

内蒙古毛登锡铜矿床地质及成因

刘玉强

(内蒙古地矿局, 呼和浩特)

提 要: 内蒙古毛登锡铜矿床是大兴安岭南段的锡多金属矿床之一。该矿床是与阿鲁包格山花岗斑岩 (Rb-Sr 等时线年龄 $149 \times 10^{-6} \text{a}$, 铷同位素初始比值为 0.705) 有关的具中等成矿深度和成矿温度的热液脉型锡铜矿床。矿床中主要产出锡矿体, 它们分别以微脉、细脉和大脉的形式充填于自接触带向外的 NW 向断裂裂隙系统中。钾化 (磁铁矿矿化)、云英岩化 (锡石或辉钨矿矿化) 和硅化 (硫化物矿化) 三个蚀变-矿化阶段流体的温度和氧、氢同位素值有同步降低之趋势, 表明流体来自花岗斑岩的深部, 并逐步向外接触带运移。

主题词: 热液脉型锡铜矿床 地质特征 成矿作用 内蒙古毛登

大兴安岭南段的内蒙古东南部地区, 已经发现和勘查出包括毛登矿床在内的多个锡多金属矿产地, 其中的黄岗 (Fe、Sn、Zn)、大井 (Ag、Cu、Sn、Pb、Zn)、敖瑙达巴 (Sn、Ag、Cu)、查木罕 (W、Sn)、浩布高 (Pb、Zn、Sn) 等矿床已陆续有过研究和报道^[1~5], 而毛登锡铜矿床却至今鲜为人知。本文在前人工作的基础上, 结合笔者近年来对该矿床的解剖、总结, 报道毛登锡铜矿床的地质和矿床地球化学特征。

毛登锡铜矿床位于内蒙古自治区锡林浩特市东北 50 km 处, 该矿床经内蒙古地矿局 109 地质队勘查证实为具有中型远景的锡铜矿床。研究认为, 毛登锡铜矿床与大兴安岭南段的其它锡多金属矿床一样, 同属与晚侏罗世火山-侵入岩浆作用有关的锡多金属矿床。

1 地质背景

毛登锡铜矿床产于内蒙古东南部锡林浩特-乌兰浩特多金属成矿带的西南段, 该矿带位于中朝古板块北侧的中晚华力西地槽褶皱带中。地槽中发育的早二叠世海相火山-沉积建造, 是区内锡多金属矿床的主要围岩。详细的地层地球化学资料证实, 这套早二叠世火山-沉积建造富集 Sn、As、Pb、Ag, 在一定程度上为中生代活化成矿提供了金属组分^[6]。侏罗纪强烈的构造岩浆活动, 区域上出现一系列 NE 向相间排列的基底 (二叠系) 隆起带和火山喷发岩带。毛登矿床则分布于其中一个火山喷发岩带的毛登牧场火山盆地中 (图 1)。

刘玉强, 男, 1957 年生, 高级工程师, 长期在内蒙古从事地质矿产勘查、科研及管理工作。邮政编码: 010020

1995-8-18 收稿, 1995-11-26 修改回

图1和实测剖面资料表明,毛登牧场火山盆地以发育晚侏罗世双峰式火山岩为特征。多数剖面的下部出现以玄武岩为主的火山岩,上部则是以流纹岩为主的酸性火山亚旋回(图1,2)。显然,该地区晚侏罗世处于强烈拉张的裂谷环境,并由此引发了强烈的火山-岩浆侵入活动(如与毛登锡铜矿床有成因联系的阿鲁包格山岩体),同时伴随锡、铜多金属成矿作用。

2 含锡花岗岩

阿鲁包格山岩体在矿区及其外围出露,研究证实其与毛登锡铜矿床关系密切。该岩体呈近于等轴的扁球体,东西长约9 km,南北宽约7 km,呈北东向展布,并沿北东和北西向断裂之交汇处附近侵入于晚侏罗世毛登火山盆地之中心部位(图1)。该岩体为一复式岩体,其主体为似斑状花岗岩,出露于复式侵入体的中部及东部,出露面积约占总体的4/5。复式岩体之西部为一呈向西弯曲的镰刀状补充侵入体——花岗斑岩(出露面积约占总体的1/5)。这也与遥感构造解译图上,两个相互套叠的环形构造相对应。从区调资料及槽探揭露,毛登地区的晚侏罗世火山岩、燕山早期第二次似斑状花岗岩(主体)、补充侵入花岗斑岩,依次先后形成,但它们之间的时差很小,具有火山-侵入杂岩的特征。

似斑状花岗岩呈似斑状结构,块状构造,其斑晶(含量40%~70%)由两种不同粒级的矿物组成:一是粗粒—巨斑状钾长石(以正长石为主)集合体或聚晶,其粒度一般5 mm左右,最大可达3 cm;二是中—细粒斑晶,主要为石英、钾长石、斜长石及黑云母,偶见角闪石。基

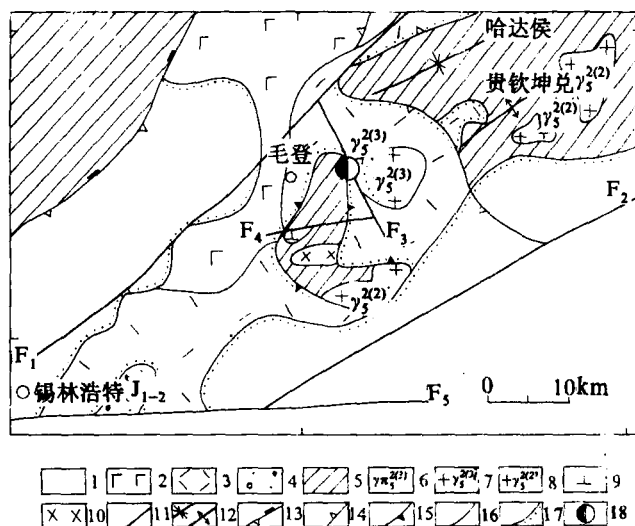


图1 毛登地区区域地质构造略图

(据内蒙古109地质队资料修编)

- 1—第四系;2—晚侏罗世基性火山岩;3—晚侏罗世酸性火山岩;4—早—中侏罗系;5—下二叠系;6—燕山早期晚阶段花岗斑岩;7—燕山早期晚阶段花岗岩;8—燕山早期早阶段花岗岩;9—华力西晚期花岗闪长岩;10—华力西晚期辉长-辉绿岩;11—断裂;12—褶皱;13—断隆带;14—火山断陷盆地;15—火山盆地中的局部基底隆起区;16—地质界线;17—不整合;18—毛登锡铜矿床

Fig. 1. Regional geological-tectonic sketch map of Maodeng area.

- 1—Quaternary; 2—Late Jurassic basic volcanic rocks; 3—Late Jurassic acid volcanic rocks; 4—Early-Middle Jurassic; 5—Lower Permian; 6—Granite porphyry of late stage of Early Yanshanian; 7—Granite of late stage of Early Yanshanian; 8—Granite of early stage of Early Yanshanian; 9—Late Variscan granite diorite; 10—Late Variscan gabbro-diabase; 11—Fault; 12—Fold; 13—Fault zone; 14—Volcanic fault basin; 15—Local basement uplifted area within volcanic basin; 16—Geological boundary; 17—Unconformity; 18—Maodeng tin-copper deposit.

质由显晶质长石、石英组成。花岗斑岩色浅肉红、灰白,呈斑状结构,块状构造。斑晶为钾长石、石英、斜长石及少量黑云母、角闪石。基质呈显微花岗结构,主要由钾长石、石英、斜长石和少量黑云母组成。

阿鲁包格山岩体主要造岩矿物(长石、角闪石、黑云母)电子探针分析结果表明,似斑状花岗岩之钾长石富钠,其钾长石的端员组分为 $Or\ 54.50\sim 57.38$, $Ab\ 40.98\sim 43.60$, $An\ 1.64\sim 1.90$, 它们是岩浆快速冷凝结晶的产物,极少受到低温下的出溶和成分调整。花岗斑岩之斜长石属更长石($An\ 20.22$),其钾长石与似斑状花岗岩之钾长石成分类似,反映出似斑状花岗岩和花岗斑岩的浅成-超浅成相特点。似斑状花岗岩及花岗斑岩的黑云母均贫镁、富铁,其镁质指数为 $0.17\sim 0.22$,属铁质黑云母,这与内蒙古东南部大多数锡矿床的含锡花岗岩相类似^[1~5]。花岗斑岩和似斑状花岗岩属高硅($SiO_2\ 72.35\%\sim 74.91\%$)、富碱($Na_2O+K_2O\ 8.14\%\sim 8.39\%$)、贫镁铁钙的正长花岗岩。酸性火山岩、似斑状花岗岩和花岗斑岩可能是同源岩浆演化产物。

对阿鲁包格山3件花岗斑岩和1件似斑状花岗岩的稀土元素分析表明,似斑状花岗岩的 ΣREE 为 302.11×10^{-6} , $LREE/HREE=5.90$, δEu 为0.11,花岗斑岩的 ΣREE (不包括Y)为 $280.5\times 10^{-6}\sim 389.23\times 10^{-6}$, $LREE/HREE=7.55\sim 12.22$, δEu 为0.11~0.20。其稀土配分曲线呈向右陡倾斜的“V”字型曲线。与似斑状花岗岩相比,花岗斑岩之 ΣREE 略有增高, $HREE$ 略显亏损, Eu 亏损则无明显变化(图3)。这种晚期岩浆的 ΣREE 增高, $LREE/HREE$ 变大,是岩浆分异演化的正常趋势。总体上,阿鲁包格山似斑状花岗岩和花岗斑岩与区域华力西晚期花岗岩的较低 ΣREE 和较大 δEu 明显不同(图3)。

花岗斑岩具有富Rb、贫Sr、Ba的特点,其Rb($224\times 10^{-6}\sim 351\times 10^{-6}$)、Sr($31\times 10^{-6}\sim 35\times 10^{-6}$)、Ba($185\times 10^{-6}\sim 310\times 10^{-6}$)含量以及K/Rb、Rb/Sr和Rb/Ba值处在内蒙古东南部锡钨花岗岩的这些数值变化范围中^[7]。与矿区其它岩石相比,花岗斑岩有较高的Sn

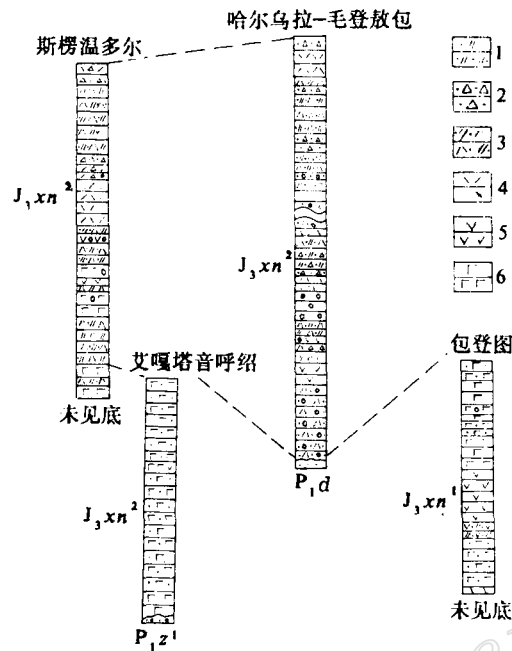


图2 毛登矿区侏罗纪火山-沉积岩系柱状对比图

(据1:20万区调报告修编)

1—凝灰岩; 2—火山角砾岩屑凝灰岩; 3—流纹质晶屑凝灰岩; 4—流纹岩; 5—安山岩; 6—玄武岩; 7—杏仁状、气孔状玄武岩; 8—砾岩; 9—不整合线

Fig. 2. Stratigraphic correlation of Jurassic volcanic-sedimentary rocks in the Maodeng district.

1—Tuff; 2—Tuff or volcanic breccia and debris; 3—Rhyolitic crystal tuff; 4—Rhyolite; 5—Andesite; 6—Basalt; 7—Amygdaloidal and vesiculate basalt; 8—Conglomerate; 9—Unconformity.

($9.6 \times 10^{-6} \sim 82 \times 10^{-6}$)、W ($3.3 \times 10^{-6} \sim 14 \times 10^{-6}$)、Zn ($240 \times 10^{-6} \sim 3100 \times 10^{-6}$)、Cu ($31 \times 10^{-6} \sim 239 \times 10^{-6}$) 含量, 而且接触带之花岗斑岩的成矿元素含量显著增高。花岗斑岩之 Rb/Sr 比值与其 Sn 的含量呈正相关关系, 可能反映了 Sn 在花岗质熔体中的富集主要与岩浆结晶分异有关 (Leheman, 1987)。除近接触带外, 花岗斑岩及同期酸性火山岩之 Sn 含量为 $9.6 \times 10^{-6} \sim 12.5 \times 10^{-6}$ 。内蒙古东南部已知锡钨花岗岩含 Sn 一般在 $7 \times 10^{-6} \sim 20 \times 10^{-6}$ 之间^[7], 阿鲁包格山花岗斑岩的含 Sn 量与区域锡钨花岗岩的相一致, 前者的较高 Sn、W、Zn、Cu 含量, 可能为毛登矿床的成矿提供相应的金属组分。

为了较准确地厘定该岩体时代, 作者采集了该复式岩体中的花岗斑岩, 送地矿部地质所同位素室进行 Rb-Sr 同位素年龄测定。7 件样品的分析结果拟合出一条较好的等时线, 其年龄值为 149×10^6 a, 初始 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值为 0.705。这说明, 阿鲁包格山复式岩体属晚侏罗世, 其岩浆起源较深 (下地壳—上地幔), 与区内其它锡多金属花岗岩类是一致的^[7]。

3 控矿构造

北西向断裂构造是毛登矿区的主要容矿构造, 其余方向的断裂、裂隙极为少见。在该矿区中, 不但花岗斑岩与地层接触带以及早—中侏罗世复成分砾岩和砂岩均呈北西走向, 而且发育有一套密集的北西向断裂裂隙系统 (图 4)。所有锡铜矿体均产于北西向断裂裂隙系统中。

据目前的追索和揭露, 矿区内有三条北西走向的断裂带 (表 1, 图 4), 即是导矿构造, 又是容矿构造。这三条断裂带具有许多共同的特征, 仅在规模和梳状石英脉之发育上有差异:

(1) 断面形态总体上呈斜缓波状, 倾角较陡 (图 5), 倾斜擦痕和水平擦痕随处可见, 发育糜棱岩、挤压透镜体、片理。这说明北西向断裂具有扭性兼压性特征。扭性特征在 II-35 和 II-46 断裂中尤为明显, 因为这两条断裂沿走向宽窄变化极大, 但即使断裂窄到几乎只有一条裂隙的程度, 其断面仍平直、光滑并有倾斜擦痕。

(2) 具明显的张扭性特征, 沿走向的分支复合和追踪现象在 I-2 号脉非常清楚 (图 6), 断裂沿走向和倾向时有膨缩, 因此, 这组北西向断裂显现出压扭—张扭的两次构造活动特征。

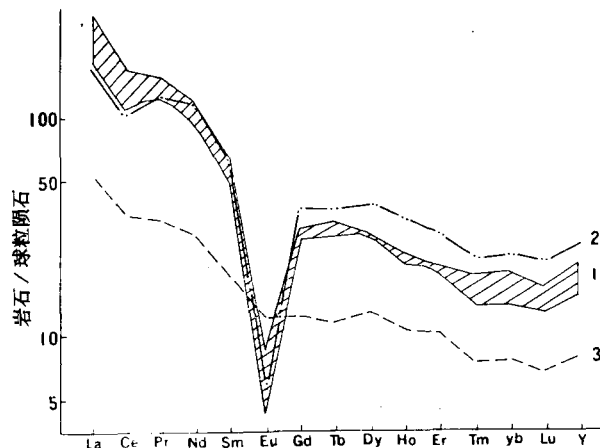


图 3 岩石稀土元素球粒陨石标准化型式

1—阿鲁包格山花岗斑岩之 REE 范围; 2—阿鲁包格山似斑状花岗岩之 REE; 3—矿区外围华力西晚期花岗闪长岩之 REE

Fig. 3. Chondrite-normalized REE patterns of various rocks.

1—Granite porphyry from Alubaogeshan; 2—Porphyritoid granite from Alubaogeshan; 3—Late Variscan granodiorite on the outskirts of the ore district.

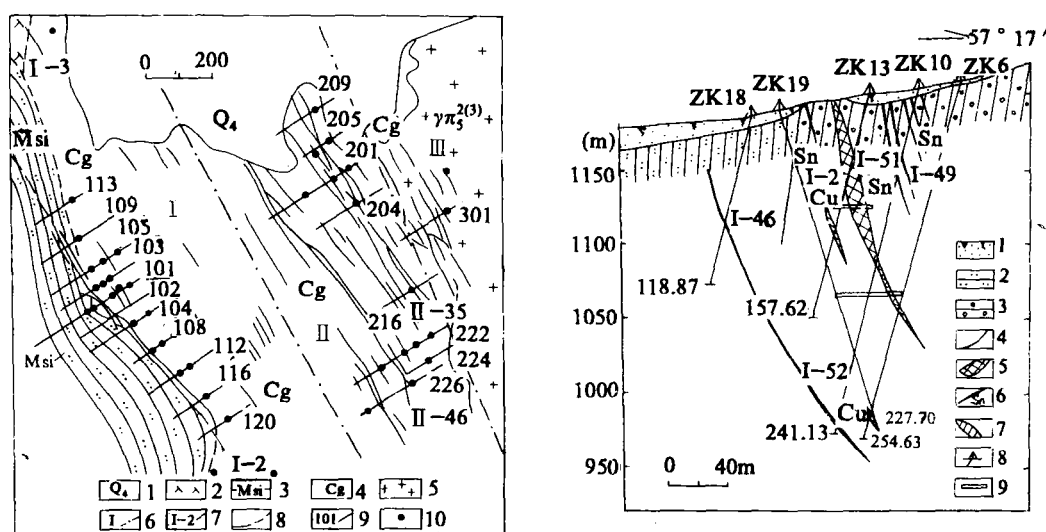


图4 毛登锡铜矿床地质略图(左图)

(据内蒙古109地质队资料补充修编)

1—浮土；2—晚侏罗世酸性火山岩；3—早—中侏罗世砂岩；4—早—中侏罗世复成分砾岩；5—燕山早期花岗斑岩(阿鲁包格山岩体之补充侵入相)；6—矿脉带(断裂、裂隙带)编号及边界；7—矿脉(断裂、裂隙)及编号；8—地质界线；9—剖面线及编号；10—钻孔

Fig. 4. Geological sketch map of the Maodeng tin-copper deposit.

1—Regolith; 2—Late Jurassic acid volcanic rocks; 3—Early-Middle sandstone; 4—Early-Middle Jurassic conglomerate of complicated composition; 5—Early Yanshanian granite porphyry (supplementary intrusive facies of Alubaogeshan rock body); 6—Serial number and boundary of ore vein zone (fault, fissure zone); 7—Ore vein (fault, fissure) and serial number; 8—Geological boundary; 9—Section line and serial number; 10—Drill hole.

图5 毛登锡铜矿床101勘探线剖面图(右图)

(据内蒙古109地质队资料修编)

1—浮土；2—粉砂岩；3—复成分砾岩；4—地质界线；5—锡铜矿体；6—锡矿体；7—铜矿体；8—钻孔；9—穿脉坑道

Fig. 5. Geological section along No. 101 exploration line of the Maodeng tin-copper deposit.

1—Regolith; 2—Siltstone; 3—Conglomerate of complicated composition; 4—Geological boundary; 5—Tin-copper orebody; 6—Tin orebody; 7—Copper orebody; 8—Drill hole; 9—Ort.

表1 毛登矿区主要北西向断裂特征

Table 1. Characteristics of major NW-trending faults in the Maodeng ore district

编号	控制规模 (m)			产 状 (度)			特征描述
	长	宽	斜深	走向	倾向	倾角	
I-2	1400	0.2~14	>200	315~330	NE	57~85	沿走向、倾向宽窄变化大，常见分支复合和尖灭再现(或侧现)，偶见追踪弯曲。分两种情况：其一，断裂宽度小(0.2~3 m±)，断面舒缓波状或整齐平直，有较窄的挤压破碎带、糜棱岩，破碎带中角砾扁圆状或透镜状，两侧发育片理化带，有产状平直的石英脉(往往为后期构造压碎)，具逆断层性质；其二，断裂宽度大(可达14 m)，除见前述现象外，常见多组锯齿状滑动面，梳状石英脉呈追踪状产出，并切割早期石英脉，发育多组、多方向交叉裂隙，将岩石切割成大小不一的棱角状角砾或岩块，具先压扭后张扭性质
II-35	700	0.05~3.5	>100	310~335	NE	60~70	
II-46	800	0.1~6.8	>80	305~335	NE	65~75	

(3) 北西向断裂的压扭—张扭性活动对矿脉均有控制作用, 表现为挤压片理和梳状石英脉中均有锡石和硫化物产出。压扭性断裂活动有利于矿脉保持较好的连续性, 而叠加于其上的张扭性断裂则更是利于成为矿质聚集、沉淀的场所。如Ⅱ-46号断裂所控的矿脉, 沿其走向锡矿体厚度品位变化曲线呈近似的正弦曲线, 波峰—波谷的间距约40~60 m。

(4) 这三条主要的断裂之间发育一系列密集的北西向裂隙。这些裂隙的产状及性质与北西向断裂基本相同, 空间上成群、成组平行侧列或斜列式展布(图4, 5)。它们的长度一般在50~100 m±, 宽几毫米至数米, 仍具压扭—张扭复合构造特征。

(5) 北西向断裂及密集的裂隙组合成一宽约1~1.5 km的北西向断裂裂隙系, 它们在空间上呈右行侧列。按充填的含矿石英脉划分为三个矿(脉)带, 由西向东依次为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ矿(脉)带。

(6) 根据主断裂旁侧裂隙及其平行裂隙的相互切割关系判断, 早期形成的压扭性断裂、裂隙主要呈顺时针方向扭动, 并受到北东和南西方向的压力。它可能是晚侏罗世区域北东向断陷活动的配套构造; 其后叠加的张扭性断裂、裂隙则呈反时针方向扭动, 并受到北西—南东方向的压力。它可能与阿鲁包格山岩体自南东向北西方向的侵入活动有关, 但也可能与区域中生代断块的多次活动相联系。

总之, 矿区内的北西向断裂是重要的导矿、容矿构造, 它与区域上北东向断裂配合, 构成阿鲁包格山花岗岩的控岩构造。与密切的裂隙带配合, 构成的北西向断裂裂隙带是矿床中主要的容矿构造。这些北西向断裂裂隙带的性质和空间组合型式对矿体起着至关重要的控制作用, 是对矿区进行矿体预测的重要依据。

4 围岩蚀变及矿化阶段

本矿床矿体的围岩有复成分砾岩, 砂岩或泥岩(这二者可能系早—中侏罗世山间盆地沉积物)和花岗斑岩。其中, 复成分砾岩是Ⅰ、Ⅱ矿脉带矿体的主要围岩, Ⅰ矿脉带少量矿体赋存于砂岩或泥质粉砂岩中, Ⅲ矿脉带则赋存于花岗斑岩中。根据各类蚀变岩脉之间的穿切关系及蚀变矿物之间的交代关系, 矿体围岩的主要蚀变作用(由早→晚)为: 钾硅酸盐化、云英岩化及硅化。它们分别与磁铁矿化、锡石矿化及硫化物矿化阶段相对应。

钾硅酸盐化是最早的高温热液蚀变, 在花岗斑岩中呈面型分布, 表现为钾交代, 即有较多新生的黑云母和少量新生钾长石。在围岩中早期的高温、碱性流体作用于复成分砾岩形成脉旁蚀变, 出现黑云母+钾长石+石英的矿物组合, 形成角岩, 有时甚至呈脉状, 反映有较

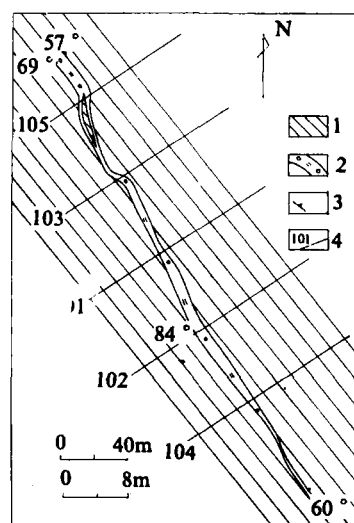


图6 毛登矿区1-2号脉1065中段沿脉素描图

1—复成分砾岩; 2—断裂破碎带; 3—断面产状; 4—勘探线及编号(图中上部比例尺为长度比例尺, 下部为矿脉宽度比例尺)

Fig. 6. Sketch of the gopher drift at 1065 level of No. 1-2 vein, the Mao-deng ore district.

1—Pebble of complicated composition; 2—Faulted shatter zone; 3—Attitude of section; 4—Exploration line and serial number (Upper scale and lower scale are scale of length and scale of width).

多的钾质等组分的带入。Ⅰ矿脉带中这类脉旁蚀变宽3~15 m, Ⅱ矿脉带中这类脉旁蚀变宽10~20 m。从矿脉向外, 钾硅酸盐化减弱。与钾硅酸盐化相对应的是磁铁矿化阶段, 即由极少量的磁铁矿、赤铁矿、金红石和辉钼矿构成这一期的金属矿物组合。

云英岩化主要呈脉状分布于复成分砾岩或砂岩中, 花岗斑岩中不太发育, 它与锡矿化关系最密切。云英岩化晚于钾硅酸盐化, 表现为蚀变黑云母(脉)为云英岩脉穿切。由钾硅酸盐化到云英岩化, 流体pH值减小, 这种酸性淋滤作用伴随着原有矿物(如钾长石、黑云母、斜长石等)的解体和云英岩矿物相的出现。它表现在斑岩中偶见少量黄玉、萤石和石英, 而在复成分砾岩中, 则由黄玉、石英、白云母、萤石、电气石、锡石、绿柱石(偶见)等组成较复杂的云英岩矿物相, 并形成具韵律条带的云英岩脉, 主要产于Ⅰ矿脉带或Ⅱ矿脉带。与云英岩化相对应的是锡石矿化阶段, 其主要金属矿物是锡石, 其次是辉钼矿, 有少量黑钨矿、白钨矿、毒砂和黄铁矿。

硅化(石英脉)可以分为三期(次), 早期硅化与钾硅酸盐化同时, 主要表现为钾长石-石英脉或石英脉(Ⅱ矿脉带深部或Ⅲ矿脉带)平行共生于钾硅酸盐化岩石中。中期石英脉与云英岩脉共生于云英岩内(有时构成云英岩脉的一个韵律条带), 其中常见深色锡石, Ⅱ、Ⅲ脉带梳状石英脉(常含锡石)亦属此类。晚期石英脉晚于云英岩脉, 主要见于Ⅲ脉带, 晚期硅化与硫化物矿化有关, 它是硫化物型矿石和锡石-硫化物型矿石的主要寄生脉体。因此, 本文的硅化主要是指这一期石英脉。

5 矿体

毛登锡铜矿床的矿体主要分布在阿鲁包格山岩体的花岗斑岩西侧内外接触带的1200 m × 1400 m 范围内(图4)。矿体呈脉状体, 产于北西向的断裂裂隙系统中, 按矿体的空间分布, 分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ三个矿脉带。根据工程控制, 共圈出具有工业意义的锡(铜)矿体109个, 单独的铜矿体3个。矿体在平面和剖面上均呈右行斜列展布(图4, 5)。

Ⅰ矿脉带位于较远离岩体的外接触带, 以大脉型矿体(脉幅一般 ≥ 1 m)为主, 其规模和品位变化相对较稳定, 主要是锡矿体, 但也可圈出单独的铜矿体, 这些铜矿体大多与Ⅰ-2号脉之锡矿体重合, 局部见于锡矿体之底部, 但其走向和倾向的连续性较差(图5)。Ⅰ矿脉带的大脉型锡矿体全部产于Ⅰ-2号北西向断裂内, 除云英岩脉和石英脉内含矿外, 其旁侧的蚀变岩亦含锡, 矿体边界据采样分析结果圈定。

Ⅱ矿脉带位于岩体的外接触带, 细(网)脉型矿体(脉幅一般1~5 cm)占优势, 其规模一般较小, 品位较低, 很不稳定。其锡矿体主要由脉幅很小的锡石-石英细脉或云英岩细脉组成, 矿体与围岩之间界限截然, 由多条密集平行排列的锡石-石英细脉或云英岩细脉可构成较厚大(最厚达9 m)的矿体, 但这种情况并不常见。该矿脉带深部普遍见有辉钼矿-石英细(网)脉, 其一般不与锡矿体重叠。

Ⅲ矿脉带位于岩体内接触带, 产于花岗斑岩北西边部的顶部。主要是微脉型锡石-石英脉(脉幅一般1~3 mm), 矿体规模小, 延伸浅, 品位低, 基本无开采价值。锡石一般呈稀疏浸染于梳状石英脉中。该带锡矿体虽小, 但其钼的矿化却十分普遍, 主要有辉钼矿-石英脉, 局部尚具浸染状辉钼矿, 深部见有连续数十米的钼工业矿体。

需要指出的是, Ⅰ脉带Ⅰ-2号矿体之规模及品位变化系数小, 相对稳定主要是由于: ①大脉型矿体(构造上的原因); ②锡石-石英型矿石被硫化物型矿石广泛叠加。而细(网)脉

型矿体之规模及品位变化系数较大,极不稳定,除缺失叠加成矿作用外,构造因素则是一个重要原因。

6 矿 石

毛登锡铜矿床常见金属矿物有锡石、黄铜矿、毒砂、闪锌矿和辉钼矿,微量金属矿物有黄铁矿、方铅矿、磁铁矿、赤铁矿、黄锡矿、黑钨矿、斑铜矿、白钨矿、辉铋矿等,次生氧化带可见辉铜矿、蓝铜矿、孔雀石及铁质氧化物。

根据矿物组成并结合其结构、构造特征,毛登锡铜矿床有四种主要矿石类型(表2)。

表 2 毛登矿区主要矿石类型及其特征

Table 2. Main ore types in the Maodeng ore district and their characteristics

类型	锡石-石英型	锡石-硫化物-石英型	硫化物型	辉钼矿-石英型
分布	I、II、III矿脉带	I矿脉带1-2号矿体,II矿脉带偶见	I矿脉带1-2号矿体局部,II矿脉带偶见	III矿脉带和II矿脉带深部
结构构造	自形一半自形粒状结构、他形粒状结构、碎裂结构、充填脉状构造、浸染状构造、块状构造、梳状构造、晶簇状构造	自形、半自形粒状结构、他形粒状结构、填隙结构、交代残余结构、碎裂结构、浸染状构造、充填脉状构造、块状构造	他形粒状结构、填隙结构、交代残余结构、浸染状构造、充填脉状构造、块状构造	他形粒状结构,充填脉状构造
矿物组成	锡石、石英、黄玉、电气石、白云母、黑云母、萤石	黄铜矿、闪锌矿、锡石、毒砂、黄锡矿、黄铁矿、石英	黄铜矿、闪锌矿、毒砂、斑铜矿、方铅矿、黄铁矿、石英、方解石	辉钼矿、石英、萤石、钾长石、黑云母
组分含量 ^①	Sn 0.131%~2.522%, Cu 0.011%~0.347%, WO ₃ 0.010%~0.275%, Zn 0.014%~0.172%, Mo 0.002%~0.039%, Ag 1.19~14.4 g/t	Sn 0.46%~2.693%, Cu 0.734%~4.70%, WO ₃ 0.016%~0.147%, Zn 0.059%~7.28%, Mo 0%~0.01%, Ag 12.94~128 g/t, Au 0.13~0.30 g/t	Sn 0.065%~0.079%, Cu 0.793%~0.978%, Zn 1.436%~6.28%, Pb 0.128%~0.224%, Mo 0.002%~0.005%, Ag 36.73~89.92 g/t, Au 0.08~0.13 g/t	仅一单样 Mo 0.793%
典型脉体结构	复杂的韵律条带结构:中心是石英、萤石、黄玉、锡石,往两侧可出现六个对称的韵律条带,依次是白云母→锡石→石英→黄玉(电气石)→石英→黄玉→石英(脉壁)	由复杂的韵律条带(锡石-石英型)和简单条带(硫化物-石英)构成的复合条带,可见后者交切前者	简单条带脉:石英及少量方解石构成的细脉,金属硫化物矿物嵌布于石英颗粒间隙中,闪锌矿与黄铜矿交生,二者都交代毒砂	简单条带脉:脉之中心为石英和萤石,辉钼矿呈微脉状,辉铋矿($d=0.01\sim0.005\text{ mm}$)被包裹于辉钼矿中,往两侧最多可出现两个对称的韵律条带,依次是石英+萤石→钾长石→黑云母

注:① 组分含量据内蒙古109地质队组合样品分析结果,其中辉钼矿-石英型矿石仅有一个单样的钼化学分析结果

锡石-石英型矿石是最常见的锡矿石类型。硫化物型矿石是单一的铜(锌)矿石,银品位较高,在矿床中分布极为局限。锡石-硫化物-石英型矿石主要产于1-2号脉大脉型矿体中,它是最具工业价值的矿石,不但含锡高,含铜也高,有时还富集锌,银的品位与铜呈正消长关系,组

合样品中最高的含银达 128 g/t, 含金一般 0.13~0.30 g/t。这类矿石实际上是锡石-石英型矿石和硫化物型矿石的混合物, 后者往往叠加于前者之上。辉钼矿-石英型矿石是钼矿石。这四类矿石在矿床中呈规律性分布, 从远接触带往岩体 (即从西往东) 方向, 依次是锡石-硫化物-石英型矿石、锡石-石英型矿石和极少的硫化物型矿石 (I 矿脉) → 锡石-石英型矿石和极少的锡石-硫化物-石英型矿石 (II 矿脉带) → 锡石-石英型矿石和辉钼矿-石英型矿石 (III 矿脉带)。在 II 矿脉带深部, 出现辉钼矿-石英型矿石。

7 流体包裹体

毛登锡铜矿床中的原生流体包裹体可分气液包裹体、气体包裹体及含石盐子晶的多相包裹体, 其中气液包裹体是最常见的主要类型, 而其余两类包裹体仅产于 II、III 矿脉带的石英中, 根据 48 块测温片, 530 多个均一温度数据和 170 多个盐度数据, 分别统计了 I、II、III 矿脉带不同深度的 7 个地段的均一温度, 所作均一温度直方图, 显示出三个温度区间 (510~560℃、310~450℃、220~350℃)。它们与前述磁铁矿 (钾硅酸盐化)、锡石 (云英岩化)、硫化物 (硅化) 三个蚀变-矿化阶段相吻合, 同时亦显示了 2、3 阶段具有叠加作用。详细的分类统计发现, 从 1 阶段经 2 阶段到 3 阶段, 温度逐渐降低; 在水平方向上和垂直方向上, 同一蚀变-矿化阶段的温度显示出东 (近接触带) 高、西 (远接触带) 低、深部高、浅部低的变化趋势。并估算出水平温度梯度为 III—II 矿脉带 50~80℃/km, II—I 矿脉带为 38~80℃/km, 垂直温度梯度为 70~140℃/km。这些事实亦表明, 毛登矿床的 3 个阶段蚀变-矿化可能是同一时期成矿作用中流体近于连续演化的产物, 其流体的运移大体按由深向浅, 从东往西的方向进行。

此外, 据 I-2 号脉中与深色锡石共生的毒砂之 $d_{131}=1.6354$, 用 Kretschmar 等 (1971) 的方法求得 $As=32.23 \text{ atm}\%$, 形成温度均为 440℃。一对锡石和石英的 $\delta^{18}\text{O}$ 分别为 2.4‰和 10.6‰, 按石英-锡石氧同位素分馏公式 (张理刚, 1989), 计算出其分馏温度为 415℃。上述数据与锡石 (云英岩化) 阶段的流体包裹体均一温度大致相当。

根据锡石中 In 的平均含量, 采用尼库林 (1981) 公式 ($H=3.15-0.95 \lg C$, H 为深度——km, C 为锡石的 In 含量——ppm), 估计成矿深度为 1.6 km, 据流体包裹体测压 (假定量大圈闭压力等于岩压), 其成矿深度约 2 km。

流体包裹体成分分析 (三个阶段共四件样品的分析结果) 显示, 蚀变-矿化流体中阳离子以 K^+ 、 Na^+ 为主, 含少量 Mg^{2+} 和 Ca^{2+} , 阴离子以 F^- 、 Cl^- 为主, 晚期出现 SO_4^{2-} 。因此, 它在化学上主要属 K、Na-F、Cl 体系。Sn、Cu、Zn 等金属与这些离子组成络合物在成矿流体中被搬运, 并在体系的状态参数发生改变时, 络合物分解析出金属矿物, 产生矿石沉淀。上述流体成分的总特点, 预示与花岗质岩浆体系有密切的联系。在气相成分中, H_2O 是主体, 其次是 CO_2 和 N_2 , 而 H_2 和 CH_4 含量很低, CO 则低于检测线。在挥发性气体 (CO 、 H_2 、 CO_2 、 CH_4) 中, CO_2 占主导地位, 从蚀变-矿化之早阶段往晚阶段, 有 CO_2 逐渐降低, H_2 逐渐增高之趋势, 这反映流体的演化是向着酸度增高、还原程度增大的方向进行。

8 讨论与结论

(1) 毛登矿区外围发育晚侏罗世双峰式火山岩, 这些火山岩是大兴安岭火山岩带西亚带

双峰式火山岩的一部分,因而,毛登锡铜矿床可能是与陆内裂谷作用相关的金属矿床。晚侏罗世酸性火山岩、阿鲁包格山似斑状花岗岩和花岗斑岩在矿床中构成火山-侵入杂岩,三者的地球化学特征表明它们是同源岩浆分异的产物。Rb-Sr 等时线年龄测定结果,确定与成矿有关的花岗斑岩为 149×10^6 a, 初始锶同位素比值为 0.705, 推断岩浆源于下地壳或上地幔, 而岩浆分离结晶作用, 是导致 Sn 在花岗质熔体中富集, 并形成本矿床含锡花岗岩——花岗斑岩的重要途径。

(2) NW 向断裂及密集的裂隙系统是毛登锡铜矿床的容矿构造, 它们在空间上成群、成组平行侧列或斜列式展布, 早期的压扭性质, 使其保持了空间上较好的连续性, 而其后叠加的张扭性活动, 则为矿石沉淀提供了较好的场所。矿体呈脉状并以微脉、细(网)脉和大脉, 依次分布于花岗斑岩内外接触带(主要在外接触带)的 NW 向断裂裂隙系统中, 成群、成组的矿脉在自接触带向外斜列式展布, 在横向上构成三个矿脉群, 受先压扭或张扭的断裂裂隙控制, 单条矿脉的品位和厚度走向上呈近似等距变化。掌握矿脉的这一空间分布规律, 是成功地进行矿区及外围未知矿脉预测的重要关键。

(3) 钾硅酸盐化、云英岩化和硅化主要呈线型蚀变, 先后发育于矿脉及脉旁。这三期蚀变分别对应于磁铁矿、锡石、硫化物三个矿化阶段。矿石可分成四种类型, 其中, 锡石-石英型矿石几乎见之于矿床的所有锡矿体中, 辉钼矿-石英型矿石主要分布于近接触带的深部矿体中或内接触带矿体中, 而硫化物型矿石则常见之于远离接触带的锡和铜矿体中。

(4) 流体包裹体均一温度显示, 磁铁矿(钾硅酸盐化)、锡石(云英岩化)、硫化物(硅化)三个蚀变-矿化阶段的温度区间为 $510 \sim 560$ °C、 $310 \sim 450$ °C 和 $220 \sim 350$ °C。这种从早到晚, 成矿温度的逐渐降低, 以及详细地统计所得出的自接触带向外、自深部向浅部流体温度逐渐降低的变化趋势, 反映流体是自花岗斑岩向外、由深部向浅部运移的。

(5) 系统的氢氧同位素分析和计算结果表明, 从钾化的花岗斑岩(石英之 $\delta^{18}\text{O} = 9.4\text{‰}$)到锡石(云英岩化)矿化阶段($\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = 6.5\text{‰} \sim 5.7\text{‰}$, $\delta\text{D} = -90\text{‰}$), 再到硫化物(硅化)矿化阶段($\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = 3.9\text{‰} \sim 0.9\text{‰}$, $\delta\text{D} = -128\text{‰}$), 流体的氧和氢同位素值急剧变小, 显示早期蚀变和矿化流体主要属岩浆水, 晚期蚀变和矿化流体中大气降水逐渐增多。这一变化趋势, 与前述流体降温趋势十分吻合。

综上所述, 毛登矿床应该是与晚侏罗世阿鲁包格山花岗斑岩有关的热液脉型锡铜矿床。其工业矿体主要产于外接触带, 并具有中等的成矿深度(1.6~2 km)和成矿温度($450 \sim 200$ °C)。

参 考 文 献

- 1 李鹤年, 段国正. 黄岗铁锡多金属矿床成矿模式. 世界地质, 1988, 7 (4): 17~28
- 2 张德全. 敖瑙达巴斑岩型锡多金属矿床地质特征. 矿床地质, 1993, 12 (1): 10~19
- 3 张德全. 内蒙古东部黄岗-甘珠尔庙锡银多金属成矿带地质背景及矿床类型. 中国地质科学院矿床地质研究所刊, 1989, (1): 41~54
- 4 权恒. 内蒙古东部黄岗地区花岗岩类及锡矿. 中国地质科学院沈阳地质矿产研究所刊, 第6号
- 5 张德全. 大井银铜锡矿床——一个潜火山热液矿床的特征和成因. 火山地质与矿产, 1993, 14 (1): 37~47
- 6 李鹤年. 大兴安岭中南部二叠纪地层地球化学特征及其成矿意义. 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. 北京: 地震出版社, 1993, 79~86
- 7 赵一鸣, 王大畏, 张德全等. 内蒙古东南部铜多金属成矿条件及找矿模式. 1994, 北京: 地震出版社, 69~85, 204~209

GEOLOGY AND ORIGIN OF THE MAODENG TIN-COPPER DEPOSIT, INNER MONGOLIA

Liu Yuqiang

(Inner Mongolia Bureau of Geology and Mineral Resources, Hohhot 010020)

Key words: Hydrothermal vein tin-copper deposit, geological characteristics, ore-forming process, Maodeng

Abstract

The Maodeng tin-copper deposit is located 50 km northeast of Xilin Hot City, Inner Mongolia. On its outskirts there are well-developed Late Jurassic bimodal volcanic rocks, suggesting that this ore deposit might have been related to Yanshanian intracontinental rifting on the western slope of Da Hinggan Mountains. Within the ore deposit, acid volcanic rocks, porphyritoid granite and granite porphyry were successively formed and superimposed upon each other to produce a volcanic-intrusive complex. Detailed petrological, mineralogical and element geochemical data show that there existed the evolutionary trend of fractional crystallization among these three sorts of rocks, and that fractional crystallization of magma must have played the dominant role in the enrichment of tin in granitic melt and the subsequent formation of stanniferous granite-granite porphyry in the ore deposit.

Controlled by the NW-trending fracture-fissure system, tin-copper orebodies in the Maodeng ore deposit assume vein bodies and are distributed exclusively from wall rocks west of the contact zone of the granite porphyry to NW-trending fractures and fissures in Early and Middle Jurassic conglomerate and sandstone. Nearly one hundred ore veins are en echelon arrangement, forming three ore vein groups. Potassic alteration (biotite, K-feldspar), greisenization (muscovite, topaz, fluorite, quartz) and silicification (quartz) are mainly developed within or around ore veins, with corresponding ore minerals being magnetite, cassiterite (molybdenite) and sulfides (chalcopyrite, sphalerite and pyrite). Tin orebodies are main orebodies in the ore deposit and are mostly distributed in greisen veins and quartz veins; copper orebodies mainly occur in quartz-sulfide veins on the outer side of the tin orebody, being not numerous in number.

Homogenization temperatures of fluid inclusions fall into three ranges, i. e., $510\sim 560^{\circ}\text{C}$, $310\sim 450^{\circ}\text{C}$ and $200\sim 350^{\circ}\text{C}$, corresponding respectively to three alteration-mineralization stages, namely potassic alteration (magnetite), greisenization (cassiterite) and silicification (sulfides). $\delta^{18}\text{O}$ and δD values of fluids gradually decreased from potassic alteration stage through greisenization stage to silicification stage, suggesting that the gradual increase in meteoric water proceeded synchronously with the cooling of fluids. The above evidence reveals that, being a hydrothermal vein type tin-copper deposit related to granite porphyry, the Maodeng deposit was formed at medium depth ($1.6\sim 2.0\text{ km}$) and moderate temperatures ($450\sim 200^{\circ}\text{C}$). Rb-Sr isochron age is $149\times 10^6\text{ a}$, and initial ratio of Sr isotopes is 0.705, suggesting that stanniferous granite and ore deposit were formed later than Late Jurassic, and that magma contained materials from oceanic crust or upper mantle.