2008年9月，第14卷，第3期，350-364页　　高　校　地　质　学　报
September 2008，Vol. 14，No.3，p. 350-364　　Geological Journal of China Universities

埃达克质岩的金属成矿作用

王　强，唐功建，贾小辉，资　锋，姜子琦，许继峰，赵振华

（中国科学院 广州地球化学研究所，同位素年代学与地球化学重点实验室，广州 510640）

摘要：介绍了“埃达克质岩”的术语、与成矿有关的埃达克质岩的分布、成矿背景，讨论了埃达克质岩有利于成矿的控制因素。“埃达克质岩”是指那些具有与俯冲洋壳熔融形成的“埃达克岩”类似地球化学特征，如$SiO_2 \geq 56\%$，$Al_2O_3 \geq 15\%$，亏损Y（$\leq 18 \times 10^{-6}$）和重稀土元素（如$Yb \leq 1.9 \times 10^{-6}$），高Sr（很少样品的Sr含量低于$400 \times 10^{-6}$），无-正Eu，Sr异常，贫高场强元素等，但可以形成于不同构造背景并可有不同成因的岩浆岩。埃达克质岩具有重要的金属成矿意义，其有利成矿背景主要包括岛弧、大陆板内伸展和大陆活动碰撞造山带环境。世界上许多（包括三个最大的）斑岩铜矿都与埃达克质斑岩密切共生，因此埃达克质岩的成矿潜力巨大。在岛弧和大陆板内伸展环境中，来自俯冲玄武质洋壳或洋壳沉积物或拆沉的大陆地壳产生的熔体或释放的超临界流体与地幔的相互作用，一方面可能导致熔体被地幔橄榄岩混染，另一方面可能导致高Fe_2O_3含量的熔体或超临界流体对地幔的交代作用，地幔氧逸度升高，地幔金属硫化物被氧化分解，有利于铜、金等的矿化。

关键词：埃达克质岩；铜金矿化；斑岩铜矿；地球动力学

中图分类号：P588; P595; P611　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1006-7493(2008)-03-0350-15

The Metalliferous Mineralization Associatied with Adakitic Rocks

WANG Qiang, TANG Gong-jian, JIA Xiao-hui, ZI Feng, JIANG Zi-qi, XU Ji-feng, ZHAO Zhen-hua

(*Key Laboratory of Isotope Geochronology and Geochemistry, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou* 510640, *China*)

Abstract: Adakitic rocks have important implications for the metalliferous mineralization. This paper introduces the nomenclature of “adakitic rocks”, the distribution and tectonic settings of the adakitic rocks associated with metalliferous mineralization. The factors that the adakitic rocks are favorable for the metalliferous mineralization are discussed in detail at last. Similar to a subducted oceanic crust-derived adakite, the “adakitic rocks” are characterized by the following geochemical characteristics: $SiO_2 \geq 56$ wt%, $Al_2O_3 \geq 15$ wt%, depleted Y ($\leq 18 \times 10^{-6}$) and heavy rare earth element contents ($Yb \leq 1.9 \times 10^{-6}$), high Sr (rarely $< 400 \times 10^{-6}$), negligibly positive Eu and Sr anomalies, and depleted high field strength element contents. They can be generated in different tectonic settings and by different mechanisms. The favorable tectonic settings for the metalliferous mineralization include arc, within-continent extension, and active collisional orogenic belt between different continents. Many large and giant are closely associated with adakitic rocks, indicating that they have a huge metalliferous potential. In the arc and within-continent extension settings, the interaction between subducted basaltic oceanic crust, or sediments, or delaminated continental crust-derived melts, or released super critical fluids with mantle causes contamination of melts by mantle peridotites on the one side, and metasomatism of mantle peridotites by the melts or fluids with high Fe_2O_3 on the other side. Thus, the raised oxygen fugacity in the mantle causes metal sulfides to be decomposed, which is favorable for the Cu-Au mineralization.

Key words: adakitic rocks; Cu-Au mineralization; porphyry copper deposits; geodynamics

---

收稿日期：2008-05-31；**修回日期**：2008-07-04

基金项目：国家重点基础研究发展规划项目（2007CB411308）；中国科学院创新项目（KZCX2-YW-128）；国家自然科学基金项目（40572042; 40673037）和广东省自然科学基金项目（7006313）联合资助

作者简介：王强，男，1971生，博士，研究员，从事岩浆岩岩石学与地球化学研究；E-mail: wqiang@gig.ac.cn

1 引言

埃达克岩（adakite）是Defant & Drummond（1990）在《Nature》上发文提出的一类由俯冲的年轻且热的洋壳在榴辉岩相条件下熔融形成的、具有特殊地球化学特征的中酸性火成岩。该概念的提出引起了广泛关注，也引起了一定争议，主要原因是埃达克岩与其它成因的岩石具有类似的球化学特征。目前提出的这类岩石的成因机制主要包括：（1）俯冲洋壳的熔融（Defant et al，2002；Li and Li，2003；Zhang et al，2006；李武平，2006；Zhou et al，2006a； Zhao et al，2007；Wang et al，2007a，2008a）；（2）含水玄武岩发生含石榴石的高压分离结晶（Macpherson et al，2006）；（3）地壳混染-（低压）分离结晶（AFC）（Castillo et al，1999；Castillo，2006）或分离结晶（RodrIguez et al，2007）；（4）熔融-混染-存储（storage）-均化（MASH）过程（Richards and Kerrich，2007）；（5）长英质和玄武质岩浆的混合（Wang et al，2003a；Guo et al，2007a；Qin et al，2007；Streck et al，2007）；（6）增厚下地壳的熔融（Atherton and Petford，1993；张旗等，2001；Liu et al，2003；Xiong et al，2003；Hou et al，2004；Chung et al，2003，2005；Wang et al，2005，2006a，2007b；Xue et al，2006；Xu et al，2007；Zhang et al，2006b，2007；Shi et al，2007；Jiang et al，2007，Lai et al，2007；Xiao et al，2007；Zhao et al，2008）；（7）拆沉下地壳的熔融（Xu et al，2002，2008；Gao et al，2004；Wang et al，2006b；Hou et al，2007；Liu et al，2008；Yang and Li，2008；Huang et al，2008）；（8）俯冲陆壳的熔融（Wang et al，2008b）；（9）富集地幔的低度熔融（Jiang et al，2006）或俯冲板片熔体交代的地幔的熔融（Martin et al，2005；Gao et al，2007；Li et al，2008），等等。尽管存在激烈的争论，但由于这种岩石可能与俯冲洋壳或陆壳的熔融、增厚或拆沉下地壳的熔融、玄武质岩浆的底侵、板片窗（slab window）以及地壳生长、MASH、AFC、岩浆混合等过程密切相关，因此具有重要的地球动力学意义。

近年来，具有与埃达克岩类似地球化学特征的岩石受到关注的另外一个重要原因就是，许多与铜-金-钼-铁等金属矿化与这类岩石密切共生，世界上一些最大的斑岩铜矿床（El Teniente，Chuquicamata，Río Blanco-Los Bronces等）、中国几个最大铜矿床（如驱龙、德兴、玉龙、土屋—延东等）的成矿斑岩都被认为与埃达克岩具有类似的地球化学特征。一些研究者甚至认为，这类岩石可以作为找矿标志，用于铜-金的勘探（Defant and Kepezhinskas，2001；张旗等，2004）。作者近年来开展了这类岩石的一些研究工作，本文将在总结近年来有关这类岩石的成矿作用研究工作的基础上，结合自己收获的资料，来探讨这类岩石影响金属成矿的可能因素。

2 “埃达克质岩”的术语

在讨论成矿作用之前，有必要简单回顾“埃达克岩”的术语。埃达克岩的命名是一个有争议的话题，引起争议的最重要原因是该类岩石的命名并不是按照传统的岩石命名方法，即以岩相学研究为基础的矿物组成来命名。正如Defant & Drummond（1990）所指出的那样，埃达克岩的岩相学特征是有些变化的，其矿物组成是斜长石+角闪石±黑云母±辉石±不透明矿物，具有这样矿物组合的岩石可以包括安山岩-英安岩-富钠流纹岩（ADR）及相应的侵入岩。Defant & Drummond（1990）在命名“埃达克岩”时强调了3个原则：（1）这类由俯冲洋壳熔融形成的岩石最先在阿拉斯加阿留申群岛的Adak岛被发现（Kay，1978），因此以其地名来命名，实质上包含了岩石成因的含义；（2）这类岩石是与俯冲的年轻（≤25 Ma）大洋岩石圈共生的火山岩或侵入岩，强调了其形成于岛弧的构造背景；（3）这类岩石具有如下的地球化学特征：$SiO_2 \geqslant 56\%$，$Al_2O_3 \geqslant 15\%$（很少低于15%），MgO通常<3%（很少>6%），低于正常岛弧ADR的Y（$\leqslant 18\times10^{-6}$）和重稀土元素（HREE，如$Yb \leqslant 1.9\times10^{-6}$），高于正常岛弧ADR的Sr（很少<$400\times10^{-6}$），无-正Eu，Sr异常，同正常岛弧ADR一样贫高场强元素（HFSE），具有低的初始$^{87}Sr/^{86}Sr$比值（<0.704）。

按照Defant和Drummond（1990）的定义，“埃达克岩”的原始含义应该包含了“岩石成

因”、“构造背景”与“地球化学特征”三个方面。如果严格按照上述定义，很少有岩石能够被称为“埃达克岩”，主要表现在：（1）岩石的元素-同位素地球化学特征、构造背景与“埃达克岩”完全类似，但成因存在争论，如菲律宾南部、墨西哥Baja地区的一些新生代中酸性岩浆岩，当它们被认为是俯冲洋壳熔融的时候，它们可以被称为“埃达克岩”（Sajona et al，1993，1996；Aguillon-Robles et al，2001），但是当它们被认为是由其它过程（如AFC过程，Castillo et al，1999；增厚地壳熔融，Castillo，2008）形成时，其名称则是有疑问的；（2）岩石的主、微量元素特征与“埃达克岩”类似，但俯冲板片的年龄、Sr同位素特征乃至可能的成因与“埃达克岩”的不一致，如著名的秘鲁Codillera Blanca杂岩具有与“埃达克岩”类似的主量、微量元素特征，但是与其共生的俯冲洋壳大于60 Ma且岩石的初始$^{87}Sr/^{86}Sr$比值>0.705，当有些研究者认为其为岛弧环境中新底侵的玄武质洋壳熔融形成时，其不能被称为“埃达克岩”而是被称为“富Na的熔体”（Atherton and Petford，1993；Petford and Atherton，1996），但当有研究者认为其可以由平坦（flat）俯冲的老洋壳熔融形成的时候，又可以被称为“埃达克岩”（Gutscher et al，2000）；（3）一些中酸性岩浆岩，既不与俯冲年轻洋壳共生（或形成于岛弧环境），且同位素地球化学特征以及某些主量元素（如K_2O）也与“埃达克岩”差别较远，仅仅一些重要的主、微量元素特征（如SiO_2，Al_2O_3，MgO，Y，HREE，Sr和HFSE含量和Eu，Sr异常）与“埃达克岩”类似，因此其定名争议则更大。但是，现实的情况是，第三类岩石在自然界中出露则更为广泛（张旗等，2001，2003；Castillo，2006）。近年来，许多研究者把不能严格符合“埃达克岩”的原始含义的岩石用一些新的名称来代替，如高Ba-Sr花岗岩类（Tarney and Jones，1994；Qian et al，2003）、埃达克质（adakitic；Stern et al，1996；Yunul et al，2000）或类埃达克（adakite-like；Harris et al，1996）岩、“C型埃达克岩”（张旗等，2001）或“地壳起源的（Crustally-derived）埃达克岩”（Sheppard et al，2001）、富Sr安山岩（Conrey et al，2001）以及高Sr/低Y型中酸性火成岩（Ge et al，2002）等等。这些名称表明，上述研究者已经充分注意到所描述的岩石与“埃达克岩”的原始含义的差别。

作者认为，作为一个岩石名称不应该以岩石的成因、构造背景为前提，而应该反映该岩石最基本的特征，这个特征不会随人们对岩石成因、构造背景的认识不同而改变（Wang et al，2007b）。经典的岩石名称都是以岩相学特征为基础的，但是仅仅依靠岩相学往往使一些具有特殊地球化学特征的岩石很难被识别出来。随着近30~40年来地球化学测试手段的突飞猛进，一些具有特殊地球化学特征的岩石相继被识别出来，如A型花岗岩（Loiselle and Wones，1979）、巴哈岩（bajaites；Rogers et al，1985）、高$Mg^{\#}$安山岩（Kelemen，1995）、高铝玄武岩（Hagerty et al，2005）、富Nb玄武岩（Sajona et al，1993）等，一些古老的岩石名称又重新被关注，如“玻安岩”（boninite；Cameron et al，1979）、赞岐岩（sanukite）或赞岐岩类sanukitoid（Shirey and Hanson，1984；Tatsumi and K，1981）等。上述岩石类型基本上需要地球化学资料才能确定其岩石名称，它们也与“埃达克岩”一样，都具有极其重要的地球动力学意义。

作者认为，“埃达克岩”的原始概念中最核心的特征，应该是这些地球化学特征：$SiO_2 \geqslant 56\%$，$Al_2O_3 \geqslant 15\%$，亏损Y（$\leqslant 18 \times 10^{-6}$）和HREE（如，$Yb \leqslant 1.9 \times 10^{-6}$），高的Sr（很少样品$< 400 \times 10^{-6}$），无正Eu，Sr异常，贫HFSE。因此，作者把具有上述地球化学特征的岩浆岩称为“埃达克质（adakitic）岩”，而不考虑这类岩石成因、构造背景以及其它的地球化学特征（如K_2O，MgO含量和同位素比值等）（Stern et al，1996，Yunul et al，2000；Hou et al，2004；Ishihara et al，2005；Wang et al，2005，2006a，b，c，2007a，b；RodrIguez et al，2007；Zhao and Zhou，2007；Xu et al，2008；Hou et al，2007；Huang et al，2008；Lai et al，2007；Yang and Li，2008）。也就是说，“埃达克质岩”的含义更广，包含了所有具有上述地球化学特征但可能形成不同构造背景并有不同成因的岩浆岩，甚至包括了经典的“埃达克岩”（Defant and Drummond，1990）。

3　与成矿有关的埃达克质岩的分布与成矿背景

Thiélemont等（1997）最先总结并报道了世界上的许多Cu-Au-Mo-Ag矿床与埃达克质岩密切共生。Sajona and Maury（1998）则报道了菲律宾绝大多数Cu-Au-Mo-Ag矿床都与埃达克质岩以及相关的岩石（如富Nb玄武岩）共生。此后的2001~2003年，包括中国学者在内许多研究者都发现了埃达克质岩与Cu-Au-Mo-Ag矿化密切共生的现象（Defant and Kepezhinskas，2001；Oyarzun et al，2001；Defant et al，2002；Mungall，2002；王强等，2001a，b，2003；张旗等，2001，2003；侯增谦等，2003；Bissig et al，2003；Morozumi，2003；Reich et al，2003，Gonzalez-Partida et al，2003；Wang et al，2003；Yumul et al，2003；Bissig et al，2003；Defant et al，2002；Gonzalez-Partida et al，2003；Morozumi，2003；Mungall，2002；Oyarzun et al，2001；Reich et al，2003；Wang et al，2003b；Yumul et al，2003）。特别是，自2003年以后，我国学者陆续报道了许多与Cu-Au-Mo-Ag-Fe矿化密切共生的埃达克质岩（参考文献转引自王强等，2007）。Cu-Au-Mo-Ag-Fe矿化与埃达克质岩的密切共生关系使得一些学者提出，埃达克质岩可以用于铜金勘探（Defant and Kepezhinskas，2001；张旗等，2004），就象在金伯利岩中找金刚石（Defant and Kepezhinskas，2001）。

3.1　与埃达克质岩有关的金属矿床的分布

与埃达克质岩有关的金属矿床在全球广泛分布，尤其以环太平洋地区分布最广（图1），且很多都是大型-超大型-最大型矿床（表1）。世界上最大的三个斑岩Cu（-Mo-Au）矿床——智利的El Teniente，Chuquicamata，Río Blanco-Los Bronces矿床的铜储量分别达到94×10^6，66×10^6和57×10^6吨，都位于环太平洋岛弧带，都与新生代俯冲洋壳熔融形成的埃达克质斑岩密切共生（Thiélemont et al，1997；Cooke et al，2005）。我国与埃达克质斑岩密切共生的Cu-Mo-Au-Fe矿床主要位于三大成矿域：环太平洋的中国东部、青藏高原及周边、中亚造山带（图2）。同世界上的一些超大—最大型矿床相比（表1），中国的斑岩铜矿床则小得多（表2），如中国最大的四个斑岩Cu（-Mo-Au）矿床——德兴、土屋-延东、驱龙与玉龙的铜储量分别为8.3×10^6，7.74×10^6，7.05×10^6和6.22

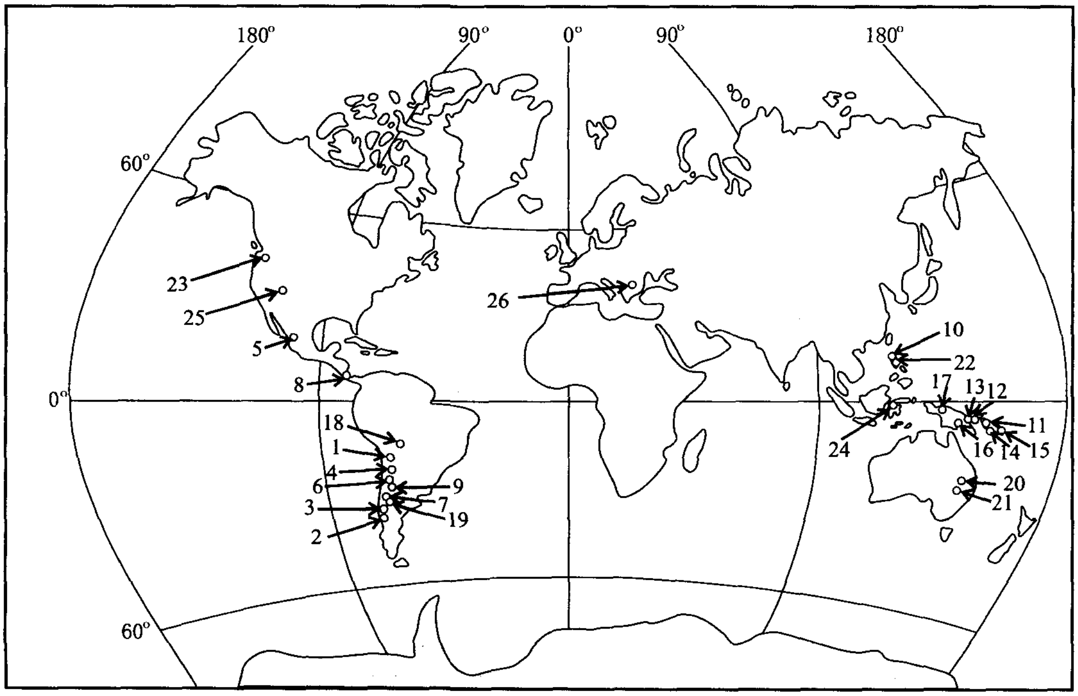


图1 世界上与埃达克质岩有关的Cu-Au-Mo-Fe矿床分布（详细名称及文献见表1）

Fig. 1 The distribution of Cu-Au-Mo-Fe deposits associated with adakitic rocks in the world

表 1 世界上与埃达克质岩有关的Cu-Au-Mo-Fe矿床

Table 1 Cu-Au-Mo-Fe deposits associated with adakitic rocks in the world

序号	矿床	地点	Cu (Mt)	Mo (Mt)	Au (t)	Ag (t)	时代 (Ma)	文献
2	El Teniente	智利中部	94.35	2.5	437		4.8	(1)(2)
1	Chuquicamata	智利北部	66.37	1.81	300.8		33.6	(1)(3)
3	Río Blanco-Los Bronces	智利中部	56.73	1.26	244.7		5.4	(1)(3)
4	La Escondida	智利北部	32.49	0.48	429.8		38	(1)(3)
5	Cananea	墨西哥	30	0.57	82.0		58	(1)(4)
6	El Salvador	智利北部	11.29	0.21	97.4		42	(1)(5)
7	Los Pelambres- El Pachón	智利中部	56.73	1.26	244.7		10	(1)(3)
8	Cerro Colorado	巴拿马	20.25		160.7		4.3	(1)(6)
9	Cerro Casale	智利	4.5		900		13.5	(1)
10	Dizon Mines	菲律宾	0.132				11~18	(7)
11	Panguna	巴布亚新几亚	21.15		306	784	4.2~1.6	(5)
12	Plesyumi	巴布亚新几亚					24	(5)
13	Kulu	巴布亚新几亚	4.3		4.4		22	(5)
14	Mount Kren	巴布亚新几亚					15~12	(5)
15	Koloula	所罗门	8.5				7	(5)
16	Frieda River	巴布亚新几亚					16~13	(5)
17	Yuat South	巴布亚新几亚					12.5~11.2	(5)
18	Kori Kollo	玻利维亚			150		中新世	(5)
19	Disputada	智利	48.6				6~7	(5)
20	Yeoval	澳大利亚	40				400	(5)
21	Goonumbla Complex	澳大利亚	50				奥陶纪	(5)
22	Mt. Pinatubo	菲律宾	0.5		100		全新世	(8)
23	Guichon Creek	加拿大					198	(5)
24	Bulagidum	苏门答腊					~8	(5)
25	Bingham	犹他州					40~39	(5)
26	Skouries	希腊					18	(5)

(1) Cooke et al, 2005; (2) Reich et al, 2003; (3) Oyarzun et al, 2001; (4) Pinto-Linares et al, 2008; (5) Thieblemont et al, 1997; (6) Mori et al, 2007; (7) Sajona et al, 1998; (8) Borisova et al, 2006.

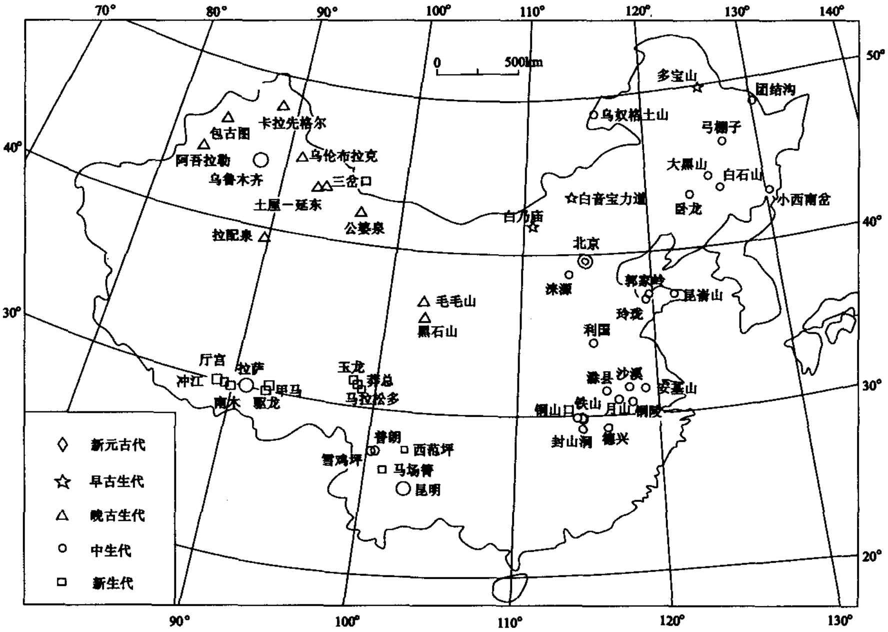


图 2 国内与埃达克质岩有关的Cu-Au-Mo-Fe矿床的分布（详细资料及文献见表2，底图引自张旗等，2003）

Fig. 2 The distribution of Cu-Au-Mo-Fe deposits associated with adakitic rocks in China (After Zhang et al, 2003)

$\times 10^6$吨，但都与埃达克质斑岩密切共生（如，Hou et al，2004；Jiang et al，2006；Wang et al，2003，2006；Zhang et al，2006）。近年来，在我国新疆新发现的土屋-延东，藏南的甲马、厅宫、冲江等，以及云南的普郎铜矿等都与埃达克质岩密切共生。尽管这些与金属矿化密切相关的埃达克质岩的成因还存在激烈的争论（Richards and Kerrich，2007），但是Cu-Mo-Au-Fe矿化与埃达克质岩共生的现象、埃达克质岩成矿潜力值得关注。

3.2 成矿背景

3.2.1 岛弧背景埃达克质岩的成矿

几乎所有环太平洋地区新生代的斑岩Cu（-Mo-Au）矿床都产出在岛弧环境，且那些与埃达克质岩共生金属矿床的形成主要可能与俯冲板片的熔融有关。但是，对于板片发生熔融的动力学模式则有明显的差别，概括起来，主要有：（1）洋脊俯冲与板片窗；（2）海山链、大洋高原的平坦俯冲；（3）年轻洋壳的俯冲等。我国新疆地区的许多晚古生代与Cu（-Mo-Au）矿床密切共生的埃达克质岩也主要产出在岛弧环境（Zhang et al，2006；Han et al，2006；王强等，2006；Wang et al，2007）。

3.2.2 大陆板内伸展背景

国际上报道的产于陆内伸展背景中且与埃达克质岩密切共生的Cu-Mo-Au矿床并不是很多（Ishihara et al，2005；Pinto-Linareset al，2008）。近年来开展埃达克质岩与金属矿化关系研究的一个典型地区是扬子地块东部。该区存在大量燕山期埃达克质岩与Cu-Mo-Au-Fe矿床密切共生。尽管该区燕山期的构造背景存在争议（Xu et al，1999；Li，2000；Zhou and Li，2000；Zhou et al，2006；Sun et al，2007；Li and Li，2007），但根据区内出现燕山期变质核杂岩、A型或伸展型岩浆岩以及断陷盆地的出现，作者趋向认为扬子地块东部燕山期可能处于一个板内伸展的背景中（Li，2000），并且区内断裂带在这些岩浆岩的形成中可能发挥了重要作用（周新民等，2006）。这样，认为扬子地块东部燕山期埃达克质岩及共生的Cu-Mo-Au-Fe矿床可能形成于板内伸展的背景中。

3.2.3 大陆活动碰撞造山带

青藏高原是世界上最大、最高的高原，也是陆-陆碰撞形成的最典型的碰撞造山带。印度-欧亚大陆的碰撞自~70~40 Ma开始，大量的GPS资料显示两大陆间的汇聚现今仍旧在进行，也表明青藏高原为一典型的活动造山带。在该活动造山带中主要发育了两期埃达克质岩：始新世（46~36 Ma；Jiang et al，2006；Liu et al，2003；Wang et al，2008）和渐新世—中新世（26~9 Ma；Chung et al，2003；Hou et al，2004；Qu et al，2004；Gao et al，2007；Guo et al，2007b；Mo et al，2007；Lai et al，2007）。与这些岩石对应，青藏高原Cu-Mo-Au矿床形成时代也主要在这两个时期（Hou et al，2006；侯增谦等，2005），并且大多数与埃达克质岩共生。

4 讨论

埃达克质岩与金属成矿关系密切，但也并不是所有的埃达克质岩都与金属矿化密切共生（Wang et al，2007c）。许多研究者从不同的角度讨论了埃达克质岩有利于成矿的可能控制因素。张旗等（2004）认为制约埃达克（质）岩成矿的关键因素在于：在角闪岩相向榴辉岩相转变过程中发生脱水产生埃达克质岩浆，同时萃取地幔中的成矿元素进入岩浆。刘红涛等（2004）认为埃达克（质）岩成矿的有利因素在于埃达克质岩浆的富流体、高氧逸度和基性源岩等特征。侯增谦等（2005）认为藏南冈底斯中新世由于来自深部亏损地幔物质与下地壳物质交换作用，不仅导致冈底斯地壳加厚、下地壳熔融形成埃达克质斑岩，而且提供了巨量金属供应。但有学者则认为冈底斯斑岩铜矿与雅鲁藏布俯冲板片及其上的少量洋壳沉积物混合物质部分熔融有关（Qu et al，2004）或与板片熔体交代的上地幔熔融有关（Gao et al，2007）。Zhang et al（2006）和Han et al（2006）则强调了俯冲板片熔融对成矿的贡献。

前面总结成矿的埃达克质岩的构造背景发现，这种岩石可以形成三种构造背景中：岛弧、大陆板内伸展和大陆活动造山带。这表明埃达克质岩的成矿并不完全受构造背景制约，而更可能与岩石的特殊性有关。另外，作为亲硫元素，

表2 国内与埃达克质岩有关的Cu-Au-Mo-Fe矿床

Table 2 Cu-Au-Mo-Fe deposits associated with adakitic rocks in China

序号	矿床	地点	Cu (Mt)	Mo (Mt)	Fe (Mt)	Au (t)	Ag (t)	时代 (Ma)	文献
1	土屋 - 延东	东天山	7.74			0.187		343~323	(1)(2)
2	包古图	西准	0.6			200		310	(3)
3	三岔口	东天山	0.7					278	(4)
4	阿吾拉勒	西天山	1.75					247~268	(5)
5	卡拉先格尔	富蕴南	1.67					381	(6)
6	冲江	西藏尼木	0.67	0.018		20.09	397.1	12.9	(7)(8)
7	厅宫	西藏尼木	0.3					13.5	(9)(10)
8	南木	西藏曲水						14.67	(7)(10)
9	拉抗俄	西藏达孜						13.5~13.6	(7)(10)
10	甲马	西藏墨竹工卡						15.18	(7)(11)
11	驱龙	西藏墨竹工卡	7.05	0.455			5340	15.82~16.85	(7)(12~13)
12	马拉松多	西藏察雅	1					36~35.4	(7)(14)
13	扎位尕	西藏察雅	0.3					34~40	(7)(14)
14	莽总	西藏察雅	0.25					34~41	(7)(14)
15	多霞松多	西藏察雅	0.5					41~52	(7)(14)
16	玉龙	西藏察雅	6.22						(7)(14)
17	普朗	云南香格里拉	1.14	0.01		0.03		228	(15)
18	雪鸡坪	云南香格里拉	0.19			3		249.92	(16~17)
19	西范坪	云南香格里拉	0.18					32.1	(17)
20	马场箐	云南武定	0.25					35.8	(17)
21	德兴	赣东北	8.3	0.23		138	773	171	(18)
22	大冶铁山	鄂东南	0.70		160			134	(19)
23	封山洞	鄂东南						130	(19)
24	铜山口	鄂东南	0.42					147	(19)
25	滁州	安徽	0.17			8.1		127	(20)
26	安基山	江苏	0.165					123~106	(21)
27	月山	安徽						136	(19)(22)
28	沙溪	安徽	0.32					136	(23)
29	总铺	安徽						132	(19)
30	利国	江苏						131	(23)
31	多宝山	东北	2.97	0.11				485	(24)
32	团结沟	东北				52.7		105	(24)
33	弓棚子	东北	0.20					中生代	(24)
34	大黑山	东北		1.09	65			170	(24)(26)
35	小西南岔	东北	0.11			31		134~130	(24)
36	白乃庙	东北	0.51	0.8		19.2	181.7	440~386	(24)
37	涞源	华北	0.09			27.5	1224	142	(24)
38	玲珑	胶东				24.2		119	(24~25)

(1) Zhang et al, 2006; (2) Rui et al, 2002; (3) 宋会侠等, 2007; (4) 李华芹等, 2004; (5) Zhao et al, 2008; (6) 万博等, 2006; (7) 侯增谦等, 2003a; (8) 林武等, 2004; (9) 李金祥等, 2007; (10) 侯增谦等, 2003b; (11) 李光明等, 2005; (12) 孟祥金等, 2003; (13) 王亮亮和莫宣学, 2006; (14) Hou et al, 2003; (15) 冷成彪等, 2007; (16) 曾普胜等, 2003; (17) 曾普胜等, 2006; (18) Wang et al, 2006b; (19) Wang et al, 2007c; (20) 资锋等, 2007; (21) Xu et al, 2002; (22) Sun et al, 2003; (23) Wang et al, 2006c; (24) Xu et al, 2004; (25) 张旗等, 2003; (26) 李俊建等, 2005; (27) Ge et al, 2007。

铜、金等主要以金属硫化物的形式存在于地幔中（Mungall，2002），这些幔源的金属物质如何从地幔上升到地壳中并成矿，也是我们必须考虑的重要方面。一般认为，金属硫化物只有在高氧逸度的情况下才能发生分解进入到流体或岩浆中，然后到达地表成矿（Mungall，2002）。作者以天山北部石炭纪岛弧埃达克岩、扬子地块东部燕山期埃达克质岩和藏南冈底斯中新世埃达克质岩分

别代表形成于上述三种背景中的岩石，来初步探讨埃达克质岩为什么有利金属成矿的原因。

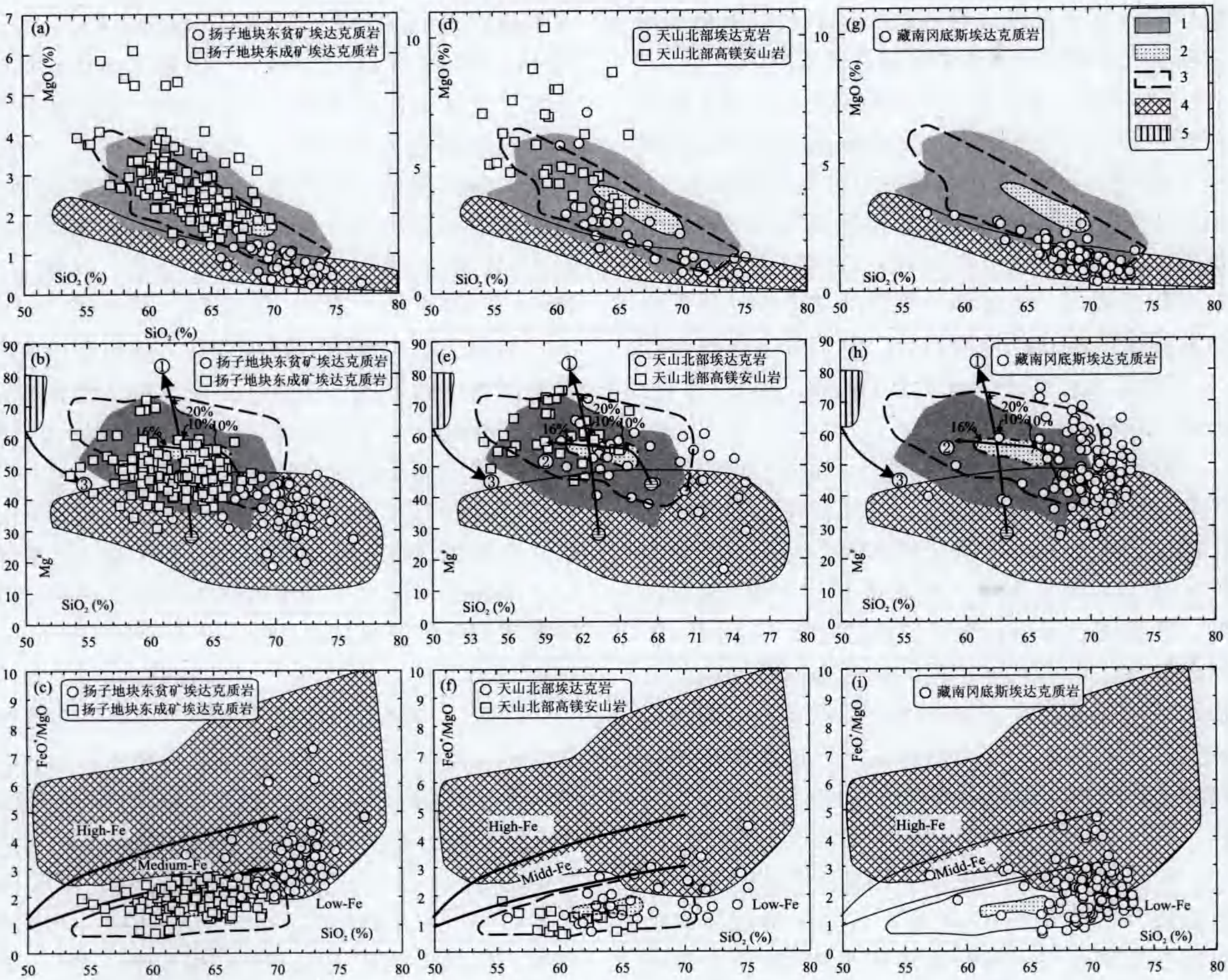
图3显示，来自天山北部石炭纪岛弧成矿埃达克岩、扬子地块东部燕山期成矿埃达克质岩都显示了高MgO，Mg$^{\#}$和低FeO*/MgO比值（图3a–f），但扬子地块东部燕山期贫矿埃达克质岩却显示了低的MgO，Mg$^{\#}$和高的FeO*/MgO比值（图3d–f）。这些特征表明，上述两个地区的成矿埃达克质岩可能包含有较多的地幔组分，它们的成因很可能与“熔体-地幔作用”有关（王强等，2006；Wang et al，2006a，b，2007c）。

在岛弧背景中，俯冲洋壳（或沉积物）熔融产生的熔体与地幔楔橄榄岩之间存在强烈的相互作用。以天山北部石炭纪的岛弧为例，一些重要的矿床如喇嘛苏铜矿、阿希金矿、土屋-延东铜矿、赤湖铜矿等与石炭纪的埃达克质（adakitic）岩及其共生岩石共生，我们认为向南俯冲的北天山洋的年轻洋壳在榴辉岩相的条件下发生熔融形成埃达克质熔体，这类熔体在上升过程中与地幔楔橄榄岩的相互作用形成埃达克岩-高镁安山（闪长）岩（如赞岐岩类）-富Nb玄武质岩组合，同时，由于俯冲板片产生的埃达克质岩浆具有高的氧逸度（即高的Fe_2O_3含量），其与地幔楔橄榄岩的强烈相互作用将导致储存于地幔中的金属硫化物发生氧化分解，释放出亲铜元素（如铜、金等）进入到岩浆中（图4a）。这是天山北部铜金矿床（如喇嘛苏、阿希、土屋—延东、赤湖，等等）与一些埃达克岩、高镁安山（闪长）岩或富Nb岛弧玄武质岩密切共生的一个重要原因（王强等，2006）。近期的大量研究也表明，俯冲板片在高温高压下熔融形成熔体或释放的超临界流体含有丰富的板片组分（如大离子亲石元素、轻稀土元素、Th，U）以及Fe_2O_3（Mungall，2002；Kepezhinskas et al，2002；Widom et al，2003；Borisova et al，2006；Portnyagin et al，2007）。这使得产生的岩浆或流体具有比地幔楔橄榄岩明显高的氧逸度,这些岩浆或流体对地幔楔橄榄岩的交代作用将明显提高地幔的氧逸度（图4b）（Mungall，2002；Bryant et al，2007）。

在板内伸展背景中，拆沉榴辉岩质下地壳或残留洋壳熔融产生的熔体与地幔楔橄榄岩之间也存在强烈的相互作用（Xu et al，2002；Gao et al，2004；Wang et al，2006）。以扬子地块东部的长江中下游地区以及德兴地区为例，该区被誉为“我国东部的工业走廊”，其在燕山期为一典型的陆内伸展背景。扬子地区一些铜金成矿作用与燕山期埃达克质岩密切共生（如铁山、铜碌山、铜山口、封山洞、沙溪、月山、总铺、铜官山、狮子山、冬瓜山、铜厂、富家坞、朱砂红、安基山、滁州、冶山等），这些岩石由拆沉下地壳或残留洋壳熔融形成。作者认为由拆沉下地壳或残留洋壳熔融产生具有高的氧逸度（即高的Fe_2O_3含量）的埃达克质岩浆与地幔楔橄榄岩的相互作用也将导致储存于地幔中的金属硫化物发生氧化分解，释放的亲铜元素（如铜、金等）进入到岩浆中（图4a）。这也是扬子地块东部许多燕山期埃达克质岩有利于铜金成矿的一个重要原因（Wang et al，2007c）。

因此，“熔体—地幔作用”具有非常重要的动力学与成矿意义，在熔体—地幔相互作用过程中：（1）熔体的多来源，可以来自玄武质洋壳或洋壳沉积物，也可以来自拆沉的大陆地壳，其成分是复杂的；（2）与“熔体—地幔作用”相联系的动力学过程是复杂的，包括洋壳俯冲、下地壳拆沉、地幔上涌或地幔交代或熔融等；（3）熔体被地幔橄榄岩混染，MgO增高，但高Fe_2O_3含量的熔体对地幔交代作用在地幔中形成角闪石—钛铁矿或角闪石—富Fe辉石，熔体的FeO/MgO可能降低，但地幔氧逸度升高，这将导致地幔金属硫化物分解，有利于铜金矿化。

然而，对位于大陆活动造山带中的冈底斯成矿埃达克质斑岩，情况可能比较复杂。在图3中，它们总体显示了较低MgO含量，但部分样品显示的高Mg$^{\#}$和FeO*/MgO值，其成因可能与增厚下地壳熔融（Chung et al，2003；Guo et al，2007b）、幔源与下地壳源物质的交换（Hou et al，2004；侯增谦等，2005）、俯冲板片及其上的少量洋壳沉积物混合物质部分熔融（Qu et al，2004）或与板片熔体交代的上地幔熔融（Gao et al，2007）有关。很显然，冈底斯成矿埃达克质斑岩的成因仍旧存在激烈的争论，这个争论也制约着对该区成矿作用的进一步深入探讨。



图中一些典型埃达克质岩、实验熔体的成分范围转引自Wang et al (2006b, 2007c)：1-拆沉下地壳产生的埃达克质岩，2-受橄榄岩混染的变玄武岩和榴辉岩的实验熔体，3-俯冲洋壳熔融形成的埃达克岩，4-变玄武岩和榴辉岩的实验熔体(1~4.0 GPa)，5-地幔熔体；① 地幔AFC曲线，② 地幔AFC曲线，③ 地壳AFC曲线；扬子地块东部燕山期埃达克质岩的样品引自Wang et al (2006b, c; 2007b, c)；天山北部地区石炭纪埃达克质岩、高镁安山岩的样品主要引自王强等 (2006)，Wang et al (2007a)，Zhang et al (2006a)及所引参考文献；藏南冈底斯渐新世-中新世埃达克质岩的样品引自Chung et al (2003)，Hou et al (2004)，Qu et al (2004)，Gao et al (2007)和Guo et al (2007b)。

The composition fields of typical adakitic rocks and experimental melts are from Wang et al. (2006b, 2007c): 1-Delaminated lower crust-derived adakitic rocks; 2-metabasalt and eclogite melts contaminated by peridotites; 3-subducted oceanic crust-derived adakitic rocks; 4-metabasalt and eclogite melts (1-4.0 GPa); 5-mantle melts; ① mantle AFC curve; ② mangle AFC curve; ③ crustal AFC curve. The Yanshanian adakitic rock samples in the eastern Yangtze block are from Wang et al (2006b, c, 2007b, c); The Carboniferous adakitic rock and high-Mg andesite samples in the northern Tianshan area are from Wang et al (2006, 2007a), Zhang et al (2006a) and referensces therein; the Oligocene-Miocene adakitic rock samples in the Gangdese area (South Tibet) are from Chung et al (2003), Hou et al (2004), Qu et al (2004), Gao et al (2007) and Gou et al (2007b).

图3 扬子地块东部燕山期（a-c）、天山北部地区石炭纪（d-f）和藏南冈底斯渐新世-中新世（g-i）埃达克质岩的SiO_2-MgO，SiO_2-$Mg^\#$和SiO_2-FeO*/MgO图解

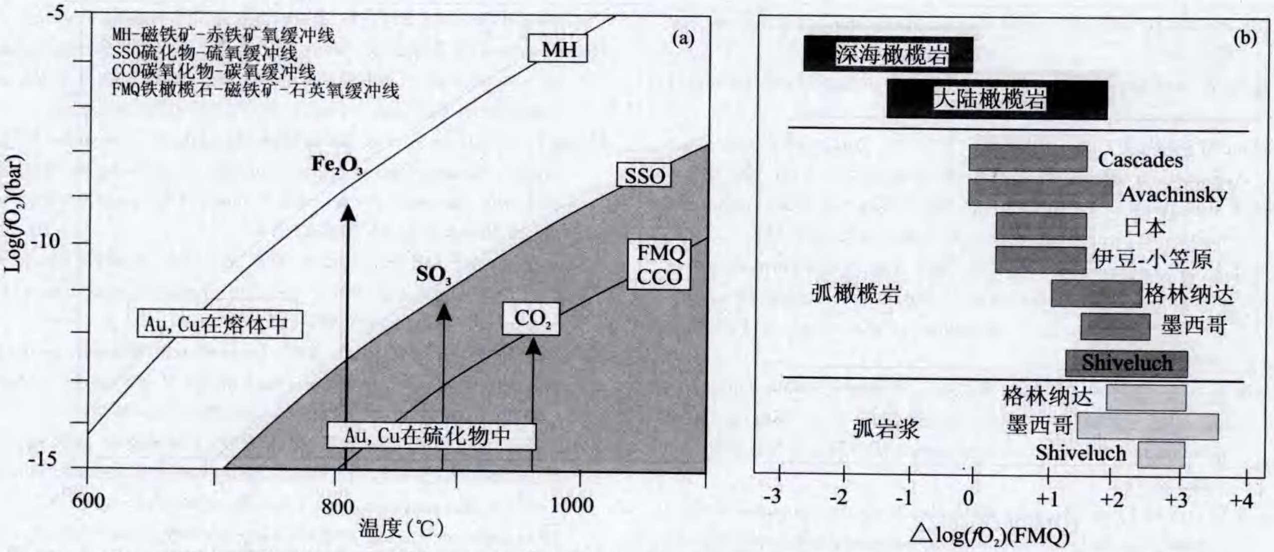
Fig. 3 SiO_2-MgO, SiO_2-$Mg^\#$ and SiO_2-FeO*/MgO diagrams for adakitic rocks of Yanshanian ages in the eastern Yangtze Block (a-c), Carboniferous ages in the northern Tianshan area (d-f) and Oligocene-Miocene ages in the Gangdese area (South Tibet) (g-i)

5 小结

1）“埃达克质岩”主要是指那些具有与俯冲洋壳熔融形成的“埃达克岩”类似主微量地球化学特征的岩浆岩。

2）埃达克质岩有利成矿的背景主要包括岛弧、大陆板内伸展和活动大陆碰撞造山带环境。埃达克质岩的成矿潜力巨大。

3）在岛弧和大陆板内伸展环境中，熔体或超临界流体与地幔的相互作用可能是导致埃达克质



图a中，只有Fe_2O_3的加入能够导致地幔的矿物组合高于SSO缓冲线。岩浆中硫化物的不饱和需要高度的部分熔融或岩浆产生在图中的非阴影部分。SSO-硫化物-硫氧缓冲线；CCO-碳氧化物-碳氧缓冲线；FMQ-铁橄榄石-磁铁矿-石英氧缓冲线；MH-磁铁矿-赤铁矿氧缓冲线

In Fig. a, only addition of Fe_2O_3 can bring mantle assemblages higher than SSO buffer. Undersaturation of magma in sulfide requires either very high degrees of partial melting or generation in unshaded portion of diagram. SSO-sulfide–sulfur oxide buffer, CCO-carbon dioxide–carbon oxide buffer, FMQ-fayalite–magnetite–quartz oxygen buffer; MH-magnetite–nematite oxygen buffer.

图4 log fO_2 -温度图解中的氧缓冲线 (Mungall, 2002) (a) 和橄榄岩、弧岩浆的氧逸度（Bryant et al, 2007）(b)

Fig. 4 Oxygen buffers in log fO_2 versus temperature space (a) and oxygen fugacity for peridotites and arc lavas (b)

岩有利于铜金等金属矿化的重要原因之一。

致谢：感谢主编王德滋院士、徐夕生教授的约稿，也衷心地感谢周新民教授、徐夕生教授一直对本文第一作者在从事研究工作中所给予的关心、帮助、鼓励和支持。感谢邱检生教授详细审阅全文并提出宝贵的建议。本文第一作者也多次与张旗研究员、孙卫东研究员、熊小林研究员、黄小龙研究员等探讨有关埃达克质岩的问题，获益匪浅。此外，本文研究者也从众多有关埃达克岩研究的文献中获取了许多新的信息和知识，但由于篇幅限制，不能列出所有的相关文献，也深表歉意。

References:

Aguillon-Robles A, Calmus T, Benoit M, et al. 2001. Late Miocene adakites and Nb-enriched basalts from Vizcaino Peninsula, Mexico: Indicators of East Pacific Rise subduction below Southern Baja California? [J]. Geology, 29 (6): 531–534.

Atherton M P and Petford N. 1993. Generation of sodium-rich magmas from newly underplated basaltic crust [J]. Nature, 362: 144–146.

Bissig T, Clark A H, Lee J K W, et al. 2003. Petrogenetic and metallogenetic responses to Miocene slab flattening: new constraints from the El Indio-Pascua Au–Ag–Cu belt, Chile/Argentina [J]. Mineralium Deposita, 38 (7): 844–862.

Borisova A Y, Pichavant M, Polve M, et al. 2006. Trace element geochemistry of the 1991 Mt. Pinatubo silicic melts, Philippines: Implications for ore-forming potential of adakitic magmatism [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 70 (14): 3702–3716.

Bryant J A, Yogodzinski G M and Churikova T G. 2007. Melt-mantle interactions beneath the Kamchatka arc: Evidence from ultramafic xenoliths from Shiveluch volcano [J]. Geochemistry Geophysics Geosystems, 8: Q04007, doi:10.1029/2006GC001443.

Cameron W E, Nisbet E G and Dietrich V J. 1979. Boninites, komatiites and ophiolitic basalts [J]. Nature, 280: 550–553.

Castillo P R, Janney P E and Solidum R U. 1999. Petrology and geochemistry of Camiguin Island, southern Philippines: insights to the source of adakites and other lavas in a complex arc setting [J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 134 (1): 33–51.

Castillo P R. 2006. An overview of adakite petrogenesis [J]. Chinese Science Bulletin, 51 (3): 258–268.

Castillo P R. 2008. Origin of the adakite-high-Nb basalt association and its implications for postsubduction magmatism in Baja California, Mexico [J]. Geol. Soc. Am. Bull., 120 (3–4): 451–462.

Chung S L, Chu M F, Zhang YQ, et al. 2005. Tibetan tectonic evolution inferred from spatial and temporal variations in post-collisional magmatism [J]. Earth–Science Reviews, 68 (3–4): 173–196.

Chung S L, Liu D Y, Ji J Q, et al. 2003. Adakites from continental collision zones: Melting of thickened lower crust beneath southern Tibet [J]. Geology, 31 (11): 1021–1024.

Conrey R M, Hooper P R, Larson P B, et al. 2001. Trace element and isotopic evidence for two types of crustal melting beneath a high Cascade volcanic center, Mt. Jefferson, Oregon [J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 141: 710–732.

Cooke D R, Hollings P and Walsh J L. 2005. Giant porphyry deposits: Characteristics, distribution, and tectonic controls [J]. Economic Geology, 100 (5): 801–818.

Defant M J and Drummond M S. 1990. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere [J]. Nature, 347: 662–665.

Defant M J and Kepezhinskas P. 2001. Evidence suggests slab melting in arc magmas [J]. EOS 82: 62–69.

Defant M J, Xu J F, Kepezhinskas P, et al. 2002. Adakites: some variations on a theme [J]. Acta Petrologica Sinica, 18 (2): 129–142.

Gao S, Rudnick R L, Yuan H L, et al. 2004. Recycling lower continental crust in the North China craton [J]. Nature, 432: 892–897.

Gao Y F, Hou Z Q, Kamber B S, et al. 2007. Adakite-like porphyries from the southern Tibetan continental collision zones: evidence for slab melt metasomatism [J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 153 (1): 105–120.

Ge W C, Wu F Y, Zhou C Y, et al. 2007. Porphyry Cu-Mo deposits in the eastern Xing'an–Mongolian Orogenic Belt: Mineralization ages and their geodynamic implications [J]. Chinese Sci. Bull., 52: 3416–3427).

Ge X Y, Li X H, Chen Z G, et al. 2002. Geochemistry and petrogenesis of Jurassic high Sr/low Y granitoids in eastern China: Constraints on crustal thickness [J]. Chinese Science Bulletin, 47 (11): 962–968.

Gonzalez–Partida E, Levresse G., Carrillo-Chavez A, et al. 2003. (Au-Fe) Skarn deposits of the Mezcala district, south–central Mexico: Adakite association of the mineralizing fluids [J]. International Geology Review, 45 (1): 79–93.

Guo F, Nakamuru E, Fan W M, et al. 2007a. Generation of Palaeocene adakitic andesites by magma mixing; Yanji Area, NE China [J]. Journal of Petrology, 48 (4): 661–692.

Guo Z F, Wilson M and Liu J Q. 2007b. Post-collisional adakites in south Tibet: Products of partial melting of subduction-modified lower crust [J]. Lithos, 96 (1–2): 205–224.

Gutscher M A, Maury R, Eissen J P, et al. 2000. Can slab melting be caused by flat subduction? [J]. Geology, 28 (6): 535–538.

Hagerty J J, Shearer C K and Papike J J. 2005. Petrogenesis of the Apollo 14 high-alumina basalts: Implications from ion microprobe analyses [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 69 (24): 5831–5845.

Han C M, Xiao W J, Zhao G, et al, 2006. Geological characteristics and genesis of the Tuwu porphyry copper deposit, Hami, Xinjiang, Central Asia [J]. Ore Geology Reviews, 29 (1): 77–94.

Harris N R, Sisson V B, Wright J E, et al. 1996. Evidence for Eocene mafic underplating during fore-arc intrusive activity, eastern Chugach Mountains, Alaska [J]. Geology, 24 (3): 263–266.

Hou M L, Jiang Y H, Jiang S Y, et al. 2007. Contrasting origins of late Mesozoic adakitic granitoids from the northwestern Jiaodong Peninsula, east China: implications for crustal thickening to delamination [J]. Geological Magazine, 144 (4): 619–631.

Hou Z Q, Gao Y F, Qu, X M, et al. 2004. Origin of adakitic intrusives generated during mid-Miocene east-west extension in southern Tibet [J]. Earth and Planetary Science Letters, 220 (1–2): 139–155.

Hou Z Q, Ma H W, Khin Z, et al. 2003. The Himalayan Yulong porphyry copper belt: product of large-scale strike-slip faulting in eastern Tibet [J]. Economic Geology, 98: 125–145.

Hou Zengqian, Meng Xiangjin, Qu Xxiaoming, et al. 2005. Copper ore potential of adakitic intrusives in Gangdese porphyry copper belt: Constraints from rock phase and deep melting process [J]. Mineral Deposits, 24 (2): 108–121. (in Chinese with English abstract).

Hou Zengqian, Mo Xuanxue, Gao Yongfeng, et al. 2003. Adakite, a possible host rock for porphyry copper deposits: Case studies of porphyry copper belts in Tibetan plateau and in northern Chile [J]. Mineral Deposits, 22 (1):1–12. (in Chinese with English abstract).

Hou Zengqian, Qu Xiaoming, Wang Shuxian, et al. 2003. Re–Os Dating for molybdenite from Gangdese metallogenic belt [J]. Science in China (Series D)–Earth Sciences, 33 (7): 609–618. (in Chinese).

Huang F, Li S, Dong F, et al. 2008. High-Mg adakitic rocks in the Dabie orogen, Central China: implications for foundering mechanism of lower continental crust [J]. Chemical Geology (in Press), doi:10.1016/j.chemgeo.2008.02.014.

Ishihara S, Jin M S and Terashima S. 2005. Mo-related adakitic granitoids from non–island–arc setting: Jecheon pluton of South Korea [J]. Resource Geology, 55 (4): 385–396.

Jiang N, Liu Y, Zhou W, et al. 2007. Derivation of Mesozoic adakitic magmas from ancient lower crust in the North China craton. Geochimica et Cosmochimica Acta, 71 (10): 2591–2608.

Jiang Y H, Jiang S Y, Ling H F, et al. 2006. 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, 241 (3–4): 617–633.

Kay R W. 1978. Aleutian magnesian andesites: Melts from subducted Pacific ocean crust [J]. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 4: 117–132.

Kelemen P B. 1995. Genesis of high Mg-member andesites and the continental-crust [J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 120 (120): 1–19.

Kepezhinskas P, Defant M J and Widom E. 2002. Abundance and distribution of PGE and Au in the island–arc mantle: implications for sub–arc metasomatism [J]. Lithos, 60 (3–4): 113–128.

Lai S C, Qin J F and Li Y F. 2007. Partial melting of thickened Tibetan crust: Geochemical evidence from Cenozoic adakitic volcanic rocks [J]. International Geology Review, 49 (4): 357–373.

Leng Chengbiao, Zhang Xingchun, Wang Shouxu, et al. 2007. Geochemical characteristics of porphyry copper deposits in the Zhongdian area,Yunnan as exemplified by the Xuejiping and Pulang porphyry copper deposits. Acta Mineralogica Sinica, 27 (3): 414–422. (in Chinese with English abstract)

Li Guangming, Rui Zhongyao, Wang Gaoming, et al. 2005. Molybdenite Re–Os dating of Jiama and Zhibula polymetallic copper deposits in Gangdese metallogenic belt of Tibet and its significance [J]. Mineral Deposits, 24 (5): 481–489. (in Chinses with English abstract).

Li Huaqin, Chen Fuwen, Lu Yuanfa, et al. 2004. Zircon SHRIMP U–Pb age and strontium isotopes of mineralized granitoids in the Sanchakou copper polymetalic deposit, east Tianshan mountains [J]. Acta Geoscientica Sinica, 25 (2): 191–195. (in Chinese with English abstract).

Li J W, Zhao X F, Zhou M F, et al. 2008. Origin of the Tongshankou porphyry-skarn Cu-Mo deposit, eastern Yangtze craton, Eastern China: geochronological, geochemical, and Sr–Nd–Hf isotopic constraints [J]. Mineralium Deposita, 43 (3): 315–336.

Li Jiangjin, Qin Kezhang, Li Guangming, et al. 2007. K-Ar and ^{40}Ar/^{39}Ar age dating of Nimu porphyry copper orefield in Central Gangdese: Constraints on magmatic-hydrothermal evolution and metallogenetic tectonic setting [J]. Acta Petrologica Sinica, 23 (5): 953–966. (in Chinese with English abstract).

Li Junjian, Luo Zhenkuan, Liu, Xiaoyang, et al. 2005. Constraints to the evolution of Jiaobei terrane from SHRIMP U–Pb zircon data of post–metallogenic granite porphyry vein in Linglong gold deposit, Shandong Province, East China [J]. Earth Science Frontiers, 12 (2): 317-323. (in Chinese with English abstract).

Li W X and Li X H. 2003. Adakitic granites within the NE Jiangxi ophiolites, South China: geochemical and Nd isotopic evidence [J]. Precambrian Research, 122 (1-4): 29-44.

Li Wuping. 2006. Geochemical characteristics of the early Jurassic dacites of the Xinglonggou formation in Beipiao area, west Liaoning *province [J]. Acta Petrologica Sinica, 22 (6): 1608-1616. (in Chinese* with English abstract).

Li X H. 2000. Cretaceous magmatism and lithospheric extension in Southeast China [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 18 (3): 293-305.

Li Z X and Li X H. 2007. Formation of the 1300-km-wide *intracontinental orogen and postorogenic magmatic province in* Mesozoic South China: A flat-slab subduction model [J]. Geology, 35 (2): 179-182.

Lin Wu, Liang Huaying, Zhang Yuquan, et al. 2004. Petrochemistry and SHRIMP U-Pb zircon age of the Chongjiang ore-bearing porphyry in the Gangdese porphyry copper belt [J]. Geochimica, 33 (6): 585-592. (in Chinese with English abstract).

Liu Hongtao, Zhang Qi, Liu Jianming, et al. 2004. Adakite versus porphyry copper and epithermal gold deposits: a possible metallogenetic specialization of magmatism required in-deep assessment [J]. Acta Petrologica Sinica, 20 (2): 205-218. (in Chinese with English abstract).

Liu S, Hu R Z, Feng C X, et al. 2003. Cenozoic adakite-type volcanic rocks in Qiangtang, Tibet and its significance [J]. Acta Geologica Sinica(English Edition). 77 (2): 187-193.

Loiselle M C and Wones D R. 1979. Characteristics and origin of anorogenic granites [J]. Geological Society of America Abstracts with Programs 11, 468.

Macpherson C G, Dreher S T and Thirlwall M F. 2006. Adakites without slab melting: High pressure differentiation of island arc magma, Mindanao, the Philippines [J]. Earth and Planetary Science Letters, 243 (3-4): 581-593.

Martin H, Smithies R H, Rapp R, et al. 2005. An overview of adakite, tonalite-trondhjemite-granodiorite (TTG), and sanukitoid: relationships and some implications for crustal evolution [J]. Lithos, 79 (1-2): 1-24.

Meng Xiangjin, Hou Zengqian, Gao Yongfeng, et al. 2003. Re-Os dating for molybdenite from Qulong porphyry copper deposit in Gangdese metallogenic belt, Xizang and its metallogenic significance [J]. Geological Review, 49 (6): 660-666. (in Chinese with English abstract).

Mo X, Hou Z Q, Niu Y, et al. 2007. Mantle contributions to crustal thickening during continental collision: Evidence from Cenozoic igneous rocks in southern Tibet [J]. Lithos, 96 (1-2): 225-242.

Mori L, Gomez-Tuena A, Cai Y, et al. 2007. Effects of prolonged flat subduction on the Miocene magmatic record of the central Trans-Mexican Volcanic Belt [J]. Chemical Geology, 244 (3-4): 452-473.

Morozumi H. 2003. Geochemical characteristics of granitoids of the Erdenet porphyry copper deposit, Mongolia [J]. Resource Geology, 53 (4): 311-316.

Mungall J E. 2002. Roasting the mantle: Slab melting and the genesis of major Au and Au-rich Cu deposits [J]. Geology, 30 (10): 915-918.

Oyarzun R, Marquez A, Lillo J, et al. 2001. Giant versus small porphyry copper deposits of Cenozoic age in northern Chile: adakitic versus normal calc-alkaline magmatism [J]. Mineralium Deposita, 36 (8): 794-798.

Petford N and Atherton M P. 1996. Na-rich partial melts from newly underplated basaltic crust: the Cordillera Blanca Batholith, Peru [J]. Journal of Petrology, 37: 1491-1521.

Pinto-Linares P J, Levresse G, Tritlla J, et al. 2008. Transitional adakite-like to calc-alkaline magmas in a continental extensional setting at La Paz Au-Cu skarn deposits, Mesa Central, Mexico: metallogenic implications [J]. Revista Mexicana De Ciencias Geologicas, 25 (1): 39-58.

Portnyagin M, Hoernle K, Plechov P, et al. 2007. Constraints on mantle melting and composition and nature of slab components in volcanic arcs from volatiles (H_2O, S, Cl, F) and trace elements in melt inclusions from the Kamchatka Arc [J]. Earth and Planetary Science Letters, 255 (1-2): 53-69.

Qian Q, Chung S L, Lee T Y, et al. 2003. Mesozoic high-Ba-Sr granitoids from North China: geochemical characteristics and geological implications [J]. Terra Nova, 15 (4): 272-278.

Qin J F, Lai S C, Wang J, et al. 2007. High-Mg$^{\#}$ adakitic tonalite from the Xichahe area, South Qinling orogenic belt (Central China): Petrogenesis and geological implications [J]. International Geology Review, 49 (12): 1145-1158.

Qu X M, Hou Z Q and Li Y G. 2004. Melt components derived from a subducted slab in late orogenic ore-bearing porphyries in the Gangdese copper belt, southern Tibetan plateau [J]. Lithos, 74 (3-4): 131-148.

Reich M, Parada M A, Palacios C, et al. 2003. Adakite-like signature of Late Miocene intrusions at the Los Pelambres giant porphyry copper deposit in the Andes of central Chile: metallogenic implications [J]. Mineralium Deposita, 38 (7): 876-885.

Richards J P and Kerrich R. 2007. Special paper: adakite-like rocks: Their diverse origins and questionable role in metallogenesis [J]. Economic Geology, 102 (4): 537-576.

Rodrlguez C, Selles D, Dungan M, et al. 2007. Adakitic dacites formed by intracrustal crystal fractionation of water-rich parent magmas at Nevado de Longavi Volcano (36.2° S; Andean Southern Volcanic Zone, Central Chile) [J]. Journal of Petrology 48 (11): 2033-2061.

Rogers G, Saunders A D, Terrell D J, et al. 1985. Geochemistry of Holocene volcanic rocks associated with ridge subduction in Baja California, Mexico [J]. Nature, 315: 389-392.

Rui Z Y, Goldfarb R J, Qiu Y M, et al. 2002. Paleozoic-early Mesozoic gold deposits of the Xinjiang Autonomous Region, northwestern China [J]. Mineralium Deposita, 37 (3): 393-418.

Sajona F G, Maury R C, Bellon H, et al. 1993. Initiation of subduction and the generation of slab melts in western and eastern Mindanao, Philippines [J]. Geology, 21 (11): 1007-1010.

Sajona F G, Maury R C, Bellon H, et al. 1996. High field strength element enrichment of Pliocene-Pleistocene Island arc basalts, Zamboanga Peninsula, western Mindanao (Philippines) [J]. Journal of Petrology, 37 (3): 693-726.

Sajona F G and Maury R C. 1998. Association of adakites with gold and copper mineralization in the Philippines [J]. Comptes Rendus De L Academie Des Sciences Serie Ii Fascicule a-Sciences De La Terre Et Des Planetes, 326 (1): 27-34.

Sheppard S, Griffin T J, Tyler I M, et al. 2001. High-and Low-K granites and adakites at a Palaeoproterozoic plate boundary in northwestern Australia [J]. Journal of the Geological Society, London, 158:

547–560.

Shi Y R, Liu D Y, Zhang Q, et al. 2007. SHIRIMP zircon U–Pb dating of the Gangou granitoids, central Tianshan Mountains, northwest China and tectonic significances [J]. Chinese Science Bulletin, 52 (11): 1507–1516.

Shirey S B and Hanson G N. 1984. Mantle-derived Archean monzodiorites and trachyandesites [J]. Nature, 310: 222–224.

Song Huixia, Liu Yulin, Qu Wenjun, et al. 2007. Geological characters of Baogutu porphyry copper deposit in Xinjiang, NW China [J]. Acta Petrologica Sinica, 23: 1981–1988. (in Chinese with English abstract).

Stern C R and Kilian R. 1996. Role of the subducted slab, mantle wedge and continental crust in the generation of adakites from the Andean Austral volcanic zone [J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 123 (3): 263–281.

Streck M J, Leeman W P and Chesley J. 2007. High-magnesian andesite from Mount Shasta: A product of magma mixing and contamination, not a primitive mantle melt [J]. Geology, 35 (4): 351–354.

Sun W D, Ding X, Hu Y H, et al. 2007. The golden transformation of the Cretaceous plate subduction in the west Pacific [J]. Earth and Planetary Science Letters, 262 (3–4): 533–542.

Sun W D; Xie Z; Chen J F; et al. 2003. Re-Os dating of copper and molybdenum deposits along the middle and lower reaches of the Yangtze River, China [J]. Econ. Geol. 98:175–180.

Tarney J and Jones C E. 1994. Trace element geochemistry of orogenic igneous rocks and crustal growth models [J]. Journal of Geological Society, London, 151: 855– 868.

Tatsumi Y and Ishizaka K. 1981. Existence of andesitic primary magma: An example from southwest Japan [J]. Earth and Planetary Science Letters, 53: 124–130.

Thieblemont D, Stein G and Lescuyer J L. 1997. Epithermal and porphyry deposits: the adakite connection [J]. Comptes Rendus De L Academie Des Sciences Serie Ii Fascicule a-Sciences De La Terre Et Des Planetes, 325 (2): 103–109.

Wan Bo and Zhang Lianchang. 2006. Geochemistry of ore-bearing porphyries in the Kalaxianger copper belt on the southeastern margin of the Altay Mountains, Xingjiang [J]. Geology in China, 33 (3): 618–625. (in Chinese with English abstract).

Wang Liangliang and Mo Xuanxue. 2006. Geochronology and geochemistry of the ore-bearing porphyry in Qulong Cu (Mo) ore deposit, Tibet [J]. Acta Petrologica Sinica, 22 (4): 1001–1008. (in Chinese with English abstract).

Wang Q, Wyman D A, Xu J F, et al. 2006c. 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, 89 (3–4): 424–446.

Wang Q, Wyman D A, Xu J F, et al. 2007c. Partial melting of thickened or delaminated lower crust in the middle of eastern China: Implications for Cu–Au mineralization [J]. The Journal of Geology, 115: 149–161.

Wang Q, Wyman D A, Xu J F, et al. 2008a. Triassic Nb-enriched basalts, magnesian andesites, and adakites of the Qiangtang terrane (Central Tibet): evidence for metasomatism by slab-derived melts in the mantle wedge [J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 155 (4): 473–490.

Wang Q, Wyman D A, Xu J, et al. 2007b. 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, 71 (10): 2609–2636.

Wang Q, Wyman D A, Xu J, et al. 2008b. Eocene melting of subducting continental crust and early uplifting of central Tibet: Evidence from central-western Qiangtang high-K calc-alkaline andesites, dacites and rhyolites [J]. Earth and Planetary Science Letters, 272: 158–171.

Wang Q, Wyman D A, Zhao Z H, et al. 2007a. Petrogenesis of Carboniferous adakites and Nb-enriched arc basalts in the Alataw area, northern Tianshan Range (western China): Implications for Phanerozoic crustal growth in the Central Asia orogenic belt [J]. Chemical Geology, 236 (1–2): 42–64.

Wang Q, Xu J F, Jian P, et al. 2006b. 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 (1): 119–144.

Wang Q, Xu J F, Zhao Z H, et al. 2003a. Petrogenesis of the Mesozoic intrusive rocks in the Tongling area, Anhui Province, China and their constraint on geodynamic process [J]. Science in China Series (Series D), 46 (8): 801–815.

Wang Q, Zhao Z H, Xu J F, et al. 2003b. Petrogenesis and metallogenesis of the Yanshanian adakite-like rocks in the Eastern Yangtze Block [J]. Science in China (Series D) 46 (Suppl.): 164–176.

Wang Q, McDermott F, Xu J F, et al. 2005. Cenozoic K-rich adakitic volcanic rocks in the Hohxil area, northern Tibet: Lower-crustal melting in an intracontinental setting [J]. Geology, 33 (6): 465–468.

Wang Qiang, Xu Jifeng and Zhao Zhenhua. 2003. Intermediate-acid igneous rocks strongly depleted in heavy rare earth element (or adakitic rocks) and copper–gold metallogenesis [J]. Earth Science Frontiers, 2003, 10 (4): 561–572. (in Chinese with English abstract).

Wang Qiang, Xu Jifeng, Zhao Zhenhua, et al. 2007. Adakites or adakitic rocks and associated metal metallogenesis in China [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 26 (4): 336–349. (in Chinese with English abstract)

Wang Qiang, Xu Jifeng and Zhao Zhenhua. 2001. The summary and comment on research on a new kind of igneous rock—adakite [J]. Advance in Earth Science, 2001, 16 (2): 201–208. (in Chinese with English abstract).

Wang Qiang, Zhao Zhenhua, Xiong Xiaolin, et al. 2001. Crustal growth and the melting of mafic lower crust: evidence from the Shaxi adakitic sodic quartz diorite-porphyrites, in Anhui Province, China [J]. Geochimica, 2001, 30 (4): 352–362. (in Chinese with English abstract).

Wang Qiang, Zhao Zhenhua, Xu Jifeng, et al. 2006. Carboniferous adakite-high-Mg andesite-Nb-enriched basaltic rock suites in the Northern Tianshan area: Implications for Phanerozoic crustal growth in the Central Asia Orogenic Belt and Cu–Au mineralization. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22 (1): 11–30. (in Chinese with English abstract).

Wang X C, Liu Y S and Liu X M. 2006a. Mesozoic adakites in the Lingqiu Basin of the central North China Craton: Partial melting of underplated basaltic lower crust [J]. Geochemical Journal, 40 (5): 447–461..

Widom E, Kepezhinskas P and Defant M. 2003. The nature of metasomatism in the sub-arc mantle wedge: evidence from Re–Os isotopes in Kamchatka peridotite xenoliths [J]. Chemical Geology, 196(1–4): 283–306.

Xiao L and Clemens J D. 2007. Origin of potassic (C-type) adakite magmas: Experimental and field constraints [J]. Lithos, 95 (3–4): 399–414.

Xiong X L, Li X H, Xu J F, et al. 2003. Extremely high-Na adakite-like magmas derived from alkali-rich basaltic underplate: The Late Cretaceous Zhantang andesites in the Huichang Basin, SE China [J]. Geochemical Journal, 37 (2): 233–252.

Xu H J, Ma C Q and Ye K. 2007. Early cretaceous granitoids and their implications for the collapse of the Dabie orogen, eastern China: SHRIMP zircon U–Pb dating and geochemistry [J]. Chemical Geology, 240 (3–4): 238–259.

Xu J F, Shinjo R, Defant M J, et al. 2002. Origin of Mesozoic adakitic intrusive rocks in the Ningzhen area of east China: Partial melting of delaminated lower continental crust? [J]. Geology, 30 (12): 1111–1114.

Xu W L, Wang Q H, Liu X C, et al. 2004b. Chronology and sources of Mesozoic intrusive complex in Xu-Huai region, central China: Constraints from SHRIMP zircon U–Pb dating [J]. Acta Geologica Sinica, 78 (1): 96–106.

Xu W L, Gao S, Wang Q H, et al. 2006. Mesozoic crustal thickening of the eastern North China craton: Evidence from eclogite xenoliths and petrologic implications [J]. Geology, 34 (9): 721–724.

Xu X S, Dong C W, Li W X, et al. 1999. Late Mesozoic intrusive complexes in the coastal area of Fujian, SE China: the significance of the gabbro–diorite-granite association [J]. Lithos., 46 (2): 299–315.

Xue H M, Dong S W and Jian P. 2006. Mineral chemistry, geochemistry and U–Pb SHRIMP zircon data of the Yangxin monzonitic intrusive in the foreland of the Dabie orogen [J]. Science in China Series D-Earth Sciences, 49 (7): 684–695.

Yang W and Li S. 2008. Geochronology and geochemistry of the Mesozoic volcanic rocks in Western Liaoning: Implications for lithospheric thinning of the North China Craton [J]. Lithos, 102 (1–2): 88–117.

Yumul G P, Dimalanta C B, Bellon H, et al. 2000. Adakitic lavas in the Central Luzon back-arc region, Philippines: lower crust partial melting products? [J] Island Arc, 9 (4): 499–512.

Yumul G P, Dimalanta C B, Maglambayan V B, et al. 2003. Mineralization controls in island arc settings: Insights from Philippine metallic deposits [J]. Gondwana Research, 6 (4): 767–776.

Zeng Pusheng, Hou Zengqian, Gao Yongfeng, et al. 2006. The Himalayan Cu–Mo–Au mineralization in the eastern Indo–Asian collision zone: Constraints from Re–Os dating of molybdenite [J]. Geological Review, 52 (1): 72–84. (in Chinese with English abstract).

Zeng Pusheng, Mo Xuanxue and Yu Xuehui. 2003. Porphyries and porphyry copper deposits in Zhongdian area, northwestern Yunnan [J]. Mineral Deposits, 20 (4): 393–400. (in Chinese with English abstract).

Zhang H F, Xiao L, Zhang L, 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 Series D–Earth Sciences, 50 (7): 972–983.

Zhang H F, Zhang L, Harris N, et al. 2006b. U–Pb zircon ages, geochemical and isotopic compositions of granitoids in Songpan–Ganzi fold belt, eastern Tibetan Plateau: constraints on petrogenesis and tectonic evolution of the basement [J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 152 (1): 75–88.

Zhang L C, Xiao W J, Qin K Z, et al. 2006a. The adakite connection of the Tuwu–Yandong copper porphyry belt, eastern Tianshan, NW China: trace element and Sr–Nd–Pb isotope geochemistry [J]. Mineralium Deposita, 41 (2): 188–200.

Zhang Qi, Qian Qin, Wang Erqi, et al. 2001. An east China plateau in Mid–Late Yanshanian period: Implication from adakites [J]. Chinese Journal of Geology, 36 (2): 248–255. (in Chinese with English abstract).

Zhang Qi, Qin Kezhang, Wang Yan, et al. 2004. Study on adakite broadened to challenge the Cu and Au exploration in China [J]. Acta Petrologica Sinica, 20 (2): 195–204. (in Chinese with English abstract).

Zhang Qi, Wang Yan, Liu Hongtao, et al. 2003. On the space–time distribution and geodynamic environments of adakites in China [J]. Earth Science Frontiers, 10 (4): 385–400. (in Chinese with English abstract).

Zhang Qi, Wang Yan, Qian Qin, et al. 2001. The characteristics and tectonic–metallogenic significances of the adakites in Yanshan period from eastern China [J]. Acta Petrologica Sinica, 17 (2): 236–244. (in Chinese with English abstract).

Zhao J H and Zhou M F. 2007. Neoproterozoic adakitic plutons and arc magmatism along the western margin of the Yangtze Block, South China [J]. Journal of Geology, 115: 675–689.

Zhao Z H, Xiong X L, Wang Q, et al. 2008. Underplating-related adakites in Xinjiang Tianshan, China [J]. Lithos, 102 (1–2): 374–391.

Zhou M F, Yan D P, Wang C L, et al. 2006a. Subduction-related origin of the 750 Ma Xuelongbao adakitic complex (Sichuan Province, China): Implications for the tectonic setting of the giant Neoproterozoic magmatic event in South China [J]. Earth and Planetary Science Letters, 248 (1–2): 286–300.

Zhou X M and Li W X. 2000. Origin of Late Mesozoic igneous rocks in Southeastern China: implications for lithosphere subduction and underplating of mafic magmas [J]. Tectonophysics, 326 (3–4): 269–287.

Zhou X M, Sun T, Shen W Z, et al. 2006b. Petrogenesis of Mesozoic granitoids and volcanic rocks in South China: A response to tectonic evolution [J]. Episodes, 29 (1): 26–33.

Zhou Xinmin, Sun Tao and Shen Weizhou. 2006. The Space-age Distribution and Petrogenesis Models of Mesozoic Granitoidsand Volcanic Rocks in South China // Chen J (ed.), The Progress in Geology and Geochemistry. Nanjing: Nanjing University, p. 25–40. (in Chinese).

Zi Feng, Wang Qiang, Dai Shengqian, et al. 2007. Geochronology and geochemistry of Chuzhou and Shangyaopu adakitic intrusive rocks in the eastern area of Anhui province: Implications for petrogenesis and mineralization [J]. Acta Petrologica Sinica, 23 (6): 1485–1500. (in Chinese with English abstract).

参考文献：

侯增谦, 莫宣学, 高永丰, 等. 2003. 埃达克岩: 斑岩铜矿的一种可能的重要含矿母岩——以西藏和智利斑岩铜矿为例[J]. 矿床地质, 22 (1): 1–12.

侯增谦, 曲晓明, 王淑贤, 等. 2003. 西藏高原冈底斯斑岩铜矿带辉钼矿Re-Os年龄: 成矿作用时限与动力学背景应用[J]. 中国科学(D), 33 (7): 609–618.

侯增谦, 孟祥金, 曲晓明, 等. 2005. 西藏冈底斯斑岩铜矿带埃达克质斑岩含矿性:源岩相变及深部过程约束[J]. 矿床地质, 24 (2): 108–121.

冷成彪, 张兴春, 王守旭, 等. 2007. 云南中甸地区两个斑岩铜矿容矿斑岩的地球化学特征——以雪鸡坪和普朗斑岩铜矿床为例[J]. 矿物学报, 27 (3): 414–422.

李华芹, 陈富文, 路远发, 等. 2004. 东天山三岔口铜矿区矿化岩体SHRIMP U–Pb年代学及锶同位素地球化学特征研究[J]. 地球学报, 25 (2): 191–195.

李光明, 芮宗瑶, 王高明, 等. 2005. 西藏冈底斯成矿带甲马和知不拉铜多金属矿床的Re-Os同位素年龄及其意义[J]. 矿床地质, 24 (5): 481–489.

李俊建, 罗镇宽, 刘晓阳, 等. 2005. 玲珑金矿区成矿后花岗斑岩脉的锆石SHRIMP U–Pb年龄对胶北地体演化的制约[J]. 地学前缘, 12 (2):317–323.

李金祥, 秦可章, 李光明, 等. 2007. 冈底斯中段尼木斑岩铜矿田的K–Ar、^{40}Ar/^{39}Ar年龄: 对岩浆—热液系统演化和成矿构造背景的制约[J]. 岩石学报, 23 (5): 953–966.

李伍平. 2006. 辽西北票早侏罗世兴隆沟组英安岩的地球化学特征[J]. 岩石学报, 22 (6): 1608–1616.

林武, 梁华英, 张玉泉, 等. 2004. 冈底斯铜矿带冲江含矿斑岩的岩石地球化学及SHRIMP年龄特征[J]. 地球化学, 33 (6): 585–592。

刘红涛, 张旗, 刘建明, 等. 2004. 埃达克岩与Cu, Au成矿作用:有待深入研究的岩浆成矿关系[J]. 岩石学报, 20 (2): 205–218.

孟祥金, 侯增谦, 高永丰, 等. 2003. 西藏冈底斯成矿带驱龙铜矿Re–Os年龄及成矿学意义[J]. 地质轮评, 49 (6): 660–666.

宋会侠, 刘玉琳, 屈文俊, 等. 2007. 新疆包古图斑岩铜矿矿床地质特征[J]. 岩石学报, 23 (8): 1981– 1988.

万博, 张连昌. 2006. 新疆阿尔泰东南缘卡拉先格尔铜矿带含矿斑岩地球化学及其成矿意义[J]. 中国地质, 33 (3): 618–625.

王强, 许继峰, 赵振华. 2003. 强烈亏损重稀土元素的中酸性火成岩（或埃达克质岩）与Cu, Au成矿作用[J]. 地学前缘, 10 (4): 561–572.

王强, 许继峰, 赵振华, 等. 2007. 中国埃达克岩或埃达克质岩及相关金属成矿作用[J]. 矿物岩石地球化学通报, 26 (4): 336–349.

王强, 许继锋, 赵振华. 2001. 一种新的火成岩——埃达克岩的研究综述[J]. 地球科学进展, 16 (2): 201–208.

王强, 赵振华, 熊小林, 等. 2001. 底侵玄武质下地壳的熔融: 来自安徽沙溪adakite质富钠石英闪长玢岩的证据[J]. 地球化学, 30 (4): 352–362.

王强, 赵振华, 许继峰, 等. 2006. 天山北部石炭纪埃达克岩–高镁安山岩–富Nb岛弧玄武质岩: 对中亚造山带显生宙地壳增生与铜金成矿的意义. 岩石学报, 22 (1): 11–30.

王亮亮, 莫宣学. 2006. 西藏驱龙斑岩铜矿含矿斑岩的年代学与地球化学[J]. 岩石学报, 22 (4): 1001–1008.

曾普胜, 侯增谦, 高永丰, 等. 2006. 印度–亚洲碰撞带东段喜马拉雅期铜–钼–金矿床Re-Os年龄及成矿作用. 地质论评, 52 (1): 72–84.

曾普胜, 莫宣学, 喻学惠. 2003. 滇西北中甸斑岩及斑岩铜矿[J]. 矿床地质, 20 (4): 393–400.

张旗, 钱青, 王二七, 等. 2001. 燕山中晚期的中国东部高原:埃达克岩的启示[J]. 地质科学, 36 (2): 248–255.

张旗, 王焰, 刘红涛, 等. 2003. 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]. 地学前缘, 10 (4): 385–400.

张旗, 秦克章, 王元龙, 等. 2004. 加强埃达克岩研究, 开创中国Cu, Au等找矿工作的新局面[J]. 岩石学报, 20 (2): 195–204.

张旗, 王焰, 钱青, 等. 2001. 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, 17 (2): 236–244.

周新民, 孙涛, 沈渭洲. 2006. 华南中生代花岗岩–火山岩的时空格局与成因模式[G] // 陈骏. 地质与地球化学进展—庆祝王德滋院士致力于地质科学六十周年暨八十华诞. 南京: 南京大学出版社, 25–40.

资锋, 王强, 戴圣潜, 等. 2007. 皖东滁州、上腰铺埃达克质侵入岩年代学及地球化学特征: 岩石成因与成矿意义[J]. 岩石学报, 23 (6): 1485–1500.