Cu-Mo-Pb-Zn-Ag-Au成矿系统的地质特征及其研究意义*

毛德宝[1]，赵更新[2]，席忠[3]，钟长汀[2]，陈志宏[1]，胡小蝶[1]
（1 天津地质矿产研究所，天津 3001701；2 中国地质大学(北京)，北京 100083；
3 内蒙古第一地质矿产勘查开发院，察素齐 010100）

摘　要：Cu-Mo-Pb-ZnVAg-Au成矿系统是最常见的热液矿床的成矿元素组合之一，在世界上广泛分布。其成矿作用通常表现为不同矿种和不同类型的矿床在一定的范围内共生组合，构成成矿系列，并具有较好的分带性。成矿系统的形成多与高钾钙碱性岩浆作用有关，是同一成矿流体体系随时间演化或不同成矿流体体系在同一空间叠加的产物。该成矿系统的研究对于深入了解成矿作用的动力学和矿产资源评价都具有重要的意义。

关键词：成矿系统；成矿作用；矿产资源评价
中图分类号：P611.1　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1007-6956(2003)04-0213-08

随着新一轮国土资源大调查工作的开展，华北地块周边地区的矿产资源评价工作取得了重大进展，在辽东青城子地区、冀北北岔沟门—王家窝铺地区、豫西南栾川赤土店地区都发现了具有大型超大型资源远景的银铅锌金矿产地，而这些地区的共同特点是都存在Mo(Cu)-Pb-Zn-Ag-Au成矿系统，资源评价的突破不仅基于对地、物、化、遥等综合异常的分析，而且得益于对成矿系统成矿分带性的认识。辽东高家堡子银矿、小佟家堡金矿床是在青城子铅锌矿的外围发现的，而栾川赤土店一带银铅锌矿床的发现是在南泥湖等超大型钼矿的周围发现的，因此深入研究Cu-Mo-Pb-Zn-Ag-Au成矿系统的成矿特征对于了解成矿作用的动力学和矿产资源评价都具有重要的意义。

1　Cu-Mo-Pb-Zn-Ag-Au成矿系统存在的普遍性

Cu、Mo、Pb、Zn、Ag、Au是最常见的成矿元素组合之一。成矿表现为两大系列：一类是在海底喷流作用形成的块状硫化物矿床（包括SEDEX型、VHMS型和Broken Hill型）系列，如加拿大马尼托巴Snow Lake地区、瑞典Skellefte和Bergslagen地区、澳大利亚的Tasmania等地区、我国呷村等块状硫化物矿床。另一类是与陆相火山—侵入岩浆活动有关的热液矿床系列，这一类型的成矿系列广泛分布于环太平洋成矿带和古特提斯成矿带，常表现为斑岩型（或矽卡岩型）—浅成热液型成矿组合，并常有W、Sn、Hg、Sb、As等成矿元素共生或伴生。这类矿床的实例很多，如美国内华达的Paradise Peak矿床、美国科罗拉多的Rosita Hill矿床、墨西哥Fresnillo地区的Ag-Pb-Zn-Cu矿床、加拿大不列颠哥伦比亚东南部Kokanee地区的Ag-Pb-Zn-Au矿床、我国赣东北德兴地区Cu-Pb-Zn-Ag-Au成矿系列[1]、内蒙古东北部额尔古纳Cu-Mo-Pb-Zn-Ag-Au成矿系列[2]、湖南水口山(W-Sn)-Mo-Cu-Pb-Zn-Ag成矿系统、玉龙斑岩型Cu-Mo-Pb-Zn-Ag成矿系统等。

2　Cu-Mo-Pb-Zn-Ag-Au成矿系统的一般特征

2.1　成矿的分带性特征

2.1.1　矿床类型的分带

Cu、Mo、Pb、Zn、Ag、Au等元素在同一成矿

收稿日期：2003-10-13
基金项目：国家土资源部"九五"资源与环境科技攻关项目(95-02-003)
作者简介：毛德宝，男，1964年生，研究员，主要从事矿床学、区域成矿学和前寒武纪地质研究工作。

万方数据

系统中的共生组合主要是由这些元素共同的亲硫性地球化学特征所决定的，但是由于矿物从热液流体中的结晶温度不同，Cu-Mo-Pb-Zn-Ag-Au成矿系统常表现为较好的成矿分带性，这种分带性首先反映在矿床类型和成矿元素组合上：如犹他州Bingham地区从斑岩型的铜矿床→层状的矽卡岩型铜矿床→交代型的Pb、Zn、Ag矿床具有很好的分带性；美国西南部Arizona和New Mexico部分地区的斑岩型铜矿床地区有Cu、Mo→Cu→Pb、Zn→Ag、Au的变化规律；辽东青城子地区，从中心向外成矿表现为(Cu、Mo)→Pb、Zn→Ag、Pb、Zn→Ag、Au→Au的变化规律；赣东北德兴矿带表现为Cu、Mo→Cu、Pb、Zn→Pb、Zn、Ag→Ag、Au的变化规律；大兴安岭额尔古纳南段有斑岩型Mo (Cu、Mo)/矽卡岩型Fe、Cu(Cu、Zn) →次火山岩型Ag、Pb、Zn、Cu→次火山岩型Ag、Au、Pb、Zn→低硫型浅成低温热液型Ag→高硫型浅成低温热液型Au、Ag矿床的变化规律。Sawkins[3]系统总结了产于岛弧背景的Mo、Cu-Pb-Zn-Ag-Au成矿系列的成矿演化规律，指出随着离开岩体的距离的增加和温度降低，矿床类型和矿种呈有规律的变化，从斑岩型的Cu、Mo→矽卡岩型Cu、Zn→角砾岩筒型Cu、Mo、W→浸染型的Cu、Zn、Pb→脉型的Cu、Pb、Zn、Ag→脉型的Ag、Au→黑矿型矿床(图1)。Large等[4]研究了澳大利亚Mount Read Volcanics和Mount Windsor地区的Cu-Mo-Pb-Zn-Ag-Au成矿系统，明确了不同矿床类型之间的关系(图2)。

需要指出的是，尽管Cu、Mo、Pb、Zn、Ag、Au是一个常见的成矿元素组合，但在成矿系列或矿床的共生组合上常具有多变性。在一些情况下，它们呈共生或伴生关系，彼此之间不分离，如在一些块状硫化物矿床和与岩浆侵入活动有关的中低温热液矿床中，Pb、Zn、Ag、Au 、Cu可同时达到工业品位；而在另一些情况下，它们又是相互分离的，各种元素的矿床同时发育，彼此之间表现在不同尺度(矿体、矿床或矿田)上的分带性或规律性不明显的空间分布特征，如赣东北的德兴斑岩铜矿→银山银铅锌矿→乐华铅锌矿→金山金矿表现为不同尺度上成矿的分带性；在额尔古纳地区，表现为乌山斑岩铜钼矿床，甲乌拉银铅锌矿床，查干布拉根银铅锌矿床，额仁陶勒盖银矿床在空间分布规律上不十分清晰。而另一些情况下，表现为以一种或几种元素成矿为主，而另几种元素仅为矿化，如在块状硫化物矿床中，Mo矿化大多很弱；在青城子地区Cu、Mo矿化相对较弱，形不成工业矿体；在北岔沟门地区，Mo矿化也相对较弱；在一些情况下，还有W、Sn、Hg、Sb等的矿化。因此，根据成矿元素的组合特征，Cu-Mo-Pb-Zn-Ag-Au成矿系统又可分为Cu-Pb-Zn-Ag-Au、Mo-(W)-(Sn)-Pb- Zn-Ag-Au和Cu-Mo-Pb-Zn-Ag-Au等不同的次级类型。

在很多情况下，Cu(Mo)-Pb-Zn-Ag-Au成矿组合常表现为火山—次火山岩—斑岩成矿系列，也即表现为浅成热液—斑岩成矿系列。有关斑岩型(或矽卡岩型)矿床和浅成热液型矿床之间的联系在国内外都有过不少研究，Sillitoe[5]等认为环太平洋成矿带的斑岩型Cu(Au)矿床和浅成热液Au矿床有着密切成生联系，并系统总结了与火山—次火山岩为容矿围岩的矿床之间的关系；Giggenbach[6]系统论述了会聚板块边缘成矿热液系统中斑岩型矿床与(低硫型和高硫型)浅成低温热液矿床的内在关系；Hedenquist等[7]阐述了岩浆在热液矿床中的作用，提出斑岩与(低硫型和高硫型)浅成低温热液成矿系统之间的时空转化模型；Hedenquist等[8]研究了菲律宾Mankayan成矿区斑岩型和浅成热液型Cu-Au矿床的时空演化关系。

2.1.2 *矿石矿物组合和蚀变分带性*

矿床类型的分带性直接反映在矿物组合和蚀变类型的分带性上。岩体内或近岩(指与成矿作用密切相关的岩体)矿床一般受岩体的接触带构造控制，在矿床类型上属斑岩型、矽卡岩型或接触交代型和爆破角砾岩型，矿体呈细脉浸染状、网脉状、浸染状产出，主要金属矿物成分是黄铜矿和辉钼矿，此外有黄铁矿、磁铁矿、白钨矿、辉钼矿、磁黄铁矿、闪锌矿、方铅矿等。围岩蚀变通常呈面型透入性分布，主要有钾化、钠长石化、云英岩化、粘土化、矽卡岩化、青盘岩化等；离(与成矿作用密切相关)岩体中等距离的矿化类型通常表现为受断裂构造控制的脉型或细脉浸染型的、气水热液隐爆角砾岩型多金属矿床，主要金属矿物为方铅矿、闪锌矿、

万方数据

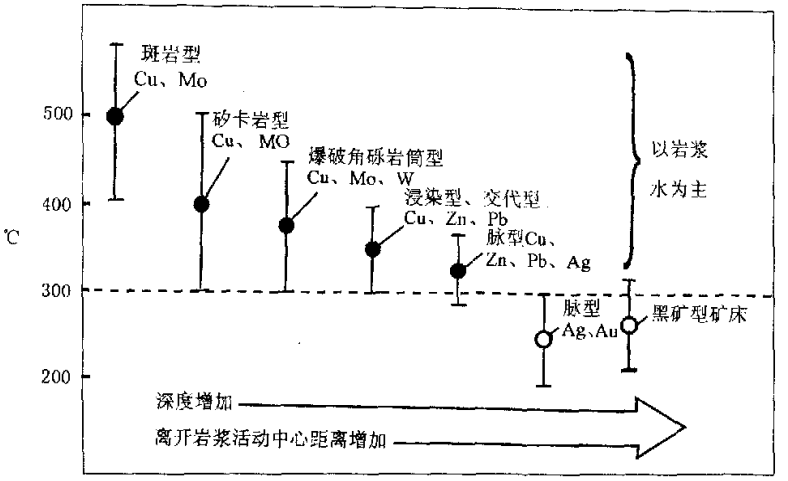

图 1　岛弧系统主要热液矿床类型的时空分布关系(据 Sawkins,1990)

Fig. 1 Generalized temperature-deposit type relationships for the major hydrothermal ore types found in arc systems emphasizing the essential coherence of arc metallogeny deposite variations in the metal content of individual deposits (after Sawkins,1990)

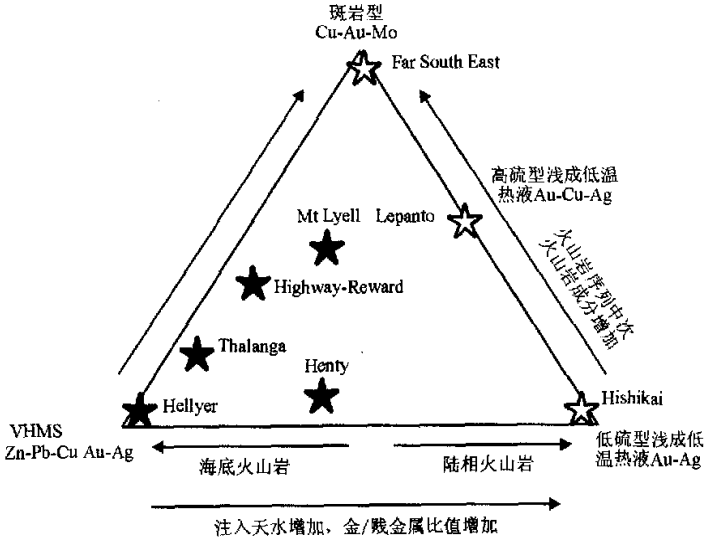

图 2　火山岩序列中不同类型矿床之间的时空演化关系(据 Large 等,2001)
图中五角形分别表示 Mount Read Volcanics 和
Mount Windsor 地区矿床实例

Fig. 2　Triangular representation showing the spectrum of ore deposits from the Mount Read Volcanics and Mount Windsor subprovince as examples(after Large et al. 2001)

黄铁矿等，含有少量的黄铜矿、斑铜矿、辉银矿、辉钼矿等。围岩蚀变通常受断裂构造控制，呈线形分布，蚀变类型依容矿围岩类型的不同而不同，花岗岩、片岩、砂板岩、炭质岩系的蚀变类型以绢英岩化为主，可见有少量碳酸盐化、高岭土化、重晶石化等，而围岩为碳酸盐等钙质岩系的蚀变主要为钙硅酸盐化和碳酸盐化，可见硅化、高岭土化等；远离(与成矿作用密切相关)岩体的矿化类型一般为浅成低温热液型，有高硫型和低硫型两种。金属矿物类型比较复杂，有黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、硫砷铜矿、黝铜矿、深红银矿、辉银矿、银金矿和自然金等，围岩蚀变也比较复杂，出现硅化、粘土化、明矾石化、冰长石化、萤石化、碳酸盐化、重晶石化等。

2.1.3　成矿物理化学条件和地球化学特征的分带性

有关 Cu-Mo-Pb-Zn-Ag-Au 成矿系统流体包裹体和稳定同位素地球化学示踪研究不很系统，特别是高精度的测试工作还很缺乏，这是成矿系统形成和演化机理研究方面的重要制约因素。已有的研究表明，成矿流体包裹体主要有四种类型：富 CO_2 的流体包裹体、含盐类子晶的多相流体包裹体、富液相流体包裹

万方数据

体和含 CO_2、CH_4、N_2、H_2S 的气体流体包裹体，不同类型的矿床具有不同的流体包裹体组合，反映它们在成矿机理上的差异。富 CO_2 的流体包裹体和含盐类子晶的多相流体包裹体在爆破角砾岩型矿床中最常见，在斑岩型、矽卡岩型矿床中也较多，含 CO_2、CH_4、N_2、H_2S 的富气相流体包裹体在斑岩型和矽卡岩型矿床中最多，而富液相的流体包裹体在浅成低温热液型矿床中最普遍。成矿物理化学条件在 Cu-Mo-Pb-Zn-Ag-Au 成矿系统中的变化规律也是显而易见的，秦克章等[2]对额尔古纳南段 Cu-Mo-Pb-Zn-Ag-Au 成矿系统的研究表明，从乌山斑岩型铜钼矿床→甲乌拉—查干布拉脉状银铅锌铜矿床→额仁陶勒盖浅成低温热液银矿床，流体包裹体均一温度范围相应为 790 ～ 110℃，480 ～ 120℃ 和 390 ～ 160℃，盐度（NaCl 当量）依次为 26% ～ 56%、2.3% ～ 12.7% 和 3% ～ 7.8%，密度、压力亦相应降低。杨子江等[1]对银山 Cu-Pb-Zn-Ag 成矿系统研究表明，从九区铜矿带向外，到铜铅锌带和铅锌银带，矿床气液包裹体在还原参数 R、CO_2/H_2O、Na^+/K^+、Ca^{2+}/Mg^{2+} 等值从低到高，Cl^-/F^- 从高到低，呈现规律性变化，成矿流体的盐度和温度与额尔古纳南段 Cu-Mo-Pb-Zn-Ag-Au 成矿系统有着相似的演化规律。

流体包裹体的 H、O 同位素成分是成矿流体来源和演化过程的最重要示踪参数，研究表明 Cu-Mo-Pb-Zn-Ag-Au 成矿系统内不同类型矿床之间的流体包裹体 H、O 同位素组成常具有明显的变化规律，如额尔古纳南段[2]从斑岩 Mo 矿化→Cu 矿化→Ag-Pb-Zn-Cu 矿化和 Ag 矿化，δO_{H_2O} 依次为 +6.3‰，+3.2‰，+1.4‰ ～ −12.5‰，−3.4‰ ～ −10.7‰。从早期到晚期，从深部到浅部，从热源中心到外围，岩浆水比例逐渐降低，天水比例相应增加。同样在冀北地区从撒岱沟门斑岩型 Mo 矿→蔡家营 Pb-Zn-Ag 矿床→北岔沟门 Pb-Zn 矿床→牛圈 Ag 矿床，δO_{H_2O} 依次为 +4.82‰，+3.8‰，−3.88‰，−5.71‰。银山矿田[1]从铜硫金矿化带→铜铅锌矿化叠加带→铅锌银矿化带→银铅矿化带，δO_{H_2O} 依次为 +8.77‰，+9.84‰，+8.44‰，+4.2‰。同样，硫同位素组成特征不仅反映了硫的来源，而且与成矿物理化学条件密切相关，研究表明 Cu-Mo-Pb-Zn-Ag-Au 成矿系统从斑岩型矿化到浅成低温热液型矿化，$\delta^{34}S$ 值的变化范围逐渐增加，特别是向负值演化的趋势反映出从深部成矿到浅部成矿过程中，成矿流体的氧逸度有逐渐增加的趋势。

2.2 成矿系统的构造控制

与陆相火山—斑岩有关 Cu-Mo-Pb-Zn-Ag-Au 成矿系统一般受控于区域性的大型超大型断裂，且通常位于几组大型构造的交叉叠接处，如豫西南栾川一带的 Mo-Pb-Zn-Ag-Au 矿床夹持于北西西向—近东西向的黑沟—栾川断裂和潘河—马超营断裂之间，并有北东向的大兴安岭—太行山—武陵山构造岩浆杂岩带（重力梯度带）在此通过，形成了复杂的断裂构造系统，近东西向和北东向两组断裂构造的交切点控制了与成矿有关的中酸性小岩体的空间侵位。冀北北岔沟门—王家窝铺地区的 Cu-Mo-Pb-Zn-Ag-Au 成矿系统产于北东向的大兴安岭—太行山—武陵山构造岩浆杂岩带，夹持于近东西向的开源—赤峰大断裂和丰宁—隆化大断裂之间，与成矿有关的岩体产于乌龙沟—上黄旗断裂内。相似的情况在赣东北银山地区和大兴安岭额尔古纳地区也可见到。矿床和矿体通常受基底或早期构造、与主构造垂直或斜交的次级构造以及浅成侵入体或火山口周围的放射状、环状断裂控制。

成矿区的地球物理场一般显示出梯度带和急变带的特征，深部构造表现为地幔相对隆起区或隆起的斜坡带。地表上，成矿系统一般产在隆起带和火山岩盆地的接触带或火山断陷盆地中的相对隆起区，如北岔沟门—王家窝铺多金属矿田产于花吉营火山岩盆地与半截塔火山岩盆地之间的北东向隆起部位[9]；额尔古纳南段的斑岩型（如乌山）多位于基底隆起带中，大型银或银多金属矿床均产于隆起区边部（如甲乌拉、查干布拉根、额仁陶勒盖）；银山矿区主要产于银山不对称背斜的两翼；而青城子多金属矿田产于片麻岩穹隆的四周，穹隆的中心部位主要形成铅锌矿床、在穹隆的边部逐渐过渡为金银矿床，不对称的片麻岩穹隆两侧构造形式不同，致使两侧产出的类型也不同[10]。

2.3 成矿系统的岩浆岩控制

万方数据

Cu-Mo-Pb-Zn-Ag-Au 成矿系统多与火山—斑岩系统或浅成侵入岩体有密切的时空关系，通常自岩体内接触带向外矿床呈规律分带。矿区内的岩浆活动多呈多期多旋回的特征，在冀北北岔沟门、大兴安岭额尔古纳南段、青城子地区可见前寒武纪、华力西期、印支期和燕山期等不同时期形成的中酸性岩体构成了复式杂岩体，且与成矿时空关系的中生代岩浆活动更是具有多期多阶段的复杂形成历史。组成岩体的岩石类型主要有石英闪长岩—花岗闪长岩—黑云母二长花岗岩系列、石英二长斑岩—似斑状二长花岗岩—钾长花岗斑岩系列、正长斑岩—石英正长斑岩—石英斑岩系列等。在冀北北岔沟门、大兴安岭额尔古纳南段和银山地区，与浅成侵入岩共同产出的还有规模不等的火山活动，有（碱性玄武岩）—玄武粗安岩—粗安岩—粗面岩—流纹岩系列、（玄武岩）—安山岩—英安斑岩—英安流纹斑岩—流纹岩系列等。与成矿有关的岩浆活动多与晚期岩浆活动有关，地球化学特征上多表现为高钾钙碱性系列和钾玄岩系列（图 3）。岩石的 Si_2O 为 62% ～ 75%，K_2O+Na_2O 为 5% ～ 9.5%，K_2O/Na_2O 多大于 1。稀土元素含量特征一般表现为轻稀土富集、重稀土平坦、中等负铕异常—微弱的正铕异常，微量元素的含量特征显示富集强不相容元素，不同程度地相对富集 La、Nd、Sm、Gd 等元素，而 Nb 和 Ti 等元素则相对亏损，高场强元素 Zr、Hf 也有微弱的亏损。上述特征表明岩浆活动形成的构造背景是挤压造山后阶段的相对伸展活动期。

2.4　成矿系统的基底控制

研究表明，Cu-Mo-Pb-Zn-Ag-Au 成矿系统多发育在有前寒武纪变质基底存在的地区，如青城子、银山、北岔沟门矿区分别发育古元古界辽河群、双桥山群和红旗营子群，而豫西南、额尔古纳南段的 Cu-Mo-Pb-Zn-Ag-Au 成矿系统发育在中新元古界为基底的构造区。大量研究表明区域前寒武纪变质基底是成矿的重要物质来源，成矿作用经历了前寒武纪同生沉积成矿或成矿预富集阶段，这在辽河群、红旗营子群中都有很明显的表现。事实上，元古宙是世界上 Cu-Pb-Zn-Ag-Au 块状硫化物矿床的主要形成期，在华北克拉通南北缘和扬子地块的周边都有该时期大型超大型块状硫化物矿床的形成，如朝鲜的检德、狼山地区的甲生盘和东升庙及霍各乞、冀东高板河、扬子地块西南缘东川等，基底富集的成矿元素为后期岩浆热液及岩浆加热的热水活动提供了矿质，在青城子矿区甚至存在同生沉积的铅锌矿体和控制金矿的同生硅质岩。矿石的同位素和微量元素地球化学示踪也显示出元古宙物质的参与。

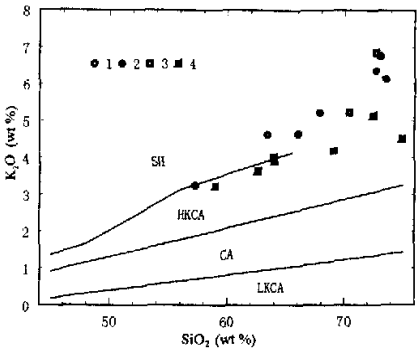

图 3　Cu-Mo-Pb-Zn-Ag-Au 成矿系统有关的侵入岩体的 Si_2O-K_2O 图解

Fig. 3. SiO_2-K_2O plot showing compositional field of some intrusions related to Cu-Mo-Pb-Zn-Ag-Au metallogenic systems

1. 赣东北银山矿区；　2. 辽东青城子矿区；
3. 豫西南南泥湖等 Mo 矿区；　4. 北岔沟门矿区

3　Cu-Mo-Pb-Zn-Ag-Au 成矿系统研究的意义

3.1　矿床成因学和区域成矿学的研究意义

Cu-Mo-Pb-Zn-Ag-Au 成矿系统，从矿床类型到矿石矿物成分和成矿元素均具有良好的分带性，对研究成矿流体系统的形成演化、斑岩型成矿至浅成热液成矿内在转换关系具有重要意义。通过成矿流体系统 P-T-t-V-X 的综合研究，不仅可以探讨成矿过程中成矿系统内含矿流体形成—运输—沉淀的地球化学动力学过程，而且可以通过成矿过程动力学特征与背景构造岩浆活动的动力学演化的耦合研究，确定背景地球动力学特征、深部地质作用过程和岩浆动力学对成矿的控制作用，从而在更深层次上了解矿床的成因和成矿机理。我国东部地区中生代发育了大量 Cu-Mo-Pb-Zn-Ag-Au 成矿系统，成矿与中生代火山

万方数据

一斑岩活动系统有关，独特的地质构造位置和成矿特征为研究地球动力学过程对成矿的控制作用提供了良好的研究对象，通过岩石探针和地球物理等多学科综合的方法对构造—岩浆—热事件的时空演化格架进行精细研究，探讨成矿与深部地质作用过程的关系，对研究燕辽地区乃至整个中国东部地区燕山期爆发式成矿的地球动力学背景、发展大陆成矿理论具有重要意义。

金属元素成矿系统的成矿分带性是一种常见的成矿作用现象，但是迄今对这种分带性的动力学研究并不深入。有关这种分带性的成因至少可能有两种解释：(1)同一种母成矿热液随着物理化学条件的演化，金属矿物先后沉淀形成的分带，如持续冷却、不同来源流体的混合等；(2)成分不同的含矿流体在不同空间的沉淀，包括同一母岩浆分离结晶导致的成分不同和不同来源岩浆导致的成分不同。要明确是哪一过程在成矿中起主导因素必须研究矿区内岩浆作用及其衍生的热液特征以及它们与成矿的关系。如Audetat等[11]通过对流体包裹体成分的系统测定，研究澳大利亚Mole花岗岩周围大规模的成矿分带性特征及其成因，认为该区成矿的分带性既归因于不同来源的成矿流体、也产生于同一流体的不断演化，受两种作用的共同控制。同样，Titley① 在研究美国西南部斑岩型铜矿区Cu、Pb、Zn、Ag、Au成矿的分带性时，识别出三种成矿流体，也证明成矿的分带性受到了上述两种作用过程的控制。与此同时，开放成矿流体体系的演化和非平衡的化学动力学过程得到了深入的研究，如於崇文等[12]研究了超临界过程在矿床分带成因中的意义，而张荣华等[13]用实验的方法研究了地球深部流体演化与不同类型矿石的成因。

Cu-Mo-Pb-Zn-Ag-Au成矿系统首先是受一定的构造背景控制的，与一定的地球动力学背景下特定的岩浆作用有关，因而是构造—岩浆动力学演化的产物。有关岩浆的源区、物理化学状态、演化过程等特征对成矿作用的控制已有很多学者进行过研究，但是在岩浆作用和成矿的关系问题上显然还存在很多值得进一步研究的课题，如一些学者强调原始岩浆的含矿性对成矿的制约，而另一些学者则强调岩浆作用过程中的岩浆的热供给量、挥发份含量及物理化学条件等对成矿的制约，还有一些学者则重视岩浆侵入和定位过程中围岩的含矿性在成矿物质来源中的作用。一些富有成果的研究如：Thompson等[14]总结了岩浆的氧化状态和分离结晶程度与主要成矿金属元素组合的关系；Lang等[15]和Cloos[16]分别研究了与侵入岩体有关的金矿床和斑岩型铜矿床的岩浆形成演化过程，Blevin和Chappell等②研究了东澳拉克伦褶皱带花岗岩化学成分、源岩和强度变量(尤其是氧化状态)与成矿元素组合之间的关系，建立了该区花岗岩成矿作用模式；Barnes[17]研究了满足热液流体对流系统形成演化并足以导致成矿的岩浆作用条件，包括岩浆作用的空间和时间强度；季克俭等[18]建立了热液矿床形成的三元成矿理论等。

3.2 矿产资源评价意义

我国Mo、Cu、Pb、Zn、Ag、Au矿床广泛分布，尽管大量的研究资料表明这些矿床具有多期多成因的特征，但大多数矿床都集中形成在燕山期。由于过去的研究主要集中在单个矿床、矿床类型和区域成矿规律的研究，因而对一定范围内不同类型矿床的内在联系及其成矿动力学演化等方面还缺乏深入的了解。在一些地区分布有大中型的Ag-Au、Mo、Cu、Pb-Zn等矿床，能否在已有矿床的周围找到新类型矿床(就矿找矿)，在浅成热液矿床或矿化蚀变的深部找到斑岩型矿床(深部找矿)，在现有的物化探异常和矿点密集区取得找矿的重大突破需要理论认识和勘查模型上的指导。例如在冀北北岔沟门矿床的邻区分布有营房—牛圈大型银金矿床、撒袋沟门大型钼矿等，在矿区外围，隆化西部、丰宁北部、围场南部还分布有大量的Cu、Mo、Pb、Zn、Ag、Au物化探异常和矿点，就矿找矿具有重要的意义。而在一些深覆盖区(如冀北、德尔布干等)能否找到

① Titley S R. Characteristics of porphyry copper occurrence in the American southwest [A]. In: Kirkham, R. V. et al. eds. Mineral deposit modeling: Geological Association of Canada Special Paper 40[C], 1993, 433—464.

② Blevin P. L., Chappell B. W. & Allen C. M. Intrusive metallogenic provinces in eastern Australia based on granite source and composition[J]. Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences, 1996, 87:281—290.

万方数据

大型超大型的斑岩型矿床也是目前资源评价项目取得突破的关键。Mo-Cu-Pb-Zn-Ag-Au 成矿系统及其矿床的时空分布结构研究对上述问题的解决显然具有重要价值,新一轮国土资源大调查实施以来所取得的一些找矿突破就是最好的说明,例如在豫西南南泥湖钼矿周围发现了百炉沟、冷水北沟、银硐沟、九龙沟等十余处银铅锌多金属矿脉集中区,上百条含矿断裂带,Pb、Zn 和 Ag 的资源量都达到了大型规模,此外在豫西南的内乡板厂、银硐沟等地区也取得了找矿突破;在辽东青城子地区,在原有的层状和脉状铅锌矿床周围陆续找到了高家堡大型银矿床、小佟家堡子大型金矿床、林家和三道沟金矿床等;在冀西太行山北段一冀北围场地区先后发现了具有大型远景的镰巴岭、北岔沟门、王家窝铺 Cu(Mo)-Pb-Zn-Ag-(Au)矿床;在西南三江兰坪发现了白秧坪大型 Cu-Ag-Pb-Zn 矿床等。

参考文献:

[1]杨子江,等.江西银山铜铅锌金银矿床[M].北京:地质出版社,1996,1-370.

[2]秦克章,等.额尔古纳南段中生代斑岩—次火山岩—浅成低温 Cu、Mo、Pb、Zn、Ag 成矿系统[J].矿床地质,1998,17(增刊):201-206.

[3]Sawkins F J. Metal deposits in relation to plate teconics [M]. 2rd ed. Springer-Verlag New York, 1990, 1-453.

[4]Large R R, McPhie J, Gemmell J B, et al. The spectrum of ore deposit types, volcanic environments, alteration halos, and related exploration vectors in submarine volcanic successions: some examples from Australia[J]. Econ. Geol., 2001, 96(5):913-938.

[5]Sillitoe R H, et al. Epithermal gold-silver-mercury deposits at Paradise Peak, Nevada: ore controls, phorphyry gold association, detachment faulting, and supergene oxidation [J]. Econ. Geol., 1994, 89: 1 228-1 248.

[6]Giggenbach W F. Magma degassing and mineral deposition in hydrothermal systems along convergent plate boundaries [J]. Econ. Geol., 1992, 87: 1 927-1 944.

[7]Hedenquist J W. et al. The role of magma in the formation of hydrothermal ore deposits[J]. Nature, 1994, 370:519-527.

[8]Hedenquist J W. et al. Evolution of an intrusion(centered hydrothermal system: Far Southeast-Lepanto porphyry and epithermal Cu-Au deposits, Philippines [J]. Econ. Geol., 1998, 93: 373-403.

[9]毛德宝,钟长汀,陈志宏,胡小蝶.冀北银铅锌矿床成矿地质要素的结构分析[J].地球科学,1999,24(5):464-467.

[10]刘国平,艾永富.辽宁青城子铅锌银矿田控矿构造与找矿方向[J].矿床地质,2001,20(2):147-152.

[11]Audetat A. et al. Causes for large-scale metal zonation around mineralized plutons: fluid inclusion LA-ICP-Ms evidence from the Mole granite, Australia[J]. Econ. Geol., 2000, 95: 1 563-1 581.

[12]于崇文.成矿动力系统在混沌边缘分形生长——一种新的成矿理论与方法论(上)[J].地学前缘,2001,(3):9-28.

[13]张荣华,胡书敏.地球深部流体演化与矿石成因[J].地学前缘,2001,(4):297-309.

[14]Thompson J F H. Intrusion-related gold deposits associated with tungsten-tin provinces[J]. Mineralium Deposita 1999, 34: 323-334.

[15]Lang J R. and Baker T. Intrusion-related gold systems: the present level of understanding. Mineralium Deposita. 2001, 36: 477-489.

[16]Cloos M. Bubbling magma chambers, cupolas, and porphyry copper deposits[J]. International geology review, 2001, 43: 285-311.

[17]Barnes H L. Energetics of Hydrothermal ore deposition [J]. International Geology Review, 2000, 42:224-231.

[18]季克俭,吴学汉、张国柄.热液矿床的矿源、水源和热源及矿床分布规律[M].北京:北京科学技术出版社,1989,1-131.

万方数据

Geological Characteristics of Cu-Mo-Pb-Zn-Ag-Au Metallogenic Systems and Their Exploration Significance

MAO De-bao[1], ZHAO Geng-xin[2], XI Zhong[3],
ZHONG Chang-ting[2], CHEN Zhi-hong[2], HU Xiao-die[1]

(1. *Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources, Tianjin* 300170; 2. *China University of Geosciences, Beijing* 100083, 3. *First Exploration and Development Team of Geology and Mineral Resources, Inner Mongolia Bureau of Geology and Mineral Resources, Chasuqi, Inner Mongolia*, 010100)

Abstract: Cu-Mo-Pb-Zn-Ag-Au Metallogenic systems are globally widespread and constitute some important metal provinces. The mineralizations commonly span a broad range in style and position relative to porphyritic intrusive or volcanic-subvolcanic centers. In a lot of instances, deposits exhibit a well-defined vertical and lateral zonal pattern with Cu-Mo-(W-Sn) porphyry, roof-breccias ores at their core. Removed from the core, the types and metal assemblages of the zoned deposits are varied from Pb-Zn-Cu skarns or stockworks ores at the peripheral areas, to Pb-Zn-(Ag) veins, disseminations and hydrothermal breccias at proximal areas, and to epithermal Ag-Au-(Pb-Zn) ores at distal areas. Although many models have been proposed as interpretations of both the genesis and the distinctive habits of zoning, the present understanding on the genetic processes critical to its formation is still limited. It is clear that the metallogenic systems were controlled by many important factors such as geodynamic setting, igneous nature, hydrothermal fluid evolution and structural features. The Cu-Mo-Pb-Zn-Ag-Au Metallogenic System is geologically intriguing, and perhaps more importantly, It offers one of the best examples to study dynamic process that affect availability, transport, and precipitation of metals across a broad spectrum of magmtic-hydrothermal deposit types and conditions, and to reconstruct the geochemical evolution path of the melts and exsolving fluids through time and space. In addition, the geological features of the Cu-Mo-Pb-Zn-Ag-Au Metallogenic System have implications for exploration, particularly in large magmatic hydrothermal districts where various types of base and precious metal deposits may occur. The vectors of alteration and metal assemblages are useful parameters to assist exploration.

Key words: Cu-Mo-Pb-Zn-Ag-Au; metallogenic system; mineralization; assessment on mineral resources

万方数据