

“广西型花岗岩”的地球动力学意义

——答汪洋(2015)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: 汪洋撰文批评笔者提出的“广西型花岗岩”没有任何意义, 认为花岗岩类的全岩 Sr、Yb 含量不是指示花岗质岩浆起源压力的可靠指标, 以 Sr-Yb 为基础的花岗岩分类没有地球动力学意义。笔者认为, 花岗岩可以形成于不同的压力条件下不是笔者的发明, 国外早有论述, 例如 Defant 和 Drummond (1990) 关于埃达克岩和岛弧 ADR 的认识。汪洋认为, 花岗质岩浆可以形成于下地壳部位, 也可以形成于中地壳深度, 还认为基性岩浆分离结晶可以形成花岗质岩浆, 这都是笔者不赞同的, 因为缺乏野外证据。广西型花岗岩以富 Sr 和 Yb 为特征, 指示在相图上位于石榴石出现线之下和斜长石消失线之上, 暗示残留相既无石榴石也无斜长石。汪洋引用了不同地区不同作者对广西型花岗岩成因的不同见解, 与笔者关于广西型的概念没有任何关系, 也不能据此否定笔者关于广西型花岗岩的认识。

关键词: 广西型; 花岗岩; 压力; 分类; 评论

中图分类号: P588.12⁺1

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2015)03-0440-05

Geodynamic significance of “Guangxi-type granite”: Answer the question from Wang Yang(2015)

ZHANG Qi

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

Abstract: Wang Yang wrote a critique arguing that “Guangxi-type granite” does not contain the petrological and geodynamic significance, the whole-rock Sr and Yb content of granitic rocks cannot be regarded as a reliable index to indicate the melting pressure of granitic magma, and the “Sr-Yb” classification of granitic rocks is useless for geodynamic study. The author indicates that granites were formed under different pressures, like adakites and arc magmatic rocks (andesite-dacite-rhyolite). Wang Yang thinks that granitic magma can be formed either in the lower crust or in the middle crust, and also believes that granitic magma can be formed by basic magma fractional crystallization. Because of the lack of field evidence, the author does not agree with these arguments. The Sr and Yb enriched Guangxi-type granites indicates that there is no garnet and plagioclase in residual phases. Wang Yang quotes different opinions from different scholars, but these opinions have nothing to do with the concept of the Guangxi-type granites proposed by the author. Therefore, Wang Yang fails to deny the author’s understanding concerning Guangxi-type granite based on his arguments.

Key words: Guangxi-type; granite; pressure; classification; review

汪洋在《岩石矿物学杂志》2015年第3期上撰文(以下简称汪文)批评笔者提出的“广西型花岗岩”没有任何意义, 他认为, “广西型花岗岩”并不具备张文所论述的岩石成因与地球动力学意义; “花岗岩类

收稿日期: 2015-01-09; 修订日期: 2015-01-30

基金项目: 国家自然科学基金重大研究计划项目资助(91014001)

作者简介: 张 旗(1937-), 男, 研究员, 岩石学和地球化学专业, E-mail: zq1937@sina.com。

的全岩 Sr、Yb 含量不是指示花岗质岩浆起源压力的可靠指标,张旗提出的以‘Sr-Yb’为基础的花岗岩分类没有地球动力学意义”;“花岗岩类源区位于地壳底部,源区深度(压力)的变化反映了花岗质岩浆形成时地壳厚度的变化。这种认识是片面的”;“‘花岗岩新思维’仅仅依靠 Sr 和 Yb 的含量来推测花岗质岩浆的起源压力的做法是错误的,得到的诸如地壳厚度变化等推论也不可靠”。汪洋的结论是:“综上所述,张文及其理论基础——张旗及其合作者的‘花岗岩新思维’系列论文对花岗岩类成岩机制的认识不全面,利用花岗岩类的起源压力推断地壳厚度变化的做法缺乏坚实的理论依据,对相图的理解以偏概全,对花岗岩类 Sr、Yb 含量变化的解释有失偏颇。总之,依据‘Sr-Yb’分类所厘定的埃达克岩型、喜马拉雅型、浙闽型、南岭型和广西型花岗岩类与源区压力之间不存在确切的一一对应关系,花岗岩类 Sr、Yb 含量是源区温压条件、源岩成分等多种因素综合作用的结果,张旗及其合作者的花岗岩‘Sr-Yb’分类不具有明确的地球动力学意义”。如上所述,汪洋(2015)全盘否定了笔者关于花岗岩的分类,认为其毫无价值。

笔者欢迎任何人对笔者的批评和评论。汪洋的批评涵盖的范围广泛,有许多是需要认真思考的。在此,笔者仅就汪洋批评的某些观点简略回答如下:

1 花岗岩按照压力的分类是否有意义?

花岗岩形成的压力存在不同不是笔者的发明,国外早有论述。许多人认为,Defant 和 Drmmmond (1990)的最大贡献是发现了埃达克岩(adakite)。埃达克岩无可置疑是他们的重要发现,但是,笔者以为,他们最大的贡献有两条:一是将花岗岩区分为两类:高压的埃达克岩和低压的岛弧 ADR(安山岩-英安岩-流纹岩);二是提出按照残留相组合的思想来解释上述分类的不同:埃达克岩富 Sr 贫 Y,表明埃达克岩熔融后的残留相中有石榴石无斜长石,熔体与榴辉岩处于平衡;岛弧 ADR 贫 Sr 富 Y,表明残留相无石榴石有斜长石,熔体与角闪岩相处于平衡。因此,花岗岩形成的压力可以是不同的,这个不同,与残留相组合有关,从而开辟了花岗岩研究一个新的思路,这是花岗岩研究史上具有里程碑意义的创新,也是 Defant 和 Drmmmond 对花岗岩理论最大的贡献。此外,国外许多文献认为 A 型花岗岩形成的压

力较低,与地壳伸展减薄作用有关,相关的文献很多,笔者就不一一列举了;与蛇绿岩有关的 M 型花岗岩形成的压力更低(2~5 km),也是众所周知的事实(张旗等,2008)。

综上所述,花岗岩形成的压力不同,这是国外研究得出来的认识。汪洋否认笔者关于花岗岩的分类,连埃达克岩形成于高压条件下、岛弧 ADR(相当于笔者提出的浙闽型花岗岩)形成于低压背景下、A 型花岗岩形成于伸展减薄环境下以及 M 型花岗岩形成于更浅的深度上也一概予以否定,是否合适?

笔者及其合作者对花岗岩与压力的关系此前并没有特殊的兴趣,只是在随后的工作中不经意间发现了还有一类低 Sr 低 Y 和 Yb 的花岗岩(李承东等,2004),引起我们的注意,再联系到 A 型花岗岩具有更低的压力,才引导我们在花岗岩与压力的关系方面做了一些工作(张旗等,2006,2008)。由于低 Sr 和 Yb 的花岗岩在喜马拉雅地区最发育(淡色花岗岩),遂将其命名为喜马拉雅型;由于浙闽地区的中生代花岗岩大多类似岛弧 ADR 的特征(仅指 Sr 和 Yb 含量),遂将其命名为浙闽型。南岭型的提法许多人不认可,认为 A 型花岗岩足矣,为何还要提出另外一个术语。实际上,南岭型包括 A 型和 M 型两类,它们是花岗岩中形成压力最低的。此外,我们在统计全球花岗岩数据时,发现还有一类高 Sr 高 Yb 的花岗岩,令我们十分困惑。国内典型的实例是李献华等(1999)报道的广西中生代钾玄质系列的花岗岩,国外以挪威的几个加里东期的花岗岩比较典型(张旗,2014a)。国内外对这种类型的花岗岩有不同的解释,直到去年我们研究花岗岩与压力的关系时才搞明白广西型花岗岩的含义(张旗,2014a)。我们在 2006 年就形成了花岗岩系统分类的概念,大体遵循 Defant 和 Drmmmond (1990)的思路:以压力为指标,用残留相组合去解释,着重 Sr 和 Yb 两个元素的讨论(张旗等,2006)。因此,这种解释方法也并非笔者独创,但笔者认可这种方法,尽管这种方法目前还不被某些人认同。

2 花岗岩可以形成于中上地壳吗?

不同类型的花岗岩形成压力不同是否有意义?是否能够标志地壳厚度的不同?前提有两个:一是花岗岩必须形成于下地壳底部;二是花岗岩形成后不能发生演化,既不能从高 Sr 演化为低 Sr,也不能

从低 Sr 演化为高 Sr。许多文献认为中上地壳是可以作为花岗岩熔融的源区的,教科书也是这样说的。但是,上了教科书的不一定就是真理,野外实践告诉我们,上述认识是值得商榷的。汪洋认为:“花岗质岩浆可以形成于下地壳部位,也可以形成于中地壳深度,对于由基性岩浆分离结晶形成的花岗质岩浆而言,其源区可以位于上地壳。这意味着花岗质岩浆的源区深度(压力)与地壳厚度之间不存在简单的因果关系,‘花岗岩新思维’利用花岗质岩浆起源压力推测地壳厚度变化这一做法的基础并不牢靠”。汪文在这里提出了两个论断:一个是花岗岩可以形成于中上地壳深度;另一个是基性岩浆可以分离结晶形成花岗质岩浆。汪文的上述两个论断是否可信,需要证据。

首先看野外实践。如果由于玄武质岩浆的侵入能够导致中上地壳发生部分熔融形成花岗岩的话,那么,我们去考察几个比较大的基性岩、超基性岩,例如四川攀枝花和河北大庙。那里的辉长岩顶部能够见到围岩部分熔融形成花岗岩的现象吗?国外有布什维尔德和斯凯尔加德等更大的岩体,它们都是侵入于中上地壳部位,顶部有围岩部分熔融现象吗?玄武质岩浆温度高达1200℃,带来巨大的热量。但是,由于岩浆冷却快,不能保持持续的高温(与下地壳底部状况比较),故不可能引发围岩发生部分熔融形成有一定规模的花岗质岩浆。大多数情况下在基性侵入体边部出现的是接触变质带,出现的是辉石角岩和角闪石角岩,温度一般不超过700℃。因此,教科书和文献中关于中上地壳能够作为花岗岩的源区的说法是值得商榷的。汪洋还认为基性岩浆分离结晶能够形成花岗质岩浆。基性岩很多,基性岩能够分离结晶,但是,有没有基性岩分离结晶形成花岗岩的实例呢?有些文献说有,但是否真的呢?需要读者自己去判别。笔者根据自己的理解,认为不可能有,有的只是基性岩部分熔融形成花岗岩的大量实例。笔者对此有详细的讨论(张旗等,2008),此处就不赘述了。

其次看数据。数据,尤其是原始数据,是我们进一步认识的依据。但是,笔者强调指出,某些根据花岗岩数据得出的比值以及根据分析数据绘出的哈克图解不一定可靠。经过加工的数据,有些是事实,有些不一定是事实,需要仔细鉴别。例如国外学者喜欢用的 Sr/Y 和 Sr/Yb 值,就不如 Sr 和 Yb 的原始数据更加真实。国外文献认为,埃达克岩最主要的判

别标志是 $Sr/Yb > 40$,实际上按照 Sr 和 Yb 的含量, $Sr > 400 \times 10^{-6}$, $Yb < 1.9 \times 10^{-6}$,即是埃达克岩(Defant and Drummond, 1990)。如果取 $Sr = 400 \times 10^{-6}$, $Yb = 1.9 \times 10^{-6}$, $Sr/Yb > 20$ 即可。但是,国外仍然青睐 $Sr/Yb > 40$ 这个指标。这样的双重标准徒增矛盾,是有缺陷的,严格说是不科学的。笔者的研究表明,高 Sr 低 Yb 的埃达克岩和低 Sr 低 Yb 的喜马拉雅型花岗岩都有可能 $Sr/Yb > 40$,表明该比值作为判别标志并不合理(张旗等,2008;张旗,2015)。

3 关于广西型花岗岩问题

汪文查阅了笔者引用的全部广西型文献,另增加了一些文献,还用很大的篇幅描述了不同地区不同作者对于该类花岗岩的不同解释,制作了一张资料汇总表(汪洋,2015,表1),以此来批评笔者对于广西型花岗岩的理解是片面的、错误的。

不错,许多中外学者对具有高 Sr 高 Yb 的花岗岩进行了研究,给出了各式各样的见解。但是,不难发现,所有的文献均未对高 Sr 高 Yb 的现象做出解释。据汪洋(2015)统计,上述文献中约“有40%属于A型花岗岩类或碱性系列”。但是,文献所说的是否就是真正的A型花岗岩呢?A型花岗岩的真正特征是什么?据笔者的理解,A型花岗岩最突出的地球化学特征是非常贫 Sr 富 Yb,REE 具燕式分布。而上述文献所述岩体没有贫 Sr 的,Sr 含量不仅高而且很高,相当于埃达克岩($> 400 \times 10^{-6}$),且 REE 几乎没有具燕式分布的特征。笔者之前在回答汪洋对笔者另外一篇文章的质疑(汪洋等,2013)时已经指出,Litvinovsky 等(2000)的实验得出的A型花岗岩的结论是错的,实际上那是埃达克岩而非A型花岗岩(张旗,2013)。但是,汪文仍然坚持 Litvinovsky 等(2000)关于实验的解释是对的,并以此否定笔者关于A型花岗岩的见解。笔者再一次指出,Litvinovsky 等(2000)的实验做得很好,但是解释错了,那不可能是A型花岗岩。

笔者关注某些文献中的高 Sr 高 Yb 现象,期望从一个新的角度探讨它的成因。按照 Defant 和 Drummond (1990)所倡导的残留相理论,埃达克岩 Sr 高是因为有斜长石进入了熔体;岛弧 ADR(相当于笔者的浙闽型花岗岩)Yb 高是因为残留相无石榴石。为什么会出现 Sr 和 Yb 都高的现象呢?按照同样的逻辑,Sr 高是因为斜长石进入了熔体,残留相无

斜长石；Yb高是因为残留相无石榴石；既无石榴石和斜长石的残留相由什么组成？只有超基性岩了。超基性岩和基性岩的区别之一即斜长石含量不同。没有斜长石的岩石可能是角闪石岩或角闪石辉石岩等。笔者认为，花岗岩是壳源的，地幔橄榄岩不可能部分熔融形成花岗岩（张旗等，2008）。看来，广西型花岗岩属于非常特殊的一类花岗岩。再联系到：①广西型花岗岩的SiO₂含量普遍较低，大多在60%左右，很少超过70%，暗示只有基性或超基性的源岩（不包括地幔橄榄岩）才有可能；②广西型花岗岩在全球的产出很少，据笔者的统计大约不超过3%（张旗等，2008），暗示这种花岗岩的形成条件比较苛刻；③在相图中广西型花岗岩位于石榴石出现线之下、斜长石消失线之上，是花岗岩形成温度最高的位置，至少大于900℃（张旗，2014a，图3）。因此，笔者认为，广西型花岗岩的源岩可能是角闪石岩或辉石角闪石岩，是在很高的温度和较低的压力下形成的（相比之下，南岭型花岗岩的压力更低）。这就是广西型花岗岩的意义之所在。

如果主要考虑Sr和Yb两个元素，按照排列组合，可以出现高Sr低Yb、低Sr低Yb、高Sr高Yb和低Sr高Yb这4种情况。上述4种情况分别对应于埃达克型花岗岩、喜马拉雅型花岗岩、广西型花岗岩和浙闽型花岗岩。由于野外还有一类A型和M型花岗岩，它们的Sr含量异常低，统计结果大多 $<100 \times 10^{-6}$ ，但Yb含量较高，变化较大。于是，我们遂从浙闽型花岗岩中分出一类非常低Sr高Yb的花岗岩，称其为南岭型花岗岩。我们发现，按照Sr和Yb含量排列组合的上述5类花岗岩适用于全球各种花岗岩，全球无论什么成分的花岗岩，均可在花岗岩Sr-Yb分类图中找到它们的位置。不仅如此，在相图中，如果主要关注石榴石和斜长石这两个矿物的变化，上述5类花岗岩也能够各自找到不同的位置，分别对应于不同的温度-压力条件，而且可以用统一的残留相理论进行解释，解释的结果大体与野外产出实际可以对比。这说明花岗岩的这种分类是可信的。当然，这只是比较理想的情况。花岗岩异常复杂，它还受源岩、部分熔融程度、温度、压力、流体、幔源物质以及岩浆形成以后经历的混合、混溶、混染的改造等等。上述情况的不同无疑会影响到分类的标志。笔者只是从理论上、从比较简单的情况出发，将纷繁复杂的花岗岩按照一定的标志

理出一个头绪。笔者并不认为上述分类就完美无缺了，例如，我们关于分类的标志就已经数易其稿（张旗，2014b）。

正是由于Sr和Yb两个元素所具有的比较特殊的功能，笔者近10年来才倾全力探索应用残留相的思路来考察花岗岩形成的压力问题（张旗等，2008，2012；张旗，2014a，2014b），而这恰是被学术界所忽略的问题。笔者关于花岗岩的Sr-Yb分类法是建立在几千个随机选取的数据的基础上的。该分类最重要的地球动力学意义是解决了花岗岩形成时的源区所经历的压力和温度问题。我们的探索才刚刚起步，肯定是不完善的，还需要继续探索、修改和琢磨。许多基础性的理论还没有解决，笔者也没有关闭继续探索的大门。8年来，笔者对上述分类做了无数次的检验，几乎没有遗漏国内近年来发表的重要文献。检验的结果使笔者相信，该分类基本上是可信的。那么，该分类是否有某种预见性呢？例如，根据笔者提供的花岗岩分类图和相图（张旗，2014a，图2和图3），低Sr低Yb的喜马拉雅型花岗岩是低温系列的（残留相有石榴石和斜长石），高Sr高Yb的广西型花岗岩是高温系列的（残留相无石榴石和斜长石）。按此推理可以预见：广西型花岗岩和喜马拉雅型花岗岩不可能同时同地出现。因为，同一地区同一时代，地壳底部不可能既冷又热。又如，埃达克岩是高压下形成的，南岭型花岗岩是在很低的压力下形成的。如果上述结论可信，那么，可以做出的推理或预言是：埃达克岩和南岭型花岗岩不可能同时同地出现。因为，同一地区同一时代，地壳不可能既厚又薄。如果这样的检验失败了，那就说明上述分类既不科学也不合理，是没有地球动力学意义的，是没有理论基础的，该分类或需要修改或予以抛弃。如果不是这样，怎么能够武断地予以全盘否定？应当承认，笔者秉承的是一个新的角度，企望能够带给花岗岩研究某些新的思维。笔者关于广西型花岗岩的解释只是初步的，肯定有不足之处，欢迎来自各方的批评和质疑，希望在争论中能够促进科学的进步。

汪洋的质疑还全面彻底否定了笔者及其合作者关于花岗岩分类的见解，他与笔者的分歧何在，问题出在哪里？笔者将另文探讨。

致谢 感谢审稿人的评论和建议。

References

- Defant M J and Drummond M S. 1990. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere[J]. *Nature*, 347 (6294): 662~665.
- 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.
- Li Chengdong, Zhang Qi, Miao Laicheng, *et al.* 2004. Mesozoic high-Sr, low-Y and low-Sr, low-Y types granitoids in the northern Hebei Province: geochemistry and petrogenesis and its relation to mineralization of gold deposits [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 20: 269~284 (in Chinese with English abstract).
- Li Xianhua, Zhou Hanwen, Liu Ying, *et al.* 1999. The Shoshonitic intrusive belt of SE Guangxi and its petrological and geochemical characteristics[J]. *Chinese Science Bulletin*, 44(18): 1 992~1 998(in Chinese).
- Wang Yang. 2015. Does the "Guangxi-type granite" have any petrological significance? —A critique on "Geochemistry of the Guangxi-type granite and its tectonic implications"[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 34(3): 427~439(in Chinese with English abstract).
- Wang Yang, Jiao Yongling, Tong Lihua, *et al.* 2013. The essence of A-type granitoid: A re-appraisal on the opinions of Prof. Zhang Qi *et al.* [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 32(2): 260~266 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Qi. 2013. Standards and discrimination for A-type granites: Reply Wang Y *et al.* (2013) question for Zhang Q *et al.* (2012) "A-type granite: what is essence?"[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 32(2): 267~274 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Qi. 2014a. Geochemical characteristics of the Guangxi-type granite and its tectonic implications[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 33(1): 199~210 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Qi. 2014b. The geodynamic implications of continental granites [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 33(4): 785~798 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Qi. 2015. A tentative discussion on experimental study of adakite [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 34(2): 257~270 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Qi and Li Chengdong. 2012. Granites: Implications for Continental Geodynamics[M]. Beijing: Ocean Press, 1~276 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Qi, Wang Yan, Li Chengdong, *et al.* 2006. Granite classification on the basis of Yb and Sr contents and its implications[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22: 2 249~2 269 (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

- 李承东, 张旗, 苗来成, 等. 2004. 冀北中生代高Sr低Y和低Sr低Y型花岗岩: 地球化学、成因及其与成矿作用的关系[J]. *岩石学报*, 20: 269~284.
- 李献华, 周汉文, 刘颖, 等. 1999. 桂东南钾玄质侵入岩带及其岩石学和地球化学特征[J]. *科学通报*, 44: 1 992~1 998.
- 汪洋. 2015. "广西型花岗岩"有岩石学意义吗? ——对《广西型花岗岩的地球化学特征及其构造意义》一文的质疑[J]. *岩石矿物学杂志*, 34(3): 427~439.
- 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.
- 张旗. 2013. A型花岗岩的标志和判别——兼答汪洋等(2013)对张旗等(2012)"A型花岗岩的实质是什么"的质疑[J]. *岩石矿物学杂志*, 32(2): 267~274.
- 张旗. 2014a. 广西型花岗岩的地球化学特征及其构造意义[J]. *岩石矿物学杂志* 33(1): 199~210.
- 张旗. 2014b. 大陆花岗岩的地球动力学意义[J]. *岩石矿物学杂志*, 33(4): 785~798.
- 张旗. 2015. 有关埃达克岩实验应用中几个问题的探讨[J]. *岩石矿物学杂志*, 34(2): 257~270.
- 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, 李承东, 等. 2006. 花岗岩的Sr-Yb分类及其地质意义[J]. *岩石学报*, 22: 2 249~2 269.
- 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.