

燕辽带火山岩型铀钼多金属成矿时代及地质意义

韩军

中核集团铀资源勘查与评价技术重点实验室, 核工业北京地质研究院, 北京, 100029

研究区为北东向燕辽中生代构造-岩浆火山带, 也是河北省沽源—内蒙古红山子—辽宁兴城铀钼等多金属成矿带, 大地构造背景为西部是华北陆块北缘与内蒙古海西褶皱带交汇部位, 是大兴安岭火山活动带的南缘, 东部为燕辽古陆核增生及中生代以来形成的构造火山岩带, 已经发现一批铅锌、铀、钼、金、银为主的大中型矿床, 从西向东分布的典型矿床为河北省沽源县蔡家营铅锌矿、张麻井铀钼矿、河北省丰宁县撒袋沟门钼矿、牛圈银金矿、内蒙古红山子铀钼矿、赤峰撰山子、夸林沟金矿、小营子铅锌矿、小东沟钼矿, 该带东段为河北建昌、辽宁兴城铀钼多金属矿集区, 分布有青龙铀矿床、兴城兰家沟、杨家杖子等钼矿床, 以及一大批矿点、异常点。该构造-岩浆带成矿地质条件大体相似, 以金银为代表的贵金属, 以新太古界背景值较高的红旗营子群、乌拉山群、建平群变质岩为矿源层, 部分以晚古生界为物源层, 在印支期和燕山早中期构造-岩浆活动基础上成矿; 铀钼等活动金属是在前寒武纪基底相对贫化基础上, 主要是在燕山期多期次火山岩浆活动形成矿源体和矿床。

1 典型矿床成矿成岩年龄

1.1 冀北及辽西地区

大地构造背景为华北陆块北缘东段与大兴安岭火山岩带南段交汇部位, 多金属成矿作用与中生代构造岩浆活动和区域性地球化学分带密切相关。

(1) 蔡家营铅锌银矿

位于河北省张北县, 区域岩浆活动以中生代酸性火山岩、侵入岩为主, 成矿年龄主要为中生代(另一种观点认为是古元古代形成层控矿体, 经中生代叠加改造成矿。胡小蝶等, 2005), 以控矿的浅成石英斑岩年龄限定其成矿年龄大致晚于 119 Ma(罗

毅, 1997)。其成矿作用大致经历两期, 早期为晚太古代地层受区域变质作用影响, 形成面状绿泥石化蚀变引起局部成矿元素预富集, 形成矿源层, 晚侏罗世—白垩世中生代火山岩浆及热液活动后, 在构造薄弱部位形成多金属矿, 近年来在矿区周围发现隐爆角砾岩筒, 并有富矿脉, 在深部老变质岩中发现层状矿体, 表明前寒武纪海底喷流形成层状矿体, 但大规模成矿为白垩纪以来火山活动所致。

(2) 张麻井铀钼矿床

位于沽源县南部, 晚侏罗世张家口组三段酸性火山岩和侵入其中的潜火山岩一流纹斑岩为主要含矿层, 含矿的火山岩地层锆石铀铅年龄为 120~130 Ma(李耀松, 1990), 成矿部位为隐爆角砾岩筒及火山构造发育地段, 铀钼矿化受晚侏罗世—早白垩世火山活动控制, 火山活动主要受区域性 NE 向构造和后期控制潜火山岩的 NW 向构造控制, 火山岩浆火山晚期及期后热液活动形成脉状、浸染状铀钼矿化。沥青铀矿年龄分别为 88.9 ± 12.8 Ma、 23.8 ± 2.2 Ma(夏毓亮, 1998), 前者为主成矿期, 为红色脉状矿石和黑色浸染状矿石, 上部为沥青铀矿—胶硫钼矿—胶状黄铁矿型; 下部为沥青铀矿—辉钼矿—胶硫钼矿—金属硫化物组合类型; 后者为矿床浅部次生富集成矿作用形成的水铀钼—多水铀钼矿—蓝钼矿—彩钼铅矿组合。赋矿的张家口组流纹岩和流纹斑岩(顶部为隐爆角砾岩相)锆石 U-Pb TIMS 年龄分别为 135 Ma、122.7 Ma。矿体严格限制在硅化、粘土化、绿泥石化、水云母化蚀变带中。铀钼成矿年龄与赋矿的火山岩时差较大, 表明成矿作用是在晚白垩世火山活动期后火山热液作用的产物。

矿石中 SiO_2 、 Na_2O 、 K_2O 含量偏低, 有明显带出的特征, SiO_2 形成石英, Na、K 进入成矿热液中,

使含矿热液由弱酸性向弱碱性转化; 矿石中 CaO 和 MgO 含量较高, 具有带入的可能性, CaO、MgO 形成碳酸盐矿物。

(3) 大官场铀矿床

张家口组三段酸性火山岩地层为主要含矿层, 矿化产于区域性 NE 向构造及派生的次级构造形成的网脉状构造交汇部位。矿床呈现三类矿石: 微脉浸染状沥青铀矿 (黑矿), 脉状铀矿石 (红矿), 浅表由水针铁矿、软锰矿、黄钾铁矾和次生铀矿物硅钙铀矿组成的集合体, 成矿年龄分别为 68.7 Ma、31.76±0.32 Ma、22 Ma (均为沥青铀矿年龄), 以第一期为主, 赋矿的钾长流纹岩锆石 U-Pb 年龄为 138 Ma (李耀松, 1990)。

与张麻井铀钼矿不同的是, 现阶段发现的矿体主要赋存在 NE 向、SN 向和 NW 向构造组成的网格状及次级裂隙中, 成矿显然是火山期后热液作用的结果。

(4) 撒袋沟门钼矿

该矿位于丰宁县城北, 赋矿围岩为二长花岗岩、钾质花岗岩复式岩体, 钾质花岗岩发育强烈的钠交代作用, 在蚀变部位矿化及其发育。钼矿为网脉状、细脉状、星散浸染状为主, 为斑岩型矿床。矿化与钾化、硅化、白云母化关系密切。成矿年龄为 237~238 Ma (辉钼矿 Re-Os 法), 赋矿的二长花岗岩 U-Pb 年龄为 227 Ma (代军治, 2008), 钾长花岗岩为印支期形成^①。钼矿化是在晚古生代华北陆块与内蒙古海西褶皱带拼接闭合, 地壳南北缩短加厚的地质背景条件下, 中酸性岩浆侵入活动及期后热液改造作用的产物。

(5) 茶棚银矿

位于丰宁县北部坝上地区, 含矿岩石为燕山晚期白音高老组酸性火山岩 (流纹岩、凝灰岩) 和潜火山岩 (石英斑岩), 该地火山岩具有酸性向中酸性演化的特征。晚古生代下二叠统额里图组安山岩及安山质凝灰岩地层 Ag 含量在区内各地质体中最高, 达 7.9×10^{-6} , 其次为下元古界宝音图群中低程度变质岩系, Ag 为 4.25×10^{-6} , 这两套岩系构成了矿源层。

前人开展了成矿条件和找矿方法研究 (张会恺, 2012), 但成矿年龄还是空白。笔者在茶棚大沟 NNE 向构造蚀变带中的萤石矿剖面采集含 Ag 裂隙脉角砾岩 (原岩为石英斑岩潜火山岩), 挑选方

铅矿进行同位素测量, 获得 Pb-Pb 等时线年龄为 100 Ma (数据略)。地质观察发现银矿化与潜火山岩侵入后褐铁矿化、黄钾钒化、紫黑色萤石化蚀变密切相关, 银主要以细脉状、微脉浸染状赋存在次级裂隙和角砾岩胶结物中。显然银矿化与晚白垩世火山活动期后热液有关。

(6) 辽西地区钼矿

以钼多金属矿为主, 主要有杨家杖子、兰家沟、肖家营子等钼矿, 以及青龙 433 铀矿。钼矿成矿年龄较老, 含矿岩石主要为燕山期花岗岩和沉火山碎屑岩中, 属斑岩型和热液脉型。铀成矿相对较晚, 含矿层为中侏罗统海防沟组火山碎屑岩、沉火山碎屑岩, 成矿作用为热液改造、充填型。

根据前人测年结果 (黄典豪等, 1996; 毛景文等, 2003; 代军治, 2008), 辽西兰家沟钼矿、肖家营子、杨家杖子钼矿 Re-Os 年龄分别为 186 Ma、177 Ma、187~191 Ma; 青龙铀矿成矿年龄为 134 Ma (含矿岩石全岩 U-Pb 等时线年龄, 孙祥等, 2015)。

(7) 其它多金属矿床

河北小寺沟、寿王坟分别为 134 Ma 和 148 Ma, 为燕山中晚期成矿, 根据 Rb-Sr 法确定的含矿岩体一小寺沟为花岗闪长斑岩、寿王坟为花岗闪长岩年龄均小于成矿年龄 (黄豪典等, 1996), 应与这些岩体受到改造作用有关。

冀北地区已发现多处具有中~大型规模的独立或共生 Ag 矿床, 如丰宁牛圈、营房、赤城彭家沟、火石沟等, 包括与河北接壤的内蒙古地区 Ag 矿点具有相似的成矿特征, 如地表广泛发育铁锰矿化、Ag-Pb-Zn-Mo 等多金属组合异常, 水云母化、黄铁矿化、萤石化、黄钾铁矾蚀变矿物发育, 出露太古界或晚古生界变质岩系, 中生界火山岩发育等。银矿化矿石成分有辉银矿、自然银、方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、硬锰矿、萤石、方解石、石英、绢云母; 钼矿化以胶硫钼矿、辉钼矿、胶状黄铁矿、萤石、赤铁矿组合为主; 铀矿化以沥青铀矿、铀石、粉末状黄铁矿、萤石组合为主。

1.2 内蒙古太仆寺旗—红山子地区

(1) 太仆寺旗—多伦地区

位于沽源—红山子成矿亚带中部, 成矿条件与沽源地区相似, 近年来核工业系统和有色系统在铀、银等矿勘查工作取得较大进展, 发现了一批新的矿床 (点), 以多伦核桃坝铀矿、义盛店钼银矿

为代表。其含矿岩石均为晚侏罗世~早白垩世酸性火山岩,矿化受 NE-NW 向构造控制,燕山晚期火山活动还表现为以隐爆作用为先导的岩浆侵入、侵入活动,该期火山活动成为矿化的先导,形成富铀火山岩和有利的成矿空间。

笔者在多伦多核桃坝地区获得了钻孔岩心中挑选的沥青铀矿一致线和三组表观年龄相同的沥青铀矿单矿物年龄,成矿有两期,分别为 113Ma 和 80Ma (数据略),早期为构造破碎带充填的胶结物中黑矿化,晚期为与潜火山岩有关的红矿化。与沽源张麻井铀钼矿具有相同的主成矿期。同时,获得侵入于含矿的满克头鄂博组、白音高老组地层中的花岗斑岩锆石 U-Pb 年龄,有三期,分别为 149~142 Ma、125 Ma、106 Ma (数据略)。这三组年龄限定了火山岩地层形成时间,与铀成矿年龄对比可以发现,早期铀矿化与最晚一期岩浆侵入有关,该期岩浆形成贫矿体,在晚白垩世遭受热液叠加改造形成富铀矿体。多伦多地区铀成矿时代、主要成矿要素与沽源地区极为相近。

位于沽源—红山子成矿带中段的内蒙古太仆寺旗东部的 781 铀矿点,其成矿地质条件与沽源、多伦多地区相同,为晚侏罗世—早白垩世火山岩地层中热液型铀矿化。钻孔资料解揭示出该地铀矿化分两类:早期为钛铀矿,晚期为沥青铀矿(交代钛铀矿,红色矿石)。参考沥青铀矿测年结果,红色矿石中沥青铀矿 U-Pb 等时线年龄为 60.6 ± 26.0 Ma、 67 ± 27.0 Ma,成矿时代基本上属晚白垩世末—古新世,整个矿点略偏铀,铀钼平衡系数加权平均值 $K_p=0.92^{[9]}$ 。地质观察发现赋矿岩石以晚侏罗世—早白垩世硅化、赤铁矿化蚀变的潜火山岩(正长斑岩、霏细斑岩为主),矿岩差较大,与沽源、多伦多地区均为热液型铀矿化。钻孔剖面上广泛发育褐铁矿化、硅化蚀变,铀矿化基本都是在氧化带中。

(2) 红山子地区

该区以红山子铀钼矿和小东沟钼矿为代表,晚侏罗世满克头鄂博组碱性火山岩为主要含矿岩石,火山岩组不同岩性之间及与组间接触带,粗面岩地层为主要含矿部位。

红山子铀矿产于粗面岩与凝灰岩接触带的红化铀矿石全岩 U-Pb 等时线年龄为 156 ± 5 Ma,铀钼矿石中沥青铀矿 U-Pb 等时线年龄分别为 118 Ma、132 Ma (李耀松,1987)。全岩年龄误差稍大,

准确性稍差。比较后两期成矿年龄及赋矿的上侏罗统粗面岩地层年龄(约 140 Ma),为火山活动晚期岩浆热源及期后热液蚀变作用形成。

小东沟钼矿位于红山子铀矿西,以块状、脉状辉钼矿为主,其 Re-Os 年龄为 135 Ma (陈东欢,2011),131.9 Ma,同时具有 Pb、Zn 矿化和铀异常。含矿岩石与红山子铀矿床相同,均为燕山期火山岩碱性地层。与红山子铀矿对比研究,初步认为形成于晚侏罗世—早白垩世火山活动由酸性向碱性转换期。

2 铀钼多金属成矿年龄特征与成矿条件研究

2.1 铀钼等多金属矿年龄特征

前述众多的铀多金属矿床(点)铀、钼成矿年龄具有东老西新的成矿时代特点。沽源、多伦多地区以铀、银矿为代表的成矿年龄有三个时段,分别为 120~100 Ma、60~80 Ma、20~30 Ma。其中 20~30 Ma 为新生代以来地表风化淋滤形成的次生矿化,主成矿期以 60~80 Ma 为主,该期铀成矿为晚白垩世拉张条件下,减薄的地壳发育高位岩浆房(或过渡岩浆房),由岩浆侵位、喷发作用及随后的热液交代、蚀变叠加作用,往往形成富铀矿体,而 120~100 Ma 对铀矿来说为早白垩世火山活动期末或期后热液卸载成矿,形成贫矿体时期,对银成矿来说,在构造拉张时期,从减薄地壳中的基底地层—晚古生界及前寒武纪富银地层中获得成矿元素,在局部形成热液脉型银矿或银金矿。

内蒙古红山子地区铀、钼矿成矿年龄主要为 130~140 Ma,明显早于沽源—多伦多地区,且受构造抬升作用影响,赋矿围岩为大面积分布的晚侏罗世满克头鄂博组地层及侵入岩,矿岩时差较小。

构造岩浆带向东进入冀北—辽西的青龙、兴城地区,铀矿年龄基本与红山子地区相当,为 134 Ma,铀矿床含矿层也老于红山子地区,为中侏罗统地层,但是钼矿年龄明显与燕山早期中酸性侵入岩有关,多为热液交代型,部分为斑岩型钼矿,成矿年龄集中在 170~190 Ma。

2.2 成矿条件研究

这一多金属成矿带发现了较多的铀钼银矿床,除与中生代构造岩浆强烈密切相关外,还与其中存在区域性地球化学异常有着不容忽视的重要联系。

对于铀成矿作用来说,铀源条件是沉矿基础。

沽源-多伦地区前古生代地层为贫铀层,即使由于混合岩化或区域变质作用形成局部铀预富集层(体),中生代断陷作用使少量富铀的铀源层下沉到 1~2 km 以上的深部,难以成为直接矿源,在构造岩浆活动早期对成矿作用不大,只能是在白垩纪我国东部地壳拉张作用导致地壳减薄的背景下,壳源岩浆(或有下地壳成分的混合岩浆)经过多期演化,最终形成以酸性-碱性火山岩、潜火山岩为主的铀源层(体),并在铀源层(体)中构造、蚀变部位成矿。

华北陆块北缘东部的内蒙古红山子、河北青龙-兴城地区,中侏罗统即有铀的预富集层,且该区在侏罗纪构造抬升较强,因此,在与沽源-多伦同样的构造岩浆活动条件下,容易成矿,这也就是沽源-红山子带铀成矿具有东早西晚年代特征的主要原因。该带中部的多伦-丰宁地区银金矿是在中生代火山岩隆起带中,且周围存在前寒武纪或晚古生界富 Ag、Au、Pb、Zn、Fe 地层(如丰宁牛圈银金矿、多伦小河铁矿等)^③,或是在地壳减薄的情况下,基底盖层减薄且构造岩浆活动强烈的地区(如多伦义盛店铀银矿),这些都与白垩纪构造活动转化和成矿作用强烈的地质背景条件相吻合。

在冀北迁西地区蓟县系、下古生界和中生代岩浆岩(以燕山早期花岗岩为代表)的钼含量均较高,分别为 2.53×10^{-6} 、 4.5×10^{-6} 和 5.8×10^{-6} (权恒等, 1990),该矿带出产较多的钼矿床,或铀钼、银钼共生矿床,乃是中生代尤其是燕山期岩浆侵位和带内钼地球化学场特征综合作用的结果。

沽源张麻井铀钼矿既有中高温的辉钼矿、也有中低温的胶硫钼矿,以后者居多,表明与铀活动性相似的钼元素是热液产物,具有铀钼共生的特点;多伦核桃坝、义盛店具有相似铀钼共生特点;内蒙古红山子、河北丰宁、兴城地区钼矿是与中酸性侵入岩有关的交代型或斑岩型钼矿,成矿作用与中酸性侵入岩密切相关,该期岩浆活动主要发生在燕山早期,矿岩差小,这就不难解释为什么钼矿年龄这种东西差异性。

总之,华北陆块北缘中生代构造-岩浆活动带中的沽源-丰宁-红山子-兴城铀多金属成矿带具有东早西晚的成矿特征,铀成矿与铀源、构造-岩浆演化和热液活动密切相关;银矿成矿主要受前中生代矿源层和燕山中晚期火山热液活动密切相关;

钼成矿受控于成矿类型,斑岩型或接触交代型主要受中酸性岩浆活动控制。上述矿床均为小岩体、岩枝、脉岩控矿,该类岩体(层)是找矿的主要目标层位(地质体)。

注 释 / Notes

- ① 华北地勘局 514 大队. 1985. 河北省丰宁县撒袋沟门银矿普查报告.
- ② 核工业北京地质研究院. 2009. 燕辽成矿带铀成矿远景评价.
- ③ 中国地质科学院地质力学所. 2007. 内蒙古多伦-赤峰地区成矿规律与找矿方向研究成果报告.

参 考 文 献 / References

- 陈东欢. 2011. 沽源-红山子铀多金属成矿带多元同位素示踪. 中国核科学技术进展报(铀矿地质分类), 2: 611~617.
- 代军治. 2008. 燕辽成矿带钼(铜)矿床成矿作用及成矿动力学背景. 导师: 张作衡. 中国地质科学院博士论文, 1~100.
- 胡小蝶, 沈保丰, 毛德宝, 钟长汀. 2005. 冀北蔡家营铅锌矿床成因探讨. 地质调查与研究, 28(4): 221~227.
- 黄典豪, 杜安道, 吴澄宇, 刘兰笙, 孙亚莉, 邹晓秋. 1996. 华北地台北(铜)矿床成矿年代学研究—辉钼矿铼钼年龄及其地质意义. 矿床地质, 15(4): 365~372.
- 李耀蕊. 1990. 沽源火山岩盆地的 U-Pb 同位素体系演化与铀成矿作用. 地球化学(4): 286~295.
- 罗毅, 周德安, 夏毓亮, 等. 1997. 燕辽地区火山热液型铀金多金属矿床成矿特征及分布规律. 北京: 原子能出版社, 85~114.
- 毛景文, 张作衡, 余金杰, 王义天, 牛宝贵. 2003. 华北中生代大规模成矿的地球动力学背景: 从金属矿床年龄精测得到启示. 中国科学(D 辑), 33(4): 289~300.
- 权恒, 韩庆云, 艾永富, 等. 1992. 燕北地区多金属、金、银成矿与远景. 北京: 地质出版社, 1~123.
- 孙祥, 罗毅, 李国臣, 等. 2015. 河北青龙钼矿床成矿地质特征与成矿模式研究. 矿床地质, 待刊(已录用).
- 夏毓亮, 林锦荣, 朱杰辰, 等. 1998. 沽源—多伦盆地火山岩类和花岗岩类同位素地质年代学及铀成矿条件研究. 铀矿地质, 14(5): 274~281.
- 张会恺, 张翔君. 2012. 冀北丰宁县茶棚银矿床成矿模式. 云南地质, 31(3): 412~415.