

河北省木吉村铜(钼)矿床构造控矿分析

陈超¹, 牛树银¹, 马宝军¹, 张福祥¹, 孙爱群¹, 王宝德¹, 张建珍¹, 马国玺², 陈志宽²

(1. 石家庄经济学院资源学院, 河北石家庄 050031; 2. 河北省保定地质工程勘察院, 河北保定 071051)

[摘要]河北省木吉村铜(钼)矿位于阜平慢枝构造的北段, 涞源哑铃状杂岩体连接处西侧拆离带上盘的次级断陷盆地中, 是太行山北段一大型铜(钼)金银多金属矿床。在成矿地质背景的基础上, 本研究依据最新勘探成果, 重点分析了矿区构造控矿作用, 探讨了构造控矿模式, 得出矿床受侵位于断陷盆地中的闪长玢岩体及其与之相关的断裂构造体系和强烈围岩蚀变带所控制, 木吉村斑岩型铜(钼)矿-浮图峪等矽卡岩型铁、铜矿-合儿沟等热液脉型铅锌银矿共同构成了三位一体的多金属矿床, 具典型的系列成矿特征。

[关键词]慢枝构造 成矿作用 构造控矿 控矿模式 木吉村铜(钼)矿床 河北涞源

[中图分类号]P618 **[文献标识码]**A **[文章编号]**0495-5331(2013)05-0861-11

Chen Chao, Niu Shu-yin, Ma Bao-jun, Zhang Fu-xiang, Sun Ai-qun, Wang Bao-de, Zhang Jian-zhen, Ma Guo-xi, Chen Zhi-kuan. An analysis on ore-controlling structures of the Mujicun Cu (- Mo) deposit in Hebei Province[J]. *Geology and Exploration*, 2013, 49(5): 861-871.

0 引言

河北省木吉村铜(钼)矿位于太行山北段涞源县, 是河北省正在勘探的大型铜(钼)矿之一, 它发现于20世纪60~70年代, 1980年代开展了普查工作, 达到中型规模。近年来配合深部找矿工作, 发现矿床成矿母岩为次火山闪长玢岩, 铜钼矿化主要受钾质蚀变带及矽卡岩带控制。现已查明铜资源量达大型, 钼资源量达中型, 伴生金达大型, 伴生银达中型, 伴生硫达大型。矿床边界尚未控制, 外围找矿潜力仍很巨大。此外, 在木吉村铜(钼)矿的外围还展布有鸽子岭、小立沟、铁岭、浮图峪、茅儿峪、东沟等中、小型铁铜矿(见图1), 南侧还有大湾大型锌钼矿, 区域外围的安妥岭、野狐、龙门斑岩型(铜)钼矿均有大型矿床的远景, 显示了很好的找矿潜力。在如此小的范围内巨量堆积成矿, 究竟受什么区域构造、矿田构造控制? 这显然值得深入解析。由于木吉村(铜)钼矿勘探程度较高, 很有必要对该矿的控矿构造进行典型解剖, 总结规律, 建立模式, 进而指

导太行山北段类似矿床的找矿评价, 指导区域地质找矿工作, 以实现找矿的重大突破。

1 区域构造地质背景

木吉村铜(钼)矿床位于太行山脉北段, 是NNE向展布的中生代构造-岩浆-多金属成矿带内的重要组成部分。区域出露地层主要为中间核部中新太古界中高级变质片麻岩系, 两侧总体依次主要为中新元古界、下古生界的碳酸盐系地层, 其次为中、新生界地层。岩体主要有中生代中酸性侵入岩, 如大河南岩体、王安镇岩体。构造发育NNE向紫荆关断裂带北枝上黄旗-乌龙沟断裂、近等间距的北东和北西向韧性剪切带(断裂), 控制着区域上的金属矿床空间分布。

在区域构造上, 木吉村铜(钼)矿位于太行山北段阜平慢枝构造的北东倾伏端, 涞源哑铃状杂岩体连接处西侧拆离带上部次级断陷盆地中。该区经历了三个大的发展演化阶段: 华北地块形成发展阶段(Ar-Pt₁)、华北地台稳定造陆阶段(Pt₂-Pz)、慢枝

[收稿日期]2012-08-30; [修订日期]2013-03-20; [责任编辑]郝情情。

[基金项目]国家自然科学基金(40872137)、危机矿山项目(20109901、20089948)、我国典型金属矿科学基地研究(200911007)和河北省自然科学基金(D2013403018)资助。

[第一作者]陈超(1981年—), 男, 2013年毕业于中国地质大学(北京), 获博士学位, 讲师, 主要从事构造地质学与构造控矿的教学与科研工作。E-mail: goldce@163.com。

构造活动阶段(Mz-Kz)。基底中上太古界阜平群、五台群片麻岩被剥蚀裸露,盖层中上元古界和古生界碳酸盐岩、碎屑岩、中生界陆相火山岩以及碎屑岩则正断拆离(牛树银等,1994;章百明等,1996),使该区一改十余亿年的稳定地体阶段,进入了地幔热柱演化阶段,构成了差异显著的盆岭构造体系,在太行山中段形成了阜平幔枝构造,同时引发了区域性的构造运动、岩浆活动、变质作用和成矿作用(滕吉文等,1997;杨文采等,2007;牛树银等,2002,2010;Niu *et al.*,2004),有人称其为“岩浆大爆发、成矿大爆发”,大爆发成矿是在地质历史演化中的短时期内,于某些洲际性或区域性地质构造单元中部分成矿元素大面积高强度超常聚集成矿,往往发生于出现特殊事件的构造环境之中(毛景文等,1999,2003)。

矿田构造则主要受阜平幔枝构造北东倾伏端西侧断裂(拆离构造带)的控制。在区域上由于轴部韧性剪切带的深切,使深部熔融的中-酸性岩浆上侵,形成王安镇杂岩体和司各庄杂岩体,两杂岩体呈哑铃状相连接,也有研究者将两者统称为涞源杂岩体。由于重力均衡作用,岩体并带动变质围岩一起隆升,外围盖层则发生大幅度的正向拆离滑脱。拆离带的上盘形成了一系列正向断陷盆地。裸露岩浆-变质杂岩、外围拆离盖层以及夹于其间的主、次拆离滑脱带一起构成阜平幔枝构造的组成单元。

木吉村铜(钼)矿就位于涞源杂岩体哑铃状连接处的西侧,处于主拆离带上盘盖层断陷盆地之中,具体主要受浮图峪-木吉村次级断陷盆地控制,盆地中尚残留有寒武-奥陶系碎屑岩-碳酸盐岩,拆离带和盖层中的断裂构造与岩浆活动共同控制着木吉村铜(钼)矿的形成与空间展布。

2 矿床地质特征

矿区内地层主要有太古宇五台群片麻岩、中上元古界、下古生界碳酸岩及碎屑岩、中生界火山岩。岩体主要为燕山期涞源中酸性杂岩体,分布在矿区北、东、南三面,岩石类型主要有黑云母石英闪长岩、花岗闪长岩、斑状花岗闪长岩、粗粒斑状花岗岩、钾长花岗岩、二长斑岩和闪长玢岩,其中闪长玢岩体是主要赋矿岩体。区内断裂构造很发育,其中NNE向F₄断裂是主要的控岩控矿构造(图1)。

木吉村铜(钼)矿田目前控制矿体南北长

1.5km,东西宽400~800m之间,埋深在200~1200m,矿带南东侧深部尚未控制。矿床探明铜资源量已经达到大型,共、伴生金、银、硫为大型,钼为中型。铜钼矿为斑岩型,如果与紧邻的相关矿种综合起来考虑,则可构成斑岩型铜(钼)-矽卡岩型铁铜-热液脉型铅锌等三位一体的铜多金属矿田(表1)。它们之间有着密切成因关系,是一个典型的成矿系列。

3 控矿构造研究

木吉村铜(钼)矿田规模大,矿种较多,主要发育有斑岩型铜钼矿床(木吉村)、矽卡岩型铜铁矿床(铁岭、东沟、浮图峪等)与热液叠加矽卡岩型铜(铁)矿床(小立沟、浮图峪、鸽子岭)、热液脉型铅锌矿床(合儿沟),已圈定矿体260余个,分布于闪长玢岩体及其相关的构造-矽卡岩带中,总体呈带状沿主要构造线展布(图1)。木吉村矿田之所以能成为矿集区,主要源于较为有利的构造部位(位于阜平幔枝构造北东倾伏端的西缘主拆离带之上,乌龙沟-上黄旗韧性剪切(深断裂)带的西侧),处于涞源杂岩体“哑铃状”腰部,这里恰恰是北北东向乌龙沟-上黄旗韧性剪切带与近东西向浮图峪-王安镇-紫荆关断裂交汇处,所以有着特殊的控矿地质条件,而且在诸成矿条件中,断裂构造最为重要,是主要的成岩控矿构造,其次是强烈的岩浆活动,而地层的展布较为凌乱,往往受断裂和岩浆活动的影响。按照成矿系列的观点分析(陈毓川,1994;陈毓川等,2006;翟裕生等,2008a,2008b),其深部和外围仍有很大的找矿潜力,因此,典型矿田构造的解剖具有重要的理论意义和实践指导意义。

3.1 矿床构造特征

木吉村铜(钼)矿田,受浮图峪-木吉村断陷、木吉村闪长玢岩体及其外围强烈的围岩蚀变带控制,区内构造以断裂构造、古火山构造为主。断裂构造很发育,有NNE、NE、NEE、近SN、NW向等多组,其中NNE、NE向断裂与区域上的乌龙沟-上黄旗断裂体系一致,是矿区内最发育的断裂,大多数断裂倾角比较陡,一般在50~80°,具多次活动历史。由于区内强烈的断裂活动,致使地层被改造的支离破碎,展布凌乱,同时控制着闪长玢岩体的侵入,总体上看,为一小型断陷盆地(图3-A)。

矿田主要控岩(矿)构造为F₄断裂,该断裂位于矿区中部小立沟-磨石沟一带,为浮图峪-木吉村中生代火山断陷盆地的“边缘断裂”,长5~6km,

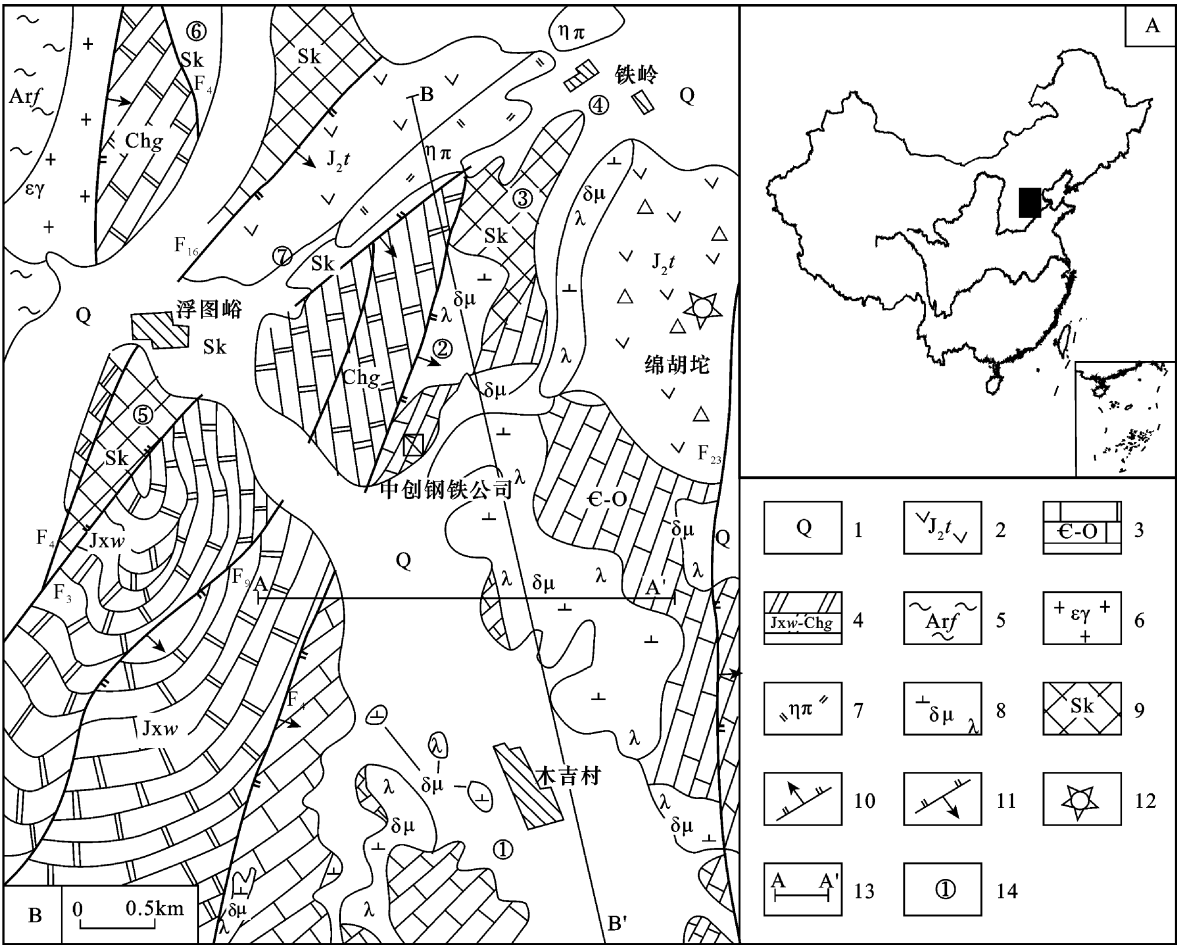


图 1 木吉村矿田地地质简图(据马国玺,1997 修改)

Fig. 1 Geological sketch of the Mujicun ore field in Hebei Province (modified from Ma, 1997)

A - 阜平幔枝构造位置图;B - 木吉村矿田地地质简图:1 - 第四系;2 - 侏罗系髻髻山组安山岩;3 - 寒武-奥陶系灰岩;4 - 长城系-蓟县系白云岩;5 - 太古界五台群片麻岩;6 - 钾长花岗岩;7 - 二长斑岩;8 - 闪长玢岩;9 - 砂卡岩;10 - 正断层;11 - 逆断层;12 - 古火山口;13 - 剖面线;14 - 矿床(段):① - 木吉村铜钼矿;② - 鸽子岭铁铜矿;③ - 小立沟铁铜矿;④ - 铁岭铁铜矿;⑤ - 浮图峪铁铜矿;⑥ - 茅儿峪铁铜矿;⑦ - 东沟铁铜矿

A - location map of Fuping mantle branch structure; B - geological sketch of the Mujicun ore field:1 - Quaternary; 2 - andesite of Jurassic Tiaojishan Formation; 3 - Cambrian - Ordovician limestone; 4 - Changcheng - Jixian System dolomite; 5 - gneiss of Archean Wutai Group; 6 - moyite; 7 - monzonite porphyry; 8 - diorite porphyrite; 9 - skarn; 10 - normal fault; 11 - inverse fault; 12 - paleo - crater; 13 - lines of section; 14 - ore deposit (segment): ① - Mujicun copper (molybdenum) deposit; ② - Geziling iron - copper deposit; ③ - Xiaoligou iron - copper deposit; ④ - Tieling iron - copper deposit; ⑤ - Futuyu iron - copper deposit; ⑥ - Maoyu Fe - Cu deposit; ⑦ - Donggou iron - copper deposit

走向 NNE,倾向 SE,倾角 $50^{\circ} \sim 70^{\circ}$,向深部变缓,具有铲状特征。由于 F_3 、 F_{16} 等断层切割, F_4 断层斜向被错断为三部分。区内木吉村、鸽子岭、小立沟、浮图峪、茅儿峪等矿床(段)均受其控制。图 2 中 F_4 断裂结构面联合剖面位于中创钢铁公司-鸽子岭一带,可见断层上盘主要为盖层寒武-奥陶系灰岩、侏罗系火山岩(可见闪长玢岩紧沿断层面及上盘侵

入),下盘为中元古界白云岩。断层破碎带发育,带宽 $1 \sim 3\text{m}$ 不等,由断层角砾、构造透镜体、断层泥等构造岩组成,其中构造角砾多为断裂两侧的灰质白云岩和鲕状灰岩,总体棱角明显,表明其经历张扭作用,而局部地段也有破碎强烈的构造部位,岩石强烈破碎,有一定程度的磨圆,甚至发育有断层泥,说明在张扭性构造角砾岩的基础上,局部叠加有压扭

表 1 木吉村铜钼多金属矿田矿床地质特征

Table 1 Geological characteristics of deposits in the Mujicun copper – molybdenum polymetallic ore field

序号	矿床名称	矿床类型	地理位置	矿化部位	蚀变类型	矿体、矿石特征
1	木吉村铜钼矿	上部:斑岩型铜钼矿	木吉村一带	闪长玢岩体内	钾化、硅化、绢云母化、青磐岩化	矿体走向 NNE,倾向 SE,倾角 20°~30°左右,矿体形态多为厚大不规则透镜体。上部矿带控制矿体南北长 900 余米,东西宽 180~790m,厚度 18.39~343.51m,平均厚度 218.41m;下部矿带控制长度 400m,宽度 460~700m,厚度 67.4~393m,平均厚度 247.82m。
		闪长玢岩体内和其与围岩接触带		钾化、硅化、绢云母化、青磐岩化、矽卡岩化	矿石类型主要为铜矿、铜钼矿、钼矿三种,金属矿物有黄铜矿、黄铁矿、辉钼矿、辉银矿等。非金属矿物主要有石英、绢云母、钾长石、斜长石等。矿石呈细粒结构,细脉浸染状构造。主要成矿元素为 Cu、Mo,分别主要富集于黄铜矿和辉钼矿之中,共伴生有 Au、Ag、S、Fe、Zn 等,平均品位 Cu 为 0.26~0.49×10 ⁻² 、Mo 为 0.038~0.142×10 ⁻² 。铜资源量 98.11 万 t,钼资源量 3.13 万 t,伴生矿远景资源量金 20t,银 447.91t,硫 1164 万 t。	
2	铁岭铜铁矿	矽卡岩型(铜)铁矿	鸽子岭-铁岭一带	闪长玢岩与碳酸盐岩接触矽卡岩部位	钙(镁)矽卡岩化	矿体主要受断裂和裂隙构造控制,多呈似层状、脉状、透镜状、瘤状,矿体分枝复合、膨缩相间明显,长度一般 100~500m,宽 50~360m,厚数米至数十米不等。矿体走向一般 10°~40°,多向 SE 倾斜。总体上,“绿化”矽卡岩型镜铁黄铜矿伏于钙(镁)矽卡岩型含铜磁铁矿之下,沿 F ₄ 断裂带产出。
3	东沟铜铁矿				绿泥石化、绿帘石化、矽卡岩化	矿石类型主要为磁铁矿石、磁铁-黄铜矿石、镜铁-黄铜矿石、镜铁矿石、黄铜矿石。具晶粒状、交代等结构,条带状、团块状、浸染状等构造。金属矿物主要为磁铁矿、镜铁矿、黄铜矿、黄铁矿、自然铜、斑铜矿、闪锌矿,少量方铅矿等,脉石矿物有透闪石、透辉石、石榴石、蛇纹石、绿帘石、绿泥石、石英、方解石、滑石、阳起石等。主要有用组份为铁和铜,伴生有用组份为金、银、钴、硫等,Fe 品位主要为 18.89~34.98×10 ⁻² ,Cu 品位主要为 0.64~2.43×10 ⁻² 。
4	浮图峪铁、铜矿	热液叠加、矽卡岩型铜、铁矿	浮图峪-茅儿峪一带			
5	茅儿峪铁、铜矿					
6	小立沟铁铜矿	热液叠加矽卡岩型铜(铁)矿	鸽子岭-小立沟一带			
7	鸽子岭铁铜矿					
8	合儿沟铅锌矿	热液脉型铅锌矿	矿区西部合儿沟一带	碳酸盐围岩构造破碎带中	碳酸岩化	矿体多受断裂构造控制,分布于长 2.4km,宽 20~100m 的矿化带中,呈脉状、囊状,走向 NE-SN,倾向 SE,倾角 45°~80°,经初步工程控制,矿体厚度为 5.12~10.25m,以 Pb 为主,Pb 平均品位为 1.15%~2.62%。
9	顾家沟铅锌矿	热液脉型铅锌矿	矿区东南部顾家沟处			矿体分布于长 3km、宽 600m 的断裂构造带中,初步圈定矿体 7 个,矿体呈囊状、脉状,长 40~170m,厚 1.25~2.8m,平均 2.02m。Pb 品位最高 11.09%,平均 6.05%;Zn 品位最高 12.68%,平均 6.85%。

性构造活动,使构造角砾岩局部复杂化,甚至可见断裂面附近岩体劈理化,上述说明 F_4 断裂多期次活动特征。

古火山构造位于矿区东侧绵胡坨一带,火山口范围 600m^2 ,属爆发型火山构造,环状、放射状裂隙不发育,以绵胡坨高顶火山口为中心,火山口及附近为集块(熔)岩、角砾(熔)岩,周围环以具韵律层的火山碎屑岩,零星分布有安山玢岩等次火山岩和隐爆角砾岩。古火山构造受后期断层(F_{23})破坏,区内矿产多与之相关,属燕山早期髻髻山旋迴产物。

3.2 围岩蚀变特征

木吉村铜(钼)矿床受闪长玢岩侵入和含矿热液活动的影响,蚀变发育,根据其蚀变类型及矿物组合主要可分为岩体内、外两个蚀变带(图 4-Ⅱ、表 2):其中内蚀变带发育强硅化、钾化、硅化、青磐岩化及泥化等面型蚀变,具有典型斑岩热液蚀变带特征。其中钾化与斑岩型铜(钼)矿化关系最密切。外蚀变带主要发育于闪长玢岩与围岩接触带,及外围构造裂隙中。从接触带向外主要分为矽卡岩带、大理岩带、碳酸岩化带,属热液交代蚀变带。

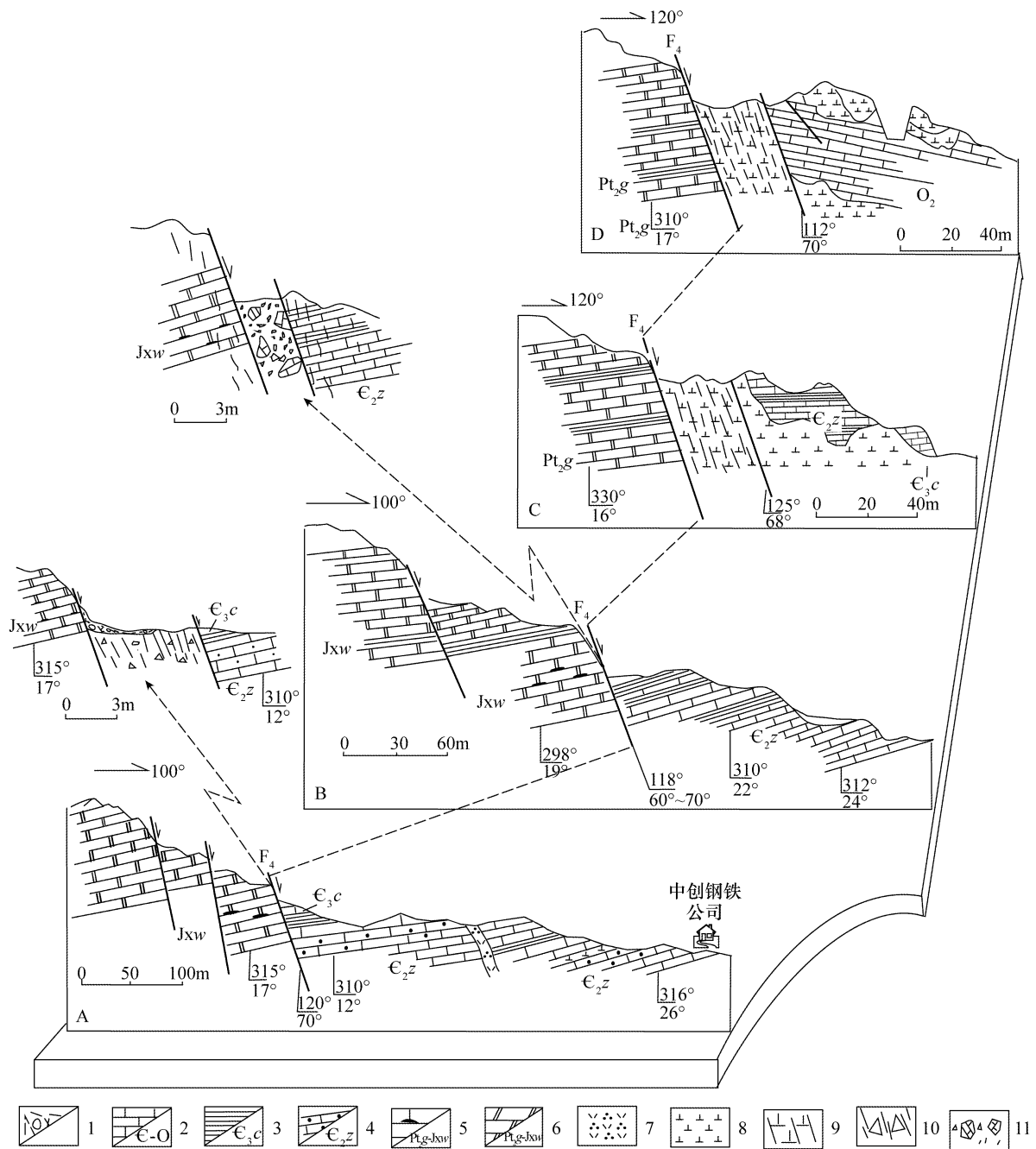


图 2 木吉村断陷西缘 F_4 断裂结构面联合剖面图

Fig. 2 Comprehensive sections of F_4 fracture in the western margin of the Mujicun faulted sag

1 - 第四系; 2 - 寒武-奥陶系灰岩; 3 - 寒武系长山组页岩; 4 - 寒武系张夏组鲕状灰岩; 5 - 长城系-蓟县系硅质条带(团块)白云岩; 6 - 长城系-蓟县系白云岩; 7 - 钠长石英斑岩; 8 - 闪长岩; 9 - 劈理化闪长岩; 10 - 片理化构造角砾岩; 11 - 构造角砾岩
1 - Quaternary; 2 - Cambrian - Ordovician limestone; 3 - Cambrian Changshan Formation shale; 4 - Cambrian Zhangxia Formation oolitic limestone; 5 - Changcheng - Jixian System siliceous bands (mass) dolomite; 6 - Changcheng - Jixian System dolomite; 7 - quartz porphyry; 8 - diorite; 9 - cleaved diorite; 10 - schistositized structural breccia; 11 - structural breccia

表 2 木吉村矿区围岩蚀变带及矿物组合特征

Table 2 Characteristics of rock alteration zones and mineral assemblages in the Mujicun mining area

岩石	闪长玢岩(内带)					碳酸盐岩围岩(外接)	
蚀变带	强硅化带 (Qn)	钾化带(Kf)		石英-绢云母化带 (Q-Ser)	青磐岩化带 (Pro)	钙质矽卡岩带 (Sk)	镁质矽卡岩带 (Sk)
		钾长石-石膏亚带 (Kf-Gy)	黑云母亚带 (Bio)				
由内向外	内————→外						
蚀变矿物	石英、 钾长石	钾长石、硬石膏、 石英、水云母等	石英、黑云母、 绢云母、水云母等	绢云母、白云母、 钠长石、石英、 高岭石	绿帘石、绿泥石、 钠长石、石英、 碳酸盐矿物	石榴石、透辉石、 绿帘石、蛇纹石、 绿泥石、方解石	透辉石、透闪石、 蛇纹石、滑石、 绿泥石、方解石、 (硬石膏)
主要矿化	少量钼- 铜矿化	铜-钼矿化	铜-钼矿化	黄铁-黄铜矿化	黄铁矿化	铁铜-锌矿化	铁铜-锌矿化
金属矿物	少量黄铁矿、 黄铜矿、 辉钼矿	黄铁矿、黄铜矿、 辉钼矿	黄铁矿、黄铜矿、 辉钼矿	黄铁矿、黄铜矿	黄铁矿	黄铜矿、黄铁矿、 磁铁矿、镜铁矿、 闪锌矿	黄铜矿、黄铁矿、 磁铁矿、闪锌矿、 (方铅矿)

内带斑岩铜钼矿化受热液蚀变系统(子系统)控制,从早到晚,由高温到低温可划分为钾质交代(钾化)和酸性淋滤(硅化、青磐岩化)两个成矿阶段,钾质交代阶段是铜钼矿的主要成矿阶段。外带铁铜多金属矿化受接触交代系统控制,可划分为两个成矿期(矽卡岩期、热液期),五个成矿阶段(矽卡岩阶段、磁铁矿阶段、镜铁矿阶段、石英-方解石-硫化物阶段、碳酸岩阶段)。矽卡岩期成矿组合为黄铜矿-磁铁矿,以铁为主,主要形成于磁铁矿阶段,与透辉石化相伴;热液期成矿组合为镜铁-黄铜矿,以铜为主,主要形成于石英-方解石-硫化物阶段,与青磐岩化相伴(马国玺,1997)。

3.3 构造控岩控矿分析

在木吉村矿田集中形成了斑岩型铜(钼)矿-矽卡岩型铁铜矿-热液型铅锌矿为一体的成矿系列,主要得益于该区具有良好的控岩控矿构造条件。从时间上来说,该区经历了漫长的地质发展演化史,燕山期以前漫长的地壳演化为燕山期构造活动(幔枝构造演化阶段)奠定了一定的基础,或者说燕山期活动利用和改造了以往的软弱构造面,成为中生代重要的控岩控矿构造。从空间上讲,矿田地处阜平幔枝构造北端,涞源杂岩体“亚铃状”腰部的西侧。从构造层次上看,属于幔枝构造西缘滑脱构造带上盘的次级断陷盆地中。这些构造时空特征,既利于岩体的侵位,又有利于含矿热液的迁移和赋存。

区域 NNE 和 NW 向断裂交汇活动,使深部熔融的中-酸性岩浆呈脉动式多期次上侵,形成了多期次侵入冷凝结晶的涞源杂岩体,同时也沟通了深部

矿源。而矿区闪长玢岩体是古火山构造的组成部分,受 NNE 向断裂(F_4)及层间裂隙破碎带控制,它总体形态呈“蘑菇状”,是主要赋矿岩体。岩体北自铁岭南至磨石沟,西起 F_4 断层,东到顾家沟村,地表出露面积约 1.5km^2 。呈“舌状顶盖”展布,呈岩枝、岩床状迭层产出,一般厚度 $150\sim 200\text{m}$,”蘑菇柄”长轴近 SN 向,东西两壁陡立,南北向长度大于 800m (南北两界未控制),东西宽约为 400m ,呈扁筒状隐伏于木吉村古河床之下(图 3)。

区内构造主要为断裂构造,大致控制了木吉村断陷盆地的演化边界,其中东西边界分别由 NNE 向黄土岗-银坊断裂和铁岭-白石山断裂控制,北部为王安镇杂岩体(或者说以浮图峪-王安镇断裂)为界,南部则终止于矿田南部的杨家庄隆起。而在木吉村断陷盆地内部,NNE 向、SN 向、近 WE 向,NNW 向断裂均很发育,多数断裂均有多次活动的历史,有的被脉岩充填。其中以 NNW 向断裂最为发育,大致沿着古河床展布,是木吉村铜矿田主要的控矿构造。归纳起来,木吉村成矿集中区位于阜平幔枝构造 NE 倾伏端西缘主拆离带上盘,区域构造主要受阜平幔枝构造 NE 倾伏端及其轴部韧性剪切(深断裂)带控制中深成侵入岩体构造的控制,矿带构造主要受两条 NNE 向黄土岗-银坊断裂和铁岭-白石山断裂控制,矿田构造主要受木吉村断陷盆地控制,矿床构造主要为 NNE 和 NNW 向断裂系,不仅控制矿体围岩蚀变,甚至到矿石显微组构也能发现裂隙-破碎型金属硫化物。

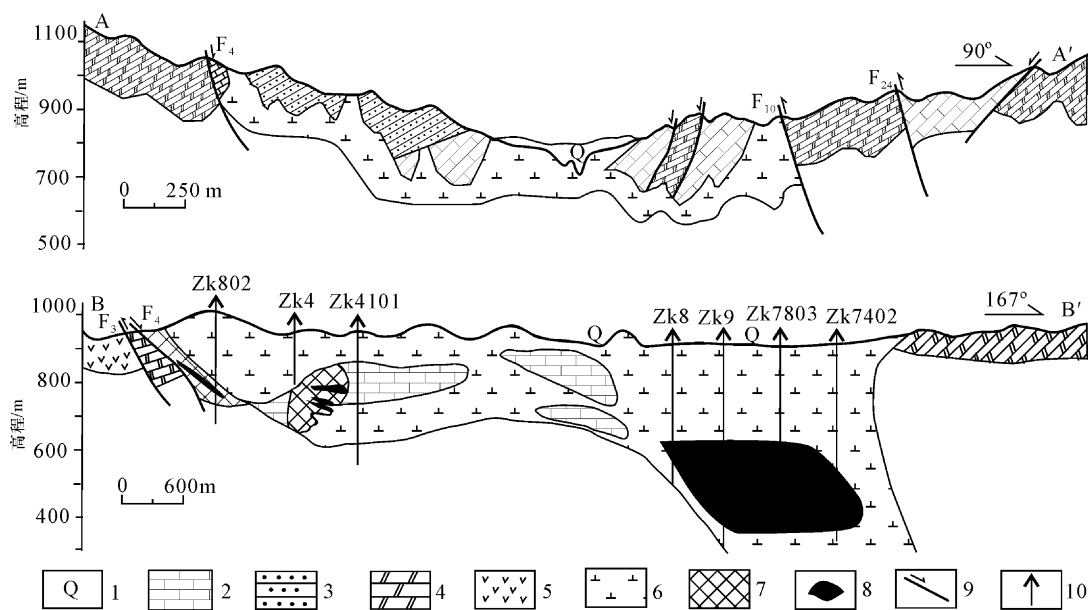


图3 木吉村铜(钼)矿区横-纵剖面图

Fig. 3 Transverse (upper) and longitudinal (lower) profiles of the Mujicun copper (molybdenum) deposit

1 - 第四系; 2 - 灰岩; 3 - 砂岩; 4 - 白云岩; 5 - 安山岩; 6 - 闪长玢岩; 7 - 砂卡岩带; 8 - 铜(钼)矿体; 9 - 断层; 10 - 钻孔

1 - Quaternary; 2 - limestone; 3 - sandstone; 4 - dolomite; 5 - andesite; 6 - diorite porphyrite; 7 - skarn;

8 - copper(molybdenum) orebodies; 9 - fault; 10 - drill hole

4 成矿作用探讨

成矿作用复杂而控制因素众多,历来是矿床学研究的重点课题,特别是成矿物质来源问题更是百家争鸣,有人认为成矿物质主要萃取自含矿围岩,更多的学者(Maruyama, 1994; Górczyk *et al.*, 2007; Meriaux *et al.*, 2011)认为主要来源于深部,认为地幔热柱活动是地壳运动的主要动力机制,也是板块构造运动的驱动机制,成矿物质可以通过地幔热柱多级演化而来自核幔源(牛树银, 2002, 2010; 王登红, 1998; Sun *et al.*, 2006; Wang *et al.*, 2010),并在特殊的大地构造环境和较为特殊的构造扩容带中卸载成矿,形成规模巨大的矿聚区或大型-超大型矿床(毛景文等, 2010)。

成矿模式是对矿床的地质特征、成矿条件、形成环境及其成因机制的高度综合和概括,亦历来是研究者力求揭示(探索)成矿过程的假说(或模拟)。木吉村铜(钼)矿是迄今为止在太行山北段发现和勘查的储量最大的铜多金属矿床,很值得加以系统总结,建立模式,借以指导深部和外围地质找矿。

4.1 成矿地质时代

区内蚀变、矿化与古火山机构相伴,与次火山相闪长玢岩有密切的成因联系。闪长玢岩全岩铷锶等

时线年龄为170Ma(马国玺, 1997)。研究表明其成矿年龄接近于成岩年龄,约为中侏罗世。

4.2 成矿物质来源

现阶段成矿物质来源的探讨主要还是依赖于同位素地球化学的研究,本次项目组主要针对木吉村矿田铜钼矿石硫化物及石英等单矿物同位素进行取样测定(样品数据皆由中国地质科学院矿产资源研究所测定, 2012),综合研究表明成矿物质主要来自于地球深部,成矿溶液具有以岩浆水为主,并混入大气降水的混合水的特点。

(1) 硫同位素:通过对木吉村铜矿(10件)、茅儿峪铁铜矿(2件)、鸽子岭铁铜矿(2件)矿石黄铁矿、黄铜矿以及石膏硫化物进行测定,其 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化范围为 $-3.5\text{‰} \sim 14.2\text{‰}$,平均值为 2.25‰ ,主要金属硫化物 $\delta^{34}\text{S} = -3.5 \sim 2\text{‰}$ 。结合太行山科研队(1993)本区50件硫同位素数据,综合统计、分析表明,其中斑岩型铜钼矿床硫化物 $\delta^{34}\text{S} = 0.4\text{‰} \sim 2.6\text{‰}$,砂卡岩铁、铜矿床硫化物 $\delta^{34}\text{S} = -3.3\text{‰} \sim 1.6\text{‰}$,热液叠加铜(铁)矿床硫化物 $\delta^{34}\text{S} = -1.3\text{‰} \sim 3.2\text{‰}$,外带热液型铅锌矿 $\delta^{34}\text{S} = -16\text{‰}$,总体属于深源岩浆硫特征,晚期可能有部分沉积硫加入。且矿田硫同位素具有 $\delta^{34}\text{S}_{\text{辉钼矿}} 1.8\text{‰} > \delta^{34}\text{S}_{\text{黄铁矿}} 1.32\text{‰} > \delta^{34}\text{S}_{\text{黄铜矿}} 0.393\text{‰} > \delta^{34}\text{S}_{\text{方铅矿}} -16\text{‰}$ 变化规

律,表明区内硫同位素已基本达到平衡。

(2) 铅同位素:通过对矿田矿石硫化物(黄铁矿、方铅矿、黄铜矿、辉钼矿)和闪长玢岩共计 20 件样品铅同位素取样测试: $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.566 \sim 17.072$, 平均 16.691; $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.031 \sim 15.525$, 平均 15.284; $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 26.292 \sim 37.375$, 平均 36.947。将各矿床硫化物铅同位素投点于(Doe 和 Zartman, 1981)演化图上,除个别数据落于造山带演化线外,其余各矿床矿石的硫化物铅、闪长玢岩岩石铅均属地幔与下地壳铅演化线之间,说明成岩成矿物质源自深部,与硫同位素标示的信息一致。

(3) 氢、氧同位素:通过对木吉村铜钼矿床钾化、硅化、矽卡岩化各矿化带中石英和磁铁矿(共 8 件样品)进行氢、氧同位素测定, δD 值为 $-139\text{‰} \sim -89.0\text{‰}$, 平均值为 -109.86‰ , $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值为 $-0.72\text{‰} \sim 7.7\text{‰}$, 平均值为 2.3‰ 。将 8 件样品数据 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 和 δD 值投入 $\delta\text{D} - \delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 坐标图上(Taylor, 1974),投影点落点为原生岩浆水的左下方,且偏离大气水,表明矿区的成矿溶液具有以岩浆水为主并混入大气降水的混合水的特点。

4.3 控矿构造模式

木吉村矿床(田)是一个典型的斑岩型铜(钼)矿-矽卡岩型铁铜矿-热液型铅锌银矿三位一体的成矿系列,根据其区域地质背景,成矿地质作用,矿床地质特征,并参考地球物理、地球化学特征,可构建从区域控岩控矿模式→矿田成矿控矿模式→矿床成矿控矿模式三级系列演化模式图(图 4)。

4.3.1 区域控矿模式

由于强烈的燕山运动,太行山隆起加剧,乌龙沟深断裂复活,受其影响,加之断裂的深切释荷作用,导致下地壳形成含幔源物质的辉长、闪长质岩浆房,在构造应力作用下,沿深断裂带上侵至中地壳低速高导层中。由于中基性岩浆的热烘烤作用及其同化混染作用,而形成中酸性岩浆呈接力式上侵,并沿多组构造交汇部位形成诸如王安镇、司各庄等规模很大的区域性杂岩体。大规模杂岩体的重力不足导致其带动外围的变质杂岩一起发生快速隆升作用,上部盖层则发生大幅度拆离滑脱,以致形成典型的幔枝构造,木吉村矿田就位于阜平幔枝构造的北东倾伏端位置。

浮图峪-木吉村断陷就是阜平幔枝构造西侧上盘拆离层基础上形成的区域性断陷盆地,盆地中发生了强烈的火山喷发,形成了本区一定范围的安山质火山岩建造。在火山喷发期后(或间歇期),受深

断裂及层间构造滑脱带的控制,发生了较小范围的次火山岩侵位,在木吉村一带形成“蘑菇状”、“舌状”闪长玢岩体,与此同时,由于火山的喷发和浅成-超浅成岩浆的侵入,导致上部发生热断陷作用,形成了浮图峪-木吉村次级断陷盆地(图 4 I)。

4.3.2 矿田控矿模式

岩浆持续不断的活动,不仅形成了区域性杂岩体,以及矿田范围的闪长玢岩岩体,与深部岩浆房保持沟通的韧性剪切(断裂)带及其火山机构,成为了深部含矿流体的主要通道,多次大规模溢流的含矿气体对闪长玢岩体及其围岩进行强烈交代蚀变,形成了以闪长玢岩为中心,以岩浆水为主,有天水逐渐加入的蚀变-矿化体系。受斑岩型热液蚀变系统(子体系)控制,在“岩柄”的钾质蚀变带形成细脉浸染型铜钼矿体;而在“岩柄”与“岩盖”过渡部位的硅化-青磐岩化蚀变带形成脉状硫铁矿体;受接触交代系统(子体系)控制,在“岩体”接触带及层间构造系形成含铜磁铁矿体(矽卡岩期);受青磐岩化热液叠加(子体系)控制,主要沿层间裂隙及盆地边缘断裂带(F_4)形成镜铁-黄铜矿体;在矿区外围形成“远温”热液脉状铅锌矿体(化)。矿床以闪长玢岩为中心,由内向外,形成了斑岩型铜(钼)矿-矽卡岩型铁铜、热液叠加矽卡岩型铜(镜铁)矿-热液脉型铅锌(银)矿“三位一体”铜(钼)多金属矿田(图 4 II)。

4.3.3 矿床控矿模式

在斑岩型铜(钼)矿-矽卡岩型铁铜矿-热液脉型铅锌矿系列中,以斑岩型铜(钼)矿规模最大,空间上位于矿田的中部,且走向上、倾向上均很稳定,垂向上厚度也相当厚大,构成了品位不高但矿体连续,规模巨大的铜(钼)矿床。

斑岩型铜(钼)矿体为全隐伏矿体,埋深标高在 550 ~ -650m 范围,受闪长玢岩体控制,空间上呈“舌状”倾伏于浮图峪-木吉村断陷盆地之下;横剖面上,呈上、下偏对称展布。中心部位为厚度达 150 ~ 200m 厚的强烈硅化核,强硅化核上部矿带为一斑岩型铜钼共生矿体,其中钼(铜)矿段主要分布在下亚带钾长石-石膏蚀变带中,铜(钼)矿体主要产于上亚带黑云母蚀变带中;强硅化核下部矿带由斑岩型钼矿和矽卡岩型铜矿组成,斑岩型钼矿富集在强硅化核下部钾质蚀变带中,而矽卡岩型铜矿则发育于更下部的矽卡岩带中。换句话说,也即环绕矿田中部的强硅化核的上下近侧为钼矿体为主,而上下的远侧则以铜矿为主,总体具有上下偏对称型展布特征(图 4 III)。

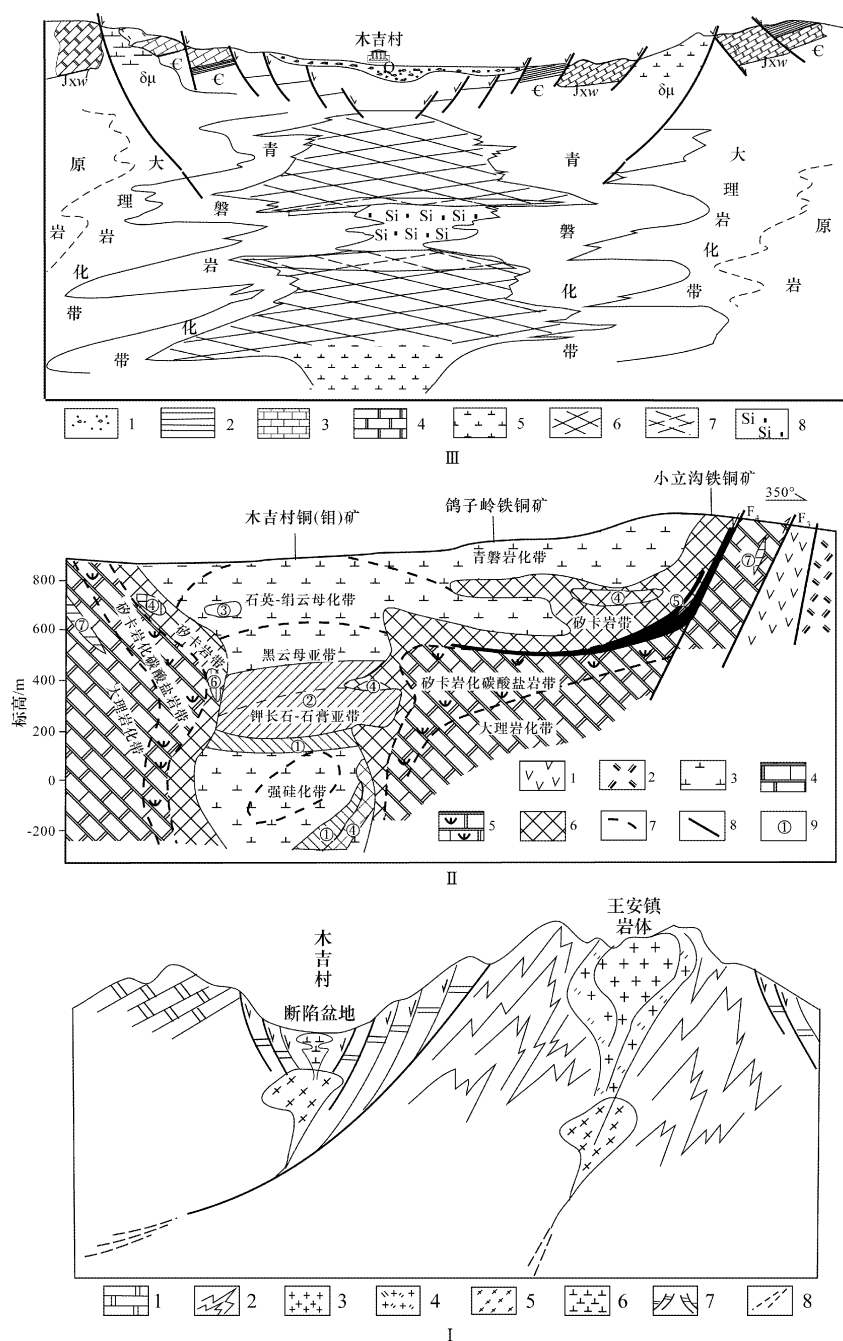


图4 木吉村地区区域控矿-矿田控矿-矿床控矿构造演化模式图

Fig. 4 Model of structural evolution related with ore-controlling of the region, ore field and deposit in in Mujicun area

I - 区域控矿模式图: 1 - 上覆盖层; 2 - 基底变质岩系; 3 - 燕山期花岗岩类; 4 - 燕山期二长花岗岩类; 5 - 辉长岩类; 6 - 闪长玢岩; 7 - 断陷盆地; 8 - 韧性剪切带; II - 矿田成矿模式图: 1 - 安山岩; 2 - 二长斑岩; 3 - 蚀变闪长玢岩; 4 - 大理化碳酸盐岩; 5 - 蛇纹石化碳酸盐岩; 6 - 矽卡岩; 7 - 蚀变带界线; 8 - 断层; 9 - 矿床类型: ① - 斑岩钼(铜)矿; ② - 斑岩铜(钼)矿; ③ - 斑岩硫铁矿; ④ - 矽卡岩含铜磁铁矿; ⑤ - 热液叠加矽卡岩型镜铁-黄铜矿; ⑥ - 矽卡岩锌矿; ⑦ - 热液铅锌矿; III - 矿床成矿模式图: 1 - 第四系; 2 - 页岩; 3 - 灰岩; 4 - 白云岩; 5 - 闪长玢岩; 6 - 铜矿化; 7 - 钼矿化; 8 - 强烈硅化核

I - A regional ore-controlling model: 1 - overlying cap rock; 2 - basement metamorphic rock; 3 - Yanshanian granite; 4 - Yanshanian monzonitic granite; 5 - gabbro; 6 - diorite porphyrite; 7 - faulted basin; 8 - ductile shear zone; II - A metallogenic model for the ore field: 1 - andesite; 2 - monzonite porphyry; 3 - altered diorite porphyrite; 4 - marbleization carbonate; 5 - serpentized carbonate; 6 - skarn; 7 - alteration zone boundary; 8 - fault; 9 - the types of deposits: ① - porphyry molybdenum (copper) deposit; ② - porphyry copper (molybdenum) deposit; ③ - porphyry pyrite deposit; ④ - skarn Cu-bearing magnetite deposit; ⑤ - superimposed hydrothermal skarn mirror iron-chalcocopyrite deposit; ⑥ - skarn zinc deposit; ⑦ - hydrothermal lead-zinc deposit; III - Map showing the evolution model of ore-controlling structure in deposit: 1 - Quaternary; 2 - shale; 3 - limestone; 4 - dolomite; 5 - diorite porphyrite; 6 - copper mineralization; 7 - molybdenum mineralization; 8 - inner zone of strong silicification

5 结论

河北省木吉村铜(钼)矿床为典型的斑岩型-矽卡岩型矿床,受侵位于断陷盆地中的闪长玢岩体及其与之相关的断裂构造体系和强烈围岩蚀变带所控制,具有木吉村斑岩型铜(钼)矿-浮图峪等矽卡岩型铁、铜矿-合儿沟等热液脉型铅锌银矿“三位一体”的成矿系列特征。木吉村矿田之所以能成为矿集区,主要源于该区位于阜平幔枝构造北东倾伏端的北北东向乌龙沟-上黄旗韧性剪切带和近东西向浮图峪-王安镇-紫荆关断裂交汇处这一较为有利的区域构造部位。强烈的燕山运动,特别是北北东向乌龙沟-上黄旗韧性剪切带的深切,导致区域王安镇岩体侵位。岩体上侵的同时,上部盖层则发生大幅度拆离滑脱,以至于在盖层形成浮图峪-木吉村断陷。由于构造活动的多期次性,断陷盆地早期强烈火山喷发形成一定范围的安山质火山岩建造,晚期发育次火山岩侵位,在木吉村一带形成闪长玢岩体,大规模期后深部含矿气液流体沿着早期构造薄弱带及火山机构多期次对闪长玢岩体及其围岩进行强烈交代蚀变,形成了以闪长玢岩为中心,以岩浆水为主,有天水逐渐加入的蚀变-矿化体系。因此,加强控矿构造研究,总结规律,对建立成矿模式,指导找矿等方面具有重要作用。

[注释]

- ① 太行山科研队. 1993. 太行山构造岩带对金属矿的控制研究[R].

[References]

- Chen Yu-chuan. 1994. Metallogenic series of ore deposits[J]. *Earth Science Frontiers*, 1(1-2):90-93 (in Chinese with English abstract)
- Chen Yu-chuan, Pei Rong-fu, Wang Deng-hong. 2006. On minerogenetic (Metallogenetic) series: Third discussion[J]. *Acta Geologica Sinica*, 80(10):1501-1508 (in Chinese with English abstract)
- Gorczyk W, Gerya T V, Connolly J A D, Yuen D A. 2007. Growth and mixing dynamics of mantle wedge plumes[J]. *Geology*, 35(7):587-590
- Hua Ren-min, Mao Jing-wen. 1999. A preliminary discussion on the mesozoic metallogenic explosion in east China[J]. *Mineral Deposits*, 18(4):300-308 (in Chinese with English abstract)
- Ma Guo-xi. 1997. Geological characteristics and metallogenic model of copper deposit at Muji village of Laiyuan county, Hebei province[J]. *Jour Geol & Min Res North China*, 12(1):52-66 (in Chinese with English abstract)
- Mao Jing-wen, Hua Ren-min, Li Xiao-bo. 1999. A preliminary study of large-scale metallogenesis and large clusters of mineral deposits[J]. *Mineral Deposits*, 18(4):291-299 (in Chinese with English abstract)
- Mao Jing-wen, Li Xiao-feng, Zhang Zuo-heng, Wang Yi-tian, Li Hou-min, Hu Hua-bin. 2003. Geology, distribution, types and tectonic settings of Mesozoic epithermal gold deposits in East China[J]. *Geological Journal of China Universities*, 9(4):620-634 (in Chinese with English abstract)
- Mao Jing-wen, Zhang Jian-dong, Guo Chun-li. 2010. Porphyry Cu, epithermal Ag-Pb-Zn, distal hydrothermal Au deposits: A new model of mineral deposit—Taking the Dexing area as an example[J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 32(1):1-14 (in Chinese with English abstract)
- Maruyama S. 1994. Plume tectonics[J]. *J. Geol. Soc. Japan*, 100(1):24-49
- Meriaux C A, Mansour J A, Moresi L N, Kerr R C, May D A. 2011. On the rise of strongly tilted mantle plume tails[J]. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 184(1-2):63-79
- Niu Shu-yin, Chen Lu, Xu Chuan-shi. 1994. Crustal Evolution and Metallogeny in the Taihang Mountains [M]. Beijing: Seismological Press:1-203 (in Chinese)
- Niu Shu-yin, Li Hong-yang, Sun Ai-qun, Wang Bao-de, Xu Chuan-shi, Xie Ru-bin, Yang Zhi-hong, Bi Fu-ke. 2002. Mantle Branch Structure Theory and Exploration Practice [M]. Beijing: Seismological Press:1-243 (in Chinese with English abstract)
- Niu Shu-yin, Sun Ai-qun, Ma Bao-jun, Zhang Jian-zhen, Mao Jing-wen, Li Hou-min, Wang Bao-de, Chen Chao. 2010. Characteristics and evolution of the mantle plume in eastern North China[J]. *Geology in China*, 37(4):931-942 (in Chinese with English abstract)
- Niu Shu-yin, Sun Ai-qun, Li Hong-yang, Hou Quan-lin, Song Li-jun, Wang Bao-de, Xu Chuan-shi. 2004. Mantle/Crust eco-environmental effects as exemplified by Zhangjiakou-West Beijing Region[J]. *Chinese Journal of Geochemistry*, 23(1):1-14
- Sun Ai-qun, Hu Hua-bin, Niu Shu-yin, Mao Jing-wen, Wang Bao-de, Li Ying-ping, Wang Lai-ming. 2006. Characteristics of mantle branch structure in western Shandong and its roles in minerogenesis and ore-controlling[J]. *Chinese Journal of Geochemistry*, 25(4):340-353
- Taylor H P. 1974. The application of oxygen and hydrogen isotope studies to problems of hydrothermal alteration and ore deposition[J]. *Econ. Geol.*, 69:843-883
- Teng Ji-wen, Zhang Zhong-jie, Zhang Bing-ming, Yang Ding-hui, Wan Zhi-chao, Zhang Hui. 1997. Geophysical fields and background of exceptional structure for deep latent mantle plume in Bohai sea[J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 40(4):468-480 (in Chinese with English abstract)
- Wang Deng-hong. 1998. Mantle plume and its mineralization [M]. Beijing: Geological Publishing House:1-160 (in Chinese with English abstract)
- Wang Bao-de, Niu Shu-yin, Sun Ai-qun, Liu Ya-ming, Xie Yan, Jiang Xiao-ping, Zhao Yong-li, Gao Yin-cang, Zhao Fu-wang. 2010. Temporal-spatial distribution and ore-forming material source of gold, copper and silver polymetallic ore deposits in the Fuping mantle structure zone[J]. *Chinese Journal of Geochemistry*, 29(3):

270-277

- Yang Wen-cai, Zhang Xie-min, Yu Chang-qing. 2007. Upper mantle crack zones in the eastern part of North China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 81(10):1305-1313 (in Chinese with English abstract)
- Zartman R E, Doe B R. 1981. Plumbtectonics-The mode [J]. *Tectonophysics*, 75:135-162
- Zhai Yu-sheng, Wang Jian-ping, Deng Jun, Peng Run-min, Liu Jia-jun. 2008a. Temporal-Spatial Evolution of Metallogenic Systems and Its Significance to Mineral Exploration[J]. *Geoscience*, 22(2):143-150 (in Chinese with English abstract)
- Zhai Yu-sheng, Peng Run-min, Chen Cong-xi, Cai Ke-qin. 2008b. Genesis and structure of major metallogenic series of China [M]. Beijing: Geological Publishing House:1-173 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Bai-ming, Zhao Guo-liang, Ma Guo-xi, Bi Fu-ke. 1996. The metallogenic series and metallogenic model of main metallogenic belt in Hebei province [M]. Beijing: Petroleum Industry Press: 1-238 (in Chinese)
- [附中文参考文献]
- 陈毓川. 1994. 矿床的成矿系列[J]. *地学前缘*, 1(1-2):90-93
- 陈毓川, 裴荣富, 王登红. 2006. 三论矿床的成矿系列问题[J]. *地质学报*, 80(10):1501-1508
- 华仁民, 毛景文. 1999. 试论中国东部中生代成矿大爆发[J]. *矿床地质*, 18(4):300-308
- 马国玺. 1997. 河北省涞源县木吉村铜矿地质特征及成矿模式[J]. *华北地质矿产杂志*, 12(1):52-66
- 毛景文, 华仁民, 李晓波. 1999. 浅议大规模成矿作用与大型矿集区[J]. *矿床地质*, 18(4):291-299
- 毛景文, 李晓峰, 张作衡, 王义天, 李厚民, 胡华斌. 2003. 中国东部中生代浅成热液金矿的类型、特征及其地球动力学背景[J]. *高校地质学报*, 9(4):620-634
- 毛景文, 张建东, 郭春丽. 2010. 斑岩铜矿-浅成低温热液银铅锌-远接触带热液金矿床模型: 一个新的矿床模型——以德兴地区为例[J]. *地球科学与环境学报*, 32(1):1-14
- 牛树银, 陈路, 许传诗. 1994. 太行山区地壳演化及成矿规律[M]. 北京:地震出版社:1-203
- 牛树银, 李红阳, 孙爱群, 王宝德, 许传诗, 谢汝斌, 杨志宏, 毕伏科. 2002. 幔枝构造理论与找矿实践[M]. 北京:地震出版社:1-243
- 牛树银, 孙爱群, 马宝军, 张建珍, 毛景文, 李厚民, 王宝德, 陈超. 2010. 华北东部地幔热柱的特征与演化[J]. *中国地质*, 37(4):931-942
- 滕吉文, 张中杰, 张秉铭, 杨顶辉, 万志超, 张慧. 1997. 渤海地球物理场与深部潜在地幔热柱的异常构造背景[J]. *地球物理学报*, 40(4):468-480
- 王登红. 1998. 地幔柱及其成矿作用[M]. 北京:地质出版社:1-160
- 杨文采, 张学民, 于常青. 2007. 华北东部上地幔破裂带[J]. *地质学报*, 81(10):1305-1313
- 翟裕生, 王建平, 邓军, 彭润民, 刘家军. 2008a. 成矿系统时空演化及其找矿意义[J]. *现代地质*, 22(2):143-150
- 翟裕生, 彭润民, 陈从喜, 蔡克勤. 2008b. 中国重要成矿系列的形成机制和结构特征[M]. 北京:地质出版社:1-173
- 章百明, 赵国良, 马国玺, 毕伏科. 1996. 河北省主要成矿区带矿床成矿系列及成矿模式[M]. 北京:石油工业出版社:1-238

An Analysis on Ore-Controlling Structures of the Mujicun Cu (- Mo) Deposit in Hebei Province

CHEN Chao¹, NIU Shu-yin¹, MA Bao-jun¹, ZHANG Fu-xiang¹, SUN Ai-qun¹, WANG Bao-de¹,
ZHANG Jian-zhen¹, MA Guo-xi², CHEN Zhi-kuan²

(1. College of Resources, Shijiazhuang University of Economics, Shijiazhuang, Hebei 050031;

2. Baoding Institute of Geological Engineering and Exploration of Hebei Province, Baoding, Hebei 071051)

Abstract: The Mujicun copper (molybdenum) deposit is a large copper (molybdenum)-gold and silver polymetallic ore field in the northern Taihang Mountains, which is located in a secondary faulted basin in the upper wall of the detachment zone on the west of the Laiyuan complex rock body with a dumbbell shape, the northern section of Fuping mantle branch structure. This paper analyzes the rock-controlling function and ore-controlling model of the structures in this area based on the metallogenic geological background and latest exploration results. It is concluded that the deposit was controlled by diorite-porphyrite bodies, which intruded in the faulted basin, and its related fracture tectonic system as well as strong wall rock alteration zones. The Mujicun porphyry copper (molybdenum) deposits, skarn iron-copper deposits (such as Futuyu), and hydrothermal vein Lead-zinc-silver polymetallic deposits (such as He'ergou) jointly constituted a large polymetallic ore field with typical characteristics of serial mineralization.

Key words: mantle branch structure, metallogenesis, ore-controlling structure, ore-controlling model, Mujicun Cu (- Mo) deposit, Laiyuan county in Hebei province