

埃达克岩研究的回顾和前瞻

张 旗

(中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029)

提要:文中回顾了中国埃达克岩研究的进展, 讨论了中国埃达克岩文献为什么多的原因, 归纳了我们取得的成绩及存在的问题, 探讨了埃达克岩目前面临的问题和今后研究的方向。笔者认为, 中国埃达克岩的研究正处于方兴未艾的阶段, 是现阶段国际埃达克岩研究的焦点和中心之一。尽管发表的文章不少, 但是研究水平总体不高。在埃达克岩研究中, 有大量的问题等待我们去回答, 有众多的现象等待我们去解释。中国东部中生代 C 型埃达克岩的成因、中国东部高原、埃达克岩与青藏高原抬升的关系以及 C 型埃达克岩与成矿的关系等, 应当是今后重点需要关注的问题。

关 键 词:埃达克岩; 中国; 成绩; 问题; 方向

中图分类号: P588.1

文献标志码: A

文章编号: 1000-3658(2008)01-0032-08

1 本文的缘起

笔者原未打算写这篇短文, 中国埃达克岩研究才 8 年, 我们还有太多的事情需要做, 还不到总结和回顾的时候。8 年来中国埃达克岩文献数量的急剧增加, 这无疑是一件令人高兴的事情。但是, 却引起国外某些学者的忧虑, 他们怀疑, 中国有那么多 adakite 吗? 还是中国人把埃达克岩的含义夸大了^[1]? 牛耀龄博士指出, 中国的 adakite 术语首先出现于 2000 年, 大约在 Defant et al^[2]提出“adakite”这个术语 10 年之后, 但是在中国有关埃达克岩的 SCI 论文在过去的 5 年中连连不断。截止 2005 年 12 月 1 日, 在中国的 SCI 期刊上发表的有关埃达克岩的文章已有 53 篇, 占 SCI-WoK 索引所有有关埃达克岩文章的 24%。如此的快产和高产反映出中国科学家很大的努力和取得的成绩, 但同时也难免产生一些对于埃达克岩、埃达克质岩及其重要性的不甚正确的理解。他怀疑埃达克岩和埃达克质岩的概念是否被中国人“滥用”了, 为此, 他邀请 Castillo 博士撰写了一篇“埃达克岩成因回顾”的文章^[3], 提醒中国人如何正确理解埃达克岩和埃达克质岩的概念。Castillo 博士

客观地评价了中国的埃达克岩研究, 指出中国东部的埃达克质岩是源于下地壳而不是大洋板片。该文主要从全球角度对埃达克岩的研究进行了回顾, 还着重讨论了埃达克岩最初命名所带来的混乱。或许是由于语言方面的限制, 该文对中国埃达克岩的问题讨论很少, 由此引发笔者的思考, 遂草成本文。笔者关心的是: 中国埃达克岩文献为什么多? 我们取得了哪些成绩? 存在哪些问题? 今后我们研究什么? 下面谈谈笔者粗浅的认识, 不当之处请大家指正。

2 中国埃达克岩文献为什么多

据笔者的不完全统计, 1990—2006 年, 中国的埃达克岩文献占全球埃达克岩文献的 1/3 左右。中国第一篇埃达克岩文章是 2000 年发表的, 如果统计 2000 年以后的文献, 中国的埃达克岩几乎占了全部埃达克岩文献的近半壁江山。中国埃达克岩文章如此大量的产出的确令人惊奇, 有人发出疑问也是可以理解的。笔者认为, 之所以会出现这种情况, 可能有以下一些原因:

(1) 国外研究的埃达克岩大多在环太平洋带, 大多属于 O 型埃达克岩, 对其成因已经提出许多解

收稿日期: 2007-08-06; 改回日期: 2007-10-08

基金项目: 国家“973”项目(2002CB412601)和国家自然科学基金项目资助(40672128)。

作者简介: 张旗, 男, 1937 年生, 研究员, 从事岩石学和地球化学专业; E-mail: zhangqi@mail.igcas.ac.cn。

释,研究程度已经相当高了。因此,在没有更多新的发现和新的见解被提出来之前,文献的数量不会急剧增加。

(2)与板块俯冲有关的埃达克岩很罕见,Defant et al^[1]的见解是对的。但是,与下地壳有关的埃达克岩却广泛分布,例如华北中生代和青藏高原新生代,我们有大量的资料,文章自然多。

(3)埃达克岩与斑岩铜矿以及金矿的密切关系引起人们广泛的兴趣,中国与成矿作用有关的埃达克岩的文献也迅猛增加。

(4)中国地域大,地质情况复杂,存在不同时代不同环境不同特征的埃达克岩或埃达克质岩。我们研究埃达克岩的起步比国外晚了 10 年,还处在积累资料的阶段,因此,各地报道性的文献也比较多。

(5)我们发现埃达克岩及其所具有的意义后,及时向全国推广。例如,2001 年底在许继峰研究员的倡议下,由国家自然科学基金委员会等单位支持召开的埃达克岩研讨会,邀请了 M. Defant、R. Kay、R. Rapp 和 P. Castillo 等知名学者与会,对推进国内埃达克岩研究、向国外介绍中国埃达克岩起到了积极的作用。此外,我们在《岩石学报》组织了一期专题(2001 第 4 期)和一期专集(2004 第 2 期),也起到了一定的作用。

中国埃达克岩研究存在激烈的争论^[3-21],许多人反对或不赞同使用埃达克岩的术语,许多探讨埃达克岩的文章未能通过审稿而夭折,夭折的原因各种各样,有些并非学术上的,笔者就有不止一次这样的经历。如果审稿的环境更宽松、透明一些,中国埃达克岩文献的数量应当还要多。此外,据笔者了解,中国发表的埃达克岩文献大多严格按照 Defant et al^[1]的定义(例如: $\text{SiO}_2 > 56\%$ 、 $\text{Sr} > 400 \times 10^{-6}$ 、 $\text{Y} < 18 \times 10^{-6}$ 、 $\text{Yb} < 1.9 \times 10^{-6}$)命名,很少有错误地将非埃达克岩当成埃达克岩的情况,因此,中国的埃达克岩文献总体上不存在“夸大”和“滥用”的问题。

3 中国埃达克岩研究取得的成绩

8 年来,我们在埃达克岩研究上取得了许多成绩,其中不少在世界上占有重要地位:

(1)对于高钾钙碱性埃达克岩的研究,国外的资料很少,关注也很少,而国内的研究则方兴未艾,已经积累了大量的资料,提出了各种不同的解释,引发了激烈的争论。虽然我们的研究还不够深入,许多问

题需要探讨,但是,在这个领域,毕竟是中国人在唱主角。

(2)我们发现了许多新的埃达克岩类型,例如,与蛇绿岩有关的埃达克岩^[22-25],与钾玄岩(shoshonite)有关的埃达克岩^[26-28]。这些均为国际埃达克岩研究增加了新的内容,尤其与蛇绿岩有关的埃达克岩的研究,极具创新性,开辟了埃达克岩研究的一个新的领域,使我们对埃达克岩的形成、洋壳的演化以及蛇绿岩的侵位有了一个新的认识。

(3)对埃达克岩与地壳加厚的关系、与高原(或山脉)形成的关系、与下地壳拆沉的关系进行了广泛的探讨,提出了不同的拆沉模式^[8-11, 20, 29-30],推进了对中国东部和青藏高原的深入研究。

(4)在实验岩石学方面取得了突出的成绩,例如熊小林等^[31-32]关于金红石的研究,关于埃达克岩 Na 亏损的认识,肖龙等^[33]关于大别山埃达克岩成因的研究等,大大提高了埃达克岩研究的深度。

(5)埃达克岩的分类问题国外很少关注,而国内从埃达克岩研究一起步就十分关注^[5-6, 34-36]。国外虽然也提出了一些分类方案,如 Sheppard 等^[37]的来自板片的埃达克岩(slab-derived adakite)和来自地壳的埃达克岩(crustally-derived adakite),Martin 和 Moyen^[38]的高硅埃达克岩和低硅埃达克岩等。笔者认为,国外的分类,尤其 Martin 和 Moyen^[38]的分类并不成熟。笔者最近发现,可以按照 K_2O 含量和 $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 比值进一步将埃达克岩划分为低钾、中钾、高钾和超钾质的 4 类。低钾埃达克岩贫 K 富 Na,与蛇绿岩相伴,代表初始熔融形成的埃达克岩;中钾(钙碱性)埃达克岩的 $(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}) > 2$,环太平洋埃达克岩大多属于这一类,主要与板片熔融有关,部分也可以是底侵玄武岩部分熔融的;高钾(钙碱性)埃达克岩的 $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 含量相当,但大多仍然是 $(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}) > 1$,中国东部埃达克岩大多属于该类,源于加厚下地壳的熔融;超钾质埃达克岩 $(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} < 1)$ 主要分布在青藏高原,包括可可西里和藏东、滇西的新生代埃达克岩,可能是富钾质的源岩在更大的压力下形成的。

(6)在埃达克岩与成矿作用的关系方面,国外与成矿有关的埃达克岩大多是 O 型的,而国内与成矿有关的埃达克岩既有 O 型的,也有 C 型的,且有相当一部分斑岩铜矿和金矿与 C 型埃达克岩有关(包括钙碱性、高钾钙碱性和钾玄岩系列的,如德兴、铜

陵、玲珑、郭家岭、玉龙、冈底斯等)。在这方面,我们已经做了许多开拓性的研究^[5-6, 9-10, 27-28, 40-47]。

4 存在的问题

(1)各地陆续报道了不少新发现的埃达克岩,但是,研究的深度不够。

(2)许多文献的资料很好,但解释大多模仿国外现成的模式,创新不够。

(3)有些报道的埃达克岩(如鲁西的某些高镁闪长岩和辽西的某些高镁安山岩),虽然绝大多数具有富 Sr 贫 Y 和 Yb 的特点,但由于 SiO₂ 较低和 Mg[#] 较高可能并非埃达克岩而属于赞岐岩类,说明高镁安山岩存在概念不清的情况(详见下节)。

5 关于埃达克岩的含义

正如 Castillo^[3]指出的,埃达克岩的命名带来了一些混乱。笔者认为,混乱可能源于下述两个原因:(1)埃达克岩的命名不规范。岩石通常是根据矿物组成和结构命名的,而埃达克岩则是以地球化学为标志命名的,没有任何不同于非埃达克岩的矿物和结构特征。这种命名方法虽说是一个创新,但也造成了一些误解和争论。(2)埃达克岩的命名不恰当地与成因挂钩。Castillo^[3]指出,“有关埃达克岩的成因的混乱起因于埃达克岩的定义”,“十五年前,Defant et al^[1]出于良好的愿望定义了一类岩石——埃达克岩,明确提出其是板片熔融的产物,这个定义一出现就引起了研究者的广泛关注,同时也引发了混乱”。岩石命名是客观现象的描述,不应当与其成因和形成环境联系起来^[7]。虽然 Defant^[48]已经认识到这个问题并已经作出修正,但是,其原始定义的影响一时还很难消除,有人还特别钟情于其原始定义,混乱在所难免。笔者认为,埃达克岩和非埃达克岩作为一对,表达的是花岗岩熔融源区压力的概念,就像 I 型和 S 型作为一对一样,表达的是源岩性质的概念。埃达克岩的真正含义指的是具有埃达克岩地球化学特征(例如高 Sr 低 Y 和 Yb 以及高的 Sr/Y 和 Sr/Yb 比值)的中酸性岩浆岩。

前面已经谈到,中国发表的埃达克岩文献大多均严格按照 Defant et al^[1]的定义,相反,倒是国外的埃达克岩文献有不少不按照 Defant et al^[1]定义行事的情况^[38-39],说明国外对埃达克岩定义的理解比中国宽松得多。最近国际上有一种趋势,认为埃达克岩

可以是幔源的,国内也受了感染。Castillo^[3]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^[2]到认为埃达克岩的形成有地幔橄榄岩直接或是间接的参与。有人认为,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。笔者认为,Martin 等^[38]提出的低硅埃达克岩,实际上就是赞岐岩(sanukite),是地幔部分熔融的产物。世界上的岩石千千万,但基本上可以分为壳源和幔源的两大类。埃达克岩是壳源的,赞岐岩是幔源的,不应当将幔源和壳源的岩石混淆起来。埃达克岩可以富镁,可以与地幔混合,但它毕竟不是地幔熔融物。因此,一定要将埃达克岩与幔源的岩石(例如赞岐岩)区分开来,否则将会造成进一步的混乱。

如何区分埃达克岩和赞岐岩,笔者等^[49]已有过讨论,限于篇幅,这里只能作一简略地介绍。按照 Defant et al^[1]给出的定义,埃达克岩的 SiO₂>56%、Al₂O₃>15%、MgO<3%、Sr>400×10⁻⁶、Y<18×10⁻⁶、Yb<1.9×10⁻⁶、Sr/Y>40。赞岐岩的地球化学特征大体类似埃达克岩,不同的是,前者的 Si 较低,Mg、Cr 和 Ni 含量较高。赞岐岩的 SiO₂ 通常在 52%~60%(很少>60%),MgO>5%(可达 12%)、Cr>100×10⁻⁶、Ni>100×10⁻⁶。赞岐岩对 Sr 含量没有限制,例如,日本新生代的赞岐岩通常 Sr<400×10⁻⁶,太古宙赞岐岩 Sr 含量大多>1000×10⁻⁶^[49]。富 Mg 是赞岐岩不同于埃达克岩的最重要的特征,赞岐岩由于富 Mg,Mg[#] 也高(>0.45~0.73)^[49],因此,赞岐岩具有原始岩浆的性质,是地幔岩部分熔融形成的。埃达克岩是壳源的,MgO 含量低,Mg[#]<0.45。埃达克岩如果与地幔相互作用也会使 MgO 含量增加,形成高镁安山岩(或高镁埃达克岩,HMA),二者的区分就比较困难了。这时,应考虑全部岩石的 SiO₂、MgO 变化范围及其伴生的岩石(如是否存在镁铁质和超镁铁质岩石)来加以判断。例如,对于 SiO₂ 含量集中在 56%~60%的高镁安山岩或高镁闪长岩来说,它究竟是埃达克岩还是赞岐岩? 主要根据两条标志来判断:(1)MgO、Mg[#]、Cr 和 Ni 的含量和(2)伴生的岩石。如果岩石平均的 MgO 含量>3%、Mg[#]>0.50、Cr>100×10⁻⁶、Ni>100×10⁻⁶,伴生的是基性岩(玄武岩或辉长岩),则可能是赞岐岩而非埃达克岩。鲁西的某些高镁闪长岩^[50]和辽西的某些高镁安山岩^[51]由于 Si 偏低和 Mg 偏

高,前者与辉长岩伴生,后者与玄武质岩石伴生,因此,可能类似赞岐岩而非埃达克岩^[52]。Yogodzinski 等^[53]研究了阿留申地区的高镁安山岩(HMA),并将其分为 Piip 型和 Adak 型两类,他们指出,Piip 型高镁安山岩类似日本新生代的赞岐岩类(sanukitoids),而 Adak 型高镁安山岩更类似太古宙的 sanukitoids,因此,Yogodzinski 等^[53]所说的 HMA 均非埃达克岩而是赞岐岩。其实,许多玄武岩也具有高 Sr 低 Y 和 Yb 的特点,但是,它们不可能是埃达克岩,因为它们的 SiO₂ 含量低,MgO 含量高。因此,SiO₂ 和 MgO 含量是判断是否埃达克岩的先决条件。

6 今后研究的方向

中国埃达克岩研究正处于起步阶段,将面临太多需要思考的问题:例如,中国东部富钾的埃达克岩是怎样形成的?C 型埃达克岩都来自加厚的下地壳吗?岩浆混合或结晶分离能够产生埃达克岩吗?与西太平洋板块的俯冲有关系吗?中国东部高原存在吗?燕山是造山带吗?燕山运动的本质是什么?燕辽地区中生代构造大转折的含义是什么?拆沉与埃达克岩有什么关系?华北克拉通是怎样破坏的?其核心问题在哪里?青藏高原的抬升与埃达克岩有关吗?新生代埃达克岩的发现如何改写青藏高原的抬升史?青藏高原埃达克岩与陆陆碰撞有什么关系?它是同碰撞的还是碰撞后的?青藏高原新生代埃达克岩为什么 K 含量异常之高?怎样解释加厚下地壳熔融的埃达克岩与斑岩铜矿以及金矿之间的关系?埃达克岩对于花岗岩的意义是什么?它开辟了花岗岩研究的哪些新的思路?中国东部埃达克岩可以用板块构造学说来解释还是不能?等等。上述林林总总的问题大体可以归纳为下述 4 个方面,值得在今后的研究中予以关注:

(1)中国东部中生代 C 型埃达克岩的成因。中国东部埃达克岩不同于 O 型埃达克岩,它的成因、源区特征、下地壳熔融机制,是今后需要重点研究的问题,这也是国际前缘领域,这个问题解决了,中国埃达克岩研究的水平就上去了。

(2)中国东部高原。埃达克岩的发现开辟了识别古代高原和山脉的新途径。中国东部高原是否存在?它的分布范围、抬升历史、抬升高度和原因,高原垮塌的时间、垮塌的机制,与拆沉作用的关系等,都是需要

认真考虑的问题。它需要各学科(地质学、地球物理学、地球化学、古地理学、古生物学、古生态学、古气候学等)的联合来探索,不是一朝一夕能够解决的。

(3)青藏高原新生代埃达克岩与高原抬升的关系。过去认为青藏高原大规模抬升是第四纪以来的事情,青藏高原 40~3 Ma 埃达克岩的发现(羌塘、藏东、滇西、可可西里、昆仑山、冈底斯),使我们有可能重新认识青藏高原抬升的历史。此外,青藏高原新生代埃达克岩特别富钾(K₂O>Na₂O),是埃达克岩中 K₂O 含量最高的,其成因也是今后关注的焦点之一。中生代的中国东部高原是已经消失的高原,青藏高原是当今现存的高原,中国东部高原是青藏高原的明天,青藏高原是中国东部高原的昨天。将青藏高原与中国东部高原联系起来进行对比研究,必将开辟大陆构造研究的新领域。

(4)C 型埃达克岩与铜金成矿作用的关系。与板块俯冲有关的 O 型埃达克岩与斑岩铜矿存在密切的关系,国外已经做了许多研究,尽管许多问题还没有搞明白,但是,来源于地幔的铜和金与埃达克岩有关是可以理解的,但是,为什么加厚下地壳的埃达克岩与铜和金也有密切的联系?这也是我们必须回答的问题。

7 结 语

中国埃达克岩的研究正处于方兴未艾的阶段,是现阶段国际埃达克岩研究的焦点和中心之一。有大量的问题等待我们去回答,有众多的现象等待我们去解释。尽管我们的文章不少,但研究水平总体不高,深入研究和探讨的还不多。8 年来,我们在埃达克岩研究上取得了许多成绩,其中不少在世界上占有重要地位;我们在埃达克岩问题上展开了激烈的争论,不仅国内学术界罕见,而且世所罕见,这种争论可能还要持续许多年;我们在埃达克岩研究中已经做了许多事情,我们还有更多的事情要做。我们应当努力从野外的实际出发,深入探讨,不断创新,提出新认识,开拓新方向,推进埃达克岩研究更上一层楼,推进花岗岩研究步入新时期。

参考文献(References):

- [1] Niu Y L. Generation and evolution of basaltic magmas: some basic concepts and a new view on the origin of Mesozoic -Cenozoic basaltic volcanism in eastern China [J]. Geological Journal of China

- Universities, 2005, 11:9-46.
- [2] Defant M J, Drummond M S. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subduction lithosphere [J]. *Nature*, 1990, 347:662-665.
- [3] Castillo P R. An overview of adakite petrogenesis [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2006, 51:257-268.
- [4] 王强, 许继锋, 王建新, 等. 北大别山 adakite 型灰色片麻岩的确定及其与超高压变质作用的关系[J]. *科学通报*, 2000, 45:1017-1024.
Wang Qiang, Xu Jifeng, Wang Jianxin, et al. The recognition of adakite -type gneisses in the North Dabie Mountains and its implication to ultrahigh pressure metamorphic geology [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2000, 45:1927-1933 (in Chinese with English abstract).
- [5] 张旗, 王焰, 钱青, 等. 中国东部燕山期埃达克岩的特征及其构造-成矿意义 [J]. *岩石学报*, 2001, 17:236-244 (in Chinese with English abstract).
Zhang Qi, Wang Yan, Qian Qing, et al. The characteristics and tectonic - metallogenic significance of the adakites in Yanshan Period from eastern China [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2001, 17: 236-244(in Chinese with English abstract).
- [6] 张旗, 钱青, 王二七, 等. 燕山中晚期的“中国东部高原”:埃达克岩的启示[J]. *地质科学*, 2001, 36:248-255.
Zhang Qi, Qian Qing, Wang Erqi, et al. Existence of East China Plateau in mid-late Yanshan period: implication from adakites [J]. *Scientia Geologica Sinica*, 2001, 36:248-255 (in Chinese with English abstract).
- [7] 张旗, 王焰, 刘红涛, 等. 中国埃达克岩的时空分布及其形成背景, 附: 国内关于埃达克岩的争论[J]. *地质前缘*, 2003, 10: 385-400.
Zhang Qi, Wang Yan, Liu Hongtao, et al. On the space-time distribution and geodynamic environments of adakites in China [J]. *Earth Science Frontiers*, 2003, 10:385-400 (in Chinese with English abstract).
- [8] Xu J F, Shinjio R, Defant M J, et al. Origin of Mesozoic adakitic intrusive rocks in the Ningzhen area of east China: partial melting of delaminated lower continental crust [J]. *Geology*, 2002, 12: 1111-1114.
- [9] Wang Q, Zhao Z H, Bao Z W, et al. Geochemistry and petrogenesis of the Tongshankou and Yinzu adakitic intrusive rocks and the associated porphyry copper-molybdenum mineralization in southeast Hubei, east China[J]. *Resource Geology*, 2004, 54:137-152.
- [10] Wang Q, Wyman D K, Xu J F, et al. Petrogenesis of Cretaceous adakitic and shoshonitic igneous rocks in the Luzong area, Anhui Province (eastern China): Implications for geodynamics and Cu-Au mineralization[J]. *Lithos*, 2006, 89: 424-446.
- [11] Wang Q, Wyman D A, Xu J F, et al. Early Cretaceous adakitic granites in the Northern Dabie complex, central China: implications for partial melting and delamination of thickened lower crust [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2007, 71: 2609-2636.
- [12] 葛小月, 李献华, 陈志刚, 等. 中国东部燕山期高 Sr 低 Y 型中酸性火成岩的地球化学特征及成因: 对中国东部地壳厚度的制约 [J]. *科学通报*, 2002, 47:474-480.
Ge Xiaoyue, Li Xianhua, Chen Zhigang, et al. Geochemistry and petrogenesis of Jurassic high Sr/low Y granitoids in eastern China: Constrains on crustal thickness [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2002, 47:961-968(in Chinese).
- [13] 陈斌, 翟明国, 邵济安. 太行山北段中生代岩基的成因和意义: 主要和微量元素地球化学证据[J]. *中国科学(D)*, 2002, 32:896-907.
Chen Bin, Zhai Mingguo, Shao Jian. Petrogenesis and significance of the Mesozoic North Taihang complex: Major and trace element evidence[J]. *Science in China (D)*, 2003, 46:941-953(in Chinese).
- [14] 吴福元, 葛文春, 孙德有. 埃达克岩的概念、识别标志及其地质意义 [C]//肖庆辉, 邓晋福, 马大铨等. 花岗岩研究思维与方法. 北京:地质出版社, 2002:172-191.
Wu Fuyuan, Ge Wenchun, Sun Deyou. The definition, discrimination of adakites and their geological role [C]//Xiao Qinghui, Deng Jinfu, Ma Daqiu, et al (eds.). *The Ways of Investigation on Granitoids*. Beijing:Geological Publishing House, 2002:172-191(in Chinese with English abstract).
- [15] 钱青, 钟孙霖, 李通艺, 等. 八达岭基性岩和高 Ba-Sr 花岗岩地球化学特征及成因探讨: 华北和大别-苏鲁造山带中生代岩浆岩的对比[J]. *岩石学报*, 2002, 18:275-292.
Qian Qing, Chung Sunling, Lee Tongyi, et al. Geochemical characteristics and petrogenesis of the Badaling high Ba -Sr granitoids: a comparison of igneous rocks from North China and the Dabie-Sulu Orogen [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2002, 18: 275-292 (in Chinese with English abstract).
- [16] Defant M J, Xu J F, Kepezhinskas P, et al. Adakites:some variations on a theme[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2002, 18:129-142.
- [17] Rapp R P, Xiao L, Shimizu N. Experimental constraints on the origin of potassium-rich adakites in eastern China [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2002, 18:293-302.
- [18] 马昌前, 杨坤光, 明厚利, 等. 大别山中生代地壳从挤压向伸展的时间:花岗岩的证据[J]. *中国科学(D 辑)*, 2003, 33:817-827.
Ma Changqian, Yang Kunguang, Ming Houli, et al. The timing of tectonic transition from compression to extension in Dabieshan: Evidence from Mesozoic granites[J]. *Science in China (Series D)*: 2003, 34:453-462 (in Chinese).
- [19] Qian Q, Chung S L, Lee T Y, et al. Mesozoic high Ba-Sr granitoids from North China:geochemical characteristics and geological implications[J]. *Terra Nova*, 2003, 15:272-278.
- [20] Gao S, Rudnick R L, Yuan H L, et al. Recycling lower continental crust in the North China craton[J]. *Nature*, 2004, 432: 892-897.
- [21] Chen B, Jahn B M, Wei C J. Petrogenesis of Mesozoic granitoids in the Dabie UHP complex, Central China:trace element and Nd-Sr isotope evidence[J]. *Lithos*, 2002, 60:67-88.
- [22] Li W X, Li X H. Adakitic granites within the NE Jiangxi ophiolites, South China:geochemical and Nd isotopic evidence[J].

- Precambrian Research, 2003, 112:29–44.
- [23] 李武显, 李献华. 蛇绿岩中的花岗质岩石成因类型与构造意义[J]. 地球科学进展, 2003, 18:392–397.
- Li Wuxian, Li Xianhua. Rock types and tectonic significance of the granitoids rocks within ophiolites[J]. Advance in Earth Sciences, 2003, 18:392–397(in Chinese with English abstract).
- [24] 李武显, 李献华. 赣东北蛇绿岩中的埃达克型花岗岩—地球化学和 Nd 同位素证据[J]. 高校地质学报, 2004, 10:199–208
- Li Wuxian, Li Xianhua. Adakitic granites within the NE Jiangxi ophiolites, south China—geochemical and Nd isotopic evidence[J]. Geological Journal of China University, 2004, 10: 199–208 (in Chinese with English abstract).
- [25] 刘敦一, 简平, 张旗, 等. 内蒙古图林凯蛇绿岩中埃达克岩 SHRIMP 测年: 早古生代洋壳消减的证据 [J]. 地质学报, 2003, 77:317–327.
- Liu Dunyi, Jian Ping, Zhang Qi, et al. SHRIMP dating of adakites in the Tulingkai ophiolite, Inner Mongolia: evidence for the Early Paleozoic subduction[J]. Acta Geologica Sinica, 2003, 77:317–327 (in Chinese with English abstract).
- [26] Wang Q, McDermott F, Xu J F, et al. Cenozoic K-rich adakitic volcanic rocks in the Hohxil area, northern Tibet: Lower-crustal melting in an intracontinental setting[J]. Geology, 2005, 33:465–468.
- [27] Hou Z Q, Ma H W, Khin Z, et al. The Himalayan Yulong porphyry copper belt: product of large-scale strike-slip faulting in Eastern Tibet[J]. Economic Geology, 2003, 98:125–145.
- [28] Jiang Y H, Jiang S Y, Ling H F, et al. Low-degree melting of a metasomatized lithospheric mantle for the origin of Cenozoic Yulong monzogranite-porphyry, east Tibet; Geochemical and Sr–Nd–Pb–Hf isotopic constraints [J]. Earth and Planetary Science Letters, 2006, 241:617–633.
- [29] 张旗, 金惟俊, 王元龙, 等. 大陆下地壳拆沉模式初探[J]. 岩石学报, 2006, 22:265–276.
- Zhang Qi, Jin Weijun, Wang Yuanlong, et al. A model of delamination of continental lower crust [J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22:265–276 (in Chinese with English abstract).
- [30] 张旗, 金惟俊, 王元龙, 等. 大洋岩石圈拆沉与大陆下地壳拆沉: 不同的机制及意义——兼评“下地壳+岩石圈地幔拆沉模式” [J]. 岩石学报, 2006, 22:2631–2638.
- Zhang Qi, Jin Weijun, Wang Yuanlong et al. The ocean lithosphere delamination and the lower crust delamination: the different mechanism and geological implication——Comment on the delamination model of lower crust and lithosphere mantle [J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22: 2631–2638(in Chinese with English abstract).
- [31] Xiong X L, Adam T J, Green T H. Rutile stability and rutile/melt HFSE partitioning during partial melting of hydrous basalt: Implications for TTG genesis[J]. Chemical Geology, 2005, 218: 339–359.
- [32] Xiong X L, Xia B, Xu J F, et al. Na depletion in modern adakites via melt/rock reaction within the sub-arc mantle [J]. Chemical Geology, 2006, 229:273–292.
- [33] Xiao L, Clemens J D. Origin of potassic (C-type) adakite magmas; experimental and field constraints[J]. Lithos, 2007, 95:399–414.
- [34] 王强, 许继峰, 赵振华. 一种新的火成岩—埃达克岩的研究综述 [J]. 地球科学进展, 2001, 16:201–208.
- Wang Qiang, Xu Jifeng, Zhao Zhenhua. The summary and comment on research on a new kind of igneous rock—adakite[J]. Advance in Earth Sciences, 2001, 16:201–208 (in Chinese with English abstract).
- [35] 朱弟成, 段丽萍, 廖忠礼, 等. 两类埃达克岩 (Adakite) 的判别[J]. 矿物岩石, 2002, 22:5–9.
- Zhu Dicheng, Duan Liping, Liao Zhongli, et al. Discrimination for two kinds of adakites [J]. Journal of Mineral et Petrologica, 2002, 22:5–9(in Chinese with English abstract).
- [36] 张旗, 许继峰, 王焰, 等. 埃达克岩的多样性 [J]. 地质通报, 2004, 23:959–965.
- Zhang Qi, Xu Jifeng, Wang Yan, et al. On the diversity of adakite [J]. Geological Bulletin of China, 2004, 21:431–435 (in Chinese with English abstract).
- [37] Sheppard S, Griffin T J, Tyler I M, et al High- and low-K granites and adakites at a Paleoproterozoic plate boundary in northwestern Australia[J]. J. Geol. Soc. London, 2001, 158:547–560.
- [38] Martin H, Moyen J F. Secular changes in TTG composition: comparison with modern adakites [J]. EGS–AGU–EUG joint meeting, Nice, 2003, April, VGP7–1FR2O–001.
- [39] Yogodzinski G M, Volynets O N, Koloskov A V, et al. Magnesian andesites and the subduction component in a strongly calc-alkaline series at Piip Volcano, far western Aleutians[J]. J. Petrol., 1994, 35: 163–204.
- [40] 张旗, 王元龙, 张福勤, 等. 埃达克岩与斑岩铜矿[J]. 华南地质与矿产, 2002, 3:85–90.
- Zhang Qi, Wang Yuanlong, Zhang Fuqin, et al. Adakite and porphyry copper deposit [J]. Geology and Mineral Resources of South China, 2002, 3:85–90(in Chinese with English abstract).
- [41] 王元龙, 王焰, 张旗, 等. 铜陵地区中生代中酸性侵入岩的地球化学特征及其成矿—地球动力学意义 [J]. 岩石学报, 2004, 20: 325–338.
- Wang Yuanlong, Wang Yan, Zhang Qi, et al. The geochemical characteristics of Mesozoic intermediate-acid intrusives of the Tongling area and its metallogenesis-geodynamic implications. Anhui Province [J]. Acta Petrologica Sinica, 2004, 20:325–338 (in Chinese with English abstract).
- [42] Wang Q, Xu J F, Zhao Z H, et al. Petrogenesis of the Mesozoic intrusive rocks in the Tongling area, Anhui Province, China and their constraint on geodynamic process [J]. Science in China (Series D), 2003, 46:801–815.
- [43] Wang Q, Xu J F, Jian P, et al. Petrogenesis of adakitic porphyries in an extensional tectonic setting, Dexing, south China: implications for the genesis of porphyry copper mineralization [J]. Journal of Petrology, 2006, 47:119–144.
- [44] Qu X M, Hou Z Q, Li Y G. Melt components derived from a

subducted slab in late orogenic ore -bearing porphyries in the Gangdese copper belt, southern Tibetan plateau [J]. Lithos, 2004, 74:131-148.

[45] 侯增谦, 莫宣学, 杨志明, 等. 青藏高原碰撞造山带成矿作用:构造背景,时空分布和主要类型[J]. 中国地质, 2006, 33(2):340-351.

Hou Zengqian, Mo Xuanxue, Yang Zhiming, et al. Metallogenesis in the collisional orogen of the Qinghai - Tibet Plateau:Tectonic setting,tempo-spatial distribution and ore deposit types[J]. Geology in China, 2006, 33(2):340-351(in Chinese with English abstract).

[46] 侯增谦, 曲晓明, 杨竹森, 等. 青藏高原碰撞造山带:III. 后碰撞伸展成矿作用[J]. 矿床地质, 2006, 25:629-651.

Hou Zengqian, Qu Xiaoming, Yang Zhuseng, et al. Metallogenesis in Tibetan collisional orogenic belt: III. Mineralization in post - collisional extension setting [J]. Mineral Deposits, 2006, 25:629-651(in Chinese with English abstract).

[47] 赵文津. 大型斑岩铜矿成矿的深部构造岩浆活动背景[J]. 中国地质, 2007, 34(2):179-205.

Zhao Wenjin. Deep tectono- magmatic setting for metallogenesis of large porphyry copper deposits [J]. Geology in China, 2007, 34(2):179-205(in Chinese with English abstract).

[48] Defant M J. Reply for comment by R. Conner on the "Evidence suggests slab melting in arc magmas" by M. Defant and P. Kepezhinskias (EOS, 2001, 82:65, 68-69) [J]. EOS, 2002, 66: 256-257.

[49] 张旗, 王焰, 钱青, 等. 晚太古代 Sanukite(赞岐岩)与地球早期演化[J]. 岩石学报, 2004, 20:1355-1362.

Zhang Qi, Wang Yan, Qian Qing, et al. Sanukite of Late Archaean and Early Earth evolution [J]. Acta Petrologica Sinica, 2004, 20: 1355-1362(in Chinese with English abstract).

[50] 王晓蕊, 高山, 柳小明, 等. 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 辑), 2005, 35:700-709.

Wang Xiarui, Gao Shan, Liu Xiaoming, et al. Geochemistry of high -Mg andesites from the early Cretaceous Yixian Formation, western Liaoning:Implications for lower crustal delamination and Sr/Y variations[J]. Science in China (Series D), 2006, 49:904-914 (in Chinese with English abstract).

[51] 巫祥阳, 徐义刚, 马金龙, 等. 鲁西中生代高镁闪长岩的地球化学特征及其成因探讨[J]. 大地构造与成矿学, 2002, 27:228-236.

Wu Xiangyang, Xu Yigang, Ma Jinlong, et al. Geochemistry and petrogenesis of the Mesozoic high -Mg diorite from western Shandong[J]. Geotectonica et Metallogenica, 2002, 23:228-236(in Chinese with English abstract).

[52] 张旗, 金惟俊, 王元龙, 等. 晚中生代中国东部高原北界探讨[J]. 岩石学报, 2007, 23:689-700.

Zhang Qi, Jin Weijun, Wang Yuanlong, et al. Discussion of north boundary of the East China Plateau during late Mesozoic Era [J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23:689 -700 (in Chinese with English abstract).

[53] Yogodzinski G M, Kay R W, Volynets O N, et al. Magnesian andesite in the western Aleutian Komandorsky region:Implications for slab melting and processes in the mantle wedge [J]. Geol. Soc. Am. Bull., 1995, 107:505-519.

Adakite research: retrospect and prospect

ZHANG Qi

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

Abstract: The paper reviews the major progress in the study of adakites in China, discusses the reason why so many papers on adakites have been published in China, summarizes the contribution and remaining problems of the adakite study and explores the present problems and future direction in the study. The author thinks that the study of adakites in China is on the upswing, which has been one of focuses of adakite study worldwide. However, generally the research level is not high though many papers have been published. Many questions and phenomena in the field remain unknown. The following are potentially key topics for future studies: (1) the origin of Mesozoic C-type adakite in eastern China; (2) the uplift mechanism of the eastern China Plateau in the Mesozoic; (3) the relationship between the adakite formation and uplift of the Qinghai-Tibet Plateau, and (4) the relationship between C-type adakite and porphyry Cu-Au mineralization.

Key words: adakite; China; progress; remaining problem; potential research issue; direction

About the author: ZHANG Qi, male, born in 1937, professor, mainly engages in the study of petrology and geochemistry; E-mail: zhangqi@mail.igcas.ac.cn.