  $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/\text{CaO}$  versus  $(\text{Zr} + \text{Nb} + \text{Ce} + \text{Y})$  diagram for Xihuashan granitic rocks (simplified after Guo *et al.*, 2012)

## 2.2 Na-K 判别图

Na-K 图可能是 A 型花岗岩判别图中最不好的。在该图中 (图 4), I、S、A 型花岗岩各自处于不同的区域,其所表达的逻辑思维即是错误的,错在:

(1) 该图分别圈定了 I、S 和 A 型花岗岩的区域,具有非此即彼的含义,即投入 A 区的是 A 型花岗岩,不是 I 型和 S 型的。从原理上, I 型和 S 型的区别是从源岩角度出发的,囊括了全球所有的花岗岩,包括 A 型花岗岩。A 型花岗岩只是一套有一定地球化学标志的花岗岩,对源岩没有限制。I 型和 S 型花岗岩都可能具有 A 型花岗岩的特征,只要它具

有 A 型花岗岩的地球化学标志即可。I 型和 A 型花岗岩之间不存在排他性, S 型和 A 型花岗岩之间也不存在排他性,而该图却具有明显的排他性,是原图发明者对 A 型花岗岩理解的错误造成的。

(2) I 型和 S 型虽然有明显的区别,但是,实际情况是存在过渡特征的,怎么能够仅凭一条线就把它们区分开了?按照该图的设计,投在线这边的就是 I 型的,投在线那边的就是 S 型的。这种非此即彼的思维方式显得过于简单化。

(3) A 型花岗岩富碱,但并非所有富碱的花岗岩都是 A 型的。从图 4 看,只要  $\text{Na}_2\text{O} > 3\%$ ,同时  $\text{K}_2\text{O} > 4\%$  就可以投入 A 型花岗岩区。笔者随手挑选了一些 C 型的埃达克岩投在图 4 中,它们全部落入了 A 区。实际上它们是高钾钙碱性和钾玄岩系列的,绝不是 A 型花岗岩。

该图虽然也是根据实际资料总结出来的,可惜原作者思虑不周,占有的资料不丰富,遂导致了上述似是而非的结果,贻害无穷。笔者认为,该图已经过时了,应当弃之不用。

有人争论南岭花岗岩究竟是 S 型还是 A 型的,这种争论是没有必要的,因为它们不是一个概念范畴内的事情。I 型和 S 型是就源岩性质来说的, A 型是指花岗岩化学性质上是否富碱。例如,说西华山花岗岩是 S 型的,这是对的,是从源岩角度出发的;又说西华山花岗岩是 A 型的,这也是对的,是从地球化学上说的。南岭的中生代花岗岩大多同时具有 S 型和 A 型花岗岩的特征,表明岩浆源于以沉积岩为主的古老陆壳,并且是在地壳减薄的背景下形成的。

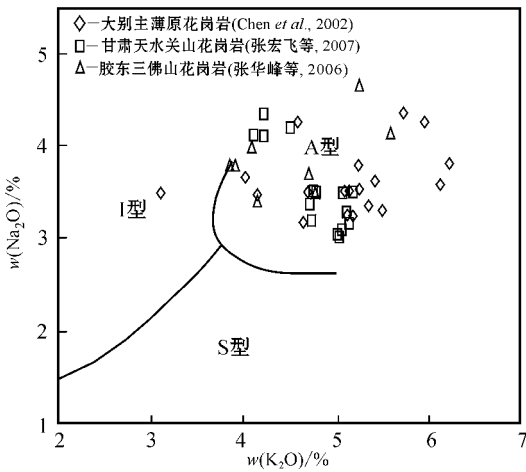


图 4 花岗岩的  $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}$  判别图(据 Collins 等, 1982)

Fig. 4 Diagram of  $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}$  of granites (after Collins *et al.*, 1982)

北方造山带三叠纪的 A 型花岗岩则是 I 型的, 表明地壳薄, 源区为年轻的洋壳。

### 3 对 Litvinovsky 等(2000)实验的再讨论

汪洋等(2013)批评笔者对 Litvinovsky 等(2000)的实验的看法“犯了一个大错误”, 汪洋断定, “并不是 Litvinovsky 等的实验结果不可信, 而是张文的作者对实验结果选择性‘失明’! ”。笔者在文中的确有错误, 错在把初始物的矿物组成当成了熔融产物(张旗等 2012), 在此予以更正。

对于 Litvinovsky 等(2000)的实验, 笔者补充评论如下:

Litvinovsky 等(2000)文章的摘要开头第一句话就说 A 型花岗岩是壳源岩石在  $>50\text{ km}$  的深度上部熔融形成的。那么, 该文作者所指的 A 型花岗岩是什么特征的呢? 他们在几处地方均认为, 实验得出的熔体(玻璃)富  $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$  和  $\text{FeO}/\text{MgO}$ ,  $\text{MgO}$  和  $\text{CaO}$  含量低, 并含糊地表白这就是如 Whalen 等(1987)和 Eby(1990)所说的 A 型花岗岩。从该文的表 3 和表 4 看, 他们在 1.5、2.0、2.5 GPa 和  $950\sim 1075^\circ\text{C}$  条件下做的一系列实验得到的玻璃的确全部是富  $\text{K}_2\text{O}$  和  $\text{Na}_2\text{O}$  的, 这一点类似 A 型花岗岩的特征(表 1)。但是, 与典型的 A 型花岗岩比较, 玻璃的  $\text{TiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MgO}$  和  $\text{CaO}$  含量偏高了, 尤其  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ( $14\%\sim 17\%$ )。A 型花岗岩主要不是依靠主元素来

判断的, 但是, 实验只能给出主元素成分, 也只能将就了。主元素富  $\text{K}_2\text{O}$  和  $\text{Na}_2\text{O}$  并不是 A 型花岗岩独有的排他性的特征, 如前所述, 高钾钙碱性花岗岩也富  $\text{K}_2\text{O}$  和  $\text{Na}_2\text{O}$  (图 4)。A 型花岗岩主元素与其他花岗岩最大的不同在于贫铝, A 型花岗岩的  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量大多在  $12\%\sim 13\%$  之间, 很少有  $>14\%$  的(张旗和李承东, 2012), 而上述实验得出的熔体的  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量全部  $>14\%$ 。统计资料表明, 浙闽型、喜马拉雅型花岗岩  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量中等, 埃达克岩则是富  $\text{Al}_2\text{O}_3$  的 ( $15\%\sim 17\%$ )。因此, 综合考虑各种主元素成分, 上述作者实验的产物不可能是 A 型花岗岩。此外, 上述作者实验得出的残留物为石榴石和单斜辉石, 这恰恰与高压下形成的埃达克岩的特征一致。埃达克岩质熔体也可以富  $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$  和  $\text{FeO}/\text{MgO}$ ,  $\text{MgO}$  和  $\text{CaO}$  含量也可以很低, 而且与石榴石和单斜辉石处于平衡。总之, Litvinovsky 等(2000)实验得到的熔融物不是 A 型花岗岩, 而可能是埃达克岩, 还很可能是 C 型埃达克岩(表 1)。汪洋说(2013): “他们实验的目的是探讨中下地壳岩石在高压下部分熔融形成 A 型花岗岩的可能性”, 如果他们真是这样想的, 他们肯定想错了, 结果自然也错了。因为, 大量实验和地质事实表明, 中下地壳岩石在高压下 ( $1.5\sim 2.5\text{ GPa}$ ) 部分熔融只可能形成埃达克型花岗岩, 不可能形成 A 型(南岭型)花岗岩(张旗等, 2008, 2012; 张旗和李承东, 2012)。尽管这样, Litvinovsky 等(2000)的实验仍然是有很大价值的, 重新解释即可(例如, 可以用于解释富钾的 C 型埃达克岩的成因)。

### 4 结束语

回答汪洋等(2013)的问题有一点困难, 难在 A 型花岗岩的标志不一样。国内关于 A 型花岗岩的讨论很多, 虽然见解不同, 但是, 多数人对 A 型花岗岩的标志分歧并不大, 笔者的归纳并非什么独创, 而是根据多数人认可的标志厘定的(张旗等, 2012)。埃达克岩的地球化学特征明显不同于 A 型花岗岩, 它们之间不应当混淆。然而在汪洋的例子中就有埃达克岩, 如 Litvinovsky 等(2000)的实验, 如芬兰中部的花岗岩(Elliott, 2003)。在这样的基础上, 汪洋得出结论认为 A 型花岗岩不一定是低压条件下形成的, 高压也行, 笔者无话可说。埃达克岩毫无疑问是高压下形成的, 而 A 型花岗岩不可能形成于高压条件下。

表 1 花岗岩熔融实验的熔体玻璃的化学成分[据 Litvinovsky 等(2000)的表 3 简化]

Table 1 Chemical composition of glass from experimental products (simplified after the Table 3 of Litvinovsky, 2000)

	1.5 GPa 和 950℃	1.5 GPa 和 975℃	1.5 GPa 和 1000℃	1.5 GPa 和 1040℃	1.5 GPa 和 1060℃	2.0 GPa 和 950℃	2.0 GPa 和 1000℃	2.0 GPa 和 1025℃	2.0 GPa 和 1050℃	2.0 GPa 和 1075℃	2.5 GPa 和 950℃
SiO <sub>2</sub>	72.90	72.61	72.97	72.36	73.14	73.11	73.19	72.18	71.73	71.57	72.93
TiO <sub>2</sub>	0.35	0.40	0.31	0.36	0.32	0.11	0.28	0.28	0.28	0.33	0.26
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.65	14.87	14.65	14.92	14.14	15.15	15.02	15.65	14.47	15.00	15.21
FeO	1.82	1.64	1.45	1.66	1.64	1.02	0.89	0.93	1.55	1.81	0.91
MnO	0.00	0.05	0.04	0.01	0.02	0.20	0.03	0.01	0.03	0.02	0.01
MgO	0.21	0.42	0.45	0.48	0.55	0.11	0.32	0.38	0.44	0.61	0.13
CaO	0.92	1.50	2.00	2.06	2.16	0.86	1.74	2.17	2.09	2.19	1.33
Na <sub>2</sub> O	3.80	4.32	4.23	4.00	4.23	1.541	4.37	4.38	4.93	5.02	4.26
K <sub>2</sub> O	5.35	4.19	3.90	4.15	3.80	3.221	4.16	4.02	4.48	3.45	4.96
Total	95.69	94.54	93.58	93.12	93.73	95.32	94.00	93.04	94.41	93.71	94.15

实验的初始物为紫苏花岗岩, 熔融残留物为石榴石和单斜辉石。

我们讨论问题首先要把问题搞明白, 把定义搞明白, 把彼此的分歧搞明白, 才能进一步讨论, 话才能说到点上。其次, A 型花岗岩的文献很多, 见解也不同, 我们必须有一个基本的判断。SCI 论文良莠不齐, 有些可能很精彩, 有些可能很糟糕, 精华与糟粕共存。如果我们不加区别, 将使自己处于尴尬的地位。外国人的文章一般很好, 但不是全部都好, 也要一分为二, 如前面讨论的 Na-K 图解(图 4), 如汪洋举的国外的几个实例, 就不能认为是好的。国内最近 10 年来发表了许多非常好的数据, 一点也不比国外的差, 包括汪洋自己对北京八达岭白查 A 型花岗岩的研究(汪洋, 2009), 数据和讨论均佳, 是一篇很好的文章。第三, 我们的讨论必须实事求是, 必须以事实为依据, 不能毫无根据地胡猜乱想。例如, 中亚造山带三叠纪 A 型花岗岩发育, 表明当时的地壳厚度很薄, 处于伸展背景。汪洋却以现代中亚造山带地壳厚度在 40 km 以上反推三叠纪中亚造山带地壳没有减薄, 还认为没有地质证据表明白垩纪末以来上述地区的地壳发生了显著增厚。笔者不知道汪洋是根据什么“地质证据”和什么逻辑可以从现代推断 2 亿年和 1 亿年以前的事情的?

此外, 汪洋等(2013)还引用国外学者的见解认为碱质 A 型花岗岩可以由碱性玄武岩在低压下经分离结晶作用形成。笔者认为玄武岩分离结晶是不可能形成花岗岩的, 原因是玄武岩分离结晶不可能使残余岩浆 SiO<sub>2</sub> 含量明显增加(张旗等, 2008; 张旗和李承东, 2012; 张旗, 2012)。

总之, 什么是 A 型花岗岩呢? A 型花岗岩富硅

富碱贫水, 地球化学上以贫 Al、Sr、Eu、Ba、Ti、P 等为特征, 具有这种特征的花岗岩又称为南岭型花岗岩, 形成在低压高温条件下, 对源岩没有选择。A 型花岗岩的实质为在低压下熔融的花岗岩类, 产于地壳减薄的构造背景。

A 型花岗岩魅力无穷, 本文的讨论仅是沧海之一粟。谢谢汪洋的质疑, 欢迎有更多的人参与讨论。

致谢 感谢审稿人对本文的评论, 文中按照审稿意见做了适当的修改。

## References

- Anderson J L and Thomas W M. 1985. Proterozoic anorogenic two-mica granites: Silver Plume and St. Vrain batholiths of Colorado[J]. *Geology*, 13: 177~180.
- Bonin B. 2007. A-type granites and related rocks: Evolution of a concept, problems and prospect[J]. *Lithos*, 97: 1~29.
- Chen B, Jahn B M and Wei C J. 2002. Petrogenesis of Mesozoic granitoids in the Dabie UHP complex, Central China: trace element and Nd-Sr isotope evidences[J]. *Lithos*, 60: 67~88.
- Chen Fuwen and Fu Jianming. 2005. Geological and petrological characteristics of main Mesozoic tin-mineralized granitoids and regional metallogenetic regularities in Nanling region[J]. *Geology and Mineral Resources of South China*, (2): 12~21 (in Chinese with English abstract).
- Collins W J, Beams S D, White A J R, et al. 1982. Nature and origin of A-type granites with particular reference to southeastern Australia [J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 80: 189~200.
- Deng Xiguang, Li Xianhua, Liu Yimao, et al. 2005. Geochemical char-

- acteristics of Qitianling granites and their implications for mineralization [ J ]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 24 : 93~102 ( in Chinese with English abstract ).
- Eby G N. 1990. The A-type granitoids : A review of their occurrence and chemical characteristics and speculations on their petrogenesis [ J ]. *Lithos*, 26 : 115~134.
- Elliott B A. 2003. Petrogenesis of the post-kinematic magmatism in the Central Finland Granitoid Complex II Sources and magmatic evolution [ J ]. *Journal of Petrology*, 44 : 1 681~1 701.
- Frost B R, Arculus R J, Barnes C G, *et al.* 2001. A geochemical classification of granitic rocks [ J ]. *Journal of Petrology*, 42 : 2 033~2 048.
- Frost C D and Frost B R. 2011. On ferroan ( A-type ) granitoid : their compositional variability and modes of origin [ J ]. *Journal of Petrology*, 52 ( 1 ) : 39~53.
- Guo C L, Chen Y C, Zeng Z L, *et al.* 2012. Petrogenesis of the Xihuashan granites in southeastern China : Constraints from geochemistry and in-situ analyses of zircon U-Pb-Hf-O isotopes [ J ]. *Lithos*, 148 : 209~227.
- Kanaris-Sotiriou R and Gibb F G F. 1989. Plagiogranite differentiates in MORB-type sills of the Faeroe-Shetland Basin [ J ]. *Journal of the Geological Society*, 146 : 607~610.
- Li Houmin, Wang Denghong, Wang Xiaoxia, *et al.* 2012. The Early Mesozoic syenogranite in Xiong'er mountain area, southern margin of North China craton : SHRIMP zircon U-Pb dating, geochemistry and its significance [ J ]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 31 ( 6 ) : 771~782 ( in Chinese with English abstract ).
- Li Xiaowei, Mo Xunxue, Zhao Zhidan, *et al.* 2010. A discussion on how to discriminate A-type granitoid [ J ]. *Geological Bulletin of China*, 29 ( 2/3 ) : 278~285 ( in Chinese with English abstract ).
- Litvinovsky B A, Steele I M and Wickham S M. 2000. Silicic magma formation in overthickened crust : melting of charnockite and leucogranite at 15, 20 and 25 kbar [ J ]. *Journal of Petrology*, 41 ( 5 ) : 717~737.
- Wang Yang. 2008. Petrogenesis of the Jurassic aluminous A-type granites in the Nanling Area, South China and its constraint on paleogeotherm [ J ]. *Geotectonica et Metallogenia*, 33 ( 3 ) : 365~381 ( in Chinese with English abstract ).
- Wang Yang. 2009. Geochemistry of the Baicha A-type granite in Beijing Municipality : Petrogenetic and tectonic implications [ J ]. *Acta Petrologica Sinica*, 25 : 13~24 ( in Chinese with English abstract ).
- Wang Yang, Jiao Yongling, Tong Lihua, *et al.* 2013. The essence of A-type granitoid : A tentative discussion on the opinions held by Prof. Zhang Qi and some other researchers [ J ]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 32 ( 2 ) : 260~266 ( in Chinese with English abstract ).
- Whalen J B, Currie K L and Chappell B W. 1987. A-type granites : geochemical characteristics, discriminations and petrogenesis [ J ]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 95 : 407~419.
- Wu Suoping, Wang Meiyang and Qi Kaijing. 2007. Present situation of researches on A-type granites : a review [ J ]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 26 ( 1 ) : 57~66 ( in Chinese with English abstract ).
- Zhang Hongfei, Xiao Long, Zhang Li, *et al.* 2007. Geochemical and Pb-Sr-Nd isotopic compositions of Indosinian granitoids from the Bikou block, northwest of the Yangtze plate : Constraints on petrogenesis, nature of deep crust and geodynamics [ J ]. *Science in China ( D )*, 50 : 972~983.
- Zhang Huafeng, Zhai Mingguo, Tong Ying, *et al.* 2006. Petrogenesis of the Sanfoshan high-Ba-Sr granite, Jiaodong peninsula, eastern China [ J ]. *Geological Review*, 52 : 43~53 ( in Chinese with English abstract ).
- Zhang Qi. 2012. Fractionation and evolution of granitic magmas can do ? [ J ]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 31 ( 2 ) : 621~626 ( in Chinese with English abstract ).
- Zhang Qi and Li Chengdong. 2012. Granites : Implications for Continental Geodynamics [ M ]. Beijing : Ocean Press ( in Chinese with English abstract ).
- Zhang Qi, Jin Weijun, Li Chengdong, *et al.* 2010. Revisiting the new classification of granitic rocks based on whole-rock Sr and Yb contents : Index [ J ]. *Acta Petrologica Sinica*, 26 : 985~1 015 ( in Chinese with English abstract ).
- Zhang Qi, Ran Hao and Li Chengdong. 2012. A-type granite : what is the essence ? [ J ]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 31 ( 4 ) : 252~260 ( in Chinese with English abstract ).
- 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

- 陈富文, 付建明. 2005. 南岭地区中生代主要锡花岗岩地质地球化学特征与锡矿成矿规律 [ J ]. *华南地质与矿产*, ( 2 ) : 12~21.
- 邓希光, 李献华, 刘义茂, 等. 2005. 骑田岭花岗岩体的地球化学特征及其对成矿的制约 [ J ]. *岩石矿物学杂志*, 24 ( 2 ) : 93~102.
- 李厚民, 王登红, 王晓霞, 等. 2012. 华北地块南缘熊耳山早中生代正长花岗岩——SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄、地球化学及意义 [ J ]. *岩石矿物学杂志*, 31 ( 6 ) : 771~782.
- 李小微, 莫宣学, 赵志丹, 等. 2010. 关于 A 型花岗岩判别过程中若干问题的讨论 [ J ]. *地质通报*, 29 ( 2/3 ) : 278~285.
- 汪洋. 2008. 再论南岭侏罗纪“铝质” A 型花岗岩的成因及其对古地温线的制约 [ J ]. *大地构造与成矿学*, 33 ( 3 ) : 365~381.

- 汪 洋. 2009. 北京白查 A 型花岗岩的地球化学特征及其成因与构造指示意义[J]. 岩石学报, 25: 13~24.
- 汪 洋, 焦永玲, 全立华, 等. 2013. 再论 A 型花岗岩的实质——与张旗先生等商榷[J]. 岩石矿物学杂志, 32(2): 260~266.
- 吴锁平, 王梅英, 戚开静. 2007. A 型花岗岩研究现状及其述评[J]. 岩石矿物学杂志, 26(1): 57~66.
- 张宏飞, 肖 龙, 张 利, 等. 2007. 扬子陆块西北缘碧口块体印支期花岗岩类地球化学和 Pb-Sr-Nd 同位素组成: 限制岩石成因及其动力学背景[J]. 中国科学(D), 37: 460~470.
- 张华锋, 翟明国, 董 英, 等. 2006. 胶东半岛三佛山高 Ba-Sr 花岗岩成因[J]. 地质论评, 52: 43~53.
- 张 旗. 2012. 花岗质岩浆能够分异和演化吗?[J]. 岩石矿物学杂志, 31(2): 252~260.
- 张 旗, 金惟俊, 李承东, 等. 2010. 再论花岗岩按照 Sr-Yb 的分类标志[J]. 岩石学报, 26: 985~1 015.
- 张 旗, 李承东. 2012. 花岗岩: 地球动力学意义[M]. 北京: 海洋出版社, 1~287.
- 张 旗, 冉 麟, 李承东. 2012. A 型花岗岩的实质是什么?[J]. 岩石矿物学杂志, 31(4): 621~626.
- 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.

www.yskw.ac.cn