

北方造山带东北段中生代构造—流体—成岩 成矿体系及其演化

吕志成^{1,2}, 段国正², 郝立波², 李殿超², 董广华²

1. 中国科学院地球化学研究所矿床地球化学开放实验室, 贵州 贵阳 550002; 2. 吉林大学朝阳校区, 吉林 长春 130026)

摘 要: 本文讨论了北方造山带东北段满洲里—额尔古纳地区及其毗邻区中生代构造—流体—成岩成矿系统及其演化的三个不同阶段: 1) 早中侏罗世张性“似裂谷环境”下所形成的中基性碱性火山岩—同熔性花岗岩及深源流体活动形成的稀土矿床和斑岩性铜钼矿床; 2) 晚侏罗世挤压—剪切环境下所形成的酸性火山岩、斑岩类及深源流体活动所形成的铅锌银矿床; 3) 早白垩世张性环境下所形成的基性碱性火山岩及深源流体活动所形成的铀矿床、金银矿床及萤石矿床。在此基础上, 建立了区域中生代构造—流体—成岩成矿地球化学—体化系统模型。

关键词: 中生代; 构造—流体—成岩成矿体系; 区域构造—流体—成岩成矿模型; 北方造山带东北段
中图分类号: P534.5; P612 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001—1552(2001)02—161—10

1 概 况

北方造山带东北段满洲里—额尔古纳地区是我国重要的多金属成矿区。目前全区已发现的矿床和矿化点达百余处, 其中大型矿床有乌奴克吐山斑岩铜钼矿床、额仁陶勒盖银矿床等。中小型矿床有三河铅锌矿床、二道河子铅锌银矿床等。此外, 区内萤石矿床资源极为丰富。与本区处于同一构造单元的俄罗斯和蒙古发现的规模不同的铅锌银矿床有 500 多个, 大型 U 矿田两个, 大型稀土矿床一个, 大型金矿床两个。依据区域矿床的地质地球化学研究资料及斑岩体与部分矿床产出的空间关系, 早期一些学者认为斑岩体与成矿关系密切, 成矿流体及矿质是斑岩体岩浆晚期结晶分异的产物[1994, 李鹤年, 等; 1992, 吕志成], 二者为“母子关系”。但是考虑到规模较小的斑岩体岩株(甚至为岩墙、岩脉)是否能够提供巨量的成矿物质(如乌奴克吐山斑岩铜钼矿床、额仁陶勒盖银矿床)及一些矿床常常找不到与之密切相关的岩浆岩时(乌兰大型铅锌银矿床), 多数学者借助于岩浆房来解释区域矿床成矿物质和成矿流体的形成, 并建立了

收稿日期: 2000—12—07; 改回日期: 2001—03—22

基金项目: 教育部博士点基金(No. 97018701)和国家杰出科学家基金(批准号: 49625304)共同资助。

作者简介: 吕志成(1966—), 男, 内蒙古人, 博士, 副教授, 地球化学专业。

区域成矿模式[1996, 潘龙驹, 等; 1996, 阎鸿铨, 等; 1998, 向卫东, 等]。该模式认为在地壳浅部应有浅部岩浆房, 岩浆房由深部上升的岩浆及地壳重熔岩浆组成, 岩浆房内分异的岩浆在构造作用下沿贯通式构造脉动式上侵喷发, 形成一定的火山旋回和多期岩浆侵入, 构成不同岩性斑岩体组合, 同时, 从岩浆房中分异出的高盐度富含成矿物质的热水溶液及气体沿火山通道上升, 因温度压力降低及与围岩的相互作用形成矿床。

上述观点的提出, 无疑对该区 Cu 多金属矿床成矿作用的研究和找矿工作发挥了重要的推动作用, 解释了与斑岩体无成因联系的矿床(如乌兰铅锌银矿床)的成矿过程, 将斑岩体与成矿物质和成矿流体视为“兄弟关系”, 明确了区域找矿方向。但是, 笔者认为建立在部分典型矿床上的这一成矿模式未将区域中生代构造演化、深源流体活动及成岩成矿作用视为一个协同的有机作用系统, 特别是忽略了中生代构造演化对成岩成矿的控制作用。事实上, 区域矿床的形成与中蒙古—额尔古纳微板块中生代独特的构造演化及深源流体活动具有密切的时空和成因联系, 它们共同构成一个矿化元素复杂、成因类型相似且不断演化的构造—流体—成岩成矿系统。因而, 从系统论和历史观的角度出发, 研究构造—流体—成岩成矿系统之间诸要素的多重耦合关系及其对成矿的效应, 具有重要的意义。本文是在区内数个典型矿床及区域成矿规律等方面的多个项目研究工作的基础上, 结合前人的研究成果, 从该区中生代构造演化、岩浆作用、深源流体活动及成矿流体演化的角度探讨它们之间的多重耦合关系及其对多金属成矿的制约。

2 中生代构造演化及其对成岩成矿的控制作用

长期以来, 人们习惯于将本区构造演化自中生代以来置于环太平洋构造域进行讨论。作者[1999, 2000, 2001, 吕志成, 等]对区域中生代构造—岩浆活动进行了研究, 提出了本区中生代处于蒙古—鄂霍茨克残余洋构造域的新见解, 在此基础上, 划分了本区中生代构造演化的三个不同阶段及其控制的三个成岩成矿子系统。它们分别为:

(1) 早—中侏罗世构造—成岩成矿子系统

早—中侏罗世, 是区域构造体制的转换时期。构造活动表现为区域大规模北东向深大断裂的再次复活, 成为全区规模最大最重要的控岩构造。该断裂系统控制了塔木兰沟组(J_2t)中生代火山岩断陷盆地(如上护林火山盆地)和燕山早期花岗岩岩体的展布。区域大规模的稀土矿化和斑岩型铜钼矿化主要出现在岩体中或岩体周围的裂隙中, 主要成矿时代为 170 Ma。成矿作用在空间上和时间上主要与该期岩浆活动及深源流体活动有关。

塔木兰沟组中—基性火山岩岩石组合为碱性玄武岩—玄武粗安岩—粗安岩—粗面岩—石英粗面岩及玄武岩—玄武安山岩—安山岩—英安岩, 微量元素以富集不相容元素为特征, 岩石化学成分与板内裂谷环境的玄武岩较为接近。在原始地幔标准化蛛网图中[1999, 2000, 吕志成, 等], 塔木兰沟组玄武岩高度富集亲石元素及不相容元素, 表现出洋岛玄武岩与岛弧钙碱性玄武岩的元素富集特征。塔木兰沟组中基性岩($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$), 为 0.70277~0.70833, 平均值为 0.70635, $\epsilon_{\text{Sr}}(t) \approx +10 \sim +42$ [1997, 罗毅, 等], $\delta^{18}\text{O}$ 为 9.562×10^{-3} , ($^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$), 为 0.502071~0.512445, $\epsilon_{\text{Nd}}(t) \approx +0.5 \sim -1$ [1997, 罗毅, 等]。微量元素及同位素特征表明本区上地幔的富集因子分别来自地壳物质再循环进入上地幔及深部流体上升进入上地幔。

燕山早期花岗岩岩石类型为花岗闪长岩—斜长花岗岩—二长花岗岩—钾长花岗岩—碱长

花岗岩,岩石化学特征为钙碱性—弱碱性和中碱性, $K_2O > Na_2O$, A/NKC 平均值为 1.13, ΣREE 平均为 98.39×10^{-6} ,微量元素中铁族元素明显亏损,LILE、HFSE 明显富集,其微量元素含量位于 A 型花岗岩成份范围内。稀土元素球粒陨石标准化图解与华南同熔型花岗岩类似,在 ACF 图解中 [1999, 吕志成],投影点落于 I 型花岗岩区和 S 型花岗岩区, $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ 变化于 0.7032 ~ 0.7074,上述特征表明燕山早期花岗岩兼具有 A 型、I 型、S 型花岗岩成份特点,与产于大陆穹隆或裂谷环境的 PAG 和 KCG [1999, Bernard Barbarin] 相类似。在 ORG 标准化蛛网图中 [2001, 吕志成],K、Rb、Th、Ta、Hf 等元素相对富集,略具 Ba 谷,微量元素配分模式类似于板内花岗岩,在微量元素构造环境判别图解中 [1999, 吕志成],燕山早期花岗岩类投影点基本落于板内构造环境。

蒙古东南部广泛发育的中生代碳酸岩型稀有稀土矿床 [1998, 吴良士] 与此期岩浆活动及深源流体活动密切相关。其中莫苏盖胡都格矿床是典型代表,矿床的形成与本区早—中侏罗世岩浆活动形成的一些碱性—亚碱性火山岩、次火山岩和侵入岩有关,火山岩岩石类型主要为粗面英安岩和粗面英安流纹岩,其次为次碱性粗面岩、灰色粗面岩、粗面岩和粗安岩,同位素年龄为 180 ~ 190 Ma,其侵入岩主要为正长岩和霞石玢岩,其次为正长斑岩和碳酸岩。碳酸岩是该期岩浆活动最晚期的产物。其分布受断裂构造控制,呈脉状、网脉状产于中生代碱性杂岩体或晚古生代岩层之中,走向为北东向和北西向。碳酸岩脉矿物组成主要为方解石,其次为数量不等的白云石、石英和萤石等,该岩石的 $\delta^{13}C_{PDB} = (-10.1 \sim -9.2) \times 10^{-3}$, $\delta^{18}O_{SMOW} = (6.2 \sim -6.4) \times 10^{-3}$, $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i = 0.70540$,属幔源流体活动产物。

斑岩型铜钼矿床以产于我国境内的乌奴克吐山铜钼矿床 [1992, 1993, 王之田,等; 1989, 叶欣,等; 1990, 1993, 1998, 秦克章,等; 1999, 吕志成] 较为典型。矿体产于燕山早期早阶段黑云母花岗岩体中和燕山早期晚阶段二长花岗斑岩中。矿区构造为北东向、北西向、北西西向断裂构造及环形构造。矿区北矿段为典型的中心式喷发火山机构,位于矿区北东向、北西向断层交汇部位。作为含矿主岩的二长花岗斑岩侵入到火山管道的中心部位,占据火山管道的主体。矿区处于一个长期岩浆活动并具有充足热源和物源供应的古火山机构中。矿床的地质地球化学特征研究 [1999, 吕志成] 表明,矿床的形成与深源流体的幕式排泄及其对斑岩体的渗透性交代有关。

岩石的地质地球化学特征反映了本区早—中侏罗世处于拉张的构造环境,是由于蒙古—鄂霍茨克残余洋“剪刀式”闭合、布列亚—佳木斯地体逆时针旋转而引发的。

(2) 晚侏罗世构造—成岩成矿子系统

晚侏罗世,蒙古—鄂霍茨克残余洋“剪刀式”闭合进入拼贴阶段,布列亚—佳木斯地体由逆时针旋转而变为走滑拼贴,此时,全区应力场环境由拉张转变为挤压。构造活动表现为在北东向断裂构造的基础上,发育了一系列北西向次级张扭性断裂构造,控制了区域成矿亚带呈北西向展布,如北西向木哈尔成矿带和哈泥沟成矿带。同时,该断裂系统控制了上库力组(J_3s)火山盆地(如马头山火山盆地)和燕山晚期花岗质岩体呈北西向的展布特点。区域大规模的铅锌矿床和银矿床主要发育于中生代火山—次火山岩构造中,成矿时代为燕山晚期。铅锌银多金属成矿作用在空间上和时间上与该期岩浆活动及深源流体活动有关,如产于我国境内的甲乌拉铅锌银矿床和产于蒙古国的乌兰铅锌银矿床等,上库力组火山岩岩石组合主要为粗面岩、流纹岩等。

上库力组火山岩稀土总量为 217.046×10^{-6} ,高于地壳稀土平均总量,轻稀土富集, δ_{Eu} 亏损明显。不相容元素及挥发性元素(As、Sb、Bi、F)等含量明显富集,初始铈比值集中于 0.710 ~

0.720 之间,化学成分具弱碱性钾质岩石的特点[1900,吕志成,等]。上库力组火山岩可能是下地壳物质部分熔融而形成的。燕山晚期斑岩类属于上库力组火山岩的一部分,它们形成于统一的岩浆源,所不同的是由于全区应力场环境为走滑—挤压,不利于岩浆的喷溢活动,因而形成了全区分布较广的次火山岩体。

在区域众多的 Pb-Zn-Ag 矿床中,蒙古国乌兰大型铅锌银矿床是区内铅锌银矿床深源流体成矿作用的典型代表[1991,内蒙古自治区地研队]。该矿床位于乔巴山以北,距中蒙边境直线距离约 100 km 左右,矿床产于多尔诺特火山—构造带范围内的乔巴山—鄂嫩河火山链中的乌兰火山凹陷内。

组成乌兰凹陷的基底为元古代片麻状花岗闪长岩及花岗岩,盖层为中生代火山岩—火山沉积岩,铅锌银矿化产于两个筒状隐爆角砾岩筒中,其中一个(主要的)呈东西向延伸,长达 350 m,宽达 100~120 m;第二角砾岩筒较小,在 200 m 处深与第一角砾岩筒相连,角砾岩筒呈复杂的管状体,筒内为熔结凝灰角砾岩充填,垂深 1000 m 尚未尖灭,其规模反而扩大,岩筒倾向南,倾角为 75°~85°。

主要金属矿物闪锌矿、方铅矿等通常在角砾岩胶结物中呈浸染状、巢状和细脉状产出,脉石矿物为绿帘石、阳起石、石英、钠长石、碳酸盐、萤石等。矿床主成矿阶段石英和萤石气液包裹体均一温度为 300℃,成矿后期阶段方解石气液包裹体均一温度为 90~170℃,矿床硫同位素 δS^{34} 为 $(-1 \sim +4) \times 10^{-3}$,近矿蚀变晕中绢云母 K-Ar 年龄为 161 ± 7 Ma[1991,内蒙古自治区地研队]。

(3) 早白垩世构造—成岩成矿子系统

早白垩世,蒙古—鄂霍茨克残余洋已实现全线闭合和隆升,本区进入板块拼合隆升后的微造山带伸展作用阶段[2001,吕志成,等]。构造活动主要表现为对区域北东向和北西向断裂构造的继承和发展。该期火山岩(梅勒图组)在我国分布较少,在蒙古和俄罗斯境内为主要的喷发旋回,分布面积广。火山盆地受北东和北西向断裂构造控制,矿田(或矿床)位于北东向和北西向断裂构造交汇部位的火山断陷盆地(破火山口)中,矿床成矿时代为早白垩世。蒙古国和俄罗斯大型铀钼矿床和金银矿床在空间上和时间上与该期岩浆活动及深源流体活动有关。

梅勒图组火山岩岩石组合为碱性玄武岩—玄武粗安岩,其岩石化学成分特征与塔木兰沟组基性火山岩相似,即主要以钙碱性岩石系列为主,同时兼具有弱碱质的特点,梅勒图组火山岩 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)_i 为 0.70277 和 0.70786,显示幔源 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)_i = 0.7045) 性质,它是地壳拉伸的产物,其构造属性为板内张性环境。

斯特列措夫铀矿床[1997,罗毅,等;1998,向卫东,等]位于俄罗斯赤塔州东南角,距中俄国界直线距离仅 30 km,是斯特列措夫铀矿田 19 个铀矿床中规模最大者。矿田位于 NE、NW 及近 SN 向断裂控制的火山塌陷洼地(破火山口)内。基底由深熔型花岗岩组成,原岩为 Ar—Pt 变质岩,盖层为中生代中基性火山岩、火山沉积岩,火山岩 K-Ar 同位素年龄为 143~170 Ma[1997,罗毅,等]。

矿体形态多种多样,以复杂的脉状、网脉状及似层状矿体为主,受陡倾裂隙和缓倾的层间破碎带控制,在两者交汇部位常形成富矿体。矿体主要赋存于粗面英安岩和玄武岩中。主要铀矿物为沥青铀矿、钛铀矿、铀石。矿化元素以 U、Mo 为主,成矿温度为 280~230℃,属低温热液型矿床。

蒙古多尔诺特铀矿田[1997,罗毅,等;1998,向卫东]位于中蒙古—额尔古纳火山岩带的南

西端,矿田处于断陷式—沉积洼地,盆地基底岩石为花岗闪长质片麻岩,盖层为中生代中基性火山岩。火山岩的 Rb-Sr 等时线年龄为 170~140 Ma, K-Ar 法年龄为 170~110 Ma [1996, 阎鸿铨, 等]。矿体呈层状、似层状产于凝灰沉积岩及基性火山熔岩中, 矿石矿物主要为沥青铀矿、铀石, 矿化元素以 U、Mo 为主, 成矿年龄为 135~138 Ma (U-Pb 法), 成矿温度为 190~215°C, 属浅成低温热液型矿床。

我国境内的额仁陶勒盖大型银矿床 [1999, 吕志成]、俄罗斯境内的巴列依大型金矿床 [1996, 阎鸿铨, 等] 及众多的萤石矿床与此期岩浆活动均显示出密切的相关性, 在此不一一列举。

2 区域成矿流体地球化学特征及其演化

2.1 深源成矿流体的同位素地球化学

(1) 硫同位素

由区域部分典型矿床硫同位素频率直方图 (图 1) 可知, 矿床的 $\delta^{34}\text{S}$ 变化范围较小, 整个变化幅度为 10, $\delta^{34}\text{S}$ 平均值在零值附近, 塔式效应明显。但不同矿床之间 $\delta^{34}\text{S}$ 组成略有差异, 乌奴克吐山铜钼矿床 $\delta^{34}\text{S}$ 变化范围为 $(-0.2 \sim +3.4) \times 10^{-3}$, 甲乌拉银铅锌矿床 $\delta^{34}\text{S}$ 变化范围为 $(-2.86 \sim +4.01) \times 10^{-3}$, 查干布勒根银矿床 $\delta^{34}\text{S}$ 变化范围为 $(-4.00 \sim +5.06) \times 10^{-3}$, 额仁陶勒盖银矿床 $\delta^{34}\text{S}$ 变化范围为 $(-3.96 \sim +4.45) \times 10^{-3}$ 。在单个矿床 $\delta^{34}\text{S}$ 频率直方图中, 乌奴克吐山铜钼矿床和甲乌拉银铅锌矿床 $\delta^{34}\text{S}$ 变化范围小, 塔式效应明显, 表明硫来源于上地幔, 而查干布勒根银矿床和额仁陶勒盖银矿床 $\delta^{34}\text{S}$ 相对而言, 变化范围略大, 频率直方图略显双峰分布, 可能为幔源硫经壳源硫的轻度混染造成。区域矿床硫同位素总体为幔源硫的特点, 部分矿床可能经壳源硫的轻度混染, 反映了区域矿床成矿物质主要来源于上地幔。

(2) 铅同位素

由区域部分典型矿床铅同位素的 $\Delta\beta - \Delta\gamma$ 物源判别图解 (图 2) 可知, 多数矿床的铅同位素落在地幔源铅、上地壳与地幔混合的与岩浆作用有关的铅源范围内, 少数投影点落在上地壳源铅的范围内。总体上反映了幔源和壳幔混源的铅同位素演化特点。表现在各个具体的矿床中, 铅同位素的特点略具不同。乌奴克吐山铜钼矿床铅源主要为幔源铅和壳幔混源铅; 甲乌拉银铅锌矿床和查干布勒根银矿床铅源主要以幔源铅、壳幔混源铅为主, 同时混入少部分上地壳源铅; 而额仁陶勒盖银矿床铅主要为与岩浆作用有关的壳幔混源铅, 同时混入部分与沉积作用有关的壳幔混源铅, 可能为地下热水溶液将地层部分铅带入成矿热液造成。上述铅同位素特征表明, 区域矿床的矿石铅主要为幔源铅和与岩浆作用有关的壳幔混源铅, 少部分铅来源于地壳, 这与矿床产出的地质环境相吻合。

(3) 氢氧同位素

由区域部分典型矿床氢氧同位素组成图 (图 3) 可知, 区域矿床成矿流体都不具有典型的岩浆水或大气降水的氢氧同位素组成特点, 而更普遍的是两种不同比例端员水的混合。总体

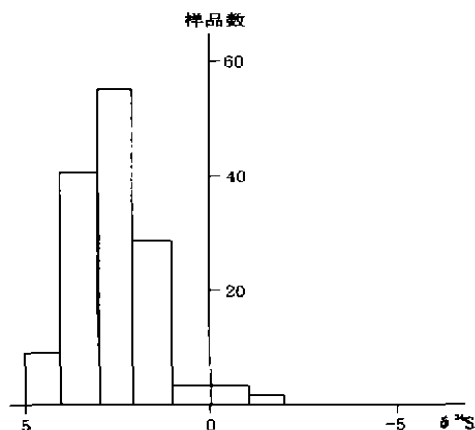


图 1 乌奴克吐山、甲乌拉、查干及额仁陶勒盖矿床 $\delta^{34}\text{S}$ 频率直方图 (部分原始数据据潘龙驹等, 1996)

Fig. 1 Frequency of $\delta^{34}\text{S}$ in some deposits in the region

上, 天水混入比例与成矿时代成反比。这一特点可从部分矿床的锶同位素比值亦可得到证明, 如额仁陶勒盖银矿床形成时代较晚, 其菱锰矿的 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)_i 为 0.70962, 反映了壳源流体的贡献较大, 蒙古东南部大型稀土矿床在全区形成时代较早, 其碳酸盐的 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)_i 为 0.70540, 反映了成矿流体以幔源为主, 壳源流体混入较少。

2.2 深源成矿流体的地球化学特征及其演化

由于古成矿流体的运移轨迹多被后来地质作用掩盖或破坏, 恢复重建古流体系统的难度很大, 本文从中生代基性火山岩的微量元素成份特征、区域矿化蚀变带特征、区域矿床物质成份、围岩蚀变及矿物流体包裹体特征出发, 追踪古成矿流体遗迹, 恢复区域深源流体的活动网络, 为区域流体成矿模型的建立提供依据。

中生代基性火山岩和蒙东南大型稀土矿床所指示的早期深源流体挥发份主要为 CO_2 、 H_2O 、 F 及 P , 常量元素为 SiO_2 、 K_2O 、 Na_2O 、 CaO 等, 微量元素为 REE 、 Nb 、 Ta 、 Zr 、 Hf 、 Ti 、 Rb 、 Sr 、 Ba 等。流体的温度高、盐度大, 呈碱性, 它代表了较高温度区域深源流体的成份特征 [1999, 吕志成]。乌奴克吐山斑岩型铜铅矿床成矿流体 [1989, 叶欣, 等; 1999, 王莉娟, 等; 1999, 吕志成] 挥发份以 H_2O 、 CO_2 、 Cl 和 S 为主, H_2 、 CH_4 、 N_2 含量较低, 常量元素为 SiO_2 、 K_2O 、 Na_2O 、 Al_2O_3 , 微量元素主要为 Cu 、 Mo 、 Pb 、 Zn 、 Ag 、 Au 、 W 、 Ni 、 Sr 、 Rb 等, 流体呈中性, 盐度、矿化度和密度较大, 温度较高。形成乌兰铅锌银矿床的深源流体挥发份以 H_2O 、 CO_2 、 Cl 、 S 及 F 为主, 常量元素以 SiO_2 、 K_2O 、 Na_2O 、 CaO 、 FeO 为主, 微量元素 Pb 、 Zn 、 Ag 、 Cu 、 Au 、 Ti 、 Co 等含量较高, 流体以高盐度高矿化度为特征, 与前述深源流体相比较, 它明显地经过富水及 Cl 的下地壳流体的严重混染。形成俄、蒙大型 U 矿床的深源流体挥发成份主要为 CO_2 、 H_2O 、 F 、 Cl 、 S 、 P 、 As 、 Sb 、 Bi 等, 常量元素为 SiO_2 、 Na_2O 、 K_2O 、 CaO 和 FeO , 微量元素为 U 、 Th 、 Mo 、 REE 、 Cu 、 Pb 、 Zn 、 Ag 、 Au 、 Ti 、 Zr 、 Nb 、 Ta 等, 流体呈碱性或弱酸性 [1999, 吕志成]。由于较多地混入了 Cl 和 S 等矿化剂元素, 因而亲硫元素在流体中亦较为富

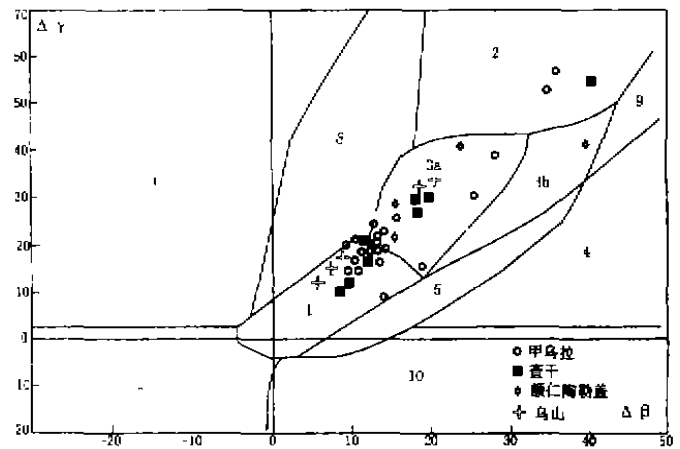


图 2 区域部分典型矿床矿石铅的 $\Delta\beta - \Delta\gamma$ 成因分类图解 [1998, 朱炳泉] (部分原始数据据潘龙驹等, 1996)

Fig. 2 Lead composition of ore in some deposits in the region

- 1—地幔源铅; 2—上地壳源铅; 3—上地壳与地幔混合的俯冲带铅 (3a—岩浆作用 3b—沉积作用); 4—化学沉积型铅; 5—海底热水作用铅; 6—中深变质作用铅; 7—深变质下地壳铅; 8—造山带铅; 9—古老页岩上地壳铅 10—退变质

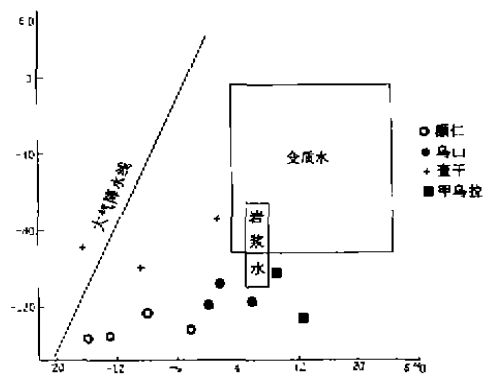


图 3 氢氧同位素成分图

(部分原始数据据潘龙驹等, 1996)

Fig. 3 Hydrogen and oxygen composition in the deposits

集。查干布勒根银矿床[1990, 1992, 1996, 潘龙驹, 等]和额仁陶勒盖银矿床成矿流体[1999, 吕志成; 1999, 王莉娟, 等; 1993, 李鹤年, 等]挥发份主要以 H_2O 、 CO_2 和 Cl 为主, 同时含有少量 S 、 CO 、 CH_4 、 N_2 及 H_2S , 常量元素主要为 SiO_2 、 K_2O 、 CaO 、 MnO 、 FeO 、 Al_2O_3 等, 微量元素为 Ag 、 Pb 、 Zn 、 Cu 、 Ti 、 Rb 、 Sr 、 Ba 等, 流体近中性或弱碱性, 盐度、矿化度和密度较低。

典型矿床流体包裹体成份特征反映了早期深源流体的成分以富含轻稀土等不相容元素为特征, 包裹体阴离子成分主要以 F 、 CO_2 为主。中期成矿流体阴离子成分主要以 F 、 Cl 、 CO_2 、 H_2O 为主, 流体中富含亲硫元素和部分强不相容元素。晚期成矿流体主要以 Cl 、 H_2O 为主, 阳离子成分主要为 Ag 、 Cu 、 Pb 、 Zn 等亲硫元素。从早期到晚期, 包裹体的盐度(图 4b)、密度、矿化度及均一温度(图 4a)有规律地降低。同时也说明深源流体的成份受温度和挥发份成分的影响, 处于不断演化的状态。

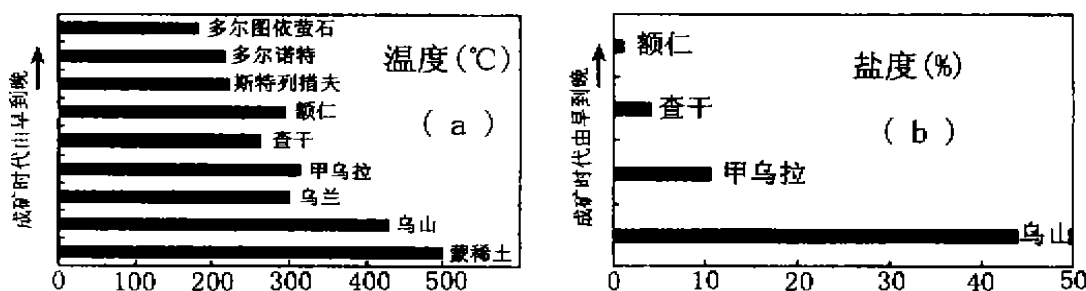


图 4 区域部分典型矿床石英包裹体均一化温度中值、盐度自早到晚变化图

(部分原始数据据潘龙驹等, 1996)

Fig. 4 Decrease of mid-values of homogenization temperatures and salinities of quartz inclusions from early to late in the region

3 区域中生代构造—流体—成岩成矿地球化学模型

区域深源流体成矿模型是深源流体成矿作用研究的高度概括和总结。近年来, 随着流体研究工作的逐渐深入, 许多包裹体专家已建立了一些典型矿床的流体成矿模型, 然而在区域流体成矿作用的研究中尚显不足。区域矿床地质地球化学特征及中生代岩石系列研究表明, 成岩和成矿是中生代构造演化及深源流体耦合作用的产物, 它们共同构成一个复杂的成岩成矿作用系统。因此, 本文以区域中生代构造演化及深源流体的脉动式活动为主线, 建立了以下的区域构造—流体—成岩成矿模型(表 1)。

前中生代, 本区经历了前寒武纪和古生代多重构造叠加的复杂演化历史, 上述两大构造体系形成了全区众多切割深度较深的东西向(如俄罗斯斯特列措夫铀矿田基底近东西向的阿尔贡断裂带)及北东向超壳断裂系统(如得尔布干断裂、额尔古纳河断裂等), 奠定了区域构造格架, 为幔源物质和流体的上升提供了通道。

中生代, 本区进入蒙古—鄂霍茨克残余洋构造域演化阶段, 由于蒙古鄂霍茨克残余洋“剪刀式”闭合, 布列亚—佳木斯地体逆时针旋转, 本区处于旋转体后方的拉伸环境, 因而其构造环境早期主要以拉张为主, 同时伴随较小规模的剪切作用, 形成了北西向张扭性裂隙系统。在上述构造背景下, 由于多宝山—牙克石—伊尔施洋壳向下地幔的不断俯冲, 扰动了平衡的地幔物质, 诱发下地幔及 D”液态层的脱气作用和俯冲板块的脱水作用, 形成了大规模深源流体的活动。

表 1 区域构造流体成岩成矿模型

Table 1 A model for tectonic-fluid-petrogenetic and metallogenetic system of the region

构造演化	时代	深源流体的脉动式活动	岩石组合	矿床类型	流体类型	成矿流体温度
张性	J ₁	与上深源岩石交代、熔融,直至耗尽上深源易熔组分。 深源流体沿先期火山通道及构造裂隙上升	早期基性火山岩组合,晚期基性、亚碱性火山岩组合(部分为碱性岩)	蒙古东南部大型稀土矿床	CO ₂ 、F 为主	650℃ (稀土矿化)
压扭性	J ₁ K ₁	深源流体上升至下地壳并诱发地壳物质部分熔融 深源流体对下地壳角闪岩相岩石产生弥漫性交代 深源流体与下地壳岩石相互作用后形成的壳-幔混合流体沿火山通道脉动式上侵并弥漫性交代火山颈相岩石 壳-幔混合流体经上地壳流体轻度混染后沿火山机构、构造裂隙脉动式充填、交代 壳-幔混合流体经上地壳流体明显混染后沿火山机构、构造裂隙脉动式充填、交代	中酸性火山岩、次火山岩及同熔型花岗岩韧性剪切带 火山角砾岩 矿化斑岩体	下吉宝沟金矿床 小伊诺盖沟金矿床 乌兰铅锌银矿床 乌奴克吐山斑岩铜钼矿床 甲乌拉、三河等铅锌银矿床 查干布勒根、额仁陶勒盖银矿床	CO ₂ 、F 为主 CO ₂ 、F 为主 H ₂ O、CO ₂ 、Cl、S、F 为主 H ₂ O、CO ₂ 、Cl、S、F 为主 H ₂ O、CO ₂ 、S 为主 H ₂ O、CO ₂ 、Cl 为主	400—500℃ 400—500℃ 300—400℃ 300℃
张性	K ₁	深源流体再次活动	碱性火山岩	俄罗斯及蒙古大型铀矿床 萤石矿床	CO ₂ 、F 为主	180—220℃ 105—250℃

上述深源流体以富含挥发份为主,并溶有常量元素(Si、K、Na)、不相容元素(REE、U、Th、Nb、Ta等)和亲硫元素(Cu、Pb、Zn、Ag、Au等),它是一种具有特殊的热力学和物理化学性能的超临界流体。

随着深源流体的上升,它所具有的极高的热容对上幔源岩石产生弥漫性交代,诱发上地幔物质熔融,形成基性岩浆,岩浆沿构造裂隙上升,从而形成富含不相容元素、自然金属物质和硫化物的基性火山岩(J₂t),当深源流体耗尽上地幔的易溶组份后将形成以深源流体和岩浆组成的混合岩浆体系,该类岩浆由于混入深源流体中较多碱质和不相容元素,当其喷出后,形成碱性岩浆活动,如粗面岩、粗安岩等,它们以富含碱质和不相容元素为特征。形成碱性岩浆活动后,流体已不能再度熔融上地幔的残余难熔组份,这种超临界流体沿先期火山通道等温减压迅速上升,在火山机构中沉淀,形成大型REE矿床,由于全区构造环境为张性环境,对流体的上升极为有利,因此,形成该类矿床中的流体较少受到壳源物质的混染,较多地保存了深源流体的原始属性(如蒙古东南部大型稀土矿床)。由于该类流体中矿化剂元素以CO₂和F为主,S和Cl含量较少,不利于亲硫成矿元素形成S和Cl的络合物迁移上升和沉淀,因而不利于有色金属和贵金属矿床的形成。形成稀土矿床成矿流体的挥发份主要以CO₂和F为主。

晚侏罗至早白垩世,蒙古—鄂霍茨克残余洋的“剪刀式”闭合进入第二阶段,布列亚—佳木斯地块由右旋拉张而转为挤压拼贴,此时全区构造环境由拉张变为挤压走滑。这种挤压构造环境对深源流体的进一步上升形成了明显的屏蔽效应,不利于深源流体等温减压沿张性裂隙迅速上升至地壳。此时,不能熔融上地幔残余耐熔组份的深源流体上升进入下地壳,诱发下地壳物质部分熔融和交代,形成中酸性岩浆,岩浆以不同的形式侵位于上地壳或喷出地表,形成全

区中生代中酸性火山—侵入岩浆活动,后期上涌的深源流体由于受上地壳的屏蔽效应不能迅速进入上地壳而滞留于下地壳,此时深源流体不同程度地混入下地壳以 H_2O 、 CO_2 、Cl和S为主的壳源流体,它们共同形成成份以 H_2O 、 CO_2 、Cl、S等挥发份为主,同时携带大量成矿元素和碱质的混合流体。混合流体沿古火山管道上升,其所携带的热容和所具有的爆炸力震碎火山颈相岩石为其开辟上升通道,并对火山颈相岩石产生弥漫性交代,形成火山颈相角砾岩和交代岩,前者形成了乌兰铅锌银矿床,后者形成了乌奴克吐山斑岩型铜铅矿床。此时,成矿流体的成份主要以 H_2O 、 CO_2 、Cl和S为主,以高温、高矿化度和高盐度为特征。

滞留于下地壳的混合流体沿构造裂隙进入上地壳,经上地壳流体轻度混染,沿火山机构和构造充填交代,形成甲乌拉和三河等铅锌银矿床。该类流体的主要特征是温度低,同时混入少量上地壳源流体。

经上地壳明显混染的混合流体沿构造裂隙再次充填交代,形成浅成低温热液型银矿床和金矿床,如额仁陶勒盖银矿床、查干布勒根银矿床和巴列依金矿床等。该类流体的成份以 H_2O 和Cl为主,成矿温度较低。

白垩世,全区构造环境由挤压变为拉张,深源流体继续活动,形成碱性玄武岩、U矿床和萤石矿床。

4 结 论

北方造山带东北段满洲里—额尔古纳地区及其毗邻区中生代构造—岩浆活动及典型矿床地质地球化学特征研究结果表明,本区中生代构造—流体—成岩成矿系统及其演化可划分为三个不同阶段,它们分别为早中侏罗世张性“似裂谷环境”下所形成的中基性碱性火山岩、同熔性花岗岩及深源流体活动形成的稀土矿床和斑岩性铜铅矿床;晚侏罗世挤压—剪切环境下所形成的酸性火山岩、斑岩类及深源流体活动所形成的铅锌银矿床;早白垩世张性环境下所形成的基性碱性火山岩及深源流体活动所形成的铀矿床、金银矿床、萤石矿床。在此基础上,建立了区域中生代构造—流体—成岩成矿地球化学—体化系统模型。

参考文献:

- 1989 叶欣,王莉娟. 乌奴克吐山斑岩型铜—铅矿床流体包裹体与成矿作用研究[J]. 地质与勘探, 25(6):14—21.
- 1990 秦克章,王之田,潘龙驹. 满洲里—新巴尔虎右旗铜、铅、锌带成矿条件与斑岩体含矿性评价标志[J]. 地质论评, 36(6):479—488.
- 1990 潘龙驹,孙恩守. 内蒙古查干布勒根银铅锌矿床地质特征[J]. 矿产与勘察, (5): 15—23.
- 1991 内蒙古自治区地研队. 内蒙古与苏蒙边境两侧主要金属成矿带对比及成矿条件研究[R].
- 1992 潘龙驹,孙恩守. 内蒙古查甲乌拉银铅锌矿床地质特征[J]. 矿床地质, 11(1): 45—53.
- 1992 吕志成. 内蒙古自治区新巴尔虎右旗额仁陶勒盖银矿床地质地球化学特征及矿床成因模式[D]. 长春: 长春地质学院.
- 1993 王之田,潘龙驹,李伟实,等. 内蒙古满洲里—新巴尔虎成矿集中区成矿演化、成矿模式与勘查模式[J]. 矿床地质, 12(3)212—220.
- 1993 李鹤年,段国正,郝立波,等. 中国大兴安岭银矿床[M]. 长春:吉林科学技术出版社, 162—179.
- 1993 秦克章,王之田. 内蒙古乌奴克吐山铜—铅矿床稀土元素的行为及意义[J]. 地质学报, 67(4):323—334.
- 1996 潘龙驹,付金德,孙恩守. 满洲里—新右旗铜银多金属矿带大型矿床地质特征[M]. 北京:中国有色金属地质资料馆, 36—115.

- 1996 阎鸿铨,等. 大兴安岭西坡地区超大型矿床远景区及远景类型探索[R].
- 1997 罗毅,等. 额尔古纳超大型火山热液型铀成矿带地质特征及找矿前景[J]. 华东地质学院学报, (1): 1—10.
- 1998 吴良上. 蒙古东南部中生代碱性岩浆活动与成矿[J]. 地质地球化学, 26(2): 97—102.
- 1998 秦克章,田中史亮,李伟实,石原舜三. 满洲里地区印支期花岗岩 Rb-Sr 等时线年代学证据[J]. 岩石矿物学杂志, 17(3): 235—240.
- 1998 向为东,胡绍康,阎鸿铨,连长云. 大兴安岭西坡中生代火山岩浆作用的成矿意义[J]. 矿床地质, 17(增刊): 67—70.
- 1998 朱炳泉. 地球科学中同位素体系理论与应用: 兼论中国大陆壳幔演化[D]. 北京: 科学出版社, 226.
- 1999 王莉娟,等. 满洲里—新巴尔虎右旗斑岩系列矿床石英流体包裹体液相组分的 PIXE 分析和地质应用[J]. 地球化学, 28(2): 145—154.
- 1999 Bernard Barbarin. A review of the relationship between granitoid type, their origins and their geodynamic environments[J]. Lithos, 46: 605—626.
- 1999 吕志成. 内蒙古满洲里—额尔古纳地区构造—岩浆活动及成矿作用地球化学研究[D]. 长春: 长春科技大学.
- 2000 吕志成,郝立波,段国正,等. 内蒙古满洲里—额尔古纳地区中生代火山岩地球化学研究[J]. 矿物学报, 20(4): 406—414.
- 2001 吕志成,段国正,郝立波,等. 内蒙古满洲里—额尔古纳地区岩浆作用及其大地构造意义[J]. 矿物岩石, 21(1): 77—85.

THE INTERACTION SYSTEM BETWEEN MESOZOIC TECTONICS, FLUIDS, PETROGENESIS AND MINERALIZATION IN THE NORTHEAST OF THE NORTHERN OROGENIC BELT, CHINA

LU Zhi-cheng^{1,2}, DUAN Guo-zheng², HAO Li-bo²,
LI Dian-chao², DONG Guang-hua²

(1. Open Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Science, Guiyang 550002, China; 2. Jilin University, Jilin, Changchun 130026; China)

Abstract: There is a close relation between Mesozoic tectonic evolution, fluid evolution, petrogenesis and mineralization in the Manzhouli—E'erguna region in the northeast of the Northern Orogenic Belt, China, and three evolution stages of the Mesozoic tectonic—fluid—petrogenetic and metallogenetic system are proposed out: 1) Accompanied by REE and Cu mineralization, the calc-alkaline volcanic rocks and mantle—crust mixed type granite occurred under the regional tension tectonic background caused by the Mongolia—Okhotsk residual ocean that was closing in scissors form in the Early—Middle Jurassic. 2) Accompanied by Pb, Zn and Ag mineralization, the calc-alkaline and alkaline volcanic rocks occurred under the regional shear—compression tectonic background in the Late Jurassic. 3) Accompanied by U, F, Pb, Zn and Ag mineralization, the calc-alkaline and alkaline volcanic rocks occurred under the regional tension tectonic background in the Early Cretaceous. The Mesozoic magmatism and polymetallic mineralization was caused by interaction between deep—derived fluids and Mesozoic multistage tectonic activities.

Key words: Mesozoic, tectonic—fluid—petrogenetic and metallogenetic system, northeast of the Northern Orogenic Belt, China, model for tectonic—fluid—petrogenetic and metallogenetic system