

内蒙古白乃庙铜多金属矿床成因问题讨论

赵泽霖¹, 刘利双¹, 宋雪龙¹, 党智财¹, 唐文龙², 付超²

(1. 中国地质科学院研究生院, 北京 100037; 2. 中国地质调查局天津地质调查中心, 天津 300170)

摘要: 文章综合分析了白乃庙铜多金属矿床的成矿地质背景、矿床地质特征, 以及前人有关该矿床的年代学、成矿流体来源等多方面研究成果, 并在此基础上讨论了该矿床的成因问题。白乃庙铜多金属矿床南北成矿带具有不同的成因机制, 其中南矿带为幔源流体二次交代热液矿床, 北矿带为斑岩型矿床。南矿化带具有2个矿化期, 即矿化发生在中元古代(1 144~1 354 Ma 之间)和早古生代(420~450 Ma 之间), 而北矿化带的矿化发生在早古生代的加里东运动过程中。成矿物质来源方面, 南矿带为幔源, 而北矿带以壳源重融为主。矿化过程方面, 南矿带初次矿化于中元古代的海相火山地层中, 在加里东期的构造运动中发生绿片岩相变质作用并被拼贴到华北板块北缘, 并在该期使原矿化元素受到第二次活化富集; 北矿带发育在加里东期弧构造体制下形成的斑岩体内, 由岩体内热液循环而成斑岩型矿床。

关键词: 白乃庙铜多金属矿; 成矿年代; 流体来源; 矿床成因; 内蒙古

中图分类号: P611, P618.41 **文献标识码:** A

0 引言

白乃庙铜多金属矿床位于内蒙古乌兰察布市四子王旗辖区内, 该矿床是我国东北—内蒙地区最早开发的大型铜矿之一, 也是该区少数大型铜矿之一^[1]。对此矿床40余年的勘查与研究, 取得了大量的地质资料和研究成果。然而, 对其矿床的成因却有不同观点。概括来说, 目前对白乃庙铜多金属矿床的成因有以下几种观点: ①与海底火山作用有关的黄铁矿型铜矿床; ②与中酸性浅成侵入岩有关的斑岩型铜矿床^[2]; ③海相火山沉积(变质)—热液叠加(富集)复成因矿床^[3]; ④北矿带属斑岩型铜矿床, 南矿带属火山岩喷流型铜矿床^[4]; ⑤造山型铜矿^[1]。可见此矿床的形成经历了复杂的成矿作用, 其矿床成因难以达成一致意见, 对矿区地质演化的还原带来了重重迷雾。因此, 总结并为此矿床提供

一个可靠的、接近事实的矿床成因模型, 不仅为白乃庙地区同类矿床的进一步勘查与成矿规律的研究带来便利, 同时可为此区的构造演化提供佐证。本文综合研究了近年来有关对白乃庙铜多金属矿床大量的研究成果, 认为此矿床不是单一的成矿时期所形成的, 而是在复杂的地质演化历史中经过初期的矿化到后期的叠加成矿的作用而成。

1 成矿地质背景

1.1 区域地质概况

白乃庙铜多金属矿床地处白乃庙—正兰旗铜钼金成矿带的西部^[5], 此成矿带内发育有白乃庙大型铜多金属矿床、白乃庙金矿床、谷那乌苏铜矿、别鲁乌图铜矿, 以及一些铜矿点; 其大地构造位于西伯利亚板块与华北板块之间的蒙古—兴安岭造山带的温都尔庙增生带内^[6]。白乃庙矿区的北部(由北往南)

收稿日期: 2014-09-26; **责任编辑:** 王传泰

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目(编号:1212010561510、1212011120330)、科技部公益性行业科研专项(编号:200811010)和国际科技合作项目(编号:2012DFB20220)联合资助。

作者简介: 赵泽霖(1990—), 男, 硕士研究生, 区域成矿专业。通信地址:天津市河东区大直沽8号路4号; 邮政编码:300170; E-mail: tishan_yue@163.com



图1 白乃庙铜金多金属矿床地质图(据文献[9],略有修改)

Fig. 1 Geological sketch of Bainaimiao copper multi-metal deposit

1. 第四系; 2. 古-中生代地层; 3. 中元古界白银都西群; 4. 白乃庙群第五岩性段; 5. 白乃庙群第四岩性段;
6. 白乃庙群第三岩性段; 7. 白乃庙群第二岩性段; 8. 白乃庙群第一岩性段; 9. 白云母花岗岩;
10. 石英闪长岩; 11. 花岗闪长斑岩; 12. 石英脉; 13. 白乃庙断裂; 14. 实测、推测的性质不明断裂;
15. 矿化带、矿体及矿段编号;

发育有古亚洲洋最终缝合带——二连浩特—贺根山缝合带^[7-8]、温都尔庙—西拉木伦断裂,其南侧有赤峰—康保断裂带(图1)。此区曾经历过陆壳裂解、洋壳扩张、陆壳增生、板内构造活动等构造演化阶段,构造岩浆活动强烈^[1]。

白乃庙铜多金属矿区内出露地层有元古宇、古生界、中生界、新生界,包括中元古界白银都西群、温都尔庙群、白乃庙组(群),上志留统西别河组、上石炭统阿木山组、下二叠统三面井组、上侏罗统大青山组以及第四系等。区内分布最广的地层是白乃庙群,呈近EW向分布;区域上划分为五个岩性段^[9]($Pt_2b^1—Pt_2b^5$)。矿区内的白乃庙群可分为3个岩性段^[10],下部(Pt_2b^3)为斜长角闪片岩、阳起斜长片岩和绿泥斜长片岩段,中部(Pt_2b^4)为长英片岩和变质流纹英安岩段,上部(Pt_2b^5)为阳起斜长片岩、变质安山质熔岩和绿泥斜长片岩段。其中,绿片岩的原岩为中元古代海相中基性火山岩^[11]。根据白乃庙群岩性的全岩和锆石U-Pb同位素定年研究,基本可以确定其原岩海相火山岩的形成年龄为中元古代(全岩Sr-Nd同位素年龄为 $1\,107\text{ Ma} \pm 28\text{ Ma}$ ^[12],锆石U-Pb年龄为 $1\,130\text{ Ma} \pm 16\text{ Ma}$ ^[10])。

矿区内构造相对单一,断裂整体走向以NE向为主,倾向S^[9]。区域性的EW向断裂是区内主要

的导矿构造,对区内岩浆岩的运移及成矿作用形成重要的影响。矿区内发育的NW向的断裂构造是仅次于EW向的重要构造,其对矿体有改造作用^[6]。矿区内最大的NE向构造为白乃庙断裂,它斜切矿区中部,部分断裂带中发育石英脉型或蚀变岩型金矿化^[13]。

矿区内岩浆活动强烈,除了已测定原岩为中元古代海相火山岩的绿片岩相变质岩外,此区发育显生宙岩浆侵入作用。侵入岩体多为花岗岩,侵入时间为加里东-海西期(古生代岩浆作用)和印支-燕山期,岩性主要为石英闪长岩和花岗闪长斑岩。花岗闪长斑岩与成矿具有密切关系,对其形成时间,聂风军^[12]通过测定全岩Sr-Nd同位素得出 $440\text{ Ma} \pm 40\text{ Ma}$ 的年龄,为加里东期岩浆活动产物。

1.2 矿床地质特征

白乃庙铜多金属矿床是一个以铜为主兼含金、钼、锌、银和硫的多金属矿床。矿床分为南北两个矿带,12个矿段和百余个矿体^[1-2,4,13];南矿带包含Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ、Ⅵ、Ⅶ、Ⅹ、Ⅺ等8个矿段,北矿带则由Ⅷ、Ⅸ、Ⅻ、ⅩⅢ等4个矿段组成。南、北矿带在矿体形态、赋存围岩、矿体规模等方面具有显著的差异。南矿带的矿体主要赋存在绿片岩内,产状与围岩一致,呈层状、透镜状或似层状分布,矿体的延伸深度均大

于走向长度,部分矿体在 700 m 深处仍无收敛和尖灭之势^[4]。北矿带各矿体大都赋存于加里东期花岗闪长斑岩内部或其与绿片岩接触带部位产出,相对于南部矿带矿体形态不规则,呈不连续透镜体状产出,且在走向和倾向延伸范围有限;矿体整体上呈单斜叠瓦状或雁行状排列,矿体的规模相对较小、品位相对较低。在南矿带和北矿带重要矿体的上部,均见有风化淋滤形成的氧化带^[4]。

矿石类型可分为斑岩型和绿片岩型两种,南矿带以绿片岩型为主,北矿带以斑岩型为主。南矿带铜(金)矿石构造表现为条带状、块状和细脉浸染状,显示同沉积特征;北矿带矿石构造为细脉浸染状、网脉状、脉状和胶状。交代溶蚀、压碎和揉皱构造在南、北矿带各矿体中也均可见及^[4]。两种类型矿石的矿物组成大致相同,主要的金属矿物有黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿和磁铁矿,次要矿物为磁黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、斑铜矿、辉钴矿和自然金,孔雀石、褐铁矿和自然铜出现在部分矿石中。脉石矿物以石英、方解石和黑云母为主,其次绢云母、绿泥石和绿帘石等也有少量发育。

矿床内发育大量的围岩蚀变。蚀变类型以石英-钾长石化、黑云母化、绢云母化、绿帘石化、绿泥石化、碳酸盐化、泥化等为主。南矿带以黑云母化和硅化为主,北矿带主要以石英-钾长石化和石英-绢云母化为主,其中钾长石化、硅化和黑云母化跟成矿关系密切。蚀变分带在南北两矿带表现为不同的分带形式:南矿带从矿体向外,依次为硅化带→绿泥石-绿帘石化带→碳酸盐化带→绿片岩;北矿带从矿体向外,依次为黑云母化带→硅化-绢云母化-绿泥石-绿帘石化带→碳酸盐化带→花岗闪长斑岩^[4]。

2 矿床成因分析

2.1 成矿时代分析

白乃庙铜多金属矿床的南矿带主要赋存在中元古界绿片岩中,而北矿带赋存在加里东期花岗闪长斑岩或其与绿片岩变质带的接触带部位。对矿床的不同成因认识来源于对成矿时代的不同看法,认为矿床形成于海底火山作用必定认为该矿床形成于中元古代,而持有矿床形成于斑岩系统的学者必定认为矿床形成于加里东期。越来越多的研究^[2,4,13]成果反映,不能统一地将白乃庙矿床理解为单一的某次矿化的结果,此矿床的南北矿带具有不同的矿化

过程。

北矿带主要赋存在花岗闪长斑岩中,对岩体进行的同位素年代测定显示含矿花岗闪长斑岩中的锆石 U-Pb 年龄为 466 Ma^[14]、绿片岩的 Rb-Sr 等时线年龄为 427 Ma±17 Ma(王东方等, 1983)、白云母花岗岩的 K-Ar 年龄为 430 Ma^[14]、花岗闪长斑岩的 Sm-Nd 等时线年龄为 440 Ma±40 Ma^[4]。聂风军^[4]对此矿床矿石的 Sr-Nd 同位素研究发现,北矿带和南矿带的 $N(^{147}\text{Sm})/N(^{144}\text{Nd})$ 和 $N(^{143}\text{Nd})/N(^{144}\text{Nd})$ 值均不具有线性关系,即无法通过矿石 Sr-Nd 同位素获得矿石的形成年龄,说明矿床在形成后发生过复杂的热液蚀变作用,改变了成矿后期矿石系统内 Sr/Nd 同位素的封闭性。基于北矿带的成矿物质来源为斑岩岩浆系统的推论,认为北矿带的矿石形成年龄与其赋矿的围岩(花岗闪长斑岩)的形成时代 440 Ma±40 Ma 应该一致;假如北矿带形成于斑岩系统并视为斑岩型矿床的观点正确,斑岩型矿化发生晚于斑岩体侵位后的热液蚀变作用,即北矿带的形成应晚于花岗闪长斑岩。

辉钼矿的 Re-Os 同位素测定为矿床的形成年代研究提供极大方便。赵云等^[13]对采集于北矿带的 4 件样品和采集于南矿带的 3 件样品进行了 Re-Os 同位素的测定研究工作,分析结果表明,Re-Os 同位素模式年龄变化范围为 (439.6±6.4) Ma~(450.5±6.6) Ma,加权平均值年龄值 446.5 Ma±3.5 Ma;经过 Isoplot 软件拟合后得出的等时线年龄为 451.2 Ma±3.5 Ma,MSWD 值为 1.3(参见图 2)。

理论上,辉钼矿产在石英脉中,而脉中的其他造岩矿物应该与辉钼矿矿化(黄铜矿矿化)为同期产

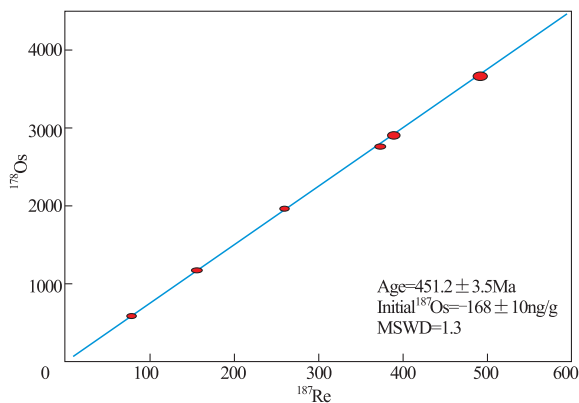


图 2 白乃庙铜矿床 Re-Os 同位素等时线年龄

(据文献[13],略有修改)

Fig. 2 Re-Or isochron age of molybdenites from Bainaimiao copper deposit

物。据此,李文博等^[1]对石英脉中黑云母和白云母矿物进行了高精度单颗粒激光熔融氩氦法测定其结晶年龄,结果获得黑云母样品 22 点的⁴⁰Ar-³⁹Ar 等时线年龄为 $396 \text{ Ma} \pm 2 \text{ Ma}$ (MSWD=20),白云母样品 23 点的⁴⁰Ar-³⁹Ar 等时线年龄为 $358 \text{ Ma} \pm 2 \text{ Ma}$ (MSWD=11),反映其形成时限为泥盆纪向石炭纪过度期间,此形成年龄要比辉钼矿所测矿化年龄要晚许多。

仔细分析不难发现,黑云母和白云母测得的成岩年龄可以作为精确矿化年龄为稍晚于斑岩形成年龄的一个佐证。需要说明的是虽然黑云母和白云母是理想的测定⁴⁰Ar-³⁹Ar等时线年龄的矿物,而且现在实验测试技术相比上世纪达到了相当高的程度,但由于云母是易风化矿物且封闭温度较低,其在后期的地质历史中发生 Ar 的丢失是很可能发生的事,往往造成测定年龄数值要低于实际年龄。另外,野外地质证据以及岩石薄片观察表明该石英脉同时穿插到北矿带中的花岗闪长斑岩中,说明发育在南北两矿带的石英脉是在花岗闪长斑岩的成岩侵位后期的热液活动的产物并且与矿化相关。因此,与矿化有关的泥盆纪脉体发育年龄与岩浆侵位年龄相差太大;相比之下, $451.2 \text{ Ma} \pm 3.5 \text{ Ma}$ 的年龄与区内花岗闪长岩的侵位年龄相差无几,应该还是比较接近事实的矿化年龄。综上,基本可以确定白乃庙铜多金属矿床的矿化年龄为加里东期,并很可能与该区的斑岩有关,而且要晚于斑岩的形成时代。

2.2 成矿物质来源分析

Re-Os 同位素体系不仅可以精确地确定硫化物矿床形成的时间,同时可以示踪成矿物质来源以及指示成矿过程中不同来源物质混入的程度,一般可通过金属硫化物矿床辉钼矿的 Re 含量来示踪其来源^[14]。毛景文等^[15]认为成矿物质来源于地幔的斑岩型-矽卡岩型矿床中的辉钼矿含 Re 较高,比如山西黄龙铺钼(铅)矿床,其成矿物质被认为来源于地幔,Re 含量为 $w(\text{Re}) = 283.5 \times 10^{-6} \sim 633.1 \times 10^{-6}$ ^[16];与钛铁矿系列花岗岩(S 型花岗岩)有关的钨锡矿床其辉钼矿的 Re 含量最低,比如石竹苑 W-Sn-Mo-Bi 矿床中的辉钼矿 Re 含量为 $w(\text{Re}) = 1.04 \times 10^{-6} \sim 1.34 \times 10^{-6}$ ^[17];与磁铁矿系列花岗岩(I 型)有关的钼矿或铜钼矿床其辉钼矿中 Re 含量介于上述二者中间。概括地说,从地幔到壳幔混源再到地壳(从幔源到 I 型再到 S 型花岗岩),矿石中的辉钼矿的 $w(\text{Re})$ 变化规律为 $n \times 10^{-4}$ 、 $n \times 10^{-5}$ 、 $n \times 10^{-6}$ 。赵云等^[13]测得白乃庙铜多金属矿床辉钼

矿 $w(\text{Re}) = 229.5 \times 10^{-6} \sim 746.0 \times 10^{-6}$,表明此矿床的成矿物质来源于地幔,或与地幔有直接成因联系的地球化学场。

元素 Sm 和 Nd 具有独特的地球化学性质,Sm-Nd 体系在探讨地幔、地壳演化、壳幔交换、岩石成因和物质来源方面具有十分重要的意义^[18]。聂风军等^[4]对南北矿带矿石的 Sm-Nd 同位素特征研究显示,南矿带 7 件矿石样品 ϵ_{Nd} 均为正值,变化范围 2.3~5.2,介于白乃庙群绿片岩与古陆壳片麻岩 Nd 演化线之间(图 3);亏损地幔计算的矿石钼模式年龄 $t_{\text{DM}} = 1144 \text{ Ma} \sim 1354 \text{ Ma}$,大于绿片岩形成时代 1130 Ma ,样品数据点均不同程度偏离了亏损地幔演化线和绿片岩 Nd 线(见图 3)。因此,聂风军等认为来源于地幔的成矿流体在演化与沉淀过程中受到了地壳物质不同程度的混染^[12]。

北矿带 5 件矿石样品的 ϵ_{Nd} (440 Ma) 变化范围为 $-6.8 \sim -4.2$,明显低于花岗闪长斑岩 ($\epsilon_{\text{Nd}}(t) = -3.19$),而高于本区古陆壳值 ($\epsilon_{\text{Nd}}(t) = -8.82 \sim -6.99$)。有研究者^[4]认为,出现上述现象属于中元古代的绿片岩同古陆壳岩层混合后发生重融并经历了岩浆结晶分异过程,含矿岩浆热流体同围岩相互作用造成了矿石样品 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值的降低和钼模式年龄的增高。

南矿带矿床的流体包裹体研究结果表明,成矿

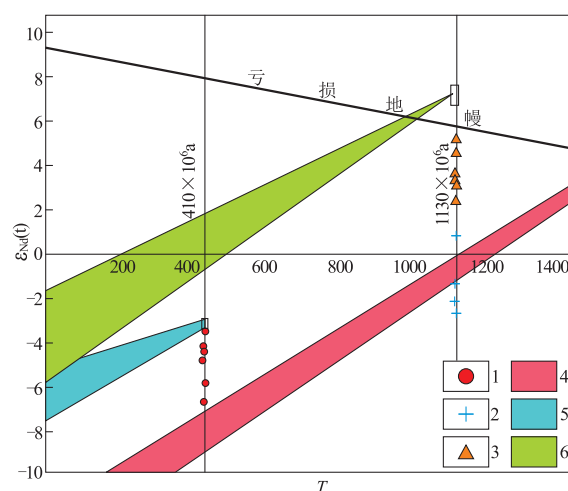


图3 白乃庙铜(金)和金矿石 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)-T$ 图

(据文献[4], 略改)

Fig. 3 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ versus T plot of ores from the Bainaimiao copper(gold) deposit, Inner Mongolia

1. 南矿带铜(金)矿石; 2. 北矿带铜(金)矿石;

3. 白乃庙金矿床金矿石; 4. 太古宙-早元古代片麻岩;

5. 早古生代花岗闪长斑岩; 6. 白乃庙群绿片岩

流体以低盐度、低密度、富 CO_2 为特征^[8]; 孙风月等^[19]称这种富含 CO_2 的流体为 C—H—O 流体, 并认为是地幔流体的标志。

综上所述, 白乃庙铜多金属矿南矿带的绿片岩以及矿石的 Nd 同位素特征呈现幔源来源特征, 而北矿带的花岗闪长斑岩及矿石的 Nd 同位素特征显示其更具有壳源特征。据此认为, 此矿床的形成是由两个不同起源的热液系统在不同的时空范围内同先期侵位的海底火山物质和花岗闪长斑岩互相作用的结果。

2.3 矿床成因推断

南北矿带具不同类型的矿石结构和构造特征, 明显的说明两个矿带形成于不同的成矿地质过程。南矿带矿体呈似层状、脉状、透镜状产于绿片岩中, 矿体产状和容矿围岩产状基本一致, 矿石具层纹状、条带状、浸染状、脉状构造。这种矿体与矿石的构造特征具有明显同沉积特征, 受层控制作用显著。聂风军等^[4]结合矿化年龄为中元古代, 推断该矿床形成于海底火山岩喷出期同期的热液交代作用, 并将其归为海底火山块状硫化物矿床。然而, 根据 Herzig 和 Hannington^[20]对 VMS 成矿模型的经典描述认为, 成矿热液来源于海水向下渗透并萃取海底火山岩成矿元素后对流循环到大洋底部, 在反向循环到大洋过程中携带大量成矿元素的热液在有利部位沉淀富集。显然 VMS 矿床的成矿热液为陆源性质, 其 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 必定小于零, 这与聂风军等^[4]获得的 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 变化于 2.3~5.2 之间相矛盾。辉钼矿中 Re 的含量也将成矿物质来源指向于幔源^[9], 进一步否定成矿物质来源于海水萃取火山岩成矿元素而成的热液来源。

本次研究认为, 白乃庙铜多金属矿南矿带矿床首先形成于地壳深部或者地幔来源流体在中元古代基性海相火山岩就位后一段时间内对其交代, 形成初次矿化。在后来的加里东期的构造-岩浆活动背景中, 伴随着侵入的斑岩, 可能有与斑岩体岩浆为同源的成矿流体组分再次对初次矿化的矿化层进行二次交代, 从而形成了白乃庙铜多金属矿南矿带的高品位矿体。此观点吻合由硫、铅同位素, 以及 Re 总量、 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 特征值所确定的成矿流体地幔来源说。聂风军等^[4]根据亏损地幔计算的矿石矿化年龄为 1 144 Ma~1 354 Ma, 可知矿化形成与围岩海相基性岩的形成年龄大致为同期产物。同时, 地幔流体对赋矿岩层的二次交代也吻合了矿体的形态及其同围岩的接触关系等矿床地质特征。

相对而言, 白乃庙铜多金属矿北矿带成因争议较少。大量研究已证实作为该矿带围岩的花岗闪长斑岩为加里东期构造运动产物。聂风军等测定该带花岗闪长斑岩全岩 Sm—Nd 同位素年龄为 440 Ma $\pm$ 40 Ma^[12]。唐克东测得岩体锆石 U—Pb 年龄为 466 Ma^[14], 王东方等(1983)测得 Rb—Sr 等时线年龄为 427 Ma $\pm$ 17 Ma, 白云母花岗岩的 K—Ar 年龄为 430 Ma^[14]。赵云等^[13]测得辉钼矿模式年龄为 446.5 Ma $\pm$ 3.5 Ma, 等时线年龄为 451.2 Ma $\pm$ 3.5 Ma。这些年龄的吻合较好, 充分说明辉钼矿矿化(黄铜矿化同期)与该岩体的侵入为同期产物。因此, 白乃庙铜多金属矿床北矿带应该为与陆壳同融型花岗闪长斑岩有关的斑岩型矿床。此外, 上述已提及与该期矿化有关的流体内的成矿物质来源具有壳源特征, 该期矿化的流体同时对南矿带的二次矿化起关键作用。产出在南矿带绿片岩接触带的矿体很可能是该斑岩体与在元古宙已初步发生矿化的海相基性火山岩发生交代作用下进一步矿化富集而形成。

3 矿化过程与动力学背景探讨

前人的研究工作已证实, 发育于白乃庙铜多金属矿区的白乃庙群绿片岩相变质岩系原岩为海相基性火山岩, 喷出年龄为 1 107 Ma $\pm$ 28 Ma^[12]或 1 130 Ma $\pm$ 16 Ma^[10], 属中元古界。产在华北板块北缘的白乃庙群显然同华北板块基底地层不能对比协调, 这说明该区块体为外来地体^[11], 并于中奥陶世一早志留世拼贴到华北板块北缘^[22]。前人对兴蒙造山带内古生代沉积记录研究发现, 兴蒙造山带内沉积岩碎屑锆石 Nd 模式年龄为中元古代晚期到新元古代之间; 白乃庙地区的 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 演化也有类似于兴蒙造山带内的岩浆演化特征, 暗示白乃庙地区在古地理上属于蒙古块体而与华北板块关系不大^[23]。沿着洋底裂谷喷出的基性火山岩形成白乃庙群原始的喷流沉积岩系, 并且在喷发过程中有伴随的成矿热液在岩层间穿梭往来形成最初的铜矿化, 矿化年龄约为 1 144 Ma~1 354 Ma; 成矿大概与该套海底基性火山岩同期, 最初的矿化层具有同火山喷发的似层状、透镜状等特征。

随着西伯利亚板块持续沿着东欧板块进行顺时针旋转^[24], 西伯利亚板块于早古生代逐步向南同华北板块靠拢, 导致西伯利亚板块、蒙古复杂构造单元同中国华北板块之间发生持续大规模的古生代和中

生代的挤压俯冲作用。在此期间位于蒙古洋壳内部的海相地层被拼贴到华北板块北缘,并在南北方向的构造应力的作用下发生绿片岩相变质作用,形成白乃庙群。并同时伴有温度尔庙弧构造单元的存在。在俯冲背景岛弧构造体制下,起始于壳体重融的岩浆作用造成了花岗闪长斑岩和石英闪长岩的侵位。在俯冲环境下的岛弧构造体制内,形成了白乃庙矿床北矿带的斑岩型矿床。加里东期的弧构造体制的动力背景同时对早期形成的白乃庙群中的矿化产生进一步的活化富集作用,体现在白乃庙群内发育的含矿脉体。

综上所述,白乃庙矿床南北两矿带形成于不同的构造背景和成矿机制下。南矿带最初矿化于海底基性火山岩的喷发作用,成矿机制初步定为幔源流体的二次交代富集成矿,矿化时代为中元古宙和加里东期。该矿带连同围岩在加里东期被拼贴到华北板块北缘,并在弧构造背景下发生成矿元素的活化富集作用。北矿带形成于加里东期弧构造体制下的斑岩系统,是典型的斑岩型矿床。即白乃庙铜多金属矿床在中元古代的初次矿化以幔源流体交代为主,加里东期的再次矿化以伴随斑岩形成的具有壳源性质的流体同先期矿化层或斑岩体发生作用而成。

4 结语

通过综合分析前人对区域构造演化、矿床地质的勘查、以及矿床成因方面的研究成果,本文通过分析白乃庙矿床的地质背景、矿床特征以及南北矿带的矿化时间、成矿流体来源,针对白乃庙矿床具有争议的成因问题获得以下认识:

(1)白乃庙铜多金属矿床南北成矿带具有不同的成因机制。南矿带为幔源流体的二次交代富集成矿,而非海相火山块状硫化物矿床;北矿带为斑岩型矿床。

(2)南北矿化带的矿化年龄存在差异。南矿带的矿化分为两个矿化期:中元古代(1 144~1 354 Ma之间)和晚古生代(420~450 Ma之间);北矿带的矿化发生在早古生代的加里东运动过程中。

(3)成矿物质来源南北矿带存在差异。南矿带为幔源,而北矿带以壳源重融为主。

(4)矿化过程方面,南矿带存在两个矿化期,而北矿带仅一个矿化期。南矿带初次矿化于中元古代

的海相火山地层中,在加里东期的构造运动中发生绿片岩的变质作用并被拼贴到华北板块北缘,在该期原矿化元素受到第二期的活化富集;北矿带在加里东期弧构造体制下发育的斑岩体内,由岩体内热液循环而成斑岩型矿床。

致谢:本文是在李俊建老师的悉心指导下完成的,在此表示感谢。

参考文献:

- [1] 李文博,陈衍景,赖勇,等. 内蒙古白乃庙铜金矿床的成矿时代和成矿构造背景[J]. 岩石学报, 2008, 24(4): 890-898.
- [2] 孟良义,李德伦,鲁守柱. 白乃庙金矿床成矿作用[J]. 长春地质学院学报, 1992, 22: 111-118.
- [3] 李东旭,吴淦国. 内蒙古白乃庙矿田叠生成矿构造地球化学研究[J]. 地质学报, 1987(1): 32-45.
- [4] 聂凤军,裴荣富,吴良士, Arnc Bjorlykke. 内蒙古白乃庙地区铜(金)和金矿床钨、铋和铅同位素研究[J]. 矿床地质, 1994, 13(4): 331-344.
- [5] 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.
- [6] 李进文,裴荣富,张德全. 内蒙古白乃庙铜矿成矿地质演化[J]. 矿床地质, 2002, 21(S1): 405-408.
- [7] 李文博,赖勇,孙希文,等. 内蒙古白乃庙铜金矿床流体包裹体研究[J]. 岩石学报, 2007, 23(9): 2165-2176.
- [8] Sengor A M C, Natalin B A. Paleotectonics of asia: Fragments of a synthesis[M]//Yin A, Harrison (Eds). The Tectonic Evolution of Asia. New York: Cambridge University Press. 1996: 486-641.
- [9] 聂凤军,张洪涛,陈琦,等. 内蒙古白乃庙群变质基性火山岩锆石铀-铅年龄[J]. 科学通报, 1990(13): 1012-1015.
- [10] 陈琦,邹新民. 内蒙古山带南部古板块构造演化[J]. 地质论评, 1993, 39(6): 478-483.
- [11] 聂凤军,裴荣富,吴良士. 内蒙古白乃庙地区绿片岩和花岗闪长斑岩的钨和铋同位素研究[J]. 地球学报:中国地质科学院院报, 1995(1): 36-44.
- [12] 李进文,赵士宝,黄光杰,等. 内蒙古白乃庙铜矿成因研究[J]. 地质与勘探, 2007, 43(5): 1-5.
- [13] 赵云,王建平,杨增海,等. 内蒙古白乃庙铜矿床辉钼矿铼-钨同位素定年及其地质意义[J]. 地学前缘, 2013, 20(3): 361-368.
- [14] 唐克东. 中朝板块北侧褶皱带构造演化及成矿规律[M]. 北京:北京大学出版社, 1992.
- [15] 侯万荣,聂凤军,杜安道,等. 内蒙古西沙德盖铜矿床辉钼矿 Re-Os 同位素年龄及其地质意义[J]. 矿床地质, 2010(6): 1043-1053.
- [16] Jingwen M, Zhaochong Z, Zuoheng Z, et al. Re-Os isotopic dating of molybdenites in the Xiaoliugou W (Mo) deposit in the northern Qilian mountains and its geological significance [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1999, 63(11): 1815

- 1818.
- [17] D. Huang, A. Du, C. Wu, et al. Metalochronology of molybdenum (—copper) deposits in the North China Platform; Re-Os age of molybdenite and its geological significance[J]. Mineral Depos, 1996, 15(4): 365 - 373.
- [18] H. Li, J. Mao, Y. Sun, et al. Re-Os isotopic geochronology of the Shizhuyuan polymetallic tungsten deposit, Southern Huanan[J]. Geolog Rev, 1996, 42(3): 261 - 267.
- [19] 韩吟文, 马振东. 地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 2003.
- [20] 孙丰月, 石准立. 试论幔源 C—H—O 流体与大陆板内某些地质作用[J]. 地学前缘, 1995, 2(2): 167 - 174.
- [21] Herzig P M, Hannington M D. Polymetallic massive sulfides at the modern seafloor A review[J]. Ore Geology Reviews, 1995, 10(2): 95 - 115.
- [22] 胡晓, 许传诗, 牛树银. 华北地台北缘早古生代大陆边缘演化[M]. 北京: 北京大学出版社, 1990.
- [23] 李大鹏, 陈岳龙, 王忠, 等. 内蒙古中-东部兴蒙造山带古生代沉积记录: 对物源特征及中亚造山带构造演化的指示[J]. 科学通报, 2012, 57(7): 550 - 559.
- [24] Gerel O, Munkhtsengel B, Erdenetiin Ovoo porphyry copper-molybdenum deposit in northern Mongolia[M]// Seltmann R, Gerel O, Kirwin DJ (eds). Geodynamics and Metallogeny of Mongolia with a Special Emphasis on Copper and Gold Deposits. London: Natural History Museum, 2005: 85 - 103.

Genetic discussion about the Bainaimiao copper-polymetal deposit, Inner Mongolia

ZHAO Zelin¹, LIU Lishuang¹, SONG Xuelong¹,

DANG Zhicai¹, TANG Wenlong², FU Chao²

(1. Graduate Department of Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;

2. Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources, China Geological Survey, Tianjin 300170, China)

Abstract: The paper analyzes metallogenic and geological background, geological characteristics, data of the former chronology and ore material source of Bainaimiao copper-polymetal deposit. Based on the analysis genesis of the deposit is discussed. Genetically, the ore belt in south of the deposit differs from the ore belt in the north. In the south ore belt is the secondary replacement hydrothermal deposit but in the north ore belt porphyry deposit. There are two metallogenic periods in the south belt. The first is in interval of 1 144~1 354 Ma in the Middle Proterozoic era, the second 420~450 Ma in Early Paleozoic era. Mineralization in the north belt took place during the Early Paleozoic Caledonian movement. Ore materials of the the south belt are of mantle source. Ore materials of the north belt are dominated by the remelting crustal material. The primary mineralization in the south belt occurs in the Middle Proterozoic marine volcanic strata which were exposed to green schist facies metamorphism and collaged to north margin of the north China plate and contemporal seconary activation and enrichment of ore elements of the primary mineralization took place. Mineralization in the north belt occurs in porphyry body developed undere Caledonian arc regime belonging to porphyry deposit resulted from hydrothermal fluid circulation.

Key Words: Bainaimiao copper polymetal deposit; deposit genesis; metallogenic age; ore material source; Inner Mongolia