

文章编号:0258-7106 (2004) 02-0176-15

中蒙边境及邻区斑岩型铜矿床地质特征及成因^{*}

聂凤军 江思宏 张 义 刘 妍 胡 朋

(中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037)

摘 要 依据金属矿床围岩岩性组合和成矿作用特征,将中蒙边境及邻区分布的斑岩铜矿床(点)划分为 3 种类型: 加里东期经典斑岩铜矿床(点); 海西期经典型和火山岩型斑岩铜矿床; 燕山期深成岩型和火山岩型斑岩铜矿床。在较详细剖析各类金属矿床(点)基本地质特征的基础上,划分了 9 个矿化集中区,并讨论了区域地壳演化与金属成矿作用的关系。研究结果表明,尽管研究区内的金属矿床(点)成矿作用分别发生在加里东期、海西期和燕山期,但是大规模成矿作用发生的时间与海西期板块构造活动的高峰期相吻合,是地壳特定演化阶段构造-岩浆活动的产物。

关键词 地质学 斑岩铜矿床 矿床地质特征 岩浆活动 成矿作用 时空分布 中蒙边境

中图分类号: P618.41

文献标识码: A

中蒙边境及邻区指中国内蒙古、新疆和甘肃与蒙古国及俄罗斯国接壤地带,东西长 2 000 km,南北宽 200 ~ 350 km,面积约 70 万平方公里。从大地构造位置上看,该区地处华北克拉通与西伯利亚地台之间的古生代褶皱带内。区内古生代地层出露广泛,深大断裂纵横交错,岩浆岩十分发育,金属矿床(点)星罗棋布,是中亚成矿带的重要组成部分(芮宗瑶, 2000; 芮宗瑶等, 2002; 徐志刚, 1997; 唐克东, 1992)。

该区系统的区域地质调查和找矿勘查工作始于 20 世纪 50 年代末期,迄今为止,大部分中小比例尺(1:100 万和 1:50 万)区域地质调查和物化探测量工作已经完成。关键地段的 1:20 万和 1:5 万区域矿产地质调查评价亦获得重要进展。通过上述工作,中、蒙、俄 3 国地质工作者先后在研究区发现铜矿床(点)和矿化点数百处,代表性的铜和铜多金属矿床有延东-土屋、公婆泉、白山堂、欧玉陶勒盖(Oyu Tolgoi)、查干苏布尔加(Tsagaan Suurga)、霍各乞、炭窑口、东升庙、白乃庙、奥尤特、小坝梁和乌努格吐,其中蒙古国欧玉陶勒盖矿床以规模大、品位高和杂质少而著称于世(Perello et al., 2001)。据有关专家预测,中蒙边境及邻区将有可能成为本世纪初全球铜矿找矿勘查的“热点”地区之一。因此,认真总结已发现的斑岩铜矿床的地质和地球化学特征,探讨它们的物质来源,查明其成矿作用与构造-岩浆活动的关系,对提高本区斑岩铜矿床理论研究水平和促进隐伏矿床找矿勘查工作均具有重要的理论和实际意义。

1 成矿地质环境

中蒙边境及邻区地处华北克拉通与西伯利亚地台之间

的中亚-蒙古造山带内,属天山-兴安古生代褶皱带的中东部。该褶皱带主要由一系列向南凸的弧形构造-岩浆岩带所构成,它们不仅记载了华北克拉通与西伯利亚地台分而再合的历史,留下了古蒙古洋板块扩张和消亡及其与古大陆碰撞对接过程的痕迹,而且产出有一系列金属矿床(点),为中国北方和蒙古南部最重要的铜、金和稀有金属产地(洪大卫等, 2003; Perello et al., 2001; Berzina A N et al., 1999; Berzina A P et al., 1999)。

尽管地质学家在华北地台和西伯利亚地台运动机制的细节上仍有不同的认识,但是大家均承认,中蒙边境及邻区的主体构造为古大陆边缘地体拼接带。各个地体的形成环境和地质特征变化较大,它们既可以是古生代岩浆弧和断陷盆地,也可以是古陆块和洋壳残片,其中岩浆弧内海西期或燕山期富碱中酸性侵入岩与铜(金)矿床(点)具有密切的空间分布关系(唐克东等, 1992; Cunningham, 1998; Gerel, 1998; Lamb et al., 1998; 1997; 徐志刚, 1997)。

研究区内除了广泛出露有古生代和中生代火山-沉积岩外,局部地段也分布有中新元古界变质岩,其中片麻岩、混合岩、斜长角闪岩和大理岩大多数呈岛弧状或条带状产出,并为各类古生界地层所包裹,属古生代褶皱带中的前寒武系变质杂岩(内蒙古自治区地质矿产局, 1991; 甘肃省地质矿产局, 1989)。奥陶系地层出露范围有限,呈孤岛状或条带状产出,岩性组合为硅质板岩、变质砂岩、灰岩、玄武岩和安山岩。志留系地层的岩性组合为板岩、硬砂岩、灰岩、安山岩、英安岩和流纹岩,中酸性火山岩常常构成斑岩铜多金属矿床的容矿围

^{*} 本文为国家自然科学基金项目(编号:40073015)和国家地质调查项目(编号:K1.3.32 和 200310200001-01)部分研究成果

第一作者简介 聂凤军,男,1956 年生,研究员,博士生导师,主要从事岩石学和矿床地球化学研究。E-mail:nfj@mx.cei.gov.cn。

收稿日期 2004-01-07;改回日期 2004-03-02。张绮玲编辑。

岩。与前述奥陶系和志留系地层相比,研究区内泥盆系地层以分布范围广、厚度大、层序齐全和岩石类型复杂为特征,代表性岩性组合有粉砂岩、泥岩、板岩、生物灰岩和少量火山碎屑岩。石炭系碎屑岩和火山岩分布范围仅次于泥盆系火山-沉积岩地层,代表性岩性组合有板岩、砂岩、灰岩、英安岩和流纹岩。二叠系地层分布范围十分有限,主要岩性组合有砂岩、板岩、生物碎屑岩、凝灰岩和火山角砾岩。鉴于研究区在三叠纪时处于隆升剥蚀环境,因此,中蒙边境及邻区缺失三叠系地层的区域宽达数百公里。侏罗系地层以分布范围大、厚度变化大和岩性组合复杂为特点,代表性岩性组合有各类火山熔岩、沉积岩、火山碎屑岩和泥岩(内蒙古自治区地质矿产局,1991;甘肃省地质矿产局,1989)。

研究区内各个时代、不同类型的侵入岩体十分发育,除了分布有一系列近东西向蛇绿岩带外,还出露有大面积的海西晚期或燕山早期花岗岩。花岗岩类侵入岩大体可划分为南、北两个亚带,即南部钙-碱性和北部碱性系列岩带。南部岩带多出露于中国巴林左旗、克什克腾旗北、阿巴嘎旗和额济纳旗等地,由一系列岩株、岩基和岩脉所构成,岩性为石英闪长岩、英云闪长岩和花岗闪长岩。相比之下,北亚带的主体位于蒙古国境内,向东和西分别延伸至中国内蒙古和新疆境内,代表性岩石类型有碱性花岗岩和正长岩。在所有侵入岩中,以海西期花岗岩类最为发育,并且与铜(金)或铜(钼)矿床(点)具有密切的空间分布关系(洪大卫等,2003;2000)。

2 斑岩铜矿床类型及空间分布特征

2.1 斑岩铜矿床类型

中蒙边境及邻区斑岩铜矿床(点)的产出特点可概述为分布广泛、类型繁多、成矿时代相对集中和容矿围岩岩性复杂(图1和表1)。尽管所有这些矿床(点)可在各种类型的容矿围岩中产出,但是大多数矿床(点)与海西期花岗岩类侵入岩体具密切的空间分布关系,暗示了海西期构造-岩浆活动与铜成矿作用的成因联系。初步统计结果显示,在所调查的56个斑岩铜矿床(点)中,与海西期花岗岩类侵入岩有关的矿床(点)为40个,约占总数的70%,相比之下,与加里东期和燕山期侵入岩有关的矿床(点)分别为3个和13个,分别占总数的5%和25%。不难看到,尽管晚古生代是斑岩铜矿床(点)形成的高峰期,但是古板块早期碰撞和晚期深大断裂活化所诱发的岩浆活动亦可在特定的构造部位形成部分铜矿床(点)。

斑岩铜矿床(点)常见的分类方法有以下3种:根据铜矿床与火成岩的空间分布关系,将斑岩铜矿床划分为经典型、火山岩型和深成岩型;根据金属元素组合,将矿床划分为铜、铜-钼、铜-金和铜-银型;根据成矿主岩的化学性质,将矿床划分为钙-碱质型和碱质型(聂凤军等,2002;2000a)。依据中蒙边境及邻区斑岩铜矿床的实际地质情况,笔者将本区的斑岩铜矿床划分为3种类型:加里东期经典型铜矿床;海西期经典型和火山岩型铜矿床;燕山期深成岩型和火山

岩型铜矿床。

2.2 斑岩铜矿床(点)空间分布特征

根据斑岩型铜矿床(点)的成矿地质环境和空间分布特征,结合地球物理和地球化学资料,可将中蒙边境及邻区划分为9个矿化集中区(A、B、C、D、E、F、G、H、I)(图1),其中除白乃庙-谷那乌苏(E)和多宝山-铜山矿化集中区(G)与加里东期构造-岩浆岩有关,乌努格吐山-八大关区(H)和莲花山-布敦花区(I)矿化集中区与燕山期构造-岩浆岩有关外,其余5处铜矿化集中区内的铜矿床均是海西期构造-岩浆活动的产物。

阿勒泰南缘铜矿化集中区(A)地处西伯利亚板块南缘加波萨尔和沙尔布拉克晚古生代岛弧带,主要由卡拉先格尔铜矿床和索尔库都克铜(钼)矿床以及一系列铜矿点所构成(芮宗瑶,2000;芮宗瑶等,2002)。该区东部为额尔齐斯大断裂,西北部为科克林-阿尔曼太大断裂,两大断裂交汇处产出有极具找矿前景的斑岩铜(钼)矿点。区内出露的地层主要为奥陶系和泥盆系火山-沉积岩以及海西期蛇绿岩套和花岗岩类侵入岩,局部地段见有石炭系酸性火山岩,属活动陆缘岛弧构造环境。研究区内铜和铜(钼)矿床(点)星罗棋布,其中铜矿化多在花岗岩类杂岩体内部产出,部分铜(钼)矿化沿侵入岩体与碳酸盐岩接触带分布,构成砂卡岩型矿体。

尽管觉罗塔格(B)和北山(C)矿化集中区的地理位置不尽相同,但是它们均位于塔里木-华北地台北缘古生代岛弧内(芮宗瑶等,2002;聂凤军等,2002)。觉罗塔格(B)矿化集中区主要由延东、土屋、赤湖和维权铜(钼)矿床以及一系列铜和铜(钼)矿点所构成。区内出露的地层(体)主要为古生代火山-沉积岩地层和海西期花岗岩类侵入岩。铜和铜(钼)矿化大都在火山岩地层中产出,并且与海西期闪长玢岩脉群具有密切的空间分布关系。相比之下,北山(C)矿化集中区主要由公婆泉、额勒根乌兰乌拉、乌珠尔嘎顺和白山堂铜多金属矿床(区)以及一大批物化探异常所构成。除白山堂铜矿床及外围出露有新元古界片岩外,其他几个矿床(点)内分布的地层(体)主要为奥陶系和志留系火山-沉积岩以及海西期花岗岩类侵入岩,局部地段见有泥盆系沉积岩。尽管铜矿化分别发生在不同时代的火山-沉积岩地层内,但是它们均与海西期花岗岩类侵入岩体具有密切的时空分布关系。

欧玉-查干矿化集中区(D)地处西伯利亚板块南缘蒙古古生代岛弧内,由欧玉陶勒盖、查干苏布尔加、卡曼戈泰、查德曼乌、奥尤特欧乌和奥尤特乌兰铜矿床(点)以及一大批铜矿化异常区所构成(张义等,2003;Perello et al.,2001)。矿化集中区内先后探明铜储量2200万吨,黄金400t和钼60万吨,是迄今为止亚洲最大的铜矿区。区内出露的地层(体)主要为志留系和泥盆系火山-沉积岩以及海西期花岗岩类侵入岩,局部地段见有石炭系中酸性火山岩。铜矿化一般出现在泥盆系火山-沉积岩地层内,并且与海西期花岗岩株或岩脉群关系密切。

白乃庙矿化集中区(E)位于华北地台北缘白乃庙-温都尔庙地体的早古生代构造-岩浆带内,主要由白乃庙铜(钼、金)矿床、

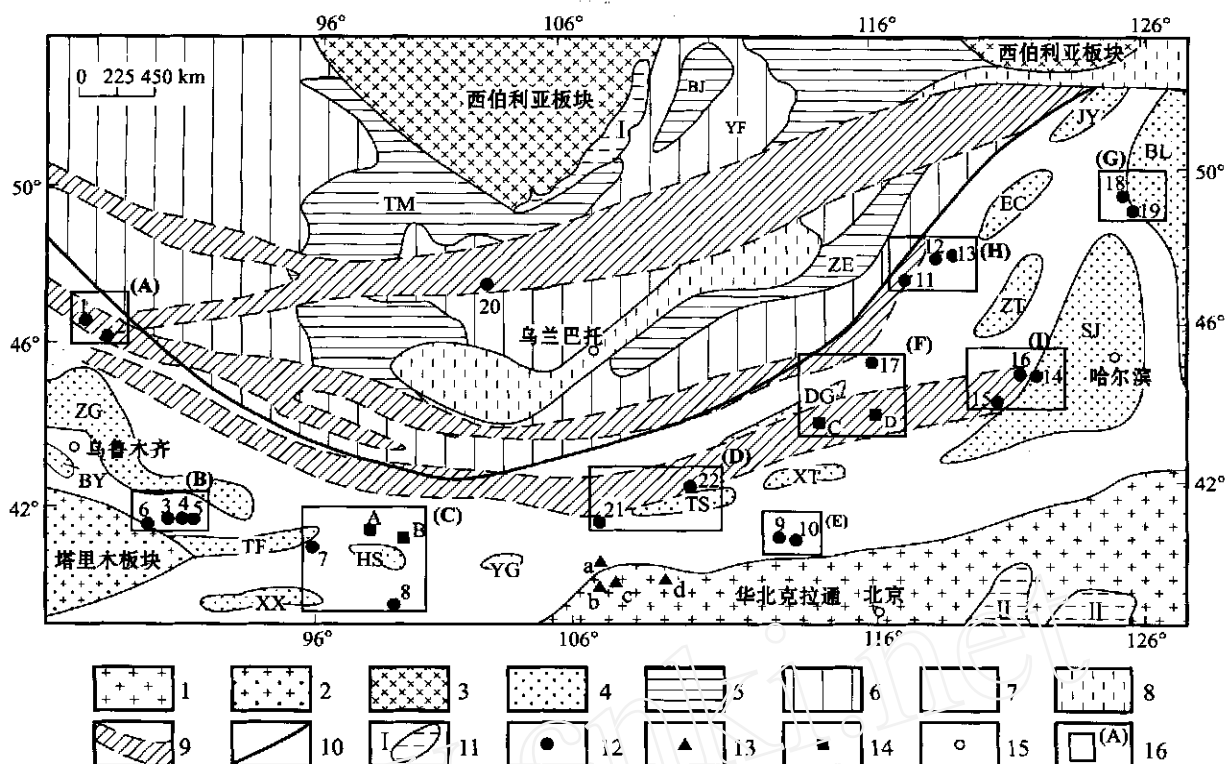


图 1 中蒙边境及邻区地质矿产简图(根据洪大卫等, 2003 资料改编)

1—华北克拉通; 2—塔里木板块; 3—西伯利亚地台; 4—古中华陆块群; 5—西伯利亚陆块群; 6—萨彦-额尔古纳萨拉伊尔(兴凯)造山系; 7—天山-兴安海西期造山系; 8—燕山造山系和喜马拉雅岛弧系; 9—古生代碱性花岗岩带; 10—深大断裂; 11—湖泊或海洋(—贝加尔湖; —渤海); 12—斑岩铜矿床; 13—火山-沉积岩型铜矿床; 14—斑岩铜矿床找矿勘查区; 15—城镇; 16—斑岩铜矿化集中区
古陆块名称: BJ—巴尔古津; YF—雅布洛诺夫; TM—图瓦-蒙古; ZE—中蒙古-额尔古纳; BY—巴尔喀什-伊犁; ZG—准噶尔; TF—吐鲁番; DG—达里甘嘎; ZT—扎兰屯; EC—鄂伦春; JY—结雅; XX—星星峡; HS—旱山; YG—雅干; TS—托托尚; XT—锡林浩特; SJ—松花江; BL—布列亚
斑岩铜矿床(点): 1—卡拉先格尔; 2—索尔库都克; 3—延东; 4—土屋; 5—赤湖; 6—维权; 7—公婆泉; 8—白山堂; 9—白乃庙; 10—谷那乌苏; 11—乌努格吐; 12—八大关; 13—八八—; 14—莲花山; 15—布敦花; 16—闹牛山; 17—奥尤特; 18—多宝山; 19—铜山; 20—额尔登特; 21—欧玉陶勒盖; 22—查干苏布尔加。斑岩铜矿床找矿勘查区: A—乌珠尔嘎顺; B—额勒根乌兰乌拉; C—莫若格钦; D—阿太乌拉。火山-沉积岩型铜矿床: a—霍各乞; b—炭窑口; c—东升庙; d—甲生盘。斑岩铜矿化集中区: 在中蒙边境及邻区共圈定出斑岩铜矿化集中区 9 处, 它们分别是: 阿勒泰南缘(A)、觉罗塔格(B)、北山(C)、欧玉(陶勒盖)-查干(苏布尔加)(D)、白乃庙-谷那乌苏(E)、二连-东乌旗(F)、多宝山-铜山(G)、乌努格吐-八大关(H)和莲花山-布敦花(I)

Fig. 1 Simplified geological map of the China-Mongolia border region and its neighboring areas, showing locations of major porphyry copper deposits (modified after Hong et al., 2003)

1—North China craton; 2—Tarim plate; 3—Siberian platform; 4—Group of Ancient China continental blocks; 5—Group of ancient continental blocks within Siberian platform; 6—Shayan-Ergun-Shalayier (Xingkai) orogenic system; 7—Tianshan-Xinan Hercynian orogenic system; 8—Yanshanian organic system and Himalayan island arc system; 9—Paleozoic alkaline granitoid belts; 10—Deep-seated faults; 11—Lake and oceans (—Oz. Bajkal; —Bahai Sea); 12—Porphyry copper deposits; 13—Copper deposits hosted by volcano-sedimentary rocks; 14—Prospecting areas for porphyry copper deposits; 15—City or town; 16—Porphyry copper metallogenic district.

Precambrian continental blocks: BJ—Baergujing; YF—Yabuluo-uofu; TM—Tuwa-Mongolia; ZE—Central Mongolia-Ergun; BY—Baerkashi Yili; ZG—Junggar; TF—Turpan; DG—Daliganga; ZT—Zalantun; EC—Erlongchun; JY—Jieya; XX—Xingxingxia; HS—Hanshan; YG—Yagan; TS—Tuotuo Shang; XT—Xilinhot; SJ—Songhuajiang; BL—Bulieya

Porphyry copper deposits (ore spots): 1—Kalaxiangeer; 2—Suokuduke; 3—Yandong; 4—Tuwu; 5—Chihu; 6—Weiquan; 7—Gongpoquan; 8—Baishantang; 9—Bainaimiao; 10—Gunawusu; 11—Wunugetu; 12—Badaguan; 13—Babai; 14—Lianhuashan; 15—Budunhua; 16—Naoniushan; 17—Aoyoute; 18—Duobaoshan; 19—Tongshan; 20—Erdenet; 21—Oyu Tolgoi; 22—Tsagaan Suvarga. **Prospecting areas for porphyry copper deposits:** A—Wuzhuergashun; B—Elegenwulanwula; C—Menuogeqin; D—Ataiwula. **Copper deposits hosted by volcano-sedimentary rocks:** a—Huogeqi; b—Tanyaokou; c—Dongshengmiao; d—Jiashengpan. **Porphyry copper mineralization camps:** Up till now, nine metallogenic camps have been identified in the China-Mongolia border region and its neighboring areas, namely, Southern margin of Altay Mountain (A), Kuruktag (B), Beishan Mountain (C), Oyu Tolgoi-Tsagaan Suvarga (D), Bainaimiao-Gunawusu (E), Erenhot-Dong Ujimqin Qi (F), Duobaoshan-Tongshan (G), Wunugetu-Badaguan (H) and Lianhuashan-Budunhua (I)

表 1 中蒙边境及邻区主要斑岩铜矿床(点)一览表

Table 1 Basic geological features of the representative porphyry copper deposits (or prospects) of the China-Mongolia border region and its Neighboring area

矿床名称及构造环境	容矿围岩	侵入岩	矿体特征	金属矿物	脉石矿物	围岩蚀变	规模、品位(平均品位)	资料来源
加里东期矿床-经典型斑岩铜矿床								
内蒙古四子王旗白乃庙铜矿床(9)*	斜长片岩、绿泥斜长片岩和阳起斜长片岩(P _g)以及花岗岩内长斑岩(C _g)	石英闪长岩、花岗岩、长斑岩、内长斑岩和细晶岩(459±2.5)M ₆ 和(429±100)M ₆	脉状、细脉浸染状、条带状和条带状、块状和条带状、长和厚板状矿体	黄铁矿、黄铜矿、辉铜矿、磁黄矿、白铜矿、斑铜矿、银金矿和自然金	长石、石英、角闪石、黑云母、白云母、绢云母、阳起石、绿泥石和方解石	硅化、黑云母化、绢云母化、绿泥石化和碳酸盐化	铜/中、0.4%~1.5% (0.8%); 金/大、(0.8~2)×10 ⁻⁶ ~(1.2~10 ⁻⁹); 银/中、0.02%~0.06% (0.03%)	袁凤军等, 1993
黑龙江多宝山铜(钼)矿床(38)*	安山岩、英安岩、流纹岩、凝灰岩、角闪岩、凝灰岩和凝灰质粉砂岩(O)	花岗岩内长岩、花岗岩内长斑岩、石英闪长岩和花岗岩内长斑岩	脉状、细脉浸染状和致密块状矿体、条带状、板状、柱状和条带状矿体	黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿、辉铜矿、磁黄矿、方解石和自然金	石英、绢云母、辉长石、黑云母、绿泥石和方解石	硅化、钾长石化、黑云母化、绢云母化和青磐岩化	铜/大、0.2%~1.3% (0.45%); 银/大、0.001%~0.32% (0.02%)	杜成, 1988
海西期矿床-火山岩型斑岩铜矿床								
新疆卡拉麦里山铜矿床(1)*	玄武岩、安山岩、凝灰岩、角闪岩、凝灰岩(D ₂)以及内长斑岩(H ₂)	闪长岩、二长岩、似斑状花岗岩和花岗岩内长斑岩(H ₂)	脉状和细脉浸染状、致密块状、板状和似层状矿体	黄铜矿、黄铁矿、斑铜矿、辉铜矿、磁黄矿、方解石和自然金	斜长石、钾长石、角闪石、黑云母、石英、绿泥石和方解石	钾长石化、黑云母化、硅化、黄铁矿化、英岩化和青磐岩化	铜/小、0.3%~1.20% (0.54%); 最高值 3%	芮宗瑶, 2000
新疆阿尔泰山铜(钼)矿床(2)*	粉砂岩、凝灰岩、安山岩、火山角砾岩和英安岩以及内长斑岩(H ₂)	碱性花岗岩、花岗岩和花岗岩内长斑岩(H ₂)	脉状和细脉浸染状、致密块状、板状和似层状矿体	黄铜矿、黄铁矿、斑铜矿、辉铜矿、磁黄矿、方解石和自然金	石英、斜长石、绿帘角闪石、石榴石、方解石和绿泥石	钾长石化、硅化和砂卡岩化	铜/小、0.5%~2.8% (0.86%); 银/小、0.05%~0.74% (0.08%)	芮宗瑶, 2000
新疆哈密土屋铜(钼)矿床(4)*	玄武岩、安山岩、英安岩、火山角砾岩和砂岩以及内长斑岩	闪长斑岩(443~391M ₆)和斜长花岗岩(385~357M ₆)	细脉状、浸染状和团块状、致密块状、板状和似层状矿体	黄铜矿、黄铁矿、斑铜矿、辉铜矿、磁黄矿、方解石和自然金	石英、绢云母、绿帘角闪石、黑云母、阳起石、绿泥石和方解石	硅化、绢云母化、绿帘角闪石化、黑云母化、绿帘角闪石化、高岭土化和明矾石化	铜/大、0.5%~2% (0.72%); 银/中、0.015%~0.23% (0.031%)	芮宗瑶等, 2002; 2001
新疆哈密赤湖铜(钼)矿床(5)*	玄武岩、安山岩、砂岩和凝灰岩以及内长斑岩(H ₂)	斜长花岗岩斑岩、花岗岩内长斑岩和斜长花岗岩(H ₂)	脉状和细脉浸染状、致密块状、板状和似层状矿体	黄铜矿、黄铁矿、斑铜矿、辉铜矿、磁黄矿、方解石和自然金	石英、长石、绢云母、绿帘角闪石、高岭石和方解石	硅化、绢云母化、泥化和青磐岩化	铜/小、0.5%~1.15% (0.67%); 最高值 2.5%	芮宗瑶等, 2002; 2001
甘肃南秦岭公婆泉铜多金属矿床(7)*	云母片岩、凝灰岩、凝灰岩和花岗岩类(5-3)及花岗岩类浅成侵入岩(H ₂)	花岗岩斑岩、英安斑岩和花岗岩内长斑岩(572±16) M ₆	细脉浸染状、网脉状、致密块状、板状和似层状、条带状和厚板状矿体	黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿、辉铜矿、磁黄矿、方解石和自然金	石英、斜长石、钾长石、角闪石、金红石、绢云母和电气石	钾长石化、绢云母化、绿帘角闪石化、高岭土化和明矾石化	铜/中、0.3%~1.02% (0.69%); 最高值 8%	袁凤军等, 2002; 王大为等, 1995
蒙古国成玉陶勒盖铜(金)矿床(21)*	泥岩、玄武岩、凝灰岩、安山岩和凝灰岩(S ₂)以及内长斑岩和斜长花岗岩斑岩	内长斑岩、斜长花岗岩、石英二长岩、长花岗岩、正长花岗岩和碱性花岗岩岩脉群(307±4)M ₆	细脉状、角砾状、浸染状、致密块状、板状和似层状、条带状和厚板状矿体	斑铜矿、黄铜矿、辉铜矿、磁黄矿、方解石和自然金	钾长石、黑云母、石英、绢云母、伊利石、方解石、绿泥石和明矾石	硅化、绢云母化、绿帘角闪石化、高岭土化和明矾石化	铜/大、0.25%~3.58% (0.48%); 金/大、0.02%~3.58% (0.48%)	张义等, 2005; Heib et al., 2001

续表 1 Table 1 (cont.)

矿床名称及构造环境	容矿围岩	侵入岩	矿体特征	金属矿物	脉石矿物	围岩蚀变	规模、品位(平均品位)	资料来源
内蒙古奥五特铜矿床(17)* 西伯利亚地台北缘 缘古生代火山 断陷区	流纹岩、碎屑岩、凝灰岩和英安岩以及砂岩和凝灰岩(D ₁)	黑云母花岗岩、闪长岩、花岗岩和石英斑岩(H ₁)	网脉状和细脉浸染状矿体 状矿体 状矿体	黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、辉铜矿、孔雀石和铜蓝	石英、钾长石、斜长石、电气石、绿泥石和阴云母	硅化、钾长石化、绢云母化、绢英岩化、电气石化和绿泥石化	铜/小, 0.35%~0.78% (0.56%)	张义等, 2003
内蒙古额济纳旗乌珠尔嘎铜矿床(A)* 西伯利亚地台南缘 缘古生代火山 断陷区	安山岩、安山岩、凝灰岩、砂岩、粉砂岩、灰岩、安山岩和粗面安山岩以及花岗岩斑岩和正长花岗岩斑岩	石英闪长岩、花岗闪长岩、闪长岩、花岗岩和石英斑岩(H ₁)	网脉、细脉浸染状矿体 状矿体 状矿体	黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、辉铜矿、孔雀石和自然铜	石英、斜长石、绢云母、电气石和绿泥石	硅化、绢云母化、绿泥石化和碳酸盐化	铜/点, 0.03%~1.43% (0.22%)	聂凤军等, 2002
海西期铜床-深成岩型斑岩铜矿床 蒙古国查干苏尔加铜(银)矿床(22)* 西伯利亚地台南缘 近东西向和北东向深大断裂所控制的古生代岛弧带	安山岩、花岗岩、闪长岩、正长花岗岩、花岗闪长岩、闪长岩、花岗岩和石英斑岩(H ₁)	花岗闪长岩、花岗岩、正长花岗岩、花岗闪长岩、闪长岩、花岗岩和石英斑岩(H ₁)	细脉浸染状和网脉状矿体 状矿体 状矿体	黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、辉铜矿、孔雀石和自然铜	石英、斜长石、绢云母、电气石、绿泥石和方解石	硅化、钾长石化、绢云母化、泥化和青磐岩化	铜/大, 0.3%~1.5% (0.54%); 铜/大, 0.05%~0.8% (0.19%); 银/大, (15~30) × 10 ⁻⁶ (25 × 10 ⁻⁶)	Cerd, 1998
海西期铜床-深成岩型斑岩铜矿床 甘肃金塔山铜矿床(8)* 塔里木盆地北缘 克孜勒苏柯尔克孜自治州 山中地坎东南边缘	安山岩、花岗岩、闪长岩、正长花岗岩、花岗闪长岩、闪长岩、花岗岩和石英斑岩(H ₁)	钾长花岗岩、闪长岩、正长花岗岩、花岗闪长岩、闪长岩、花岗岩和石英斑岩(H ₁)	条带状、透镜体状、脉状、网脉、细脉浸染状	黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、辉铜矿、孔雀石和自然铜	石英、斜长石、绢云母、电气石、绿泥石和方解石	云英岩化、硅化、钾长石化、绿泥石化、碳酸盐化	铜/点, 0.12%~0.58% (0.24%)	Watarabe, 2000
海西期铜床-深成岩型斑岩铜矿床 甘肃金塔山铜矿床(8)* 塔里木盆地北缘 克孜勒苏柯尔克孜自治州 山中地坎东南边缘	安山岩、花岗岩、闪长岩、正长花岗岩、花岗闪长岩、闪长岩、花岗岩和石英斑岩(H ₁)	钾长花岗岩、闪长岩、正长花岗岩、花岗闪长岩、闪长岩、花岗岩和石英斑岩(H ₁)	脉、网脉和细脉浸染状矿体 状矿体 状矿体	黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、辉铜矿、孔雀石和自然铜	石英、斜长石、绢云母、电气石、绿泥石和方解石	硅化、角闪岩化、绢云母化和绿泥石化	铜/中型, Cu 0.8%~1.2% (1.1%); Pb 1.4%~2.9% (2.0%)	聂凤军等, 2002
燕山期铜床-深成岩型斑岩铜矿床 内蒙古新巴尔虎右旗乌努格吐山铜(钼)矿床(11)* 额尔古纳呼伦贝尔市 大新寨西北侧 哈泥沟状断裂旁侧	安山岩、花岗岩、闪长岩、正长花岗岩、花岗闪长岩、闪长岩、花岗岩和石英斑岩(H ₁)	花岗闪长岩、花岗岩、正长花岗岩、花岗闪长岩、闪长岩、花岗岩和石英斑岩(H ₁)	浸染状和细脉状矿体 状矿体 状矿体	黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、辉铜矿、孔雀石和自然铜	石英、斜长石、绢云母、电气石、绿泥石和方解石	硅化、钾长石化、绢云母化、泥化和青磐岩化	铜/大, 0.2%~1.8% (0.46%); 铜/大, 0.01%~0.25% (0.09%)	李伟实, 1999; 王之田等, 1994
燕山期铜床-火山岩型斑岩铜矿床 内蒙古布敦达铜矿床(15)* 西伯利亚地台南缘 构造-岩浆活化带(中生代火山断陷盆地)	安山岩、花岗岩、闪长岩、正长花岗岩、花岗闪长岩、闪长岩、花岗岩和石英斑岩(H ₁)	花岗闪长岩、花岗岩、正长花岗岩、花岗闪长岩、闪长岩、花岗岩和石英斑岩(H ₁)	脉状、网脉状和细脉状矿体 状矿体 状矿体	黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、辉铜矿、孔雀石和自然铜	石英、斜长石、绢云母、电气石、绿泥石和方解石	绢云母化、电气石化、绿泥石化、泥化和青磐岩化	铜/中, 0.3%~0.5% (0.4%)、最高值 2%	盛继福等, 1997
内蒙古莲花山铜(银)矿床(14)* 西伯利亚地台南缘 构造-岩浆活化带(中生代火山断陷盆地)	安山岩、花岗岩、闪长岩、正长花岗岩、花岗闪长岩、闪长岩、花岗岩和石英斑岩(H ₁)	花岗闪长岩、花岗岩、正长花岗岩、花岗闪长岩、闪长岩、花岗岩和石英斑岩(H ₁)	网脉状、脉状和细脉状矿体 状矿体 状矿体	黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、辉铜矿、孔雀石和自然铜	石英、斜长石、绢云母、电气石、绿泥石和方解石	钠长石化、绢云母化、泥化和青磐岩化	铜/中, 0.4%~1.34% (0.78%), 最高值 4.6%	盛继福等, 1997

* 括号中的数字为该矿床在图 1 中的编号; A、B 勘查区在图 1 中的编号; ①—K-Ar 同位素年龄; ②—⁴⁰Ar-³⁹Ar 同位素年龄; ③—Rb-Sr 同位素年龄; ④—Sm-Nd 同位素年龄; ⑤—上侏罗统; ⑥—中侏罗统; P₁—下二叠统; C—石炭系; S₂—上志留统; SD—志留系; D₂—上泥盆统; D₃—中泥盆统; O—奥陶系; Q₁—下奥陶统; P₃—新元古界; Y₂—燕山早期; H₁—海西期; Ca₁—加里东期。

白乃庙金矿床和谷那乌苏铜矿床以及一大批铜和金矿点所构成(聂凤军等,1994;1993;1991;Nie et al.,1999)。区内出露的地层主要有中元古界变质岩和新元古界绿片岩以及加里东期和海西期花岗岩类岩株和岩脉群,另外,在该区的东部还有石炭系中酸性火山岩。需要提及的是,本区的铜、铜(金)和铜(钼)矿床(点)主要产在新元古界绿片岩内[(1130 ±16) Ma,锆石 U-Pb 法;Nie et al.,1991],并且与加里东期花岗岩类侵入岩具有密切的空间分布关系(Nie et al.,1999)。

二连-东乌旗矿化集中区(F)地处西伯利亚板块南缘蒙古古生代岛弧内,主要由奥尤特、莫若格钦、巴润苏格德日图、阿拉盖乌拉、准苏吉花敖包和阿太乌拉铜矿床(点)以及一大批铜矿化异常所构成^①。区内出露的地层主要有奥陶系和泥盆系火山-沉积岩,局部地段见有少量志留系沉积岩。各类海西期侵入岩体分布广泛,其中以闪长岩、花岗闪长岩和碱性花岗岩最为发育。一般来讲,铜和铜(金)矿化主要出现在泥盆系火山-沉积岩地层内,与海西期富碱花岗岩类侵入岩具有密切的空间分布关系(洪大卫等,2003)。

多宝山-铜山矿化集中区(G)地处西伯利亚板块罕达气古生代岛弧带内,由多宝山、铜山、小多宝山、跃进、鸡冠山、小孤山、南沟、小平山、争光和榛子山铜矿床(点)以及一系列铜矿化异常所构成(姚志强等,1997;赵元芝等,1997;杜琦,1988)。区内出露的地层主要为奥陶系和志留系火山-沉积岩,局部地段见有泥盆系、石炭系和白垩系火山岩或沉积岩。海西中-晚期花岗岩类岩株或岩脉群分布广泛,主要岩石类型有石英闪长岩、花岗闪长岩、二长花岗岩、花岗斑岩和英云闪长岩。铜矿体大都产在奥陶系火山-沉积岩地层、花岗斑岩株内部或岩体与围岩接触带中,其空间分布形态主要受一系列向南西突出的北西向弧形断裂所控制。

乌努格吐-八大关(H)和莲花山-布敦花(I)矿化集中区分别位于西伯利亚板块南缘额尔古纳古生代岛弧带和华北板块北缘蒙东南晚古生代岛弧带内(李伟实,1997;盛继福等,1997;王之田等,1994)。尽管它们所处的大地构造单元完全不同,但是其内产出的铜矿床(点)均与古生代陆块上叠加的中生代构造-岩浆活动有关。乌努格吐-八大关矿化集中区由乌努格吐、八大关和八八一铜(钼)矿床(点)以及一系列铜(钼)异常所构成,区内出露的地层主要为新元古界浅变质岩,远离矿床(点)处,见有侏罗系和白垩系火山岩。侵入岩主要为乌努格吐火山-侵入杂岩体,岩性组合为凝灰熔岩、英安质角砾岩、闪长玢岩、二长花岗岩和花岗斑岩。铜(钼)矿化主要在杂岩体内呈细脉浸染状和条带状产出,并且与火山管道中二长花岗斑岩具密切的空间分布关系。与乌努格吐-八大关矿化集中区相比,莲花山-布敦花矿化集中区(I)由莲花山-布敦花、好来宝、扁扁山、台布呆、闹牛山、驼峰山和陈台铜矿床(点)所构成,区内出露的地层(体)主要为二叠系和侏罗系火

山-沉积岩以及燕山期闪长玢岩、花岗闪长岩和花岗斑岩(177 ~ 161 Ma,Rb-Sr 等时线法,盛继福等,1997)。铜矿化大多出现在二叠系或侏罗系安山岩、英安岩、流纹岩、凝灰岩、角砾岩和砂岩内,并且与燕山期花岗岩类侵入岩体具有密切的空间分布关系。

3 代表性斑岩铜矿床地质特征

3.1 加里东期铜矿床

铜矿化主要在新元古宙和早古生界变质岩或火山-沉积岩地层内产出,并且与加里东期浅成侵入岩株或岩脉群具有密切的成因联系。代表性矿床为内蒙古白乃庙铜(钼、金)矿区和黑龙江多宝山铜(钼)矿床。

(1) 白乃庙铜(钼、金)矿区:该矿区包括白乃庙铜(钼、金)矿床、白乃庙金矿床、徐尼乌苏金矿床和谷那乌苏铜矿床以及一系列铜和金矿点,整个矿区东西长 10 km,南北宽 1 ~ 1.5 km,为内蒙古中部地区规模最大的铜和金矿产地。限于篇幅,这里仅对白乃庙铜(钼、金)矿床地质特征进行总结。

白乃庙铜(钼、金)矿床地处华北克拉通-塔里木板块北缘中新元古代地体与早古生代岛弧带的接壤部位(Nie et al.,1999;聂凤军等,1993;)。区内出露的地层主要为中元古界白乃庙群角闪斜长片岩、绿泥斜长片岩和阳起斜长片岩。阳起斜长片岩中锆石 U-Pb 铅同位素等时线年龄为(1130 ±16) Ma(Nie et al.,1991)。另外,在矿区北侧和东北侧分别出露有新元古界温都尔庙群绿片岩和中元古界白银都西群片麻岩、混合岩和斜长角闪岩。侵入岩主要有石英闪长岩、花岗闪长斑岩、闪长玢岩和细晶岩,其中加里东期花岗闪长斑岩[(429 ±100) Ma,全岩 Sm-Nd 等时线法,Nie et al.,1999;(459 ±2.5) Ma,锆石 U-Pb 法,洪大卫等,2003]呈岩株和岩枝侵入于前述白乃庙群绿片岩地层中,并且与铜(钼、金)矿体具有密切的空间分布关系(Nie et al.,1999)。近东西向断裂是白乃庙地区的主要构造形迹,受其多期次活化的影响,区内近东西向、北东向、北西西向和近南北向韧性断裂十分发育,部分韧性剪切构造与铜(钼、金)矿体具有密切的空间分布关系。另外,北东向白乃庙断层将整个矿床切割为南和北 2 个矿带,北矿带以斑岩型细脉浸染状铜(钼)矿化为主,南矿带以发育有绿片岩型条带状和致密块状铜(金)矿化为特点(聂凤军等,1994)。

细脉浸染状和条带状铜(钼、金)矿化大多在中元古界白乃庙群绿片岩地层和加里东期花岗闪长斑岩体内呈透镜状、脉状、似层状和致密块状产出。迄今为止,在矿区范围内先后圈定铜和钼矿体 724 个,其中以绿片岩为容矿围岩的铜矿体有 339 个,占矿体总数的 46.8%,钼矿体 133 个,占 18%;以花岗闪长斑岩为容矿围岩的铜矿体有 110 个,占 15.2%,钼

① 聂凤军,张义,江思宏. 2003. 中蒙边境中东段我国一侧(北山和二连-东乌旗地区)铜金银矿床成矿规律与找矿方向. 中国地质调查局地质调查项目技术报告(内部资料). 1 ~ 14.

矿体 142 个,占 19.6%。各矿体的空间分布特点可概述为:

单个矿体呈叠瓦状和雁行状排列,部分矿体顶部发育有次生氧化富集带;同斑岩型矿体相比,绿片岩型矿体以规模大、连续性好和品位高为特点,个别矿体的倾斜延伸长度远大于其走向长度;各类矿体大多沿容矿围岩层理或片理化带分布,层控的特点明显;次生氧化富集带长 112~710 m,平均值 345 m,宽 5~29 m,平均值 14 m;原生硫化物矿体长 240~1240 m,平均值 585 m,宽为 0.2~45 m,平均值 10 m,倾斜延深 420~905 m,平均值 496 m。绿片岩型矿体的围岩蚀变以强度较弱、类型简单和分带不明显为特点,主要为硅化、绢云母化、绿泥石化和碳酸盐化。相比之下,斑岩型矿体的围岩蚀变以强度较高、类型复杂和分带明显为特征。从矿体中心向外,依次为硅化带、黑云母化带、石英-绢云母化带和青磐岩化带。绿片岩型铜(金)矿石中金属矿物有黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿、磁铁矿、磁黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、斑铜矿、孔雀石和褐铁矿;脉石矿物有石英、黑云母、绢云母、绿泥石、绿帘石和方解石。矿石中铜含量 w_{Cu} 为 0.4%~1.5%,平均值 0.8%; w_{Cu} 为 $(0.8 \sim 2) \times 10^{-6}$,平均值 1.2×10^{-6} ; w_{Mo} 为 0.02%~0.06%,平均值 0.03%。斑岩型铜(钼)矿石中金属矿物有黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿、磁铁矿、白钨矿和斑铜矿;脉石矿物有钾长石、石英、角闪石、黑云母、白云母、绢云母、阳起石、绿泥石和方解石。矿石中的 w_{Cu} 为 0.4%~0.5%,平均值 0.45%; w_{Au} 为 $(0.01 \sim 0.03) \times 10^{-6}$,平均值 0.02×10^{-6} ; w_{Mo} 为 0.03%~0.08%,平均值 0.05%。

聂凤军等(1994;1993)指出,白乃庙铜(钼、金)矿床的成矿作用分别与中元古代海相火山喷溢和加里东期中酸性岩浆侵入活动有关,前者造就了南矿带绿片岩型条带状和块状硫化物矿石,后者形成了北矿带斑岩型细脉浸染状矿石,因此,白乃庙矿床为一典型的复合型铜(钼、金)矿床,其中北矿带属于经典斑岩铜(钼)矿床。

(2) 多宝山铜(钼)矿床:该矿床地处西伯利亚板块东南缘罕达气古生代岛弧带内,属大兴安岭褶皱带与嫩松地块衔接部位(姚志强等,1997;赵元艺等,1997;杜琦,1988)。区内出露的地层主要为中奥陶统玄武安山岩、安山岩、英安岩、流纹岩、凝灰岩、角砾凝灰岩和凝灰质粉砂岩,局部地段见有志留系、泥盆系和石炭系火山-沉积岩地层。多宝山复式岩体呈“弓石燕”状侵位于前述的火山-沉积岩地层中,大部分地段与围岩呈犬牙交错接触关系,岩体出露面积 9 km²,主要岩石类型有花岗闪长岩、花岗闪长斑岩、石英闪长岩和闪长玢岩,其中前两者与铜(钼)矿体关系密切。多宝山矿区的主体构造格局由一系列向南凸的北北西-北西向和北西向背斜、北东向和东西向断裂所构成。背斜多为一些向西南方向陡倾的斜歪褶皱,北西向断裂破碎带呈现出向北西方向收敛和向东南方向撒开的趋势,其中北西向与北东向构造线的交汇部位往往是侵入岩体和矿体产出的有利地段(杜琦,1988)。

浸染状、细脉状和条带状铜(钼)矿化大多出现在中奥陶统玄武岩-安山岩、安山岩和安山质凝灰岩地层中。除少数几个

矿体直接赋存在花岗闪长斑岩株内、外,大多数矿体在其周围 1~500 m 范围内产出,其中 50~150 m 处为矿化最佳地段。铜(钼)矿体多为透镜状、板状、柱状和条带状,单个矿体长度变化范围为 350~1100 m,平均 720 m,宽度几米到几十米,倾斜延深 270~550 m,平均 420 m。近矿体围岩蚀变以强度较高、类型较全、分布较广和叠加明显为特征。从花岗闪长斑岩经花岗闪长岩到围岩,热液蚀变带依次可划分为硅化带、钾长石化-黑云母化带、绢云母化带和青磐岩化带。铜矿化主要在绢云母化带产出,而钼矿化与硅化带和钾硅酸盐蚀变带具有密切的空间分布关系。铜(钼)矿石金属矿物有黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿、辉钼矿、黝铜矿、闪锌矿、方铅矿、自然铜和自然金;脉石矿物有石英、绢云母、钾长石、黑云母、绿泥石和方解石。矿石中的铜含量变化范围为 0.2%~1.3%,平均值 0.45%,钼含量为 0.001%~0.32%,平均值 0.02%,另外,铼、金、银和硒亦可做为伴生组分进行回收。

多宝山复式岩体中花岗闪长岩全岩和角闪石 K-Ar 年龄值分别为 292~256 Ma(3 件样品,平均值 271 Ma)和 397 Ma,全岩 Rb-Sr 等时线年龄为 (310 ± 17) Ma,蚀变花岗闪长岩中绢云母 K-Ar 年龄为 252~209 Ma(5 件样品,平均值 231 Ma),花岗闪长斑岩和蚀变安山岩全岩 K-Ar 年龄分别为 283~225 Ma(2 件样品)和 288~219 Ma(3 件样品,平均值 259 Ma)(姚志强等,1997)。另外,铜(钼)矿石中辉钼矿 Re-Os 等时线年龄为 (506 ± 14) Ma(赵一鸣等,1997)。尽管上述各组同位素年龄数据之间存在矛盾,但是它们还是反映了这样的基本地质事实,即多宝山铜(钼)矿床属多期次构造-岩浆活动的产物,成矿作用始于加里东期,成矿物质来自容矿火山-沉积岩地层、大气降水和深源岩浆热液流体,属于经典斑岩铜(钼)矿床。

3.2 海西期铜矿床

此类矿床大多在晚古生界火山-沉积岩地层中产出,并且与海西期花岗岩类侵入岩具有密切的成因联系。代表性矿床有新疆延东-土屋铜(钼)矿田、甘肃公婆泉铜多金属矿床、蒙古国欧玉陶勒盖铜(金)矿田、蒙古国查干苏布尔加铜(钼)矿床和内蒙古奥尤特铜矿床。

(1) 延东-土屋铜(钼)矿田:该矿田主要由延东、土屋、灵龙和赤湖铜(钼)矿床以及一系列铜矿点所构成,为近年来在中国西北地区找到的最大规模铜(钼)矿田(芮宗瑶等,2001)。考虑到上述 4 处矿床的地质特征极为相似,下面仅以土屋矿床为例,对此类铜矿床的地质特征进行简要总结。

土屋铜钼矿床地处华北克拉通-塔里木板块北缘康古尔塔格和大草滩断裂所挟持的古生代岛弧带内,区内出露的地层主要为石炭系企鵝山群砂岩、灰岩、玄武岩、安山岩、粗安岩、英安岩、流纹岩、角砾熔岩和凝灰岩。侵入岩有闪长玢岩和斜长花岗斑岩岩墙(或岩脉)群,其锆石 U-Pb 同位素等时线年龄分别为 (361 ± 8) Ma, (391 ± 8) Ma 和 (443 ± 26) Ma(芮宗瑶等,2002;2001)。因此,芮宗瑶等(2002;2001)认为本区的火山-沉积岩应划属为泥盆系,而非石炭系。需要提及的

是,延东矿区及外围的主体构造格架由 2 个东西向背斜和 1 个向斜构成,其核部为闪长玢岩和斜长花岗斑岩,两翼为火山-沉积岩。另外,矿区范围内北西向和南北向断裂发育,其交汇部位为最重要的导矿和控矿构造。

透镜状和条带状铜(钼)矿体大多数产在闪长玢岩和斜长花岗斑岩脉群中,其中闪长玢岩为容矿围岩的矿石量约占全部探明矿石量的 80%,以斜长花岗斑岩为容矿围岩的矿石量为 17%,以火山-沉积岩为容矿围岩矿石量仅占 3%。单个矿体长度变化范围为 350~1 300 m,平均 650 m;宽度为 12~78 m,平均 19 m;倾斜延深为 260~600 m,平均 420 m。矿体具有“上窄下宽”和“上陡下缓”的特点,空间形态如同悬挂的“喇叭”。近矿体围岩热液蚀变以强度较高、类型较全和分带较清晰为特征,从矿体中心向外,依次可划分为硅化带、黑云母化带、石英-绢云母化带、泥化带和青磐岩化带,多数铜(钼)矿体沿黑云母化带与石英-绢云母化带接触(或叠加)部位产出。铜(钼)矿石金属矿物有黄铜矿、斑铜矿、黄铁矿、辉钼矿、黝铜矿、碲银矿和银金矿以及孔雀石、蓝铜矿和褐铁矿;脉石矿物有石英、绢云母、黑云母、阳起石、绿泥石和方解石。矿石中铜含量变化范围为 0.5%~2%,平均值 0.72%,钼为 0.015%~0.23%,平均值 0.031%;金为 $(0.11 \sim 0.46) \times 10^{-6}$,平均值 0.16×10^{-6} (芮宗瑶等,2001)。

土屋铜(钼)矿床绢云母 K-Ar 年龄、石英⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄和辉钼矿 Re-Os 年龄分别为 341 Ma,347 Ma 和 (323 ± 2) Ma (芮宗瑶等,2002)。考虑到辉钼矿结晶时间略晚于含铜硫化物,并且结合上述 3 组同位素年龄数据,可以推测,土屋铜钼矿床是海西期构造-岩浆活动的产物。

(2) 公婆泉铜多金属矿床:该矿床地处甘肃省西北部的中部,位于华北克拉通-塔里木板块北缘公婆泉-月牙山地体公婆泉岛弧带(聂凤军等,2002;刘雪亚等,1995)。区内出露的地层主要有中、上志留统公婆泉群安山岩、安山质凝灰熔岩、集块岩、英安岩和大理岩透镜体。侵入岩有海西中期辉长岩、辉绿玢岩、石英闪长玢岩 $[(372 \pm 16) \text{ Ma}, \text{K-Ar 法}]$ 、花岗闪长斑岩 $(336 \sim 340 \text{ Ma}, \text{K-Ar 法})$ 和海西晚期二长花岗岩 $(288 \text{ Ma}, \text{K-Ar 法})$ (聂凤军等,2002;王大为等,1995)。区内分布有一系列 NWW 向、NE 向和 NNW 向断裂外,还可圈定出 1 个破火山口机构和 4 个裂隙式火山机构。有资料表明,这些火山口机构为含矿火山岩和浅成侵入岩所充填,是本区最重要的导矿与控矿构造(聂凤军等,2002)。

公婆泉是一处以铜为主,并且伴生有银、镓、铂和金的中型多金属矿床,其矿化类型大体可划分为斑岩型(约占总储量的 85%)、黄铜矿-黄铁矿-石英脉型(10%)和矽卡岩型(4%)。铜多金属矿化呈脉状、网脉状、条带状和细脉浸染状在各类浅成侵入岩、火山岩和矽卡岩内产出。在公婆泉东西长 16 km、南北宽 5 km 的范围内先后发现和圈定了各类铜多金属矿体 154 条,其中以石英闪长玢岩为容矿围岩的有 50 条,以花岗闪长斑岩为容矿围岩的 77 条和以英安斑岩为容矿围岩的 27 条。这些陡倾斜板状、透镜状和不规则状矿体长几十至百余

米,最长达 400 m,厚几米至几十米,最厚 35 m,倾斜延深可达 1 000 m。矿石中金属矿物主要有黄铜矿、黄铁矿和斑铜矿,次为辉铜矿、方铅矿、闪锌矿和辉钼矿;脉石矿物主要有石英、钾长石和斜长石,次为黑云母、绿泥石、绢云母、白云母、伊利石、电气石、绿帘石和方解石,其中白云母的 K-Ar 同位素年龄为 365 Ma,与石英闪长玢岩形成时间 $(372 \pm 16) \text{ Ma}$ 大体相同(王大为等,1995)。铜含量变化范围一般为 0.25%~2.5%,平均值 0.69%,最高可达 10%。就围岩热液蚀变来讲,自矿体中心向外分别为绢云母-次生石英岩化带、黑云母-石英-钾长石化带和青磐岩化带,局部地段见有角岩化、石英-钠长石化和矽卡岩化带。研究结果表明,公婆泉矿床为岛弧环境中,钙-碱性深源岩浆分异演化的产物,属火山岩型斑岩铜多金属矿床。

(3) 欧玉陶勒盖铜(金)矿田:欧玉陶勒盖铜(金)矿田主要是由南部、西南部、中部和北部 4 个矿床以及一系列铜(金)矿点所构成,为近几年来在中蒙边境地区找到的最大规模铜(金)矿田。截止 2003 年 10 月,以 $w_{\text{Cu}} 0.5\%$ 和 $w_{\text{Ag}} 0.7 \times 10^{-6}$ 为边界品位,已探明的铜储量为 1 500 万吨和黄金储量 400 t,为亚洲目前最大的铜(金)矿田(张义等,2003;Perello et al., 2001)。

欧玉陶勒盖铜(金)矿田地处西伯利亚地台南缘近东西向和北东向深大断裂所挟持的古生代岛弧带内,区内出露的地层主要为志留系和泥盆系泥岩、砂砾岩、玄武质熔岩、安山岩和凝灰岩,局部地段见有奥陶系-石炭系中酸性火山岩和沉积岩(张义等,2003)。侵入岩有闪长玢岩、斜长花岗斑岩、石英二长闪长岩、正长花岗岩和碱性花岗岩岩株或岩脉群,其中闪长玢岩和斜长花岗斑岩与铜(金)矿体具有密切的空间分布关系。近东西向弧形深大断裂是中蒙边境地区的主体构造形迹,受其多期次活动的影响,矿田范围内北西向、近东西向和北东向断裂分布广泛,其中北东向与北西向断层交汇处常常产出具有工业价值的铜(金)矿体(Perello et al., 2001)。欧玉陶勒盖北部、中部、南部和西南部的矿床在空间上的分布如同一个“品”字状,矿化范围分别为 2 000 m \times 1 200 m(北部)、1 300 m \times 600 m(中部)、600 m \times 300 m(南部)和 1 500 m \times 400 m(西南部)。就单个矿体来讲,其长度变化范围为 400~1 200 m,平均值 760 m,宽度为 90~225 m,平均值 120 m;倾斜延深 450~950 m,平均值 620 m。尽管各矿体次生富集带的发育程度各不相同,但是大多数矿体自上而下均可划分出次生氧化富集带、混合矿化带和原生矿化带。次生氧化富集带多呈透镜状、板状和地毯状分布,长约 400~1 100 m,平均 680 m,厚度为 20~35 m,平均 32 m,最厚处可达 78 m。混合矿化带多呈漏斗状和喇叭状,长度为 300~700 m,平均值 450 m,厚度为 20~45 m,平均值 30 m;倾斜延伸可达 400 m。原生矿体多为柱状和筒状,长度为 500~1 200 m,平均值 600 m,厚度 90~174 m,平均值 130 m,倾斜延深可达 950 m。受多期次热液活动的影响,近矿体围岩蚀变以强度大、类型复杂和面积大为特点,自矿体中心向外依次为硅化-钾长石化、黑

云母化、石英-绢云母(电气石)化、泥化和青磐岩化,其中钾硅酸盐蚀变与铜(金)矿化空间分布关系密切。铜(金)矿石大体可划分为氧化型、混合型和原生型3种,其中氧化型矿石主要由辉铜矿、斑铜矿、铜蓝、自然铜、明矾石、伊利石、叶腊石、迪开石、氟氯黄晶、高岭石和石英所构成,混合型矿石为辉铜矿、铜蓝、斑铜矿、砷黝铜矿、硫砷铜矿、硫钼铜矿、黄铜矿、闪锌矿、磁黄铁矿、锡石、石英、绢云母、电气石和绿泥石。相比之下,原生型矿石矿物组合为黄铜矿、黄铁矿、自然金、磁铁矿、钾长石、石英、绢云母、绿泥石、绿帘石和方解石。矿石铜含量变化范围为0.25%~3.58%,平均值0.48%;金含量为 $(0.23 \sim 1.6) \times 10^{-6}$,平均值 0.70×10^{-6} 。

欧玉陶勒盖铜(金)矿床容矿围岩(安山岩)的黑云母和铜(金)矿石中原生明矾石 K-Ar 年龄值分别为 (411 ± 3) Ma 和 (320 ± 3) Ma,成矿期后正长岩脉的黑云母 K-Ar 年龄值为 (307 ± 4) Ma。相比之下,次生氧化富集带内与辉铜矿共生的明矾石的 K-Ar 年龄值分别为 (117 ± 1) Ma 和 (93 ± 1) Ma。根据矿体、容矿围岩和侵入岩体的空间分布关系,结合上述同位素年龄数据,部分学者认为,铜(金)矿化最早发生的时间为加里东晚期(411 Ma),铜(金)矿化发生的高峰期为海西早期(320~307 Ma),原生铜(金)矿体风化淋滤与次生富集作用发生在燕山中-晚期(117~93 Ma)(张义等,2003;Perello et al.,2001),该矿床属火山岩型斑岩铜(金)矿床。

(4) 查干苏布尔加铜(钼)矿床:该矿床是蒙古国仅次于额尔登特(Erdenet)和欧玉陶勒盖(Oyu Tologoi)铜(金)矿床的第三大铜矿床。迄今为止,该矿床探明的铜储量为127万吨、钼4万吨、银1800 t 和黄金26 t(Watanabe et al.,2000;Gerel,1998)。该矿床位于欧玉陶勒盖铜(金)矿田北东方向150 km处,两者所处的大地构造环境基本相似,矿区内出露的地层主要为石炭系砂岩、粉砂岩、灰岩、安山岩和粗面安山岩,局部地段见有侏罗系和白垩系火山-沉积岩。查干苏布尔加侵入杂岩体呈不规则状岩株侵位于古生界火山-沉积岩地层,并且为中生界火山岩所覆盖,出露面积约130 km²,主要岩石类型有花岗岩闪长岩、花岗岩、正长花岗岩、花岗斑岩和正长花岗斑岩,其中最后2类岩石与铜(钼)矿体具有密切的空间分布关系。矿区及外围主体构造为一系列北东向和北西向断裂,以后者最为发育,它们不仅是侵入杂岩体与地层的分界线,同时也是最为重要的导矿和容矿构造。

细脉浸染状和网脉状铜(钼)矿化全部在查干苏布尔加侵入杂岩体西北侧花岗斑岩和正长花岗斑岩体内产出,透镜状、条带状和厚板状铜(钼)矿体长度变化范围为420~1600 m,平均值760 m,宽60~400 m,平均值220 m,倾斜延伸320~700 m,平均值400 m。近矿体围岩蚀变以强度较大、类型较齐全和分带较明显为特征,从矿体中心向外依次为硅化、钾长石化、绢云母化、泥化和青磐岩化,其中绢云母化与铜(钼)矿

化关系密切。铜(钼)矿石金属矿物组合为黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿、辉钼矿、黝铜矿、闪锌矿、磁黄铁矿、碲银矿、磁铁矿和自然银;脉石矿物有石英、绢云母、钾长石、高岭石、迪开石、绿泥石和方解石。矿石中 w_{Cu} 变化范围为0.3%~1.5%,平均值0.54%; w_{Mo} 为0.05%~0.8%,平均值0.19%; w_{Ag} 为 $(15 \sim 30) \times 10^{-6}$,平均值 25×10^{-6} ; w_{Au} 为 $(0.5 \sim 2.0) \times 10^{-6}$,平均值 1.8×10^{-6} 。

查干苏布尔加侵入杂岩体 K-Ar 同位素年龄值变化范围为256~339 Ma,成矿期后细粒花岗岩⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄值为 (324 ± 7) Ma,主矿体内绢云母⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄值为 (365 ± 7) Ma,铜(钼)矿石中辉钼矿 Re-Os 同位素年龄值为 (370 ± 0.8) Ma(Watanabe et al.,2000)。根据野外观察及上述同位素年龄数据,部分学者认为,查干苏布尔加铜(钼)矿床是海西早期构造-岩浆活动的产物(Watanabe et al.,2000;Gerel,1998),属深成岩型斑岩铜(钼)矿床。

(5) 奥尤特铜矿床:该矿床地处西伯利亚地台南缘蒙古古生代岛弧带内,具体构造部位属中生代构造-岩浆活化区火山断陷盆地^①。矿区内主要出露有上泥盆统砂岩、凝灰岩、流纹岩、流纹质凝灰岩、熔结凝灰岩和晶屑凝灰岩,局部地段见有侏罗系中酸性火山岩。古生代花岗岩、石英斑岩和闪长玢岩多呈脉群、岩墙和岩枝状侵位于前述火山-沉积岩地层,其中石英斑岩与铜矿体具有密切的空间分布关系。受晚古生代构造活动影响,矿区范围内北东向、北北东向和北西向断裂破碎带以及火山机构较为发育,其中北西向断裂与似环状破火山机构叠加之处是铜矿体产出的有利部位。

细脉浸染状和条带状铜矿化主要出现在上侏罗统中酸性火山岩地层内,并且受似环状破火山机构的控制。透镜状和条带状矿体大多数由次生氧化富集带和原生硫化物带所构成,其中前者的厚度为2~35 m,最厚处可达50 m。透镜状和条带状原生硫化物矿体长度为60~220 m,平均值127 m,一般宽1~5 m,平均值3 m,最宽可达12 m,倾斜延深120~320 m,平均值220 m。近矿体围岩蚀变以分布范围较广,类型相对简单和分带不明显为特征,主要蚀变类型有硅化、电气石化、绢云母化和绿泥石化。铜矿石的金属矿物组合为黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、辉铜矿、孔雀石、蓝铜矿和褐铁矿;脉石矿物有石英、电气石、绢云母、绿泥石和方解石。次生氧化富集带中矿石的铜含量变化范围为1%~11.8%,平均值2.6%。相比之下,原生硫化物带中矿石铜含量较低,0.25%~0.78%,平均值0.56%。

野外地质调查结果表明,奥尤特铜矿床的成矿作用与晚古生代构造-岩浆活动具有密切的成因联系,成矿物质主要来自幔源岩浆房,属火山岩型斑岩铜矿床。

3.3 燕山期铜矿床

此类矿床大部分产出在中蒙边境东段各类断陷盆地与断

① 聂凤军,张义,江思宏.2003.中蒙边境中东段我国一侧(北山和二连-东乌旗地区)铜(金)银矿床成矿规律与找矿方向.中国地质调查局地质调查项目技术报告(内部资料).1~14.

隆的相邻部位,容矿围岩为前寒武系、古生界和中生界火山-沉积岩地层和燕山期花岗岩类侵入岩,代表性矿床有乌努格吐山铜(钼)矿床和布敦化铜矿床。

(1) 乌努格吐山铜(钼)矿床:该矿床地处西伯利亚地台南缘外贝加尔古生代岛弧上叠加的中生代构造活化带内,其中生代以前的构造环境完全可以与蒙古国欧玉陶勒盖和查干苏布尔加铜矿床相对比(张义等,2003)。区内出露的基底岩层主要为新元古界片岩和泥盆系变质火山-沉积岩,盖层为侏罗系安山岩、英安岩、凝灰岩和砂岩。乌努格吐山火山-侵入杂岩体呈岩株状侵位于前述火山-沉积岩地层,出露面积 0.12 km^2 ,主要岩石类型有黑云母花岗岩、二长花岗斑岩、花岗斑岩、闪长玢岩、流纹斑岩、英安质角砾岩和流纹质角砾凝灰岩,其中二长花岗斑岩与铜(钼)矿化具有密切的成因联系(李伟实,1997)。鉴于乌努格吐山矿床位于得尔布干和满洲里-达赉深大断裂的交汇部位,在隆起和断陷交接带隆起一侧。区内北东向、北北东向、北西向和北北西向断裂分布广泛,是重要的导矿和容矿构造。具有工业价值的铜(钼)矿体主要在线性断裂与环形火山穹隆构造交汇部位产出(王之田,1994)。

细脉浸染状和网脉状铜(钼)矿化大都在乌努格吐山火山-侵入杂岩体内产出,整个矿化带长 3200 m ,宽 $130 \sim 780 \text{ m}$,由 33 个铜矿体和 13 个钼矿体所构成。单个铜、钼或铜-钼矿体多呈透镜状、条带状或板状分布,长度为数百米至近千米,宽度为几十米到数百米,倾斜延深 $300 \sim 650 \text{ m}$,平均值 450 m 。近矿体围岩蚀变以强度较大、分布范围较广和分带较清晰为特点,从含矿斑岩体中心向外,依次可划分为石英-钾长石化带、石英-绢云母化带和水云母化带。受岩体岩性组合的影响,该矿床容矿围岩的青磐岩化不很明显。铜(钼)矿石的金属矿物有黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿、斑铜矿、闪锌矿、黝铜矿、砷黝铜矿、方铅矿、磁黄铁矿和毒砂;脉石矿物有石英、绢云母、钾长石和方解石。铜(钼)矿石中 w_{Cu} 变化范围为 $0.2\% \sim 1.8\%$,平均值 0.46% , w_{Mo} $0.001\% \sim 0.26\%$,平均值 0.019% 。此外,矿石中还含有可以回收利用的银和金等有益元素。

乌努格吐山火山-侵入杂岩体黑云母花岗岩 Rb-Sr 同位素等时线年龄为 $(211 \pm 21) \text{ Ma}$,黑云母花岗岩和二长花岗斑岩 K-Ar 同位素年龄值分别为 187 Ma 和 138 Ma (李伟实,1997)。根据区域构造形迹、含矿岩体和铜(钼)矿体的空间分布关系及上述几组同位素年龄数据,部分学者认为,本区中生代构造作用对古生代基底岩层(体)的叠加改造作用为铜(钼)矿床的形成提供了有利条件,乌努格吐山铜(钼)矿床是印支期-燕山期构造-岩浆活动的产物(李伟实,1997;王之田等,1994),属深成岩型斑岩铜(钼)矿床。

(2) 布敦化铜矿床:该矿床地处华北地台北缘布敦花-天山晚古生代火山弧内,属嫩江旁侧中生代断隆与断陷盆地交接部位(黄崇珂等,2001;盛继福等,1997)。区内出露的地层有下二叠统和中-上侏罗统变质安山岩、英安质凝灰岩、流纹

质凝灰岩、硅质岩和粉砂岩。布敦花杂岩体呈岩株状和岩墙状侵位于前述的火山-沉积岩地层中,出露面积为 2.5 km^2 ,主要岩石类型有花岗闪长岩、斜长花岗斑岩、花岗斑岩以及闪长岩和闪长玢岩,其中斜长花岗斑岩的全岩 Rb-Sr 等时线年龄为 $(166 \pm 2) \text{ Ma}$ (盛继福等,1997)。鉴于铜矿床地处前中生代断隆与中生代断拗交接部位,区内近东西向、北北东向和近南北向断裂分布广泛,其中的部分断层兼具走滑和逆冲特点。一般来讲,前中生代基底深大断裂与侏罗纪新生断层的交汇处是岩体与矿体产出的有利部位。

布敦化铜矿床由孔雀山和金鸡岭 2 个矿段组成,前者的矿化范围长 3000 m ,宽 $600 \sim 1500 \text{ m}$,主要由网脉状和浸染状矿化带所构成;后者长 1800 m ,宽 $300 \sim 800 \text{ m}$,主要为脉状矿化带。野外地质调查结果表明,尽管布敦花杂岩体各类岩石中铜的质量分数高于区域花岗岩类的平均值,但是铜矿体主要在下二叠统火山-沉积岩地层内产出或沿杂岩体与围岩接触带分布,杂岩体内部很少见有铜矿体。透镜状、脉状、条带状和板状矿体长度变化范围为几十米到数百米,最长可达千余米,厚度为 $1 \sim 5 \text{ m}$,最厚处为 26 m ,倾斜延深为 $180 \sim 460 \text{ m}$,平均值 330 m 。近矿体围岩蚀变以分布范围较广、类型较复杂和分带不明显为特点,其中金鸡岭矿段的热液蚀变有硅化、钾长石-黑云母化、电气石化、绢云母化和青磐岩化。相比之下,孔雀山矿段的热液蚀变有硅化、黑云母化、绢云母化、钠长石化和青磐岩化。铜矿石主要金属矿物有黄铜矿、磁黄铁矿、黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、毒砂、辉钼矿、黝铜矿和磁铁矿;脉石矿物有石英、长石、黑云母、角闪石、绿泥石、电气石、方解石和绢云母。矿石中铜的含量为 $0.3\% \sim 2.4\%$,平均值 0.89% 。根据布敦化铜矿床容矿围岩、侵入杂岩体与矿体的空间分布关系,并且结合流体包裹体以及硫、氢、氧、碳、锶和铅同位素数据,部分学者认为,布敦化铜矿床的成矿作用与燕山期构造-岩浆活动有关,成矿物质来自幔源岩浆流体(黄崇珂等,2001;盛继福等,1997),属火山岩型斑岩铜矿床。

4 区域地壳演化与铜成矿作用

众所周知,斑岩型铜矿床大多沿洋壳与古陆壳的衔接地带产出,许多大型矿床均处在古老隆起带与新生拗陷带连接部位的隆起带一侧,并且与深大断裂和中酸性侵入岩体具有密切的空间分布关系,北美洲西部的科迪勒拉、南美洲西部的安第斯、澳大利亚东部的拉契兰和中蒙边境等巨型铜成矿带均属此类成矿环境(芮宗瑶等,2002;聂凤军等,2000a;王之田等,1994;Perello et al., 2001; Nie et al., 2000b; Berzina et al., 1999b; Gerel, 1998)。铜矿床的上述空间分布规律,究其原因,可能是晚期深源(地幔源)富铜岩浆热液流体对早期高铜含量的地层(体)进行叠加改造的结果。

新元古代早期,华北-塔里木地台和西伯利亚地台同属一个古大陆,相似的结晶基底、沉积盖层、古生物群落和古地磁学特征即是很好的例证(刘雪亚等,1995;王荃等,1991)。新

元古代中-晚期(大约在 600 Ma)前,受张裂构造作用的影响,巨大的古陆块发生裂解,进而形成南和北 2 个不同的古陆块,之间出现了一个广阔的大洋盆地-古蒙古洋,此时,两大古板块南、北两侧均属被动型陆缘构造环境。在此之后,受华北地台和西伯利亚地台陆缘构造-岩浆活动的影响,两古陆块之间产出有一系列规模不等、分布形态各异和形成时间不同的地体(图 1),各地体之间的深大断裂带为岩浆和含矿流体的上涌提供了有利通道(张义等,2003;聂凤军等,2002)。

早古生代,古蒙古洋壳开始全方向向北-塔里木地台俯冲,并且使其北缘成为活动型陆缘。尽管各地段在俯冲角度、应力强度、持续时间和影响范围等方面存在着一定的差异,但是持续、强烈的板块俯冲作用导致大规模火山喷发活动,在阿尔泰山缘、觉罗塔格、北山、白乃庙-谷那乌苏和多宝山-铜山等地形成巨厚的海相火山-沉积岩和部分加里东期花岗岩类侵入岩,进而构成早古生代岛弧带岩浆岩带。晚志留世,早期火山弧与古大陆的碰撞作用可能再次诱发构造-岩浆活动,并且在早古生代岛弧、弧后盆地和陆缘带上形成大面积的海西期花岗岩类侵入岩。与华北-塔里木地台北缘相比,早古生代时期,西伯利亚地台南缘属活动陆缘环境,古蒙古洋板块向北的多期次俯冲诱发了大规模构造-岩浆活动,并且形成了一系列向南凸出的弧形陆缘山系,其大地构造演化过程与中生代亚洲东部陆缘-弧-盆体系的演化历史大体相似(王荃等,1991)。多宝山、查干苏布尔加、欧玉陶勒盖、乌珠尔嘎顺、额勒根乌兰乌拉和二连-东乌旗等地的巨厚火山-沉积岩地层及大面积分布的海西期花岗岩即是这一时期岩浆活动的产物。与西伯利亚地台南缘相比,尽管华北-塔里木地台北缘经历过多期次的洋-陆壳俯冲与对接作用,但是并未发现完整的沟-弧-盆体系和向北凸出的弧形构造,其大地构造格局和演化过程与中生代北美大陆科迪勒拉造山带的演化过程相似(聂凤军等,2000a;Nie et al., 2000b;王荃等,1991)。

晚古生代早期,受古大陆边缘地体拼贴与增生作用的影响,西伯利亚地台向南扩展至大兴安岭中部、东乌旗、二连浩特、额济纳旗北、甜水井和蒙古国南部一线。大洋板块向北一侧的消减作用形成泥盆系-石炭系岛弧火山岩和海西期花岗岩,与此同时,在内蒙古南部地区,大洋板块向南一侧的消减作用,同样产生有泥盆系-石炭系岛弧型火山岩和海西期花岗岩类侵入岩。下二叠统与石炭系火山-沉积岩地层的不整合接触关系标志着此期构造运动的终结。晚二叠世,随着古洋壳与陆壳的多期次俯冲与消减,介于华北-塔里木地台和西伯利亚地台之间的大洋盆地逐渐发生收缩,两大古陆块最终沿内蒙古苏尼特右旗-蒙古国索朗克尔一线发生碰撞对接,将华北-塔里木地台与西伯利亚地台拼为一整体。尽管由此所诱发的构造-岩浆活动对碰撞-对接带南北两侧岩层(体)的影响范围分别为 150 km 和 950 km,但是在野外很少能观察到大规模推覆构造、蓝晶石-矽线石变质岩带、“S”型花岗岩体和磨拉石建造(徐志刚,1997)。相比之下,本区以发育有大面积碱性花岗岩和张裂构造为特征。中蒙边境及邻区这种独特的前

中生代构造格局、地质特征和地壳演化过程为国际地质学界所关注(洪大卫等,2003;张义等,2003;Perello et al., 2001;Watanabe et al., 2000;Lamb et al., 1998,1997)。

中生代时期,受研究区东南侧库拉(太平洋)板块向欧亚大陆的俯冲和北侧蒙古-鄂霍茨克洋剪刀式闭合双重作用的影响(徐志刚,1997),中蒙边境中东段发生强烈的断块升降、中酸性火山喷发和岩浆侵入活动,进而形成一系列北东-北东向断陷带和断隆带。一般来讲,侏罗系-白垩系火山-沉积岩大多在断陷盆地中产出,控盆断裂构造多为承袭和改造了的先期断裂。相比之下,花岗岩类侵入岩占据了断隆带的核心部位。斑岩铜矿床主要沿北东-北北东向断隆与断陷盆地交接部位产出,并且与中酸性侵入岩体具有密切的时空分布关系。

无论是古生代洋壳向古大陆的俯冲作用,还是中生代陆壳的再活化作用,它们均可致使富铜洋(或陆)壳、岩层(体)发生重熔(或同熔),并且形成花岗质岩浆。这种岩浆在上侵定位的过程中,一方面发生自身的结晶分异演化,另一方面遭受早期岩层(体)的同化混染,从而使其进一步富集 SiO_2 、 K_2O 和其他成矿组分,进而形成含铜花岗岩类熔浆。在含铜花岗质熔浆完全定位之前,随着岩浆体系的物理化学条件改变(如降温、降压),熔体与富含水和挥发性组分(CO_2 、 Cl^- 、 F^- 、 H_2S)的流体发生分离,进而形成高温和高盐度的含铜(金)或铜(钼)成矿流体,并且形成早期铜(金)或铜(钼)矿石。与此同时,岩浆体系造成的负压环境引起大气降水参与对流循环,致使含矿热液系统具有混合流体的特征。在此期间,由于容矿围岩静岩压力和热液系统静水压力的更替,使岩石发生破裂,成矿流体脉动沉淀,便形成了纵横交错的含铜(钼)或铜(金)石英网脉。在含矿流体从高温至中温的变化过程中,伴随有强烈的钾化、绢(云)英岩化和硅化。根据矿石的矿物共生组合和围岩蚀变的特点判断,在成矿早期的高温石英-硫化物阶段,成矿过程是在低 $f(\text{O}_2)$ 和高 $f(\text{S}_2)$ 的弱酸性还原条件下完成的。相比之下,主成矿期中温和中-低盐度成矿流体的沸腾是矿床中大量黄铜矿、辉钼矿和黄铁矿等硫化物沉淀的根本原因。大多数斑岩热液可进一步演化为低温混合热液,由于前期成矿组分的大量沉淀,此时含矿流体中的铜、钼和金等成矿物质几乎耗尽,故在青磐岩化蚀变带仅见微弱的铜(钼)或铜(金)矿化。至此,铜、钼和金的内生成矿作用过程全部结束。此后,斑岩铜矿床进入表生作用阶段,风化淋滤作用可使铜、钼和金及其他成矿组分进一步富集。因此,富铜(或钼)铁帽和淋滤氧化带均是地表找矿的直接标志。

5 结 论

(1) 根据斑岩铜矿床容矿围岩性质和成矿作用特征,中蒙边境及邻区铜矿床(点)大体可划分为 3 种类型,即加里东期经典型斑岩铜矿床(点);海西期经典型和火山岩型斑岩铜矿床;燕山期深成岩型和火山岩型斑岩铜矿床。在上述铜矿床(点)中,蒙古国欧玉陶勒盖是迄今为止在亚洲地

区找到的最大规模火山岩型斑岩铜(金)矿床,中国内蒙古白乃庙和黑龙江多宝山矿床为加里东期经典斑岩铜(钼)矿床。这两类矿床的成因理论研究和找矿勘查工作值得关注。

(2) 根据斑岩铜矿床(点)空间分布特点,研究区大体可以划分出 9 个矿化集中区:阿勒泰南缘、觉罗塔格、北山、欧玉(陶勒盖)-查干(苏布尔加)、二连-东乌旗、白乃庙-谷那乌苏、多宝山-铜山、乌努格吐-八大关和莲花山-布敦花,其中除白乃庙-谷那乌苏和多宝山-铜山矿化集中区与加里东期构造-岩浆活动有关,乌努格吐-八大关和莲花山-布敦花矿化集中区与燕山期构造-岩浆活动有关外,其余 5 处铜矿化集中区内的铜矿床均是海西期构造-岩浆活动的产物。

(3) 中蒙边境及邻区的斑岩铜矿化强度不仅表现在空间上,同时也表现在时间上。尽管本区斑岩铜矿床的成矿作用分别发生在加里东期、海西期和燕山期,但是大多数矿床的形成时间与海西期板块活动高峰期相吻合,大规模成矿作用与海西期各类岩浆上侵定位和分异演化过程有关。因此,可以认为斑岩铜矿床(点)是地壳特定演化阶段构造-岩浆活动的产物。

References

- Berzina A N, Sotnikov V I, Ponomarchuk V A, et al. 1999. Temporal periods of formation of Cu-Mo porphyry deposits, Siberia and Mongolia [A]. In: Stanley C J, et al., eds. Mineral deposits: Processes to processing [C]. Rotterdam. 1: 321 ~ 324.
- Berzina A P, Sotnikov V I and Berzina A N. 1999. Porphyry Cu-Mo deposits and geodynamic settings, Siberia, Mongolia [A]. In: Stanley C J, et al., eds. Mineral deposits: Processes to processing [C]. Rotterdam. Balkema. 1: 317 ~ 320.
- Cunningham W D. 1998. Lithospheric controls on late Cenozoic construction of the Mongolia Altai [J]. *Tectonics*, 17: 891 ~ 902.
- Du Q. 1988. Duobaoshan porphyry copper deposits [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1 ~ 386 (in Chinese).
- Gansu Bureau of Geology and Mineral Resources (GBGMR). 1989. Regional geology of Gansu Province [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1 ~ 692 (in Chinese with English abstract).
- Gerel O. 1998. Phanerozoic felsic magmatism and related mineralization in Mongolia [J]. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, 49: 239 ~ 248.
- Hong D W, Wang S G, Xie X L, et al. 2000. Genesis of positive (Nd, t) granitoids in the Da Hinggan Mts-Mongolia orogenic belt and continental crustal growth [J]. *Earth Science Frontiers*, 7: 441 ~ 456 (in Chinese with English abstract).
- Hong D W, Wang S G, Xie X L, et al. 2003. Metallogenic province derived from mantle source: a case study of central Asian orogenic belt [J]. *Mineral Deposits*, 22(1): 41 ~ 55 (in Chinese with English abstract).
- Huang C K, Bai Y, Zhu Y S, et al. 2001. Copper deposits of China [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1 ~ 371 (in Chinese).
- Inner Mongolian Bureau of Geology and Mineral Resources (IMBGM). 1991. Regional geology of Inner Mongolian Autonomous Region [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1 ~ 725 (in Chinese with English abstract).
- Lamb M A and Badarch G. 1997. Paleozoic sedimentary basins and volcanic-arc systems of southern Mongolia: New stratigraphic and sedimentological constructions [J]. *International Geology Review*, 39: 542 ~ 576.
- Lamb M A and Cox D. 1998. New $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age data and implications for porphyry copper deposits of Mongolia [J]. *Econ. Geol.*, 93: 524 ~ 529.
- Li W S. 1997. Geology and genetic model of volcano-porphyry copper-polymetallic deposits, southern Humeng [A]. In: Zhao Y M and Zhang D Q, eds. Metallogeny and prospective evaluation of copper-polymetallic deposits in the Da Hinggan Mountain and its adjacent regions [C]. Beijing: Seismological Press. 83 ~ 106 (in Chinese).
- Liu X Y and Wang Q. 1995. Tectonics of the orogenic belts in Beishan Mt., western China and their evolution [J]. *Geological Research*, 28: 37 ~ 48 (in Chinese with English abstract).
- McMillan W J. 1992. Porphyry deposits in the Canadian cordillera ore deposit, tectonic-metallogeny in the Canadian cordillera [A]. Geological Survey of British Columbia Paper 1991-4 [C]. Victoria: Queen's Printer for British Columbia. 253 ~ 276.
- Nie F J, Zhang H T, Chen Q, et al. 1991. The zircon U-Pb age of metamorphosed basic volcanic rocks from the Bainaimiao Group, Inner Mongolia [J]. *Chinese Science Bulletin*, 36(9): 738 ~ 742.
- Nie F J, Pei R F, Wu L S, et al. 1993. Magmatic activity and metallogeny of the Bainaimiao district, Inner Mongolia, People's Republic of China [M]. Beijing: Sci. & Tech. Press. 1 ~ 237 (in Chinese with English abstract).
- Nie F J, Pei R F, Wu L S, et al. 1994. Nd-Sr-Pb isotope study of Copper (gold) and gold deposits in Bainaimiao area, Inner Mongolia [J]. *Mineral Deposits*, 13 (4): 331 ~ 344 (in Chinese with English abstract).
- Nie F J and Bj rlykke Arne. 1999. Nd and Sr isotope constraints on the age and origin of Proterozoic meta-mafic volcanic rocks in Bainaimiao-Wenduermiao district, Inner Mongolia, People's Republic of China [J]. *Continental Dynamics*, 4 (1): 1 ~ 14.
- Nie F J, Jiang S H and Zhao X M. 2000a. New advances on porphyry copper and gold deposits [J]. *Geology of Inner Mongolia*, (2): 1 ~ 11 (in Chinese with English abstract).
- Nie F J, Jiang S H and Zhao X M. 2000b. Ordovician intrusive-related Au-Cu mineralization in central west New South Wales, Australia [J]. *Acta Geologica Sinica*, 74(4): 807 ~ 826.
- Nie F J, Jiang S H, Bai D M, et al. 2002. Metallogeny and ore-prospecting of ore deposits occurring within the conjunction area of Inner Mongolia, Gansu and Xinjiang (Beishan Mt.), northwestern China [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1 ~ 499 (in Chinese with English abstract).
- Perello J, Cox D, Garamjav D, et al. 2001. Oyu Tolgoi, Mongolia: Siluro-Devonian porphyry Cu-Au (Mo) and high-sulfidation Cu mineralization with a Cretaceous chalcocite blanket [J]. *Econ. Geol.*, 96: 1407 ~ 1428.
- Rui Z Y. 2000. Studies on the porphyry copper deposits of northwestern, northern and northeastern China [A]. In: Tu G Z, ed. Super-

- large mineral deposits [C]. Beijing: Science Press. 397 ~ 425 (in Chinese).
- Rui Z Y, Wang F T, Li H H, et al. 2001. Advance of the porphyry copper belt of the eastern Tianshan Mountain, Xinjiang[J]. *Geology in China*, 26 (2): 11 ~ 16 (in Chinese with English abstract).
- Rui Z Y, Li Y L, Wang L S, et al. 2002. The eastern Tianshan porphyry copper belt in Xinjiang and its tectonic framework [J]. *Acta Geologica Sinica*, 76 (1): 83 ~ 94 (in Chinese with English abstract).
- Sheng J F and Fu X Z. 1997. Geology and genetic model of copper polymetallic deposits, Tuquan-Tianshan district[A]. In: Zhao Y M and Zhang D Q, eds. *Metallogeny and prospective evaluation of copper-polymetallic deposits in the Da Hinggan Mountains and its adjacent regions* [C]. Beijing: Seismological Press. 107 ~ 124 (in Chinese).
- Tang K D. 1992. Tectonic evolution and minerogenetic regularities of the fold belt along the northern margin of Sino-Korean plate [M]. Beijing: Peking University Press. 1 ~ 277 (in Chinese with English abstract).
- Wang D W, Zou Z P and Li S X. 1995. On the ore-forming geological features and ore deposit genesis of the Gongpoquan copper deposit, Gansu province [J]. *Northwest Geoscience*, 16(1): 115 ~ 122 (in Chinese with English abstract).
- Wang Q, Liu X Y and Li J Y. 1991. Plate tectonics between Cathaysia and Angaraland in China [M]. Beijing: Peking University Press. 1 ~ 151 (in Chinese with English abstract).
- Wang Z T, Qin K Z and Zhang S L. 1994. Geology and exploration of large copper deposits [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press. 1 ~ 162 (in Chinese with English abstract).
- Watanabe Y and Stein H J. 2000. Re-Os ages for the Erdenet and Tsagaan Suvarga porphyry Cu-Mo deposits, Mongolia, and tectonic implications [J]. *Econ. Geol.*, 95: 1537 ~ 1542.
- Xu Z G. 1997. Tectonic evolution and ore-controlling factors of the Da Hinggan Mountains and its adjacent regions[A]. In: Zhao Y M and Zhang D Q, eds. *Metallogeny and prospective evaluation of copper-polymetallic deposits in the Da Hinggan Mountains and its adjacent regions* [C]. Beijing: Seismological Press. 1 ~ 21 (in Chinese).
- Yao Z Q, Zhang D Q and Zhao Y M. 1997. Geology and genetic model of the Duobaoshan large-scale porphyry copper deposit [A]. In: Zhao Y M and Zhang D Q, eds. *Metallogeny and prospective evaluation of copper-polymetallic deposits in the Da Hinggan Mountains and its adjacent regions* [C]. Beijing: Seismological Press. 48 ~ 82 (in Chinese).
- Zhang Y, Nie F J and Jiang S H. 2003. Discovery of the Oyu Tolgoi porphyry copper-gold deposits along the Sino-Mongolia border and its significance for further mineral exploration [J]. *Geological Bulletin of China*, 22 (9): 708 ~ 712 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Y M, Bi C S, Zou X Q, et al. 1997. The Re-Os isotopic age of molybdenite from Duobaoshan and Tongshan porphyry copper (molybdenum) deposits[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 18 (1): 61 ~ 67 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Y Y, Ma Z H, Feng B Z, et al. 1997. Geochemical and prospecting studies of the Duobaoshan copper metallogenic system [M]. Changchun: Jilin People's Press. 1 ~ 155 (in Chinese).
- 附中文参考文献**
- 杜琦. 1988. 多宝山斑岩铜矿床[M]. 北京:地质出版社. 1 ~ 386.
- 甘肃省地质矿产局. 1989. 甘肃省区域地质志[M]. 北京:地质出版社. 1 ~ 692.
- 洪大卫, 王试光, 谢锡林, 等. 2000. 兴蒙造山带正(Nd, t)值花岗岩的成因和大陆地壳生长[J]. *地学前缘*, 7(2): 441 ~ 456.
- 洪大卫, 王试光, 谢锡林, 等. 2003. 试析地幔来源物质成矿域[J]. *矿床地质*, 22(1): 41 ~ 55.
- 黄崇珂, 白冶, 朱裕生, 等. 2001. 中国铜矿床(上册)[M]. 北京:地质出版社. 1 ~ 371.
- 李伟实. 1997. 呼盟南部浅火山-斑岩铜多金属矿床地质及成矿模式[A]. 见:张德全, 赵一鸣, 主编. *大兴安岭及邻区铜多金属矿床论文集*[C]. 北京:地震出版社. 83 ~ 106.
- 刘雪亚, 王荃. 1995. 中国西部北山造山带的大地构造及其演化[J]. *地学研究*, (28): 37 ~ 48.
- 内蒙古自治区地质矿产局. 1991. 内蒙古自治区区域地质志[M]. 北京:地质出版社. 1 ~ 725.
- 聂凤军, 裴荣富, 吴良士, 等. 1993. 内蒙古白乃庙地区岩浆活动与金属成矿作用[M]. 北京:北京科学技术出版社. 1 ~ 239.
- 聂凤军, 裴荣富, 吴良士, 等. 1994. 内蒙古白乃庙地区铜(金)矿床钼、锶和铅同位素研究[J]. *矿床地质*, 13(4): 331 ~ 344.
- 聂凤军, 江思宏, 赵省民. 2000a. 斑岩型铜金矿床研究新进展[J]. *内蒙古地质*, 2(总第95期): 1 ~ 11.
- 聂凤军, 江思宏, 白大明, 等. 2002. 北山地区金属矿床成矿规律及找矿方向[M]. 北京:地质出版社. 1 ~ 499.
- 芮宗瑶. 2000. 西北、华北、东北斑岩铜矿床研究[A]. 见涂光炽等著. *中国超大型矿床*[C]. 北京:科学出版社. 397 ~ 425.
- 芮宗瑶, 王福同, 李恒海, 等. 2001. 新疆东天山斑岩铜矿带的新进展[J]. *中国地质*, 28(2): 11 ~ 16.
- 芮宗瑶, 刘玉琳, 王龙生, 等. 2002. 新疆东天山斑岩铜矿带及其大地构造格局[J]. *地质学报*, 76(1): 83 ~ 94.
- 盛继福, 付先政. 1997. 突泉-天山地区铜多金属矿床地质及成矿模式[A]. 见:赵一鸣, 张德全, 主编. *大兴安岭及其邻区铜多金属矿床成矿规律与远景评价*[C]. 北京:地震出版社. 107 ~ 124.
- 唐克东. 1992. 中朝板块北侧褶皱带构造演化及成矿规律[M]. 北京:北京大学出版社. 1 ~ 277.
- 王荃, 刘雪亚, 李锦轶. 1991. 中国华夏与安加拉古陆间的板块构造[M]. 北京:北京大学出版社. 1 ~ 151.
- 王大为, 邹治平, 李绍雄. 1995. 甘肃公婆泉铜矿成矿地质特征及矿床成因[J]. *西北地质科学*, 16(1): 115 ~ 122.
- 王之田, 秦克章, 张守林. 1994. 大型铜矿地质与找矿[M]. 北京:冶金工业出版社. 1 ~ 162.
- 徐志刚. 1997. 大兴安岭及其邻区构造演化及控矿作用[A]. 见:赵一鸣, 张德全, 主编. *大兴安岭及其邻区铜多金属矿床成矿规律与远景评价*[C]. 北京:地震出版社. 1 ~ 21.
- 姚志强, 张德全, 赵玉明. 1997. 多宝山大型斑岩铜矿地质及成矿模式[A]. 见:赵一鸣, 张德全, 主编. *大兴安岭及其邻区铜多金属矿床成矿规律与远景评价*[C]. 北京:地震出版社. 48 ~ 82.
- 张义, 聂凤军, 江思宏. 2003. 中蒙边境欧玉陶勒盖大型铜-金矿床的发现及对找矿勘查工作的启示[J]. *地质通报*, 22(9): 708 ~ 712.

- 赵一鸣, 毕承思, 邹晓秋. 1997. 黑龙江多宝山, 铜山大型斑岩铜(钼)矿床中辉钼矿的铼-钨同位素年龄[J]. 地球学报, 18(1): 61~67.
- 赵元艺, 马志红, 冯本智, 等. 1997. 多宝山铜矿床系统地球化学及找矿研究[M]. 长春: 吉林人民出版社. 1~155.

Geological Features and Origin of Porphyry Copper Deposits in China-Mongolia Border Region and Its Neighboring Areas

Nie Fengjun, Jiang Sihong, Zhang Yi, Liu Yan and Hu Peng
(Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China)

Abstract

The China-Mongolia border region and its neighboring areas are located at the convergence zone of Siberian platform, Tarim plate and North China craton, and serve as one of the most important copper metallogenic provinces in the world. Deep-seated faults, Paleozoic igneous rocks and porphyry copper deposits (ore spots) are well developed in this region due to the multiphase Paleozoic orogenic events. The porphyry copper deposits there can be classified into three types in terms of their host rocks and ore-forming periods: (1) Caledonian classic porphyry copper deposits, (2) Hercynian classic and volcanic porphyry copper deposits, and (3) Yanshanian plutonic and volcanic porphyry copper deposits. Based on systematic studies of the representative porphyry copper deposits, the authors have recognized nine mineralization concentration camps, i.e., southern margin of Altay Mountain (A), Kuruktag (B), Beishan Mountain (C), Oyu Tolgoi-Tsagaan Suvarga (D), Bainaimiao-Gunawusu (E), Erenhot-Dong Ujimqin Qi (F), Duobaoshan-Tongshan (G), Wunugetu-Badaguan (H) and Lianhuashan-Budunhua (I). Among these nine camps, porphyry copper deposits occurring within Camps D and G are spatially and temporally associated with Caledonian granitoid porphyry intrusions, whereas the deposits located in Camps A, B, C, D and F are related to Hercynian granitoid porphyry intrusions. In contrast, the porphyry copper deposits of Camps H and I occur generally within the Yanshanian granitoid porphyry intrusions and their wall rocks. The relationship between the crustal evolution and the metallogeny can be summarized as follows: (1) in Early Paleozoic stage, Caledonian tectono-magmatism caused by early subduction of ancient Mongolian oceanic plate and North China craton resulted in the formation of several classic porphyry copper deposits; (2) in Late Paleozoic stage, a great number of classic and volcanic porphyry copper deposits were formed by Hercynian tectono-magmatism due to the multiple collision and subduction of various plates and blocks; (3) in Mesozoic stage, some plutonic and volcanic porphyry copper deposits were genetically related to the emplacement of Yanshanian granitoids caused by the remobilization of the early-formed deep-seated faults and basements. Systematic geological investigations on the base metal resources of this region indicate that, although the wall rocks of these copper deposits vary from place to place, most of them have an intimate relationship with the Hercynian tectonism and magmatism. Geological and geochemical features of these deposits have aroused interests among geologists both in China and abroad. An integrated analysis of the geological setting and geological-geochemical features of these deposits and their related wall rocks would greatly upgrade the understanding of the ore-forming processes of porphyry copper deposits. Meanwhile, the genetic model and mineral exploration criteria of these metallic deposits can also be used to make comprehensive evaluation of concealed copper deposits in the China-Mongolia border region and its neighboring areas.

Key words: geology, porphyry copper deposit, geological features of ore deposit, igneous activity, metallogeny, spatial-temporal distribution, China-Mongolia border region