

文章编号: 1007 - 3701(2002)03 - 0085 - 06

埃达克岩与斑岩铜矿

张 旗¹ 王元龙¹ 张福勤¹ 王 强² 王 焰³

(1. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029; 2. 中国科学院广州地球化学研究所, 广东 广州 510640; 3. 西北大学地质系, 陕西 西安 710069)

摘要: 埃达克岩与斑岩铜矿有着密切的关系, 世界级的斑岩铜矿大多与 O 型埃达克岩有关, 表明板片部分熔融形成的(O 型)埃达克岩最有利于成矿, 而我国的斑岩铜矿大多与 C 型埃达克岩有关。埃达克岩可以作为找矿标志来使用, 从而开辟了一条新的找矿思路, 对寻找超大型和超巨型斑岩铜矿会有所启发。文中指出, 中国北方造山带、吉黑东部和冈底斯地区具有寻找斑岩铜矿的广阔前景。

关键词: 埃达克岩; 斑岩铜矿; 找矿方向; 找矿思路

中图分类号: P588. 14; P618. 41

文献标识码: A

1 前 言

埃达克岩(adakite)是 Defant 等^[1]研究阿留申群岛新生代火山岩时提出来的术语, 它不是指某一种具体的岩石, 而是指具有特定地球化学性质的一套中酸性火山岩和侵入岩组合, 包括安山岩、英安岩、安粗岩、石英闪长岩、花岗闪长岩、石英二长岩、英云闪长岩、斜长花岗岩等。其地球化学标志是: SiO_2 56%, Al_2O_3 15%, $\text{MgO} < 3\%$ (很少 $> 6\%$), 贫 Y 和 Yb ($Y = 18 \times 10^{-6}$, $Yb = 1.9 \times 10^{-6}$), $\text{Sr} > 400 \times 10^{-6}$, 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, N_d 通常 > 0 ^[1]。埃达克岩贫 Y 和 Yb, 暗示部分熔融时有石榴石稳定存在, 富 Al, Sr, 而 Eu 负异常不明显, 说明熔融时斜长石在源区不稳定^[1, 2]。

最近的研究发现, 埃达克岩(adakite)或埃达克质岩(adakitic rock)与低温热液和斑岩金、铜、钼的成矿作用有密切联系^[2~6]。埃达克岩可以分为 O 型埃达克岩(与板块俯冲作用有关)和 C 型埃达克岩(下地壳熔融形成), 它们都有利于形成斑岩铜矿。有意义的是, 世界级的斑岩铜矿大多与 O 型埃达克岩有关, 例如智利的 Ckuquicamata, 铜金属储量 6 935 万 t, La Escondida, 2 880 万 t^[7]和 El Abra, 1 450 万 t^[5]。C 型埃达克岩也可以形成大型和超大型斑岩铜矿, 如江西德兴和西藏玉龙。

斑岩铜矿是世界铜矿最重要的工业类型, 储量约占世界铜储量的 55%, 且多集中在大型 - 超大型斑岩矿床中。据统计, 世界 99 个 500 万 t 以上的超大型铜矿中, 斑岩型有 63 个, 占铜总储量的 63%^[8]。斑岩铜矿的分类方案很多, Taylor^[9]根据矿床的元素组合将斑岩铜矿分为 Cu - Au - Ag 型(岛弧型)和 Cu - Mo 型(科迪勒拉型)。芮宗瑶等^[10]依据岩浆侵位和矿化深度将斑岩铜矿划分为火山斑岩矿床、浅成斑岩矿床和中深成斑岩矿床。克里夫佐夫等^[11]将斑岩铜矿分为 4 个岩浆系列: (1) 辉长 - 闪长岩 - 英云闪长岩系列, Cu - Au 闪长岩模式; (2) 闪长岩 - 花岗闪长岩系列, Mo - Cu 花岗闪长岩模式; (3) 闪长岩 - 二长闪长岩 - 二长岩系列, Cu - Mo 二长岩模式; (4) 闪长岩 - 花岗闪长岩 - 花岗岩系列, Mo 花岗岩模式。王

收稿日期: 2002 - 08 - 06

基金项目: 国家“973”项目(G1999043206 - 05)及中国科学院知识创新工程基金项目(KZCX1 - 07, KZCX2 - SW - 119, KZCX2 - 104)。

作者简介: 张旗(1937 -) , 男(汉族), 研究员, 博导, 主要从事蛇绿岩、镁铁 - 超镁铁岩及埃达克岩的研究。

之田等^[12]按照斑岩铜矿形成的大地构造环境并结合矿化类型与火山 - 深成岩浆建造特征,将斑岩铜矿划分为 3 类:即大陆边缘型(以 Cu,Mo 为主,花岗闪长岩 - 石英二长岩类)、岛弧型(Cu,Au 为主,闪长岩类、正长岩类、二长岩类)和大陆内部型(Cu 为主,花岗闪长岩类)。还有将斑岩划分为钙碱性和碱性 2 类^[13]。

我国铜矿资源紧缺,解决中国铜矿资源的出路在斑岩铜矿。埃达克岩与斑岩铜矿的密切关系给我们开辟了一条新的找矿思路,提出了新的找矿方向和找矿方法,希望能够对寻找超大型和超巨型的斑岩铜矿有所启发。

2 埃达克岩与斑岩铜矿

Thieblemont 等^[3]统计了全球 43 个 Au,Ag,Cu 和 Mo 低温热液和斑岩矿床,发现其中的 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,成矿主要与前者有关。Oyarzun 等^[4]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(REE 分布为右倾型,但 HREE 亏损不明显)钙碱性中酸性火成岩与较小规模的斑岩铜矿(< 500 万 t,如 Lomas Bayas)有关,而晚中新世 - 早更新世上千万吨级的斑岩铜矿(如 Chuquicamata,铜金属储量 6 000 万 t)则与埃达克岩有关(图 1,A)。Bellon 等^[5]调查了菲律宾 16 个斑岩铜矿,其中 14 个在时间和空间上与埃达克岩有关。

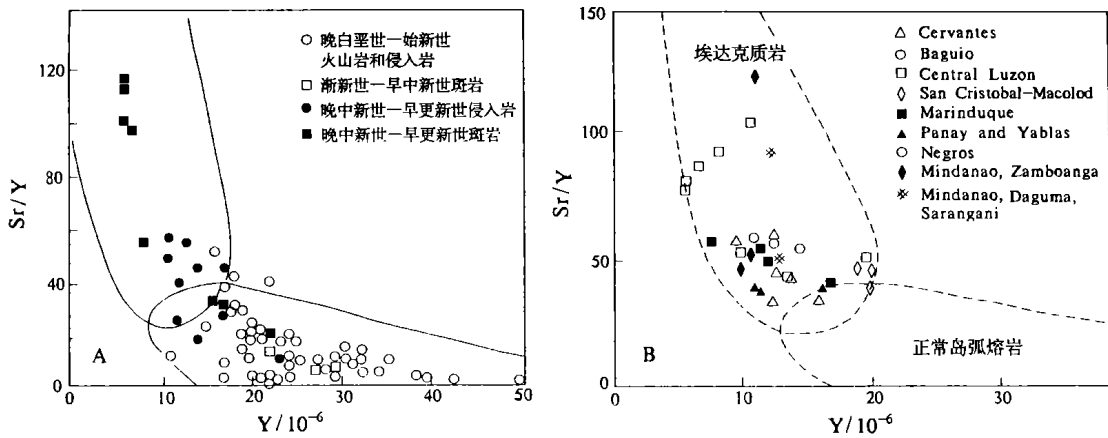


图 1 智利和菲律宾斑岩铜矿 Sr/Y - Y 图

Fig. 1 Diagrams of Sr/Y - Y of porphyry copper from Chile and Philippine

A. 智利北部:其中规模较小的斑岩铜矿属于“正常的”钙碱性系列,而巨型斑岩铜矿的斑岩大多具埃达克岩的特征^[4];B. 菲律宾斑岩铜矿^[5]

斑岩铜矿的含矿岩石有闪长岩、斜长花岗岩、花岗闪长岩、二长花岗岩和石英斑岩等,我们的调研发现,我国的斑岩铜矿大多与埃达克岩有关,如:江西德兴^[6](图 2,A,D)、安徽沙溪^[6](图 2,A)、黑龙江多宝山(图 2,B)、内蒙乌奴格吐山、新疆乌伦布拉克^[14]、四川西范坪^[15](图 2,A)和新近发现的可能达到超大型规模的东疆土屋^[16](图 2,C)等。有些被划归富碱侵入岩或 A 型花岗岩的斑岩铜矿,如西藏玉龙^[17](图 2,A,D)和马场箐^[13,18],也具有高 Sr 低 Y 和 Yb 以及高 Sr/Yb 比值的地球化学特征。

黑龙江多宝山、内蒙乌奴格吐山、新疆土屋和乌伦布拉克等位于中国北方造山带内。多宝山铜矿主要产于岛弧建造的奥陶系多宝山组和海西期花岗闪长岩、花岗闪长斑岩中^[19]。土屋斑岩铜矿的成矿地质背景为泥盆纪火山岛弧(390 Ma 左右),岩浆 - 热液演化受高氧分压($f_{O_2} = 10^{-20} \sim 10^{-8}$)控制,矿化产于闪长玢岩和斜长花岗岩斑岩中^[16,20]。乌伦布拉克的含矿岩石为斜长花岗岩、石英闪长岩、闪长岩及英安玢岩

质隐爆角砾岩,成矿时代为海西中晚期^[14]。新疆还有许多与埃达克岩有关的斑岩铜矿,斑岩大都产于岛弧火山岩中,且多属于 O 型埃达克岩,与板块的俯冲作用有关。

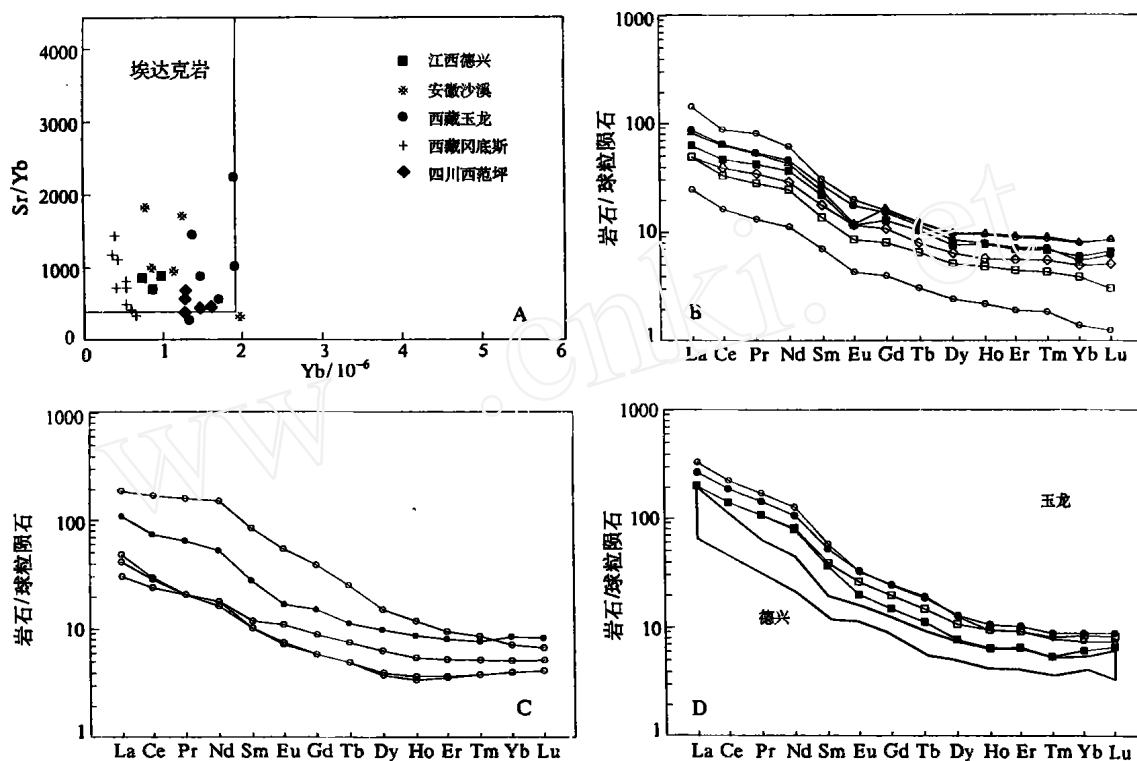


图 2 中国与斑岩铜矿有关的斑岩的 Sr/ Yb - Yb 图(A)和球粒陨石标准化 REE 图(B—D)

Fig. 2 Sr/ Yb Yb(A) and chondrite normalized REE(B - D) diagrams of porphyry copper deposits from China (A. 埃达克岩范围据文献[21]; B. 黑龙江多宝山^[19]; C. 东疆土屋^[16]; D. 西藏玉龙^[17]和江西德兴^[6])

中国东部的许多斑岩铜矿,如沙溪、冬瓜山、安基山、铜厂、富家坞等^[6,22]。这些斑岩的成分主要为英云闪长岩 - 奥长花岗岩 - 花岗闪长岩组合,其地球化学特征类似埃达克岩,推测其成矿斑岩物质主要来自下地壳并可能受到幔源岩浆的影响,可能是与底侵的玄武质下地壳熔融有关的(斑岩)铜(金)矿床。

西藏玉龙、马拉松多、莽总、多霞松多,云南马场箐以及四川西范坪等斑岩铜矿的主岩通常被确定为富碱侵入岩或 A 型花岗岩^[13,15,17,18,23,24]。以玉龙为例,岩体为石英二长斑岩, SiO₂ 63.11%、Al₂O₃ 18.00%、MgO 1.45%、Na₂O 4.39%、K₂O 4.89%、Sr 898.51 × 10⁻⁶、Yb 1.50 × 10⁻⁶、Y 19.69 × 10⁻⁶, LREE 富集,负 Eu 异常不明显 (Eu = 0.85)^[17],大体类似埃达克岩的地球化学特征(图 2, A, D)。最近在冈底斯发现的斑岩铜矿(甲马、洞嘎和厅官等),认为类似玉龙的特征^[23,25]。与中国东部燕山期钙碱性和高钾钙碱性埃达克岩对比,玉龙、马场箐、西范坪斑岩的总碱量更高,且大多 K₂O > Na₂O,因此,许多作者认为它们属于钾玄岩系列^[17,18,24],其物质来源于交代地幔源区^[24]。我们认为,经典的钾玄岩系列是指中基性的火成岩,故钾玄岩系列来自富集地幔的观点也为绝大多数研究者所接受。然而,上述富碱斑岩主要是酸性侵入岩(SiO₂ 含量分别为:玉龙地区,63% ~ 74%;西范坪,62% ~ 66%;冈底斯,68% ~ 70%^[15,17,23]),与经典的钾玄岩概念有差别。因此,我们认为这些“富硅的”富碱斑岩更可能是基性岩成分的下地壳熔融形成的。至于岩体富 K 可能有下列几种原因:或源区富 K,或部分熔融程度较低,或熔融的压力更高^[26]。总之,究竟如何认识该类斑岩的特点及其成因,还需要进一步的研究。

综上所述,与埃达克岩有关的斑岩铜矿产出的构造环境大体有 3 类:(1) 岛弧环境,如北美、菲律宾;(2) 活动陆缘环境,如安第斯和巴布亚新几内亚;(3) 陆内环境,如德兴和玉龙。根据目前的认识,中国发现

的大型 - 超大型斑岩铜矿,除少数外(如:土屋、多宝山、乌奴格吐山等),大多属于第 3 种构造环境。而世界上规模最大的斑岩铜矿多产于与消减作用有关的构造环境,因此,从这个角度上来说,我国在斑岩铜矿找矿上仍然具有广阔的前景。

3 中国斑岩铜矿找矿方向

我国铜矿资源一直偏紧,铜进口量年复一年增加,缓解这一严峻形势的措施之一是加强大型 - 超大型斑岩铜矿的寻找^[27]。我们认为,解决中国铜矿资源的出路是寻找超大型和超巨型的斑岩铜矿,其找矿方向的重点建议首选中国北方造山带,其次为吉黑东部和西藏冈底斯地区。

3.1 世界斑岩铜矿主要集中在环太平洋地区

据统计,全世界 34 个 500 万 t 级以上的超大型斑岩铜矿床中,有 26 个集中于太平洋东岸中新世代^[27]。世界最大的斑岩铜矿(>1000 万 t)、斑岩钼矿(>200 万 t)、斑岩金矿(>500t)及斑岩银矿(>2 万 t),绝大多数集中在环太平洋地区^[7]。以智利为例,至少有 3 个千万吨级的斑岩铜矿与埃达克岩有关^[4]。

有人认为,中国东部属于中新世代的环太平洋构造带。据我们研究,中国东部除了吉林、黑龙江东部以外,具古老陆壳基底的华北、华南和东南沿海均不属于环太平洋带。而世界上最接近中新世环太平洋构造格局的是晚元古宙 - 早石炭世的古亚洲洋造山带,该带内洋壳残片、消减杂岩、岛弧岩浆岩和增生杂岩非常发育,而陆块很少。冈底斯造山带位于新特提斯造山带东段,后者也是世界重要的斑岩铜矿带。冈底斯一个重要的特点是其形成的机制非常类似于安第斯,在冈底斯花岗岩和火山岩中已经有了埃达克岩的迹象^[23,28]。安第斯斑岩铜矿的规模非常之大,我们有理由相信冈底斯有可能成为另外一个“安第斯”。

3.2 中亚 - 中国北方、吉黑东部和冈底斯斑岩铜矿资源现状

80—90 年代以来,中亚成矿域的研究逐渐引起人们重视^[8,29],中亚也是世界重要的斑岩铜矿带,如哈萨克斯坦的阿克斗卡(588 万 t),乌兹别克斯坦的卡尔玛克尔(1050~1125 万 t)和达利涅耶(321 万 t)^[30]。

在中国北方造山带中已经发现了若干斑岩铜矿,如阿尔泰山南缘、博罗科努 - 觉罗塔格、北山、白乃庙和多宝山^[27],土屋斑岩铜矿即位于博罗科努 - 觉罗塔格矿带。与周边国家和地区斑岩铜矿带对比,新疆具有类似的成矿地质条件,有希望找到新的大型超大型斑岩铜矿^[8]。据我们初步分析,阿尔泰山南缘 - 东准噶尔、天山、内蒙中部 - 黑龙江西部 3 个地区可以作为首选的找矿地区,那里的岛弧岩浆岩发育,O 型埃达克岩多,且已发现若干与埃达克岩有关的斑岩铜矿。

吉黑东部属于环太平洋带,那里的中生代岩浆活动异常发育,花岗岩大多属于 I 型,有许多类似埃达克岩的地球化学特征,已发现一些斑岩矿床,如:黑龙江团结沟金矿、吉林小西南岔铜矿、吉林大黑山钼矿和四平山门银矿,虽然研究程度较低,岩浆岩性质不清,矿床规模不大,但有很大的找矿潜力。

冈底斯斑岩铜矿已经取得突破性的进展,已发现两个大型和若干中小型的斑岩铜矿,据研究上述斑岩铜矿类似于玉龙斑岩铜矿的特征^[23,25],下一步的任务是探索有否类似智利那样的斑岩铜矿的可能性。

4 结语

(1) Defant 等^[2]指出,埃达克岩和富 Nb 岛弧玄武岩可以作为找矿标志来使用,埃达克岩找 Au、Cu 矿的意义相当于金伯利岩找金刚石。因此,从埃达克岩入手去找斑岩铜矿,是一个值得尝试的找矿思路。

(2) O 型和 C 型埃达克质岩石均有利于成矿,但世界级的斑岩铜矿多与 O 型埃达克岩有关,而我们在这方面的研究还很薄弱,因此,注意发现和寻找与 O 型埃达克岩有关的斑岩铜矿,应当是我们今后努力的重要目标。

(3) 埃达克岩的出现代表了一次构造事件:一次板块消减事件或一次陆陆碰撞事件。因此,埃达克岩

往往成带分布,如果在一个地区发现了埃达克岩,即可沿该岩浆岩带的展布向前后追索。应当注意发现规模小的岩体,因为斑岩铜矿大多与小岩体有关;但也要注意大岩基,因为大岩基与区域岩浆活动有关,而且往往是小岩体的根。

(4)埃达克岩与斑岩铜矿成矿作用的关系是一个新问题,它提供给我们一个新的找矿思路,有许多问题还不清楚,需要我们去探索,希望这个探索能够开创中国斑岩铜矿找矿的新局面。

参考文献:

- [1] Defant M J, Drummond M S. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subduction lithosphere. *Nature*, 1990, 662—665.
- [2] Defant M J, Xu J F, Kepezhinskas P, et al. Adakites: some variations on a theme. *Acta Petrologica Sinica*, 2002, 18:129—142.
- [3] Thiebemont D, Stein G, Lescuyer J L. Gisement epithermaux et porphyriques: la connexion adakite. *Earth Planet Sci*, 1997, 325:103—109.
- [4] Oyarzun R, Márquez A, Lillo J, et al. Giant versus small porphyry copper deposits of Cenozoic age in northern Chile: adakitic versus normal calc-alkaline magmatism. *Mineral Deposit*, 2001, 36:794—798.
- [5] Bellon H, Yumul Jr G P. Miocene to Quaternary adakites and related rocks in western Philippine arc sequences. *Earth and Planetary Sciences*, 2001, 333:343—350.
- [6] 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摘要[C]. 北京, 2001. 41—44.
- [7] 戴自希. 全球超巨型金属矿床(区)[A]. 见:中国地质矿产信息研究院(编著). 走向21世纪的地质与矿产资源[M]. 北京:地质出版社, 1996. 35—42, 205.
- [8] 刘德权, 唐延龄, 周汝洪. 新疆斑岩铜矿的成矿条件和远景. *新疆地质*, 2001, 19:43—48.
- [9] Taylor D, Leeuwen T U. Porphyry-type deposits in southern Asia, *Mining Geology (Specials issue)*, 1980, 8:95—116.
- [10] 芮宗瑶, 黄崇轲, 齐国明, 等. 中国斑岩铜(钼)矿床[M]. 北京:地质出版社, 1984. 350.
- [11] 克里夫佐夫, (1986). 世界斑岩铜矿床[M]. 王肇芬等译. 北京:地质出版社, 1990. 265.
- [12] 王之田, 秦克章, 张守林. 大型铜矿地质与找矿[M]. 北京:冶金工业出版社, 1994.
- [13] 李朝阳, 等著. 中国铜矿主要类型特征及其成矿远景[M]. 北京:地质出版社, 2000. 351.
- [14] 喻亨祥, 林锦富, 刘家远, 等. 新疆乌伦布拉克隐爆角砾岩筒型斑岩铜矿成矿地质特征[J]. *地质与勘探*, 1998, 34:8—13.
- [15] 李立主, 杨仕长, 康本和. 盐源县西范坪-模范村喜马拉雅期斑岩群地质特征及找矿前景探讨[J]. *四川地质学报*, 1995, 15:283—293.
- [16] 陈文明. 论东天山土屋-延东(斑岩)铜矿的容矿岩[A]. 见:东天山铜多金属矿床成矿过程和成矿动力学及找矿预测新技术新方法会议(论文及摘要集)[C]. 北京, 2001. 123—128.
- [17] 张玉泉, 谢应雯, 邱华宁, 等. 钾玄岩系列:藏东玉龙铜矿带含矿斑岩元素地球化学特征[J]. *地球科学*, 1998, 23:557—561.
- [18] 毕献武, 胡瑞忠, 叶造军, 等. A型花岗岩类与铜成矿关系研究——以马厂箐铜矿为例[J]. *中国科学(D)*, 1999, 29:389—495.
- [19] 赵元艺, 赵广江. 黑龙江多宝山铜矿田稀土元素地球化学特征及多宝山铜矿床成因模式[J]. *吉林地质*, 1995, (2):71—77.
- [20] 芮宗瑶, 王福同, 李恒海, 等. 新疆东天山斑岩铜矿带的新进展[J]. *中国地质*, 2001, 28:11—16.
- [21] Kay R W, Kay S M. Andean adakites: three ways to make them. *Acta Petrologica Sinica*, 2002, 19:303—311.
- [22] 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:亏损重稀土和钇的岩浆产生的限制[J]. *岩石学报*, 2001, 17:576—584.
- [23] 曲晓明, 侯增谦, 黄卫. 冈底斯斑岩铜矿(化)带:西藏第二条“玉龙”铜矿带[J]. *矿床地质*, 2001, 20:355—366.
- [24] 张玉泉, 谢应雯, 邱华宁, 等. 钾玄岩系列:藏东玉龙铜矿带含矿斑岩 Sr, Nd, Pb 同位素组成[J]. *地质科学*, 1998, 33:359—366.
- [25] 侯增谦, 曲晓明, 黄卫, 等. 冈底斯斑岩铜矿成矿带有望成为西藏第二条“玉龙”铜矿带[J]. *中国地质*, 2001, 28:27—

40.

- [26] Rapp R P, Xiao L, Shimizu N. Experimental constraints on the origin of potassium-rich adakites in eastern China. *Acta Petrologica Sinica*, 2002, 19: 293—302.
- [27] 芮宗瑶. 西北、华北、东北斑岩铜矿床研究[A]. 见: 涂光炽等. 中国超大型矿床(1) [M]. 北京: 科学出版社, 2000. 397—425.
- [28] 张旗, 王焰, 王元龙. 埃达克岩的特征及其意义[J]. *地质通报*, 2002, 21.
- [29] 涂光炽. 初议中亚成矿域[J]. *地质科学*, 1999, 34: 397—404.
- [30] 戴自希, 白冶, 吴初国, 等. 中国西部和毗邻国家铜金找矿潜力对比研究[M]. 北京: 地震出版社, 2001. 201.

Adakite and porphyry copper deposit

ZHANG Qi¹, WANG Yuan-long¹, ZHANG Fu-qin¹, WANG Qiang², WANG Yan³

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

2. *Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China;*

3. *Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, China)*

Abstract: Porphyry copper deposit is closely associated with adakites and the superlarge-sized ones are usually related to the O-type adakites formed by melting of the slab. However, porphyry copper deposits in China are mainly associated with C-type adakites. Adakite hence is a new exploration indicator stimulative to further finding of large- or superlarge-sized porphyry copper deposits. It is concluded that potential excellent exploration areas for porphyry copper deposit in China are the North China orogenic belt, East Jilin and Heilongjiang Province and Gandise orogenic belt.

Key words: adakite; porphyry copper deposit; prospecting target; exploration idea