

编号: 0258-7106(2011)03-0557-14

再论花岗岩的分类及其与金铜钨锡成矿的关系

——答华仁民先生和王登红博士对“张旗等(2010)花岗岩与金铜及钨锡成矿的关系”一文的质疑*

张 旗

(中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029)

摘 要 华仁民先生和王登红博士对笔者发表在《矿床地质》上的“花岗岩与金铜和钨锡成矿的关系”一文提出了质疑。笔者欢迎他们的质疑,并再次强调,花岗岩按照 Sr-Yb 的分类不是成因分类。分类是有客观标准的,其含义可以有不同的解释,笔者认为该分类与花岗岩形成的压力有关。花岗岩与成矿有关,不是成因有关,而是时空有关。因此,“含矿岩体”和“成矿母岩”的说法是不对的。成矿如果与成岩有关,二者大体是同时的,成矿早于或晚于成岩都是合理的。与金铜有关的是埃达克型和喜马拉雅型花岗岩,与钨锡成矿有关的主要是南岭型花岗岩,前者与地壳加厚有关,后者与地壳减薄有关。因此,金铜和钨锡一般不共生。为了深入讨论问题,应当建立在详细和精确资料的基础上。

关键词 地质学;花岗岩分类;成矿作用;金铜;钨锡

中图分类号: P588; P611

文献标志码: A

A re-discussion on the classification of granites and their relationship with Cu-Au and W-Sn mineralization: A reply to the comments by Messrs Hua Renmin and Wang Denghong about “Zhang Qi et al(2010): Relationship between granitic rocks and Au-Cu-W-Sn mineralization”

ZHANG Qi

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

Abstract

We welcome the comments by Hua (2010) and Wang (2010). It is noted that the Sr-Yb classification for granitic rocks that we proposed is not the one based on the origin of granitic rocks, instead it is an indicator for the pressure under which the granitic rocks were formed. Therefore, Cu-Au mineralization is associated with adakitic and Himalayan-type granitic rocks formed from thickened lower crust (high-pressure), whereas W-Sn mineralization is related to Nanling-type granitic rocks formed from thinned crust (lower-pressure). The Cu-Au mineralization and the W-Sn mineralization are thus not genetically related to each other; they may be overlapped within the same granitic plutons at different times. We also propose that the granitic plutons that host either Cu-Au or W-Sn mineralization might have nothing to do with the mineralization in genesis, and they are on-

* 本文得到国家自然科学基金重大研究计划(编号: 91014001、90714011 和 90714007)及中国科学院地质与地球物理研究所岩石圈演化国家重点实验室(专 0904)项目的资助

作者简介 张 旗,男,1937 年生,研究员,岩石学和地球化学专业。Email: zq1937@sina.com

收稿日期 2011-03-01;改回日期 2011-05-11。张绮玲编辑。

ly spatially related or sometimes temporally related to each other. However, any further detailed discussion on the relationship between granitic plutons and Cu-Au and W-Sn mineralization should be based on accurate ages and whole-rock geochemical data.

Key words: geology, classification for granitic rocks, mineralization, Cu-Au deposits, W-Sn deposit

关于“花岗岩与金铜及钨锡成矿的关系”(张旗等 2010a)在《矿床地质》2010 年第 5 期发表后,引起学术界广泛的关注,华仁民先生(华仁民 2011)和王登红博士(王登红 2011)在《矿床地质》2011 年第 1 期发表文章(以下分别简称为华文和王文)对拙文进行质疑。笔者欢迎上述质疑,并反复思考了一些问题,现答复如下。

1 关于花岗岩的分类

花岗岩分类是一个纯岩石学问题,需要占用《矿床地质》的宝贵篇幅来讨论是笔者始料未及的。好在矿床学领域的许多人对花岗岩感兴趣,其中不乏花岗岩研究方面有造诣的专家。因此,深入讨论一下花岗岩问题,对促进岩石学和矿床学之间的交流未尝不是一件好事。下面首先回答华文的质疑,然后回答王文的问题。

1.1 埃达克岩是否能作为花岗岩分类中的一种类型?

华文对笔者的花岗岩分类提出了批评,认为“所谓花岗岩分类应该是将所有的花岗岩包括在内的,即使不可能包括那些很特殊的岩石,那至少也要包括绝大多数”。笔者的回答是:笔者的分类已经将绝大部分花岗岩类包括在内了(张旗等,2006;2010b;2010c)。华文批评笔者扩大了埃达克岩的含义,说笔者改变了原先的标准,“这样一来,就扩大了‘埃达克型’花岗岩的范围;使一批达不到原始埃达克岩 Sr、Yb 含量的岩石,摇身一变也成了‘埃达克型’花岗岩”。笔者承认的确是如此,这是基于 20 年国内外研究资料的积累归纳出来的。这不是问题的关键,正如华文所说:“关键是埃达克岩是一种在特定环境下被认识的岩石,它具有高 Sr、低 Yb 的特征;但是,我们不能因此就认定,具有高 Sr 低 Yb 特征的岩石就是埃达克岩或就可以叫埃达克岩。这难道不是最基本和正确的科学思维吗?”实际上,对于埃达克岩的定义,Defant 在 2002 年有一个进一步的阐述,他根据埃达克岩研究的最新进展指出:“adakite should be a general term used for those rocks with

adakitic geochemical characteristics and should have no ‘process implications’”(Defant, 2002),大意是:埃达克岩应当是泛指那些所有具埃达克岩地球化学特征的岩石,没有特定的形成过程含义。华文还进一步“认为埃达克岩根本不能作为花岗岩成因分类的依据或参照”。在这里笔者指出 2 点:①笔者提出的花岗岩按照 Sr-Yb 的分类,不是成因分类;② Defant and Drummond 在 1990 年提出 adakite 的术语时,给出了区分埃达克岩和岛弧安山岩-英安岩-流纹岩的标志,已经将花岗岩分为了(高 Sr 低 Y 和低 Sr 高 Y 的)2 类。分类的标准和方法可以是各种各样的,应当随着研究工作的进展而变化;“这难道不是最基本和正确的科学思维吗?”

1.2 对 Sr、Yb 含量作为分类标准的质疑

华文指出:“花岗岩类中那些偏中性的岩石如花岗闪长岩、石英二长岩具有较高的 Sr 含量,而偏酸性的岩石则具有较低的 Sr 含量。在一个复式花岗岩体中,从早阶段演化到晚阶段,岩石中的 Sr 含量一般逐渐降低”。这个问题比较复杂,笔者是这样考虑的:

(1) 华文关于“花岗岩类中那些偏中性的岩石如花岗闪长岩、石英二长岩具有较高的 Sr 含量,而偏酸性的岩石则具有较低的 Sr 含量”的说法一般来说是对的,但是,不能无条件地到处套用。为什么?因为,花岗岩类 Sr 含量的多寡主要取决于部分熔融时与花岗岩平衡的残留相矿物组合,并不主要取决于岩石的酸性程度。一个花岗岩,如果在高压下形成,残留相有石榴子石无斜长石,则 Sr 含量必然高;一个花岗闪长岩,如果在低压下形成,残留相无石榴子石有斜长石,则 Sr 含量一定低,尽管花岗闪长岩的 SiO₂ 含量比前述花岗岩低。例如长江中下游石英闪长岩和花岗闪长岩的 Sr 含量高,属于埃达克型花岗岩;大别山以花岗岩为主,与长江中下游比偏酸性,但是,大别山花岗岩 Sr 含量并不低,也是埃达克型花岗岩。浙闽地区有花岗岩和花岗闪长岩,二者 Sr 含量均不高。南岭地区花岗闪长岩很少,如果它是南岭型(A 型)的,其 Sr 含量肯定比大别山地区具埃达克岩特征的花岗岩低。

(2) 一个复式岩体可以有早阶段和晚阶段的侵入体,它们之间不可能是演化关系,因为花岗岩黏性大,不可能演化,此其一;其二,从早阶段到晚阶段 Sr 含量可以变化,大体可分为 3 种情况:如果早阶段和晚阶段地壳厚度不变, Sr 含量即大体不变;如果从早阶段到晚阶段地壳厚度减薄了,则晚阶段花岗岩 Sr 含量降低;如果从早阶段到晚阶段地壳厚度增加了,则晚阶段花岗岩 Sr 含量增加。并不存在华文所说的“从早阶段演化到晚阶段,岩石中的 Sr 含量一般逐渐降低”的规律。

(3) 华文还说:“一些较大的花岗岩体中由于各种原因而可能包含若干个岩性不同但形成时间和环境相近的岩体,它们的 Sr 和 Yb 的含量彼此相差可能更大”。这是不可能的。笔者研究得出的认识是:一些较大的花岗岩体包含了若干个岩性不同的岩体,如果它们形成的时间相近,它们的 Sr 和 Yb 含量彼此也相近;如果它们形成的时间不同,它们的 Sr 和 Yb 含量可能相近,也可能相差很大。为什么?因为,如果不同岩体形成的时间和环境相近,它们可能是在同样的地壳厚度下形成的,岩性虽然不同,但是 Sr 和 Yb 的含量不会有很大的变化。但是,如果不同岩体形成时间不同,情况就会有变化:① 如果不同时间的岩体形成的地壳厚度不变,则 Sr 和 Yb 含量变化不大;② 如果不同时间的岩体形成的地壳厚度不同,则 Sr 和 Yb 含量就会有很大的变化。国内外已经有许多这样的实例了(张旗等,2010a;2010b,2010c),笔者的分类正是为了探讨不同花岗岩 Sr 和 Yb 含量何以会有变化,变化大说明了什么。

华文还认为既然是分类,那么各类花岗岩区分的指标就不应该“有所重叠”。花岗岩分类的方案很多,有的有重叠,有的没有重叠。是否重叠和重叠多少,是由实际资料决定的,不是人为可以左右的。对于复杂的地质现象来说,“分类的范围”有所重叠是正常的,没有重叠反而不正常。

这个问题王登红博士还有更加尖锐的批评,笔者将在回答王登红的批评时进一步讨论。

1.3 关于用地区名称作为花岗岩类型的质疑

华文指出:“不管怎么说,在使用地区名称作为花岗岩类型名称的时候,总要有一些前提条件。首先是这个地区的花岗岩数量足够多,而且大多数花岗岩(尤其是典型的、有代表性的花岗岩体)的特征必须比较一致地符合它的分类指标或标准;否则用这个地名作为某一类岩石的名称就没有意义”。笔

者同意这个标准,笔者也是这样考虑的。华文举南岭最大的佛冈岩体为例,认为按照笔者的分类佛冈主体是浙闽型而非南岭型,因此,南岭型的叫法不对。关于浙闽型,华文举太姥山、乌山、金刚山、新村为例,也认为笔者的分类不好。

华文对用地名命名岩石是持否定意见的,华文指出:“由于实际情况的复杂性,一个地方的岩石往往难以在全球范围具有普适性;因此随着科学的发展,这种以地名作为岩石命名的方案逐渐不被人们所采用”。实际情况并非如此,例如安山岩、科马提岩、赞岐岩、玻安岩、埃达克岩、钾玄岩(shoshonite)等等,都是用地名命名的,不是一直在使用吗?

关于是否用地名作为分类的命名问题笔者是很费斟酌的,开始笔者也没有这样用。笔者第 1 次提出花岗岩分类时,用的是“高 Sr 低 Yb 型、低 Sr 低 Yb 型、低 Sr 高 Yb 型和非常低 Sr 高 Yb 型”的名称(张旗等,2006)。后来发现不好,才改为用地名命名(张旗等,2008,2010b,2010c)。因为,低 Sr 高 Yb、低 Sr 低 Yb、高 Sr 低 Yb 之间就一字之差,容易搞错。为了使用方便,笔者才回过头来用地名命名。埃达克型用了原始的定义,其他是笔者创立的,当然应当采用中国的地名。低 Sr 低 Yb 型花岗岩比较好办,唯有喜马拉雅地区最发育,研究也最详,称其为喜马拉雅型顺理成章。南岭型和浙闽型则颇费周折,笔者考虑了几个方案,最终优中选优才确定了下来。但是,仍然不能令人满意,正如华文所指出的那样。对于南岭型,笔者当初的考虑是因为在南岭地区南岭型花岗岩多,虽然南岭也有一些花岗岩不是南岭型的。浙闽型也如此,浙闽地区比南岭地区还要复杂,就笔者现在的了解,有埃达克型、浙闽型和南岭型 3 类,只是浙闽型占绝对优势而已。华文提出佛冈花岗岩和其他一些花岗岩不是南岭型的从而否定南岭型的命名,他可以这样认为,但是,这并非充分的理由。因为,笔者没有规定南岭地区的花岗岩应当统统是南岭型的,国际上也没有这样的规定。就以安山岩(andesite)来说,它在安第斯特别发育,但是在安第斯还有许多非安山质的岩石,如辉长岩、花岗岩、钾玄岩等等,我们是不是也可以否定安山岩的术语呢?

南岭型花岗岩实际上就是 A 型花岗岩,为什么不直接用 A 型花岗岩呢?因为 A 型花岗岩的鉴别和使用存在混乱的情况(张旗等,2010b)。笔者限定南岭型代表 Sr 含量非常低、Yb 含量相对较高、负钨

异常明显的一类花岗岩,而文献中的 A 型花岗岩虽然多数与南岭型可以对比,但也不乏相当于浙闽型和喜马拉雅型的情况,甚至有的还相当于埃达克型。因此,笔者才不得不重新给出一个新的命名。

华文认为笔者的“花岗岩分类方案缺乏实用性和普适性,不能揭示花岗岩成因的实质,远远不及已有的相关分类方案,因此难以自立于花岗岩分类方案之林,也难以被学术界所接受”。在这里笔者再次重申:

首先,花岗岩分类是有客观标准的,其含义可以有不同的解释,不应当将分类的标志与其解释混为一谈。

其次,笔者提出的花岗岩按照 Sr 和 Yb 的分类是有具体指标的(张旗等,2010b),该分类的理论基础是熔融的花岗质岩浆与其残留相组合处于平衡,不同的残留相组合指示的压力不同。因此,笔者解释该分类的意义是与花岗岩形成的压力有关,没有任何成因的含义。

第三,它适合于全球各种(壳源的)花岗岩类 [$w(\text{SiO}_2) > 56\%$],但不包括幔源的高镁安山岩、玻安岩、赞岐岩等。因此,它是有实用性和普适性的,君若不信,请查阅笔者 2010 年“再论”和“三论”两篇文章所举的国内外众多实例(张旗等,2010b; 2010c)。

第四,与其他各种已有的花岗岩分类比较,笔者的分类是花岗岩研究中一个新的尝试。至于学术界是否能够接受,那是另外一回事,笔者不奢求,可以仁者见仁,智者见智。

1.4 什么是埃达克岩?野外怎么鉴别?

下面回答王文的问题:“什么是埃达克岩?野外怎么鉴别?”这是一个争论了多年的问题,答案并不复杂。不错,岩石学命名主要是按岩石的矿物和结构命名的,但是,埃达克岩不一样,是 Defant and Drummond (1990)以地球化学为标志命名的。埃达克岩没有固定的岩相学特征,这一点是最让国人头痛的了。可是按照国际岩石学命名的准则(根据矿物组合和结构构造特征或地名命名),埃达克岩的命名也是合理的(张旗等,2010b)。何谓埃达克岩?其实就是具有某种地球化学特征的中酸性岩浆岩,与 I 型花岗岩和 S 型花岗岩一样。I 型花岗岩还有不同于 S 型花岗岩的岩相学标志,而埃达克岩连起码的岩相学标志都没有,它既可以是 I 型的,也可以是 S 型的。如果当初命名时,将“adakite”称为“Adak-type

granite”,如同“I-type granite”、“S-type granite”和“A-type granite”一样,反映的是花岗岩地球化学性质上的差异,就更确切,就会少一些不必要的争论了(张旗等,2010b)。但是,回过头来,不能因为我们不习惯就认为不合理,就予以排斥。王文指责“野外无法鉴别的还叫岩石吗?”当然可以叫岩石。王文还感叹“泱泱中国居然找不到一块标本,还要向外国人索要,岂不是丢中国人的脸?”。根据王文的描述,“有关埃达克岩的论文在国内层出不穷”,例如在华北,只要是中生代的花岗岩,几乎俯拾即是,主要是 C 型的埃达克岩。如果王登红不认可,那么,在古亚洲洋范围内也报道了很多埃达克岩的实例,大多是 O 型的埃达克岩,与国外的埃达克岩基本一样,其中许多还是与斑岩铜矿和金矿有关的。我不清楚王登红博士怎么会感叹“泱泱中国居然找不到一块标本?”是丢了谁的“脸”?王文提出“一个分类体系的合理性,除了基于数据统计之经验外,还需要符合逻辑”。言下之意是笔者的分类不符合逻辑。我不清楚笔者的分类是怎么不符合逻辑的。王文说:“把 $w(\text{Sr}) > (300 \times 10^{-6})$ 且 $w(\text{Yb}) < (2.5 \times 10^{-6})$ 的叫作埃达克型花岗岩,那么, $w(\text{Sr}) > (300 \times 10^{-6})$ 且 $w(\text{Yb}) > (2.5 \times 10^{-6})$ 的该怎么叫? $w(\text{Sr}) < (300 \times 10^{-6})$ 而 $w(\text{Yb}) > (2.5 \times 10^{-6})$ 以及 $w(\text{Sr}) < (300 \times 10^{-6})$ 且 $w(\text{Yb}) < (2.5 \times 10^{-6})$ 又分别是什么岩石呢?”很简单, $w(\text{Sr}) > (300 \times 10^{-6})$ 且 $w(\text{Yb}) > (2.5 \times 10^{-6})$ 的叫广西型花岗岩, $w(\text{Sr}) < (300 \times 10^{-6})$ 而 $w(\text{Yb}) > (1.5 \times 10^{-6})$ 的叫浙闽型花岗岩(注: $w(\text{Yb})$ 不是 $> (2.5 \times 10^{-6})$ 而是 $> (1.5 \times 10^{-6})$),见张旗等,2010b), $w(\text{Sr}) < (300 \times 10^{-6})$ 且 $w(\text{Yb}) < (2 \times 10^{-6})$ 的叫喜马拉雅型花岗岩(注: $w(\text{Yb})$ 不是 $< (2.5 \times 10^{-6})$ 而是 $< (2 \times 10^{-6})$),见张旗等,2010b)。

1.5 Yb-Sr 图解万能吗?

王文首先指出笔者得出的“东准的样品大多数落入埃达克型范围”的结论错了(见张旗等,2010a 第 730 页倒数第 10 行)。并列老鸦泉、塔克什肯、布尔根、扎西北、恰库尔特、贝勒库都克、萨惹什克、大加山等花岗岩为例,说明它们大多不是埃达克型的,批评笔者是“自相矛盾”。但是,不知道王博士是否注意到,笔者在描述东准的资料时,引用的是冯京和张招崇(2009)的文献。根据该文的数据,“东准的样品大多落入埃达克型范围,部分落入浙闽型范围,推测有可能包括了与成矿有关和无关的不同时代和不同类型的花岗岩。”至于其他资料,则需要在区别其

分布、时代和地球化学特征的基础上分别得出相应的结论。

此外,王文还提出了南岭地区的许多数据,可惜王文提出的数据有些是平均值,有些是20多年前的资料(包括东准以及后面要提到的德兴的某些资料)笔者就不予置评了。在这里笔者提出2点希望:①在讨论某些具体地区问题的时候,最好用原始数据而不用平均值,平均值有人为因素,容易失真;②在精确的数据(包括地球化学数据和同位素年代学数据)的基础上进行讨论。笔者欢迎大家对笔者的分类进行质疑,并愿意和大家共同讨论。笔者希望这个讨论是在下述2个前提下进行(张旗等,2010c):

首先野外研究要做好:①如果花岗岩较大,不止一种岩性,说明可能由不止一个岩体组成,要一个岩体的研究;②注意岩体有无结晶分离现象、混合和混染现象,剔除掉那些有强烈混合、强烈构造变形和强烈蚀变的样品;③对于需要研究的侵入体,要采集配套的地球化学和年代学样品;④重视岩相学研究,岩相学研究是野外和室内研究的衔接,许多数据的解释离不开岩相学的观察。

其次数据要可靠:①笔者要求“三准”:即准确的同位素年龄,准确的地球化学数据和准确的采样地点。年龄不准,数据不准,地点不清,是很难深入讨论的。②数据与野外关系必须匹配,野外侵入关系不能与年龄数据矛盾,即使精确的同位素定年方法,如果与野外关系矛盾,也应当重新采样,重新测试。

王文特别关注蚀变作用,指出“蚀变作用是否也可能导致Sr和Yb增加呢?或者Sr增加Yb降低、Sr降低而Yb增加呢?”这些问题无疑很好,是矿床学界特别关注的。就笔者现在的认识,强烈的蚀变作用会导致Sr和Yb的降低,导致Sr和Yb增加大概不可能,Sr增加Yb降低或Sr降低而Yb增加的可能性也不大。上述认识是初步的,需要今后认真研究和持续关注。王文还进一步指出:“Sr和Yb在蚀变过程中不稳定(尤其是Sr),不稳定的元素又如何能够用来区别岩石类型呢?”Sr是不相容元素,Yb是高场强元素,比较起来,Sr比Yb更加活泼,因此,容易受蚀变作用的影响。因此,我们在选取样品的时候应当注意尽量避免蚀变作用的影响。但是,王文以此否认Sr和Yb可以作为分类的基础是笔者不能同意的。道理很简单,“Sr和Yb在蚀变过程中不

稳定”,避开它不就行了吗?天下花岗岩多得无其数,受蚀变影响的花岗岩终究是很少的,而且剔除蚀变的影响并非什么难事。至于王文追踪笔者6000多个样品具体来自于什么采样地点?“有哪些是矿区的,有哪些是非矿区的?哪些是蚀变的,哪些是没有蚀变的?”等等,笔者的回答是:6000多个样品是笔者收集全球资料筛选出来的,绝大部分是非矿区的,都有具体的出处(张旗等,2010b,2010c)可供检查。凡是被选取的数据,都经过了笔者的一番检索和鉴别,样品选取的原则笔者也有详细的交待(张旗等,2010b)。

王文还针对个旧花岗岩的研究指出:“原作者(王永磊等,2007)已经很清楚地说明,‘除样品ZYS19、ZYS20发生一定程度蚀变外,其它均为新鲜未蚀变样品’,而‘张文还在‘推测’!”笔者重新检视了个旧的资料,发现笔者将王永磊等(2007)和程彦博等(2008)的数据搞混了(见张旗等,2010a,图13)。在此,笔者向王永磊等和程彦博等作者致歉,并接受王登红博士的批评。

王文继续评论笔者的花岗岩分类,指出:“张文提出了‘埃达克型’、‘喜马拉雅型’、‘浙闽型’和‘南岭型’4个概念,第一个以国外地名命名,后3者以国内地名命名。如果以地名命名,为什么不出现‘秦岭型’、‘阿尔泰型’、‘大兴安岭型’等等,那些地区的花岗岩在‘张文’的Yb-Sr图上又落在哪里呢?”笔者不明白“秦岭型”、“阿尔泰型”、“大兴安岭型”为何意?为什么会提出这种莫名其妙的问题?前面已经说了,笔者的分类大家不同意可以讨论,以地名命名许多人觉得别扭可以不用,我不勉强大家都接受笔者的分类。科学研究允许探索,学术界有不同意见是很正常的,我们应当仔细讨论彼此的分歧所在,但不要把争论庸俗化了。

王文进一步“以西秦岭天水一带的花岗岩类来检验,天水北带除了震旦纪花岗岩类 $\omega(\text{Sr})$ 可达 500×10^{-6} 以上,其他时代的花岗岩类 $\omega(\text{Sr})$ 普遍 $< 50 \times 10^{-6}$, $\omega(\text{Yb})$ 普遍 $< 1.5 \times 10^{-6}$ (李永军等,2006),那么震旦纪的花岗岩类就属于埃达克型,而其他属于‘喜马拉雅型’,地质上有依据、逻辑上合理吗?”这里笔者有一个小小的建议,鉴于王文的评论引用的大多是书刊上的资料,有些还是上个世纪80年代的资料,笔者无法评价数据的质量。建议以后还是多引用杂志上的、新的资料为好。如果王文说的情况的确如此,数据是可靠的,时代是可信的,那么,天水

地区震旦纪的花岗岩属于埃达克型,而其他时代的属于喜马拉雅型。地质上是否有依据可以进一步讨论,至少它提供了别的资料无法提供的认识。

王文和华文一再对南岭型花岗岩的划分表示怀疑,似乎南岭地区的花岗岩应当统统是南岭型的才对,如果南岭地区的花岗岩有一些不是南岭型的,南岭型的命名就是不能接受的。笔者再一次重申,南岭型花岗岩的含义是指那些 Sr 含量非常低[通常 $\alpha(Sr) < 100 \times 10^{-6}$], Yb 含量相对较高,负锆异常明显的中酸性岩浆岩。而不是指南岭地区的所有花岗岩不论什么时代的统统是南岭型的。其实,南岭型、浙闽型、埃达克型等,只是一个符号而已。南岭型的叫法如果华仁民和王登红不同意,可以改回来,仍然叫高 Sr 低 Yb 型、低 Sr 低 Yb 型、低 Sr 高 Yb 型和非常低 Sr 高 Yb 型,如果大家觉得这样很好,笔者绝不反对。

最后回到王文的小标题: $Yb-Sr$ 图解万能吗?地质情况是非常复杂的,万能不万能的说法没什么意义,不必纠缠这个问题。但是,用 Sr 和 Yb 两个元素可以对全球花岗岩进行分类,则是笔者多年研究的体会。有人反对,有人质疑,有人将信将疑,这是极其自然的。每个人都可以从自己的研究中得出自己的结论。笔者在文中指出(张旗等,2010b)“本文提出的分类标志,不同于前人的标志,是笔者认识的阶段性产物。虽然它主要是从实际材料中归纳出来的,还缺少理论的深度,但是,它毕竟开启了一个认识真理的新途径。地质情况是极其复杂的,花岗岩尤其复杂,但是,我们仍然能够从纷繁的资料中理出一些头绪。例如 Sr 和 Yb 即可能是 2 个极其有用的指标。选择 Sr 和 Yb 不是笔者的发明,是前人百年来不懈研究的积累和筛选的结果,是 Defant 和 Drummond 的杰出贡献。将极其复杂的花岗岩地球动力学问题用 2 个常见元素的变化予以归纳,化繁为简,是认识论的进步。当然,人们永远不可能穷尽真理。花岗岩按照 $Sr-Yb$ 分类的研究只是刚开了一个头,需要做的工作还很多。少数人的实践和初期的实践不可避免地存在局限性,只有多数人的实践,反复的、大量的实践,才能接触到千变万化的各种现象,才能避免片面性。本分类不仅需要大量地质实践的检验,还需要深入的理论探讨和实验研究的检验,需要进一步地修改和完善。本分类被推翻也不是不可能的,那必将出现一个更加合理的分类,标志着地球科学的又一个进步。”

2 花岗岩与成矿的关系

2.1 花岗岩与金铜钨锡是成因有关还是时空有关?

这应当是本文讨论的核心问题了,还是先回答华文的问题。华文认为“花岗岩与相关的金铜或钨锡矿床是成因关系”,华文的理由是“花岗岩与矿床在形成机制上的根本性差异,即(陆壳重熔型)花岗岩是地壳物质部分熔融-侵位的产物,而矿床则是在一定的构造条件下由热和流体将岩石中分散的金属元素迁移-集中的产物”。然而,笔者所说的与成矿有关的“岩石”就包括了花岗岩;“热和流体”也都可能与花岗岩直接相关(华仁民,2005)。“笔者认为华仁民(2005)的总结很精辟,指出了成岩与成矿存在“根本性差异”,美中不足的是“矿床是在一定的构造条件下由热和流体将岩石中分散的金属元素迁移-集中的产物”,这句话笔者不赞同。为什么?因为,不是“将岩石中分散的金属元素迁移-集中起来”,而应当是“将源区中分散的金属元素迁移-集中起来”,而“热和流体”也并非“与花岗岩直接相关”。金铜源于何处?源于地幔和玄武岩,花岗岩的金铜克拉克值很低,金铜通常不来自花岗岩。那么,与金铜伴生的埃达克型花岗岩源自何处呢?在大陆地区,大多来自下地壳底部的陆壳物质,少数来自底侵的玄武岩,在板块消减带则来自俯冲板片的 MORB。什么叫成因有关?成因有关指的是二者之间存在因果关系即母子关系。以大陆地区来说,金铜源于地幔和玄武岩,花岗岩源于下地壳。金铜的“母”是地幔和玄武岩,花岗岩的“母”是下地壳。因此,金铜和花岗岩不同源,它们不可能具有成因联系,它们的相关只是时空有关而已,说斑岩铜矿的斑岩是铜矿母岩的说法是不对的。钨锡与花岗岩的关系也一样,钨锡通常来自下地壳,花岗岩也来自下地壳,因此,花岗岩并非钨锡的母岩,花岗岩与钨锡也不是成因关系或母子关系。

一个困扰学术界多年的问题是:既然花岗岩与成矿是成因有关,为什么有些花岗岩有矿,有些花岗岩无矿?例如铜陵有 70 多个岩体,含矿的岩体不到 20 个,为什么其余 50 多个岩体不含矿?长江中下游和大别山都有很多埃达克型花岗岩,为什么长江中下游埃达克型花岗岩有矿而大别山无矿?如果说大别山埃达克型花岗岩不同于长江中下游的算一个理由的话,那么,大别山与胶东的埃达克型花岗岩很类

似,胶东却有大量的金矿,又如何解释?胶东有3期埃达克型花岗岩,玲珑和昆嵛山花岗岩最早,郭家岭花岗岩其次,三佛山花岗岩最晚,而成矿只与后两期埃达克型花岗岩有关,又作何解释?

针对上述问题,笔者考虑可能主要有如下几方面原因:

(1)花岗岩研究有一个误区,长期以来,大家都以为花岗岩是能够演化的,认为花岗岩从下地壳底部部分熔融出来以后(原始岩浆),是经过一系列演化才成为现在的样子的(演化的岩浆)。这是不对的,理由是野外和岩相学研究找不到花岗岩(注:指 $\omega(\text{SiO}_2) > 65\%$ 的狭义的花岗岩,不包括闪长岩)曾经发生过结晶分离的证据,有的只是哈克图解的证据。但是,哈克图解的结论如果没有野外和岩相学观察的佐证依然不是证据。花岗岩的黏性大,阻止了花岗岩的结晶分离。岩浆能够演化的理论是对的,但是,这只限于玄武质岩浆(可以延伸到闪长质岩浆),但不适合于花岗质岩浆。玄武质岩浆可以发生结晶分离和混合,而花岗质岩浆很难分离,岩浆混合的程度和方式也无法与玄武质岩浆相比。将(玄武质)岩浆演化的理论推广到花岗岩范畴是花岗岩理论陷入误区的根由之一。这个问题笔者在2008年出版的一本书中有比较详细的阐述(张旗等, 2008)。花岗岩能够演化的观点对矿床学研究有明显的影响,困扰了矿床学的研究,才出现了华文的问题。

(2)花岗岩与成矿关系密切是众所周知的事实,但是,它们的形成原因和运行机制是完全不同的,学术界很少注意到这其间的“根本性差异”,华仁民(2005)正确地指出这一点是非常重要的。花岗岩熔融首先需要热,其次需要水。有了热和水,花岗岩就可以熔融了,再有了合适的构造条件就可以上升侵入到地壳不同部位甚至喷出地表。而矿液除了需要热和水外,还需要合适的矿源,而且水还要能够将这些成矿元素从矿源中萃取出来。因此,成矿一开始的条件就比花岗岩的苛刻。如果达不到矿液被萃取的条件,该地该时即只有岩浆而不可能有矿。再说成岩,花岗岩只要温度降低达到固相线即可固结成岩,这基本上是一个物理过程。而成矿不是这样,矿液是流体(其初始成分我们很少能够知道),压力稍微降低还容易气化。高温的流体是非常活泼的,极易与周围介质发生混合、混染和交代(相比之下花岗岩就惰性得多)。含矿流体经历了长途迁徙到达

地表浅部,从液态转变为固态沉淀下来,是一个复杂的化学过程。因此,固结的矿床与含矿流体的性质是大不一样的。

(3)华文有一个“岩浆-热液系统(或岩浆-热液体系)”的提法笔者认为值得商榷,这里大致包含了下面几方面的问题:

①“岩浆-热液”不是一个“系统”,而是两个独立的体系,二者有“根本性差异”。花岗岩为高黏性的岩浆(含矿的)热液为黏性很低的流体,其性质近似于水。因此,岩浆和热液是性质完全不同的两个体系。

②(花岗质)岩浆与热液可以伴生,也可以不伴生。在矿区二者息息相关,似乎花岗岩与蚀变及成矿是密不可分的。但是,实际上,全球花岗岩绝大多数并不与热液伴生,而全球(与花岗岩有关的)金铜钨锡矿床却绝大多数离不开热液蚀变。这就表明,岩浆的形成与运移过程可能与含矿流体是完全不一样的。

③“岩浆-热液系统”中的岩浆和热液是叠加关系。一个岩体可以没有蚀变,也可以有蚀变,蚀变可以覆盖岩体的全部,也可以只覆盖岩体的局部。有蚀变的花岗岩蚀变是后来叠加上来的。蚀变是水的释放,水携带成矿物质。从这个角度说,成矿与蚀变的确是密切相关的,因此,找矿离不开蚀变作用(注:这里专指与花岗岩有关的矿床)。热液可以叠加在任何地质体上,不仅是岩浆岩,还包括沉积岩和变质岩,只要条件合适。

④“岩浆+水”不是一个独立体系。外国人把岩浆和热液用一个短划线“-”联系起来是有道理的,但绝非将岩浆和热液揉成一个独立的体系。通常认为,岩浆演化的后期气液活动发育,似乎热源来自岩浆,实际情况并非如此。岩浆不可能演化,即便按照传统的说法,岩浆可以演化,早期岩浆演化到晚期,酸性组分增加,将导致黏性的增加,怎么会有水出现?水来自哪里?在岩浆演化的前期水到哪里去了?

⑤“岩浆+水”在岩相学上的表现是什么?是蚀变。蚀变者,是不同成分的水的加入对岩浆的改造。不同成分的水的范围非常广泛,包括不同的微量元素、不同的同位素组成、不同的氧逸度、不同的酸碱度以及不同的成矿元素、络合物等,也可以不含任何有用的成矿元素。如云英岩化、绢云母化、高岭土化、青磐岩化等等。弱蚀变的花岗岩,花岗岩的结构

构造、矿物组成可以保持不变;强烈蚀变的花岗岩,岩浆的原始结构、原始矿物组成已经不复存在了。因此,由“岩浆+水”组成的蚀变岩,不是一个独立的体系。岩浆与热液的关系表明,热液与花岗岩虽然有时表现得息息相关,但却是风马牛不相及的两回事。罗照华等(2011)最近也一针见血地指出:“岩浆热液成矿理论”是一个错误的和失败的理论,错在将熔浆和流体当成一个独立的系统。

什么是含矿岩体?含矿岩体蚀变必然发育,叠加了后期蚀变的花岗岩与没有叠加蚀变的花岗岩怎样区分?即使区分开了,又怎么与成矿联系起来?何况有些岩体尽管蚀变很发育却也并不成矿,它算含矿岩体还是不含矿岩体?有些所谓的不含矿岩体,当时认为不含矿,后来也打出矿来了,它是含矿岩体还是不含矿岩体?一个矿区范围内有的岩体含矿,有的不含矿,主要取决于矿液在什么条件下能够从液态转变为固态,而不是青睐某些岩体,婉拒某些岩体。一个矿区范围内,同一时期的成矿既可以在岩体内部,也可以在岩体边部,甚至岩体外部,这样的例子比比皆是(例如铜陵)。含矿岩体中矿化的分布是不均匀的,有些岩体很小,全部岩体都成矿;在较大的岩体中,成矿只集中在岩体的某些部位。一个熔融的岩浆从下地壳上升,假定可以把它分为若干份,这若干份中哪一份固结在地壳的哪个部位是不知道的,是由构造作用和温度下降是否达到它的固结点而定的。哪一份岩浆可以成为斑岩,哪一份岩浆可以成为岩基,哪一份岩浆可以到达地表成为火山岩,也是不知道的。有些岩浆有幸成为了斑岩,在其后如果没有热液活动,斑岩就不可能成矿,如果有热液叠加,它就可能成矿。斑岩有若干个,哪个斑岩有热液叠加,哪个没有,不是斑岩自身决定的,而是后期构造和矿液共同作用决定的。因此,矿体与岩体是完全不同的两个系统,对于一个含矿岩体来说,矿体与岩体不是共生关系,而是伴生关系,是矿体叠加在岩体上形成的。因此,含矿岩体与不含矿岩体的说法不是科学的命题。它们的区分仅仅是一个岩体有矿的叠加,另一个没有而已。

华文的一句话本文不敢苟同,他断言:“有关‘含矿岩体’和‘成矿母岩’的说法,即使并不十分严密和精确,却至少仍然是矿床学界的共同语言”。何谓“共同语言”?一般是指科学发展到一定阶段被人们普遍接受的共识。虽然在一段时间内被普遍接受,但仍然是有条件的,仍然是相对真理,是在一定的前

提和背景下才适用的,并没有关上继续研究的大门。“含矿岩体”和“成矿母岩”的说法盛行了半个多世纪了,其找矿效果究竟如何?科学意义究竟如何?是否有重新认识和探讨的必要呢?科学是发展的,科学需要创新,不能因为是“共同语言”而不敢越雷池一步。

华文主张成岩与成矿为成因关系,不同意二者为时空关系,批评笔者的观点“太武断了,而且显然与实际情况完全不符。例如我国西南的滇黔桂金三角应该是一个金矿床较密集的地区吧,可是却偏偏岩浆岩不发育;再如著名的中非铜带是世界上层状铜矿最密集的地区,可是这类铜矿与岩浆岩之间不仅没有密切的成因关系,而且也没有密切的时空关系。”

首先,笔者承认,滇黔桂的确是一个问题。中国卡林型金矿有2个富集区,一个在川陕甘,一个在滇黔桂。前者已经证明与岩浆岩有关,而且,卡林型金矿的发源地美国内华达州也有埃达克型和喜马拉雅型花岗岩出露,暗示卡林型金矿与埃达克型和喜马拉雅型花岗岩也有关(张旗等,2010a;2010c)。滇黔桂限于出露条件,“岩浆岩不发育”,但是,不能就此得出它与岩浆岩无关的结论。笔者相信,从理论上说,滇黔桂卡林型金矿应当是与岩浆岩有关的。理由是,金是深源的,必定与岩浆岩有关,这个岩浆岩不一定非是埃达克岩不可,玄武岩和煌斑岩也行。

其次,中非的情况笔者不熟悉,笔者所讨论的是与花岗岩有关的金铜钨锡矿,不包括与花岗岩无关的金铜钨锡矿,例如砂岩型铜矿、砂金矿、砾岩型金矿等。非洲赞比亚砂岩铜矿非常发育,不是笔者讨论的范围。砂岩铜矿当然不可能与岩浆岩有“密切的成因关系”和“密切的时空关系”。华文批评笔者的论述“与实际情况完全不符”,是否也“太武断了”一点?

2.2 关于成矿时间早于成岩时间的合理性

华文认为,成矿时间晚于成岩时间是合理的,反之是不合理的。其理由归结起来有三:①成矿热液是在花岗岩演化后期出现的;②张旗等(2010a)的图17证明华文的观点是对的;③许多同位素年龄数据方法不可靠。华文坚持花岗岩早于成矿是合理的,不容置疑的,认为这个问题非同小可,“涉及对热液成矿作用的基本认识问题”,并“再次重申:与花岗岩类有关的钨锡或金铜矿床,主要应该归属于热液矿床的范畴。成矿的热液主要来自花岗质岩浆演化后

期的挥发组分聚集,同时也可能有其他流体的参与。对于花岗岩类演化后期的岩浆-热液(熔体-流体)过程,以及成矿流体的岩浆水来源,已经有国内外的许许多多学者进行过大量研究,所揭示的花岗岩与热液矿床之间的成因关系不容置疑。因此,花岗岩成矿与成岩同时或晚于成岩,应该是合理的,而花岗岩(相关的)成矿早于成岩,一般来说是不合理的。”关于岩浆-热液系统问题和花岗岩演化问题,前面笔者已经回答了,不再重复。笔者同意这样的结论:花岗岩与成矿有关,成矿与成岩大体是同时的或成矿略晚于成岩。不同在于,有些人排斥成矿可以早于成岩的现象,而笔者认为成矿早于成岩也是可以理解的。早先,笔者也对成矿早于成岩的实例疑惑不解,也怀疑过数据的可靠性问题。直到笔者解开了成岩与成矿成因有关的“扣”以后,才明白了这个问题。陈衍景和李诺(2009)总结了60个浆控高温热液矿床资料,他们列出的年龄测定方法很多,对于花岗岩来说,目前以锆石的SHRIMP U-Pb和LA-ICP-MS方法最可靠。矿床时代很难测准,笔者只选取Re-Os方法的数据。按照上述标准,在60个矿床实例中能满足上述条件的有18个,其中8个矿床的成岩时代早于成矿,3个矿床的成矿时代早于成岩,7个矿床的成岩与成矿时代接近(约 $<2\text{ Ma}$)。也就是说,在有精确的花岗岩和成矿时代的实例中,有少数矿床的成矿时代早于成岩。

笔者在拙文中(张旗等,2010a)曾经指出,胶东有3个时代的埃达克型花岗岩:早期为玲珑和昆嵛山花岗岩(160~140 Ma);中期为郭家岭花岗岩(130~125 Ma);晚期为三佛山花岗岩(120~113 Ma)。胶东金矿大多集中在130~110 Ma期间,与郭家岭和三佛山两期埃达克型花岗岩有关。如山东乳山金矿,处于昆嵛山埃达克型花岗岩中(160 Ma, SHRIMP方法),成矿显然与昆嵛山花岗岩无关。乳山金矿石英脉中热液锆石的SHRIMP U-Pb年龄为117 Ma,围岩蚀变带绢英岩的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄为129 Ma(以上据胡芳芳等,2006),乳山矿区内未见有郭家岭期的埃达克型花岗岩,但出露有三佛山期的花岗岩(113 Ma, SHRIMP方法,据张华锋等,2006),应当是与金矿有关的。因此,乳山金矿成矿时代略早于花岗岩,仍然在胶东金矿成矿时间范围内(130~110 Ma),是可以理解的。

许多矿区的实例告诉我们,成岩有一个时间范围,成矿也有一个时间范围,二者大致重叠或成岩总

体上略早于成矿。但是,上述认识并不排斥在某些情况下成矿可以早于成岩,不能认为凡是成矿早于成岩的都是错误的。从成矿与成岩时空有关的角度出发,对于某个具体矿床或矿体来说,某个成矿时代早于成岩时代是可以理解的。笔者设计的图17,第1~3阶段和第6~7阶段假定均为埃达克岩,成矿期在第4和第5阶段,说明成矿晚于第1~3阶段的埃达克岩,早于第6和第7阶段的埃达克岩,并不支持华文的观点。

2.3 关于金铜和钨锡是否能同时同地出现的问题

华文批评笔者研究问题“不是从成矿作用的实际情况出发,而是建立在所谓‘埃达克型和喜马拉雅型花岗岩形成于加厚地壳,南岭型(少数情况下浙闽型)花岗岩形成于减薄地壳’的理论上,因此是错误的,而且也显然违背了事实。”接着华文列举了一大堆实例证明金铜和钨锡是可以共生的。下面就笔者的认识答复如下:

(1)福建紫金山斑岩铜矿。华文认为:“紫金山铜金矿形成于白垩纪的伸展盆地,恰恰是岩石圈减薄的产物,因此‘张文’的说法倒正好与地质事实是‘相悖’的”。据笔者了解,与紫金山铜矿有关的斑岩是埃达克型的,处于早白垩世晚期的浙闽山脉范围内(见张旗等,2008,2010a及其所附的参考文献),并不“相悖”,详细情况这里就不赘述了。

(2)归美山金矿。按照华文的参考文献,笔者查阅了相关的资料,认为尹意求等(2000)10年前报道的江西归美山矿区外围的金矿线索是很有意义的。据报道该区出露的花岗岩为加里东期和燕山早期的,在钨矿区内还广泛发育闪长岩、闪长玢岩、石英斑岩、辉绿岩脉及煌斑岩脉等。这是很好的研究对象,建议能够对该区不同时代的花岗岩进行详细的地球化学和同位素年代学研究,并对钨、金成矿时代进行精确的定年,然后我们再来讨论金是否与花岗岩有关,与哪个或哪些花岗岩有关,才能知道金与钨究竟是相伴还是相悖。

(3)个旧锡矿和铜矿。个旧锡矿非常有名,个旧铜矿也很发育。根据王永磊等(2007)和程彦博等(2008)的研究,个旧与锡矿有关的花岗岩(南岭型)是晚白垩世的。杨宗喜等(2008,2010)认为卡房铜矿可能与玄武岩有关。这个问题很有意思,值得今后认真研究。据了解,个旧还有喜马拉雅型和埃达克型花岗岩出露(程彦博等,2008;Cheng et al., 2010),它们与成矿是否有关?与锡有关还是与铜有

关?也是令人感兴趣的。

(4) 广西大明山的钨铜矿。按照华文的指点,初略查阅了一下大明山的资料,发现那里不仅有钨铜,还有铅锌、钼和金等,是一个很有意思、值得重点加以解剖的成矿带。虽然目前已经积累了许多资料,但对于查明各个矿种与花岗岩之间的关系仍然是远远不够的,华文对笔者的批评也缺少详细的数据和证据。笔者在前面说过,新的研究思路呼唤新的研究方法(见本文1.5节)。鉴于该区具有良好的地质条件,建议有兴趣的同行不妨可以对该区进行深入的研究。这不仅对该区找矿会有新的启示,可能对矿床学理论也会有新的建树。

(5) 华文提供了 Thompson 等(1999)的一篇参考文献,笔者阅后发现该文很有意思,它总结了斑岩型金矿成矿与钨锡成矿的差异,介绍了全球7个与众不同的与钨锡成矿省伴生的金矿情况。虽然该文的资料粗糙了一些,但是,从字里行间依然能够看出钨锡成矿与金矿成矿的某些明显差异。

(6) 其实,在笔者探讨花岗岩与金铜钨锡成矿关系时,一个很难解释的、最大的难题,莫过于湖南的钨锡金矿床。金铜和钨锡笔者认为相悖的,但是,钨和金在一起怎么解释?虽然两位质疑者没有提出这个问题,但这的确是一个谜。当然,对于湖南钨锡金矿床的成因还存在争论(毛景文等,1997;顾雪祥等,2005)。如果能够仔细研究一下,查明该类型矿床是否与花岗岩有关?金、钨、钨分别来自何处?各自是什么时代的?地球化学上有何异同点?笔者相信,对该类矿床做一些详细的研究,我们对钨锡和金铜成矿作用的认识会上一个台阶的。

金铜成矿与钨锡成矿是否相伴是一个新提出来的问题,需要进一步仔细讨论。笔者提出金铜和钨锡相悖的认识是以它们分别与不同类型的花岗岩相伴为依据的。相关的实例很多,如很多人很早就知道南岭地区盛产钨锡,南岭的钨锡与中生代的A型(南岭型)花岗岩有关。冈底斯是重要的新生代斑岩铜矿带,斑岩为埃达克型花岗岩。冈底斯也有少量钨锡,其时代是中生代的,不同于斑岩铜矿(张旗等,2010b)。华北中生代金矿很多(小秦岭、胶东、冀北)未见钨锡,与金矿有关的是埃达克型花岗岩。长江中下游中生代金铜发育,与金铜有关的也是埃达克型花岗岩,长江中下游也有南岭型花岗岩,但是,时代晚于埃达克型花岗岩,与金铜无关,是高原垮塌的产物。上述事实说明,金铜产于加厚地壳,主

要与埃达克型花岗岩有关,钨锡形成于减薄地壳,主要与南岭型花岗岩有关。因此,笔者得出金铜不与钨锡在同时同地产出、金铜不与钨锡相伴的结论。虽然也有金铜与A型花岗岩相伴的见解(如海南岛抱伦金矿),详细的研究表明这种认识已经得到了修正(张旗等,2010a)。此外,还有许多地方金铜和钨锡是同处于一个成矿带的,笔者推测它们要么是彼此时代不同,要么是分别位于地壳厚度变化带的两侧。地质情况是极其复杂的,需要我们不懈地探索,笔者的解释不一定合适。华文坚持金铜和钨锡可以伴生,你的理论依据是什么呢?

2.4 关于矿液与岩浆以及它们的通道问题

华文批评拙文的图16“令人难以理解和接受”,断言“绝大多数从事矿床研究的人不会认同这张图”。笔者设计这张图,是为了说明成岩与成矿之间的差异,可能没有表达清楚,现补充如下:

(1) 岩浆和矿液上升的方式不同。岩浆极黏稠,体积巨大;而矿液流动性极强,体积极小。假定岩浆为一巨无霸航母,矿液可能只相当一叶扁舟。岩浆上升要推开上覆岩石,挤出一个很大的通道。而矿液上升只要有一个小小的缝隙即可,无需大的通道。

(2) 岩浆和矿液上升速度不同。岩浆由于黏性大,尤其花岗岩,上升速度是很慢的,单位公里的上升时间可能是以年或万年计的;而流体上升速度极快,可能是以时或日计的。

(3) 岩浆上升不发生明显的化学变化。这里包含下面几层意思:①花岗质岩浆不可能演化,也不可能发生结晶分离。玄武岩可以有原始的岩浆和演化的(或分离的)岩浆,但花岗岩没有。“高分异花岗岩”的提法是错误的,所谓“高分异花岗岩”是指更加富硅的花岗岩,其黏性更大,更不可能发生分离或分异。②岩浆在成岩过程中Sr和Yb含量不会发生明显的变化。在下地壳底部形成的是埃达克岩,上升侵位到任何部位直至地表仍然是埃达克岩;在下地壳底部形成的是南岭型花岗岩,上升冷却定位的最终结果仍然是南岭型花岗岩。③岩浆存在混合作用,但是,混合作用最可能和最合适的部位在下地壳底部岩浆形成过程中,岩浆在向上侵位过程中混合的可能性很小。④岩浆虽然不能演化,但可以发生流动分异,这种分异通常发生在岩浆上升侵位过程中,是岩浆在运移过程中的内部调整,如流面流线所指示的现象,但是,这种流动分异作用不可能改变岩

浆的整体属性。⑤岩浆上升时可能与围岩发生交换(混染)作用,交换主要发生在岩体的边部,对于较大的岩体来说,影响也是局部性的。但是,对于矿液来说则不是这样,矿液在运移过程中化学性质会发生明显的变化,成矿后不同于矿床形成前最末一次的矿液,最末一次的矿液性质也不同于最早的矿液的性质。原因是矿液是高温流体,携带极其活泼的元素,性质极易改变。

(4)岩浆上升可以停留在地壳的任何部位,在那里缓慢冷却固结成岩;也可以在地壳的某一部位因侵位受阻而暂时停留,随后因构造条件改变再上升。矿液只能迅速上升不可能停留在地壳深部,如果通道受阻可以暂时停留,但由于温度很高和其极活泼的性质,极易开辟新的通道而迅速上升。如遇裂隙压力骤降还极易气化(沸腾),性质更加活泼。直至地壳的中上部位温度降低、矿液沉淀(转变为固态)才终止活动。如果矿液在地壳浅部和火山岩中还不能沉淀成矿,则可能挥发到大气中去。

岩浆与矿液性质上的上述根本性差异表明,岩浆和矿液不可能捆绑在一起一道上升。即使有一种方法可以把二者混溶起来,如同水和油的乳化物,但是,由于“混溶物”的不稳定,在上升过程中仍然要分道扬镳的。

2.5 哪些矿床是通过寻找埃达克岩而找到的?

这是王登红的问题。王文指出:“既然埃达克岩在野外无法识别,又到哪里去找埃达克型花岗岩?野外如何识别?世界上的哪个矿床又是通过寻找埃达克岩而找到的呢?”这里提出了2个问题:(1)野外如何找埃达克型花岗岩?(2)用埃达克型花岗岩怎么找矿?笔者的回答是:

(1)埃达克型花岗岩有特定的地球化学标志,就按照这些特定的地球化学标志去找埃达克型花岗岩。

(2)世界上哪个矿床是通过寻找埃达克岩而找到的?这个问题笔者试着回答如下:①国内外许多人都知道斑岩铜矿与埃达克岩有密切的关系,从全球范围来说,只要是确定的斑岩型铜矿,其斑岩十有八九是埃达克岩,因此,笔者提出先找埃达克岩,再找矿(指与埃达克岩有关的金铜矿);②埃达克岩主要是作为找矿的前提而不是当作找矿的标志来使用(张旗等 2008, 2010a);③埃达克岩与金铜不是成因有关,而是时空有关。

埃达克岩对找矿是否有用?笔者认为是不容置

疑的。例如按照笔者的研究,从陕南经甘肃南部、青海中部直至青海和新疆交界处,有一个印支期的古西秦岭-东昆仑山脉。在这个古山脉内已经发现了许多印支期的埃达克型、喜马拉雅型花岗岩和不同类型的金铜矿床(张旗等, 2008),虽然这个古山脉(尤其是西段)的具体情况还不是很清楚。如果能够在青海地区做更多的研究,在这个古山脉的范围及其附近注意寻找三叠纪的埃达克型花岗岩(以及喜马拉雅型花岗岩),对于下一步在该山脉内寻找金铜矿床肯定是有益的。如果要找(三叠纪时期的)钨锡,则到山脉以外去找。又如根据现有资料,在华北克拉通北缘有一个晚石炭世—三叠纪(部分可延续到早侏罗世)的华北北部山脉,该山脉东段的情况比较清楚,西段资料较少,山脉的具体范围也不是很清楚(张旗等, 2008)。如果能够在包头以西至甘肃北山一段范围下大功夫查明该时期埃达克型和喜马拉雅型花岗岩的分布,则对寻找金铜矿床也会有益的。金矿大多在中国的北方,南方很少。浙闽地区金铜很少,但是,有没有寻找到金铜矿的可能性呢?笔者认为有。例如,从浙江绍兴至福建西南(紫金山斑岩铜矿位于此地)和江西东南部有一个早白垩世晚期的浙闽山脉(张旗等, 2008),如果能够在浙闽地区仔细厘定该时期埃达克型和喜马拉雅型花岗岩分布的范围,在该山脉范围内注意寻找金铜矿床,相信是会有收获的。但是,也有另外一种情况,例如在大别山,那里埃达克岩很多就是没有矿,原因笔者已经在拙文中作了解释(见张旗等, 2010a, 图 16D 及第 741 和 746 页上相关的说明),是否合适欢迎大家批评。

王文还提出“先有‘埃达克型花岗岩’还是先有矿的问题”,有点类似“先有鸡还是先有蛋”的问题。笔者认为,这种问题不伦不类,在这类问题上绕圈子是没有益处的。

(3)王文还举德兴为例,采用上个世纪 80 年代的且大多是平均值的资料,指出它是规模巨大的斑岩铜矿,斑岩却不是埃达克岩。德兴的斑岩是否是埃达克岩,王强等(2002, 2004; Wang et al., 2006)有详细的研究,建议王博士去查一下,就能够得出自己的结论了。

2.6 关于矿床学研究方法问题

拙文(张旗等, 2010a)关注的是成岩与成矿的关系,使我迷惑不解的是,王登红质疑文章的题目却是“关于矿床学研究方法的一点看法”。笔者在考察成岩与成矿关系时最重要的一点体会是:成岩基本上

是一个物理过程,而成矿基本上是一个化学过程。岩石学从实践到理论比较容易,而矿床学从实践到理论则难得多。在地下壳底部究竟发生了什么?矿液在形成、运移过程中是怎样的行为?这些都不清楚。因此,笔者提出:“矿床学研究有不同于岩浆岩的思路、手段和方法,矿床学研究要更上一层楼,需要在化学和实验研究上下更大的功夫(张旗等,2010a)。”王文却指责笔者“强调了实验和测试,轻视了野外与综合分析(包括逻辑分析)”。而笔者那篇文章(张旗等,2010a)只是讨论成岩与成矿的差异,没有全面评论矿床学研究和方法的任务。笔者曾多次呼吁花岗岩要重视野外研究,指出:“花岗岩研究必须从野外做起,从基础做起。这是近年来被大大削弱而急需加强的,没有了野外这个基础,其他的一切都是无根之木、无源之水。我们的研究走了许多弯路,我们的许多结论经不起考验,我们的许多文章(包括SCI文章)华而不实,一个重要的原因就在于此。只有扎扎实实地做好野外研究,才有可能创立花岗岩的新理论和新方法(张旗等,2008,第243页)”。笔者还呼吁:“花岗岩研究要突破旧的樊篱和创建新的思想的唯一和最关键的一环是‘回到野外去’”。王博士说笔者不重视野外,依据何在?

3 几点感受

(1)关于花岗岩的分类。笔者发现,许多人不喜欢花岗岩按照Sr-Yb的分类,认为该分类一无是处,有些人甚至批评该分类是一个怪胎。国内外花岗岩的分类很多,有的被认为很好,有的不是。这个分类是花岗岩研究史上最新提出来的,与其他各种分类比较有很大的不同,虽然还有许多不足,需要今后大量的研究对其加以修正和完善。这个分类是否有新意,是否能够生存下去,笔者随时等待实践的检验。

(2)关于花岗岩与金铜钨锡成矿的关系。花岗岩与成矿的关系是大家关心的,笔者在研究中涉及到成矿问题时,主要是从岩石学角度出发来探讨成岩与成矿的关系。花岗岩是岩浆岩中最复杂的,许多基本的问题都还没有搞明白,而成矿比花岗岩更复杂。原因即在于成岩大体上是一个物理过程而成

矿是一个化学过程。我们现在观察到的成矿现象可能并非原来意义上的、本质的现象。因此,我们的研究应当更加仔细,不能满足于泛泛的研究。希望我们进一步的讨论能够在详细占有资料的前提下展开,应当努力区分开不同岩性、不同类型、不同时代的花岗岩,查明哪些与成矿有关,哪些与成矿无关,从而避免张冠李戴,搞错了找矿方向,贻误了找矿时机(张旗等,2010a)。

(3)关于学术争论。学术上有不同见解是正常的,笔者欢迎华文和王文的质疑和批评。争论的目的不是非要争个谁是谁非不可,而是为了共同促进科学的繁荣。如果争论能够引起大家的思考,有更多的人参与进来,形成学术界自由争鸣的风气,中国科学就有希望了。人非圣贤,焉能无过,笔者的认识也是阶段性的体会,也会有错误。因此,笔者欢迎来自各方不拘形式的各种批评。中国学术界太缺乏争论也太害怕争论了,这是中国学术界长期落后的重要原因,也是中国出不了大师级专家的重要原因之一。本文尽可能回答了华文和王文的质疑,可能仍然有许多问题没有搞明白,欢迎大家评论,欢迎华仁民和王登红教授的反批评。感谢《矿床地质》编辑部提供的平台,使大家能够就不同观点进行交流。

最后,笔者有一个小小的声明:王文说拙文(张旗等,2010a)“早已在网上流行”。笔者丈二和尚摸不着头脑,不知道有这回事,也不知是哪个网站?笔者的文章完稿后是直接送给《矿床地质》编辑部的,没有上网传播。笔者虽然也在《岩石学报》网站(<http://www.ysxb.ac.cn/ysxb/ch/index.aspx>)上发表过一些见解,但是,绝对没有这篇文章。

志 谢 笔者在撰写本文时与秦克章、张连昌、王焰和钱青等进行过较深入地讨论,万博博士指出了本文初稿的某些错误,在此表示衷心的感谢,还感谢匿名审稿人对本文的评论和批评。

References

- Chen Y J and Li N. 2009. Nature of ore-fluids of intracontinental intrusion-relates hypothermal deposits and its difference from those in island arcs [J]. Acta Petrologica Sinica, 25: 2477-2508 (in Chinese with English abstract).

① 张 旗. 2010. 花岗岩研究中若干哲学问题的点滴体会(24)——打破人云亦云和从众思想的樊篱(2010-10-19). 岩石学报网站: <http://www.ysxb.ac.cn/ysxb/ch/index.aspx>.

- Cheng Y B, Mao J W, Xie G Q, Chen M H, Yang Z X, Zhao H J and Li X Q. 2008. Petrogenesis of the Laochang-Kafang granite in the Gejiu area, Yunnan Province: Constraints from geochemistry and zircon U-Pb dating[J]. *Acta Geologica Sinica*, 82: 1476-1493(in Chinese with English abstract).
- Cheng Y B and Mao J W. 2010. Age and geochemistry of granites in Gejiu area, Yunnan province, SW China: Constraints on their petrogenesis and tectonic setting[J]. *Lithos*, 120: 258-276.
- Defant M J. 2002. Reply for comment by R. Conner on the " Evidence suggests slab melting in arc magmas " by M. Defant and P. Kepezhinskis(EOS, 2001, 82: 65, 68-69) [J]. *EOS*, 66: 256-257.
- 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.
- Feng J and Zhang Z C. 2009. Geochemistry of the intermediate-acid porphyries on southern margin of the Altay mountains and its implications for petrogenesis[J]. *Geology Review*, 55: 58-72(in Chinese with English abstract).
- Gu X X, Liu J M, Schulz O, Vavtar F and Fu S H. 2005. REE geochemical evidence for the genesis of the Woxi Au-Sb-W deposit, Hunan Province[J]. *Geochimica*, 34: 428-442(in Chinese with English abstract).
- Hu F F, Fan H R, Yang J H, Wang F and Zhai M G. 2006. The $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating age of sericite from altered rocks in the Rushan lode gold deposit, Jiaodong peninsula and its constraints on the gold mineralization[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 25: 109-114(in Chinese with English abstract).
- Hua R M. 2005. On the temporal differences between rock-forming and related ore-forming times for the Mesozoic granitoids of crust remelting types in the Nanling Range, South China, and its geologic significance[J]. *Geology Review*, 51: 633-639(in Chinese with English abstract).
- Hua R M. 2011. On some basic problems related to the genetic classification and mineralization of granites: A discussion with Zhang Q[J]. *Mineral Deposits*, 30(1): 163-170(in Chinese with English abstract).
- Li Y J, Hu X L, Zhang X. 2006. Collection and integration of geological information from the granitoids in the Tianshui Region[M]. Xi'an: Shaanxi Science & Technology Press. 76-80(in Chinese).
- Luo Z H, Lu X X, Liu C, Li D D, Yang Z F and Wen S B. 2011. On failing of the magmatic hydrothermal metallogenic theory: the cause and the new departure[J]. *Journal of Jilin University(Earth Science Edition)*, 41: 1-11(in Chinese with English abstract).
- Mao J W and Li Y H. 1997. Research on genesis of the gold deposits in the Jiangnan terrain[J]. *Geochimica*, 26: 71-81(in Chinese with English abstract).
- Thompson J F H, Sillitoe R H, Baker T, Lang J R and Mortensen J K. 1999. Intrusion related gold deposits associated with tungsten-tin provinces[J]. *Mineralium Deposita*, 34: 323-334.
- Wang D H. 2011. Some opinions on the research method of ore deposits: Discussion with Mr. Zhang Qi about the relationship between " adakite " and mineralization[J]. *Mineral Deposits*, 30(1): 171-175(in Chinese with English abstract).
- Wang Q, Zhao Z H, Xiu J F, Li X H, Xiong X L, Bao Z W and Liu Y M. 2002. Petrogenesis and metallogenesis of the Yanshanian adakite-like rocks in the Eastern Yangtze Block[J]. *Science in China(D)*, 46(Supp.): 164-176(in Chinese).
- Wang Q, Zhao Z H, Jian P, Xu J F, Bao Z W and Ma J L. 2004. SHRIMP zircon geochronology and Nd-Sr isotopic geochemistry of the Dexing granodiorite porphyries[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 20: 315-324(in Chinese with English abstract).
- Wang Q, Xu J F, Jian P, Bao Z W, Zhao Z H, Li C F, Xiong X L and Ma J L. 2006. Petrogenesis of adakitic porphyries in an extensional tectonic setting, Dexing, south China: Implications for the genesis of porphyry copper mineralization[J]. *Journal of Petrology*, 47: 119-144.
- Wang Y L, Pei R F, Li J W, Wu J D, Li L and Wang Z L. 2007. Geochemical characteristics and tectonic setting of Laochang granite in Gejiu[J]. *Acta Geologica Sinica*, 81: 979-985(in Chinese with English abstract).
- Yang Z X, Mao J W, Chen M H, Tong X, Wu J D, Cheng Y B and Zhao H J. 2008. Re-Os dating of molybdenite from the Kafang skarn copper (tin) deposit in the Gejiu tin polymetallic ore district and its geological significance[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 24: 1937-1944(in Chinese with English abstract).
- Yang Z X, Mao J W, Chen M H, Chen Y B and Chang Y. 2010. Geology, geochemistry and genesis of Kafang copper deposit in Gejiu, Yunnan Province[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 26: 830-844(in Chinese with English abstract).
- Yin Y Q, Wei X L, Wang D S and Huang Y P. 2000. The gold deposit and prospecting sense outside tungsten mine of Kuimeishan[J]. *China Tungsten Industry*, 15: 20-21(in Chinese with English abstract).
- Zhang H F, Zhai M G, Tong Y, Peng P, Xu B L and Guo J H. 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 Q, Wang Y, Li C D, Wang Y L, Jin W J and Jia X Q. 2006. Granite classification on the basis of Yb and Sr contents and its implication[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22: 2249-2269(in Chinese with English abstract).
- Zhang Q, Wang Y, Xiong X L and Li C D. 2008. Adakite and granite: Challenge and Opportunity[M]. Beijing: China Land Press(in Chinese with English abstract).
- Zhang Q, Jin W J, Wang Y, Li C D and Wang Y L. 2010a. Relationship between granitic rocks and Au-Cu-W-Sn mineralization[J]. *Mineral Deposits*, 29: 729-759(in Chinese with English abstract).
- Zhang Q, Jin W J, Li C D and Wang Y L. 2010b. Revisiting the new classification of granitic rocks based on whole-rock Sr and Yb contents: Index[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 26: 985-1015(in Chinese with English abstract).

Zhang Q, Jin W J, Li C D and Wang Y L. 2010c. On the classification of granitic rocks based on whole-rock Sr and Yb concentrations III: Practiced [J]. Acta Petrologica Sinica, 26: 3431-3455 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 陈衍景, 李 诺. 2009. 大陆内部岩浆控高温热液矿床成矿流体性质及其与岛弧区同类矿床的差异 [J]. 岩石学报, 25: 2477-2508.
- 程彦博, 毛景文, 谢桂青, 陈懋弘, 赵财胜, 杨宗喜, 赵海杰, 李向前. 2008. 云南个旧老厂-卡房花岗岩体成因: 锆石 U-Pb 年代学和岩石地球化学约束 [J]. 地质学报, 82: 1476-1493.
- 冯 京, 张招崇. 2009. 阿尔泰山南缘中-酸性斑岩的地球化学特征及其岩石成因探讨 [J]. 地质论评, 55: 58-72.
- 顾雪祥, 刘建明, Schulz O, Vavtar F, 付绍洪. 2005. 湖南沃溪金-铋-钨矿床成因的稀土元素地球化学证据 [J]. 地球化学, 34: 428-442.
- 胡芳芳, 范宏瑞, 杨进辉, 王 非, 翟明国. 2006. 胶东乳山金矿蚀变岩中绢云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄及其对金成矿事件的制约 [J]. 矿物岩石地球化学通报, 25: 109-114.
- 华仁民. 2005. 南岭中生代陆壳重熔型花岗岩类成岩-成矿的时间差及其地质意义 [J]. 地质论评, 51: 633-639.
- 华仁民. 2011. 关于花岗岩成因分类与花岗岩成矿作用若干基本问题的思考——与张旗先生等商榷 [J]. 矿床地质, 30(1): 163-170.
- 李永军, 胡晓隆, 张 翔. 2006. 天水地区花岗岩类地质信息采集及集成研究 [M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 76-80.
- 罗照华, 卢欣祥, 刘 翠, 李德东, 杨宗锋, 文思博. 2011. 岩浆热液成矿理论的失败: 原因和出路 [J]. 吉林大学学报(地球科学版), 41: 1-11.
- 毛景文, 李红艳. 1997. 江南古陆某些金矿床成因讨论 [J]. 地球化学, 26: 71-81.
- 王登红. 2011. 关于矿床学研究方法的一点看法——就“埃达克岩”与

成矿的关系问题与张旗先生商榷 [J]. 矿床地质, 30(1): 171-175.

- 王 强, 赵振华, 许继锋, 李献华, 熊小林, 包志伟, 刘义茂. 2002. 扬子地块东部燕山期埃达克质(adakite-like)岩与成矿 [J]. 中国科学(D), 32(增刊): 127-136.
- 王 强, 赵振华, 简 平, 许继峰, 包志伟, 马金龙. 2004. 德兴花岗闪长斑岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学和 Nd-Sr 同位素地球化学 [J]. 岩石学报, 20: 315-324.
- 王永磊, 裴荣富, 李进文, 武俊德, 李 莉, 王浩琳. 2007. 个旧老厂矿田花岗岩地球化学特征及其形成构造背景 [J]. 地质学报, 81: 979-985.
- 杨宗喜, 毛景文, 陈懋弘, 童 祥, 武俊德, 程彦博, 赵海杰. 2008. 云南个旧卡房矽卡岩型铜(锡)矿 Re-Os 年龄及其地质意义 [J]. 岩石学报, 24: 1937-1944.
- 杨宗喜, 毛景文, 陈懋弘, 程彦博, 常 勇. 2010. 云南个旧卡房铜矿床地质地球化学特征及其成因探讨 [J]. 岩石学报, 26: 830-844.
- 尹意求, 韦星林, 王定生, 黄永平. 2000. 岷美山外围金矿床及其地质找矿意义 [J]. 中国钨业, 15: 20-21.
- 张华锋, 翟明国, 童 英, 彭 澎, 许保良, 郭敬辉. 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, 王 焰, 李承东, 王元龙, 金惟俊, 贾秀勤. 2006. 花岗岩的 Sr-Yb 分类及其地质意义 [J]. 岩石学报, 22: 2249-2269.
- 张 旗, 王 焰, 熊小林, 李承东. 2008. 埃达克岩和花岗岩: 挑战与机遇 [M]. 北京: 中国大地出版社.
- 张 旗, 金惟俊, 王 焰, 李承东, 王元龙. 2010a. 花岗岩与金铜及钨锡成矿的关系 [J]. 矿床地质, 29: 729-759.
- 张 旗, 金惟俊, 李承东, 王元龙. 2010b. 再论花岗岩按照 Sr-Yb 的分类: 标志 [J]. 岩石学报, 26: 985-1015.
- 张 旗, 金惟俊, 李承东, 王元龙. 2010c. 三论花岗岩按照 Sr-Yb 的分类: 应用 [J]. 岩石学报, 26(12): 3431-3455.