

·学术讨论·

# 埃达克岩的特征及其意义

张 旗<sup>1</sup> 王 焰<sup>2</sup> 刘 伟<sup>1</sup> 王元龙<sup>1</sup>

(1. 中国科学院地质与地球物理研究所 北京 100029 2. 西北大学地质系 西安 710069)

摘要: 讨论了中国东部C型埃达克岩与环太平洋典型埃达克岩的异同点及其不同的产出背景, 认为中国东部中生代具埃达克岩特征的中酸性火成岩是陆内岩浆作用的产物, 推测是来自岩石圈地幔的玄武质岩浆底侵到加厚的具克拉通性质的陆壳(>50km)底部导致古老的下地壳基性岩部分熔融形成的。论述了埃达克岩, 尤其是C型埃达克岩的地球动力学意义, 指出埃达克岩的发现开创了岛弧岩浆成因的新系列, 是岩石学领域内一个重要的突破, 开拓了花岗岩研究的新思路。探讨了埃达克岩可能的形成构造背景, 指出利用埃达克岩可以追踪地质历史上的地壳增厚及其相关事件, 反演下地壳组成。讨论了埃达克岩与成矿作用的关系。

关键词: 埃达克岩; 地球化学; 下地壳; 部分熔融; 地球动力学意义

中图分类号: P588.1 文献标识码: A 文章编号: 1671-2552(2002)-07-0431-05

埃达克岩(Adakite)是1990年由Defant和Drummond<sup>[1]</sup>提出来的, 很快被国际地质界接受, 国内的研究起步较晚, 2000年始有报道<sup>[2-4]</sup>。笔者等在2001年提出中国东部存在埃达克岩的问题<sup>[5-6]</sup>, 引起国内学术界很大的争论, 赞同和反对者皆有之。由于埃达克岩已成为当前地球动力学领域的前缘课题, 对于花岗岩成因、下地壳演化及成矿作用的研究具有很强的挑战性, 因此, 对埃达克岩进行深入的讨论不仅对提升中国大陆动力学研究的水平具有重要意义, 而且对开拓找矿工作的新思路具有潜在的经济价值。

## 1 什么是埃达克岩

埃达克岩不是指的某一种具体的岩石, 而是具有特定地球化学性质的一套中酸性火成岩组合的术语。其地球化学标志是  $\text{SiO}_2 \geq 56\%$ , 高铝( $\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 15\%$ ),  $\text{MgO} < 3\%$  (很少>6%), 贫Y和Yb( $Y \leq 18 \mu\text{g/g}$ ,  $Yb \leq 1.9 \mu\text{g/g}$ ), Sr含量高( $>400 \mu\text{g/g}$ ) LREE富集, 无Eu异常(或有轻微的负Eu异常),  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值小于0.704,  $\epsilon_{\text{Nd}}$ 通常>0<sup>[1]</sup>。埃达克岩通常由斜长石、石英和角闪石组成, 黑云母、辉石和不透明矿物可有可无。

埃达克岩贫Y和Yb, 暗示部分熔融时有石榴石稳定存在, 富Sr、Eu和具Sr(相对于Ce和Nd)的正异常, 说明熔融时斜长石在源区是不稳定的<sup>[1,7]</sup>。埃达克岩的上述特征类似太古宙的高铝TTD(或TTG)岩套, 通常解释为由年轻的(<25 Ma)热的俯冲板片在75~85 km深处(相当于角闪岩-榴辉岩过渡带)发生部分熔融形成的<sup>[1]</sup>。

国内对于埃达克岩的定义存在不同的认识: 许多人认为, 埃达克岩作为岩石, 应当有岩石学和矿物学标志。埃达克岩是根据地球化学特征提出来的, 而不是岩相学特征, 也不代表具体的岩石。许多人还认为, 应遵循埃达克岩来源于俯冲板片熔融的定义, 而不应当把埃达克岩扩展到克拉通地区。研究表明, 埃达克岩的形成要求原岩必须是基性的、含水、残留相有石榴石存在, 因此, 只要有合适的物理化学条件, 俯冲板片和下地壳熔融都可以形成埃达克岩。笔者认为, 把岩石定名与环境捆绑在一起的作法是不可取的, 任何一种岩石都不只对应于一种构造环境, 实际上, 埃达克岩也不只形成在岛弧环境, 国外就有来源于岛弧<sup>[1]</sup>、下地壳<sup>[8-10]</sup>和玄武岩底侵<sup>[11-12]</sup>等几种不同的认识。还有的认为与壳幔岩浆混合及AFC模式有关<sup>[13]</sup>。

收稿日期 2002-01-14

基金项目: 国家“973”项目“大规模成矿作用与大型矿集区预测”(G1999043206-05)和中国科学院知识创新工程基金项目(KZCX1-07)。

作者简介: 张旗, 1937年生, 男, 研究员, 火成岩石学专业。

## 2 中国东部中生代埃达克岩

中国东部类似埃达克岩特征的中酸性火山岩和侵入岩主要是晚侏罗世—早白垩世的,包括京冀地区晚侏罗世的髻髻山组、早白垩世的大北沟组、花吉营组以及兰旗组火山岩,京冀鲁辽地区的花岗岩类、北淮阳火山岩和侵入岩、大别山花岗岩以及长江中下游地区的中酸性侵入岩等<sup>[5-6,14-19]</sup>。上述岩浆岩以高钾钙碱系列为主,少数落入橄榄玄粗岩系列和钙碱系列,主要岩石组合为安粗岩—粗面岩—粗面安山岩—流纹岩;侵入岩为闪长岩—石英闪长岩—花岗闪长岩—二长花岗岩—花岗岩。

中国东部中生代埃达克岩的地球化学指标与环太平洋埃达克岩的Si、Al、Sr、MgO、Y和Yb以及Eu异常的上述指标是一致的。但是,与环太平洋的埃达克岩比较,前者更富K<sub>2</sub>O和<sup>i</sup>Sr,而 $\epsilon_{Nd}$ 偏低( $Na_2O/K_2O \geq 1$ ,  $iSr > 0.704$ ,  $\epsilon_{Nd} < 0$ ,很少 $> 0$ )。吴福元等<sup>[20]</sup>归纳了中国东部中生代火成岩与典型的埃达克岩的区别,指出中国东部的(La/Yb)<sub>N</sub>值相对较高,Sr为正或负异常;主要由高钾钙碱性系列组成,部分为钾玄岩及钙碱性系列(国外大多为钙碱性系列);Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含量较低(平均15.3%,典型的埃达克岩为17.1%);Mg<sup>#</sup>值较低;具较平坦的HREE配分模式,Y/Yb比值主要变化于8~15之间,平均12,接近于球粒陨石值10。

鉴于中国东部埃达克岩的上述特点,笔者称其为C型埃达克岩,而将环太平洋地区的埃达克岩称为O型埃达克岩<sup>[5-6]</sup>。中国东部中生代具埃达克岩特征的火山岩是陆相的,与板块的消减作用无关,是陆内岩浆作用的产物,推测是来自岩石圈地幔的玄武质岩浆底侵到加厚的具克拉通性质的陆壳(>50 km)底部导致古老的下地壳基性岩部分熔融形成的。

## 3 关于C型埃达克岩

C型埃达克岩不止分布在中国东部,我们的研究表明,世界大陆范围内的新生代埃达克岩主要分布在青藏高原和安第斯<sup>[11,21]</sup>两个地区,而这两个地区地壳最厚,分别为50~80 km和50~70 km。据笔者了解,青藏高原可能有新生代的埃达克岩出露。如冈底斯中段的曲水花岗岩<sup>[22]</sup>、冈底斯西段的那邦花岗岩(季建清,1998,博士论文)、北羌塘高钾钙碱性火山岩<sup>[23-25]</sup>和可可西里火山岩<sup>[26-29]</sup>等,均具埃达克岩特征。赖绍聪等<sup>[25]</sup>认为北羌塘高钾钙碱性中酸性火山

岩源于加厚的陆壳,源区由榴辉岩相的物质组成。

O型埃达克岩富Na,分布于太平洋及其周边地区,其成因主要与板块的消减作用有关,部分与低K拉斑玄武岩底侵或具洋壳特征的增厚下地壳部分熔融有关;C型埃达克岩富K(大部分仍然是钠质的,少数为钾质),产于大陆内部,主要可能是加厚陆壳(>50 km)底部的下地壳中基性麻粒岩部分熔融形成的,少数可能是底侵的大陆溢流玄武质岩浆或岩石圈地幔中的基性岩部分熔融的产物。

热模拟表明,镁铁质下地壳(在石榴石稳定范围内)的熔融可以形成与来自“板片熔融”的埃达克岩类似的岩浆<sup>[9]</sup>。Rapp<sup>[12]</sup>的实验研究指出,低程度(<5%)的部分熔融产生相对富K和贫Ti(<0.3%)的埃达克岩,低—中等程度(~30%)的部分熔融形成富Na和Ti(0.5%~1.0%)的埃达克岩。吴福元等<sup>[20]</sup>指出,源岩的K含量明显影响派生熔体的K含量,中国东部燕山期埃达克质岩的平均K<sub>2</sub>O含量为3.57%,表明源岩具有较高的K<sub>2</sub>O,结合Sr—Nd同位素资料,认为源岩有可能主要来自于富集的岩石圈地幔的熔融,由此导致较高的K<sub>2</sub>O含量和较强烈的稀土元素分馏。

## 4 埃达克岩的地球动力学意义

20世纪90年代埃达克岩的发现不仅拓宽了人们对岛弧岩浆系列的认识,而且,对于花岗岩成因、地壳加厚机制、下地壳演化以及成矿作用的认识也具有重要的启示。

### 4.1 埃达克岩的发现开创了岛弧岩浆成因新系列

早先认为岛弧岩浆作用是,俯冲板片在深部的脱水作用使板片之上的地幔楔发生部分熔融,形成的玄武质岩浆要么直接上升至地表或地壳浅部,要么底侵到岛弧地壳底部,加热下部地壳使之发生深熔作用形成中酸性岩浆。埃达克岩的发现表明,俯冲到深处的具MORB性质的板片在合适的物理化学条件下也可以发生部分熔融形成中酸性岩浆。Defant等<sup>[7]</sup>根据俯冲板片熔融产生的埃达克质岩浆与上覆地幔楔相互作用的程度和性质,提出了从埃达克岩—高镁安山岩—玻安岩及富Nb岛弧玄武岩(ENAB)的“埃达克岩交代火山系列”,突破了以前单一的以板片脱水导致地幔楔部分熔融产生岛弧岩浆岩的传统模式。

### 4.2 埃达克岩的发现开拓了花岗岩研究的新思路

长期以来,岩石学、地球化学与花岗岩形成构造

环境的关系是人们关注的焦点,并取得了积极的进展,例如,I、S、M型花岗岩的确立<sup>[30]</sup>,但它们指的主要是源区物质组成对花岗岩性质的影响<sup>[31]</sup>。埃达克岩之所以有意义,即在于它把岩石-地球化学研究与岩浆源区深度联系起来,开拓了花岗岩研究的新思路。埃达克岩与石榴石处于平衡,指示其源区深;而那些贫Al和Sr, HFSE和Yb丰度较高的、具明显负钨异常的非埃达克岩则与斜长石处于平衡,来自较浅的深度。此外,广义的花岗岩还包括由地幔部分熔融形成的岩浆,如那些由辉长岩—闪长岩—石英闪长岩—花岗闪长岩组成的岩浆。因此,从花岗岩源区深度的角度,至少可以分出来自地幔、下地壳和中上地壳3个深度层次的花岗岩类。按照地壳厚度的不同,还可再分为来自加厚地壳的下地壳和正常厚度的下地壳的花岗岩,中上地壳厚度可达50 km(如青藏高原),是否可再细分,以什么作为标志,还需进一步研究。

#### 4.3 埃达克岩可能形成的构造背景

埃达克岩大体产在下列两种环境:消减板片的深部和加厚地壳的底部。后者大致有3种情况:①活动陆缘地壳加厚地区;②板块碰撞导致的地壳加厚地区;③高原底部。底侵的玄武岩部分熔融可以形成埃达克岩,但只有增生在加厚地壳底部的玄武岩才行;如果地壳厚度小,其部分熔融形成的应当是I型花岗岩而非埃达克岩。

何以出现富Na的埃达克岩?大致有3种情况:①消减板片(MORB)的部分熔融;②由洋壳组成的地体;③底侵的贫K玄武岩(如低K拉斑玄武岩)。

什么情况下可以出现富K的埃达克岩?大致也有3种情况:①活动陆缘底部;②高原陆壳下部;③底侵的玄武岩富K(如大陆溢流玄武岩)。

#### 4.4 追踪地质历史上的地壳增厚及其相关事件

我们怎样知道在地球的历史上什么时候什么地方曾经存在过加厚的地壳?按照将今论古的原则,埃达克岩给了我们以新的启示。例如,根据燕山期时中国东部北起辽宁南至长江中下游、西自山东到朝鲜半岛地区内埃达克岩的大范围出露,可以大致勾勒出中国东部高原的轮廓<sup>[5]</sup>。据目前的资料,中国东部埃达克岩主要形成在150~120 Ma期间,表明中国东部地壳加厚事件至少发生在中晚侏罗世之前。由于埃达克岩从下地壳大量熔出,使含石榴石的角闪岩/麻粒岩的成分变得更加基性,下地壳

密度增加甚至超过地幔橄榄岩的密度<sup>[21]</sup>,从而导致拆沉作用,随之地壳减薄,中国东部高原可能在晚白垩世前后发生塌陷消失。

对加厚地壳的追踪不止高原,还可以引申到地壳的线性加厚和山脉的抬升。例如二叠纪西天山地壳的碰撞加厚<sup>[32,33]</sup>。最近在北秦岭发现了早古生代和三叠纪2个时期的埃达克岩<sup>[34,35]</sup>,如果它们都具有C型埃达克岩特点的话,似应表明北秦岭在显生宙历史上曾经存在过2次地壳增厚事件。

#### 4.5 反演下地壳组成

大陆地壳组成是地球科学家关注的课题,但困难的是如何确定深部地壳,尤其是下地壳的组成,埃达克质岩的厘定从一个方面解决了这个难题。中国东部埃达克岩的地球化学性质表明其为下地壳部分熔融作用的产物,因此,可以通过埃达克岩的地球化学特征来反演下地壳的组成。初步的研究表明,中生代时的中国东部高原下地壳大体由胶东—大别、北京—辽西和下扬子(长江中下游)3个不同的块体组成,而且部分地区有年轻的玄武岩底侵的印记<sup>[36]</sup>。

#### 4.6 埃达克岩与成矿作用

实验研究<sup>[37~40]</sup>表明,埃达克岩的形成需要很高的温度(850~1150°C)和压力(1.0~4.0 GPa)。高温不仅可使玄武质岩石发生熔融形成埃达克质岩浆,高温和高压还有利于Cu、Au、Mo等金属元素溶解进入熔体。如果有流体的加入,则不但有利于岩浆的熔出,也有利于某些金属元素的富集。在俯冲带,流体可能主要来自板片本身,在下地壳,流体则可能有下地壳和地幔两个来源。随着地壳加厚,角闪石被石榴石替代,有利于含矿流体从下地壳释放出来<sup>[41]</sup>。从这个意义上说,埃达克岩可能与来自下地壳和壳幔交换作用有关的Au、Ag、Fe、Cu、Mo矿等有成因上的联系。Thieblemont等<sup>[42]</sup>统计了43个Au、Ag、Cu、Mo低温热液和斑岩矿床,发现其中38个与埃达克岩有关。因此,他们得出结论:在全球规模上(美国西部、智利、巴布亚新几内亚),多数埃达克岩省也是重要的成矿省;在地区规模上,多数矿床的主岩即埃达克岩;在矿区规模上,当埃达克岩与非埃达克岩共存时,成矿主要与前者有关。中国长江中下游一带的Au、Fe、Cu、Mo矿床、胶东的Au以及冀北辽宁一带的Au、Mo矿床等,它们的围岩火成岩大多为埃达克岩。小秦岭的情况不清楚,但河南花山花岗岩类似埃达克岩的特征。早先认为斑岩岩浆及主要成矿元素

来自俯冲洋壳的部分熔融,近期发现,斑岩矿床常与增厚的地壳下地壳的熔融有关<sup>[39]</sup>。如长江中下游的许多斑岩Cu(Au、Mo)矿床(沙溪、冬瓜山、安基山、铜厂、富家坞等),斑岩主要来自下地壳,可能与底侵的玄武质下地壳熔融有关<sup>[17 43 44]</sup>。

## 5 存在问题

埃达克岩是一个新东西,还不成熟,还有许多问题需要研究。埃达克岩,尤其是C型埃达克岩,是岩石学领域内的一个突破,它必定会对花岗岩和大陆动力学以及成矿作用的研究带来新的启示。但是,毕竟中国东部埃达克岩与阿留申等地的埃达克岩有区别,还有许多问题不清楚。

(1) 岩石定义,中国东部中生代埃达克岩是否是埃达克岩?如何解释其不同于典型埃达克岩的K含量和Sr-Nd同位素资料?

(2) 岩浆源区,它们来自古老的下地壳?或年轻的底侵玄武岩?或岩石圈地幔?古太平洋板块的俯冲作用对其有什么影响?

(3) 成因模型,它们是否来自加厚的陆壳底部?中国东部中生代存在高原吗?埃达克质岩浆与拆沉作用是什么关系?中国东部中生代岩石圈减薄与地壳增厚有关吗?

(4) 成矿作用,埃达克岩与成矿作用的联系是根据一些现象归纳的,它们有成因上的联系吗?为什么有的埃达克岩有矿,有的无矿?

笔者认为,中国东部埃达克岩问题的解决可能与青藏高原密切相关。一个值得思考的问题是,青藏高原和安第斯50~80 km厚的陆壳底部如果发生部分熔融,应当形成什么样的岩浆?

### 参考文献:

- [1] Defant M J, Drummond M S. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subduction lithosphere[J]. *Nature*, 1990, 662:665.
- [2] 王焰,张旗,钱青. 埃达克岩(adakite)的地球化学特征及其构造意义[J]. *地质科学*, 2000, 35: 251~256.
- [3] 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.
- [4] Xu Ji feng, Wang Qiang, Yu Xueyuan. Geochemistry of high-Mg andesites and adakitic andesite from the Sanchazi block of the Mian-Lüe ophiolitic melange in the Qinling Mountains, central China: Evidence of partial melting of the subducted Paleo-Tethyan crust[J]. *Geochem. J.*, 2000, 34: 359~377.
- [5] 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.
- [6] 张旗,王焰,钱青,等. 中国东部中生代埃达克岩的特征及其构造-成矿意义[J]. *岩石学报*, 2001, 17: 236~244.
- [7] Defant M J, Kepezhinskas P. Adakites: A Review of Slab Melting and the Case for a Slab-Melt Component in Arc[A]. In: *Symposium on adakite-like rocks and their geodynamic significance(abstract)* [C]. Beijing, China, 2001.4~6.
- [8] Peacock S M, Rushmer T, Thompson A B. Partial melting of subducting oceanic crust[J]. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1994, 121: 227~244.
- [9] Petford N, Atherton M. Na-rich partial melts from newly underplated basaltic crust: the Cordillera Blanca Batholith[J]. *Peru. J. Petrol.*, 1996, 37: 1491~1521.
- [10] Sheppard S, Griffin T J, Tyler, 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.
- [11] Atherton M P, Petford N. Generation of sodium-rich magmas from newly underplated basaltic crust[J]. *Nature*, 1993, 362: 144~146.
- [12] Rapp R P. A review of experimental constraints on adakite petrogenesis[A]. In: *Symposium on adakite-like rocks and their geodynamic significance(abstract)* [C]. Beijing, China, 2001.10~12.
- [13] Castillo P R. The origin of some of the adakite-like and Nb-enriched lavas in southern Philippines[J]. *岩石学报*, 2002, 18(2): 143~151.
- [14] 李伍平,李献华,路风香. 辽西中侏罗世高Sr低Y型火山岩的成因及其地质意义[J]. *岩石学报*, 2001, 17: 523~532.
- [15] 潘国强,陆现彩,干航波. 北淮阳中生代adakite岩石地球化学特征及成因讨论[J]. *岩石学报*, 2001, 17: 541~550.
- [16] 王强,许继锋,赵振华,等. 大别山燕山期亏损重稀土元素花岗岩类的成因及动力学意义[J]. *岩石学报*, 2001, 17: 551~564.
- [17] 许继峰,王强,徐义刚,等. 宁镇地区中生代安基山中酸性侵入岩的地球化学:亏损重稀土和钽的岩浆产生的限制[J]. *岩石学报*, 2001, 17: 576~584.
- [18] 王焰,张旗. 八达岭花岗岩杂岩的组成、地球化学特征及其意义[J]. *岩石学报*, 2001, 17: 533~540.
- [19] 王元龙,张旗,王焰. 宁芜火山岩的地球化学特征及其意义[J]. *岩石学报*, 2001, 17: 565~575.
- [20] 吴福元,葛文春,孙德有. 中国东部燕山期“埃达克质岩”问题与意义[A]. 见: *埃达克质岩及其地球动力学意义学术研讨会论文集摘要* [C]. 中国:北京, 2001. 53~55.
- [21] Kay R W and Kay S M. Andean adakites: three ways to make them[A]. In: *Symposium on adakite-like rocks and their geodynamic significance(abstract)* [C]. Beijing, China, 2001.7~9.
- [22] 江万,莫宣学,赵崇贺,等. 青藏高原冈底斯带中段花岗岩类及其中镁铁质微粒包体地球化学特征[J]. *岩石学报*, 1999, 15: 89~97.
- [23] 谭富文,潘桂棠,徐强. 羌塘腹地新生代火山岩的地球化学特征与青藏高原隆升[J]. *岩石矿物学杂志*, 2000, 19: 121~130.
- [24] 李光明. 藏北羌塘地区新生代火山岩岩石特征及其成因探讨[J]. *地质地球化学*, 2000, 28: 38~43.

- [25] 赖绍聪, 刘池阳. 青藏高原北羌塘榴辉岩质下地壳及富集型地幔源区——来自新生代火山岩的岩石地球化学证据[J]. 岩石学报, 2001, 17: 459~468.
- [26] Turner S, Arnaud N, Liu J, et al. Post-collision, shoshonitic volcanism on the Tibetan Plateau: implications for convective thinning of the lithosphere and the source of ocean island basalts[J]. J. Petrol., 1993, 37: 45~71.
- [27] 郑祥身, 边千韬, 郑健康. 青海可可西里地区新生代火山岩研究[J]. 岩石学报, 1996, 12: 530~545.
- [28] 邓万明. 青藏高原北部新生代板内火山岩[M]. 北京: 地质出版社, 1998.179.
- [29] 张以弗, 郑祥身. 青海可可西里地区地质演化[M]. 北京: 科学出版社, 1999.202.
- [30] Pitcher W S. Granite type and tectonic environment[A]. In: Hsu K ed. Mountain Building Processes[C]. Academic Press, London, 1983.19~40.
- [31] 张旗, 赵太平, 王焰, 等. 中国东部燕山期岩浆活动的几个问题[J]. 岩石矿物学杂志, 2001, 20: 273~280.
- [32] 熊小林, 赵振华, 白正华, 等. 西天山阿吾拉勒adakite型钠质中酸性岩及地壳垂向增生[J]. 科学通报, 2001, 46: 281~287.
- [33] 熊小林, 赵振华, 白正华, 等. 西天山阿吾拉勒埃达克质岩石成因 Nd和Sr同位素组成的限制[J]. 岩石学报, 2001, 17: 514~522.
- [34] 李伍平, 王涛, 王晓霞. 北秦岭灰池子花岗岩复式岩体的源岩讨论——元素-同位素地球化学制约[J]. 地球科学, 2001, 26: 269~278.
- [35] 张成立, 罗静兰. 东秦岭西坝花岗岩体及花岗斑岩脉的地球化学特征及其地质意义[A]. 见 埃达克质岩及其地球动力学意义学术研讨会论文集摘要[C]. 中国: 北京, 2001, 73~76.
- [36] 张旗, 王焰, 王元龙. 燕山期中国东部高原下地壳组成初探 埃达克质岩Sr、Nd同位素制约[J]. 岩石学报, 2001, 17: 505~513.
- [37] Rapp R P, Watson E B and Miller C F. Partial melting of amphibolite/ eclogite and the origin of Archean trondhjemites and tonalites[J]. Precambrian Research, 1991, 51: 1~25.
- [38] Rapp R P, Watson E B. Dehydration melting of metabasalt at 8–32 kbar: implications for continental growth and crust–mantle recycling[J]. J. Petrol., 1995, 36: 891~931.
- [39] Rapp R P, Shimizu N, Norman M D, et al. Reaction between slab–derived melts and peridotite in the mantle wedge: experimental constraints at 3.8 GPa[J]. Chem. Geol., 1999, 160: 335~356.
- [40] Sen C, Dunn T. Dehydration melting of a basaltic composition amphibolite at 1.5 and 2.0 GPa: implications for the origin of adakite[J]. Contrib. Mineral. Petrol., 1994, 117: 394~409.
- [41] Kay S M, Mpodozis C. Central Andean ore deposits linker to evolving shallow subduction systems and thickening crust[J]. GSA Today, 2001.4~9.
- [42] Thieblemont D, Stein G, Lescuyer J–L. Gisements epithermaux et porphyriques: la connexion adakite[J]. Earth Planet. Sci., 1997, 325: 103~109.
- [43] 王强, 赵振华, 许继峰, 等. 扬子地块东部埃达克质(adakite-like)岩浆及其动力学与成矿意义[A]. 见 埃达克质岩及其地球动力学意义学术研讨会论文集摘要[C]. 中国: 北京, 2001, 41~44.
- [44] 王强, 赵振华, 熊小林, 等. 底侵玄武质下地壳的熔融: 来自沙溪埃达克质富钠石英闪长玢岩的证据[J]. 地球化学, 2001, 30: 353~362.

## Adakite: Its characteristics and implications

ZHANG Qi<sup>1</sup> WANG Yan<sup>2</sup> LIU Wei<sup>1</sup> WANG Yuanlong<sup>1</sup>

(1. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China;

2. Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069 Shaanxi, China)

**Abstract:** The similarity and difference between C-type adakitic rocks in eastern China and typical Adakite in the Pacific Ocean in respect to geochemistry and tectonic setting are discussed. Mesozoic intermediate-acid igneous rocks with adakitic signatures in eastern China are considered as the product of intracontinental magmatism. It is inferred that they originated by partial melting of basic rocks in the lower crust due to underplating of basaltic magma from the lithospheric mantle to the bottom of the thickened continental crust (>50 km) with cratonic affinity. The geodynamic implications of Adakite, especially C-type Adakite, are dealt with in the paper. Adakite can be considered as a new series of island-arc magmatism and its discovery marks a major breakthrough in the petrological study and initiates a new way for the study of granitoids rocks. Several possible tectonic settings for the formation of Adakite are also discussed. Adakite is a key to the study of crustal thickening and relevant events in geological history and the backward deduction of the composition of the lower crust. In addition, the relation of Adakite to mineralization is also discussed.

**Key words:** Adakite; geochemistry; lower crust; partial melting; geodynamic implication