

文章编号:1009 - 3842(2004)02 - 0001 - 06

埃达克岩研究及斑岩铜矿找矿新方向*

同济大学 廖宗廷

摘 要 埃达克岩是一种成因方式特殊的钙碱性系列岩浆岩,其典型特征是: SiO_2 56%, Al_2O_3 15%, MgO 通常小于3%,贫 Y 和 Yb($\text{Y } 18 \times 10^{-6}$, $\text{Yb } 1.9 \times 10^{-6}$),高 Sr(多数大于 400×10^{-6}),LREE 富集,无 Eu 异常或仅有轻微的负 Eu 异常。其成因主要有两类:一类由俯冲板片的部分熔融成因(O型);另一类由玄武质岩浆底侵下地壳时发生部分熔融或下地壳拆沉作用成因(C型)。两类埃达克岩都与斑岩铜矿的成矿作用存在着密切的关系。世界上大多数超大型的斑岩铜矿与 O 型埃达克岩有关,而我国的斑岩铜矿则大多数与 C 型埃达克岩有关。埃达克岩可作为一种重要的找矿标志,将为斑岩铜矿的找矿提供新的方向。

关键词 埃达克岩 斑岩铜矿 找矿勘探 德兴铜矿

中图分类号:P624.4

文献标识码:A

埃达克岩最早由 Kay(1978)在美国阿留申群岛中的 Adak 岛发现^[1],由 Defant 等(1990)命名^[2]。当埃达克岩的概念被正式提出后,便受到全世界的广泛关注,特别是近几年来,人们对埃达克岩的重视程度,几乎达到了前所未有的高度。有关埃达克岩的研究不但在成因类型、形成方式、构造环境、地球动力学意义等方面取得重大进展^[3-8],而且许多研究者已开始讨论埃达克岩与成矿作用的相互关系^[9-11]。鉴此,本文在对埃达克岩研究进展作初步总结的基础上,综合前人的研究成果,试对中国斑岩铜矿的找矿勘探新方向作初步讨论。

1 埃达克岩研究

1.1 关于埃达克岩

Green 等(1968)提出,大洋玄武岩在岛弧俯冲带转变为榴辉岩后可以发生部分熔融,形成钙碱性安山岩^[12]。然而,Stem(1974)和 Gil(1981)的实验研究证明,绝大多数岛弧安山岩不可能由俯冲的大洋玄武岩部分熔融产生^[13-14]。今天各大洋周围俯冲洋壳的平均年龄为 60Ma^[15],已基本冷却。由于俯冲带的地热梯度较低,冷的洋壳在俯冲过程中不能直接熔融,而是发生变质而逐步脱水。富含大离子亲石元素的水热流体向上运移,交代地幔楔,并使之

发生部分熔融,形成岛弧拉斑玄武岩和钙碱性玄武岩。岛弧玄武岩经过分离结晶作用等,形成典型的岛弧玄武岩、安山岩、英安岩和流纹岩系列^[3;16-17]。Defant 等(1990)年重新提出,某些岛弧钙碱性安山岩和英安岩为俯冲板片部分熔融形成的^[2]。在某些地区,如果年轻的和热的洋壳发生俯冲,则沿俯冲带的地热梯度较高,洋壳可能发生脱水熔融,形成高铝的中—酸性岩石。由于这类岩石最早被 Defant(1978)发现于美国阿留申群岛的 Adak 岛^[1],因此被命名为 adakite(埃达克岩)。

按照 Defant(1990)的原始定义,埃达克岩具有如下典型特征:岩石类型为中酸性钙碱性岩石,缺失基性端员,岩石组合为岛弧安山岩、英安岩、流纹岩及相应的侵入岩;主要的矿物组合为:斜长石+角闪石±黑云母±辉石±不透明矿物; SiO_2 56%, Al_2O_3 15%, MgO 通常小于3%(很少大于6%);与正常的岛弧安山岩、英安岩、流纹岩相比,贫重稀土元素(HREE)和 Y($\text{Y } 18 \times 10^{-6}$, $\text{Yb } 1.9 \times 10^{-6}$),高 Sr(多数大于 400×10^{-6}),富轻稀土(LREE),无 Eu 异常或仅有轻微的负 Eu 异常^[2]。

1.2 埃达克岩的形成方式

新生代以来形成的埃达克岩主要分布于环太平洋周边,并主要与年轻地壳的俯冲有关,其源区深度为 70km - 90km^[2,18],岩石的 Nd、Sr、Pb 同位素地球

* 收稿日期:2004 - 05 - 16

* 基金资助:上海市科学技术委员会资助科研项目(03DZ05010)。

作者简介:廖宗廷(1962 -),男,贵州遵义人,教授(博士生导师),主要从事地质学教学与科研工作。

化学与大洋玄武岩相似^[1]。在俯冲带的变质玄武岩中还发现了具埃达克岩成分特征的混合岩化脉体^[19],均说明埃达克岩可能是由年轻的俯冲板片部分熔融形成。实验也证明角闪岩、榴辉岩的熔融可以产生具有埃达克岩成分特征的岩石^[20]。然而,近年来的研究成果表明,埃达克岩还可能有多种形成方式。至今认识到有关埃达克岩的形成方式有:

(1) 年轻的、热的板片俯冲时发生部分熔融:如 St. Helens、智利南部以及巴拿马的 La Yeguada 和 El Valle 的埃达克岩^[5]。

(2) 早期洋壳斜向俯冲后的部分熔融:如 Adak 岛和 Komankorsky 岛的埃达克岩^[21]。

(3) 已经消亡俯冲板片的部分熔融:如 Arid Hills、Jaraquay 的埃达克岩^[5]。

(4) 老洋壳在俯冲开始阶段发生的部分熔融:如菲律宾 Mindandao 的东部埃达克岩^[22]。

(5) 底侵玄武岩的部分熔融:如埃塞俄比亚西部的 Birbir 杂岩^[4]。

(6) 俯冲角度平缓的洋壳的部分熔融:如秘鲁和厄瓜多尔的埃达克岩^[8]。

(7) 下地壳的拆沉作用:如我国东部的埃达克岩^[23]。

1.3 埃达克岩的类型及成因模型

随着研究的进展,人们除发现埃达克岩可以有多种形成方式外,还将符合埃达克岩定义的岩石按成因进行类型划分,如王强等(2001)的 O 型埃达克岩和 C 型埃达克岩^[24],张旗等(2000)和朱弟成等(2003)的 O 型埃达克岩和 C 型埃达克岩^[23,25]。

对于 O 型埃达克岩,目前一致认为形成于俯冲大洋板片的部分熔融(见图 1)。而对于 C 型埃达克岩的成因,却存在不同的认识,主要有两种假说:

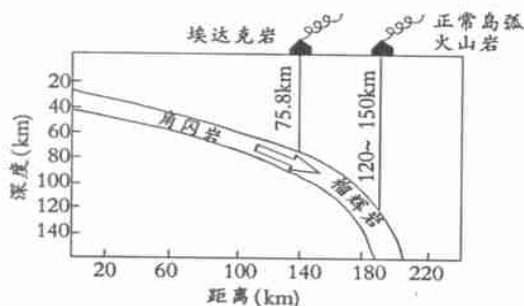


图 1 板片俯冲形成 O 型埃达克岩的示意图^[2]

(1) 玄武岩浆底侵下地壳时发生部分熔融而形成

埃达克岩:由于这种假说在解释以下现象时存在困难,今天在埃达克岩中发现的高 MgO 含量;

与埃达克岩有关的富 Nb 岛弧玄武岩中出现大量地幔捕虏体;今天大多数埃达克岩都发现于俯冲环境。因此,Defant 等(2002)认为,基本可以排除这种成因模型^[26]。

(2) 下地壳的拆沉作用形成埃达克岩(见图 2)。拆沉作用是指由于重力的不稳定性导致岩石圈地幔、大陆下部地壳或大洋地壳沉入下伏软流圈或地幔的过程。重力不稳定性是拆沉作用的驱动力,其直接结果是造成岩石圈地幔和下地壳沉入软流圈,热的软流圈物质相应上涌至地壳下部置换冷的上地幔。拆沉作用模型认为岩石圈加厚是大陆岩石圈和下地壳拆沉的前奏曲^[27]。其作用包括两方面:第一,促使基性下地壳转变为榴辉岩;第二,迫使冷的、密度较大的岩石圈地幔、下地壳沉入热的、浮力更大的软流圈。因此,C 型埃达克岩的拆沉作用模型为:在大陆地壳很厚的区域(厚度大于 40km),下地壳可能变成榴辉岩,从而拆离并下沉到地幔中,由此发生拆沉作用,其结果将导致下地壳下部或拆沉的下地壳上部与相对热的地幔接触,引起下地壳熔融,从而形成 C 型埃达克岩岩浆。

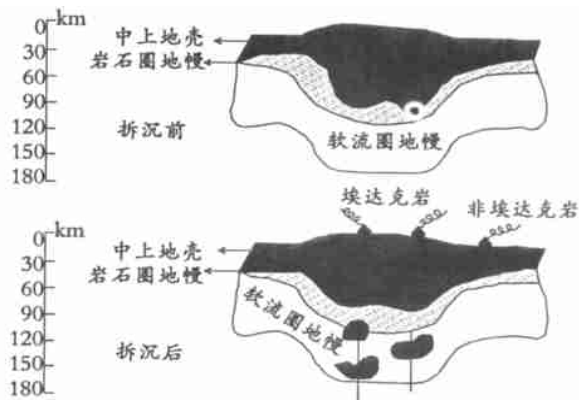


图 2 拆沉作用形成 C 型埃达克岩的示意图^[25]

1.4 我国埃达克岩研究状况

近十多年来,有关埃达克岩的研究一直是国际地学界关注的前沿课题,而我国埃达克岩的研究还刚起步,2000 年国内发表了第一篇有关埃达克岩的研究论文^[28]。但自此以来,埃达克岩的研究在我国发展很快,发表论文不断上升,而且绝大多数集中在地学核心期刊,同时于 2001 年底,在国家自然科学基金委员会资助下,召开了第一次埃达克岩国际学术研讨会^[25]。近年来的研究地域已涉及中国东部、秦岭-大别、青藏高原、华北等地区;研究内容不

断深入,已涉及埃达克岩形成的构造环境、形成方式、成因机制、地球动力学、成矿作用等方面^[23-33]。但研究都不够系统,不够深入,特别是与埃达克岩相关成矿作用的研究,还停留在一般讨论层面上。为了推动相关类型矿床成矿作用的研究的进展,并指导找矿勘探,一些工作尚有待进一步深入及开展。

2 埃达克岩与斑岩铜矿

2.1 埃达克岩与成矿作用

过去研究发现,一些俯冲板片熔融成因的埃达克岩与 Au、Cu、Ag、Mo 等浅层低温热液矿床及斑岩铜矿的密切共生,他们认为这些矿床的成矿物质来源于埃达克岩浆^[8-9,28,34]。

(1) 地幔和基性岩中 Au、Cu、Ag、Mo 等元素的丰度值高,由于埃达克岩的形成与壳幔交换作用有关^[8-9,35],因此,在埃达克岩形成过程中,有利于与下地壳及地幔交换作用相关的金属元素从中熔出,并在后期有利的地质和物化条件下富集成矿。

(2) 实验研究表明,埃达克岩浆的形成需要很高的温度(850 - 1100 °C)^[36-37]和压力(1.2 - 4.0 GPa)^[30,38]。在埃达克岩浆形成过程中,由于角闪岩相转化为榴辉岩相而释放出大量的水^[12]。较高的温度和压力,特别是富含水,十分有利于岩浆(热液)对金属元素的萃取,并有适当的条件下富集成矿^[35]。

(3) 在高温、高压、富水和高 f_{O_2} 状态^[39-40]下,岩浆中的 S 主要以 S^{6+} 形式存在, S^{2-} 很少,这种状况容易导致硫化物在岩浆中不饱和。在氧化状态下,硫化物不饱和和岩浆的结晶分异作用使成矿元素成为不相容元素而在岩浆中富集,最后释放出富 Cu、Au、Ag 的岩浆热液;反之,如果硫化物饱和,则变成相容元素保留在残留相中^[39,41]。

基于上述原因,完全有理由认为埃达克岩是一种十分有利的成矿母岩,尤其对斑岩型 Cu 矿以及浅成低温热液型 Cu - Au 矿床。但必须说明的是:埃达克岩有利于形成某些金属矿床,但并不意味着,有埃达克岩就一定成矿,因为矿床的形成除岩浆条件外,还需要适当的构造和物化等条件与之配套。配套条件不好,难以形成相关矿床。

2.2 埃达克岩与斑岩铜矿

(1) 主要进展:Thieblemont 等(1997)统计了全球 43 个 Au、Ag、Cu 和 Mo 低温热液和斑岩型铜矿,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,多数埃达克岩省也是重要的成矿省;在地区规模上,多数矿床的主岩为埃达克岩;在矿区规模上,当埃达克岩与非埃达克岩共存时,成矿的主要是埃达克岩^[9]。Oyarzun 等(2001)通过对智利北部斑岩铜矿的研究发现,古新世 - 早中新世正常的钙碱性中酸性火成岩与较小的规模的斑岩铜矿有关,而晚中新世 - 早更新世大型 - 超大型的斑岩铜矿则与埃达克岩有关^[10]。Bellon 等(2001)调查了菲律宾 16 个斑岩铜矿,发现其中 14 个在时间和空间上与埃达克岩有关^[11]。张旗等(2002)对我国主要的斑岩铜矿(如安徽沙溪、黑龙江多宝山、内蒙乌奴格吐山、新疆乌伦布拉克和土屋、四川西范坪、江西德兴、西藏玉龙等)进行了初步的研究,认为这些斑岩铜矿的成因均与埃达克岩有关^[32]。

(2) 德兴斑岩铜矿简析:德兴斑岩铜矿田由铜厂、富家坞和朱砂红三个斑岩型铜矿床组成^[42-43]。由于该矿是我国至今已发现最大的铜矿田之一,因此,一向受到国内地质工作者极大的关注^[42-46]。前人的研究成果极大地深入了对德兴铜矿成矿作用的认识,然而,欲深刻揭示这一超大型矿床的成矿机理,还有许多问题尚需深入研究^[45]。近年来,随着埃达克岩与相关成矿作用研究的进展,一些研究者经初步研究认为:德兴斑岩铜矿的成矿作用与埃达克岩有关^[32,41]。这是一重要的新认识,但至今为止,尚未有人作过专门研究,进行过较准确的分析判断。为了确定德兴斑岩铜矿的成矿作用与埃达克岩有关,首要是对相关成矿岩体的属性(是否是埃达克岩)作出正确判断。

德兴斑岩铜矿田内岩浆活动频繁,晋宁期、雪峰期、加里东期、华力西期、印支期、燕山期和喜山期均有岩浆活动,但成矿作用主要与燕山期的花岗闪长斑岩、石英二长玢岩、石英闪长玢岩等杂岩体有关^[42]。铜厂、富家坞和朱砂红三个成矿岩体的化学成份(见表 1)。

从表 1 可以明确判断,三个岩体均为酸性岩浆岩。朱训等(1983)通过编制成矿斑岩的钙碱指数图,得钙碱指数为 57.4^[42],因此,成矿岩体属钙碱性岩石。主要造岩矿物为中长石、更长石、钾长石、角闪石和石英,其次是黑云母^[42]。三个成矿岩体的 $SiO_2 > 56\%$,为 62.82% ~ 65.05%; $Al_2O_3 > 15\%$,为 15.24% ~ 15.74%; $MgO < 3\%$,为 2.52% ~ 2.69%。根据朱训等(1983)的资料,铜厂花岗闪长斑岩的稀

土元素 Y 的含量为 5.04×10^{-6} , $< 18 \times 10^{-6}$; Yb 的含量为 0.61×10^{-6} , $< 1.9 \times 10^{-6}$ ^[42]; 稀土配分曲线 (见图 3), 明显无 Eu 异常。铜厂花岗闪长斑岩的 Sr 含量为 679×10^{-6} , 石英闪长玢岩的 Sr 含量为

$> 1200 \times 10^{-6}$, 均大于 400×10^{-6} 。由此可以判断, 德兴斑岩铜矿主要成矿岩体符合埃达克岩相关地球化学的特征^[2], 属埃达克岩, 并由此认为德兴斑岩铜矿的成矿作用与埃达克岩相关。

表 1 主要成矿岩体的化学成分表

(wt %)

岩体	样品数	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
富家坞	6	65.05	0.41	15.74	1.69	2.51	0.11	1.69	3.57	3.87	3.21	0.21
铜厂	10	63.00	0.43	15.39	2.36	2.69	0.06	2.43	4.15	3.73	3.20	0.25
朱砂红	1	62.82	0.40	15.24	0.72	2.52	0.03	2.41	3.17	3.84	3.34	0.25

注: 上述三个岩体的岩性均为花岗闪长斑岩; 数据引自朱训等 (1983)^[42]。

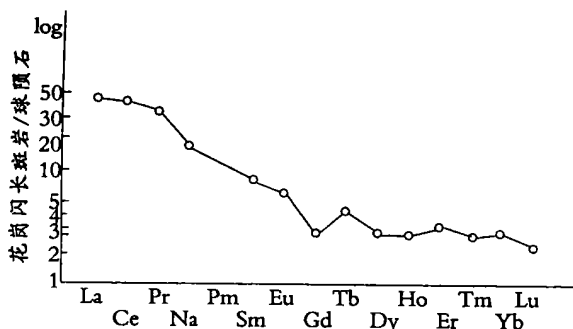


图 3 德兴铜厂花岗闪长斑岩
球粒隕石标准化稀土分布模式^[42]

3 我国斑岩铜矿的找矿方向

随着经济和社会的飞速发展, 我国铜矿资源紧缺的形势日益严峻。缓解这一严峻形势, 并实现我国铜业可持续发展的措施之一是加强大型 - 超大型斑岩铜矿的找矿勘探^[27]。由于埃达克岩与斑岩铜矿的成矿作用存在着密切关系, 这为我国斑岩铜矿找矿开辟了新的方向, 即从寻找埃达克岩入手去寻找斑岩型铜矿。目前具体的找矿方向有:

(1) 在埃达克岩出露区寻找斑岩型铜矿床: 由于埃达克岩与斑岩型铜矿在时间、空间和成因上存在着密切的关系^[9-10, 22], 因此, 埃达克岩可作为找矿的标志使用。Defant 等 (2002) 指出: 埃达克岩对于勘探金铜矿床的作用可以与金铂利岩寻找金刚石矿床相提并论^[26]。因此, 通过在埃达克岩出露天区开展工作, 有望在较短时期内取得斑岩铜矿找矿的新突破。虽然我国埃达克岩的研究尚处于起步阶段, 但初步的研究结果证明, 我国埃达克分布广泛, 仅燕山期埃达克岩就广泛分布于冀北 - 辽西、鲁东和长江中下游广大地区^[23]。未来斑岩铜矿的找矿一方

面要加强埃达克岩的研究工作; 另一方面, 可以利用被确证的埃达克岩为线索, 开展相关找矿工作。

(2) 与板片俯冲消减作用有关的斑岩铜矿的找矿: 据统计, 世界主要的大型 - 超大型斑岩铜矿主要与板片俯冲有关的 O 型埃达克岩有关^[9-10]。而我国的已发现的斑岩铜矿大多数产于陆内环境, 主要与 C 型埃达克岩有关^[32]。由于我国目前发现的斑岩铜矿与 O 型埃达克岩有关的还不多, 因此, 中国斑岩铜矿的找矿应该具有巨大的潜力。王元龙等 (2003) 认为, 世界上最接近第三纪环太平洋构造格局的是晚元代 - 古生代的一些造山带, 这些地区具备形成 O 型埃达克岩的条件, 并已有多处发现斑岩铜矿, 如近年来发现的东疆土屋的斑岩铜矿就被认为是与 O 型埃达克岩有关^[33]。因此, 我国众多的造山带应该成为未来寻找与 O 型埃达克岩相关斑岩铜矿的战略方向。

4 结语

(1) 埃达克岩是一种成因方式特殊的钙碱性系列岩浆岩, 其主要判别特征是: SiO₂ 56%, Al₂O₃ 15%, MgO 通常小于 3%, 贫 Y 和 Yb ($Y < 18 \times 10^{-6}$, $Yb < 1.9 \times 10^{-6}$), 高 Sr (多数大于 400×10^{-6}), LREE 富集, 无 Eu 异常或仅有轻微的负 Eu 异常。按成因机制, 埃达克岩可分为 O 型和 C 型两种基本类型。O 型埃达克岩主要由俯冲板片的部分熔融形成, C 型埃达克岩主要由下地壳折沉作用形成。

(2) 埃达克岩是一种十分有利的成矿母岩, 无论 O 型或是 C 型埃达克岩, 均能形成大型 - 超大型的斑岩铜矿床和浅成低温热液型 Au - Ag 矿床, 因此, 世界上绝大多数的斑岩型铜矿均有埃达克岩有关。

(3) 埃达克岩与斑岩铜矿成矿作用存在着密切

的关系,这为我国斑岩铜矿找矿开辟了一条新的方向,即从埃达克岩入手寻找斑岩型铜矿。基于目前的现状,在埃达克岩出露区寻找斑岩型铜矿床、寻找与O型埃达克岩相关的斑岩铜矿,是我国斑岩铜矿重要的找矿方向。

参考文献

- [1] Kay R M. Aleutian magnesian andesites: melts from subducted Pacific Ocean crust[J]. *Volcanol Geotherm Res*, 1978, 4: 117 ~ 132.
- [2] Defant M J, Drummond M S. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere[J]. *Nature*, 1990, 347: 662 ~ 665.
- [3] Drummond M S, Defant M J. A model for trondhjemite - tonalite - dacite genesis and crustal growth via slab melting: Archean to modern comparisons[J]. *Geophys. Res.* 1990, 95(B13): 21503 ~ 21521.
- [4] Atherton M P. Generation of sodium - rich magmas from newly underplated basaltic crust[J]. *Nature*, 1993, 362: 144 ~ 146.
- [5] Peacock S M, Rushmer T, Thompson A B. Partial melting of subducting oceanic crust[J]. *Earth Planet Sci. Lett.* 1994, 121: 227 ~ 244.
- [6] Muir R J, Weaver S D, Bradshaw J D, et al. Geochemistry of the Cretaceous Separation Point Batholith, New Zealand: granitoid magmas formed by melting of mafic lithosphere[J]. *J. Geol. Soc. Lond.* 1995, 152: 698 ~ 701.
- [7] Gromet L P, Silver L. REE variations across the peninsular range batholith: implications for batholithic petrogenesis and crustal growth in magmatic arc[J]. *Journal of Petrology*, 1987, 28: 75 ~ 125.
- [8] Defant M J, Kepezhinskis P. Evidence suggests slab melting in arc magmas[J]. *EOS*, 2001, 82: 67 ~ 69.
- [9] Thieblemont D, Stein G, Lescuyer J - L. Gsements epithaux et Prophyuques: la connexion adakite[J]. *Earth Planet Sci*, 1997, 325: 103 ~ 109.
- [10] Oyarzun R, Morquez A, Lillo J, et al. Giant versus small porphyry copper deposits of Cenozoic age in northern Chile: adakitic versus normal calc - alkaline magmatism[J]. *Mineral Deposit*, 2001, 36: 794 ~ 798.
- [11] Bellon H, Yumul Jr G P. Miocene to Quaternary adakites and related rocks in western Philippine arc sequences[J]. *Earth Planet Sci*, 2001, 333: 343 ~ 350.
- [12] Green T H, Ringwood A E. Genesis of the calcalkaline igneous rock suite[J]. *Contrib. Mineral. Petrol.* 1968, 18: 105 ~ 162.
- [13] Stern C B. Melting products of olivine tholeiite basalt in subduction zones[J]. *Geology*, 1974, 2: 227 ~ 230.
- [14] Gill J B. *Orogenic Andesites and Plate Tectonics*[M]. New York, Springer - Verlag, 1981.
- [15] Bickle M J. Heat loss from the Earth: constraint an Archaeal tectonics from the relationships between geothermal gradients and the rate of plate production[J]. *Earth Planet Sci. Lett.* 1978, 40: 301 ~ 315.
- [16] Wilson M. *Igneous Petrogenesis*[M]. London: Unwin Hyman, 1989.
- [17] Macdonald R, Harwkesworth C J, Heath E. The Lesser Antilles volcanic chain: a study in arc magmatism[J]. *Earth Sci. Rew.* 2000, 49: 1 ~ 79.
- [18] Morris P A. Slab melting as an explanation of Quaternary volcanism and aseismicity in southwest Japan[J]. *Geology*, 1995, 23: 395 ~ 398.
- [19] Sorensen S S, Grossman J N. Enrichment in trace elements in garnet amphibolites from a paleo - subduction zone: Catalina schist, southern California[J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1989, 53: 3155 ~ 3177.
- [20] Winther T K, Newton R C. Experimental melting of an hydrous low - K tholeiite: evidence on the origin of Archean cratons[J]. *Bull. Geol. Soc. Denmark*, 1991, 39: 35 ~ 50.
- [21] Yögodzinski G M, Lees J M, Churikovs T G, et al. Geochemical evidence for the melting of subducting oceanic lithosphere at plate edges[J]. *Nature*, 2001, 409: 500 ~ 504.
- [22] Sajona F G, Bellon H, Maury R C, et al. Magmatic response to abrupt changes in geodynamic setting: Pliocene - Quaternary calc - alkaline and Nb - enriches lavas from Mindanao (Philippines) [J]. *Tectonophysics*, 1994, 237: 47 ~ 72.
- [23] 张旗, 王焰, 钱青等. 中国东部燕山期埃达克岩的特征及构造 - 成矿意义[J]. *岩石学报*, 2001, 17(2): 236 ~ 244.
- [24] 王强, 许继锋, 赵振华. 一种新的火成岩 —— 埃达克岩的研究评述[J]. *地球科学进展*, 2001, 16(2): 201 ~ 208.
- [25] 朱弟成, 潘桂棠, 段丽萍等. 埃达克岩研究的几个问题[J]. *西北地质*, 2003, 36(2): 13 ~ 19.
- [26] Defant M J, 许继锋, Kepezhinskis P 等. 埃达克岩. 关于其成因的一些不同观点[J]. *岩石学报*, 2002, 18(2): 129 ~ 142.
- [27] 高山, 金振民. 折沉作用 (delamination) 及其壳幔演化动力学意义[J]. *地质科技情报*, 1997, 16(1): 1 ~ 9.
- [28] 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(2): 251 ~ 256.
- [29] 侯增谦, 莫宣学, 高永丰等. 埃达克岩 - 斑岩铜矿的一种可能的重要含矿母岩[J]. *矿床地质*, 2003, 22(1): 1 ~ 12.
- [30] 张旗, 钱青, 王二七等. 燕山晚期的中国东部高原. 埃达克岩的启示[J]. *地质科学*, 2002, 36(2): 248 ~ 255.
- [31] 罗照华, 柯林, 谌宏伟. 埃达克岩的特征. 成因及构造意义[J]. *地质通报*, 2002, 21(7): 436 ~ 440.
- [32] 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.
- [33] 王元龙, 张旗, 王强等. 埃达克岩与 Cu - Au 成矿作用关系的初步探讨[J]. *岩石学报*, 2003, 19(3): 543 ~ 550.
- [34] Sajona F G, Maury R C. Association of adakites with gold and copper mineralization in the Philippines[J]. *Earth Planet Sci.* 1998, 326(1): 27 ~ 34.
- [35] Kay S M, Mpodozis C. Central Andean ore deposits linked to evolving shallow subduction system and thickening crust[J]. *GAS Today*, 2001, March, 4 ~ 9.
- [36] Sen C, Dunn T. Dehydration melting of a basaltic composition amphibolites at 1.5 and 2.0 GPa: implications for the origin of adakites[J]. *Contrib. Mineral. Petrol.* 1994, 117: 394 ~ 409.
- [37] 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]. *Chemical Geology*, 1999, 160(4): 335 ~ 356.

- [38] Rapp R P, Watson E B. Dehydration melting of metabasalt at 8 - 32 kbar: Implication for continental growth and crust - mantle recycling[J]. Journal of Petrology, 1995, 36:891 ~ 931.
- [39] 赵振华,熊小林,王强等. 我国富碱火成岩及有关的大型 - 超大型金铜矿床成矿作用[J]. 中国科学(D), 2002, 32(增刊): 1 ~ 10.
- [40] Mungall J E. Roasting the mantle: Slab melting and the genesis of major Au and Au - rich Cu deposits[J]. Geology, 2002, 30(10): 915 ~ 918.
- [41] 张静. 埃达克岩及其成矿作用和相关问题的讨论[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2003, 22(4): 365 ~ 370.

- [42] 朱训,黄崇珂,芮宗瑶等. 德兴斑岩铜矿[M]. 北京:地质出版社, 1983.
- [43] 於崇文. 江西德兴斑岩铜矿田成矿作用的流体动力学分形弥散作用[J]. 地质论评, 1995, 41(3): 211 ~ 220.
- [44] 金章东,朱金初. 德兴斑岩铜矿成矿过程中的氧、锶、钕同位素证据[J]. 矿床地质, 2002, 21(4): 341 ~ 34.
- [45] 张德会,乐华. 德兴成矿带成矿作用研究的进展. 问题及展望[J]. 地质论评, 1998, 44(5): 502 ~ 510.
- [46] 钱鹏,陆建军,姚春亮. 德兴斑岩铜矿成矿流体来源的流体包裹体研究[J]. 南京大学学报, 2003, 39(3): 319 ~ 326.

REVIEW ON ADAKITE AND NEW DIRECTION FOR FINDING PORPHYRY COPPER DEPOSIT

Tongji University Liao Zongting

Abstract Adakite is a kind of acid - intermediate and calc - alkaline igneous rock. Its typical characteristics are: SiO_2 56 %, Al_2O_3 15 %, $\text{MgO} > 3$ %, relatively poor Y and Yb ($\text{Y} = 18 \times 10^{-6}$, $\text{Yb} = 1.9 \times 10^{-6}$), high Sr ($> 400 \times 10^{-6}$), rich LREE, absent or slightly negative Eu anomaly. There are two types of adakites (C - type and O - type) with different petrogenesis. The O - type adakite is formed by the partial melting of subducted slab. The C - type adakite is formed by the partial melting of basaltic lower crust under the continental accretion setting or the delamination of lower crust. They are all closely associated with the mineralization of porphyry copper deposits. The super large porphyry copper deposits are usually related to the O - type adakites in the world. However, porphyry copper deposits in China are mainly associated with the C - type adakites. It is concluded that a new direction for prospecting of porphyry copper deposits can be supplied because adakite would be used as a new exploration indication to find large - size or superlarge - size porphyry copper deposits.

Key words Adakite Porphyry copper deposits Prospecting Dexin copper ore deposit

(上接第 9 页)

国产化提供支持。

6 结语

进口设备国产化是一项事关企业经营效果的重要工作,这项工作的开展既要积极,又要稳妥。积极是指各级领导必须从思想上充分重视,时时刻刻牢记效益优先的原则,调动广大工程技术人员的积极

性,广泛开展进口设备国产化的前期论证,做好技术储备。稳妥是指成熟一项推进一项,切忌莽动。国产化工作是一个过程,在这个过程中可以是整机,也可以是其中的部件,通过蚂蚁啃骨头的办法逐步实现进口设备国产化。

随着我国经济的不断发展、技术的不断提高,只要各级领导重视,设备的国产化率将不断提高,企业的竞争力将不断增强。

LOCALIZATION OF IMPORTED EQUIPMENT IN JIANGXI COPPER

Jiangxi Copper Corporation Material & Equipment Co. Shuai Nengwu

Abstract A large quantity of advanced technology and equipment are imported from abroad in the development of Jiangxi Copper Corporation. With the development of domestic manufacturing industry, part of domestic equipment or components can meet the needs of production arrangement of Jiangxi Copper with price advantages. It is a necessity for Jiangxi Copper to use domestic equipment steadily instead of that imported to reduce costs and improve the overall efficiency and profit of the company.

Key words Imported equipment Localization Performance and price ratio Equipment selection