

朱明帅, Baatar Munkhtsengel, 苗来成, 等. 戈壁天山-北山-天山斑岩型铜(金钼)矿床地质特征与成矿时代对比分析及意义[J]. 中国地质, 2014, 41(4): 1059-1079.

Zhu Mingshuai, Anaad Chimedtseren, Miao Laicheng, et al. A comparative analysis of geological characteristics and mineralization epochs of porphyry-type Cu (Au-Mo) deposits in Mongolian Gebi-Tianshan and Chinese Beishan-Tianshan and its significance[J]. Geology in China, 2014, 41(4): 1059-1079(in Chinese with English abstract).

## 戈壁天山-北山-天山斑岩型铜(金钼)矿床 地质特征与成矿时代对比分析及意义

朱明帅<sup>1</sup> Baatar Munkhtsengel<sup>2</sup> 苗来成<sup>1</sup> Anaad Chimedtseren<sup>2</sup> 杨顺虎<sup>1</sup> 李月明<sup>1</sup>

(1. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029; 2. School of Geology and Petroleum Engineering, Mongolian University of Science and Technology, Ulaanbaatar 210646, Mongolia)

**摘要:**近年来,蒙古戈壁天山和中国北山-天山地区均发现重要斑岩型铜(金钼)矿床,但这些斑岩型矿床是否属于同一条斑岩成矿带一直没有明确的结论。本文通过对戈壁天山、北山、天山典型斑岩矿床地质特征和成岩成矿年龄学资料的分析 and 总结,发现这些地区的斑岩型矿床均主要形成于泥盆-石炭纪岛弧背景之下,并且大多数矿床与埃达克岩有关。因此,提出它们应属于同一斑岩成矿带,与世界新生代巨型斑岩成矿带形成背景相似,暗示中亚造山带具有重大的资源潜力。

**关键词:** 戈壁天山; 斑岩铜钼矿; 埃达克岩; 岛弧

中图分类号: P618.41; P618.51; P618.65 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2014)04-1059-21

斑岩型矿床的特点是矿床规模大、埋藏浅、品位较低但矿化分布均匀,并且矿石成分简单、易选可供综合利用。其矿化和围岩蚀变在纵向和横向上都有很好的分带性和规律性<sup>[1]</sup>。斑岩型矿床金属储量巨大,约占世界铜储量的75%,钼储量的50%,金储量的20%,世界超大型铜矿 Los Bronces-Rio Blanco(铜的探明储量为203 Mt)和钼矿 El Teniente(钼的探明储量为2.5 Mt)均属于斑岩型矿床。因此,斑岩型矿床的勘探开发对世界经济的发展具有重要影响。

中亚造山带<sup>[2-3]</sup>或阿尔泰造山带<sup>[4]</sup>从西部的乌拉尔造山带向东一直延伸到东亚太平洋边缘,北部和南部边界分别为西伯利亚板块和中朝-塔里木板块<sup>[5]</sup>。中亚造山带经历了大约800 Ma的演化历史,其造山演化以不同时代和性质的岛弧地体、古老微

地块、洋壳残片(蛇绿岩)、海山和洋底高原等的侧向加积增生为主要特征<sup>[4,6]</sup>。中亚造山带矿产资源丰富、矿床类型多样,显示出巨大的资源潜力,是目前矿床学界和勘探领域的热点地区。

近20年来,蒙古南戈壁和中国北山-天山地区均发现有重要的斑岩型矿床。在蒙古戈壁天山(南戈壁)地区,不但在南戈壁省距中蒙边界约80 km处发现了世界级的欧玉陶勒盖(Oyu Tolgoi)铜金矿床<sup>[7]</sup>,而且还发育查干苏布尔加(Tsagaan Suvarga)、苏廷(Shuteen)、卡玛尔台(Khamartai)等一批大中型斑岩型矿床;在中国北山-东天山地区,发现有大型土屋、延东、赤湖等斑岩型铜钼矿<sup>[8-9]</sup>(图1),同样显示出巨大的资源潜力。但是,在南戈壁与北山-东天山之间的中蒙边境地区,特别是蒙古境内部

收稿日期: 2014-06-04; 改回日期: 2014-06-16

基金项目: 中国地质调查局项目(1212011120332、1212010561510、1212011120330)和科技部科技基础性工作专项(2012FY120100)联合资助。

作者简介: 朱明帅,男,1987年生,博士生,构造地质学专业; E-mail: shuaimingzhu@163.com。

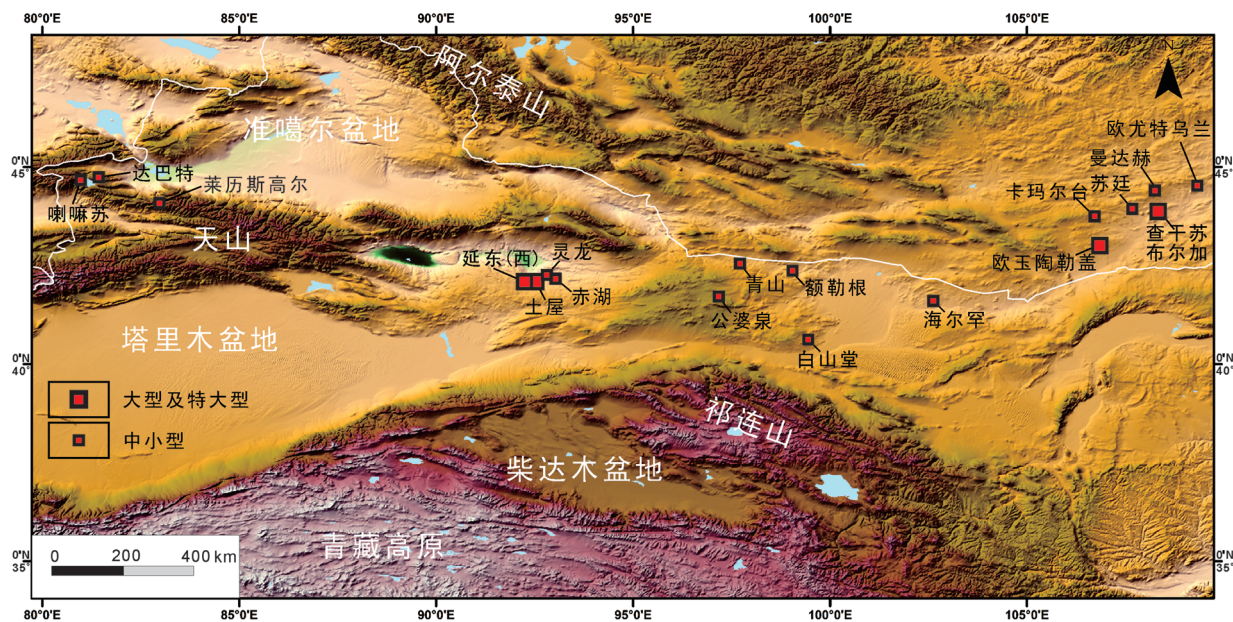


图1 蒙古国南戈壁与中国北山—天山地区主要斑岩型铜(金钼)矿床分布图

(底图来源于1 km分辨率的SRTM-DEM数据)

Fig. 1 Simplified map showing the distribution of major porphyry-type Cu (Au-Mo) deposits in Mongolian South Gobi and Chinese Beishan-Tianshan areas

(base map after SRTM-DEM data with 1Km resolution)

分,地质研究与勘探程度均十分薄弱,甚至可能尚属空白区。这就引出一个重要的基础地质问题亟待解决,那就是蒙古南戈壁地区与北山—东天山斑岩型矿带的成矿构造背景是否相同及两者间是否为同一条斑岩型成矿带?本文拟在两个地区主要矿床地质特征简介基础上,对蒙古戈壁天山和北山—东天山典型斑岩铜钼矿床成岩成矿时代及成矿构造背景进行初步的对比分析,以期对认识及解决上述问题有所裨益,同时也希冀能对中蒙跨边界地区的找矿勘探工作获得更大突破起到一定推动作用。

## 1 区域地质背景

蒙古国地处中亚造山带中部,蒙古国的地质构造轮廓整体以向南突出的弧形构造为特征(有研究者称之为“蒙古弧形构造”),而南蒙古则大致处于其弧顶的位置。换言之,南蒙古国西侧的构造线走向呈北西向,而东侧则呈北东向。蒙古国的前中生代构造框架通常以主蒙古线性构造 MML (Main Mongolian Lineament) 为界被分为南、北两个部分,其北为加里东构造区,南为海西构造区<sup>[10]</sup>。尽管这

一划分可能还值得商榷,但就蒙古地区演化而论,其北老南新的总体格局是客观存在的。蒙古南戈壁地区即属于海西造山区。

蒙古戈壁天山—中国北山—东天山地区是指处于塔里木(敦煌)地块以北、蒙古 MML 及准噶尔盆地以南、狼山—准巴彦谷地以西的造山区。该区域最古老的岩石除敦煌地块外,还有被认为是所谓的中间地块。在蒙古境内,被称之为“南蒙微陆块”(在蒙古有关的地质图上表示为“里菲期”变质岩),在东天山—北山地区则被称之为“中天山—明水—旱山地块”<sup>[11]</sup>,其岩性以变质砂岩、大理岩夹变质火山岩为主。有研究者认为这些古老地质体系构造飞来峰<sup>[12]</sup>。目前对这些地块的分布范围以及中蒙两侧地块之间的关系尚不清楚。

早古生界寒武—奥陶系在敦煌地块北缘大量发育,为该地块北缘的一套被动大陆边缘性质建造<sup>[11]</sup>。同时,在北山地区“明水—旱山”地块北缘也发育,但主要为奥陶系,并向东北方向延至蒙古一侧(大体相当于“南蒙微陆块”北缘),其建造类型也属被动大陆边缘沉积。晚古生界泥盆系在该区大

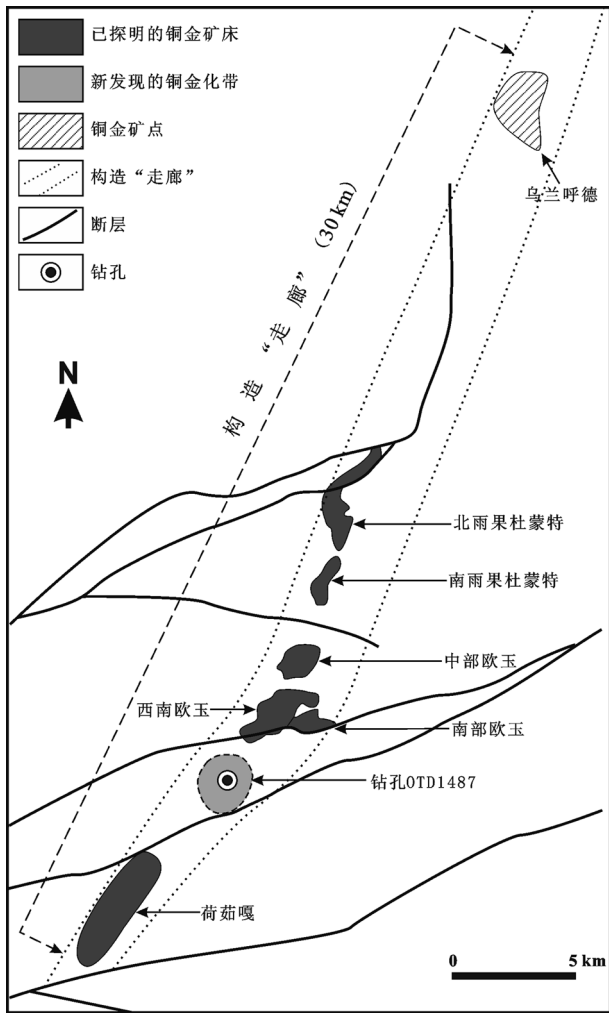


图2 蒙古国欧玉陶勒盖矿床分布平面图<sup>[18]</sup>  
Fig 2 Sketch map showing the distribution of major copper deposits in Oyu Tolgoi<sup>[18]</sup>

面积分布,主要由安山质火山岩及相关的火山-沉积岩组成<sup>[13-14]</sup>。这表明蒙古南部与北山北带在晚古生代早期开始由被动陆缘转化为活动陆缘。石炭一二叠系在中蒙两侧均大量广泛发育,其建造类型分为两类:一是岛弧建造,主要为一套玄武岩-安山岩-英安岩-流纹岩系的弧火山岩系及相关沉积岩<sup>[15]</sup>;二是裂谷建造,主要表现为双峰式火山岩及相关建造<sup>[13]</sup>;主要的裂谷包括北山南带的柳园、东天山-北山北带的康古尔-红石山、东准噶尔和蒙古境内的陶斯特等。石炭系岛弧建造与该地区斑岩型铜(钼)金矿化关系密切,而裂谷建造,特别是其中发育的基性-超基性杂岩与该区铜镍硫化矿化关系

密切。

三叠系主要发育在蒙古国一侧(空间上在陶斯特裂谷及以南地区),主要为一套磨拉石性质沉积。在北山-东天山地区,三叠系分布零星,多属山间磨拉石建造<sup>[11]</sup>。侏罗系在中蒙两侧均为陆相沉积,在蒙古一侧构成重要的含煤层系。白垩系下部以大规模的陆相玄武岩及火山沉积岩为主,而上部以陆相碎屑岩为主。

蒙古南戈壁-中国北山-东天山地区侵入岩类大量发育,岩性除前述与石炭一二叠系裂谷发育有关的基性-超基性侵入岩外,更多的是与俯冲、碰撞及碰撞后有关的中酸性侵入岩类。中酸性侵入岩类的时代从早古生代至中生代均有,成因类型上I、S、A和M型花岗岩均有发现<sup>[16-17]</sup>。

## 2 主要斑岩型矿床地质特征

### 2.1 蒙古戈壁天山地区

#### 2.1.1 欧玉陶勒盖铜金矿床

欧玉陶勒盖斑岩铜金矿床的勘查区在蒙古乌兰巴托近正南方向,中蒙边界北约80 km处(坐标:43°00'N,106°51'E)。欧玉陶勒盖矿床实际是一个矿田,包括荷如嘎(Heruga)、西南欧玉、中欧玉和北欧玉(也叫雨果杜蒙特, Hugo Dummett)及乌兰呼德(Ulaan Hhud)矿化点远景区<sup>[18]</sup>(图2)。此外,在荷如嘎和南欧玉之间,对电法异常验证钻孔(OTD1487)还显示有较大规模的Cu-Au矿体。大地构造位置上,欧玉陶勒盖矿田位于南蒙古古尔班赛汗岩浆弧地体内<sup>[10,19]</sup>。铜钼矿及有关斑岩体主要赋存在泥盆纪火山岩和火山碎屑岩中,其上不整合覆盖有石炭系Gurvankharaat组火山岩。泥盆系主要为海相拉斑质火山岩,而石炭系主要为钙碱性火山岩,表明岛弧的逐渐加厚和成熟<sup>[15]</sup>。区内侵入岩主要为泥盆纪石英闪长岩、花岗闪长岩和黑云母花岗岩、石炭纪闪长岩、花岗闪长岩、花岗岩以及二叠纪正长岩。

由于处于南戈壁沙漠区,岩石和蚀变带在地表出露十分有限(图3-a,b),前述矿床或矿段均为钻探工程所揭示。这些矿化带(区)平面形态不规则,但长轴均呈北东向,它们共同整体构成一条北向延伸的线性矿化带(图2)。除在中南欧玉地表次生氧化带外,其他均为隐伏矿体(图4)。单一矿化区长度为1300~2000 m、宽300~1200 m,垂向延伸最深

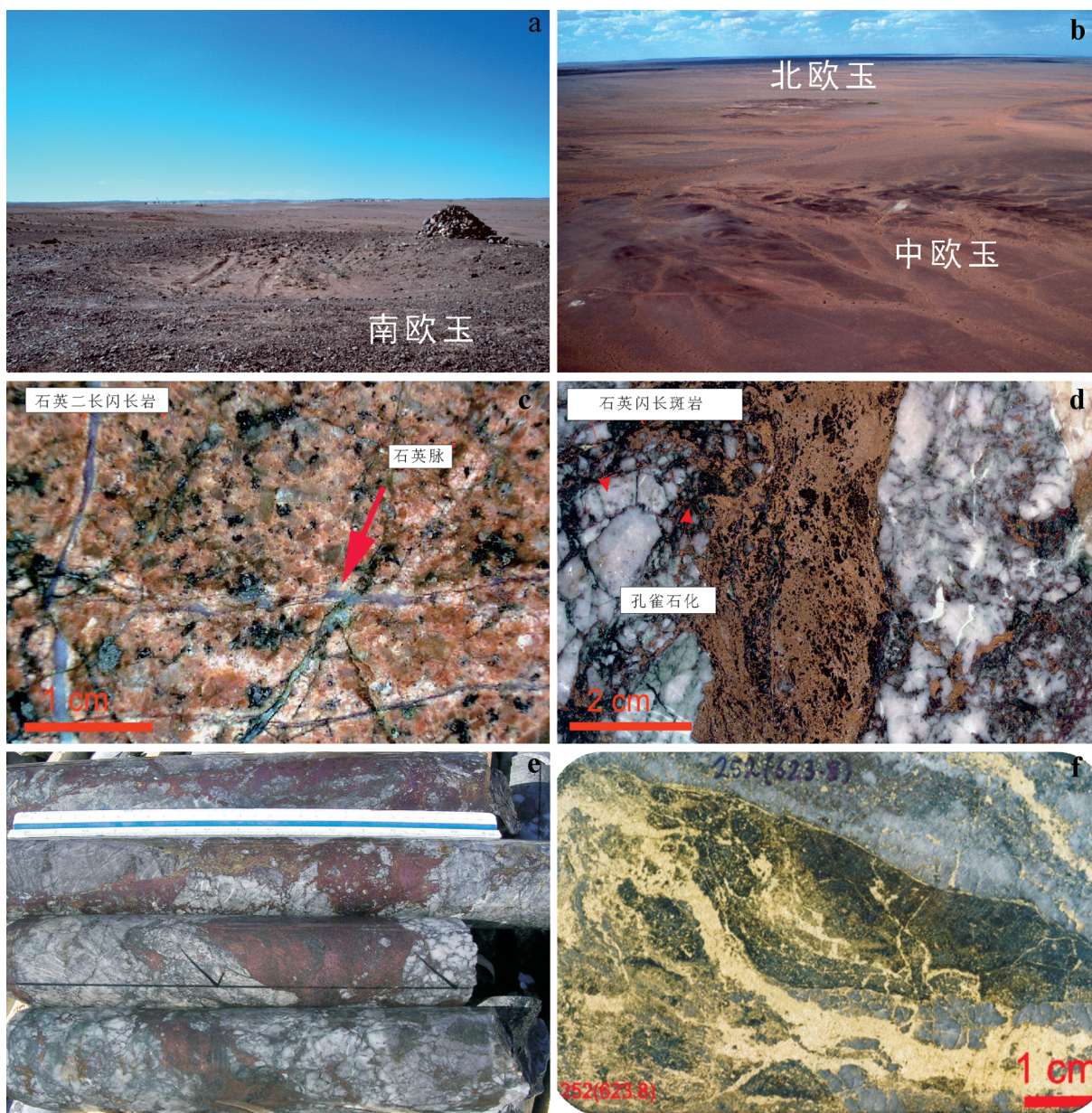


图3 蒙古国欧玉陶勒盖铜金矿床野外与钻探岩心照片

a—南欧玉矿区地貌;b—中、北欧玉地貌景观;c—石英二长闪长岩及其内部的含矿石英细脉(南欧玉);d—与石英闪长斑岩有关矿化;e—钻孔揭示的深部矿化(斑铜矿+黄铜矿+黄铁矿);f—钻孔显示的高品位Cu-Au矿化(剖光面)

Fig.3 Photographs showing characteristics of copper mineralization and drill cores from Oyu Tolgoi

a-South Oyu Tolgoi; b-Central and north Oyu Tolgoi; c-Quartz monzodiorite and the inner ore-bearing quartz vein; d-Mineralization related to porphyritic quartz diorite; e-Drill core showing deep mineralization (bornite-chalcopyrite-pyrite); f-High grade Cu-Au mineralization in drill core

达2000 m。

钻探揭示,欧玉陶勒盖矿床的矿化均与石英二长闪长(斑)岩空间关系密切(图3-c、d;图4),矿化体赋存于斑岩体内部或周围火山岩中。除荷茹嘎

矿区矿化表现出明显的钼矿化并具有“上钼下金”分带性外(图5),其他矿化区均以Au-Cu共同发育为特征,但也存在一定的差异,如OTD1487钻孔新发现的矿段金含量高,中部欧玉发育(隐爆)角砾岩

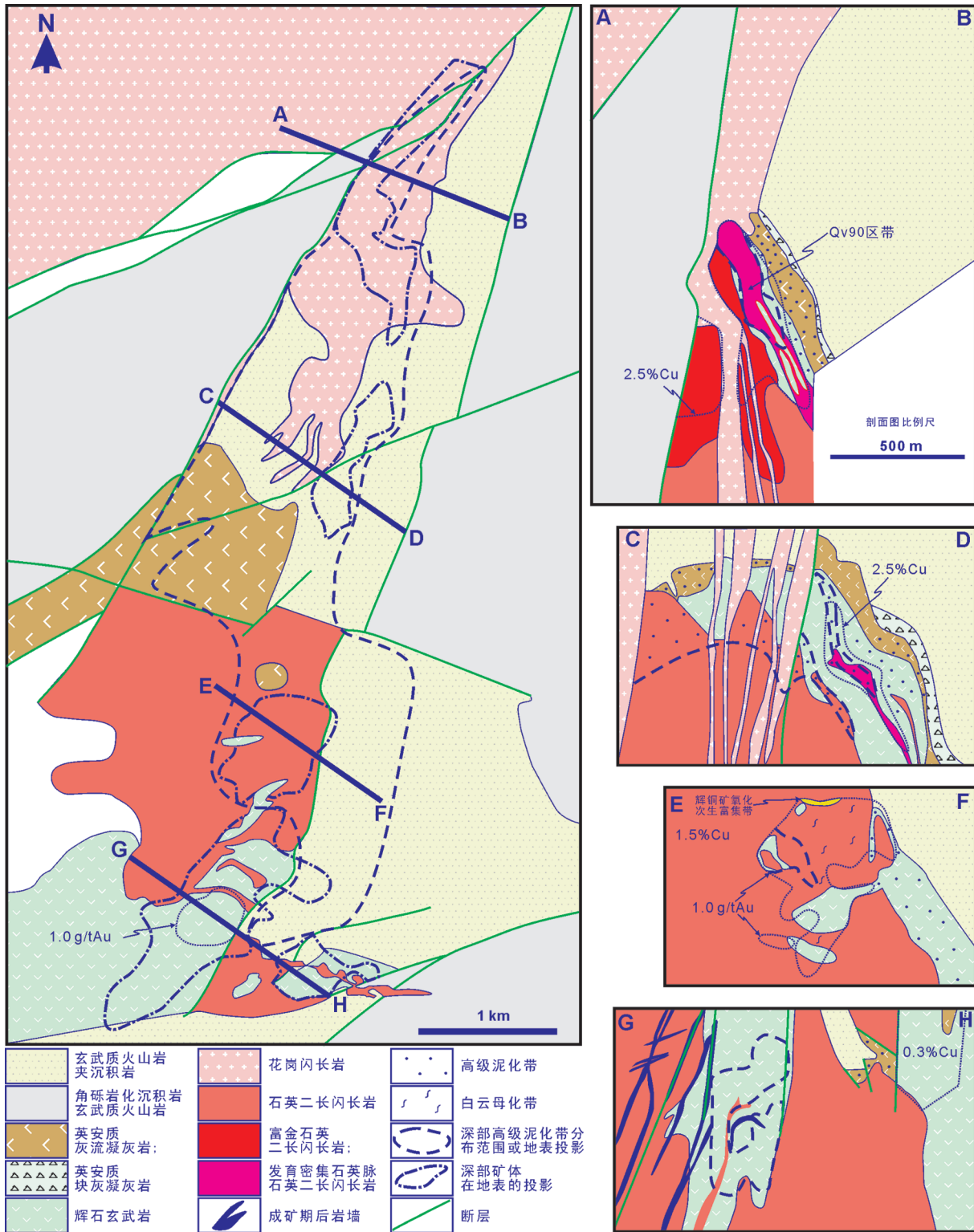
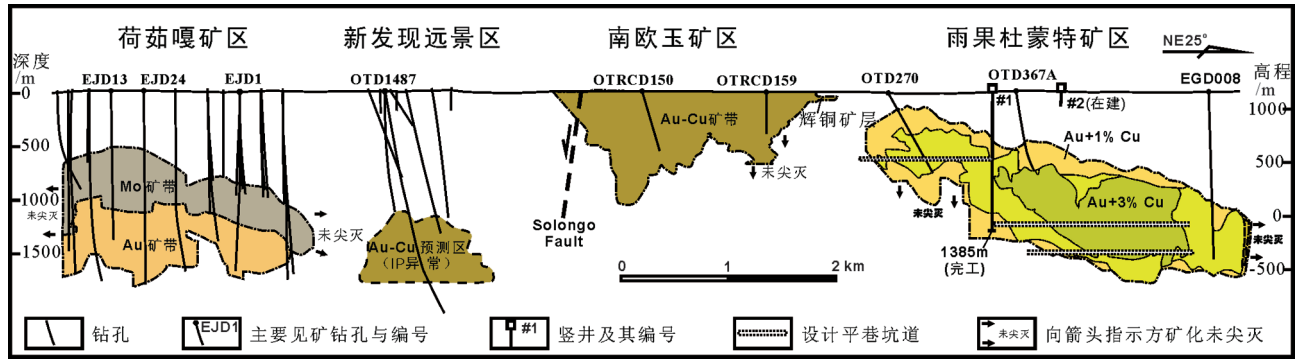


图4 欧玉陶勒盖矿床平面与剖面地质图<sup>[18]</sup>  
Fig.4 Geological map of the Oyu Tolgoi deposit<sup>[18]</sup>

图5 蒙古国欧玉陶勒盖矿田剖面示意图<sup>①</sup>Fig.5 Geological section of the Oyu Tolgoi deposit<sup>①</sup>

筒且次生富集带较发育、西南欧玉次生带不发育、雨果杜蒙特矿区石英脉更为发育等。

欧玉地区铜(钼)矿化具有典型斑岩型矿床矿化与蚀变特征。矿化以细脉浸染状为主,局部地区(如雨果杜蒙特区)发育石英-硫化物脉。原生矿石矿物主要为黄铜矿、斑铜矿、黄铁矿、辉铜矿、磁铁矿和辉钼矿(在荷如嘎矿区大量发育)等,少量自然金、砷黝铜矿、硫砷铜矿、硫钒铜矿、磁黄铁矿和闪锌矿等;次生氧化带矿石矿物主要是铜蓝和孔雀石、赤铁矿等。矿床的围岩蚀变主要有硅化、钾化、泥化和青磐岩化等。欧玉矿床的围岩蚀变具多期次特征,可分为3个期次:第一期为钾硅酸盐化,蚀变矿物组合为钾长石+石英+黑云母±方解石,空间上位于蚀变中心带;第二期蚀变矿物组合为石英+绢云母+伊利石+绿泥石±电气石±碳酸盐,空间位于中心带之外,构成第二蚀变晕;第三期主要为泥化,矿物组合为石英+叶蜡石+迪开石±重晶石±萤石(近地表明矾石和磷锶铝矾发育),空间分布上范围更广。

研究表明,泥盆纪玄武质-英安质火山岩属高钾钙碱性系列,与矿化空间关系密切的石英闪长岩和花岗闪长斑岩体以高钾、富硅为特征,二者均明显具有与俯冲作用有关的岩浆岩特征。石英脉钾硅酸盐蚀变矿物中超盐度流体和赤铁矿雏晶的发现,指示成矿流体为岩浆热液<sup>[20]</sup>。

#### 2.1.2 查干苏布尔加铜钼矿床

查干苏布尔加位于蒙古东戈壁省,东北距省会

赛音山达(Sanyanshand)市约150 km(GPS坐标:43°52' N, 108°20' E)。查干苏布尔加铜钼矿床是目前在蒙古国发现的第三大斑岩型铜钼矿床。矿床于1964年当地居民报矿被发现,1965—1968年普查,1978—1982年勘探,至今尚未开发。当时勘探报告的矿石资源量为2.4亿t,铜品位0.53%,钼品位0.018%,折合金属铜资源量127.2万t,钼资源量4.32万t。目前仍有国外公司在矿区及外围从事物探工作,并已在容矿岩体西南侧外接触带围岩中发现新的矿(化)体,因此矿床规模无疑将进一步扩大。

构造位置上,查干苏布尔加位于蒙古晚古生代“Kazakh—Mongol岩浆带”的“南蒙古岩浆弧”中段,属Badakh<sup>[10]</sup>所划分的“古尔班赛汗地体”。矿区内出露的地层主要由砾岩、砂岩、粉砂岩及凝灰质砂岩等构成的下石炭统碎屑岩建造和由英安玢岩、安山玢岩和粗面安山岩、安山岩等组成的上石炭统火山岩建造,局部地段见有白垩系及新生界(图6)。

北东—北北东向和北西向断裂及裂隙是区内的主要断裂构造。在这些断裂中,岩墙、岩株状侵入体、角砾岩化带、热液蚀变带和含矿地质体在其中产出。主要控矿构造是出露在查干苏布尔加岩体内、外的北东—北北东向构造带,呈雁列状分布,查干苏布尔加矿床主矿(化)体就产在该构造带的北部带中(图6)。区内侵入岩主要是查干苏布尔加侵入杂岩,出露面积约130 km<sup>2</sup>。该杂岩体被石炭系火山-沉积岩(图7-a、b)及白垩系火山岩所覆盖,局部为断层接触。杂岩体主

① 艾芬豪公司网站资料修编

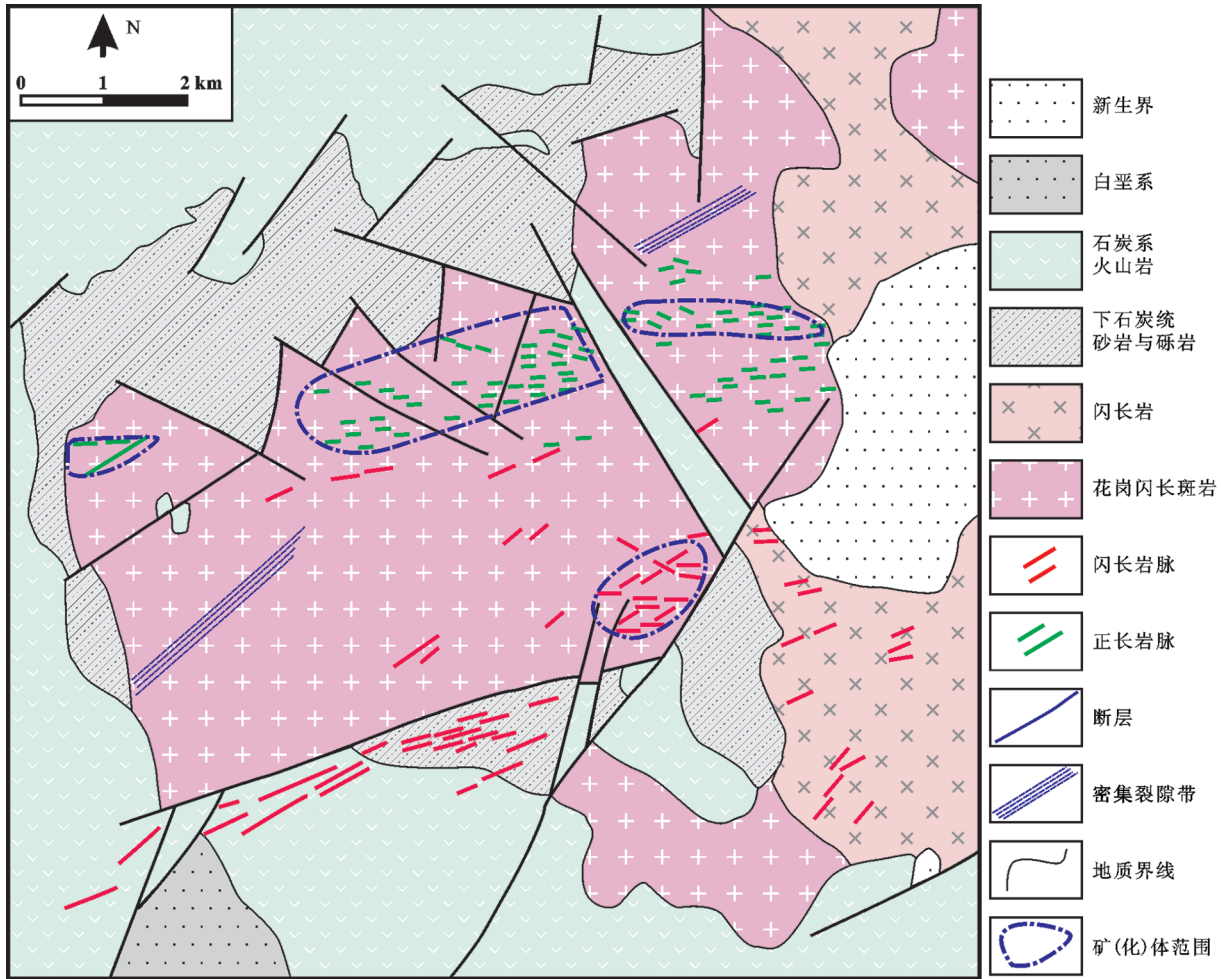


图6 南蒙古查干苏布尔加铜钼矿床地质简图<sup>[21]</sup>  
Fig.6 Simplified geological map of the Tsagaan Suvarga Cu-Mo deposit<sup>[21]</sup>

要岩石类型包括闪长岩(辉长岩)、花岗闪长斑岩、正长花岗斑岩和二长花岗斑岩等。此外,在杂岩体内部及围岩中发育大量的闪长玢岩、花岗闪长斑岩、花岗斑岩、钠长斑岩和正长斑岩脉。这些中酸性脉岩与铜钼矿化时空关系密切。

先前发现的含矿带主要位于杂岩体北部与火山-沉积岩接触带岩体内,但近期物探资料与钻探证实,查干苏布尔加杂岩体具有向南西倾伏的产出特征,并且在岩体外接触带已发现矿(化)体。矿带总长度约 1600 m,宽 60~400 m,倾斜延伸达 700 m。含矿带倾向北西,倾角 40°~60°,矿体一般位于含矿带的上部。

矿化类型主要为石英-硫化物大脉和石英-绢云母-硫化物细脉 2 种类型。石英-硫化物大脉宽度

可达 30 m (图 7-c),普遍发生碎裂及角砾化(图 7-f)。石英-绢云母-硫化物细脉-网脉状矿化(图 7-d、e)主要充填于北东和北西向裂隙带。矿石主要分为氧化矿和原生矿。氧化带一般深度为 20~30 m,主要金属矿物为孔雀石,偶尔见蓝铜矿、硅孔雀石和极少量的钼铅矿、钼钙矿,此外,铁和锰的氢氧化物常见。原生矿石矿物主要为黄铜矿和斑铜矿,其次为辉钼矿、方铅矿、闪锌矿、砷黝铜矿、黝铜矿、磁黄铁矿和自然银等,其中黄铜矿和黄铁矿主要分布在石英脉、石英-绢云母细脉和绢云母化带中;辉钼矿一般富集在石英细脉和石英-绢云母细脉中。脉石矿物主要有石英、钾长石、绢云母、高岭石、绿泥石和方解石等。

矿床近矿围岩蚀变强烈,并具有蚀变分带现象,

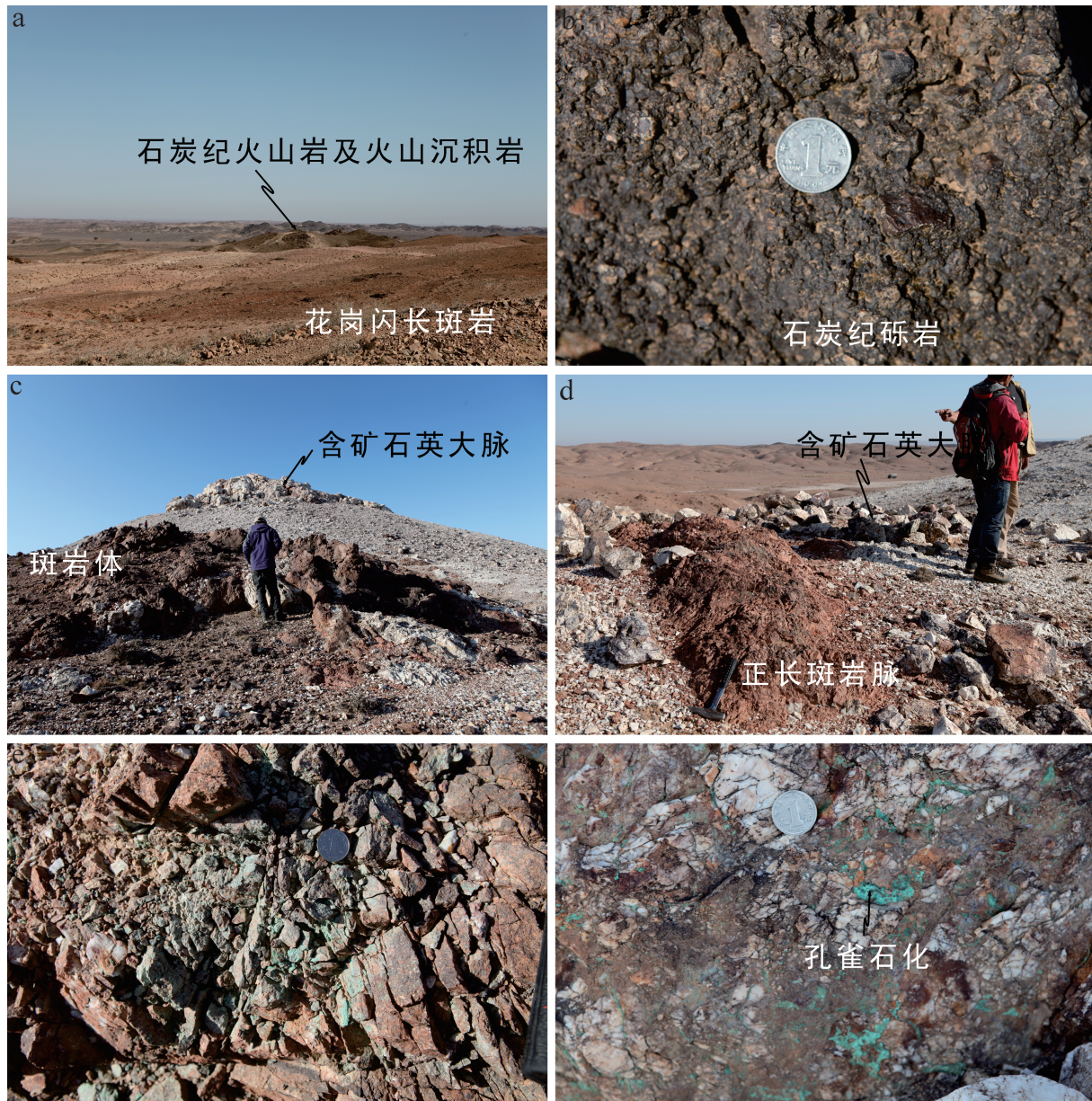


图7 查干苏布尔加铜钼矿床野外照片

a—容矿花岗闪长斑岩与石炭纪火山岩围岩;b—石炭纪火山岩中的火山角砾岩;c—斑岩体内的含矿石英脉;d—正长斑岩脉与含矿石英脉;  
e—强烈钾化的斑岩内细脉状矿化(已孔雀石化);f—石英脉破碎后呈角砾状及其中的矿化(孔雀石化)

Fig.7 Field photographs showing characteristics of copper mineralization in the Tsagaan Suvarga deposit  
a—Host rock granodiorite and Carboniferous volcanic rocks; b—Carboniferous volcanoclastic rocks; c—Ore-bearing quartz veins in granitic porphyry;  
d—Syenite porphyry and ore-bearing quartz veins; e—Fine vein-type copper mineralization within the K-metasomatic porphyry (copper sulfide has been converted into malachite through oxidation); f—Quartz veins shattered into breccia and the mineralization inside (copper sulfide has been converted into malachite through oxidation)



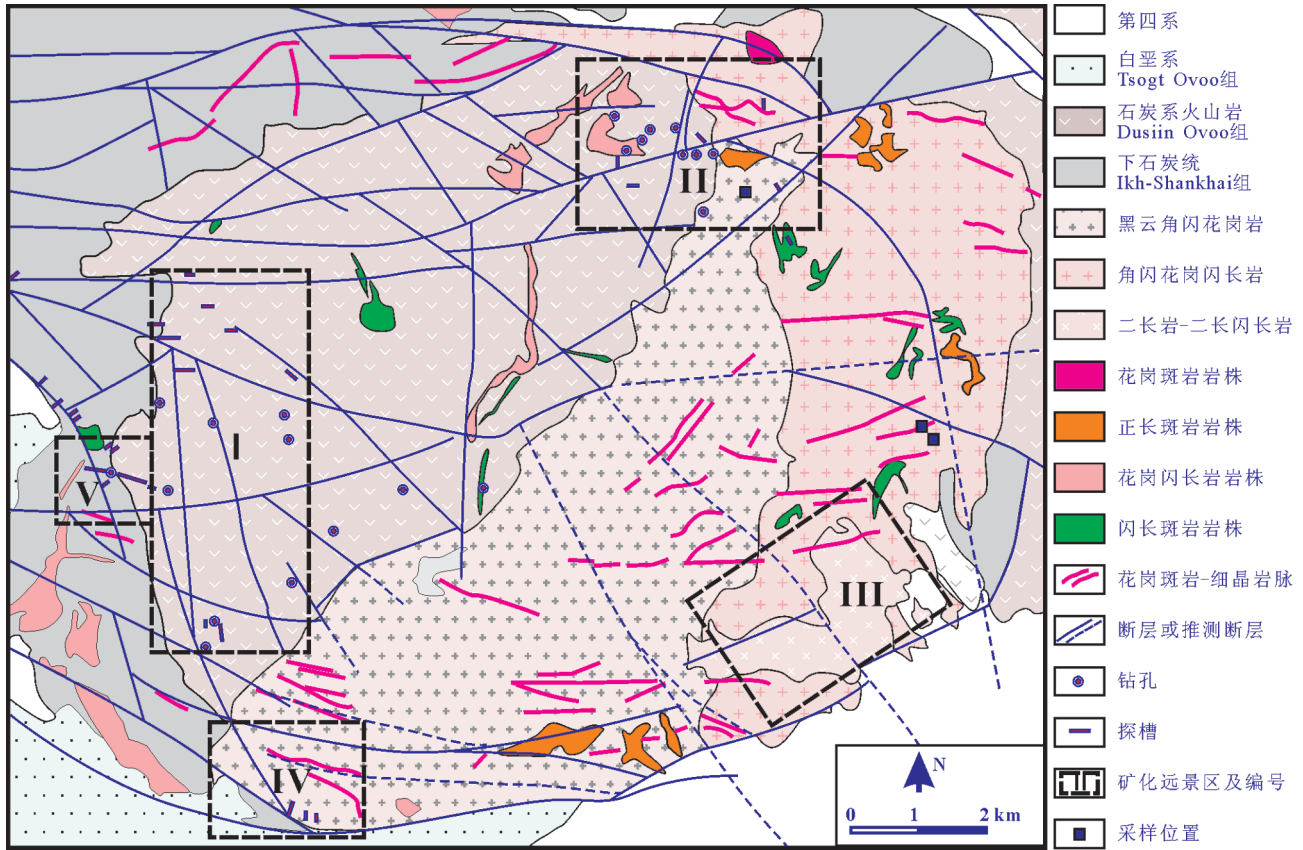


图8 蒙古国苏廷铜钼矿床地质简图<sup>[22]</sup>

矿化远景区名称:I—苏廷-汗博格达(Shuteen-Khanbogd);II—哈尔陶勒盖(Khar Tolgoi);III—白彦胡术(Bayan Khoshuu);IV—大使苏木(Dash Sum);V—呼仁德尔(Khuren Del)

Fig.8 Simplified geological map of the Shuteen copper deposit<sup>[22]</sup>

Names of mineralization prospecting areas: I—Shuteen-Khanbogd; II—Khar Tolgoi; III—Bayan Khoshuu; IV—Dash Sum; V—Khuren Del

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,其中钾化(钾长石和绢云母)和硅化与铜(钼)矿化关系密切。岩体中Cu含量与岩体的Rb/Sr比值成正相关,说明与成矿有关斑岩体经历了分异演化;同时,查干苏布尔加斑岩体具有钙碱性弧岩浆岩与埃达克岩的地球化学特征<sup>[21]</sup>,有利于斑岩铜钼矿床形成。查干苏布尔加铜钼矿床的上述矿化、蚀变特征与典型的斑岩型铜(钼)矿床特征一致;容矿斑岩具有典型岛弧岩浆岩的地球化学特征<sup>[20]</sup>,斑岩体与铜钼矿化具有密切的时空关系。

### 2.1.3 苏廷(Shuteen)铜(金)矿床

苏廷铜矿床位于蒙古东戈壁省,东北距曼达赫镇约80 km,东南距查干苏布尔加铜钼矿约60 km(矿区坐标:43°53′~44°00′N,107°34′~107°48′E)。该矿床发现也比较早,但至今尚未开发。矿区内出露

地层主要为下石炭统碎屑岩建造(Ikh-Shankhai组)和中上石炭统安山质火山岩建造(Dusiin Ovoo组)。此外,在矿区西南部局部发育白垩系朝格达敖包组(Tsogt Ovoo)火山-沉积建造。区域构造线方向为近东西向,但矿区内不同方向的断裂十分发育,主要有北西、东西、北东和近南北及它们之间的过渡方位等,这些断裂被认为是与苏廷杂岩有关的“环形构造”的组成部分(图8)。

矿区内侵入岩主要为苏廷侵入杂岩,由花岗闪长岩、含角闪石花岗岩和二长闪长岩等组成。同时矿区内各种成分脉岩和小岩株密集发育,主要闪长斑岩、花岗闪长斑岩、正长斑岩、二长花岗斑岩、钠长斑岩及细晶岩等。岩石地球化学研究表明,苏廷花岗质杂岩与Dusiin Ovoo组安山岩具有相似的矿物结晶顺序和Sr-Nd同位素特征<sup>[23]</sup>,因此通常将“苏



图9 蒙古国苏廷铜(金)矿床野外照片

a—苏廷杂岩体与围岩接触界线;b—苏廷杂岩之上的火山岩“岩帽”;c—二长花岗岩脉侵入花岗闪长岩;d—杂岩体内部发育的含金石英脉;  
e—杂岩体接触带蚀变类型;f—杂岩体发育石英-电气石化

Fig.9 Field Photographs of the Shuteen copper deposit

a—Boundary between Shuteen complex and the country rock; b—“Volcanic cap” overlying Shuteen complex; c—Monzonitic granite intruding into granodiorite; d—Gold-bearing quartz vein in Shuteen complex; e—Alteration types in the contact zone; f—Quartz-tourmaline veins in Shuteen complex

廷花岗质杂岩”和安山质火山岩统称为“苏廷杂岩”。苏廷杂岩体与围岩具有明显的侵入接触关系(图9-a),野外可见接触带围岩具有一定程度的接触变质现象,形成赤铁矿化“岩帽”(图9-b),其中还可见针柱状角闪石,并伴有浸染状黄铜矿化;这些

浅成斑岩脉或岩株主要发育在岩体内(图9-c),其走向与岩体接触带大致平行或以小角度相关(图8),与铜(金)矿化关系密切(图9-d)。

在苏廷岩体周围共圈定出5个矿化及矿化远景区段,均发育于“苏廷杂岩”内部,多处于岩体内、外

接触带(图8),其中,岩体西南端的苏廷—汗博格达(Shuteen-Khanbogd)为主矿化区段,矿化主要发育在安山质火山岩中,是一隐伏矿化带,被认为苏廷岩体向西倾伏(或剥蚀程度不同)的结果。地球物理资料揭示,沿花岗岩与安山岩的接触带存在电阻率和磁异常,而主矿化蚀变带及其西侧存在较强的激电异常,暗示杂岩西南端找矿潜力较大。矿石类型主要为石英-硫化物细脉与网脉型,既发育在岩体内,也发育在外接触带。矿石中金属矿物主要有黄铜矿、辉铜矿、斑铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿及少量的辉钼矿等;脉石矿物主要为石英、钾长石、绢云母、绿泥石及明矾石等。在次生氧化带,主要矿物为孔雀石和褐铁矿及铜蓝、赤铁矿等。

矿床围岩蚀变主要以硅化、钾化、明矾石化(图9-e),其中硅化、钾化与铜(金)矿化关系密切。在火山岩围岩还发育青磐岩化、赤铁矿化,局部有石英-电气石脉(图9-f)。从苏廷铜(金)矿化与苏廷杂岩中的中酸性斑岩株或岩脉空间关系密切,并具有较为典型斑岩型矿床的蚀变与矿化特征来看,其成因类型应属斑岩型铜(金)矿床。苏廷杂岩的锆石 SHRIMP 年龄为(333±4)Ma(待刊)。

#### 2.1.4 卡玛尔台(Khamartai)铜金矿床

卡玛尔台铜(金)矿床位于苏廷铜矿床西南。卡玛尔台最早被认为是金矿点,由蒙古、俄罗斯和日本联合区域地质调查工作时发现,但当时未做分析。1994年,该矿点被一家私人公司获得探矿许可,并于1995—1999年间进行了勘探,勘探工作主要包括约9000件岩石、4000件土壤样品、19 km探槽、240 km磁法及电法测量和大间距18口钻探(总长3730 m)工程等。上述勘探表明近地表存在有重要的石英网脉型金矿化,矿化带长度超过200 m,其中有4个钻孔见矿(1个钻孔见矿深度达150 m),金品位平均为0.71~2.01 g/t,矿化体厚度34~64 m;在地表,有2个探槽见矿,金品位分别为1.25 g/t(31 m)和2.74 g/t(16 m);网脉状矿化体发育于一磁异常的北部边缘,并与激电异常的长轴展布相吻合。上述勘探中只注意到了金矿化。后来,该公司又布置1个钻孔,以验证另一处侵入体及其伴生的磁异常和电法异常,结果钻遇到72 m、金品位3.08 g/t、铜品位1.89%的铜金矿化体。对物探资料的进一步评价表明,卡玛尔台铜金矿区与其西南部的欧玉陶勒盖铜金

矿床的地球物理特征极为相似(以上资料引自蒙古地质信息中心未发表资料)。目前,卡玛尔台铜金矿床的规模尚不得而知,但无疑具有良好的勘探前景,其矿化类型属典型的斑岩型矿床。

卡玛尔台矿区出露地层为一套火山-沉积地层,包括凝灰质砂岩、火山碎屑岩、纹层状硅质岩、安山质熔岩等。区内的浅成侵入体极为发育,从早至晚可分为6期,包括闪长岩、闪长斑岩、二长闪长岩、石英闪长岩、石英闪长斑岩和安山玢岩,其中石英闪长斑岩与本区热液蚀变、石英网脉和斑岩型铜金矿化关系密切,与欧玉陶勒盖铜金矿床相似。根据已有研究,卡玛尔台斑岩型热液蚀变与矿化可分为4个阶段:(1)钠长石-磁铁矿±绿帘石阶段:表现为石英闪长斑岩体内的钾长石的钠长石化,并形成磁铁矿-绿帘石及磁铁矿脉;(2)石英-黄铁矿-黄铜矿阶段:形成含金铜石英-硫化物网脉状矿化;(3)绿泥石-绿帘石-黄铜矿±磁铁矿阶段;(4)绢云母-绿泥石-黄铁矿-碳酸盐阶段。

此外,在卡玛尔台矿区,晚阶段的含铜矿化的电气石角砾岩筒十分普遍,表现为钠长石化的石英闪长斑岩和石英闪长岩的角砾赋存于由电气石、石英、黄铜矿、黄铁矿、绿帘石和方解石等组成的基质中。

根据研究,卡玛尔台矿床矿石的Au/Cu比值变化存在明显不同的两种变化趋势,暗示矿床可能是两期独立的成矿事件叠加的结果。目前对矿床成矿年龄的研究较少,仅见有早期的1个矿化石英闪长斑岩K-Ar年龄(300±50)Ma的报道。

## 2.2 北山—天山斑岩铜(钼)成矿带主要矿床

对于中国北山—天山地区的主要斑岩型矿床国内学者已有较为详细的报道<sup>[13]</sup>,故在此不再一一赘述。以下仅将主要斑岩型矿床的基本地质特征列于表1,并将这些矿带的主要特征归纳如下。

### 2.2.1 北山地区

北山地区的斑岩铜矿床数据与规模均较小,主要有公婆泉和白山堂2处。公婆泉是一处以铜为主,伴生有银、镓、铂和金的中型多金属矿床。矿床处于窑洞努如—公婆泉志留纪岛弧带,赋矿地层主要为志留系中上统公婆泉群玄武岩、安山岩、粗面岩、石英粗面岩和流纹岩,以英安岩和安山岩最为发育。侵入岩为花岗闪长斑岩、英安斑岩、石英闪长玢岩和二长花岗岩及辉长岩。矿床内绝大部分

表 1 蒙古戈壁天山-北山-天山地区主要斑岩型铜矿床地质特征简表  
 Table 1 Basic features of major porphyry-type Cu deposits in Mongolian Gebi Tianshan and Chinese Beishan-Tianshan

地区	矿床名称	金属量(吨概)/品位	赋矿围岩	矿区主要侵入岩	矿物组合	围岩蚀变	成岩成矿年龄		资料来源	
							测试方法	测试对象		年龄/Ma
蒙古戈壁天山	查干苏布尔加	Cu: 1.5 Mt/0.72%; Mo: 50000 t/ 0.023%	砂岩、粉砂岩、灰岩、 安山岩及花岗岩斑岩和 正长花岗岩斑岩	闪长岩、花岗闪长斑岩、 正长花岗岩斑岩和二长花岗 斑岩、闪长玢岩、花岗斑岩 解石	黄铜矿、黄铁矿、辉钨矿、方铅矿、 闪锌矿、孔雀石；石英、绢云母、 钾长石、高岭石、绿泥石和方 解石	硅化、钾长石化、 绢云母化、 泥化和青盘岩化	SHRIMP	锆矿花岗岩	367±4	本文
							SHRIMP	含矿花岗岩	366±4	[21]
	欧玉陶勒盖	Cu: 35.8 Mt 0.25% - 3.58%; Au: 1280 t	泥岩、玄武质熔岩、 安山岩和凝灰岩及 闪长玢岩和斜长花岗岩 斑岩	闪长玢岩、斜长花岗岩斑岩、 石英二长闪长岩、正长 花岗岩和碱性花岗岩	斑铜矿、黄铜矿、辉钨矿、黄铁矿、 辉钼矿、磁黄铁矿；钾长石、黑云母、 石英、绢云母、伊利石、方解石、 绿泥石、绿帘石和叶腊石	硅化、绢英岩化、 绿泥石化、叶腊石 化、青磐岩化和 萤石化	Re-Os	辉钨矿	370±6	[21]
							Re-Os	辉钨矿	370±2	[36]
	苏廷	Cu: 中型	安山质火山岩、花岗 闪长岩、二长闪长岩、 正长斑岩及二长花岗岩 斑岩	花岗闪长岩、含角闪石 花岗岩和二长闪长岩闪长 斑岩、花岗闪长斑岩、 正长斑岩。	黄铜矿、辉钨矿、斑铜矿、黄铁矿、 磁黄铁矿及少量的辉钼矿；石英、 钾长石、绢云母、绿泥石及明矾石	硅化、钾化、泥化 和青磐岩化、 电气石化	SHRIMP	含矿花岗岩斑岩	373~370	[37]
							Rb-Sr	花岗岩	333±5	本文
	卡玛尔台	Cu: 中型/1.89%; Au: 3.08g/t	石英闪长岩、石英系 安山质火山岩及火山 -沉积岩	闪长岩、闪长玢岩、安山 玢岩、二长花岗岩斑岩、 石英闪长斑岩等	黄铜矿、黄铁矿、磁铁矿、自然金； 石英、钠长石、绢云母、绿泥石、 绿帘石、方解石	钠长石化、绿泥石 化、黄铁矿化、 电气石化	Rb-Sr	花岗岩	321.5±9	[38]
							Rb-Sr	安山岩	336±24	[23]
	曼达赫	Cu: 小型/ 0.04% - 1.16%	花岗闪长斑岩、火山岩	花岗闪长斑岩、花岗闪长 岩、石英闪长岩、正长岩 和花岗岩	黄铜矿、斑铜矿、黄铁矿及磁黄铁矿； 石英、绢云母、钾长石、高岭石和 绿泥石	硅化、钾化、 青磐岩化和泥化	TIMS	花岗岩	333-313	[39]
							TIMS	花岗岩	333±1	[39]
青狐狸	勘探中	花岗闪长斑岩、火山岩 和火山-沉积岩	花岗闪长斑岩、花岗岩				花岗闪长岩	334±1	[39]	
那瑞呼都格	勘探中	花岗斑岩与火山岩	花岗斑岩、二长岩				二长岩	333±1	[39]	
奥尤特乌兰	中型	花岗斑岩与火山岩	花岗斑岩、花岗闪长斑岩、 安山玢岩				火山岩	323±1	[39]	
							花岗岩	339±1	[39]	

续表1

地区	矿床名称	金属量(规模)/品位	赋矿围岩	矿区内主要侵入岩	矿物组合	围岩蚀变	成岩成矿年龄		资料来源	
							测试方法	测试对象		年龄/Ma
中国 东天山	公婆泉	Cu: 中型/0.3%~1.02%	云母片岩、凝灰熔岩、凝灰岩和流纹岩及花岗岩类侵入岩	花岗岩、英安斑岩和花岗岩长斑岩	黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿、闪锌矿、磁黄铁矿、方铅矿、毒砂和自然金; 石英、钾长石、斜长石、角闪石、金红石、绢云母和电气石	钾长石化、绢云母化、硅化、青磐岩化和碳酸盐化及砂卡岩化	K-Ar	石英闪长玢岩	372±16	[26]
			英安斑岩和斜长花岗岩侵入岩	花岗岩长斑岩	黄铁矿、方铅矿、黄铁矿、毒砂、磁黄铁矿和闪锌矿; 石英、绢云母、绿泥石、方解石和石墨	绢云母化、角闪岩化、绢云母化和绿泥石化	K-Ar	花岗岩长斑岩	336-340	[26]
	白山堂	Cu: 中型/0.8%~1.2%; Pb: 1.4%~2.9%	英安斑岩和斜长花岗岩侵入岩	黑云母二长花岗岩和碱性侵入岩脉	黄铜矿、方铅矿、黄铁矿、毒砂、磁黄铁矿和闪锌矿; 石英、绢云母、绿泥石、方解石和石墨	硅化、角闪岩化、绢云母化和绿泥石化	Rb-Sr	流纹斑岩	333±7	[27]
	额勒根	Mo: 0.04%~0.08%; Cu: 0.05%~0.31%	安山岩、斑状花岗岩及花岗岩	钾长花岗岩、花岗岩长斑岩	辉钼矿、黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿; 石英、斜长石、钾长石、绢云母及绿泥石	钾化、绢云母化及绿泥石化	Rb-Sr	斜长花岗岩	275±8	[27]
	青山	Cu: 0.51%~1.91%	中下泥盆统火山碎屑岩和火山岩	斜长花岗岩、花岗岩长斑岩及二长花岗岩	黄铁矿、孔雀石、辉钼矿、斑铜矿; 斜长石、石英、绿泥石	绿泥石化、绢云母化、绿帘石化及硅化	LA-ICPMS	流纹斑岩	371±3Ma	[40]
							LA-ICPMS	花岗岩	275±3Ma	[40]
	海尔罕	Cu: 不详/0.23%~2.75%; Au: 0.1~0.84g/t	玄武岩、安山岩、英安岩、火山角砾岩、砂岩和闪长玢岩	英云闪长岩、花岗岩及闪长玢岩	黄铁矿、闪锌矿、辉钼矿、斑铜矿及磁黄铁矿; 石英、斜长石、绿帘石及绿泥石	钾化、绢云母化及高岭土化	Re-Os	辉钼矿	332±9	[42]
							SHRIMP	花岗岩	341±5	[41]
	土屋	Cu: 大型/0.5%~2% (0.72); Mo: 0.015~0.235 (0.031)	玄武岩、安山岩、英安岩、火山角砾岩、砂岩和闪长玢岩	闪长玢岩、斜长花岗岩	黄铜矿、黄铁矿、斑铜矿、辉钼矿、辉钼矿和磁铁矿; 石英、绢云母、绿泥石、黑云母、阳起石、绿帘石和方解石	硅化、绢云母化、黑云母化、绿帘石化、高岭土化和明矾石化	Re-Os	土屋辉钼矿	321~325	[8]
	延东						TIMS	土屋花岗岩	361±8	[8]
							TIMS	土屋花岗岩	356±8	[43]
							K-Ar	绢云母	341±5	[43]
							Ar-Ar	石英	347±2	[43]
							Re-Os	延东辉钼矿	318-321	[8]
						Re-Os	延东辉钼矿脉	343±26	[28]	
						SHRIMP	斜长花岗岩	334±2	[44]	
						SHRIMP	延东花岗岩	340±3	[9]	
						SIMS	延东花岗岩	332±2	[9]	

续表1

地区	矿床名称	金属量(规模)/品位	赋矿围岩	矿区内主要侵入岩	矿物组合	围岩蚀变	成岩成矿年龄		资料来源
							测试方法	测试对象	
中国 东天山	延西		安山岩、闪长玢岩及斜长花岗岩	斜长花岗岩斑岩	黄铜矿、斑铜矿、辉钨矿、黄铁矿、磁铁矿；石英、斜长石、钾长石、绢云母及高岭土	钾化带、绢英岩化带、绿泥石化-黑云母化带、青磐岩化带	Re-Os SHRIMP	辉钨矿	[45]
			玄武岩、安山岩、砂岩和凝灰岩及闪长玢岩	斜长花岗岩斑岩、花岗闪长岩、花岗岩和闪长玢岩	黄铜矿、斑铜矿、方铅矿、黄铁矿、辉钨矿和磁铁矿；石英、长石、绢云母、绿泥石、高岭石和方解石	硅化、绢云母化、泥化和青磐岩化	SHRIMP SHRIMP SHRIMP	含矿花岗岩斑岩 斜长花岗岩斑岩 含矿花岗岩斑岩	[47] [44] [46]
	赤湖		下石炭统中基性火山岩和海西中期花岗岩长岩	黄铁矿、黄铜矿、褐铁矿和辉钨矿；石英、绢云母、绿泥石、绿帘石和方解石	硅化、绢云母化、绿泥石化、绿帘石化和碳酸盐	SHRIMP	斜长花岗岩斑岩	[47]	
	灵龙			海西中期花岗岩闪长(斑)					
中国 西天山	喇嘛苏	中型 Cu: 0.30% ~ 3.68%, Zn: 0.61 ~ 0.70	花岗岩及元古宙灰岩	英云花岗岩和花岗闪长岩	黄铜矿、黄铁矿、方铅矿和闪锌矿；石英、斜长石、钾长石及绿泥石等	钾化、砂卡岩化、硅化及绿泥石化	SHRIMP	花岗岩	[49]
	达巴特	Cu: 小型 /0.20% ~ 0.80% Mo: 0.02% ~ 0.094%	凝灰质砂岩、角砾岩、花岗岩和流纹斑岩	花岗岩斑岩和流纹斑岩	黄铜矿、辉钨矿、方铅矿和磁铁矿；石英、斜长石、绿泥石、斜长石、方解石	钾化、硅化、绿泥石化及碳酸盐化	SHRIMP SHRIMP LA-ICPMS	流纹斑岩 花岗岩 花岗岩	[49] [49] [50]
	3571 铜矿	Cu: 小型 0.40% ~ 1.27%	泥岩、砂岩及二长花岗岩	二长花岗岩	黄铜矿、磁黄铁矿和黄铁矿；石英、斜长石、云母及绿泥石	钾化、石英-云母化及青磐岩化	LA-ICPMS	花岗岩闪长岩	[34]
	莱尔斯高尔	Mo: 中型/ 0.006% ~ 0.210%	泥岩、砂岩、二长花岗岩及花岗岩长岩	花岗闪长岩、二长花岗岩	辉钨矿、黄铁矿、斑铜矿、黄铜矿；石英、斜长石、云母和方解石	硅化、绿泥石化、绢云母化和碳酸盐化	LA-ICPMS SHRIMP Rb-Sr Re-Os Rb-Sr Re-Os	二长花岗岩 花岗闪长岩 花岗闪长岩 辉钨矿 石英中包裹体 辉钨矿	[34] [48] [48] [48] [48] [48]
肯登高尔	Cu: 小型/ 0.56% ~ 1.20%	灰岩、粉砂岩及花岗岩长岩	花岗闪长岩	黄铜矿、黄铁矿、辉钨矿、斑铜矿；石英、斜长石、绿帘石、方解石及绿泥石	绿帘石化、绿泥石化、碳酸盐化	Re-Os	辉钨矿	[29]	
冬吐尽	Cu: 小型 / 1% ~ 4%	砂岩、泥岩及花岗岩长岩	花岗岩	黄铜矿、黄铁矿和方铅矿；石英、绿帘石和方解石	硅化、绿帘石化和碳酸盐化			[29]	

工业矿体和矿化体均在超浅成相石英闪长玢岩、英安斑岩和浅成相花岗闪长斑岩体内,矿体与斑岩无明显界限。斑岩体主量元素表现为低铝、高钾、高碱,微量元素以富集大离子亲石元素(LILE),如Rb、Ba、Th、Sr等元素,亏损高场强元素(HFSE),如Nb、Ta等元素为特征,具有较为明显的Eu负异常,花岗闪长斑岩的锆石 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值为4.7~8.2<sup>[24]</sup>。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%)<sup>[25]</sup>。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。矿石中的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。矿床围岩蚀变十分强烈,蚀变岩广泛分布于矿体及其围岩中,蚀变类型有钾长石化、石英化、云英岩化、绢英岩化、绿帘石化、绿泥石化、碳酸盐化和黝帘石化。研究表明,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,属斑岩型铜多金属矿床<sup>[26]</sup>。白山堂铜矿位于马鬃山中间地块东南端,侵入岩主要为流纹斑岩、英安斑岩、斜长花岗斑岩、石英粗面岩和角砾熔岩。围岩热液蚀变为硅化、次生石英岩化、绢云母化、阳起石化、透辉石化和绿泥石化。矿石中金属矿物有黄铜矿和黄铁矿,次为磁黄铁矿、方铅矿和毒砂。脉石矿物有石英、绢云母、绿泥石、石墨和方解石<sup>[25]</sup>,前人研究认为白山堂矿床为斑岩铜矿床<sup>[27]</sup>。

### 2.2.2 东天山地区

东天山地区斑岩型铜矿数量与规模均较大,包括土屋-延东、延西、赤湖、灵龙等。这些矿床特征相似,以土屋-延东为代表。矿床所处大地构造位置为东天山晚古生代大南湖增生岛弧<sup>[28]</sup>,南侧3km处为大型康古尔-黄山韧性剪切带。矿区出露的地层主要为下石炭统企鹅山群玄武岩、安山玄武岩、凝灰岩、火山角砾岩、凝灰质砂岩和砾岩等。侵入岩由于大部分被砾岩掩盖,均呈小岩株产出,岩性主要为花岗闪长斑岩和斜长花岗斑岩。矿带内中基性火山岩、花岗闪长斑岩和矿体均呈EW向展布。土屋-延东矿区矿化蚀变带长15 km,宽250~530 m,矿床主要由呈厚板状和似层状产出<sup>[29]</sup>。铜钼

矿化在花岗闪长斑岩和中基性火山岩中均有发现。矿石以稀疏浸染状为主,少量为细脉状和团块状。矿石中金属矿物为黄铜矿、斑铜矿、辉钼矿、黄铁矿、辉铜矿和铜蓝等,脉石矿物主要为石英、绢云母、高岭石、绿泥石、绿帘石、钾长石和方解石等。围岩蚀变为硅化、绢云母化、黑云母化、泥化、青磐岩化和碳酸盐化。成矿具有多阶段性,第一期为黑云母-钾长石-钠长石化和矿化阶段;第二期为石英-硫化物细脉阶段;第三期为石英-辉钼矿阶段;第四期为硫酸盐-硫化物阶段;最后为碳酸盐-硫化物阶段<sup>[27]</sup>。容矿斜长花岗岩具有典型的埃达克质岩石主微量元素特征,其 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值为5~9.4,初始 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值为0.70316~0.70378<sup>[28,30]</sup>。芮宗瑶等<sup>[8]</sup>对土屋-延东铜矿床矿石中黄铜矿、黄铁矿进行了硫同位素测定,其平均值为0.336%,与陨硫很接近,说明成矿热液可能来源于深部。刘敏等<sup>[31]</sup>对土屋斑岩铜钼矿床流体包裹体的氢氧同位素、温度和稀土元素进行详细研究,认为成矿流体主要为岩装水和大气降水的混合。

### 2.2.3 西天山地区

西天山地区斑岩型矿床以莱历斯高尔斑岩型铜钼矿床为代表,位于西天山博罗霍洛山北坡大断裂南侧。大地构造位置属依连哈比尔尕晚古生代残余洋盆和博罗霍洛早古生代岛弧的结合部位<sup>[32]</sup>。矿区出露地层主要为上志留统博罗霍洛山组钙质泥质粉砂岩、细粒泥质钙质长石岩屑砂岩夹含钙粉砂质泥岩和含泥粉砂质灰岩,普遍发生角岩化和片理化<sup>[29]</sup>。莱历斯高尔一带侵入岩较为发育,莱历斯高尔矿区出露的斑岩体主要为二长闪长斑岩、花岗闪长斑岩,多呈不规则岩株状产出,时代跨越加里东期和海西期。区域构造线总体呈NW向,断裂和褶皱构造发育,NW向断裂控制了浅成斑岩体、铜多金属矿化带展布。矿区围岩蚀变发育,且具分带现象,自斑岩体向外依次是:钼矿化较弱的钾化带;石英-绢云母化带,是钼的主要富集区;绿泥石化-碳酸盐化带,离岩体较远,但亦见微弱矿化,其对应成矿的3个阶段<sup>[30]</sup>。矿石矿物主要为辉钼矿,并有少量黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、白钨矿;脉石矿物主要有石英、钾长石、角闪石、黑云母、绿泥石及方解石等。矿石为自形或半自形结构,星点或细脉浸染状构造<sup>[31]</sup>。花岗斑岩体主微量具有典型钙碱性岩系火山

弧花岗岩的特征, 铷同位素初始值  $I_{Sr}$  和  $\epsilon_{Nd}(t)$  分别为 0.7079 ~ 0.7103 和 -0.61 ~ -3.71, 暗示源区于地壳, 形成于大陆弧构造环境<sup>[34]</sup>。主成矿阶段的流体包裹体捕获温度和压力分别为 210 ~ 343°C 和 17 ~ 59 MPa, 对应成矿深度为 1.7 ~ 2.2 km<sup>[33]</sup>。

### 3 讨论与结论

#### 3.1 斑岩型铜矿床成矿时代

根据已有的年龄资料, 蒙古戈壁天山成矿带明显分为两期成矿作用: 晚泥盆世和早石炭世。晚泥盆世以查干苏布尔加和欧玉陶勒盖斑岩型铜金矿床为代表, 查干苏布尔加铜矿床早期得到的容矿花岗岩 Rb-Sr 等时线年龄 (338±14) Ma 和 Ar-Ar 年龄 (313±6) Ma<sup>[35]</sup>, 曾被认为形成于石炭纪。但是, 根据新的定年结果, 其容矿的花岗闪长斑岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 (367±4) Ma (未发表结果), 二长花岗斑岩的侵位年龄 (366±4) Ma<sup>[21]</sup>, 矿石辉钼矿的 Re-Os 等时线年龄约 370 Ma<sup>[21,36]</sup>, 说明查干苏布尔加铜矿床应是和晚泥盆世岛弧有关的斑岩型矿床。欧玉陶勒盖铜金矿区与矿化有关的石英闪长岩年龄为 (371±2) Ma, 矿化稍弱的花岗闪长岩的年龄约为 (365±2) Ma<sup>[15]</sup>, 矿石中辉钼矿 Re-Os 等时线年龄为 373~370 Ma<sup>[37]</sup>, 充分说明欧玉陶勒盖成矿时代与查干苏布尔加铜矿床大体相同, 均形成于晚泥盆纪, 两者大体呈北东向展布。早石炭世成矿作用以苏廷和曼达赫为代表, 苏廷含矿花岗斑岩体的侵位年龄为 (333±5) Ma (未发表数据), 稍老于已报道的“苏廷杂岩”中一个花岗岩全岩 Rb-Sr 等时线年龄 (322±9) Ma<sup>[38]</sup> 和一条花岗岩脉的 TIMS 年龄 (325±1) Ma<sup>[39]</sup>, 但与“苏廷杂岩”中安山岩的全岩 Rb-Sr 等时线年龄 (336±24) Ma<sup>[23]</sup> 相近, 说明“苏廷杂岩”中不同的岩石单元大体同时形成于早石炭世, 也指示苏廷铜矿床成矿时代为晚石炭世。此外, 据 Blight 等<sup>[39]</sup> 对曼达赫—塞汗都兰地区具斑岩型铜矿化的花岗岩类侵入的研究结果, 该地区的与铜矿化有关的斑岩均形成于晚石炭世, 如青(铜)狐狸 (Bronze Fox) 花岗岩、那瑞呼塔格 (Narin Hudag) 花岗岩和奥尤特乌兰 (Oyut Ulaan) 花岗岩及其火山岩围岩等形成年龄均为 330 Ma 左右。这说明蒙古南戈壁地区还存在一期晚石炭世的重要的斑岩型铜矿成矿事件。

北山斑岩成矿带的成矿时代有多期特征。公

婆泉铜钼矿早期的 K-Ar 年龄显示, 石英闪长玢岩的 K-Ar 年龄为 (372±16) Ma<sup>[26]</sup>, 而花岗闪长斑岩为 336~340 Ma<sup>[26]</sup>, 而成矿年龄缺失。最近利用 LA-ICPMS 得到公婆泉铜矿花岗闪长斑岩的成岩结晶时代为 (453±7) Ma<sup>[24]</sup>。白山堂的流纹斑岩和斜长花岗斑岩的全岩 Rb-Sr 年龄分别为 (333±7) Ma 和 (275±8) Ma<sup>[27]</sup>, 最近利用 LA-ICPMS 得到白山堂含矿花岗斑岩和流纹斑岩的年龄分别为 (275±3) Ma 和 (371±3) Ma<sup>[40]</sup>。额勒根钼铜矿的花岗闪长岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 (341±5) Ma<sup>[41]</sup>, 而辉钼矿 Re-Os 年龄为 (332±9) Ma<sup>[42]</sup>, 说明额勒根钼铜矿的成岩成矿年龄均为早石炭世。而该带的青山铜矿和海尔罕铜矿缺失同位素年代学资料, 成岩和成矿年龄都未知。北山较其他地区研究程度较弱, 矿床的发现度明显不足, 就现有资料来说北山成矿带的成岩成矿年代为早石炭世, 当然还需要更多资料的支持和验证。

东天山成矿带的成矿时代主要为早石炭世。土屋—延东矿区已经积累了大量的同位素年代学资料, 土屋矿区, 斜长花岗岩的单颗粒锆石 U-Pb 年龄为 (356±8) Ma<sup>[43]</sup> 和 (361±8) Ma<sup>[8]</sup>, 辉钼矿 Re-Os 年龄为 (321±3) Ma 到 (325±3) Ma<sup>[8]</sup>。延东矿区, 闪长斑岩和斜长花岗斑岩的 SIMS 锆石 U-Pb 年龄分别为 (340±3) Ma 和 (332±2) Ma<sup>[9]</sup>, 辉钼矿 Re-Os 年龄为 (318±5) Ma~(321±2) Ma<sup>[8]</sup>, 延东细脉侵染状辉钼矿的 Re-Os 年龄为 343 Ma<sup>[28]</sup>。土屋—延东的蚀变绢云母的 K-Ar 年龄为 (341±5) Ma, 与石英 Ar-Ar 年龄 (347±2) Ma 基本一致<sup>[43]</sup>。钻孔内斜长花岗岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 (334±2) Ma<sup>[44]</sup>。所以土屋—延东斑岩铜矿的成岩成矿时代基本为早石炭世, 成矿比岩体年龄略晚。延西矿区, 含矿斜长花岗斑岩中的辉钼矿 Re-Os 年龄为 (326±5) Ma<sup>[45]</sup>, 含矿斜长花岗斑岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 333~334 Ma<sup>[44,46]</sup>, 说明延西斑岩铜矿的成岩成矿时代为早石炭世。赤湖斑岩铜钼矿的斜长花岗岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 (322±10) Ma<sup>[47]</sup>, 与延西基本一致。灵龙斑岩铜钼矿暂时无年代学资料发表。总的来说东天山斑岩铜钼的成矿时代为早石炭世。

西天山斑岩成矿带的成矿作用呈多阶段性的特征明显。莱历斯高尔斑岩型铜钼矿床成矿同位



素年代学研究资料比较丰富,李华芹等<sup>[48]</sup>获得花岗闪长斑岩的锆石 SHRIMP U-Pb 和全岩 Rb-Sr 等时线年龄分别为(362±12)Ma 和(350±15)Ma、辉钼矿 Re-Os 等时线和含矿石英包裹体 Rb-Sr 等时线年龄分别为(359±8)Ma 和(341±9)Ma;张东阳等<sup>[34]</sup>用锆石的 LA-ICP-MS 测得斑岩体的等时线年龄为(354±1)Ma;朱明田<sup>[33]</sup>测得 5 件辉钼矿的 Re-Os 同位素模式年龄加权平均值为(373±5)Ma、等时线年龄为(378±8)Ma,表明莱尔斯高尔铜钼矿床的成岩、成矿时代为晚泥盆世-早石炭世。喇嘛苏铜锌矿花岗斑岩的 SHRIMP U-Pb 年龄和 LA-ICPMS 年龄分别为(391±8)Ma<sup>[49]</sup>和(366±2)Ma<sup>[50]</sup>,表明喇嘛苏铜锌矿的成岩年龄为泥盆纪,延续时间较长。达巴特铜钼矿流纹斑岩和花岗斑岩的 SHRIMP U-Pb 年龄分别为(316±6)Ma 和(279±6)Ma<sup>[49]</sup>,英安岩和花岗斑岩的 LA-ICPMS 年龄为(316±4)Ma 和(289±2)Ma<sup>[50]</sup>,说明达巴特铜钼矿火山岩的年龄为晚石炭世,侵入岩主要为早二叠世。3571 铜矿的花岗闪长斑岩的 LA-ICPMS 年龄为(354±1)Ma<sup>[34]</sup>,说明 3571 铜矿形成于早石炭世早期。肯登高尔和冬吐尽铜钼矿缺乏同位素年代学资料,但普遍认为成矿作用发生在早石炭世<sup>[29]</sup>。所以西天山斑岩成矿带的成矿时代比较复杂,呈多阶段性。

综上所述,戈壁天山,北山、东天山和西天山的斑岩成矿时代比较接近,集中在泥盆纪和石炭纪,证明泥盆-石炭纪古亚洲洋广泛发育岛弧岩浆活动,是中亚造山带重要的成矿时期。

### 3.2 斑岩型成矿带区域连接问题

对于蒙古戈壁天山和中国北山-天山斑岩型铜矿带是否为同一条成矿带,目前尚未有明确的答案。从目前的资料看,我们认为这一问题的答案应该是肯定的,其主要依据有 4 点:

(1)矿床特征相似。包括控矿构造,围岩蚀变,矿石矿物和脉石矿物组成,矿石结构构造都有相似性和可比性(表 1);(2)成矿时代相似,均形成于泥盆-石炭纪;(3)形成背景相同,即均形成于岛弧发育时期(目前尚未发现有奥陶纪斑岩型矿床,也暗示泥盆纪与石炭纪是岛弧的主要发育期);(4)成矿作用均与岛弧背景下的埃达克岩有密切的时空关系。

Thieblemont 等<sup>[51]</sup>统计了全球 43 个低温热液和斑岩矿床,发现其中的 38 个与埃达克岩有关,其中,

世界级的斑岩铜矿大多与板块消减作用形成的埃达克岩有关。冷成彪等<sup>[52]</sup>研究了中国 26 个大中型斑岩铜矿,发现其中的 25 个矿床都与埃达克岩有关。这表明斑岩成矿作用与埃达克岩有着紧密的联系<sup>[53]</sup>。实验岩石学和矿床学研究表明,大洋中脊玄武岩富含铜、金和挥发性组份,是埃达克岩的主要原岩<sup>[54-56]</sup>。在洋壳俯冲过程中,其蕴含的大量角闪石会发生分解而产生大量的铜、金和挥发性组份进入到埃达克质岩石中,在上升过程中压力急剧下降,原先溶解在岩浆中的金属元素和挥发性组份会释放出来而形成成矿流体,最终形成斑岩型矿床<sup>[57]</sup>。埃达克质岩浆在与地幔反应过程中,也会萃取其中的金属元素,有利于形成大型斑岩矿床。但从埃达克岩的形成到成矿流体的分离的整个过程,都要求保持高的氧逸度,以保证硫元素的稳定,从而保证铜、金元素在岩浆中的富集。戈壁天山、北山和天山斑岩铜钼成矿带中规模较大的矿床都与埃达克岩有关。而关于埃达克岩的成因,主要有 4 种模式:①年轻洋壳的部分熔融<sup>[54]</sup>;②底垫下地壳的部分熔融<sup>[58-59]</sup>;③玄武质岩浆的结晶分异<sup>[60]</sup>;④拆沉下地壳的部分熔融<sup>[61]</sup>。上述 3 个成矿带的埃达克岩的高铝、钠而低钾含量,说明这些埃达克岩主要是洋壳脱水熔融的成因,也就是说是岛弧岩浆作用的一部分,所以笔者认为戈壁天山、北山和天山斑岩成矿带主要形成于岛弧构造背景之下。与矿化有关的泥盆纪侵入体具有高的 Sr/Y 比和岩浆混合特征,而且其锆石具有特征性的 Th/U 和 Yb/Gd 比值。泥盆纪和石炭纪岩浆岩都亏损高场强元素,表明形成于岩浆弧背景,Nd 同位素和 Pb 同位素特征显示为洋内弧,很少受到陆壳物质的混染<sup>[15]</sup>。

综上所述,蒙古戈壁天山和北山-天山斑岩型铜矿带是中亚造山带相同构造背景下不同部位发生矿化的产物,属同一斑岩成矿带。

**致谢:** 蒙古科技大学对蒙古国野外调查工作提供了大力支持,在此表示感谢。

### 参考文献(References):

- [1] Sillitoe R H. Porphyry copper systems[J]. *Economic Geology*, 2010, 105: 3-41.
- [2] Jahn B M, Windley B, Natal'in B, et al. Phanerozoic continental growth in Central Asia[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2004, 23: 599-603.

- [3] Windley B F, Alexeev D, Xiao, W J, et al. Tectonic models for accretion of the Central Asian Orogenic Belt [J]. *Journal of the Geological Society (London)*, 2007, 164: 31–47.
- [4] Şengör A M C, Natal'in B A, Burtman U S. Evolution of the Altaid tectonic collage and Paleozoic crustal growth in Eurasia[J]. *Nature*, 1993, 364: 209–304.
- [5] Pirajno F, Mao J W, Zhang Z C, et al. The association of mafic–ultramafic intrusions and A–type magmatism in the Tian Shan and Altay orogens, NW China: implications for geodynamic evolution and potential for the discovery of new ore deposits[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2008, 32: 165–183.
- [6] Jahn B M, Wu F Y, Chen B. Granitoids of the Central Asian Orogenic Belt and Continental Growth in the Phanerozoic [J]. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh. Earth Sciences*, 2000, 91: 181–193.
- [7] 刘益康, 徐叶兵. 蒙古 Oyu Tolgoi 斑岩铜金矿的勘查[J]. *地质与勘探*, 2003, 39(1): 1–4.  
Liu Yikang, Xu Yebing. The prospecting and main features of Oyu Tolgoi porphyry Cu–Au deposit in Mongolia[J]. *Geology and Prospecting*, 2003, 39(1): 1–4 (in Chinese with English abstract).
- [8] 芮宗瑶, 刘玉琳, 王龙生, 等. 新疆东天山斑岩铜矿带及其大地构造格局[J]. *地质学报*, 2002, 76(1): 83–94.  
Rui Zongyao, Liu Yulin, Wang Longsheng, et al. The eastern Tianshan porphyry copper belt in Xinjiang and its tectonic framework[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2002, 76(1): 83–94 (in Chinese with English abstract)
- [9] Shen P, Pan H D, Dong L H. Yandong porphyry Cu deposit, Xinjiang, China—Geology, geochemistry and SIMS U–Pb zircon geochronology of host porphyries and associated alteration and mineralization[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2014, 80: 197–217.
- [10] Badarch G, Cunningham W D, Windley B F. A new terrane subdivision for Mongolia: implications for the Phanerozoic crustal growth of Central Asia [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2002, 21: 87–110.
- [11] 左国朝, 何国琦, 等(主编). 北山板块构造及成矿规律[M]. 北京: 北京大学出版社, 1990: 1–209.  
Zuo Guochao, He Guoqi (eds.). *Plate Tectonics and Metallogenic Regularities in Beishan Region* [M]. Beijing: Peking University Press, 1990:1–209 (in Chinese).
- [12] Zheng Y, Zhang Q, Wang Y, et al. Great Jurassic thrust sheets in Beishan (North Mountains) Gobi areas of China and southern Mongolia[J]. *Journal of Structural Geology*, 1996, 18: 1111–1126.
- [13] 聂凤军, 江思宏, 白大明, 等. 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, 2002:1–408.  
Nie Fengjun, Jiang Sihong, Bai Daming, et al. *Metallogenic Studies and Ore Prospecting in the Conjunction Area of Inner Mongolia Autonomous Region, Gansu Province and Xinjiang Uygur Region (Beishan Mt.), Northwest China*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2002:1–408 (in Chinese with English abstract).
- [14] Xiao W J, Mao Q G, Windley B F, et al. Paleozoic multiple accretionary and collisional processes of the Beishan orogenic collage[J]. *American Journal of Science*, 2010, 310: 1553–1594.
- [15] Wainwright A J, Tosdal R M, Wooden J L, et al. U–Pb (zircon) and geochemical constraints on the age, origin, and evolution of Paleozoic arc magmas in the Oyu Tolgoi porphyry Cu–Au district, southern Mongolia[J]. *Gondwana Research*, 2011, 19: 764–787.
- [16] 江思宏, 聂凤军, 陈文, 等. 甘肃辉铜山铜矿床燕山期钾长花岗岩的发现及其地质意义[J]. *矿床地质*, 2003, 22(2): 185–190.  
Jiang Sihong, Nie Fengjun, Chen Wen, et al. Discovery of Yanshanian K–feldspar granite in Huitongshan copper deposit, Gansu Province, and its implication[J]. *Mineral Deposits*, 2003, 22(2): 185–190 (in Chinese with English abstract).
- [17] 李舫, 王涛, 童英. 中亚造山系中南段早中生代花岗岩类时空分布特征及构造环境[J]. *岩石矿物学杂志*, 2010, 29(6): 642–662.  
Li Shan, Wang Tao, Tong Ying. Spatial–temporal distribution and tectonic settings of Early Mesozoic granitoids in the middle–south segment of the Central Asia Orogenic System[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2010, 29(6): 642–662.
- [18] 张新元, 聂秀兰. 蒙古国南部欧玉陶勒盖铜(金)矿田找矿勘查及成矿理论研究新进展[J]. *地球学报*, 2010, 31(3): 373–382.  
Zhang Xinyuan, Nie Xiulan. New advancements in exploration practice & theoretical studies of the Oyu Tolgoi copper (Gold) orefield in the southern Mongolia [J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2010, 31(3): 373–382 (in Chinese with English abstract)
- [19] Helo C, Hegner E, Kroner A, et al. Geochemical signature of palaeozoic accretionary complexes of the Central Asian Orogenic Belt in southern Mongolia, constraints on arc environments and crustal growth[J]. *Chemical Geology*, 2006, 227: 236–257.
- [20] Perello J, Cox D, Garamjav D. Oyu Tolgoi, Mongolia: Siluro–Devonian porphyry Cu–Au (Mo) and high–sulfidation Cu mineralization with a Cretaceous chalcocite blanket[J]. *Economic Geology*, 2001, 96: 1407–1428.
- [21] 侯万荣, 聂凤军, 江思宏, 等. 蒙古国查干苏布尔加大型铜–钼矿床地质特征及成因[J]. *地球学报*, 2010, 31(3): 307–320.  
Hou Wanrong, Nie Fengjun, Jiang Sihong, et al. The geology and ore–forming mechanism of the Tsagaan Suvarga large–size Cu–Mo porphyry deposit in Mongolia[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2010, 31(3), 307–320 (in Chinese with English abstract).
- [22] Hovan M, Gregush Ya, Gladil I, et al. Result of Geological Prospecting Work on the Shuteen Volcano–plutonic Structure in Alagbayan horst, South Gobi District[C]// Geological Report 46, Geo–Information Center, Ulaanbaatar, Mongolia, 1983:125 (in Russian).
- [23] Batkhisig B. Magmatic–Hydrothermal System of the Shuteen Mineralized Complex, South Gobi. Mongolia[D]. PhD thesis,

- Tohoku University, Japan, 2005.
- [24] 陕亮, 许荣科, 郑有业, 等. 北山地区白山堂铜多金属矿区岩浆岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年代学及其地质意义[J]. 中国地质, 2013, 40(5): 1600-1611.
- Shan Liang, Xu Rongke, Zheng Youye, et al. Zircon LA-ICP-MS U-Pb chronology of magmatic rock in the Baishantang copper polymetallic deposit of Beishan area, Northwest China[J]. *Geology in China*, 2013, 40(5): 1600-1611(in Chinese with English abstract).
- [25] 聂凤军, 江思宏, 白大明, 等. 蒙甘新相邻(北山)地区金铜矿床时空分布特征及成矿作用[J]. 矿床地质, 2003, 22(3): 234-245.
- Nie Fengjun, Jiang Sihong, Bai Daming, et al. Temporal-spatial distribution and metallogenic processes of gold and copper deposits in Inner Mongolia-Gansu-Xinjiang border (Beishan) region[J]. *Mineral deposits*, 2003, 22(3): 234-245 (in Chinese with English abstract).
- [26] 王大为, 邹治平, 李绍雄. 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, 1995, 16(1): 115-122.
- Wang Dawei, Zou Zhiping, Li Shaoxiong. On the ore-forming geological features and ore deposit genesis of the Gongpoquan copper deposit, Gansu Province[J]. *Northwest Geoscience*, 1995, 16(1): 115-122 (in Chinese with English abstract).
- [27] 王伏泉. 白山堂铜矿床两期有关岩体的 Rb-Sr 等时线年龄及其稀土配分特征[J]. 矿物岩石地球化学通报, 1996 15(3): 187-190.
- Wang Fuquan. Rb-Sr isochron ages and the characteristics of REE distribution patterns of two stages of intrusive bodies correlated with Baishantang copper ore deposits[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 1996, 15(3): 187-190 (in Chinese with English abstract).
- [28] 张连昌, 秦克章, 英基丰, 等. 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[J]. 岩石学报, 2004, 29(2): 259-268
- Zhang Lianchang, Qin Kezhang, Ying Jifeng, et al. The relationship between ore-forming Processes and adakitic rock in Tuwu-Yandong porphyry copper metallogenic belt, eastern Tianshan mountains. *Acta Petrologica Sinica*, 2004, 20(2): 259-268 (in Chinese with English abstract).
- [29] 王志良, 毛景文, 张作衡, 等. 新疆天山斑岩铜钼矿地质特征、时空分布及其成矿地球动力学演化[J]. 地质学报, 2006, 80(7): 944-955.
- Wang Zhiliang, Mao Jingwen, Zhang Zuoheng, et al. Geology, time-space distribution and metallogenic geodynamic evolution of porphyry copper(molybdenum) deposits in the Tianshan Mountains[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2006, 80(7): 943-955 (in Chinese with English abstract).
- [30] Zhang L C, Xiao W J, Qin K Z., et al. The adakite connection of the Tuwu-Yandong copper porphyry belt, eastern Tianshan, NW China: trace element and Sr-Nd-Pb isotope geochemistry[J]. *Mineral Deposits*, 2006, 41: 188-200.
- [31] 刘敏, 王志良, 张作衡, 等. 新疆东天山土屋斑岩铜矿床流体包裹体地球化学特征[J]. 岩石学报, 2009, 25(6): 1446-1455.
- Liu Min, Wang Zhiliang, Zhang Zuoheng, et al. Fluid inclusion geochemistry of Tuwu porphyry copper deposit, eastern Tianshan in Xinjiang[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2009, 25 (6):1446-1455 (in Chinese with English abstract).
- [32] 何国琦, 成守德, 徐新, 等. 中国新疆及邻区大地构造图说明书[M]. 北京: 地质出版社, 2004:1-65.
- He Guoqi, Cheng Shoude, Xu Xin, et al. An Introduction to the Explanatory Text of the Map of Tectonics of Xinjiang and Its Neighbouring Areas[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2004:1-110 (in Chinese with English abstract)
- [33] 朱明田, 武广, 解洪晶, 等. 新疆西天山莱历斯高尔斑岩型铜钼矿床辉钼矿 Re-Os 同位素年龄及流体包裹体研究[J]. 岩石学报, 2010, 26(12): 3667-3682.
- Zhu Mingtian, Wu Guang, Xie Hongjing, et al. Re-Os isotopic geochronology and fluid inclusion study of the Lailisigaoer porphyry Cu-Mo deposit in western Tianshan, Xinjiang, NW China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2010, 26(12): 3667-3682 (in Chinese with English abstract).
- [34] 张东阳, 张招崇, 艾羽, 等. 西天山莱历斯高尔一带铜(钼)矿成矿斑岩年代学、地球化学及其意义[J]. 岩石学报, 2009, 25(6): 1319-1331.
- Zhang Dongyang, Zhang Zhaochong, Ai Yu, et al. Geochronology, geochemistry of the ores-bearing porphyries in the Lailisigaoer region, western Tianshan: Implications for their tectonic setting and mineralization[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2009, 25(6): 1319-1331 (in Chinese with English abstract).
- [35] Tungalag N, Liu Yun-Shin, Shu Ying-Jui, et al. Mechanism and age constraints for Cu mineralization in the granitic rocks from Tsagaan Suvarga, South Mongolia[C]//Proceedings of Annual Congress of Chinese Geophysical Society and Geological Society of Taiwan, Taipei, 2009, 91-92.
- [36] Watanabe Y, Stein H J. Re-Os ages for the Erdenet and Tsagaan Suvarga porphyry Cu-Mo deposits, Mongolia, and tectonic implications [J]. *Economic Geology*, 2000, 95:1537-1542.
- [37] Kirwin D J, Forster C N, Kavalieris I, et al. The Oyu Tolgoi copper-gold porphyry deposits, South Gobi, Mongolia[C]//Seltman R, Gerel O, Kirwin D J (eds.). *Geodynamics and metallogeny of Mongolia with a special emphasis on copper and gold deposits: IAGOD Fieldtrip Guidebook series*. 2005, 11:155-168.
- [38] Iizumi S, Batkhishig B. Petrology of Carboniferous Shuteen Pluton in the South Gobi Fold Belt, South Mongolia[C]//Abstracts, the 107th Annual Meeting of the Geological Society of Japan, 2000: 319.
- [39] Blight J H S, Crowley Q G, Petterson M G, et al. Granites of the southern Mongolia Carboniferous arc: New geochronological and geochemical constraints [J]. *Lithos*, 2010, 116: 35-52.

- [40] 于明杰,毛启贵,方同辉,等.甘肃公婆泉铜矿床含矿斑岩体地球化学特征、锆石 U-Pb 年龄及 Hf 同位素特征研究[J].地质与勘探,2014,50(1):145-155.  
Yu Mingjie, Mao Qigui, Fang Tonghui, et al. Geochemical characteristics, zircon U-Pb ages and Hf isotopic characteristics of the ore-bearing porphyry in the Gongpoquan copper deposit[J]. Geology and exploration, 2014, 50(1):145-155(in Chinese with English abstract).
- [41] 杨岳清,赵金花,孟贵祥,等.内蒙古北山地区斑岩型钼矿的成岩成矿时代和形成环境探讨[J].地球学报,2013,34(4):401-412.  
Yang Yueqing, Zhao Jinhua, Meng Guixiang, et al. Rock-forming and ore-forming ages as well as formation environments of porphyry molybdenum deposits in Beishan area, Inner Mongolia[J]. Acta Geoscientia Sinica, 2013, 34(4): 401-412 (in Chinese with English abstract).
- [42] 聂凤军,屈文俊,刘妍,等.内蒙古额勒根斑岩型钼(铜)矿化区辉钼矿铼-钨同位素年龄及地质意义[J].矿床地质,2005,24(6):638-646.  
Nie Fengjun, Qu Wenjun, Liu Yan, et al. Re-Os isotopic age dating of molybdenite separates from Elegen porphyry Mo(Cu) mineralized area, northwestern Alxa, western Inner Mongolia[J]. Mineral Deposits, 2005, 24(6): 638-646 (in Chinese with English abstract).
- [43] 秦克章,方同辉,王书来,等.东天山板块构造分区、演化与成矿地质背景研究[J].新疆地质,2002,20(4):302-330.  
Qin Kezhang, Fang Tonghui, Wang Shulai, et al. Plate tectonic division, evolution and metallogenic settings in eastern Tianshan Mountains, NW-China[J]. Xinjiang Geology, 2002, 20(4): 302-308 (in Chinese with English abstract).
- [44] 刘德权,陈毓川,王登红,等.土屋—延东铜钼矿田与成矿有关问题的讨论[J].矿床地质,2003,22(4):334-344.  
Liu Dequan, Chen Yuchuan, Wang Denghong, et al. A discussion on problems related to mineralization of Tuwu-Yandong Cu-Mo ore field in Hami, Xinjiang[J]. Mineral Deposits, 2003, 22 (4): 334-344 (in Chinese with English abstract).
- [45] 张达玉,周涛发,袁峰,等.新疆东天山地区延西铜矿床的地球化学、成矿年代学及其地质意义[J].岩石学报,2010,26(11):3327-3338.  
Zhang Dayu, Zhou Taofu, Yuan Feng, et al. Geochemical characters, metallogenic chronology and geological significance of the Yanxi copper deposit in eastern Tianshan, Xinjiang[J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, 26(11): 3327-3338 (in Chinese with English abstract).
- [46] 陈富文,李华芹,陈毓川,等.东天山土屋—延东斑岩铜矿田成矿时代精确测定及其地质意义[J].地质学报,2005,79(2):247-254.  
Chen Fuwen, Li Huaqin, Chen Yuchuan, et al. Zircon SHRIMP U-Pb dating and its geological significance of mineralization in Tuwu-Yandong porphyry copper mine, East Tianshan Mountain[J]. Acta Geologica Sinica, 2005, 79(2): 247-254 (in Chinese with English abstract).
- [47] 吴华,李华芹,陈富文,等.东天山哈密地区赤湖钼铜矿区斜长花岗斑岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄[J].地质通报,2006,25(5):549-552.  
Wu Hua, Li Huaqin, Chen Fuwen, et al. Zircon SHRIMP U-Pb dating of plagiogranite porphyry in the Chihu molybdenum-copper district, Hami, East Tianshan[J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25 (5): 549-552 (in Chinese with English abstract).
- [48] 李华芹,王登红,万颀,等.新疆莱历斯高尔铜钼矿床的同位素年代学研究[J].岩石学报,2006,22(10):2437-2443.  
Li Huaqin, Wang Denghong, Wan Yu, et al. Isotopic geochronology study and its significance of the Lailisigaoer Mo deposit, Xinjiang[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(10): 2437-2443 (in Chinese with English abstract).
- [49] Zhang Z H, Wang Z L, Wang L S, et al. Metallogenic epoch and ore-forming environment of the Lamasu skarn-porphyrific Cu-Zn deposit, western Tianshan, Xinjiang, NW China[J]. Acta Geologica Sinica (English Edition), 2008, 82(4): 731-740.
- [50] Tang G J, Wang Q, Derek A W, et al. Geochronology and geochemistry of Late Paleozoic magmatic rocks in the Lamasu-Dabate area, northwestern Tianshan (west China): Evidence for a tectonic transition from arc to post-collisional setting[J]. Lithos, 2010, 119: 393-411.
- [51] Thiéblemont D, Stein G, Lescuyer J L. Gisements épithermaux porphyriques: la connexion adakite[J]. Earth Planet Sci., 1997, 325: 103-109.
- [52] 冷成彪,张兴春,陈衍景,等.中国斑岩铜矿与埃达克(质)岩关系探讨[J].地学前缘,2007,14(5):199-210.  
Leng Chengbiao, Zhang Xingchun, Chen Yanjing, et al. Discussion on the relationship between Chinese porphyry copper deposits and adakitic rocks[J]. Earth Science Frontiers, 2007, 14 (5): 199-210 (in Chinese with English abstract).
- [53] 张连昌,万博,焦学军,等.西准包古图含铜斑岩的埃达克岩特征及其地质意义[J].中国地质,2006,33(3):626-631.  
Zhang Lianchang, Wan Bo, Jiao Xuejun, et al. Characteristics and geological significance of adakitic rocks in copper-bearing porphyry in Baogutu, western Junggar[J]. Geology in China, 2006, 33(3): 626-631(in Chinese with English abstract).
- [54] Drummond M S, Defant M J. A model for trondhjemite-tonalite-dacite genesis and crustal growth via slab melting: Archean to modern comparisons[J]. Journal of Geophysical Research, 1990, 95: 21503-21521.
- [55] Mungall J E. Roasting the mantle: slab melting and the genesis of major Au and Au-rich Cu deposit[J]. Geology, 2002, 30: 915-918.
- [56] Wang Q, Xu J F, Zhao Z H. Intermediate-acid igneous rocks strongly depleted in heavy rare earth elements (or adakitic rocks) and copper-gold metallogenesis[J]. Earth Science Frontiers, 2003, 10: 561-572.

- [57] Zhang L C, Xiao W J, Qin K Z, et al. The adakite connection of the Tuwu-Yandong copper porphyry belt, eastern Tianshan, NW China: trace element and Sr-Nd-Pb isotope geochemistry[J]. *Mineral Deposits*, 2006, 41: 188-200.
- [58] Atherton M P, Petford N. Generation of sodium-rich magmas from newly underplated basaltic crust[J]. *Nature*, 1993, 362:144-146.
- [59] 张旗. 埃达克岩研究的回顾和前瞻[J]. *中国地质*, 2008, 35(1): 32-39.
- [60] Castillo P R. An overview of adakite petrogenesis[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2006, 51: 257-268.
- [61] Gao S, Rudnick R L, Yuan H L, et al. Recycling lower continental crust in the North China craton[J]. *Nature*, 2004, 432: 892-897.

## A comparative analysis of geological characteristics and mineralization epochs of porphyry-type Cu (Au-Mo) deposits in Mongolian Gebi-Tianshan and Chinese Beishan-Tianshan and its significance

ZHU Ming-shuai<sup>1</sup>, Anaad Chimedtseren<sup>2</sup>, MIAO Lai-cheng<sup>1</sup>, Baatar Munkhtsengel<sup>2</sup>,  
ZHANG Fu-qin<sup>1</sup>, YANG Shun-hu<sup>1</sup>, LI Yue-ming<sup>1</sup>

(1. *Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China*; 2. *School of Geology and Petroleum Engineering, Mongolian University of Science and Technology, Ulaanbaatar 210646, Mongolia*)

**Abstract:** In recent years, many porphyry-type Cu deposits have been found in Mongolian Gobi-Tianshan and in Chinese Beishan and Tianshan. This paper summarizes geological characteristics and metallogenic age data of typical porphyry-type deposits in these areas and suggests that the deposits were mainly formed during Devonian-Carboniferous. Meanwhile, most of these deposits are genetically related to adakites, indicating that they were formed in a volcanic arc setting. It is held that the deposits in these areas likely constitute a single giant porphyry-type metallogenic belt, which straddles the border between China and Mongolia. The features are analogous to features of the porphyry deposits in Neocene, implying great resource potential of CAOB (Central Asian Orogenic Belt).

**Key words:** porphyry-type ore deposit; adakite; volcanic arc; Mongolian Gobi-Tianshan; Chinese Beishan-Tianshan

---

**About the first author:** ZHU Ming-shuai, male, born in 1987, doctor candidate, major in structural geology; E-mail: shuaimingzhu@163.com.