

加强埃达克岩研究,开创中国 Cu、Au 等找矿工作的新局面*

张旗¹ 秦克章¹ 王元龙¹ 张福勤¹ 刘红涛¹ 王焰²

ZHANG Qi¹, QIN KeZhang¹, WANG YanLong¹, ZHANG FuQin¹, LIU HongTao¹ and WANG Yan²

1. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029

2. 香港大学地球科学系 香港

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

2. Department of Earth Sciences, University of Hong Kong, Hong Kong, China

2003-08-10 收稿, 2003-10-30 改回.

Zhang Q, Qin KZ, Wang YL, Zhang FQ, Liu HT and Wang Y. 2004. Study on adakite broadened to challenge the Cu and Au exploration in China. *Acta Petrologica Sinica*, 20(2):195-204

Abstract Adakite is associated closely with the epithermal and porphyry Au, Cu and Ag deposits, and most of large porphyry copper deposits in the Circum-Pacific Belt are related to adakite. The key factor to form the deposits in the adakite is the dehydration from amphibole to garnet during the formation of adakite, which extracts the metal elements enriched in the mantle and mafic rocks into the adakite. The localities of adakite are therefore usually related to the Cu and Au mineralization. China is a country short in copper resource. To find large and superlarge porphyry copper deposits are probably a sustainable way to solve the shortage. The majority of the world-scale copper deposits occur in the Circum-Pacific Belt, whereas similar deposits in China occur not in the eastern China, but in the Paleo-Asian Oceanic Belt, the eastern part of NE China and Gandise Mountain of Tibet. It is suggested here that the further exploration be aimed at the epithermal and porphyry Au, Cu and Ag deposits in the Paleozoic Paleo-Asian Oceanic orogenic belt, Late Paleozoic-Mesozoic the eastern part of NE China and Mesozoic-Cenozoic Gandise Mt. of Tibet, in particular in the southwestern margin of Altun-eastern Zungar, eastern Tianshan and middle Inner Mongolia areas of the Paleo-Asian Oceanic orogenic belt. Since adakite is like an indicator of these kinds of ore deposits, the exploration strategy should be processed to find adakite first, then the deposits.

Key words Adakite, Porphyry copper deposit, Exploration, China, Paleo-Asian Ocean, Eastern part of NE China, Gandise

摘 要 埃达克岩与浅成低温热液 Au-Ag 及斑岩型 Cu、Cu-Au 矿床有密切的关系,环太平洋地区多数大型和世界级的斑岩铜矿均与埃达克岩有关。埃达克岩有利于成矿的关键因素与埃达克岩形成时角闪石转变为石榴石的脱水作用有关,而水能萃取出在地幔和基性岩中富集的金属元素。因此,埃达克岩集中分布的地区有利于铜、金等矿化的聚集。中国铜矿资源严重不足,解决这个紧迫问题的出路在寻找斑岩铜矿。全球铜矿主要分布在环太平洋地区,中国与环太平洋类似的地区不是中国东部,而是古亚洲洋造山带、东北吉黑东部和西藏冈底斯。从国家目标出发,建议实施铜、金等找矿工作的战略转移,把浅成低温热液和斑岩型 Au、Cu、Ag 等矿床找矿的重点放在古生代的古亚洲洋造山带、晚古生代-中生代的吉黑东部和中-新生代的冈底斯地区。古亚洲洋造山带首选阿尔泰西南缘-东准噶尔、东天山和内蒙古中部 3 个地区。埃达克岩可以作为找矿标志来使用,因此,在找矿思路上也应当有一个变化,即:先找埃达克岩,再找矿。

关键词 埃达克岩; 斑岩铜矿; 找矿; 中国; 古亚洲洋; 吉黑东部; 冈底斯

中图法分类号 P588.13; P618.41; P618.51

* 国家“973”项目“大规模成矿作用与大型矿集区预测”(G1999043206-05)、中国科学院知识创新工程基金(KZCX 1-07)和中国科学院知识创新工程基金“北方造山带(东段)大规模成矿的构造动力学背景”(KZCX2-104)课题资助的项目。

第一作者简介:张旗,男,1937 年生,研究员,岩石学和地球化学专业, E-mail: zhangqi1218@vip.sina.com

埃达克岩(adakite)是 Defant *et al.* (1990)研究阿拉斯加阿留申群岛火山岩时提出来的,指的是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的术语,其地球化学特征是富 Al_2O_3 和 Sr, 贫 Y 和 Yb, LREE 富集, 无 Eu 异常(或有正异常或轻微的负 Eu 异常)。贫 Y 和 Yb 暗示部分熔融时有石榴石稳定存在, 富 Al、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。

近来发现,埃达克岩与浅成低温热液 Au-Ag 及斑岩型 Cu、Cu-Au 矿床有密切的关系(Thieblemont *et al.*, 1997; Sajona & Maury, 1998; Oyarzun *et al.*, 2001; 王强等, 2001, 2003; Defant *et al.*, 2002; 张旗等, 2002; 王元龙等, 2003), 例如,我国与铜矿有关的斑岩几乎均具有埃达克岩的地球化学特征(张旗等, 2002; 王元龙等, 2003), 此外,胶东和小秦岭以及长江中下游的铜(金)、铁矿等也与埃达克岩有关,这对我国的找矿工作可能有新的启发。

1 埃达克岩与成矿作用的关系

Thieblemont *et al.* (1997)最早探讨了埃达克岩与成矿作用的关系,他们统计了全球 43 个 Au、Ag、Cu、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。智利北部新生代有两条斑岩铜矿带:一个是古新世-早始新世的小规模的斑岩铜矿带,岩浆属于正常的钙碱性系列;另一个为晚始新世-早渐新世的与埃达克岩有关的巨大规模的斑岩铜矿带(Oyarzun *et al.*, 2001),如 Cu 储量达 6681 万吨的 Chuquicamata 矿床(平均 Cu 品位 0.75%,年产铜 64 万吨)、La Escondida(2262 万吨)、El Abra(1450 万吨)、特尼恩特铜矿床(6000 万吨)、Collahuasi(1195 万吨)、Mansa Mina(1170 万吨)以及 El Salvador(860 万吨)矿床等。Sajona *et al.* (1998)研究了菲律宾的斑岩铜矿和低温热液 Au 矿床,发现 14 个矿床中有 12 个与埃达克岩有关。

我们的调研发现,我国的许多 Au、Cu、Mo 等成矿作用与埃达克岩密切相关:

(1) 我国的斑岩铜(金、钼)矿大多均与埃达克质岩有关(张旗等, 2002)。如德兴、沙溪(王强等, 2001, 2003)、安基山(许继峰等, 2001; Xu *et al.*, 2002)、黑龙江多宝山、吉林小西南岔、内蒙古白乃庙、乌奴格吐山(秦克章等, 1999a)、新疆土屋、延东(张连昌等, 2004, 本刊)、福建紫金山(毛建仁等, 2004, 本刊)、西藏甲马、厅官、驱龙(曲晓明等, 2001, 2002; 侯增谦等, 2003, 2004; 高永丰等, 2003)斑岩铜矿(图 1)等。

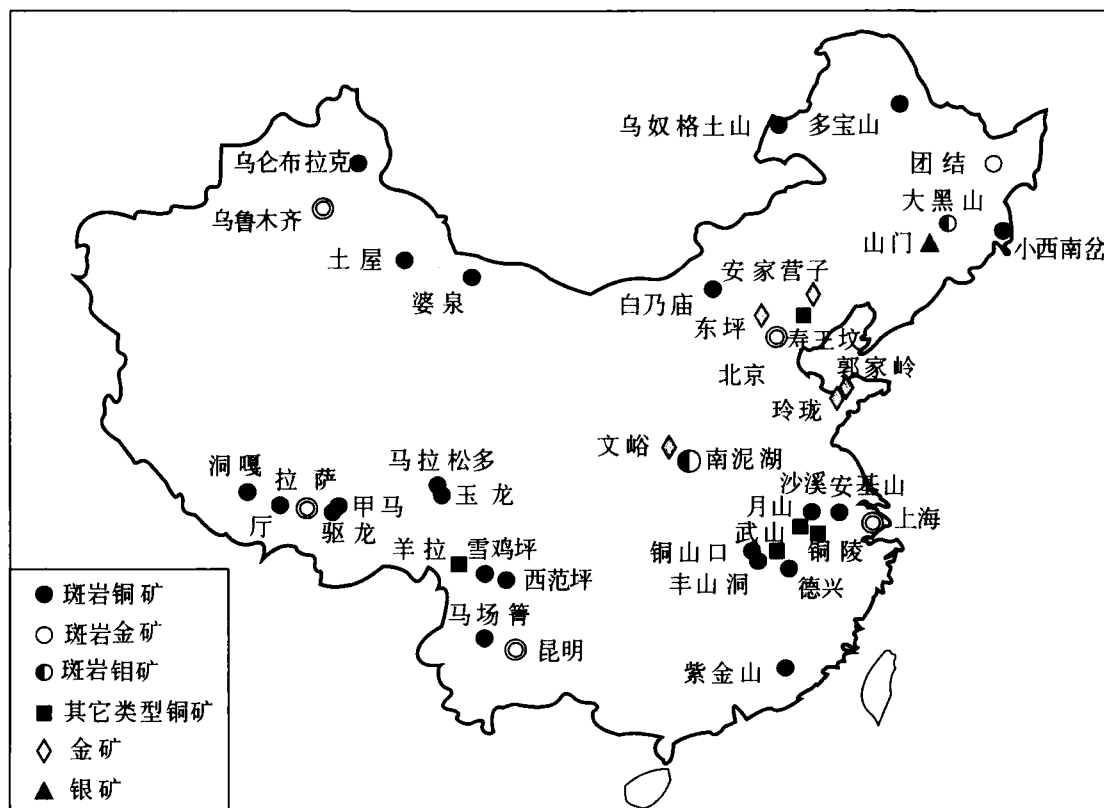


图 1 中国与埃达克岩有关的矿床分布图

Fig. 1 Distribution of adakites-related mineral deposits in China

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、莽总、多霞松多、马拉松多、四川西范坪以及云南马厂箐、宾川小龙潭(薛步高, 2002) 和北衙斑岩铜矿的斑岩等, 也具有埃达克岩的地球化学特征(张旗等, 2002; 王元龙等, 2003)。其他矿种资料较少, 有黑龙江团结沟、新疆阿希(金矿)、吉林山门(银矿)、吉林大黑山和河南南泥湖(钼矿)等, 后者已达世界级规模(戴自希等, 2001)。

(2) 华北地区的 Au 矿大多与埃达克岩有关, 最典型的如胶东、小秦岭和冀北-辽西-(内蒙古)赤峰 3 个地区, 也是目前中国金矿储量和产量最多的区。胶东金矿主要与郭家岭花岗岩闪长岩有关, 郭家岭岩体是埃达克岩, 其时代与金矿成矿时代相近(杨进辉等, 2003)。小秦岭金矿大多产于太古代的太华群中, 成矿时代主要为中生代(128 ~ 126 Ma, 王义天等, 2002), 成矿作用具深源特征, 而附近中生代的文峪、华山、娘娘山花岗岩均具有埃达克岩的地球化学特征(罗铭玖等, 2000)。金矿可以产于岩体内(胶东), 也可以远离岩体产于围岩地层或断裂构造带内(胶东和小秦岭), 归属不同的矿床类型, 但是 Au 的来源及成因与埃达克岩有关。冀北的情况比较复杂, 可能有一部分 Au 矿与埃达克岩有关, 如东坪和北岔沟门(李承东等, 2004, 本刊; 毛德宝等, 2003)。

(3) 长江中下游地区的 Cu(Au、Mo)、Fe 矿床非常发育, 著名的如安徽铜陵(铜官山、狮子山、凤凰山、鸡冠山等)、安庆(月山、沙溪)、滁州琅琊山、江苏安基山、江西武山、城门山和鄂东南(铁山、阳新、封三洞)等, 与成矿作用有关的石英闪长岩、石英闪长玢岩、花岗闪长岩大多为埃达克岩(王强等, 2001, 2003; 王元龙等, 2003)。

2 埃达克岩为什么有利于成矿?

对于这个问题的探讨还刚刚开始。埃达克岩的形成需要很高的温度(850 ~ 1150℃)和压力(1.0 ~ 4.0 GPa), 还需要水的参加(Rapp *et al.*, 2002), 而上述条件也有利于在地幔和基性岩中富集的 Cu、Au、Mo、Ag 等元素的萃取。在板块消减带, 埃达克岩形成在 70 ~ 90 km 深度, 恰恰位于角闪岩相与榴辉岩相转变界面的附近, 可能与角闪石消失时释放出大量的水, 从而降低 MORB 熔融的固相线温度, 有利于形成埃达克质岩浆有关。在加厚的下地壳底部, 埃达克质岩浆的形成可能也与高温高压下角闪岩相向榴辉岩相转变时角闪石的脱水作用有关(Rapp *et al.*, 1995)。相比其它花岗岩类, 埃达克质岩有利于成矿的关键因素就是角闪石的脱水作用(Kay *et al.*, 2001)。角闪石分解产生的大量流体, 不仅有利于埃达克质岩浆的形成, 还有利于金属元素的萃取和迁移。

最近的研究表明, 与正常的长英质岩浆不同, 埃达克质岩浆以富水、富硫和高氧逸度(fO_2)为特征(Oyarzun *et al.*,

2001)。Mungall *et al.* (2002) 则强调斑岩铜矿成矿与板片熔体的高氧逸度(fO_2)有关。认为板片熔体可能携带了大量的 Fe_2O_3 , 而富 Fe_2O_3 的熔体进入地幔楔将导致地幔的 fO_2 增高, 使地幔中的金属硫化物被氧化, 从而有利于地幔中的亲铜元素(如 Au、Cu 等)以硫酸盐的形式进入熔体(Mungall, 2002; 王强等, 2003)。而板片熔融的埃达克岩在上升时与地幔的混合也可能进一步富集来自地幔中的铜和其它金属(侯增谦等, 2003)。此外, 埃达克质岩浆的快速上升也有利于将 Au、Cu 等成矿熔体携带到地壳浅部聚集成矿(王强等, 2003)。

3 如何开创中国 Cu、Au、Ag 等找矿工作的新局面?

中国 Cu 矿资源贫乏, 长期依赖进口, Au 矿保有储量也不容乐观。从保障国家经济安全和国民经济持续健康发展的目标出发, 新增资源量已经成为刻不容缓的任务。如何解决我国铜矿资源贫乏的问题, 开创中国找成低温热液和斑岩型 Cu、Au、Mo、Ag 等找矿工作的新局面? 我们认为, 找矿的类型应当选定斑岩铜矿, 重点锁定与板块消减作用有关的斑岩铜矿, 找矿的战略靶区建议选定古亚洲洋造山带、吉黑东部环太平洋造山带和冈底斯造山带。理由如下:

(1) 斑岩型铜矿是世界铜矿最重要的工业类型, 储量占世界铜储量的 55.3%, 且多集中在超大型-超巨型斑岩矿床中。目前世界 99 个 200 万吨以上的超大型铜矿中, 斑岩型有 63 个, 占铜总储量的 63.1%, 产量占世界铜矿石产量的一半左右。美国约 72% 的铜产量和 70% 的铜资源量来自斑岩铜矿。因此, 寻找超大型和超巨型斑岩铜矿无疑是解决中国铜矿资源的重要出路。

(2) 与埃达克岩有关的超大型和超巨型斑岩铜矿产出的构造环境大体有 3 类: 1, 岛弧环境, 如中北美、菲律宾、东天山; 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。中国目前发现的大型-超大型斑岩铜矿大多属于第 3 种构造环境, 而世界级(超巨型)的斑岩铜矿均与前两类环境有关。从这个角度上说, 我国在斑岩铜矿找矿上还没有真正意义上的突破, 中国斑岩铜矿仍然具有广阔的找矿前景。

(3) 世界与 Cu、Au、Ag、Mo 有关的超大型和超巨型斑岩型矿床主要集中在环太平洋地区, 世界 34 个 500 万吨级以上的超巨型斑岩铜矿有 26 个分布在太平洋东岸(图 2)。因此, 环太平洋带是最值得重视的。许多人认为中国东部属于环太平洋构造-岩浆带的一部分, 而我们认为, 世界上最接近环太平洋构造格局的是晚元古宙-古生代的古亚洲洋造山带(中国北方造山带), 包括中亚和中国北方的广大区域, 该区也是显生宙陆壳增生最强烈的地区。

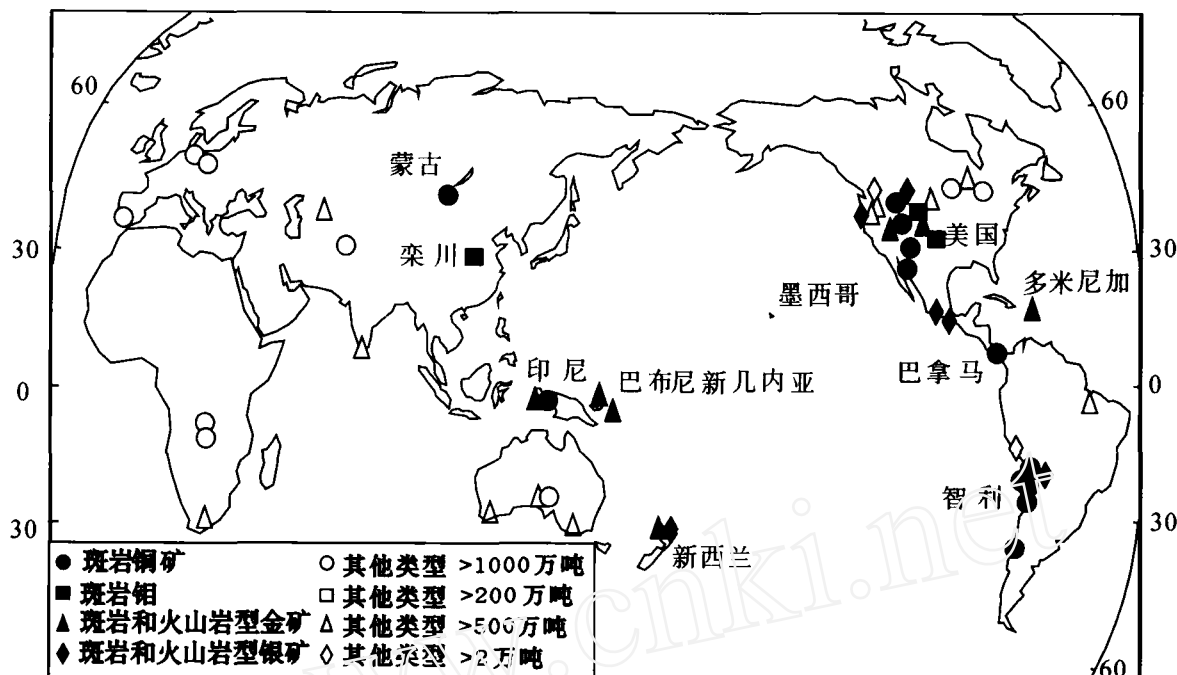


图2 世界级 Cu、Au、Mo、Ag 矿床分布图

(据戴自希等, 2001, 简化)

Fig. 2 Distributions of Cu, Au, Mo, Ag deposits with world-scale ones in the world (after Dai *et al.*, 2001)

4 中国的环太平洋带在哪里?

4.1 中国东部是否中生代环太平洋构造-岩浆-成矿带的一部分?

这个问题已经争论了几十年,大多数学者倾向于认为中国东部中生代属于环太平洋带(郭令智等,1983; Jahn *et al.*, 1990; 邓晋福等,1996,2000; Lapierre *et al.*, 1997; Chen *et al.*, 1998; 李武显等,1999; Zhou *et al.*, 2000),部分学者持相反见解(鲍亦冈等,1995; 谢家莹等,1996; 陆志刚等,1997; 李锦轶,1998; 邵济安等,1999; 张旗等,2001c)。环太平洋带的特征是什么?以美国西部为例,那里新生代的蛇绿岩、弧岩浆岩、兰片岩、消减和增生杂岩非常发育,而古老陆块很少(Howell *et al.*, 1985)。而中国东部(除吉黑东部外)主要由古老陆块组成,中生代既无蛇绿岩也无岛弧岩浆岩(秦克章等,1999b)。

有人提出中国东部属于安底斯型活动大陆边缘(Menzies *et al.*, 1998; 邓晋福等,2000)。安底斯是典型的活动陆缘带,岩浆岩非常发育,以酸性为主,还有相当数量的玄武质岩石出露。而中国东部属于陆内环境,非板块边缘造山带;岩浆活动也以酸性为主,玄武岩很少,安山岩罕见。

有人认为中生代时西太平洋板块的向西俯冲对中国东部有重要的影响(Faure *et al.*, 1996; Davis *et al.*, 1996,

2001; Menzies *et al.*, 1998)。现代的太平洋板块俯冲带在琉球海槽,而弧后带在冲绳海槽,相距不到 300 km。中生代时的古太平洋板块主要向北增生,向西为斜向俯冲(邵济安等,1999)。有人仿照安第斯提出平板俯冲的模式,可安底斯弧中心位置距海沟约 300 km(Kay *et al.*, 2002),而太平洋俯冲带(台湾中央山脉以东)距浙闽沿海已超过 300 km,华南岩浆岩带则宽达 700 km,是岛弧岩浆作用无法解释的。

有人根据对中国东部中生代岩浆岩(包括基性和酸性岩浆岩)的地球化学研究认为其产于岛弧环境。作者认为,花岗岩和酸性火山岩不能用于判别构造环境,即使它们在某些地球化学判别图中落入岛弧区域(张旗等,2001c)。中国东部早白垩世的部分玄武岩的确有岛弧的印记,但对地球化学数据仔细地分析表明,其所反映的可能是受到早先消减事件影响的富集地幔源区的印记,而非形成于岛弧环境的证据。

有人在中国东部划分了许多地体,中国东部是有大陆基底的,而北美西部地体的基底大多由蛇绿岩组成(Coleman, 1984),古老陆壳作为基底的较少。因此,中国东部的所谓地体与北美的地体不是一回事。

因此,中生代的中国东部不属于环太平洋构造-岩浆带。

4.2 古亚洲洋类似环太平洋的特征

对于古亚洲洋究竟属于什么大地构造背景存在不同的认识。Coleman 早在 1989 年就指出,中亚造山带(古亚洲洋

造山带)与北美西部类似,但是,国内学者赞同的很少。有人认为古亚洲洋不同于环太平洋造山带,是以多陆块拼合造山为特征,属于多块体-小洋盆格局。而作者认为古亚洲洋造山带类似北美西部科迪勒拉造山带或现今东南亚的构造格局,理由是:

(1) 古亚洲洋造山带内蛇绿岩、弧岩、片麻岩、消减和增生杂岩非常发育。有证据表明,古亚洲洋曾经是可以与现代太平洋媲美的大洋盆(秦克章,2000;张旗和周国庆,2001)。

(2) 古亚洲洋内陆块很少。有人认为准噶尔盆地具前寒武纪基底,但迄今无可信的证据;有人认为内蒙属于陆间洋盆,锡林郭勒、扎兰屯和新开岭杂岩等是古老地块,可是上述地块迄今发现的可靠的最老的岩石仅 4.4 亿年,有的还是中生代的(张福勤等,未刊)。因此,目前在古亚洲洋内(的中国部分)可以肯定的古老地块似乎只有伊犁地块一个。古亚洲洋内的蛇绿岩非常发育,西准和天山各鉴别出 4 条,东准和内蒙各有 3~4 条。因此,即使有几个小陆块也不妨碍古亚洲洋是大洋盆的认识。古亚洲洋内广泛发育的 β_{Nd} 为正值,说明古亚洲洋造山带主要是由新元古代以来增生的地壳组成的。

(3) 古亚洲洋内奥陶纪-早石炭世的埃达克岩、玻安岩、富 Nb 岛弧玄武岩发育(许继峰等,2001;王强等,待刊;张旗等,2003),埃达克岩多具 O 型埃达克岩的特点,表明古亚洲洋内的消减事件频繁。

(4) 环太平洋带斑岩铜矿世界闻名,其成因主要与板块俯冲作用有关。中亚也是世界重要的低温热液金、铜和斑岩铜矿带,如哈萨克斯坦、乌兹别克斯坦、俄罗斯和蒙古等(涂光炽,1999,2001;戴自希等,2001)。中国北方造山带许多矿产是从中亚延伸过来的。涂光炽(1999)指出,中亚成矿域在矿产资源优势与潜力方面绝不亚于环太平洋成矿域。对中亚斑岩铜矿的资料作者了解较少,但是中国古亚洲洋范围内的斑岩铜矿(土屋、白乃庙、多宝山)均与岛弧环境有关,且均为埃达克岩,也说明其类似环太平洋的特征,是中国斑岩铜矿最可能取得突破性进展的地区。

4.3 吉黑东部属于环太平洋带

吉黑东部从大地构造格局上分属于古生代晚期-早中生代的古太平洋带和中生代的环太平洋构造带,但是,过去很少注意它的找矿潜力。吉黑东部晚古生代-中生代蛇绿岩发育(最近已发现 2~3 条蛇绿岩带,据张福勤等,未刊),而具前寒武纪基底的陆壳很少;吉黑东部岩浆活动的时代不清楚,最近发现大多数花岗岩是中生代的(张艳斌等,2002),花岗岩大多属于 I 型,有许多类似 O 型埃达克岩的特征;已发现的斑岩矿床均与埃达克岩有关,如:黑龙江团结金矿、吉林小西南岔铜矿、吉林大黑山钼矿和四平山门银矿(张旗等,2003);目前的研究程度较低,岩浆岩性质不清,矿床规模不大,但有很大的找矿潜力。

4.4 冈底斯类似安第斯的特点

中国学者很早就注意到,冈底斯类似安第斯的特点。最近在冈底斯地区发现了许多中型-大型-超大型的斑岩铜矿,多是 10~20Ma 时代的,可能与青藏高原近期的地壳加厚事件有关。而我们特别关注的、更有前景的是与板块俯冲有关的(白垩纪-早第三纪)类似安第斯类型的斑岩铜矿,目前,已经发现了该时期的埃达克岩(张旗等,2003)。安第斯斑岩铜矿的 Cu 储量占全球的 60.44%,规模非常之大(张立生,2002)。而冈底斯中段晚白垩世-早第三纪的岩浆活动非常发育,是雅鲁藏布江洋盆向北消减的产物,研究程度极低。我们有理由相信冈底斯有可能成为另外一个“安第斯”。

最近,涂光炽(2001)重申了全球“三大巨型成矿域”的思想,指出三大成矿域(环太平洋成矿域、中亚成矿域和特提斯成矿域)对于研究板块构造与成矿关系方面的特殊意义。中国的吉黑东部属于环太平洋成矿域,古亚洲洋属于中亚成矿域,冈底斯位于(新)特提斯成矿域。作者认为,中亚和(新)特提斯成矿域之所以重要,之所以有巨大的找矿前景,恰恰因为它们的构造-岩浆特征类似于环太平洋成矿域之故。

5 找矿思路

Defant *et al.* (2002) 指出,埃达克岩可以作为找矿标志来使用,埃达克岩和富 Nb 岛弧玄武岩对于找金和铜矿可以与金伯利岩找金刚石相媲美。依据埃达克岩与成矿作用的密切关系,我们认为,对于浅成低温热液和斑岩型 Cu、Au、Mo、Ag 等矿床来说,新的找矿思路可概括为:先找埃达克岩,再找矿。在找矿方法上注意找埃达克岩,重点找与板块俯冲有关的埃达克岩,优先解剖与俯冲有关的矿化条件好的埃达克岩。

(1) 找埃达克岩。因为,与非埃达克岩比较(如岛弧钙碱性岩、玄武岩),埃达克岩更有利于成矿(Oyarzun *et al.*, 2001; 侯增谦等,2003);埃达克岩集中分布区往往是矿产密集的矿集区;当埃达克岩与非埃达克岩共存时,成矿通常与埃达克岩有关(Thieblemont *et al.*, 1997)。

(2) 重点找与板块俯冲有关的埃达克岩。因为,超大型和超巨型(世界级)的斑岩铜矿大多与板块俯冲作用有关。而我国的斑岩铜矿大多产于陆内环境,矿床规模相对较小,品位低,优质矿石少。与板块俯冲有关的埃达克岩包括产于岛弧和活动大陆边缘两种构造环境,前者由于很少与陆壳接触,埃达克岩富钠,属于 O 型埃达克岩(如阿留申群岛, Defant *et al.*, 1990);后者如果有加厚的地壳(如安第斯),则不仅板块俯冲可以形成埃达克岩,下地壳基性岩或底侵玄武岩的部分熔融也可以形成埃达克岩(Atherton *et al.*, 1993; Kay *et al.*, 2002),因此,埃达克岩既有 O 型的,也有 C 型的。安第斯集中了全球大部分铜矿资源,因此,寻找与板块俯冲

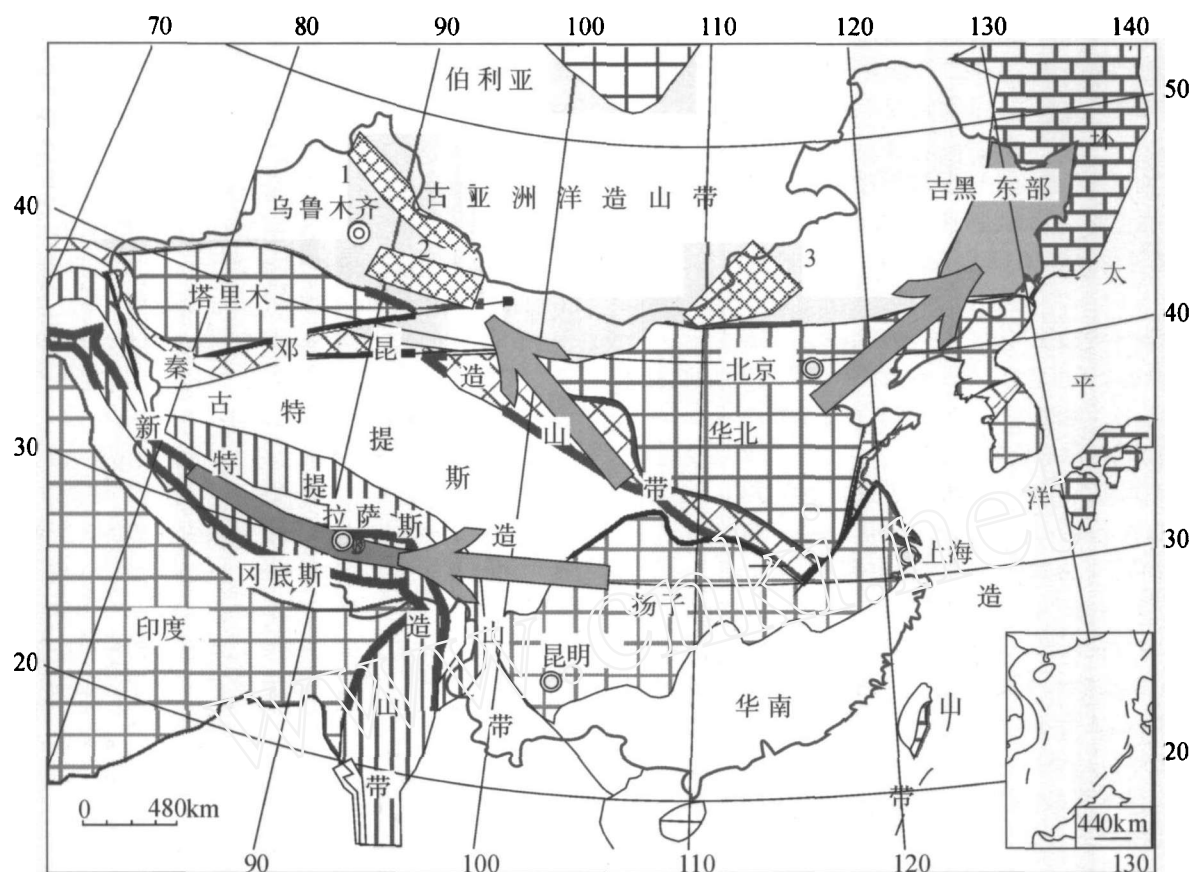


图3 中国斑岩铜矿找矿靶区

箭头指示中国斑岩铜矿找矿的战略转移方向。其中,古亚洲洋内的数字示首选的战略靶区:

1. 阿尔泰西南缘-东准噶尔; 2. 东天山; 3. 内蒙古中部

Fig.3 Exploration areas for porphyry copper in China

有关的(岛弧和活动陆缘环境)埃达克岩是解决我国铜矿资源贫乏的最佳选择。其关键是查明埃达克岩形成的构造环境,而不是埃达克岩的类型。当然,也不应忽略产于陆内环境的C型埃达克岩,因为,毕竟我国现有的大型和超大型Cu、Au、Mo矿床大多与陆内环境的C型埃达克岩有关(德兴、玉龙、胶东、小秦岭、南泥湖等)。

(3) 优先解剖与俯冲有关的、形成深度较浅、规模较小和矿化条件较好的埃达克质岩。因为,这是目前最简捷实用、能在短期内见效的找矿方法。

为此,建议加强埃达克岩研究,开拓低温热液和斑岩铜、金、钼、银等找矿的新思路,促进中国找矿工作的战略转移,酝酿找矿工作的新突破:

(1) 从国家目标出发,调整我国找矿工作的总体布局,实施找矿工作的战略转移:把Cu、Au找矿的重点放在北方造山带、吉黑东部和冈底斯地区(图3)。冈底斯由于地处高原,受开发条件的限制,可以作为战略储备资源来安排(翟明国等,2002);而吉黑东部出露条件差,大地构造格局不清,

近期工作应以基础地质调查为主。因此,建议主攻北方造山带,首选阿尔泰西南缘-东准噶尔、东天山和内蒙古中部3个地区开展普查找矿工作。上述地区埃达克岩(包括火山岩和侵入岩)发育,小岩体多、斑岩多,且已经发现了一些非常有前景矿床(如延东、土屋等)。

(2) 对上述地区以及中国东部高原范围内埃达克岩(C型和O型)分布集中的地区开展系统的中酸性岩浆岩普查,重点查明古亚洲洋地区早石炭世(包括早石炭世)之前、吉黑东部中生代-晚古生代、冈底斯白垩纪-早第三纪、中国东部高原晚侏罗世-早白垩世、高原南北缘印支-燕山早期的具埃达克岩特征的火山岩和侵入岩的分布、地球化学性质和时代。最新的研究成果显示,我国东部仍然具有巨大的资源潜力,可以作为新一轮找矿勘查的重点地段(翟明国等,2002)。

(3) 在埃达克岩分布区选择物化探异常、蚀变和矿化好的地段(包括:岩体内、岩体边缘、隐伏岩体、围岩、火山岩、构造破碎带等等)开展进一步的找矿工作,对有苗头的地段进行钻探验证。

6 值得注意的几个问题

(1) 埃达克岩有利于成矿, 不等于非埃达克岩就不成矿, 如智利的例子; 因此, 要全面分析岩浆与成矿作用的关系。埃达克岩有利于成矿, 不等于每一个埃达克岩体都有矿; 因此, 要注意区分含矿的埃达克岩和不含矿的埃达克岩, 还应注意矿床被保存的情况。

(2) 埃达克岩只与在地幔中富集且能被中酸性岩浆及其流体携带的 Cu、Au、Ag、Mo、Fe 等矿产有关, 这可能即是埃达克岩的成矿专属性了。对应的是来自壳源的与 S 型花岗岩有关的在南岭地区非常丰富的 W、Sn、Te 等矿床。

(3) 强调与板块俯冲有关的埃达克岩有利于成矿, 不等于忽视产于陆内的埃达克岩的找矿潜力。我国目前最大的 Cu、Au 矿床均产于陆内环境, 中国唯一世界级的南泥湖钼矿的斑岩也是产于陆内的。但是, 毕竟世界级的斑岩铜矿与板块俯冲有关, 因此, 解决中国铜矿资源的出路在于寻找与板块俯冲有关的埃达克岩所伴生的斑岩铜矿。此时, O 型和 C 型埃达克岩同样重要。关键是查明埃达克岩形成的构造环境, 而不是埃达克岩的类型。

(4) 成岩作用不同于成矿作用, 成矿作用有自己的规律。温度降低即可使岩体冷却定位; 而成矿作用的温度比岩体固结的温度低得多, 且有更加复杂的制约因素。因此, 找到埃达克岩并非等于找到了矿。成矿和成岩可能大体是同期的, 但不一定有严格的空问关系。

涂光炽先生(2001)指出, 埃达克岩是过去 20 年中特别引起人们兴趣与关注的与成矿有关的两类中酸性岩浆岩之一(另一类为橄榄玄粗岩)。埃达克岩与成矿作用有密切联系的结论, 是从许许多多现象归纳出来的。本文的资料表明, 埃达克岩与成矿作用的关系开创了新的找矿前景、找矿方向和找矿思路, 对解决中国铜矿资源贫乏问题可能有积极的意义。但是, 埃达克岩与成矿作用的关系毕竟是一个新提出来的课题, 还有许多问题不清楚, 需要我们去探索, 希望新的探索能够开创中国找矿工作的新局面。

致谢 王强博士很早致力于埃达克岩与成矿作用关系的研究, 是该领域的开拓者之一, 作者多次与之切磋, 受益匪浅; 毛景文研究员和胡瑞忠研究员在课题研究中给予作者许多帮助和鼓励, 作者在此表示衷心的感谢。

References

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

Bao Y G, Bai Z M, Ge S W, Liu C, et al. 1995. Volcanic Geology and Volcanic Rocks in Yanshan Period from Beijing Area. Beijing: Geological Publishing House, 1 - 164 (in Chinese with English

abstract)

Chen J F, Jahn B M. 1998. Crustal evolution of Southeastern China. *Tectonophysics*, 284: 321 - 338

Coleman R G. 1984. The diversity of ophiolites. *Geologica Mijnbouw*, 63: 141 - 150

Coleman R G. 1989. Continental growth of Northwest China. *Tectonics*, 8: 621 - 635

Dai Z X, Bai Y, Wu C G, Gu F, Zhu M Y, Shang X Z. 2001. A contrastive research on exploration potential in western China and adjacent countries. Beijing: Seismological Press, 1 - 201 (in Chinese with English abstract)

Davis G A, Qian X, Zheng Y, Yu H, Wang C, Tong H M, Gehrels G E, Shafiquallah M, Fryxell J E. 1996. Mesozoic deformation and plutonism in the Yumeng Shan: A Chinese metamorphic core complex north of Beijing, China. In: Yin A and Harrison T M (eds.). *The Tectonic Evolution of Asia*. Cambridge University Press, 253 - 280

Davis G A, Zheng Y D, Wang C, Darby B J, Zhang C H. 2001. Mesozoic tectonics evolution of the Yanshan fold and thrust belt, with emphasis on Hebei and Liaoning provinces, northern China. In: Hendrix M S, Davis G A (eds.). *Paleozoic and Mesozoic Tectonics of Central Asia: From Continental Assembly to Intracontinental Deformation*. Boulder, Colorado: Geological Society of America, 171 - 197

Defant M J and Drummond M S. 1990. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subduction lithosphere. *Nature*, 347: 662 - 665

Defant M J, Xu J F, Kepezhinskas P, Wang Q, Zhang Q, Xiao L. 2002. Adakites: some variations on a theme. *Acta Petrologica Sinica*, 18(2): 129 - 142

Deng J F, Liu H X, Zhao H L. 1996. Yanshanian igneous rocks and orogeny model in Yanshan-Liaoning area. *Geoscience*, 10: 137 - 148 (in Chinese with English abstract)

Deng J F, Zhao G C, Zhao H L, Luo Z H, Dai S Q, Li K M. 2000. Yanshanian igneous petrotectonic assemblage and orogenic-deep processes in East China. *Geological Review*, 46: 41 - 48 (in Chinese with English abstract)

Faure M, Sun Y, Shu L, Monie P, Charvet J. 1996. Extensional tectonics within a subduction-type orogen; the case study of the Wugongshan Dome (Jiangxi province, southeastern China). *Tectonophysics*, 263: 77 - 106

Gao Y F, Hou Z Q, Wei R H. 2003. Neogene porphyries from Gangdese: petrological, geochemical characteristics and geodynamic significances. *Acta Petrologica Sinica*, 19: 418 - 428 (in Chinese with English abstract)

Ge X Y, Li X H, Chen Z G, Li W P. 2002. Geochemistry and petrogenesis of Jurassic high Sr/low Y granitoids in eastern China: Constraints on crustal thickness. *Chinese Science Bulletin*, 47: 961 - 968 (in Chinese)

Guo L Z, Shi Y S, Ma R S. 1983. On the formation and evolution of the Mesozoic-Cenozoic active continental margin and island arc tectonics

- of the western Pacific Ocean. *Acta Geologica Sinica*, 57(1): 11 – 21 (in Chinese with English abstract)
- Hou ZQ, Gao YF, Qu XM, Meng XJ and Huang W. 2004. Genesis of adakitic porphyry and tectonic controls on the Gangdese Miocene porphyry copper belt in the Tibetan orogen. *Acta Petrologica Sinica*, 20(2): 239 – 248 (in Chinese with English abstract)
- Hou Zengqian, Mo Xuanxue, Gao Yongfeng, Qu Xiaoming, Meng Xiangjin. 2003. Adakite, a possible host rock for porphyry copper deposits: case studies of porphyry copper belts in Tibetan Plateau and in northern Chile. *Mineral Deposits*, 22(1): 1 – 12 (in Chinese with English abstract)
- Howell D G, Jones D L, Schermer E R. 1985. Tectonostratigraphic terranes of the Circum-Pacific region. Publ. By the Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources, Houston, Texas, U. S. A., 1985, 3 – 30
- Jahn B M, Zhou X H, Li J L. 1990. Formation and tectonic evolution of southeastern China and Taiwan: Isotopic and geochemical constraints. *Tectonophysics*, 183: 145 – 160
- Kay R W and Kay S M. 2002. Andean adakites: three ways to make them. *Acta Petrologica Sinica*, 18: 303 – 311
- Kay S M, Mpodozie C. 2001. Central Andean ore deposits linker to evolving shallow subduction systems and thickening crust. *GSA Today*, 4 – 9
- Lapierre H, Jahn B M, Charvet J *et al.* 1997. Mesozoic felsic arc magmatism and continental olivine tholeiites in Zhejiang province and their relationship with the tectonic activity in southeastern China. *Tectonophysics*, 274: 321 – 338
- Li C D, Zhang Q, Miao L C, Meng X F. 2004. Mesozoic high-Sr, low-Y and low-Sr, low-Y types granitoids in the northern Hebei province: geochemistry and petrogenesis and their relation to mineralization of gold deposits. *Acta Petrologica Sinica*, 20(2): 269 – 284 (in Chinese with English abstract)
- Li J Y. 1988. Researching on Paleozoic plate tectonics of Karamaili area, east Junggar, Xinjiang. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences. 1 – 271 (in Chinese with English abstract)
- Li W X, Zhou X M. 1999. Late Mesozoic subduction zone of Southeastern China. *Geological Journal of China Universities*, 5: 164 – 168 (in Chinese with English abstract)
- Lu Z G, Tao K Y, Xie J Y, Xie D K, Wang W B, Chen H N, *et al.* 1997. Volcanic Geology and Mineral Resources of Southeast China Continent. Beijing: Geological Publishing House, 1 – 431 (in Chinese with English abstract)
- Luo M J, Li S M, Lu X X, Zheng D Q, Su Z B. 2000. Metallogenesis and deposit series of main mineral resources of Henan Province. Beijing: Geological Publishing House, 1 – 355 (in Chinese with English abstract)
- Mao D B, Chen Z h, Zhong C T, Zuo Y C Sgi S, Hu X D. 2003. Studies on the geochronology and geochemical characteristics of Mesozoic intrusions in Beichagoumen area, northern Hebei province. *Acta Petrologica Sinica*, 19(4): 661 – 674 (in Chinese with English abstract)
- Mao J R, Xu N Z, Hu Q, Xing G F and Yang Z L. 2004. The Mesozoic rock-forming and ore-forming processes and tectonic environment evolution in Shanghang-Datian region, Fujian. *Acta Petrologica Sinica*, 20(2): 285 – 296 (in Chinese with English abstract)
- Menzies M, Xu Y. 1998. Geodynamics of the North China Craton. In: Flower M *et al.* (eds.). *Mantle Dynamics and Plate Interaction in East Asia*. Am. Geophys. Union Geodynamic, 27: 155 – 165
- Mungall J E. 2002. Roasting the mantle: slab melting and the genesis of major Au and Au-rich Cu deposits. *Geology*, 30: 915 – 918
- Oyarzun R, Marquez A, Lillo J, Lopez I, Rivera S. 2001. Giant versus small porphyry copper deposits of Cenozoic age in northern Chile: adakitic versus normal calc-alkaline magmatism. *Mineral Deposit*, 36: 794 – 798
- Qin K Z, Li H M, Li W S, Tshihara S. 1999a. Intrusion and mineralization ages of the Wangeushan porphyry Cu-Mo deposit, Inner Mongolia, Northwestern China. *Geological Review*, 45: 180 – 185 (in Chinese with English abstract)
- Qin K Z, Wang D B, Wang Z T, Sun S. 1999b. Types, geological background, metallogenic provinces and ore-forming systematics of major copper deposits in eastern China. *Mineral Deposits*, 18: 359 – 371 (in Chinese with English abstract)
- Qin K Z. 2000. Metallogenesis in relation to Central-Asia Type Orogeny of Northern Xinjiang. Institute of Geology and Geophysics, CAS, Post-doctor Resourch Report, 1 – 195. (in Chinese with English abstract)
- Qu X M, Hou Z Q, Huang W. 2001. Is Gangdese porphyry copper belt the second “Yulong” copper belt? *Mineral Deposits*, 20: 355 – 366 (in Chinese with English abstract)
- Qu X M, Hou Z Q, Li Y G. 2002. Ore-bearing adakites found in the Gangdese collision-orogenic belt. *Mineral Deposits*, 21 (Suppl.): 215 – 218 (in Chinese with English abstract)
- Rapp R P, Xiao L, Shimizu N. 2002. Experimental constraints on the origin of potassium-rich adakites in eastern China. *Acta Petrologica Sinica*, 18(3): 293 – 302
- Rapp R P and Watson E B. 1995. Dehydration melting of metabasalt at 8 – 32 kbar: implications for continental growth and crust-mantle recycling. *J. Petrol.*, 36: 891 – 931
- Sajona FG, Maury RC. 1998. Association of adakites with gold and copper mineralization in the Philippines. *CR ACAD SCI II A*, 326 (1): 27 – 34
- Sao J A, Zhao G L, Wang Z, Han Q J. 1999. Tectonic setting of Mesozoic volcanism in Da Hinggan Mountains, Northeastern China. *Geological Review*, 45 (Suppl.): 422 – 430 (in Chinese with English abstract)
- Thieblemont D, Stein G, Lescuyer J-L. 1997. Gisements epithermaux et porphyriques: la connexion adakite. *Earth Planet. Sci.*, 325: 103 – 109
- Tu G Z. 1999. On the central Asia metallogenic province. *Scientia Geologica Sinica*, 34: 397 – 404 (in Chinese with English abstract)
- Tu G Z. 2001. The development of the mineral deposit prospecting and research work in the past twenty years: a brief review. *Mineral*

- Deposits, 20: 1-9 (in Chinese with English abstract)
- Wang Q, Zhao Z H, Bai Z H, Bao Z W, Xiong X L, Mei H J, Xu J F, Wang Y X. 2003b. Carboniferous adakites and Nb-enriched arc basaltic rocks association in the Alatau Mountains, north Xinjiang: interactions between slab melt and mantle peridotite and implications for crustal growth. *Chinese Science Bulletin*, 48: 1342-1349 (in Chinese)
- Wang Q, Zhao Z H, Xiong X L, Xu J F. 2001. Melting of the underplating basaltic lower crust: evidence from the Shaxi adakitic sodic quartz diorite-porphyrites, Anhui Province, China. *Geochimica*, 30: 353-362 (in Chinese with English abstract)
- Wang Q, Zhao Z H, Xu J F, Li X H, Bao Z W, Xiong X L, Liu Y M. 2003a. Petrogenesis and metallogenesis of the Yanshanian adakite-like rocks in the Eastern Yangtze Block. *Science in China (D)*, 46 (Suppl.): 164-176
- Wang Y L, Zhang Q, Wang Q, Liu H T, Wang Y. 2003. Study on adakitic rock and Cu-Au mineralization. *Acta Petrologica Sinica*, 19 (3): 543-550 (in Chinese with English abstract)
- Wu F Y, Ge W C, Sun D Y. 2002. The definition, discrimination of adakites and their geological role. In: Xiao Q H, Deng J F, Ma D Q *et al.* (eds.). *The Ways of Investigation on Granitoids*. Beijing: Geological Publishing House, 172-191
- Xie J Y, Tao K Y *et al.* 1996. *Mesozoic Volcanic Geology and Volcano-Intrusive Complexes of Southeast China Continent*. Beijing: Geological Publishing House, 1-277 (in Chinese with English abstract)
- Xu J F, Shinjo R, Defant M J, Wang Q, Robert P. 2002. Origin of Mesozoic adakitic intrusive rocks in the Ningzhen area of east China: Partial melting of delaminated lower continental crust? *Geology*, 30: 1111-1114
- Xu J, Mei H, Yu X, Bai Z, Niu H, Chen F, Zhen Z, Wang Q. 2001. Adakites related to subduction in the northern margin of Junggar arc for the Late Paleozoic: Products of slab melting. *Chinese Science Bulletin*, 46: 1312-1316
- Xue B G. 2002. Geological characters of Xiaolongtan porphyry copper deposit in Binchuan and its prospects for exploration. *Mineral Resources and Geology*, 16: 82-86 (in Chinese with English abstract)
- Yang J H, Chu M F, Liu W, Zhai M G. 2003. Geochemistry and petrogenesis of Guojialing granodiorites from the northwestern Jiaodong Peninsula, eastern China. *Acta Petrologica Sinica*, 19(3): 692-700 (in Chinese with English abstract)
- Zhai M G, Fan W M, Liu J M. 2002. Considerations on the present situation of mineral resources in China and the related scientific issues. *Bulletin of National Science Foundation of China*, (6): 333-337 (in Chinese with English abstract)
- Zhang L C, Qin K Z, Ying J F, Xia B and Shu J S. 2004. The relationship between ore-forming processes and adakitic rock in Tuwu-Yandong porphyry copper metallogenic belt, eastern Tianshan Mountains. *Acta Petrologica Sinica*, 20(2): 259-268 (in Chinese with English abstract)
- Zhang L S. 2002. Copper mineral resources in Corillera. *Mineral Deposits*, 21 (Suppl.): 90-93
- Zhang Q and Zhou G Q. 2001. *Ophiolites of China*. Beijing: Science Press, 1-182 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Qi, Zhao Taiping, Qian Qing, Wang Yuanlong, Yang Jinhui, Wang Yan. 2001. A Discussion on the Yanshanian magmatism in eastern China. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 20: 273-280 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Qi, Wang Yan, Liu Hongtao, Wang Yuanlong, Li Zhitong. 2003. On the space-time distribution and geodynamic environments of adakites in China. *Earth Science Frontier*, 10: 385-400 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Qi, Wang Yuanlong, Zhang Fuqin, Wang Qiang, Wang Yan. 2002. Adakite and porphyry copper deposit. *Geology and Mineral Resources of South China*, (3): 85-90 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Y B, Wu F Y, Li H M, Lu X P, Sun D Y, Zhou H Y. 2002. Single grain zircon U-Pb ages of the Huangniling granite in Jilin province. *Acta Petrologica Sinica*, 18: 475-481 (in Chinese with English abstract)
- Zhou X M, Li W X. 2000. Origin of late Mesozoic igneous rocks in southeastern China: Implications for lithosphere subduction and underplating of mafic magmas. *Tectonophysics*, 326: 269-287
- Zhu D C, Duan L P, Liao Z L, Pan G T. 2002. Discrimination for two kinds of adakites. *Journal of Mineral et Petrologica*, 22(3): 5-9 (in Chinese with English abstract)
- Zhu D C, Pan G T, Duan L P, Xia L, Liao Z L, Wang L Q. 2003. Some problems in the research of adakite. *Northwestern Geology*, 36 (2): 13-19 (in Chinese with English abstract)

附中文参考文献

- 鲍亦冈, 白志民, 葛世伟等. 1995. 北京燕山期火山地质及火山岩. 北京: 地质出版社. 1-164
- 戴自希, 白治, 吴初国, 古芳, 朱明玉, 尚修治(编著). 2001. 中国西部和毗邻国家铜金找矿潜力对比研究. 地震出版社, 1-201
- Defant M J, 许继峰, Kepezhinskas P, 王强, 张旗, 肖龙. 2002. 埃达克岩: 关于其成因的一些不同观点. *岩石学报*, 18: 129-142
- 邓晋福, 刘厚祥, 赵海玲. 1996. 燕辽地区燕山期火成岩与造山模型. *现代地质*, 10: 137-148
- 邓晋福, 赵国春, 赵海玲, 罗照华, 戴圣潜, 李凯明. 2000. 中国东部燕山期火成岩构造组合与造山-深部过程. *地质论评*, 46: 41-48
- 高永丰, 侯增谦, 魏瑞华. 2003. 冈底斯晚第三纪斑岩的岩石学、地球化学及其地球动力学意义. *岩石学报*, 19: 418-428
- 葛小月, 李献华, 陈志刚, 李伍平. 2002. 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. *科学通报*, 47: 474-480
- 郭令智, 施央申, 马瑞士. 1983. 西太平洋中、新生代活动大陆边缘和岛弧构造的形成及演化. *地质学报*, 57(1): 11-21
- 侯增谦, 高永丰, 孟祥金, 曲晓明, 黄卫. 2004. 西藏冈底斯中新世斑岩铜矿带: 埃达克质斑岩成因与构造控制. *岩石学报*, 20

- (2): 239-248
- 侯增谦, 莫宣学, 高永丰, 曲晓明, 孟祥金. 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. 矿床地质, 22: 1-12
- Kay R W, Kay S M. 2002. 安第斯埃达克岩: 三种成因模式. 岩石学报, 18(3): 303-311
- 李承东, 张旗, 苗来成, 孟宪锋. 2004. 冀北中生代高Sr低Y和低Sr低Y型花岗岩: 地球化学、成因及其与成矿作用的关系. 岩石学报, 20(2): 269-284
- 李锦铁. 1998. 中国东北及邻区若干地质构造问题的新认识. 地质论评, 44: 339-347
- 李立主, 杨仕长, 康本和. 1995. 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. 四川地质学报, 15: 283-293
- 李武显, 周新民. 1999. 中国东南部晚中生代俯冲带探索. 高校地质学报, 5: 164-168
- 陆志刚, 陶奎元, 谢家莹等. 1997. 中国东南大陆火山地质及矿产. 北京: 地质出版社, 1-431
- 罗铭玖, 黎世美, 卢欣祥, 郑德琼, 苏振邦(编著). 2000. 河南省主要矿产的成矿作用及矿床系列. 北京: 地质出版社, 1-355
- 毛德宝, 陈志洪, 钟长汀, 左义成, 石森, 胡小蝶. 2003. 冀北北岔沟门地区中生代侵入岩地质年代学和地球化学特征研究. 岩石学报, 19: 661-670
- 毛建仁, 许乃政, 胡青, 邢光福, 杨祝良. 2004. 福建省上杭-大田地区中生代成岩成矿作用与构造环境演化. 岩石学报, 20(2): 285-296
- 秦克章, 李惠民, 李伟实, Tshihara S. 1999a. 内蒙乌奴格吐山斑岩铜铅矿床的成岩、成矿时代. 地质评论, 45: 180-185
- 秦克章, 汪东波, 王之田, 孙枢. 1999b. 中国东部铜矿床类型、成矿环境、成矿集中区与成矿系统. 矿床地质, 18: 359-371
- 秦克章. 2000. 新疆北部古生代中亚型造山与成矿作用. 中国科学院地质与地球物理研究所, 博士后研究报告, 1-195
- 曲晓明, 侯增谦, 黄卫. 2001. 冈底斯斑岩铜矿(化)带: 西藏第二条“玉龙”铜矿带? 矿床地质, 20: 355-366
- 曲晓明, 侯增谦, 李佑国. 2002. 冈底斯碰撞造山带中发现含矿埃达克岩. 矿床地质, 21(增刊): 215-218
- Rapp R P, 肖龙, Shimizu N. 2002. 中国东部富钾埃达克岩成因的实验约束. 岩石学报, 18(3): 293-302
- 邵济安, 赵国龙, 王忠等. 1999. 大兴安岭中生代火山岩活动构造背景. 地质论评, 45(增刊): 422-430
- 涂光炽. 1999. 初议中亚成矿域. 地质科学, 34: 397-404
- 涂光炽. 2001. 过去20年矿床事业发展的概略回顾. 矿床地质, 20: 1-9
- 王强, 赵振华, 熊小林, 许继峰. 2001. 底侵玄武质下地壳的熔融: 来自安徽沙漠 adakite 质富钠石英闪长玢岩的证据. 地球化学, 30: 353-362
- 王强, 赵振华, 许继峰, 李献华, 熊小林, 包志伟, 刘义茂. 2003a. 扬子地块东部燕山期埃达克质(adakite-like)岩与成矿. 中国科学(D), 309-314
- 王强, 赵振华, 白正华, 熊小林, 梅厚钧, 许继峰, 包志伟, 王一先. 2003b. 新疆阿拉套山石炭纪 adakite、富Nb岛弧玄武质岩: 板片熔体与地幔橄榄岩相互作用的证据. 科学通报, 48: 1342-1349
- 王义天, 毛景文, 卢欣祥, 叶安旺. 2002. 河南小秦岭金矿区 Q875 脉中深部矿化蚀变岩的 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄及其意义. 科学通报, 47: 1427-1431
- 王义天, 毛景文, 卢欣祥, 叶安旺. 河南小秦岭金矿区 Q875 脉中深部矿化蚀变岩的 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄及其意义. 科学通报, 2002, 47: 1427-1431
- 王元龙, 张旗, 王强, 刘红涛, 王焰. 2003. 埃达克质岩与Cu-Au成矿作用关系的初步探讨. 岩石学报, 19(3): 543-550
- 吴福元, 葛文春, 孙德有. 2002. 埃达克岩的概念、识别标志及其地质意义. 见: 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, 172-191
- 谢家莹, 陶奎元, 尹家衡等. 1996. 中国东南大陆中生代火山地质及火山-侵入杂岩. 北京: 地质出版社, 1-277
- 许继峰, 梅厚钧, 于学元, 白正华, 牛贺才, 陈繁荣, 郑作平, 王强. 2001. 准噶尔北缘晚古生代岛弧中与俯冲作用有关的 adakite 火山岩: 消减板片部分熔融的产物. 科学通报, 46: 684-687
- 薛步高. 2002. 宾川小龙潭斑岩铜矿地质特征及找矿远景探讨. 矿产与地质, 16: 82-86
- 杨进辉, 朱美妃, 刘伟, 翟明国. 2003. 胶东地区郭家岭花岗闪长岩的地球化学特征及成因. 岩石学报, 19(3): 692-700
- 翟明国, 范蔚茗, 刘建明. 2002. 我国固体矿产资源现状与相关科学问题思考. 中国科学基金, (6): 333-337
- 张立生. 2002. 科迪勒拉山系中的铜矿资源. 矿床地质, 21(增刊): 90-93
- 张连昌, 秦克章, 英基丰, 夏斌, 舒建生. 2004. 东天山土屋-延东斑岩铜矿带埃达克岩及其与成矿作用的关系. 岩石学报, 20(2): 259-268
- 张旗, 周国庆. 2001. 中国蛇绿岩. 北京: 科学出版社, 1-182
- 张旗, 赵太平, 钱青, 王元龙, 杨进辉, 王焰. 2001. 中国东部燕山期岩浆活动的几个问题. 岩石矿物学杂志, 20: 273-280
- 张旗, 王元龙, 张福勤, 王强, 王焰. 2002. 埃达克岩与斑岩铜矿. 华南地质与矿产, (3): 85-90
- 张旗, 王焰, 刘红涛, 王元龙, 李之彤. 2003. 中国埃达克岩的时空分布及其形成背景. 地学前缘, 10: 385-400
- 张艳斌, 吴福元, 李惠民, 路孝平, 孙德有, 周红英. 2002. 吉林黄泥岭花岗岩体的单颗粒锆石U-Pb年龄. 岩石学报, 18(4): 475-481
- 朱弟成, 段丽萍, 廖忠礼, 潘桂棠. 2002. 两类埃达克岩(Adakite)的判别. 矿物岩石, 22(3): 5-9
- 朱弟成, 潘桂棠, 段丽萍, 夏林, 廖忠礼, 王立全. 2003. 埃达克岩研究的几个问题. 西北地质, 36(2): 13-19