

DOI:10.19948/j.12-1471/P.2023.01.02

华北地区锡矿成矿规律及找矿方向

田杰鹏^{1,2,3,4},李俊建^{4*},张彤⁵,付超⁴,党智财⁴,何江涛^{4,7},张鹏鹏^{4,6}

(1. 建筑结构加固改造与地下空间工程教育部重点实验室, 济南 250101; 2. 山东建筑大学土木工程学院, 济南 250101; 3. 自然资源部金矿成矿过程与资源利用重点实验室, 山东省金属矿产成矿地质过程与资源利用重点实验室, 济南 250013; 4. 中国地质调查局天津地质调查中心, 天津 300170; 5. 内蒙古自治区地质调查院, 呼和浩特 010020; 6. 中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所, 河北 廊坊 065000; 7. 河北地质大学, 石家庄 050031)

摘要:我国华北地区锡矿资源较为丰富,尤其是大兴安岭中南段,是我国三大主要锡成矿区之一,也是我国北方目前发现的唯一一个成型的锡多金属矿带。华北地区锡矿床类型主要分为热液型、斑岩型和接触交代型三类,多数为共生和伴生矿床,独立锡矿床较少。区内锡矿床成矿期主要集中于晚侏罗-早白垩世。本文分析了华北地区锡矿的主要控矿因素,初步建立了接触交代型、斑岩型和热液型锡矿床的成矿模式,探讨了锡矿的时空分布规律,提出锡林浩特-克什克腾旗、二连-东乌旗及商都-太仆寺旗地区为华北地区寻找锡矿的重点地区。

关键词:接触交代型;热液型;斑岩型;成矿模式;找矿方向;锡矿;华北地区

中图分类号: P618.44

文献标识码: A

文章编号: 2097-0188(2023)01-0020-07

锡矿是我国的优势矿种之一,具有资源丰富、分布广泛、矿床类型多以及多期成矿等特点,已探明储量和保有储量均居世界首位^[1-2]。我国锡矿产地以华南为主,华北为次;在工业利用上,以多金属共生为主,单一矿种锡矿产地较少^[3]。我国锡矿产地分布于19个省(区),主要分布于广西、云南两省。湖南、广东、内蒙古、江西等地也有较多锡矿床存在,这6个省的锡矿储量共占全国的97.7%^[4-5]。类型上,以原生锡矿为主,其次为砂锡矿,总体来说锡矿含有共生伴生组分较多^[3,5]。锡矿的形成时代自中元古代到新近纪均有,其中以侏罗纪-白垩纪为主^[5]。

空间上,华北地区的锡矿主要产于内蒙古自治区的大兴安岭中南段和华北克拉通北缘,现已查明资源量居全国第四位(图1)^[6]。进入本世纪以来,维拉斯托锡多金属矿床、道伦达坝铜钨锡银矿床等多个大型-超大型锡(铜)多金属矿床的发现^[7-18],显示出了该地区具有巨大的锡(铜)多金属找矿潜力,使大

兴安岭中南段锡(铜)矿床逐渐成为研究者探讨的焦点,随着研究的逐步深入,对该区锡(铜)多金属矿床的成矿作用以及时空分布规律有了更加深刻的认识^[7-20]。时间上,锡矿床的形成主要在二叠世至早白垩世,主要集中于晚侏罗-早白垩世^[17,21-25]。

1 华北锡矿类型

华北地区锡矿床的形成主要与中酸性花岗岩(花岗闪长岩)有关,根据矿体在岩体的赋存位置、矿石矿物组合特征及成因类型,划分为接触交代型、斑岩型和热液型三种类型^①。接触交代型锡矿是花岗岩期后热液与碳酸盐岩、碎屑岩交代作用的产物,矿体呈脉状、透镜状产于矽卡岩或者云英岩中;斑岩型锡矿床在华北地区分布相对较少,该类型的矿床含矿岩体以花岗斑岩为主,矿体形态多呈脉状、透镜状;热液型锡矿形成于岩浆期后热液阶段,锡石与硫化物紧密共生,矿物赋存于花岗岩与碳酸盐岩、硅质

收稿日期: 2021-12-30

资助项目:中国地质调查局项目“华北地区区域成矿规律研究与总结(DD20190379-31)”、“华北地区矿产资源潜力评价(1212011121029)”、“华北地台成矿规律研究和找矿方向综合研究(200110200038)”、“国家重点研发计划深地资源勘查开采重点专项“胶东矿集区三维结构与定位预测课题(2016YFC0600107)”、“胶东招平带北段金矿深部预测与勘查示范专题2018YFC0603805-1)”

作者简介:田杰鹏(1992-),男,博士,副研究员,毕业于中国地质大学(北京),专业方向为矿物学、岩石学、矿床学,现主要从事区域成矿学研究及教学工作;E-mail: tjp0208@126.com; *通信作者:李俊建(1962-),男,研究员,博士生导师,主要从事区域成矿研究和矿产勘查工作;E-mail: tjljunjian@163.com。

^①李俊建. 华北地区重要矿种区域成矿规律研究成果报告[R]. 天津地质调查中心, 2013.

<http://hbdz.org.cn>

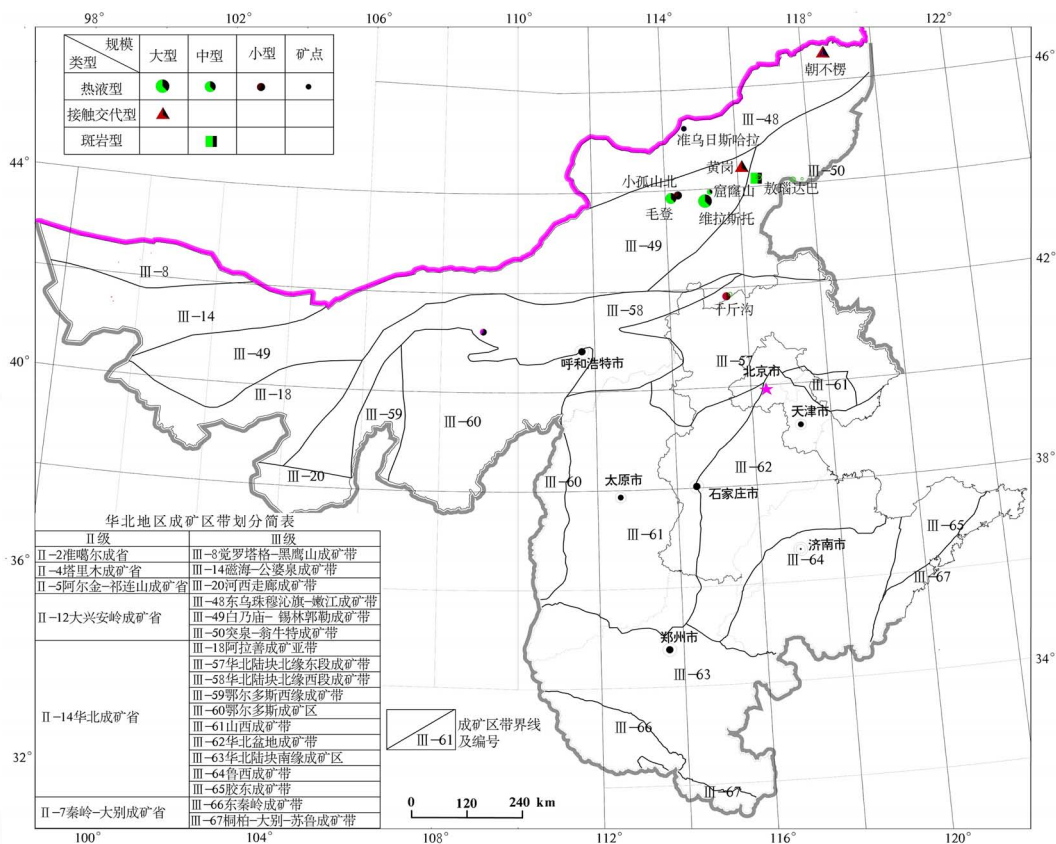


图1 华北地区锡矿分布及成矿规律图^①

Fig.1 Distribution of tin deposits and metallogenic regularities in North China^①

岩、细碎屑岩的接触带附近,矿体主要呈现似层状透镜状。矿化以致密块状、密集浸染状为主,围岩蚀变强烈,该类型矿床是华北地区乃至我国最重要的锡矿类型。接触交代型锡矿成矿规模较大,矿床集中;其次为热液型锡矿,分布较为广泛;斑岩型锡矿多为中小型矿床、矿点,成矿规模小(表1)。各种成因类型的锡矿床多为复合矿床,很少形成单元元素矿床。接触交代型锡矿床以黄岗锡铁矿、朝不楞铁锌多金属矿为代

表;热液型以维拉斯托、毛登铜锡多金属矿为代表;斑岩型锡矿以敖瑙达巴锡铜多金属矿为代表。

1.1 接触交代型锡矿

该类型矿床是华北地区大型锡矿床最重要的一种成因类型,主要以伴生矿为主。这类锡矿床成矿时代为燕山期,主要有黄岗锡铁矿、朝不楞铁锌多金属矿等^①。

内蒙古黄岗大型接触交代型锡铁矿床位于大兴

表1 华北地区锡矿类型一览表

Table 1 Deposit types of Tin resources in North China

序号	矿产名称	主矿种	成矿类型	矿床规模	成矿时代
1	内蒙维拉斯托	铜铅锌锡	热液型	大型	辉钼矿 Re-Os 年龄 125.7±3.8 Ma ^[26]
2	内蒙道伦达坝	铜钨锡	热液型	中型	锡石 U-Pb 谐和年龄为 (136.8±7.4) Ma ~ (134.7±6.6) Ma ^[17]
3	内蒙毛登	铜锡	热液型	中型	上(晚)侏罗统(世)
4	内蒙小孤山北	锡锌	热液型	小型	下(早)侏罗统(世)
5	内蒙准乌斯哈拉	锡多金属	热液型	矿点	下(早)二叠统(世)
6	内蒙千斤沟	锡钨	热液型	小型	中侏罗统(世)-白垩系
7	内蒙窟窿山	铜锡	热液型	矿点	中侏罗统(世)-白垩系
8	内蒙七一山	钨钼锡	热液型	中型	燕山早期
9	内蒙道伦达坝	铜钨锡	热液型	大型	LA-ICP-MS 锡石 U-Pb 年龄为 (136.8±7.4) ~ (134.7±6.6) Ma ^[17]
10	内蒙黄岗	锡铁	接触交代型	大型	辉钼矿 Re-Os 年龄 135.31±0.85 Ma ^[27]
11	内蒙朝不楞	铁锡	接触交代型	大型	SIMS 铅石 U-Pb 年龄为 135.1±3.6 Ma, 辉钼矿 Re-Os 年龄为 135.3±2.9 Ma、135.5±3.4 Ma ^①
12	内蒙敖瑙达巴	锡铜银	斑岩型	中型	燕山期

安岭中南段黄岗梁-乌兰浩特锡铅锌铜多金属成矿带,是我国长江以北最大的锡铁共生矿床^[27]。矿区主要出露下二叠统青风山组板岩,大石寨组细碧-角斑岩、安山岩、凝灰岩等及黄岗梁组大理岩、砂页岩。区域断裂构造十分发育,与各期褶皱构造紧密伴生,对控岩、控矿具有重要意义,矿体展布受黄岗梁-乌兰浩特断裂带控制。侵入岩主要为燕山期的钾长花岗岩类。主成矿期为燕山晚期,岩体 Rb-Sr 等时线年龄 140.7 Ma, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初始比值为 0.702 8, 矽卡岩中角闪石的 K-Ar 年龄为 140 ~ 122 Ma^[28];周振华等^[25]获得辉钼矿 Re-Os 模式年龄为 134.6±2.0 ~ 136.5±1.9 Ma, 加权平均年龄为 135.31±0.85 Ma;张梅等^[29]获得黄岗梁矿区 2 件辉钼矿样品模式年龄介于 (133.6±1.8) ~ (141.2±4.3) Ma;翟德高^[30]获得花岗岩锆石 LA-ICP-MS 年龄为 139.96±0.87 Ma, 辉钼矿 Re-Os 等时线年龄为 134.9±5.2 Ma。黄岗锡铁矿床分布有大小矿体共 185 个,就单个矿体而言,除几个主要的铁、铁锡、锡矿体矿块外,余者规模不大,形态也不规整,厚度一般在几米至几十米之间,延伸在几十米至几百米之间,个别可达千米以上。矿石主要以矽卡岩矿石为主,矿石矿物主要为磁铁矿、锡石、水锡石、闪锌矿等,脉石矿物主要为石榴石、角闪石等^[31]。矿石构造以块状和浸染状构造为主;矿石结构主要为交代残余结构和假象结构^[32]。

朝不楞铁锌多金属矿位于西伯利亚板块东南缘,二连-东乌旗早海西期构造-岩浆岩带的东北端,属东乌珠穆沁旗复背斜东段的北缘,地处滨太平洋成矿域(叠加在古亚洲成矿域之上)大兴安岭成矿省东乌旗-嫩江晚古生代-中生代铁铜铅锌金银成矿带内^[33]。燕山期的黑云母花岗岩与矿体在时空分布上关系密切。矿体总体产状是走向北东,倾向南东,倾角 70 ~ 80° 或更陡,单个矿体规模较小,以扁豆状或似层状为主,一般长数十米至百余米,个别者可达 300 ~ 400 m。矿石矿物主要有磁铁矿、锡石、闪锌矿和方铅矿,伴生矿物有斑铜矿、辉铋矿等。矿石具交代网络结构和晶架状结构。矿石构造主要为致密块状构造和浸染状构造为主。李俊建等^①获得朝不楞铁多金属矿床容矿花岗岩 SIMS 锆石 U-Pb 年龄为 135.1±3.6 Ma, 矿石中辉钼矿的 Re-Os 年龄为 135.3±2.9 Ma、135.5±3.4 Ma。表明其成矿时代为早白垩世。

1.2 热液型锡矿

集中分布于突泉-林西成矿带,为与岩浆热液有

关的锡矿床,如毛登铜锡矿、维拉斯托锡多金属矿等。

毛登式热液型铜锡矿为与岩浆热液有关的锡矿床,产于内蒙古东南部锡林浩特-乌兰浩特多金属成矿带的西南段,该矿带位于中朝板块北侧的中晚华力西地槽褶皱带中^[36]。围岩为二叠纪碎屑岩夹火山岩及碳酸盐建造,与成矿关系密切的侵入岩为燕山期中酸性花岗岩类。产于成矿侵入岩体围岩地层中的矿体多呈脉状,受构造裂隙控制,而产于侵入体内接触带的矿体多为网脉状。矿石类型以锡石-石英脉细网脉型矿石为主,次为锡石-硫化物型。矿石矿物以锡石为主,脉石矿物以石英为主。蚀变类型有:云英岩化、电气石化、黄玉化、硅化、绿泥石化、绢英岩化。

维拉斯托锡多金属矿床位于大兴安岭南段西坡,大地构造位置处于天山-兴蒙褶皱系华北板块晚古生代增生造山带,锡林浩特中间地块中部,是一个以锡为主,共伴生锌、钨、铜、钼、铷、铯、钽和锂的大型矿床^[22,37-39]。容矿地层为片麻岩类的变质岩(黑云斜长片麻岩、斜长角闪片麻岩),局部出露少量晚古生代石英闪长岩以及燕山期的花岗岩。与成矿密切相关的岩体隐伏于锡锌矿区深部,发育 3 种类型的矿体:石英脉型锡锌(钨、钼、铜)矿体,蚀变花岗岩型锡锌(铷、铯、钽)矿体和隐爆角砾岩型锡锌(铜)矿体。石英脉型矿体中矿石矿物以锡石、闪锌矿、钨矿为主,还可见毒砂、方铅矿及少量的黄铜矿、辉钼矿等硫化物矿物,脉石矿物可见有石英、黄玉、萤石、白云母、方解石等。蚀变岩型矿体中矿石矿物主要是锡石和闪锌矿,脉石矿物除石英外,还见有黄玉、萤石和鳞片状白云母等。隐爆角砾岩筒型矿体矿石矿物主要是呈团块状、颗粒状产出的锡石和闪锌矿,脉石矿物主要是石英。矿石结构主要为他形粒状结构、自形-半自形粒状结构、交代结构、固溶体分离结构、针状结构,矿石构造主要为团块状构造、脉状构造和浸染状构造^[22,38]。从矿体到围岩形成一定的矿物蚀变分带,表现为靠近矿体的部为钠长石化、硅化、天河石化、云英岩化、黄铁矿化、绢英岩化、绢云母化发育,离矿体远的部位可见高岭土化、碳酸盐化、伊利石化等^[38]。

1.3 斑岩型锡矿

此类型锡矿分布比较少,主要为敖瑙达巴锡铜多金属矿。

敖瑙达巴锡铜多金属矿是我国华北地区首次发现的斑岩型锡多金属矿床,位于大兴安岭中南段的

黄岗-甘珠尔庙-乌兰浩特复背斜中部。该矿床的含矿斑岩以花岗斑岩为主,铷锶法同位素年龄为 $148.431\text{ Ma}^{[39]}$,成矿时代属燕山期。地层有二叠系大石寨组上段砂质板岩、板岩、夹变质砂砾岩。敖瑙达巴向斜是矿区内最大的褶皱构造,沿北东方向贯穿整个矿区。该向斜长 2.4 km ,宽约 0.6 km ,轴面倾向北西,倾角 60° 左右。含矿蚀变花岗斑岩沿向斜轴部侵入,岩体上部-顶部-边部分别赋存着锡-锡银-铜工业矿体。矿体总体走向呈北东 60° 左右,倾向北西,倾角 $40\sim 70^\circ$ 。矿体形态多呈脉状、透镜状,个别呈扁豆状。原生矿石主要为铜矿石、银矿石、锡矿石和复合矿石;次生矿石为氧化铜矿石、次生银矿石、次生富集铜矿石。矿石结构主要为结晶结构、交代结构、固溶体分离结构、压碎结构和胶状结构;矿石构造类型在原生矿中主要以浸染状、网脉状、脉状构造为主,角砾状构造次之。围岩蚀变非常发育,与矿化关系密切的主要为黄玉绢(云)英岩化、青盘岩化及钾化。其他有硅化、绢云母化、萤石化、绿泥石化、黄铁矿化、电气石化、酸盐化等。

2 时空分布规律

华北地区锡矿床受花岗岩、构造、地层等多种因素控矿的影响,形成时间介于二叠世-早白垩世,在时间和空间分布有一定的不均衡性,主要集中于晚侏罗-早白垩世(图2)。我国锡矿床在成矿时代上,从元古宙至第四纪都有分布,可进一步划分为元古宙、加里东期、海西期、印支期、燕山期和新生代6个成矿期^[1],但华北地区的锡矿以燕山期作为主要的成矿期,成矿时间相对较为集中^[33-35]。

在空间位置上,锡矿床以大兴安岭造山带为中心,分布在兴蒙造山系大兴安岭弧盆系和华北克拉

通周缘,集中于乌兰浩特-林西-克什克腾旗一带,华北克拉通北缘受中生代构造岩浆活动影响,也有少量矿床(点)分布。

3 主要控矿因素

(1)构造对成矿的控制作用:区域性深断裂构造带控制了岩浆岩带的展布,而与其有成生联系的次断裂或裂隙构造带往往就是成矿物质沉淀定位的空间。因此,构造破碎带、韧性剪切带、层间滑脱带等断裂构造发育的位置普遍是热液型和斑岩型锡矿床成矿的有利位置,控制着矿化的富集与矿体的空间定位^[40]。二连-贺根山深断裂带、西拉木伦河断裂带、大兴安岭主脊断裂带及其次级断裂联合控制华北地区锡矿的产出。

(2)地层对成矿的控制作用:在已知的锡矿床中,泥盆系地层、二叠系地层是主要的赋矿围岩,沉积地层中的碳酸盐岩、碎屑岩与中酸性侵入体的接触带及其附近,非常有利于接触交代型锡矿的产出。

(3)岩浆岩对成矿的控制作用:燕山期是中国东部岩石圈大规模减薄的时期,下地壳底部发生大规模的部分熔融,形成中酸性岩浆。华北地区各类型的锡矿床,形成时间以 135 Ma 左右为主,表明早白垩世是锡矿大规模成矿的时期,这一时期华北地区存在大规模的中酸性岩浆活动,并且锡是亲壳元素,显然锡矿的形成与酸性花岗岩的关系十分密切^[19]。受中酸性岩浆分异、裂隙构造和成矿流体及氧逸度等因素控制,围岩蚀变较强,发育矽卡岩化、硅化、钾化、云英岩化、黄铁矿化、电气石化、萤石化等蚀变作用。

4 成矿模式

(1)接触交代型锡矿床成矿模式:为二叠纪预富集和燕山期定型两个过程。早二叠世海槽中的玄武质岩浆喷发过程中,形成与海相中基性火山喷发作用有关的贫铁矿层,并且在下二叠统火山喷发沉积岩中锡、砷丰度较高。因此,早二叠世海底火山作用不仅为燕山期热液成矿作用准备了足够的铁质,也提供了一定的锡。燕山期陆壳强烈活化,在基底隆起区含锡花岗岩浆沿区域大断裂上升并侵入于早二叠世地层中。岩浆期后高温热流体与围岩碳酸岩交代形成钙矽卡岩,并改造或汲取早二叠世火山岩中的贫铁矿层及锡金属,形成铁锡多金属的富集(图3)。

(2)热液型锡多金属矿床成矿模式:伴随燕山期

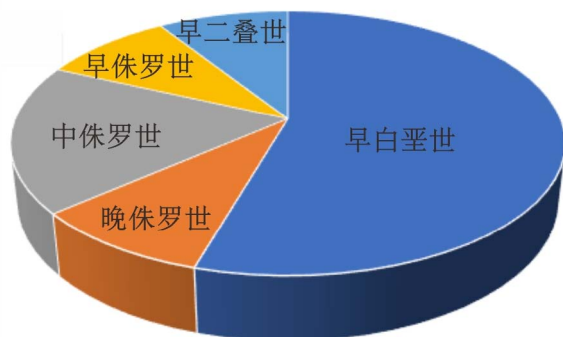
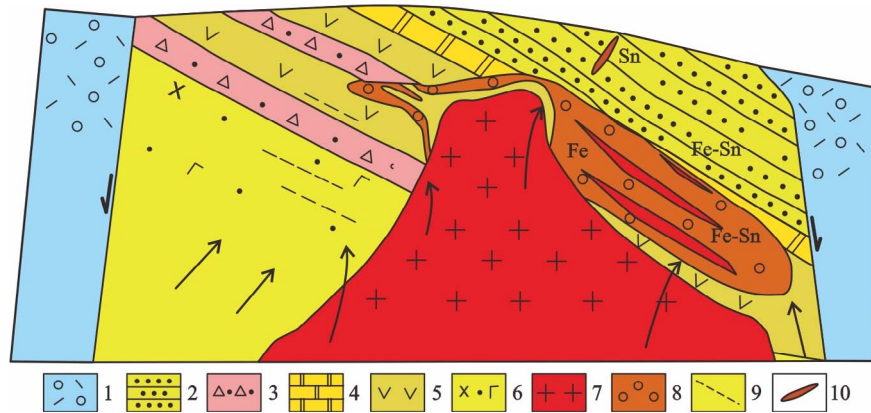


图2 华北地区锡矿床(点)成矿时代分布饼图

Fig.2 Pie chart of mineralization era distribution of tin deposits (points) in North China

图3 内蒙古黄岗矽卡岩型铁锡矿床模式图^[28]Fig.3 The model map of the Huanggang skarn iron-tin deposit in Inner Mongolia^[28]

- 1.晚侏罗世断陷盆地中火山岩;2.砂岩;3.火山碎屑岩;4.大理岩;5.安山岩;6.细碧角斑岩;
7.燕山早期花岗岩;8.矽卡岩;9.早二叠世火山喷发沉积贫铁矿层;10.铁锡多金属矿体

强烈的岩浆活动频繁,在岩浆结晶分异作用的晚期,残余热液中富含大量碱金属,挥发组分浓度增高,如可溶性铷、锂、铈、钽等元素含量增高,钠的浓度急剧增加,演化至钠长石化阶段,铈、钽在碱性溶液中沉淀析出形成矿物。随着钠的交代,溶液中铷、锂浓度增高,并不断交代早期生成的黑云母,形成含铷的黑鳞云母和锂云母,而分散在云母类矿物中的铈、钽析出,形成铈钽铁矿和细晶石。同时,由于花岗岩的侵位,岩浆热液携带钨、锡、钼等成矿元素,在与围岩的接触带或围岩中的裂隙,在适当的条件下形成矿

体。并且不同矿种具不同的围岩蚀变特征,矽卡岩化和角岩化与锡、铁矿有关;硅化与钨、钼矿关系密切(图4)。因此,铷、锂、铈、钽是岩浆晚期分异热液交代作用形成的,钨锡钼矿则与岩浆热液沿裂隙充填交代有关,总体上反映是岩浆热液矿床。

(3)斑岩型锡矿成矿模式:成矿过程可分为早中晚三期,矿体的形成主要集中于早中期(图5):

早期:由下地壳深部含矿岩浆房分馏出的流体相聚集于岩体顶部,处于相对封闭的状态体系下。其初始流体为高温,偏碱性,富HCl、HF、CO₂的酸性流体。其与斑岩及围岩发生钾交代反应,在岩体中形成钾化花岗斑岩,近接触带的砂泥质沉积岩则变质为黑云母石英角岩。斑岩最顶部,受酸性流体的淋滤作用,产出富铝硅酸盐相蚀变,形成黄玉石英交

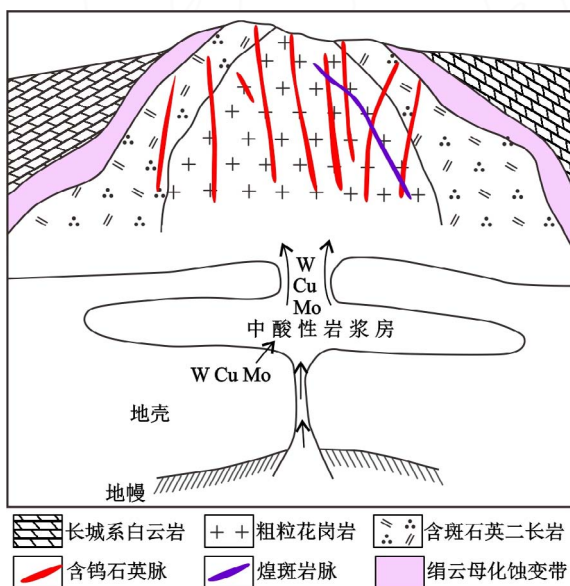


图4 内蒙古七一山热液型钨钼锡矿床成矿模式图
Fig.4 Metallogenic model diagram of hydrothermal tungsten-molybdenum-tin deposit in Qiyishan, Inner Mongolia

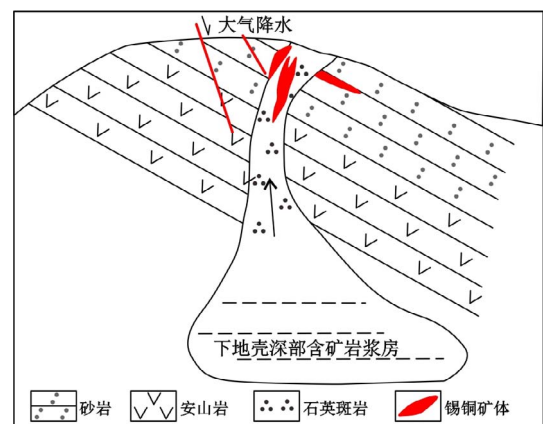


图5 内蒙古敖瑙达巴斑岩型锡铜银矿床成矿模式图^②
Fig.5 Metallogenic model diagram of Aonodaba porphyry type tin-copper-silver deposit in Inner Mongolia^②

^②许立权,张彤,张明,等.内蒙古自治区重要矿产区域成矿规律研究报告[R].内蒙古自治区地质调查院,2013.

代岩和锡矿石堆积。

中期:大量流体相聚集于斑岩顶部,压力不断增高。当流体相的内部压力远超出上覆围岩的压力时,引起岩体顶部爆破,网脉状裂隙大量发育,此时处于相对开放体系,大气水、地表水和地下水发生对流循环。压力释放的同时,导致减压沸腾。酸性流体与斑岩和围岩之间发生广泛的水解反应(氢交代)和锡铜等多金属硫化物沉淀。

晚期:在相对低温的对流循环热水中,酸性介质条件下发生粘土化,中性的介质条件下发生水云母化,碱性介质条件下发生碳酸盐化。

5 找矿方向

华北地区锡矿分布区均已完成1/20万区域化探扫面。从锡元素含量来看,总体表现为东高西低的特点,值得注意的是内蒙古西部地区锡元素丰度值低于中国西部区平均值。从锡异常带的分布情况分析,大致可分为两个大型区域地球化学异常带,即大兴安岭中南段和华北克拉通北缘锡区域地球化学异常带。锡异常多以局部异常出现,规模较大的地球化学异常区主要集中在锡林浩特-克什克腾旗、二连-东乌旗及商都-太仆寺旗地区,可列为下一步部署重点找矿区域。

6 结论

(1)华北地区的锡矿床类型有矽卡岩型、热液型和斑岩型三类,主要以接触交代型和热液型锡矿最为重要,规模最大。

(2)成矿时间上,锡矿床的形成主要集中于晚侏罗-早白垩世;在空间位置上,锡矿床集中分布在兴安造山系大兴安岭弧盆系和华北克拉通周缘。

(3)华北地区锡矿成矿受控于区域性深大断裂、地层以及岩浆活动等多种因素,大中型的锡矿床普遍赋存于酸性花岗岩、地层与酸性花岗岩接触的位置,区域性深断裂构造带控制了岩浆岩的展布,从而进一步控制了矿体的产出位置。

(4)接触交代型锡矿床通过改造或汲取早二叠世火山岩中的贫铁矿层及锡金属,形成铁锡多金属矿床;热液型锡多金属矿床则与岩浆热液沿裂隙充填交代有关;斑岩型锡矿是由下地壳深部含矿岩浆房分馏出的富HCl、HF、CO₂的酸性流体聚集于岩体顶部,酸性流体与斑岩和围岩之间发生广泛的水解

反应(氢交代),锡铜等多金属硫化物沉淀成矿。

(5)华北地区锡矿的找矿方向应主要集中于锡林浩特-克什克腾旗、二连-东乌旗及商都-太仆寺旗地区。

参考文献:

- [1] 夏庆霖,汪新庆,常力恒,等.中国锡矿床时空分布特征与潜力评价[J].地学前缘,2018,25(03):59-66.
- [2] 夏庆霖,汪新庆,肖文,等.中国锡矿资源潜力评价与找矿战略选区[J].矿床地质,2014,33(S1):833-834.
- [3] 陈郑辉,王登红,盛继福,等.中国锡矿成矿规律概要[J].地质学报,2015,89(06):1026-1037.
- [4] 孙虎,王建平,王玉峰,等.我国锡矿开发利用现状及可持续发展建议[J].资源与产业,2012,14(04):58-62.
- [5] 刘朔,刘雪娇,彭思远.我国锡矿勘查进展与供需形势分析[J].西部资源,2018,(05):78-80.
- [6] 杜青松.内蒙古大兴安岭地区银多金属矿床找矿模型与成矿预测[D].中国地质大学(北京),2018.
- [7] 潘小菲,郭利军,王硕,等.内蒙古维拉斯托铜锌矿床的白云母 Ar/Ar 年龄探讨[J].岩石矿物学杂志,2009,28(05):473-479.
- [8] 李俊建,彭翼,张彤,等.华北地区成矿单元划分[J].华北地质,2021,44(03):4-24.
- [9] 欧阳荷根.大兴安岭南段拜仁达坝-维拉斯托银多金属矿床成矿作用及动力学背景[D].中国地质大学(北京),2013.
- [10] 祝新友,张志辉,付旭,等.内蒙古赤峰维拉斯托大型锡多金属矿的地质地球化学特征[J].中国地质,2016,43(01):188-208.
- [11] 梅微,吕新彪,唐然坤,等.大兴安岭南段西坡拜仁达坝-维拉斯托矿床成矿流体特征及其演化[J].地球科学(中国地质大学学报),2015,40(01):145-162.
- [12] 冯晓曦,滕雪明,王心华.豫西卢氏-内乡地区铜铀等战略性矿产成矿条件初探[J].华北地质,2021,44(04):5-14.
- [13] 徐佳佳,赖勇,崔栋,等.内蒙古道伦达坝铜多金属矿床成矿流体特征及其演化[J].岩石学报,2009,25(11):2957-2972.
- [14] 潘小菲,王硕,侯增谦,等.内蒙古道伦达坝铜多金属矿床特征研究[J].大地构造与成矿学,2009,33(03):402-410.
- [15] 王必任.内蒙古朝不楞铁多金属矿床岩浆与矿化关系的研究[D].中国地质大学(北京),2012.
- [16] 陈鹏飞.内蒙古朝不楞铁多金属矿床物质组成与矿床成因研究[D].中国地质大学(北京),2018.
- [17] 陈公正,武广,李铁刚,等.内蒙古道伦达坝铜钨锡矿床 LA-ICP-MS 锆石和锡石 U-Pb 年龄及其地质意义[J].矿床地质,2018,37(02):225-245.
- [18] 陈公正,武广,武文恒,等.大兴安岭南段道伦达坝铜多金属矿床流体包裹体研究和同位素特征[J].地学前缘,2018,25(05):202-221.
- [19] 田杰鹏,李俊建,宋立军,等.华北地区锰矿成矿规律初探[J].华北地质,2021,44(03):58-64+69.
- [20] 陈公正.大兴安岭南段道伦达坝铜多金属矿床成矿作用研究[D].中国地质大学(北京),2018.

- [21] 王瑾. 内蒙古维拉斯托铜多金属矿床矿区花岗岩类年代学与地球化学[D]. 中国地质大学(北京), 2009.
- [22] 刘瑞麟, 武广, 李铁刚, 等. 大兴安岭南段维拉斯托锡多金属矿床 LA-ICP-MS 锡石和锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 地学前缘, 2018, 25(05):183-201.
- [23] 张雪冰, 包长甲, 吴世山. 大兴安岭南段道伦达坝铜钨多金属矿床年代学研究: 来自石英包裹体 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄的证据[J]. 新疆大学学报(自然科学版)(中英文), 2021, 38(01):83-90.
- [24] 陈公正, 武广, 李铁刚, 等. 大兴安岭南段道伦达坝铜钨锡矿床成矿作用: 来自锆石和独居石 U-Pb 和 绢云母 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄的约束[J]. 岩石学报, 2021, 37(03):865-885.
- [25] 周振华, 欧阳荷根, 武新丽, 等. 内蒙古道伦达坝铜钨多金属矿床黑云母花岗岩年代学、地球化学特征及其地质意义[J]. 岩石学报, 2014, 30(01):79-94.
- [26] 翟德高, 刘家军, 李俊明, 等. 内蒙古维拉斯托斑岩型锡矿床成岩、成矿时代及其地质意义[J]. 矿床地质, 2016, 35(05):1011-1022.
- [27] 周振华, 吕林素, 冯佳睿, 等. 内蒙古黄岗砂卡岩型锡铁矿床辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义[J]. 岩石学报, 2010, 26(03):667-679.
- [28] 裴荣富, 吕凤翔, 范继璋, 等. 华北地块北缘及其北侧金属矿床成矿系列与勘查[M]. 北京: 地质出版社, 1998, 1-150.
- [29] 张梅. 大兴安岭中南段铜多金属矿床成矿系统研究[D]. 中国地质大学(北京), 2012.
- [30] 翟德高, 刘家军, 杨永强, 等. 内蒙古黄岗梁铁锡矿床成岩、成矿时代与构造背景[J]. 岩石矿物学杂志, 2012, 31(04):513-523.
- [31] 刘成龙. 论内蒙黄岗矿区锡酸矿的赋存特点及某些分布规律[A]. 中国地质科学院沈阳地质矿产研究所文集(2) [C]. 中国地质学会, 1981:9.
- [32] 周振华. 内蒙古黄岗锡铁矿床地质与地球化学[D]. 中国地质科学院, 2011.
- [33] 许立权, 陈志勇, 陈郑辉, 等. 内蒙古东乌旗朝不楞铁矿区中粗粒花岗岩 SHRIMP 定年及其意义[J]. 矿床地质, 2010, 29(02):317-322.
- [34] 赵家齐, 周振华, 欧阳荷根, 等. 内蒙古双尖子山银铅锌(锡)矿床石英正长斑岩 U-Pb 年龄、地球化学及其地质意义[J]. 矿床地质, 2022, 41(02):324-344.
- [35] 苏文博, 李文国, 李惠民, 等. 什那干群层凝灰岩夹层 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学研究及其意义[J]. 华北地质, 2022, 45(02):51-67.
- [36] 刘玉强. 内蒙古毛登锡铜矿床地质及成因[J]. 矿床地质, 1996, (02):133-143.
- [37] 祝新友, 张志辉, 付旭, 等. 内蒙古赤峰维拉斯托大型锡多金属矿的地质地球化学特征[J]. 中国地质, 2016, 43(01):188-208.
- [38] 郭贵娟. 内蒙古维拉斯托锡多金属矿床地质特征及成因探讨[D]. 中国地质大学(北京), 2016.
- [39] 张德全. 敖瑙达巴斑岩型锡多金属矿床地质特征[J]. 矿床地质, 1993, (01):10-19.
- [40] 田杰鹏. 胶东栖霞福矿集区中生代金多金属矿区域成矿作用[D]. 中国地质大学(北京), 2020.

Metallogenic regularity and prospecting direction of Tin deposits in North China

TIAN Jie-peng^{1,2,3,4}, LI Jun-jian^{4*}, ZHANG Tong⁵, FU Chao⁴, DANG Zhi-cai⁴,
HE Jiang-tao^{4,7}, ZHANG Peng-peng^{4,6}

(1.Key Laboratory of Building Structural Retrofitting and Underground Space Engineering of Ministry of Education, Jinan 250101, China; 2.School of Civil Engineering, Shandong Jianzhu University, Jinan 250101, China; 3.Key Laboratory of Gold Mineralization Processes and Resource Utilization Subordinated to the Ministry of Land and Resources, Key Laboratory of Metallogenic Geological Process and Resources Utilization in Shandong Province, Jinan 250013, China; 4.Tianjin Center, China Geological Survey, Tianjin 300170, China; 5.Geological Survey Institute of Inner Mongolia Autonomous Region, Hohhot 050081, China; 6.Institute of Geophysical and Geochemical Exploration of Chinese Academy of Geological Science, Langfang 065000, China; 7.Hebei GEO University, Shijiazhuang 050031, China)

Abstract: Tin resources are abundant in North China, especially in the middle and southern Greater Khingan Range, which is one of the three major tin mining areas in our country and the only formed tin polymetallic ore belt found in the north of China. The types of tin deposits in North China are mainly divided into three categories: hydrothermal, porphyry and contact account type, most of which are co-occurring and associated deposits, with few independent tin deposits. The mineralization period of tin deposits in the region is mainly concentrated in the Late Jurassic-Early Cretaceous. On this basis, the main ore-controlling factors of tin deposits in North China were analyzed, the metallogenic models of contact metasomatic, porphyry and hydrothermal tin deposits were initially established, and the temporal and spatial distribution of tin deposits were discussed, and Xilinhot- Keshiketeng Banner, Erlian-Dongwu Banner and Shangdu-Taipusi Banner are key areas for searching for tin deposits in North China.

Key words: contact metasomatic type; hydrothermal type; porphyry type; metallogenic model; prospecting direction; tin deposits; North China