

内蒙古白乃庙铜矿成矿地质演化

Metallogenic Geological Evolution of Bainaimiao Copper Deposit, Inner Mongolia

李进文¹ 裴荣富¹ 张德全¹ 王存贤² 卜银河³

(1 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 2 内蒙古自治区地质调查院, 内蒙古 呼和浩特 010020;

3 内蒙古自治区第四地质矿产勘查开发院, 内蒙古 集宁 012000)

Li Jinwen¹, Pei Rongfu¹, Zhang Dequan¹, Wang Cunxian², Bu Yinhe³

(1 Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2 Institute of Geological Survey of Inner Mongolia, Hohhot 010020, Inner Mongolia, China; 3 No.4 Party of Geology and Mineral Exploration and Development of Inner Mongolia, Jining 012000, Inner Mongolia, China)

摘要 白乃庙铜矿赋存于中浅变质的白乃庙组基性—中酸性海相火山岩系中, 其矿体呈似层状等顺层产出。矿床既有同生成矿特征, 又有后期热液叠加、改造标志。基于矿床地质特征和同位素测试资料, 通过对沉积、构造、岩浆以及蚀变与矿化的关系等分析, 认为该矿床的形成经历了海相火山沉积预成矿期和斑岩矿化期两个阶段, 晚志留世为成矿后变化期。矿床形成于中志留世, 属典型层控矿床。

关键词 铜矿床 成矿地质演化 层控矿床 白乃庙

白乃庙铜矿位于白乃庙—正兰旗铜铅金成矿带的西部(裴荣富等, 1998), 大地构造位置为华北板块北缘新元古代增生带。对该矿床 40 余年的勘探与研究, 取得了大量的地质资料和研究成果。然而, 对其成因尚有多种不同认识, 归纳起来大致有 4 类代表性观点: 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; ③ 海相火山沉积(变质)-热液叠加(富集)复成因矿床; ④ 北矿带属斑岩型铜矿床, 南矿带属火山岩型铜矿床。作者认为白乃庙铜矿既有沉积成矿特点, 又有热液作用叠加改造标志, 且层控特征明显, 应属层控矿床。本文试图从这方面探讨该矿床的成矿地质演化。

1 矿床地质特征

矿区出露地层主要为中元古界白乃庙组浅变质的绿片岩、长英片岩, 原岩为海相基性—中酸性火山熔岩、凝灰岩夹正常沉积碎屑岩和碳酸盐。侵入岩主要为新元古代石英闪长岩、早古生代花岗闪长斑岩及晚古生代白云母花岗岩。花岗闪长斑岩沿近 EW 向顺层断裂产出, 呈岩墙、岩枝状, 产状与围岩片理基本一致。EW 向断裂构造为区内主导控岩控矿构造; NE 向断裂对矿体主要起破坏作用。

按矿体分布位置矿床分为南、北两个矿带, 12 个矿段。南矿带由 II、III、IV、V、VI、VII、X、XI 8 个矿段组成, 赋存于白乃庙组第五岩段, 大多矿体产于绿片岩中, 在 VI、VII 矿段也有少量矿体产于花岗闪长斑岩中。矿体呈似层状、透镜状等, 产状与围岩片理一致。II 矿段见有矿体与围岩同步褶曲现象。北矿带由 VIII、IX、XII、XIII 4 个矿段组成, 赋存于第三岩段, 矿体产于花岗闪长斑岩或绿片岩中, 形态与南矿带矿体类似。产于岩体中的矿体沿走向或倾斜方向有延伸到绿片岩中的现象, 产状与围岩片理基本一致。矿体一般沿倾斜方向延深大于沿走向延长。大矿体长度超过千米, 最厚达 40 余米; 小矿体长仅仅数十米,

厚几十厘米。

矿石类型划分为绿片岩型和花岗闪长斑岩型矿石。前者呈条带状、浸染状、脉状、块状、网脉状构造，晶粒状、交代溶蚀、压碎、揉皱状结构；后者为浸染状、细脉浸染状、团块状、脉状及片状构造，晶粒状、交代、压碎结构。两者矿物特征基本相同。矿石矿物为黄铁矿、磁铁矿、辉钼矿、黄铜矿等，脉石矿物有石英、方解石、黑云母、钾长石、绢云母、白云母、绿帘石、绿泥石等。绿片岩型矿石磁铁矿含量3%，磁铁矿中铜含量0.18%；而花岗闪长斑岩型矿石磁铁矿含量0.079%，磁铁矿中铜含量0.0299%。该矿床是一个以铜为主伴生钼、金、银、硫等元素的多金属矿床，而且钼亦有独立矿体。铜、钼呈正相关关系，常相伴形成铜（钼）矿体。产于绿片岩中的矿体，一般沿厚度方向，铜在矿体顶底部的含量高于中部，呈现“沉积韵律”特征。南矿带绿片岩型矿石伴生金品位高，伴生钼品位低；北矿带花岗闪长斑岩型矿石伴生金品位低，伴生钼品位高，且单独钼矿体较多。

围岩蚀变发育，蚀变类型主要有钾长石化、黑云母化、硅化、绢云母化、绿帘石化、绿泥石化、碳酸盐化等。蚀变在空间上表现出一定的分带性。南矿带以矿体为中心向外依次为黑云母化（钾长石化）、硅化-青磐岩化，钾长石化较弱；北矿带以岩体为中心向外依次为钾长石化（黑云母化）-硅化-青磐岩化，岩体内以钾长石化发育，进入绿片岩则以黑云母化较强。铜矿化与硅化关系密切。

2 成矿作用演化历史

本区经历了陆壳裂解、洋壳扩张、洋壳俯冲消减、陆壳增生等板块构造演化阶段（邵济安，1983）。伴随着板块构造的演化，白乃庙铜矿的形成亦经历了长期而复杂的地质作用过程，具有多种、多期次成矿作用特点。

2.1 海相火山沉积预成矿期

中元古代晚期，于中元古代中期形成的古蒙古洋板块在本区北部向华北板块方向俯冲（陈琦等，1992）。在俯冲带南部发生强烈的近EW向线形海底火山喷发，形成白乃庙组CA岛弧火山岩系，其绿片岩中锆石U-Pb谱和年龄1130 Ma（仇甘霖等，1992）。火山喷发的同时将与其同源区的铜等成矿元素携带到海底，由于较高的海水压力效应，使元素不致散失，而沉积于一定范围的火山岩中，形成星散状、条带状、条纹状贫矿石，成为后期热液叠加改造成矿的基岩—初始矿源层。

成矿受特定的火山喷发旋回控制，第三、五基性岩段铜丰度高于酸性岩段，且同岩段内铜亦呈一定规律分布。铜含量在第三岩段为 110×10^{-6} ，第五岩段 144×10^{-6} ，后者是前者的1.31倍，可能是造成南矿带矿化好于北矿带的主要原因之一。黄铁矿分布范围相对较广，磁铁矿在岩石中含量较高。

2.2 斑岩矿化期

由于古蒙古洋板块向南强烈俯冲，本区在近南北向挤压构造体制下，白乃庙组地层褶皱变形，发生绿片岩一角闪岩相变质，岩石强烈片理化。矿化层也随围岩发生同步褶曲。一般来讲，当岩石遭受变质作用时，岩石或矿物中的K-Ar同位素体系和Rb-Sr同位素体系会发生不同程度的破坏，其年龄仅能代表成岩期后热事件发生的时间。白乃庙组K-Ar同位素年龄为434、458、581 Ma，Rb-Sr同位素年龄427.24 Ma（王东方，1983）。可见，白乃庙组发生变质变形的时间应为早古生代。

白乃庙矿区南部的中志留统徐尼乌苏组是一套复理石建造（胡晓等，1990），为沉积断陷形成（薛林福等，1992），仅分布于白乃庙—谷那乌苏一带，北部与白乃庙组呈断层接触，南部亦被断裂所限。岩石已经变质，原岩主要由砾岩、浊积砂岩、泥（页）岩及碳酸岩组成。本组可分为3个旋回，每个旋回均以砾岩开始，向上粒度变细转为浊积岩，并以粗—细浊积岩为主体夹深水泥（页）岩和碳酸岩。这种沉积序列明显为断陷槽沉积组合。根据古水流方向研究，判断该槽盆呈EW向展布（薛林福等，1992）。谷那乌苏一带，该组下部夹有5~20 m厚的安山岩和英安岩，为钙碱质岩石（ $\sigma = 3.19\%$ ， $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 5.4\% \sim 8.2\%$ ， $\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$ ）。从更大区域范围来看，包括白乃庙地区大部在内的整个内蒙造山带南部缺失早志留世地层，标志着一次区域性的隆升（陈琦等，1992）。因此，中志留世时期，本区在总体区域性隆升背景

下局部派生了SN向拉伸，并因此形成了徐尼乌苏组断陷沉积记录。

与成矿关系密切的花岗闪长斑岩锆石U-Pb同位素年龄为 419、446、507 和 694 Ma，Sm-Nd同位素等时线年龄（ 440 ± 40 ）Ma（聂凤军等，1995）。花岗岩类的区域对比显示，440 Ma左右的侵位年龄对该花岗闪长斑岩较为可信（周和平等），而这一年龄值恰于中志留世时间接近。花岗闪长斑岩亦为钙碱质岩石，其 $\sigma = 2.27\%$ ， $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 5.30\% \sim 7.07\%$ ， $\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$ ，可与徐尼乌苏组下部的安山质火山岩作简单对比。加之顺层间断裂侵位的事实。因此，有理由认为，发生于中志留世局部的南北向拉张作用导致了构造薄弱的近EW向先成片理化带产生顺层张裂。一方面，诱发深部岩浆被动侵位形成花岗闪长斑岩；另一方面，形成层间裂隙带，为含矿流体的输运提供了通道，也成为含矿流体卸载的空间。花岗闪长斑岩铜含量 236.3×10^{-6} 、钼含量 10.32×10^{-6} ，分别高出同类岩石维诺格拉多夫值（1962）11 和 9 倍。说明岩浆本身携带了大量的成矿元素。

岩浆沿张裂上升，由于温度、压力遽然降低，岩浆迅速冷却结晶形成花岗闪长斑岩，大量热液从岩浆体系分凝出来，岩浆中的铜、钼等成矿元素亦大量进入流体相。矿体含黄铜矿脉石英包裹体测试资料表明，成矿阶段的温度为 $260 \sim 310^\circ\text{C}$ ，流体以富钙及挥发分氯、二氧化碳为特征，钾不是很高。根据矿石矿物共生组合主要为黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿和石英，分析含矿热液也是富含硅的。从蚀变特征推测，从岩浆中分出来的早阶段，热液也是富钾的。首先，从岩浆中分出的温度较高的富硅、钾、氯和二氧化碳的含矿热液（ 310°C 以上）在（北矿带）岩体内部交代发生钾长石化；与（南矿带）外接触带的绿片岩反应主要产生黑云母化。实验证实^①，含残斑阳起斜长片岩在氯化钾溶液中加热浸泡，可浸出大量铜、钼等元素。因此，热液与绿片岩发生水-岩交换反应可使绿片岩中的铜、钼等元素活化，大量进入热液中，使热液中矿质浓度不断提高。随着交代作用的进行，热液中的钾大幅度减少，系统趋于酸性，并有地下水参与进来（孟良义等，1992）。在热液温度降到 $260 \sim 310^\circ\text{C}$ 范围，开始发生强烈的硅化并沿裂隙交代、充填形成石英网脉、细脉和团块。含矿热液进入裂隙会导致减压降温；而随着硅化作用的进行，含矿热液系统渐趋弱碱性（pH值 $6 \sim 8$ ，大多偏碱性），钙明显增多。这些因素均不利于铜、钼等成矿元素迁移，而有利于其沉淀。致使矿质在硅化发生阶段大量析出，在岩体内形成细脉浸染状和团块状等矿化；在外接触带对绿片岩中的初始矿源层叠加改造，出现晚期黄铜矿脉切穿早期顺层黄铜矿脉、含黄铜矿石英脉充填于岩层挠曲部位的裂隙等现象。由于北矿带的大部分处于岩体之内接触带，而南矿带为外接触带。所以，北矿带高温成矿元素钼的含量高于南矿带，而低温成矿元素金的含量低于南矿带。可以想象，含矿热液在输运过程中，随着远离岩体，温度必定下降较快，易较早进入硅化阶段使矿质析出，而裂隙系统的存在有利于热液的快速迁移进行补充。因此，远离岩体的部位矿化可好于岩体内极其附近。南矿带除VI、VII两矿段外，即使 $700 \sim 800$ m 深度也未见岩体，推测深部应该有隐伏岩体存在（孟良义等，1992）。这也许是南矿带矿化好于北矿带的另一个原因。较为广泛的绿帘石化、绿泥石化和碳酸岩化与矿化关系不密切，为成矿后蚀变。

2.3 晚志留世成矿后变化期

晚志留世的构造运动在矿区北部形成了上志留统西别河组类磨石建造。此次构造运动造成了徐尼乌苏组地层和花岗闪长斑岩变质变形，矿体中的金属矿物发生压碎、挠曲、揉皱、交代溶蚀等现象。黄铁矿普遍拉长，由立方体变为扁平的透镜体，并具有明显的优选方位，ab面平行片理大致呈EW向定向排列（李东旭等，1987）。石英产生变形、波状消光等现象。花岗闪长斑岩Rb-Sr同位素 386 Ma（王东方，1983）的年龄即为此阶段构造-热事件的反映。

3 讨论与结论

（1）对于浅成、超浅成的中酸性（斑）岩体来说，岩浆中水的含量是很有限的（ $< 3\%$ ），含矿的中酸性（斑）岩体中水的含量一般为 $1\% \sim 2\%$ （陈文明，2002）。因此，斑岩矿化及蚀变的规模也就值得思

① 韩杰. 1987. 内蒙古自治区四子王旗白乃庙铜矿床地质特征及成矿规律研究. 18.

考。一般认为,不同变质级的变质和变形中均有流体作用,区域变质中,流体/岩石的(体积)比值在1:1~4:1者不少见(游振东等,2001)。经计算,白乃庙组变质岩含水量约为2.80%。因此,区内绿片岩一角闪岩相变质作用可从岩石中析出大量变质热液。流体包裹体分析表明,本区变质热液以富氯、二氧化碳为特征,钾含量也较高。所以,变质热液在析出和沿片理化带运移过程中,能够使围岩中呈分散状态的铜、钼等成矿元素浸出、活化并随热液迁移。尤其在区内发生拉张作用花岗闪长斑岩侵入时,所形成的张裂可为矿质堆积提供空间;岩浆作用提供热源,可增加变质热液的活动性,使成矿元素更易活化。所以,变质热液参与成矿的可能性也是不能被排除的。

(2) 志留纪区内局部发生拉张作用的时间与沿层间断裂侵位的花岗闪长斑岩的同位素年龄接近,说明拉张作用是控制成矿的构造因素。

(3) 由于初始矿源层矿质丰度的差异以及斑岩成矿阶段所处接触带位置的不同、构造以及热液活动的特点等,以致南矿带铜矿化好于北矿带,且前者伴生金高,后者伴生钼高。

(4) 白乃庙铜矿南、北矿带具有统一的成矿地质演化历程,均经历了中元古代晚期海相火山沉积预成矿期和中志留世斑岩矿化期,晚志留世的构造运动造成了花岗闪长斑岩变质以及矿体中矿物的变形。所以,白乃庙铜矿应形成于中志留世。其层控特征明显,应属层控矿床。

参 考 文 献

- 陈琦,仇甘霖,杜玉申,等.1992.白乃庙—温都尔庙区域构造及华北北缘古板块构造演化.长春地质学院学报,(22):119~129.
- 陈文明.2002.论斑岩铜矿的成因.现代地质,16(1):1~8.
- 仇甘霖,杜玉申.1992.对白乃庙群的再认识.长春地质学院学报,(22):1~10.
- 胡晓,许传诗,牛树银.1990.华北地台北缘早古生代大陆边缘演化.北京:北京大学出版社.29~34.
- 李东旭,吴淦国.1987.内蒙古白乃庙矿田叠生成矿构造地球化学研究.地质学报,(1):32~45.
- 孟良义,李德伦,鲁守柱.1992.白乃庙铜矿成矿模式.长春地质学院学报,(22):99~107.
- 聂风军,裴荣富,吴良士.1995.内蒙古白乃庙地区绿片岩和花岗闪长斑岩的钨和铀同位素研究.地球学报,(1):36~44.
- 裴荣富,吕凤翔,范继章,等.1998.华北地块北缘及其北侧金属矿床成矿系列与勘查.北京:地质出版社.93~94.
- 邵济安.1983.内蒙古中部早古生代蛇绿岩及其在恢复地壳演化历史中的意义.见:中国北方板块构造文集(第1集).北京:地质出版社.158~172.
- 王东方.1983.内蒙古白乃庙古生代岛弧岩系的地球化学及同位素年龄测定.见:中国北方板块构造文集(第1集).北京:地质出版社.209~220.
- 薛林福,刘德深.1992.内蒙造山带南部古生代两次引张段陷的沉积记录.长春地质学院学报,(22):38~47.
- 游振东,钟增球,周汉文.2001.区域变质作用中的流体.地学前缘,8(3):157~164.
- 周和平,聂风军,薛林福,等.1992.白银都西群、白乃庙群和白银都西—白乃庙地体.长春地质学院学报,(22):17~29.