

毛登锡铜矿床成矿分带及其成因讨论^{*}

刘玉强

(内蒙古地矿局, 呼和浩特)

提 要: 毛登矿床是产于花岗斑岩内、外接触带(以外接触带为主)的热液脉型锡铜矿床, 在容矿构造、矿脉(体)类型及矿石类型、金属矿物组合及主要金属矿物标型、热液蚀变及元素地球化学等诸方面, 自花岗斑岩向外, 显示出明显的顺向(侧向)脉动分带。研究认为, 在时间和空间上互为协调一致的构造的脉动和热液的脉动, 以及流体的规律性演化, 是形成该矿床成矿分带的主要原因。根据其分带型式, 推测毛登矿床外围有可能找到铜铅锌银矿体。

主题词: 热液脉型锡铜矿床 成矿分带 内蒙古毛登

地处内蒙古锡盟地区的毛登锡铜矿床, 是大兴安岭中南部的锡多金属矿床之一, 属典型的热液脉型矿床。它在容矿构造、矿体、矿石、元素地球化学及蚀变等许多方面均显示出明显的分带性, 它的分带型式在大兴安岭中南段的锡多金属矿床中具有代表性, 研究这种分带规律不仅具有重要理论意义, 更重要的是对于矿床和矿体的定位预测, 从而对寻找新的工业矿体有着实际指导意义。

1 矿床地质概况

毛登锡铜矿床分布于侏罗纪毛登火山盆地之中, 其矿体呈脉状产于花岗斑岩内外接触带(以外接触带为主)的断裂裂隙系统中(图 1)。阿鲁包格山花岗岩呈复式岩体露布于矿区之东侧。燕山早期含角闪石的黑云母(似斑状)花岗岩是该岩体的主体侵入岩, 具浅成-超浅成相特征的花岗斑岩, 作为补充侵入相, 侵入于似斑状花岗岩的西侧。与成矿有关的该花岗斑岩 7 个样品的 Rb-Sr 等时线年龄为 $(149 \pm 20) \times 10^6$ a, 其铷同位素初始比值为 0.7050。花岗斑岩的岩石学及地球化学特征表明, 它是大兴安岭中南部的含锡花岗岩^[1]。

2 成矿分带

2.1 容矿构造的空间变化

毛登矿区主要构造线呈北西($305^\circ \sim 335^\circ$)走向。三条北西走向的断裂(编号 I-2、II-35、II-46, 参见图 1)既是导矿构造, 又是容矿构造。这些断裂的断面上倾斜擦痕、挤压透镜体随处可见, 分支复合和追踪再现亦非常清楚, 反映断裂具先压扭后张扭的性质。压扭有利于矿脉保持较好的连续性, 而叠加于压扭断裂之上的张扭性活动则更有利于产生矿质聚集、沉淀的场

^{*} 刘玉强, 男, 39 岁, 高级工程师, 从事野外找矿及科研管理工作。邮政编码: 010020
1995-12-16 收稿, 1996-4-15 修改回

所,旁侧裂隙及其平行裂隙的相互切割关系指示压扭性断裂主要呈顺时针方向扭动,张扭性断裂则呈反时针方向扭动。这三条主干断裂之间发育密集的北西向裂隙群,它们与主干断裂一起组合成一宽1~1.5 km、呈右行侧列的北西向断裂裂隙系统,并不同程度地被蚀变岩脉或矿脉充填。根据它们在空间上成群成带的分布特征,由西向东依次划分出I、II、III三条断裂-裂隙(矿脉)带(图1),这三个带在空间上的渐次变化,显示出明显的构造分带。这种构造分带主要表现在它们的空间位置和展布、密度及其中充填的脉体规模上:

(1) I、II、III三个断裂-裂隙带在矿区内自西向东依次呈近等间距分布(表1,图1),即约每隔450 m左右出现一个带。在各带之中,容矿裂隙在平面上或剖面上(图2)均呈斜列式集中展布,且每间隔100~150 m左右出现一组(一般由三条以上组成)容矿裂隙。

(2) 矿区自西往东,即自远离花岗斑岩的外接触带向内接触带,容矿的断裂-裂隙之宽度、延长及延深逐渐变小,这从其中充填脉体的脉幅、走向延长和垂直延深的变化中便可以看出(表1)。I号断裂-裂隙带中充填的主要是大脉型矿体,其中I-2号断裂走向延长已被工程控制1400 m,其南东端为草地掩盖,推断其走向延长大于2000 m。其中充填的锡石-石英脉、锡石-云英岩脉之脉宽(一般 ≥ 1 m,最宽达14 m)及延深(可达200 m)是全矿区中最大者,其旁侧裂隙(如I-46号脉,参见图2)也有较大的延深。II号断裂-裂隙带中充填的脉体以细脉为主,其脉幅一般1~5 cm,仅局部见脉幅0.66 m者,它们的延长及延深均不及I号断裂-裂隙带中的脉体。其中单条裂隙一般长50~100 m不等(最长者800 m),延深10~80 m(最深者140 m)(参见图2)。III号断裂-裂隙带中充填脉体全部为微脉,其脉幅一般在1~3 mm之间,延长不足50 m(常见延长2~3 m即尖灭者),延深不足40 m。据地表露头实地观察,III号断裂-裂隙带中充填的辉钼矿-

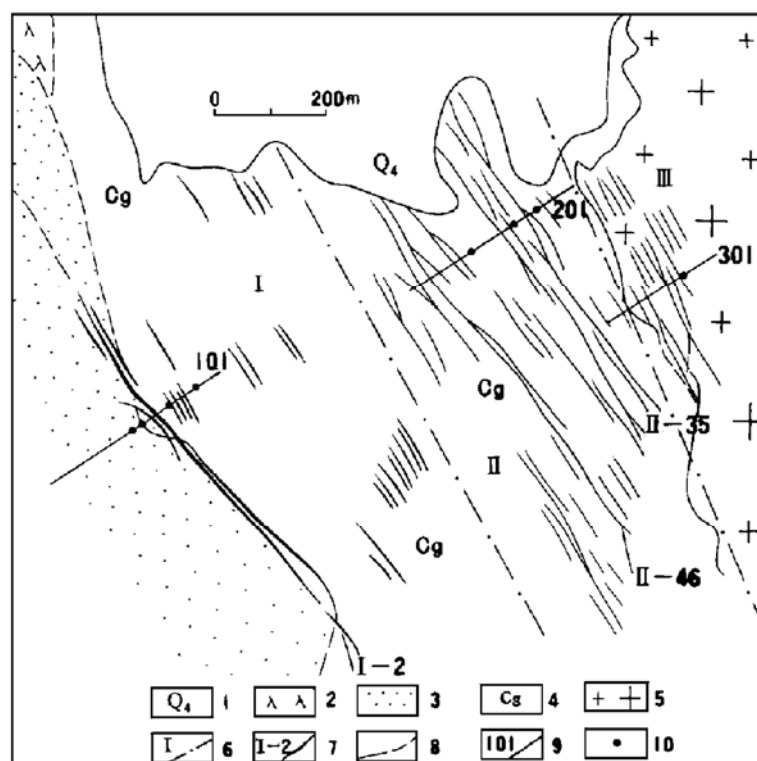


图1 毛登锡铜矿床地质略图

(据内蒙古109地质队资料补充修编)

1—第四纪浮土;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. 1. Geological sketch map of the Maodeng tin-copper deposit.

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

石英脉(见于内接触带花岗斑岩中)常常向下延深 1 m 左右即自行尖灭。

(3) 矿区中自西向东、即自 I 号断裂-裂隙带向Ⅲ号断裂-裂隙带,其裂隙的密度逐渐增高。如 I 号带 I-2 号断裂旁侧裂隙及平行脉体稀疏,经统计,平均 0.2 条/m;Ⅱ号带中容矿裂隙或脉体密度显著增大,已发现锡石-石英脉 139 条,平均 0.31 条/m;Ⅲ号带裂隙及脉体密度最大,在近接触带之花岗斑岩中,脉体(锡石-石英或辉钼矿-石英脉)密度高达 40 条/m,而离接触带较近之岩体中尚有 9 条/m。

(4) 各断裂-裂隙带充填的石英脉中石英的结晶形态有系统差异,I 号带者以块状石英居多,镜下多为形态复杂的石英聚合体,Ⅱ号带者见有块状石英,亦有晶簇状或梳状石英,Ⅲ号带则几乎全为梳状石英或晶族状石英,垂直脉壁向中心生长。即自 I 号带向Ⅲ号带,脉体中石英结晶程度逐渐增高,可能反映了构造张开程度的递增或流体压力的递减。

表 1 毛登锡铜矿床各矿脉带地质特征一览表

Table 1. Geological characteristics of various ore vein zones in the Maodeng tin-copper deposit

矿脉带编号	I	Ⅱ	Ⅲ
出露位置及围岩	花岗斑岩西侧 450~900 m, 中侏罗统复成分砾岩,少量砂岩	花岗斑岩西侧 0~450 m, 中侏罗统复成分砾岩,少量上侏罗统酸性火山岩	花岗斑岩内接触带 0~250 m, 燕山早期花岗斑岩(149×10 ⁶ a)
规模及产状	最大走向延长 1400 m, 宽 450 m, 最大垂直延深 200 m。走向 315°~330°, 倾向 NE, 倾角 65°~85°	最大走向延长 800 m, 宽 450 m, 最大垂直延深 140 m。走向 320°~335°, 倾向 NE, 倾角 60°~70°	最大走向延长 400 m, 宽 250 m, 最大垂深 120 m。走向 320°~335°, 倾向 NE, 倾角 70°左右
矿脉特征	大脉型为主(I-2 号脉), 伴有细(网)脉型(I-21, I-22 等); 由 89 条矿脉(矿体)组成, 其中 I-2 号脉最大长 700 m, 厚平均 2.46 m, 延深达 200 m, 含 Sn 0.1%~10.86% (平均 1.263%), 含 Cu 0.255%~11.04% (连续性差); 其余矿脉一般短小, 工业价值不大	细(网)脉型为主, 局部有大脉型; 有锡矿脉 139 条, 单脉长 40~100 m, 个别达 200 余米, 延深一般 40~80 m, 个别达 148 m, 单脉脉幅一般 1~5 cm, 矿体厚度、品位极不稳定, 一般厚 0.8~3 m, 含 Sn 0.1%~0.5%, 局部见 Cu, 深部含 Mo	微脉型为主; 有锡矿(化)体 34 个, 单脉延长不足 50 m, 延深不超过 40 m, 脉幅<1 cm (一般 1~3 mm), 矿体厚度变化极大、品位低, 一般厚 0.3~2 m, Sn 0.1%~0.3%, 含 Mo 可构成单独的 Mo 矿体
矿石类型	锡石-硫化物-石英型为主, 其次是锡石-石英型矿石和硫化物型矿石	锡石-石英型矿石为主, 局部偶见锡石-硫化物-石英型矿石, 深部有辉钼矿-石英型矿石	锡石-石英型 辉钼矿-石英型
主要脉石矿物	石英、黄玉、电气石、白(绢)云母、黑云母	石英、黑云母、黄玉、白(绢)云母	石英、黑云母、绿泥石、绢云母、萤石、黄玉、钾长石
成矿元素组合	Sn、Cu (Zn、Ag)	Sn (Mo)	Sn、Mo (Bi)

2.2 矿脉及矿石类型

2.2.1 矿脉(体)自然类型 在花岗斑岩西侧内外接触带长 1400 m, 宽 1200 m 之范围内, 共产出三个北西走向的矿脉带(图 1, 表 1), 这三个矿脉带与前述三个容矿的断裂-裂隙带互相对应。

I 脉带远离岩体, 以规模较大、品位变化较小的大脉型锡铜矿体为主, 少量铜矿体(局部可

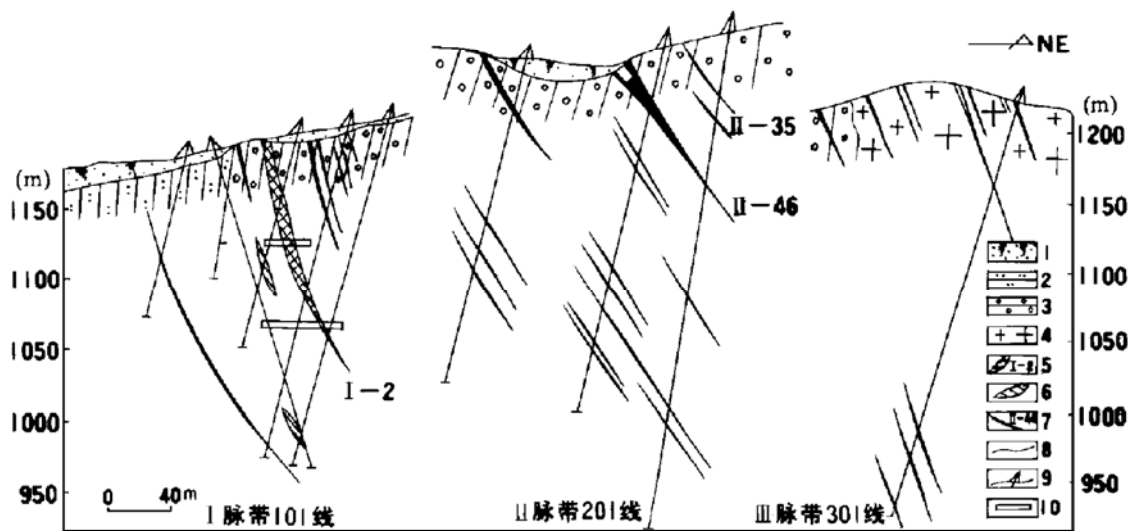


图 2 毛登锡铜矿床勘探线剖面图
(据内蒙古 109 地质队资料修编)

1—浮土;2—砂岩;3—复成分砾岩;4—花岗斑岩;5—锡铜矿体及编号;6—铜矿体;7—锡矿体及编号;8—地质界线;9—钻孔;10—穿脉坑道

Fig. 2. Geological section along the exploration line of the Maodeng tin-copper deposit.
1—Regolith; 2—Sandstone; 3—Conglomerate of complex components; 4—Granite porphyry; 5—Tin-copper orebody and serial number; 6—Copper orebody; 7—Tin orebody and serial number; 8—Geological boundary; 9—Drill hole; 10—Ort.

圈出独立的锌矿体)与锡矿体重合或分布于锡矿体之底部(图 2), I-2 号断裂所控的 I-2 号脉是 I 脉带的代表,其锡金属储量占全矿区已探明储量的 2/3。II 脉带产于近岩体的外接触带,细脉型矿体占绝对优势,其矿脉规模小、品位低,变化大。II 脉带主要为锡矿体,深部(钻孔中)出现辉钼矿-石英细(网)脉,局部地段见规模小、变化大的铜矿体重合于锡矿体之底板。III 脉带产于岩体内接触带的花岗斑岩上部,主要是规模极小、品位较低、变化极大的锡石-石英微脉,其浅部及深部普遍具辉钼矿-石英微(网)脉,个别地段可构成较厚大的钼矿体。

综上所述,矿区自西向东,即自远离岩体的外接触带向内接触带,矿脉(体)的自然类型有由大脉型锡铜(锌)矿体向细脉带型锡(钼铜)矿体,再向微脉带型锡钼矿体变化的趋势。

2.2.2 矿石类型 根据矿物组成并结合结构、构造特征,毛登矿床的矿石可分为四种主要类型(表 2)。I 脉带以锡石-硫化物-石英型矿石和锡石-石英型矿石为主,少量硫化物型矿石;II 脉带以锡石-石英型矿石为主,少量锡石-硫化物-石英型矿石和辉钼矿-石英型矿石(仅见于深部);III 脉带则以锡石-石英型矿石和辉钼矿-石英型矿石为主。因此,自矿区之西部向东部,矿石类型有由锡石-硫化物-石英型向锡石-石英型,再向辉钼矿-石英型变化的趋势。

2.2.3 金属矿物及其成分 I 脉带常见的金属矿物为锡石、黄铜矿、闪锌矿、毒砂;II 脉带常见的金属矿物为锡石、黄铜矿、闪锌矿,毒砂较少见,辉钼矿仅见于深部;III 脉带常见的金属矿物为锡石和辉钼矿,深部钻孔中偶见辉铋矿与辉钼矿共生,迄今为止,III 脉带中未发现有黄铜矿及闪锌矿。因此,自西向东,矿区中的特征性金属矿物存在着锡石、黄铜矿、闪锌矿→锡石→锡石、辉钼矿的分带趋势。

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、交待残余结构、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,辉钼矿($d=0.01\sim0.005\text{ mm}$)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

毛登矿床各矿带锡石和闪锌矿含铁量的规律性变化,也在一定程度上反映了该矿床的成矿分带趋势。

矿床中锡石和闪锌矿的颜色有深、浅之分。I 脉带中的锡石以浅棕色者居多,棕黑色者次之,II 脉带中的锡石以棕黑色者居多、浅棕色者次之,III 脉带的锡石则大多呈棕黑色。系统的电子探针分析表明,I 脉带之锡石平均(5 件样品)含 FeO 0.22%。II 脉带锡石平均(3 件样品)含 FeO 0.65%。III 脉带锡石平均(2 件样品)含 FeO 1.02%。I 脉带闪锌矿的颜色常较 II 脉带者浅。电子探针分析表明,前者含铁量(两件样品平均 $\text{Fe}=9.81\%$)低于后者(两件样品平均 $\text{Fe}=11.41\%$),且 I 脉带浅部之闪锌矿含铁量($\text{Fe}=9.30\%$)低于深部闪锌矿之含铁量($\text{Fe}=10.32\%$)。

2.3 蚀变

2.3.1 蚀变岩类型 钾硅酸盐化、云英岩化及硅化是毛登锡铜矿床中最常见的三种蚀变,绢英岩化及绿泥石化蚀变仅见于Ⅲ脉带之花岗斑岩中。

钾硅酸盐化的蚀变矿物主要为黑云母、钾长石和石英。它既可以呈面型蚀变发育于花岗斑岩中(Ⅲ脉带,钾长石和黑云母同时发育),亦可以呈脉旁蚀变分布于花岗斑岩的围岩(复成分砾岩和砂岩)中的Ⅰ、Ⅱ号脉带的矿脉旁侧(主要是黑云母和石英,钾长石不发育)。内接触带钾硅酸盐化蚀变岩中出现微量磁铁矿化。

云英岩化蚀变常呈脉状分布于花岗斑岩的围岩——复成分砾岩和砂岩中,这些云英岩脉中常分布有锡矿化,内接触带的花岗斑岩中仅见总量不足1%的黄玉和萤石稀疏散布于花岗斑岩中,并分别交代长石和石英,从而显示出很微弱的云英岩化面型蚀变。

硅化是指以单矿物石英出现的脉体。石英脉在矿床中十分发育,并以宽窄不一的脉体出现在Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ脉带中。这些石英脉几乎含有本矿床中各类矿石,其中,Ⅲ矿带中梳状锡石-石英微脉或辉钼矿-石英微脉尤为发育。

内接触带花岗斑岩中,局部见绢云母、石英交代斜长石,绿泥石交代黑云母,从而形成轻微的绢英岩化和绿泥石化蚀变。

2.3.2 蚀变分带 作为热液脉状锡铜矿床,毛登矿床与矿化有关的蚀变主要呈线型分布,仅内接触带的花岗斑岩中存在面型蚀变,因此,该矿床的蚀变分带主要体现在蚀变的分布型式、强度、蚀变类型组合以及蚀变岩脉的韵律条带结构等方面。

处于花岗斑岩内接触带的Ⅲ脉带,蚀变岩类型为钾硅酸盐化、弱云英岩化、弱绢英岩化和弱绿泥石化以及硅化。前四者呈面型分布,硅化则主要呈微脉,是与矿化关系密切的脉型蚀变。近花岗斑岩外接触带的Ⅱ脉带硅化、云英岩化和钾硅酸盐化构成其蚀变岩组合,其中,硅化和云英岩化常分布于脉(细脉)体中,而钾硅酸盐化则属脉旁蚀变。Ⅰ脉带位于远离花岗斑岩的外接触带中,它亦由硅化和云英岩化构成蚀变岩脉,钾硅酸盐化则是其脉旁蚀变。

在Ⅲ脉带,细鳞片状的黑云母以及钾长石常交代岩浆期(花岗斑岩)黑云母及长石,从而构成钾硅酸盐化花岗斑岩,微弱的绢英岩化及绿泥石化显得比钾硅酸盐化蚀变要晚,这三类蚀变虽呈面型分布,但不存在空间上的分带,含矿的石英微脉常穿入其中。Ⅱ脉带及Ⅰ脉带的线型蚀变岩脉常表现出很规则的韵律条带结构。例如,Ⅱ脉带ZK 15钻孔,自孔深86 m至89 m,有含锡蚀变岩细脉7条,单条脉宽0.8~2.0 cm,以86 m处,宽1 cm的蚀变岩脉为代表,经显微镜下鉴定,确定其韵律条带结构是:

中心:0带 石英+萤石+黄玉+锡石

脉边:1带 白云母+锡石

脉边:2带 黄玉+石英

接触带:3带 石英

脉旁:黑云母+石英±钾长石(黑云母-石英角岩)

I-26号脉的韵律条带结构基本上代表了Ⅰ脉带蚀变岩脉的韵律条带特点:

中心：0 带 黄玉+石英+萤石+锡石
脉边：1 带 黄玉+石英+白云母
脉边：2 带 白云母+电气石+石英±锡石
接触带：3 带 石英
脉旁：黑云母+石英±钾长石(黑云母-石英角岩)

与Ⅱ脉带不同的是,Ⅰ脉带的蚀变岩脉较宽(一般数十厘米,最宽达 2 m),但脉旁蚀变较窄(3~15 m 不等),而Ⅱ脉带之脉旁钾硅酸盐化蚀变较宽(一般 10~20 m)。另外,Ⅰ脉带的云英岩矿物相齐全,Ⅱ脉带缺失白云母-电气石-石英这个云英岩矿物相。

总之,自花岗斑岩向外,其蚀变岩石的类型组合由复杂向简单变化,蚀变的分布型式由面型向线型变化,脉旁蚀变由宽到窄,而单个蚀变岩脉的韵律条带结构则由简单到复杂,可能反映了流体的脉动和扩散方式随容矿构造的空间变异而呈现逐渐的变化。

2.4 元素地球化学分带

表 3 毛登矿床各脉带锡矿石有用组分含量
Table 3. Contents of useful components in tin ores from various vein zones of the Maodeng ore deposit

矿脉带		Ⅲ	Ⅱ	I
Sn	(wt%)	0.131~0.463	0.10~0.520	0.1~10.86
Cu		0.0113	0.011~0.347	0.011~11.04
Zn		0.0405	0.014~0.172	0.059~7.28
Mo		0.001~0.793	0.002~0.039	0.000~0.005
WO ₃		0.0004	0.01~0.275	0.01~0.147
Ag	(10 ⁻⁶)	1.04	1.19~14.4	12.94~128.00
Au		0.023	0.00~0.138	0.08~0.30
Bi		137.00	71.00	51.00
Sn/Bi+Mo		0.3	0.6	3.3
Cu/Bi+Mo		0.4	1.0	4.9

表 3 列出了矿床中各脉带锡矿石的有用组分含量变化范围及元素比值,其中,Sn、Cu 含量据内蒙古 109 地质队勘查资料统计所得,Zn、Mo 以及部分 Ag 据该地质队组合样分析结果,而 Au、Bi 及部分 Ag 的数据为笔者对矿石的微量元素测试结果。表 3 的数据表明,自Ⅲ脉带向Ⅰ脉带,矿石中的 Sn、Cu 品位逐渐增高,伴生组分 Zn、Ag、Au 的含量亦逐渐增高,而 Mo、Bi 含量逐渐降低。Ⅰ脉带不但有高品位的锡矿石,而且也有高品位的铜矿石,其局部矿石含 Zn 可高达 7.28%,Ag 高达 128 g/t。Ⅱ脉带锡矿石分析结果只有少数样品的 Cu、

Mo、Zn 达边界品位,而Ⅲ脉带 Mo 和 Bi 的含量则急剧增高。相应的 Sn/Bi+Mo 和 Cu/Bi+Mo 比值自Ⅲ脉带向Ⅰ脉带呈递增变化。所以,矿石的有用组分在空间上,自Ⅰ脉带向Ⅲ脉带显示出 Sn、Cu、Zn、Ag-Sn、Cu、Mo-Sn、Mo、Bi 的分带趋势。

笔者在研究中,对Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ脉带各选择一个钻孔,按 10~20 m 间距系统采非矿石样品 45 件,进行多元素定量分析。加上搜集内蒙古地研队在矿区地表主干剖面 15 件非矿石样品的分析数据,共计 60 件样品的微量元素统计结果列于表 4 中。从该表可以看出,自Ⅲ脉带向外(即内接触带向外),围岩中高温元素 As、Bi、Mo 的平均含量逐次降低,而 Sn、Cu、Pb、Zn、Mn、Au、Ag、Sb 的含量则逐次增高,挥发性组分 F、Cl、B 总体上亦趋向于向外带增高。

表 4 毛登锡铜矿床矿体围岩微量元素含量

Table 4. Trace element contents of rocks surrounding orebodies of the Maodeng tin-copper deposit

矿脉带	As	Bi	Mo	Sn	Cu	Pb	Zn	Mn	Au	Ag	Sb	W	F	Cl	B
I (22)	76.9	28.3	0.84	96.2	144.1	81.8	214.6	436	25	1.5	1.7	20.7	9250	150	28
	23.3	15.6	0.82	10.7	129.6	95.9	68.4	100	16	0.9	0.5	14.8	8730	140	50
II (22)	172.8	78.8	37.5	75.2	117.4	18.0	193.2	413	12.5	1.2	1.5	58.7	12200	90	5
	194.9	61.5	85.5	84.5	112.1	15.3	175.3	231	12	0.4	1.5	62.9	12500	60	1.5
III (16)	190.1	109.0	43.6	41.1	68.8	17.0	150.1	317	10.5	0.8	0.7	28.1	100	130	6
	534.1	103.9	65.2	37.8	34.0	10.1	202.7	146	7.3	0.4	0.6	20.4	90	150	4

注:各矿脉带上行为元素含量均值,下行为方差;单位:除 Au 为 10^{-9} 外,其余元素均为 10^{-6} ;括号内为样品数

毛登矿区及外围,存在一个以 Mo 为中心、以 Ag 和 Mn 为最外环的 Mo-As-Sn-Cu-Zn-Sb-Ag-Mn 组合的水系沉积物组合异常,矿区内岩石微量元素含量的空间变异趋势与这一组合异常非常吻合。这一结果不但揭示了该矿区自花岗斑岩向外存在着 Mo-Sn-Cu-Zn-Ag 的成矿元素分带趋势,而且了预示着毛登矿床已知矿带外侧可能存在着铜铅锌银矿体,因为毛登矿床地质特征及其元素分带与同一矿带中的大井矿床^[2]十分类似,而大井矿床锡铜矿体外侧的银和铅锌工业矿化已达大型矿床规模。

3 讨 论

3.1 构造和热液脉动

毛登矿床中的容矿构造是北西向的三个断裂裂隙带,三者之间自花岗斑岩向外呈近似等间距分布,其中所充填的蚀变-矿化脉体之密度渐趋变小、脉幅则渐趋增大,即由微脉带向细脉带到大脉逐渐转换。矿床中自岩体向围岩方向,容矿构造依次呈微裂隙带(Ⅲ脉带)、细裂隙带(Ⅱ脉带)和宽裂隙带或断裂(Ⅰ脉带),这种容矿构造样式的改变,是矿脉(体)自然类型在空间上呈带状分布的最根本的原因。

野外观测发现,容矿构造在成矿前起码经历了先压扭、后张扭这两次构造活动。先期的压扭性构造呈顺时针方向扭动,形成北西走向的斜列式断裂裂隙带,并与区域北东向大断裂一起,控制了矿区阿鲁包格山复式花岗岩体的侵入;花岗岩浆侵入上拱及冷凝收缩,使岩体近接触带出现微裂隙带,岩浆涡旋式的上升定位,可能导致先成断裂裂隙的反时针方向扭动,而具张扭性质,而岩浆的焊合作用则可能使接触带附近的先期压扭性构造得以愈合而表现得不明显。所以,构造的脉动和岩浆侵入可能是容矿构造样式空间上产生递变的主要因素。笔者已经报导过,毛登矿床之矿化过程大致有钾硅酸盐-磁铁矿化、云英岩-锡石矿化和硅化-硫化物矿化三个阶段。这种热液的脉动与构造的脉动相联系,并使晚阶段之矿物组合叠加于早阶段之矿物组合的上部,可能是导致本矿区矿石及金属组分呈现顺向分带的主要原因之一。

3.2 温度梯度

对 I、Ⅱ、Ⅲ脉带不同标高水平之流体包裹体(主要寄主于石英中,少量寄主于锡石、黄玉

中)进行均一温度测量,并按不同脉带、不同标高分别统计作图(图 3),其结果表明,各矿化阶段在不同矿脉带的水平方向和垂直方向上有不同的均一温度(表 5)。其总的温度变化趋势是:从早到晚,温度降低,同一蚀变-矿化阶段的均一温度东(近接触带)高、西(远接触带)低,深部高、浅部低。根据样品的水平和垂直(标高)位置及测温结果(表 5),大致估算出该矿床水平温度梯度为:Ⅲ-Ⅱ矿脉带 50~80 ℃/km,Ⅱ-I 矿脉带为 38~80 ℃/km;垂直温度梯度约 70~140℃/km。垂直温度梯度大于水平温度梯度,这是大多数热液脉状矿床常有的特点。这一结果,说明毛登矿床的蚀变-矿化流体主要来自深部,并沿构造通道由东往西、由下往上逐步运移。据此可以推知,矿床中存在的矿化分带,与来自花岗斑岩深部流体运移过程中产生的温度梯度存在着明显的依赖关系。

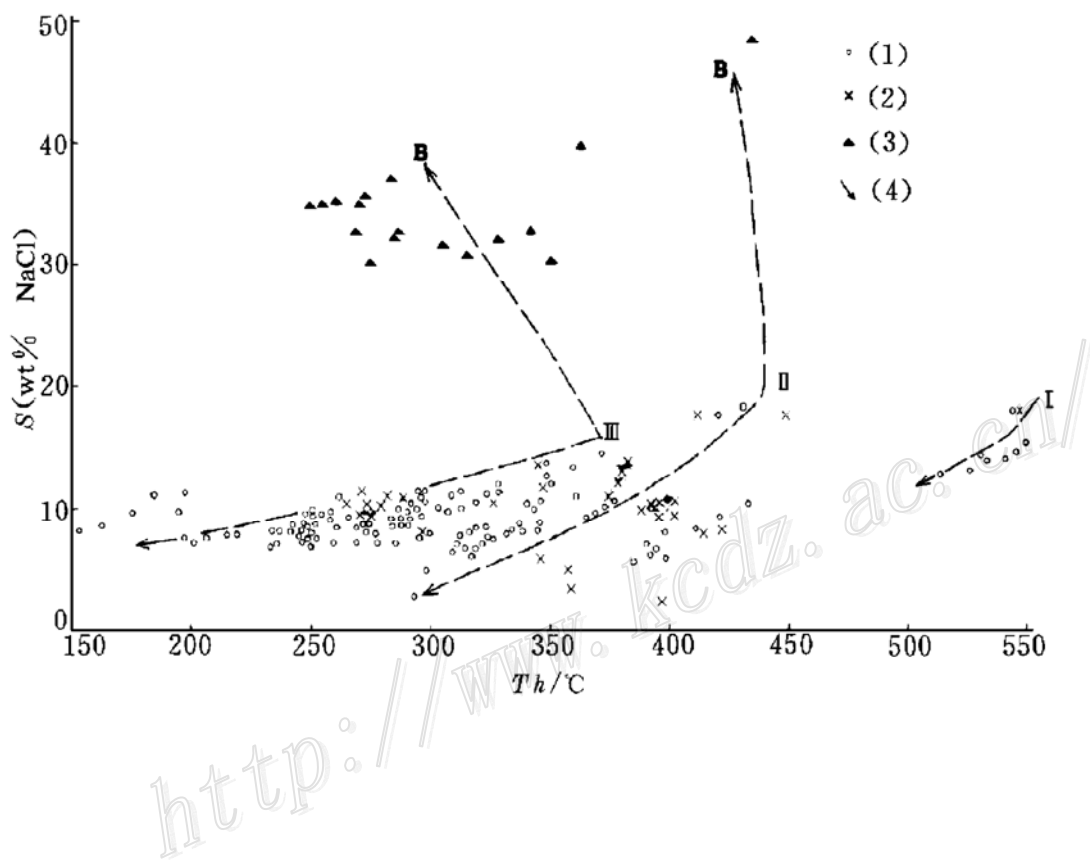


图 3 毛登锡铜矿床流体包裹体均一温度直方图

S1—钾硅酸盐-磁铁矿化阶段;S2—云英岩-锡石矿化阶段;S3—硅化-硫化物矿化阶段;1—富液相包裹体;
2—富气相包裹体;3—NaCl 子晶多相包裹体

Fig. 3. Histogram showing homogenization temperature of fluid inclusions in the
Maodeng tin-copper deposit.

S1—Potash silicate-magnetite mineralized stage; S2—Greisen-cassiterite mineralized stage; S3—Silicified-
sulfide mineralized stage. 1—Inclusion rich in liquid phase; 2—Inclusion rich in gas phase; 3—NaCl daughter
crystal polyphase inclusion.

3.3 流体演化

图 4 是毛登矿床流体的均一温度-盐度图解,图中的每一个数据点都是根据同一流体包裹体的均一温度值和冰点求解的盐度值投影出的。该图解反映三次脉动流体,经混合稀释以及沸腾过程,从而发生过比较复杂的演化。这一演化过程大致可以概述为:① 从花岗岩熔体中分离上升的深成流体相,在进入近接触带的岩体顶部裂隙系统后,因与少量大气降水混合^[1]其温度

表 5 毛登矿区各矿脉带不同标高、不同蚀变-矿化阶段均一温度统计表

Table 5. Statistics of homogenization temperatures at different elevations and different alteration-mineralization stages of various ore vein zones in the Maodeng ore district

矿脉带	标高(m)	均一温度(℃)		
		1 阶段	2 阶段	3 阶段
Ⅲ 矿脉带	1250	520~550	340~430	240~330
	1040	540~560	360~450	280~350
Ⅱ 矿脉带	1260		310~410	230~300
	1230		310~430	250~300
	900	510~550	410~450	260~380
I 矿脉带	1125		320~340	200~290
	1000		360~380	260~350

注:①据采样位置测算,Ⅲ和Ⅱ矿脉带水平距 300 m,Ⅱ和 I 矿脉带水平距 600 m;②1 阶段为钾硅酸盐化-磁铁矿化阶段,2 阶段为云英岩-锡石矿化阶段,3 阶段为硅化-硫化物矿化阶段

相包裹体和含 NaCl 子晶的高盐度流体包裹体共存于同一地段,第 2 阶段沸腾发生于 450~350℃区间(因采样位置空间变化大,导致沸腾温度区间增大)。沸腾不但形成了不混溶的三相

下降(550℃→510℃)、盐度减小(17.5 wt% NaCl→13 wt% NaCl),并与围岩反应形成钾硅酸盐化蚀变和磁铁矿化,这就是第 1 阶段(第一次脉动)流体的混合稀释演化过程;②第 2 阶段的流体演化,除因较多雨水的进入而使流体更加冷却和稀释外,尚存在流体的沸腾过程。这种对流循环流体的沸腾,可能主要起因于压力的突然释放^[3]。据图 3 和图 4 可知,沸腾的标志主要是均一温度相近的富液相包裹体、富气

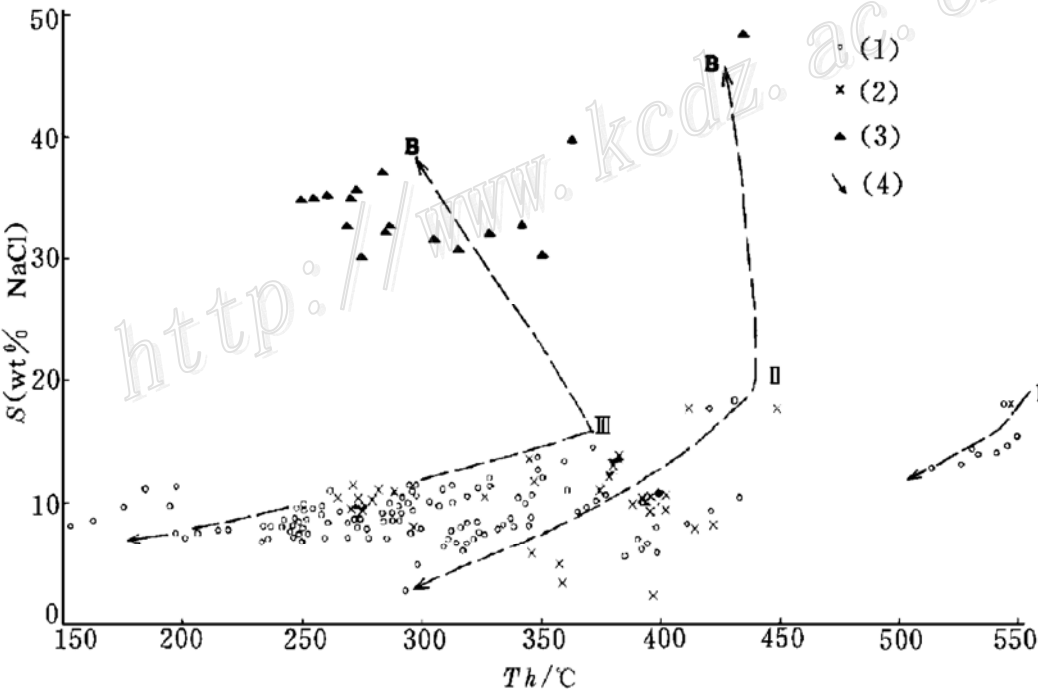


图 4 毛登锡铜矿床流体包裹体均一温度图解

I、II、III 分别代表第 1、第 2、第 3 蚀变矿化阶段,B 表示沸腾

(1) —液相包裹体;(2) —气相包裹体;(3) —NaCl 子晶多相包裹体;(4) —流体演化曲线

Fig. 4. Homogenization temperatures of fluid inclusions in the Maodeng tin-copper deposit.

I, II and III represent No. 1, No. 2 and No. 3 alteration-mineralization stage respectively; B indicates boiling.

(1) —Liquid phase inclusion; (2) —Gas phase inclusion; (3) —NaCl daughter crystal polyphase inclusion;

(4) —Fluid evolution curve.

流体,而且使流体的物理化学性质发生变化,产生相应的矿石堆积^[4],显然,毛登矿床中云英岩脉和锡矿化与流体的沸腾有一定关系;③第3阶段流体的演化过程与第2阶段大体类似,即经历了混合稀释和沸腾,不但使其更加冷却($350\text{ }^{\circ}\text{C}\rightarrow 200\text{ }^{\circ}\text{C}$),盐度更低($15\text{ wt}\%\text{NaCl}\rightarrow 8\text{ wt}\%\text{NaCl}$),而且较强烈的沸腾导致大量高盐度流体相的出现和锡石-硫化物的富矿石堆积^[1,4]。

毛登矿床中各矿化阶段流体的氢氧同位素组成^[1]证实了从早向晚流体中大气降水不断增高的推断,这是流体被冷却和稀释的重要原因,而矿区中发育的北西向断裂裂隙带,则是流体减压沸腾的重要原因。

根据矿床三个矿化阶段四件石英、锡石、闪锌矿样品的包裹体气、液相成分分析结果(限于篇幅,分析结果从略),结合包裹体温、压数据,按 Crerar 的计算式^[5]推算结果得知,早阶段的流体属碱性($\text{pH}=7.4$)、高氧逸度(10^{-20}Pa 左右)流体,云英岩-锡石矿化阶段,流体呈酸性($\text{pH}=5.9\sim 5.2$)、氧逸度减小(10^{-28}Pa 左右),硅化-硫化物矿化阶段,流体酸度更大($\text{pH}=4$)、氧逸度更低(10^{-31}Pa 左右)。这反映上述三阶段流体演化过程中,流体的性质由高温向低温、高压向低压、由碱性向酸性演化,其氧逸度降低、硫逸度增高,从而分别形成钾硅酸盐-磁铁矿化、云英岩-锡石矿化和硅化-硫化物矿化。

4 结 论

毛登矿床在容矿构造、矿脉(体)类型及矿石类型、金属矿物组合及主要金属矿物标型、热液蚀变及元素地球化学等诸方面,自花岗斑岩向外,显示出明显的顺向(侧向)脉动分带。研究发现,毛登矿床的蚀变和矿化过程,始终处于一个发展的、宏大的流体热动力学演化系统中,这种流体规律性演化,与构造的脉动和热液的脉动在时间和空间上互为协调一致,使具有不同地球化学习性的金属组分或矿物沉淀叠加于花岗质岩浆侵入体内、外接触带的不同部位,是形成该矿床成矿分带的最主要原因。毛登矿床的成矿分带,尤其是它的元素地球化学分带的型式,与同一成矿带中的大井矿床类似,预示着毛登矿床的外围有可能存在铜铅锌银矿体。

参 考 文 献

- 1 刘玉强. 毛登锡铜矿床地质特征及成矿作用地球化学. 矿床地质, 1996, 15(2): 133~143
- 2 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): 37~48
- 3 Hedenquist J W. Volcanic-related hydrothermal system in the Circum-Pacific Basin and their potential for mineralization. Min. Geol., 1987, 37: 347~364
- 4 Drummound S E, Ohmoto H. Chemical evolution and mineral deposition in boiling system. Econ. Geol., 1985, 80: 126-147
- 5 Crerar D A et al. Solubilities of chalcopyrite and chalcocite assemblages in hydrothermal solution at $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $350\text{ }^{\circ}\text{C}$. Econ. Geol., 1978, 71: 772~794

METALLOGENIC ZONING AND ORIGIN OF THE MAODENG TIN-COPPER DEPOSIT

Liu Yuqiang

(*Science and Educational Division, Inner Mongolia Bureau of Geology and Mineral Resources, Hohhot 010020*)

Key words : hydrothermal vein tin-copper deposit, metallogenic zoning, Maodeng deposit in Inner Mongolia

Abstract

Located 50 km northeast of Xinlin Hot, Inner Mongolia, the Maodeng tin-copper deposit is one of the tin-polymetallic deposits in the central south part of Da Hinggan Mountains. It occurs in NW-trending fault-fissure groups in the western contact zone of a granite porphyry (149 ± 20 Ma), with its orebodies assuming veinlike form. From the granite porphyry westward, there are three NW-trending fissure groups which control three ore vein zones of the ore deposit respectively. No. Ⅲ vein zone lies in the granite porphyry of the endocontact zone, No. Ⅱ vein zone is located in conglomerate of complex components 0~450 m west of the granite porphyry, and No. I vein zone is situated in conglomerate and sandstone of complex components 450~900 m west of the granite porphyry.

From No. Ⅲ vein zone to No. I vein zone, the ore-control structures change from minute fissures to sparse faults; correspondingly, the natural types of ore veins change from microvein zone to veinlet zone and large veins. Ores tend to vary from molybdenum-quartz type to cassiterite-quartz type and then to cassiterite-sulfides-quartz type, with the corresponding variation of the useful components in order of Sn, Mo, Bi→Sn, Mo, Cu→Sn, Cu, Zn, Ag. Detailed analyses of minor elements also reveal that from No. Ⅲ vein zone to No. I vein zone, As, Bi, Mo gradually decrease whereas Sn, Cu, Pb, Zn, Mn, Au, Ag, Sb, progressively increase in wall rocks.

Field structural mapping combined with studies on assemblages of altered minerals and metallic minerals reveals that in the Maodeng ore deposit, the ore-control structure had undergone more than two times of activities while alteration-mineralization experienced three stages before mineralization. Fluid inclusion studies also demonstrate that from east to west and from the depth to the shallow part of the ore deposit, there exists apparent temperature gradient. Structural pulsation and hydrothermal pulsation were consistent with fluid evolution in time and space, which accounted for the consequent pulsation metallogenic zoning in this deposit.