大兴安岭南段中生代伸展成矿系统

Mesozoic Extension-metallogenic System in Southern Part of Da Hinggan Mountains, China

王京彬 王玉往 王丽娟

（北京矿产地质研究所，北京 100012）

Wang Jingbin, Wang Yuwang, Wang Lijuan

(Beijing Institute of Geology for Mineral Resources, Beijing 100012, China)

摘 要 大兴安岭南段是我国北方重要的多金属成矿集中区，几乎所有的大中型矿床均与燕山期构造-岩浆事件有关，并具独特的时空分布规律。通过对构造-岩浆作用演化、成矿年代学和成矿系列的综合分析，确立了大兴安岭南段中生代伸展成矿系统的演化序列：T－J_2 初始隆升（拱升）阶段，形成与闪长玢岩-花岗闪长斑岩-斜长花岗斑岩有关的铜多金属成矿系列；J_3－K_1 火山盆岭阶段，与钾长花岗岩-花岗斑岩-花岗闪长斑岩有关的锡多金属系列发育；晚 K_1－K_2 伸展衰竭阶段，产有与碱性花岗岩有关的稀有稀土成矿系列。通过对航磁异常的综合解释，识别出区域岩浆柱的存在，揭示了岩浆柱的控矿规律。

关键词 伸展造山 成矿系统 构造-岩浆演化 多金属矿床 大兴安岭南段

大兴安岭南段系指乌兰浩特以南、西拉木伦河以北的地区，是我国北方重要的稀有和铜多金属成矿集中区，已发现大型-超大型矿床 6 处，中型矿床 8 处。这些矿床的形成均与燕山期构造-岩浆事件有关，并具独特的时空分布规律。多年来，矿床地质学家一直不懈努力，试图解开导致该区燕山期矿化集中的原因（芮宗瑶等，1994；赵一鸣等，1994，1997）。本文根据作者近年来研究所得，结合前人的工作，从构造-成矿系统的角度探讨了该区中生代构造-岩浆演化特征与矿床的形成规律，以期对今后找矿工作有所裨益。

1 中生代构造-岩浆演化

大兴安岭前中生代基底岩系主要由元古界片麻岩和晚古生界二叠系浅变质碎屑岩－中酸性火山岩组成。中生代以来，在继承、改造和利用前中生代构造的基础上，形成了由 NE、NW 和 EW 向断裂构成的格子状断裂系统，产生了一系列 NE 走向、EW 相间排列的断陷-火山喷发岩带和断隆-岩浆侵入岩带（图略）。近年来研究表明，这种构造-岩浆格局是在大兴安岭造山过程中形成的（邵济安等，1994，1998，1999）。

根据构造-建造特征，大兴安岭南段中生代伸展造山过程可分为 3 个演化阶段：

（1）T－J_2 初始隆升（拱升）阶段。该阶段以区域性隆升为主，岩浆活动较弱。区域隆升的重要标志是大兴安岭南段普遍缺乏三叠系沉积，在不均匀隆升背景下形成了少量早－中侏罗世的局限陆内沉积盆地，发育紫色砂砾岩和含煤碎屑岩建造，火山岩不发育。区内确定的印支期花岗岩类极少，早－中侏罗世以花岗闪长斑岩、斜长花岗斑岩、闪长玢岩等小岩体为主，分布于深大断裂附近，与铜银等成矿有关。近年来，在大兴安岭南段陆续确定了一些三叠纪（241～202 Ma）以辉长岩为主的基性侵入岩体，并在闪长质岩体中发现了年龄为 237～214 Ma 的堆晶岩捕虏体，这些堆晶岩被解释为侵入下地壳的幔源岩浆分离结晶的产物，由随后的闪长质岩浆作为捕虏体带上来（邵济安等，1999），表明中生代早期该区岩石圈深部处于活跃的伸展状态，幔源岩浆以底侵方式进入下地壳，形成底垫（underplate）构造，促发地壳隆升和下地壳熔融－混熔。林西一带早－中侏罗世辉绿岩岩墙群的广泛发育是这一时期伸展的另一证据。

（2）J_3－早 K_1 火山盆岭阶段。晚侏罗世－早白垩世早期是大兴安岭南段构造-岩浆作用鼎盛期，奠定了本区块断构造与

第一作者简介 王京彬，1961 年生，博士，教授级高级工程师，长期从事金属矿床与找矿预测研究。

火山-侵入岩带的基本格局，断陷盆地范围急剧扩大，并伴有强烈的串珠状火山喷发，形成了厚度 1000～5000 m 的地堑、半地堑状火山盆地。NE 向斜列展布的火山盆地与基底隆起带相间分布，构成典型的火山盆岭结构。火山岩以酸性为主夹中性火山岩类（满克头鄂博组、玛尼吐组、白音高老组），末期的基性－中基性火山旋回（梅勒图组），零星产于一些断陷盆地中。火山岩钾含量高，初始锶同位素值低($^{87}Sr/^{86}Sr$)i 为 0.7044～0.7059，$\varepsilon_{Nd}(t)$大多为正值（0.4～3.9），说明有大量幔源岩浆参与（邵济安等，1999）。花岗岩类主要侵入火山盆地边部的基底隆起区或与火山岩、次火山岩构成火山-深成杂岩体，以黑云母钾长花岗岩为主，常形成复式岩基或大岩株。花岗闪长岩-二长岩类分布局限，可与钾长花岗岩构成杂岩体。大量火山岩和花岗岩岩石化学图解表明其形成于伸展环境（邵济安等，1999）。本阶段大规模壳熔钾长花岗岩的发育和锡钨成矿，标志着岩浆生成界面已上移至上地壳。

（3）K_1 晚期～K_2 伸展衰竭阶段。早白垩世晚期之后，区域岩浆活动显著减弱，只有小规模侵入岩类。通过激烈期大规模热耗散，地壳趋于冷却，断裂－岩浆活动向深部发展，形成了标志性的碱性花岗岩和碱性基性－超基性岩建造。这些岩体规模一般不大，但强烈富碱和大离子亲石元素。巴尔哲碱性花岗岩、台菜花碱性花岗岩及沙尔塔拉碱性花岗岩，构成了位于大兴安岭主脊附近的碱性花岗岩带（125～127 Ma）；沿黄岗大乃林沟晚侏罗世火山颈侵入的富碱超基性角闪岩岩枝，其 Rb-Sr 等时线年龄 90.66 Ma（王玉往等，2000）；在邻区二连盆地额合宝力格和喀拉沁旗出现早白垩世碱性橄榄玄武岩和玻基橄辉岩。浩布高等矿区见有少量石英正长岩或正长斑岩脉呈 NW 向，切割了所有 NE 向展布火山岩和花岗岩类。这套碱性岩组合代表了伸展造山作用的衰竭。

2 成矿年代学与成矿系列

主要矿床的蚀变矿物和成矿岩体的同位素定年结果显示，大兴安岭南段大中型多金属、稀有金属矿床均形成于燕山期，并可分为 180～160 Ma、150～130 Ma 和 127～90 Ma 3 个相对成矿集中期（表 1），分别对应于上述伸展造山的初始隆升阶段、火山盆岭阶段、伸展衰竭阶段，相应地形成了 3 个成矿系列，即与闪长玢岩-花岗闪长斑岩-斜长花岗斑岩有关的铜多金属成矿系列、与钾长花岗岩-花岗斑岩-花岗闪长斑岩有关的锡多金属系列和与碱性花岗岩有关的稀有稀土成矿系列。

表 **1** 大兴安岭南段主要矿床类型及成矿时代

矿床名称	规模	矿床类型	成矿元素	成矿岩体	时代(Ma)及定年方法
莲花山	中型	热液脉型	Cu Ag	斜长花岗斑岩 花岗闪长斑岩	161（U-Pb）（赵一鸣等，1997）
布敦花	中型	斑岩型-热液脉型	Cu Ag	斜长花岗斑岩 花岗闪长岩	166（Rb-Sr）（赵一鸣等，1994） 170.2（Rb-Sr）
孟恩陶勒盖	大型	热液脉型	Ag Pb Zn	围岩为黑云二长花岗岩	近矿蚀变绢云母 183 (K-Ar)（赵一鸣等，1997）
闹牛山	中型	热液脉型	Cu Ag	闪长玢岩	170（Rb-Sr）
台布呆	小型	斑岩型	Cu Ag	二长花岗斑岩-花岗闪长斑岩	177（Rb-Sr）（赵一鸣等，1997）
长春岭	中型		PbZn(CuAg)		
黄岗	大型	夕卡岩型	Sn Fe	钾长花岗岩	142.05（Rb-Sr）（赵一鸣等，1997），夕卡岩中角闪石 140（K-Ar）
大井	大型	热液脉型	Sn Cu Pb Zn Ag	玄武玢岩-安山玢岩-英斑岩-霏细斑岩	蚀变英安斑岩 132.8 (K-Ar) 蚀变绢云母 138.3（Ar-Ar）（艾永富等，1996）
安乐	中型	热液脉型	Sn Cu Ag	花岗斑岩	134.2（Rb-Sr）
查木汗	小型	云英岩型	Sn W	黑云母花岗岩	155（K-Ar）（芮宗瑶等，1994）
毛登	中型	热液脉型	Sn Cu	花岗斑岩	149（Rb-Sr）（赵一鸣等，1997）
白音诺	大型	夕卡岩型	Pb Zn Cu Sn	石英正长斑岩	148（U-Pb）（张德全等，1993）
中段	中型	热液脉型	Pb Zn Cu Ag		
浩布高	大型	夕卡岩型	PbZn(CuSn)	钾长花岗岩	132.2（Rb-Sr）（赵一鸣等，1997）
敖瑙达巴	中型	斑岩型	Sn Cu Ag	花岗斑岩	148（Rb-Sr）（赵一鸣等，1994）
石长温都尔	小型	热液脉型	Ag Pb Zn	闪长玢岩, 花岗斑岩	149.9（K-Ar），133.1（K-Ar）
扁扁山	小型	热液脉型	Cu Au	英安斑岩	109.2（K-Ar）
大乃林沟	小型	热液脉型	As Co	富碱角闪岩	90.66（Rb-Sr）（王玉往等，2000）
巴尔哲	超大型	碱性花岗岩型	REENb BeZr	碱性花岗岩	127（Rb-Sr）（张敏等，1988），125（Rb-Sr）（王一先等，1997）
台莱花	小型	碱性花岗岩型	Nb Ta Be Sn	碱性花岗岩	
沙尔塔拉				碱性花岗岩	127（K-Ar）（赵一鸣等，1997）

铜多金属系列成矿元素组合为 Cu、Pb、Zn、Ag，大部分矿床伴生 Au，个别含 Mo。属该系列的矿床主要有莲花山铜银矿、闹牛山铜矿、布敦花铜矿和台布呆铜矿等。孟恩陶勒盖银铅锌矿床由于成矿地质特征和成矿时代与铜银矿床相似，并有一个富铜锌的矿段（近杜尔基岩体的西矿段），因此也归入该系列中。矿体主要产于斑岩体内外接触带附近或其外侧的 P－

J_2围岩地层中，由岩体顶部斑岩型 Cu（Mo）矿化→外接触带热液脉型 Cu（Ag）矿化→远接触带 Pb、Zn、Ag 矿化构成一个完整的成矿分带序列，相应的围岩蚀变分带是硅化（电气石化）→绢英岩化→青磐岩化。成矿岩体 SiO_2一般 66%～69%，高 TiO_2、MgO，$Na_2O>K_2O$，角闪石富镁（MgO 14.25%～18.20%），黑云母以镁质黑云母为主（MF＝0.57～0.64），锶同位素初始比为 0.704～0.705，表明含矿岩浆起源于下地壳－上地幔岩浆的衍生物，混染上地壳物质较少（赵一鸣等，1997）。

锡多金属系列成矿元素组合较复杂，包括 3 个组合型式（Jingbin et al., 2001）：① 锡钨组合（Sn-W-Nb-Ta-Be），代表性矿床有黄岗、查木罕、东山湾、白音皋等，矿化类型主要是夕卡岩型、云英岩型、石英脉型。白音皋小型锡矿床呈细脉状产于晚侏罗世酸性火山岩中；② 锡多金属组合（Sn-Ag-Cu-Pb-Zn），锡和多金属均为重要组分，如大井、安乐、敖瑙达巴、毛登等脉状和斑岩型矿床，与成矿有关的岩体除钾长花岗岩-花岗斑岩外，尚有花岗闪长斑岩、石英正长岩、安山玢岩等；③ Pb-Zn-Ag 为主，伴有 Sn（Cu）的含锡多金属组合，如浩布高、白音诺、银硐子、大韭菜沟等，其矿化类型以夕卡岩型为主，次为热液脉型。锡多金属系列的共同特征是矿床中均含有较高的锡，出现独立锡矿体，且在矿化分带中含锡矿体位于近岩体的矿化中心部位。研究表明，锡钨组合与较单一的钾长花岗岩-花岗斑岩有关，一般产于断隆区，岩体中黑云母主要是铁叶云母和铁黑云母（MF＝0.02～0.16），具有高硅、富碱、$K_2O>Na_2O$、F＞Cl（F/Cl＞10)的特征，全岩 $\delta^{18}O_{SMOW}$ 介入 2.9‰～8.0‰（赵一鸣等，1997），表明含锡花岗质岩浆起源于上地壳，大体相当于 S　型花岗岩，但有深部物质参入；铜-铅-锌-银等成矿则主要和花岗闪长斑岩、石英二长（斑）岩、斜长花岗斑岩等 I 型花岗岩有关，主要产于火山盆地边部基底隆起区或火山盆地中局部基底隆起区（盆中隆）；当钾长花岗岩和花岗闪长岩、二长岩等构成花岗杂岩体或定位在相近空间时，则常形成锡-多金属共生组合，如大井、浩布高、敖瑙达巴等矿床。

稀有稀土成矿系列主要和燕山晚期碱性花岗岩小岩体有关，代表性矿床有巴尔哲（超大型）、苔莱花等。巴尔哲矿床是一个超大型稀土-铌-铍-锆矿床，矿石矿物主要是兴安石、铌铁矿、烧绿石和锆石。含矿岩体为晶洞状钠闪石花岗岩小岩株（出露面积 0.11～0.3 km^2），沿火山机构旁侧的 NE、EW 向断裂交会部位贯入 J_3b 流纹岩中，岩体分带性明显，自上而下依次为：伟晶状花岗岩→钠长石化碱性花岗岩→似斑状碱性花岗岩，金属矿物呈细脉状、浸染状分布于钠长石化碱性花岗岩中。巴尔哲碱性花岗岩 $\varepsilon_{Nd}(t)$为＋1.88～＋2.47，$(^{87}Sr/^{86}Sr)_I<0.705$,显示了幔源岩浆特点，未受地壳混染（王一先等，1997），其主元素、稀土元素、微量元素特征表明，该含矿岩体是岩浆经强烈分离结晶作用的产物。在黄岗大乃林沟发育了与此阶段富碱超基性岩有关的小型砷钴矿床。此外，还可能存在一套燕山晚期的斑岩－浅成低温热液型铜金矿化（王京彬等，2000）。

3　岩浆柱与成矿

3.1　莲花山铜银矿区磁异常的启示

在 1：50000 航磁异常图上，莲花山矿区位于环状正异常（对应基底隆起区）的边部（赵一鸣等，1994）。异常上延 200 m，消除浅部干扰后，可圈出 8 个局部相对高磁异常，与中酸性小岩体对应，其中 C_1 为招哥营子岩体，C_2 为后新立岩体，C_3 为九录岩体，C_4 为陈台岩体，C_6 为长春岭岩体，C_7 为黑顶山岩体，C_5、C_8 为预测隐伏岩体（图略）。航磁异常上延 1 km 后，异常形态规则，边界明显，为深部大岩体的反映，而浅部岩体仅是大岩体的突起部分。莲花山矿区航磁异常特征在本区有较好的代表性，闹牛山、布墩花等矿区均有类似特征，表明含矿岩体多是隐伏岩基顶部和边部的突出小岩株或岩枝，利用航磁异常可较好地预测圈定深部隐伏岩体。

3.2　区域磁异常与岩浆柱

区域磁异常具有与莲花山矿区类似的变化规律。在上延 10 km 的航磁异常平面图上（图略），大兴安岭南段在大板和乌兰浩特地区存在两个走向 NE 的不规则椭圆状正磁异常区，其内部的一系列局部异常多对应晚侏罗世火山盆地，个别可能对应隐伏的中酸性岩体。上延 20 km 后，异常的规模和形态与浅部类似，但局部异常明显减少、减弱。两个区域高磁异常大体沿大兴安岭重力梯度带展布，部分与区域剩余正重力异常吻合，结合对该区大量岩石磁性参数测定结果（赵一鸣等，1994）等综合分析，两个区域高磁异常可能为沿大兴安岭主脊断裂侵入到中下地壳的中基性岩浆岩类，其磁异常和重力异常的不均匀性意味着是一个规模巨大（大板磁性体大于 60000 km^2；乌兰浩特磁性体大于 30000 km^2）以中基性为主的杂岩区，在其固结前应为一岩浆柱。

3.3　岩浆柱与成矿的关系

大板和乌兰浩特两个区域磁性体被解释为地壳深部由中基性岩浆柱固结－改造而成的杂岩区。本区大中型矿床主要位于的两个中基性杂岩区即岩浆柱的边部，形成了两个矿床密集区（图略），且铜矿床位于岩浆柱的中心部位（内部），向外依次为锡铜多金属矿床和铅锌矿床，反映了围绕岩浆柱的区域性成矿分带规律。位于岩浆柱近侧的的大井、黄岗、好来宝、布墩花等锡多金属和铜银矿床以岩浆流体为主，远侧的白音诺、浩布高和孟恩套勒盖等铅锌银矿床成矿流体则以大气降水或混合

水为主，成矿热液的 $\delta^{18}O$ 值低达－4‰～－17‰（赵一鸣等，1997），说明深部规模巨大的岩浆柱控制了矿集区的形成。把区域磁异常和莲花山等矿区的局部磁异常结合起来分析，推测岩浆柱可分为三级：一级是同地幔相连的深部巨型岩浆柱（大板、乌兰浩特岩浆柱）；二级是定位于中上地壳的一系列岩基或大岩株（如莲花山矿区深部的岩基）；三级是岩基顶部突出的或独立的小岩体（如莲花山出露或浅隐伏的小岩体）。一级岩浆柱制约了两个矿集区的形成，三级小岩体则具体控制了矿床的定位。

4 讨 论

综上所述，大兴安岭南段中生代伸展造山过程具有明显的阶段演化性，不同演化阶段有不同的构造-岩浆作用特点，进而形成了不同的成矿系列（系统）。中生代早期（$T－J_2$）伴随地幔上涌，幔源玄武质岩浆底辟侵位，富铜的幔源岩浆与被加热熔融的下地壳物质以不同比例混合，形成同熔型（I 型）闪长质岩浆，经进一步的上侵-分异作用，形成了与浅定位中酸性小岩体有关的铜多金属成矿系列（王京彬等，2000）。J_3－早 K_1 火山盆岭阶段是伸展造山的激烈期，幔源岩浆的持续补给，促使深部岩浆房的顶蚀－侵吞作用发育，岩浆生成界面不断抬升并进入上地壳，形成岩浆柱顶部具 S 型特征的酸性岩浆层。在块断构造作用的驱动下，发生强烈的火山喷发和大规模花岗岩类侵入。由上部酸性岩浆房的分异演化形成了壳源的钨锡矿化，而下部中酸性岩浆房衍生的分异流体则形成了铜铅锌等矿化，当两种热液在相同或相近的有利构造部位叠加成矿时，形成锡-多金属共生矿化。经过激烈期的大规模热耗散，K_1 晚期－K_2 阶段伸展造山衰竭，断裂和岩浆作用向深部发展，上地幔的低程度熔融形成了衰竭期的富碱基性－超基性岩类及有关的砷钴矿化；小规模碱性花岗岩可能是岩浆柱根部基性岩浆的分异残余，并形成了相应的稀有稀土成矿系列。

根据对上述构造-岩浆-成矿作用的认识，借鉴翟裕生（1999）提出的成矿系统的学术思想，构建了大兴安岭南段伸展构造体制下成矿系统演化模式（图略）。这一模式表明，陆内伸展成矿系统的突出特征是其构造-岩浆-成矿系统演化的阶段性非常明显，并具有不同于洋-陆俯冲和陆-陆碰系（Sawkins，1990）的空间分带性。

岩浆柱的形成和发育表明，大兴安岭南段中生代伸展构造体制的壳幔相互作用非常强烈，大量幔源岩浆的贯入既促进了地壳的垂向生长，也带来了丰富的铜多金属成矿。岩浆柱的识别及其控矿规律的认识，为该区成矿作用的深化研究和大中型矿床的勘查提供了新的思路。

参 考 文 献

艾永富，张晓辉. 1996. 内蒙大井矿床的脉岩与成矿. 见：中国地质学会编. “八五”地质科技重要成果学术交流会论文选集. 北京：冶金工业出版社. 231～234.

芮宗瑶，施林道，方如恒，等. 1994. 华北陆块北缘及邻区有色金属矿床地质. 北京：地质出版社.

邵济安，臧绍先，牟保磊，等. 1994. 造山带的伸展构造与软流圈隆起——以兴蒙造山带为例.科学通报，39（6）：533～537.

邵济安，张履桥，牟保磊. 1998. 大兴安岭中南段中生代的构造热演化. 中国科学(D 辑), 28（3）：193～200.

邵济安，张履桥. 1999. 大兴安岭中生代伸展造山过程中的岩浆作用. 地学前沿，6（4）：339～346.

王京彬，王玉往，王莉娟. 2000. 大兴安岭中南段铜矿成矿背景及找矿潜力. 地质与勘探，36（5）：1～4.

王一先，赵振华. 1997. 巴尔哲超大型稀土铌铍锆矿床地球化学和成因. 地球化学，26（1）：24～35.

王玉往，王京彬，王莉娟. 2000. 内蒙古大乃林沟角闪石岩岩石学特征. 地质论评, 46（3）：301～306.

翟裕生. 1999. 论成矿系统.地学前沿. 6（1）：13～27.

张德全，刘勇，李大新. 1993. 大兴安岭地区与铜多金属成矿有关的侵入岩. 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. 50～64.

张敏，袁忠信. 1988. 内蒙古稀有元素碱性花岗岩氧同位素地球化学. 中国地质科学院矿床地质研究所所刊, （1）：139～146.

赵一鸣，王大畏，张德全，等. 1994. 内蒙古东南部铜多金属成矿地质条件及找矿模式. 北京：地震出版社.

赵一鸣，张德全，等. 1997. 大兴安岭及其邻区铜多金属矿床成矿规律与远景评价. 北京：地震出版社.

Jingbin WANG, Yu Wang WANG, Li Juan WANG and Takeshi UEMOTO. 2001. Tin-polymetallic mineralization in the southern part of the Da Hinggan Mountains, China. Resources Geology, 51(4)：283～296.

Sawkins F J. 1990. Metal deposits in relation to plat tectonics. 2nd ed. Springer-Verlag, Berlin.