



编号: 0258-7106(2010)06-1101-12

# 木吉村铜(钼)矿床地质特征

马国玺\* 陈志宽 陈立景\*\* 马晓凤 马金虎 提云生 窦玉峰

(河北省保定地质工程勘查院, 河北 保定 071051)

**摘要** 河北省涞源县木吉村铜(钼)矿床目前已探明为一大型斑岩型铜(钼)矽卡岩型铁铜-热液脉型铅锌银“三位一体”多金属矿床。作者结合最新勘查成果,对该矿床的成矿地质背景、矿床地质特征进行了总结,探讨了该矿床的成因和成矿模式。研究表明,木吉村铜(钼)矿床位于山西断隆与燕山台褶带的过渡地带,乌龙沟-上黄旗深断裂带中。该矿床的主要控矿构造为 $F_4$ 断裂,成矿母岩闪长玢岩与古火山构造关系密切。该矿床具有典型的面型蚀变分带及矿化分带。其矿床成因主要为斑岩-矽卡岩型高(中)温热液矿床,以“多位一体”和多阶段成矿为特点。

**关键词** 地质学;成矿地质背景;矿床特征;矿床成因;成矿模式;木吉村铜(钼)矿;涞源

中图分类号: P618.41; P618.65

文献标志码: A

## Geological characteristics of Mujicun copper (molybdenum) deposit

MA GuoXi, CHEN ZhiKuan, CHEN LiJing, MA XiaoFeng, MA JinHu, TI YunSheng and DOU YuFeng  
(Baoding Institute of Geological Engineering and Exploration of Hebei Province, Baoding 071051, Hebei, China)

### Abstract

The Mujicun copper (molybdenum) deposit in Laiyuan County of Hebei Province is a proved large-size porphyry copper (molybdenum)-skarn iron copper-hydrothermal lead-zinc-silver polymetallic deposit. In combination with the latest survey results of its metallogenic geological background, the authors studied the genesis and metallogenic model of this ore deposit. It is shown that the Mujicun copper (molybdenum) deposit is located in the transitional zone between the Shanxi faulted dome and the Yanshan platform fold belt, within the Wulonggou-Shanghuangqi deep fault. The main ore-controlling structure is  $F_4$ , and the parent rock diorite porphyrite is closely related to the paleo-volcanic structure. The ore deposit has typical planar alteration zoning and mineralization zoning, and is genetically of porphyry-skarn high (medium)-temperature hydrothermal fluid type, characterized by “multi-type integration” and multi-stage mineralization.

**Key words:** geology, metallogenic geological background, ore deposit characteristics, ore genesis, metallogenic model, Mujicun copper (molybdenum) deposit, Laiyuan County

河北省涞源县木吉村铜(钼)矿床发现于20世纪60~70年代,80年代对其开展了普查工作,探明铜资源量达中型规模。2002年立项开展详查工作,迄今已查明其铜资源量达大型,钼资源量达中型,矿

床边界尚未控制。因此,深入研究该矿床的成矿地质条件,探讨其成因及成矿规律,建立其成矿模式,对今后在其他地区寻找和评价此类矿床具有重要意义。

\* 第一作者简介 马国玺,男,1954年生,教授级高工,长期从事地质找矿与矿床学研究工作。

\*\* 通讯作者简介 陈立景,女,1973年生,高级工程师,从事地质找矿与矿床研究。Email: ufohelen@163.com

收稿日期 2010-01-25;改回日期 2010-06-24。许德焕编辑。

# 1 成矿地质背景

木吉村(钨、钼)矿床位于太行山北段山西断隆与燕山台褶带的过渡地带,乌龙沟-上黄旗深断裂带中(图1)。该地区经历了地槽(Ar-Pt<sub>1</sub>)地台(Pt<sub>2</sub>-Pz)

大陆边缘活动带(Mz-Kz)3个大地构造演化阶段。其基底主要由中-上太古界阜平群、五台群片麻岩组成,盖层主要由中-上元古界和古生界碳酸盐岩、碎屑岩组成。中生界主要为陆相火山岩和碎屑岩。

## 1.1 地层

该地区内的地层因遭受断裂切割和岩浆岩侵

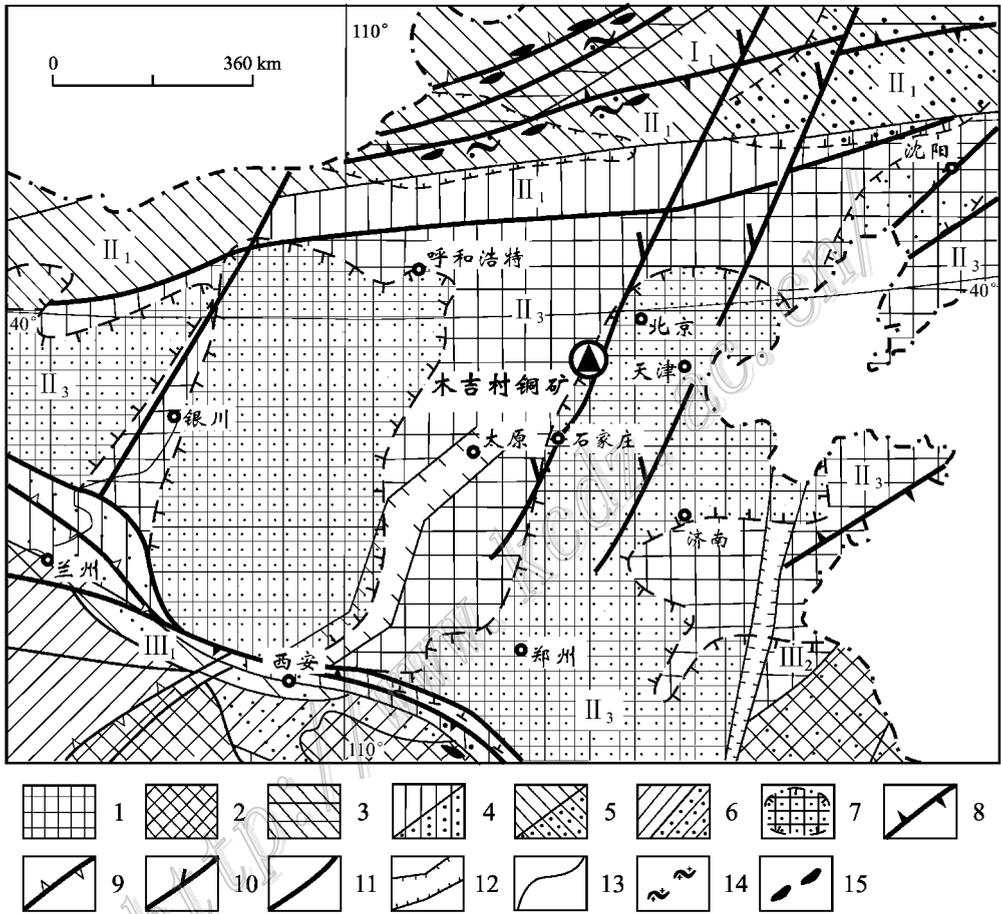


图1 木吉村地区大地构造图(据程裕淇等,1994)

1—早元古代末(吕梁期)固结;2—中-晚元古代末(四堡期、晋宁期)固结;3—晚元古代末(晋宁期)或稍晚固结;4—加里东期褶皱带(上为陆缘型,下为裂谷或裂陷型);5—海西期褶皱带(上为陆缘型,下为裂谷或裂陷型);6—印支期褶皱带(上为陆缘型,下为裂谷或裂陷型);7—中-新生代陆相盆地;8—板块结合带;9—地壳拼接带;10—转换、走滑断裂带;11—断裂带;12—中-新生代裂谷或裂陷槽;13—次级构造单元界线;14—蓝闪石片岩;15—蛇绿混杂岩;I<sub>1</sub>—准噶尔-兴安活动带;II<sub>1</sub>—天山-赤峰活动带;II<sub>3</sub>—华北陆块;III<sub>1</sub>—昆仑-秦岭活动带(南带);III<sub>2</sub>—扬子陆块

Fig. 1 Simplified geotectonic map of the Mujicun area (after Cheng et al., 1994)

1—Early Proterozoic terminal (Luliang Period) consolidation; 2—Meso-Late Proterozoic terminal (Sibao Period and Jinning Period) consolidation; 3—Late Proterozoic terminal (Jinning Period) consolidation; 4—Caledonian fold belt (upper part is pericontinental type and lower part is rift valley or aulacogen type); 5—Hercynian fold belt (upper part is pericontinental type and lower part is rift valley or aulacogen type); 6—Indo-Sinian fold belt (upper part is pericontinental type and lower part is rift valley or aulacogen type); 7—Meso-Cenozoic continental basin; 8—Plate junction; 9—Crustal assemblage zone; 10—Transform, strike-slip fracture zone; 11—Fracture zone; 12—Meso-Cenozoic rift valley or aulacogen; 13—Boundary of tectonic sub-unit; 14—Glauco-phane schist; 15—Ophiolite mélange; I<sub>1</sub>—Junggar-Hinggan activity belt; II<sub>1</sub>—Tianshan-Chifeng activity belt; II<sub>3</sub>—North China block; III<sub>1</sub>—Kunlun-Qinling activity belt (south belt); III<sub>2</sub>—Yangtze block

入,多呈断块状分布(图2),主要有太古界五台群片麻岩、中-上元古界和下古生界碳酸盐岩及碎屑岩、中生界火山岩。中元古界与下伏的太古界为不整合接触。下古生界及中-上元古界碳酸盐岩是主要的赋矿围岩。

### 1.2 构造

该地区内的构造以断裂构造、古火山构造为主(图2)。

断裂构造有NNE向、NE向、NEE向、近SN向、NW向等多组,以NNE向、NE向的乌龙沟断裂系为主,大多具多次活动的历史。主要控矿(岩)断裂为F<sub>4</sub>。

F<sub>4</sub>断裂位于该矿区中部小立沟-磨石沟一带,长5~6 km,断距超过2 km,走向NNE,倾向南东,倾角50~70°,向深部变缓。其上盘为寒武-奥陶系灰岩、侏罗系火山岩,下盘为中元古界白云岩,是中生代火山断陷盆地的“边缘断裂”。断层破碎带发育,由断层泥、角砾、构造透镜体等组成,带宽1~3 m不等。该区内的木吉村、鸽子岭、小立沟、浮图峪、茅儿峪等矿床(段)均受F<sub>4</sub>断裂的控制。由于F<sub>3</sub>、F<sub>16</sub>等断裂的切割,F<sub>4</sub>断裂被错断为3部分(图2)。

古火山构造位于该区东侧的绵胡坨一带,属爆发型火山构造,火山口范围0.6 km<sup>2</sup>,放射状裂隙不发育。火山口为熔岩型灰流相-一元结构,周围环以碎屑型灰流相(喷溢相)以及断续分布的闪长玢岩、隐爆角砾岩等次火山岩。

### 1.3 岩浆岩

该地区内的岩浆岩是涑源杂岩体的一部分,其主要岩石类型有黑云母石英闪长岩、花岗闪长岩和斑状花岗闪长岩、粗粒斑状花岗岩、钾长花岗岩、二长斑岩和闪长玢岩。

闪长玢岩体呈“蘑菇状”,是古火山构造的组成部分,是该矿田的主要成矿母岩。该闪长玢岩体北由铁岭,南至磨石沟,西自F<sub>4</sub>,东到顾家沟,地表出露面积约为1.5 km<sup>2</sup>。其“蘑菇顶盖”的展布受NNE向断裂(F<sub>4</sub>)及层间裂隙破碎带的控制,呈岩枝、岩床状叠层产出,厚度一般为150~200 m,“蘑菇柄”的长轴近NS向,东西两壁陡立,长度大于800 m(南北两界未控制),宽约400 m,呈扁筒状隐伏于木吉村古河床之下。

该岩体的岩石呈灰绿色,全晶质斑状结构,斑晶约占30%~40%,斑晶矿物主要为奥长石(占90%),次为角闪石及石英等。角闪石大多被黑云母所交代,石英几乎全被溶蚀,呈现港湾状、浑圆状外

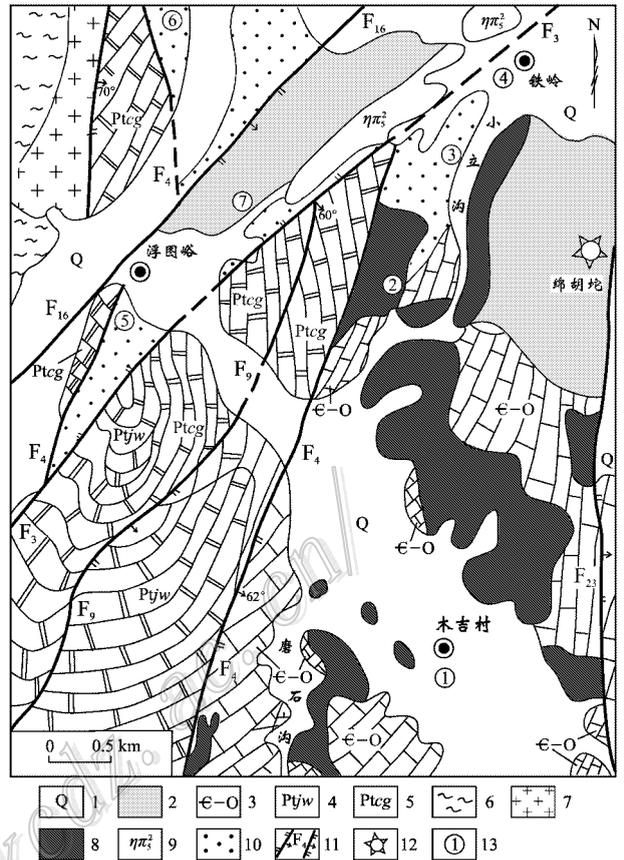


图2 木吉村矿田地质略图(据马国玺,1997)

- 1—第四系;2—侏罗系髫髻山组安山岩;3—寒武-奥陶系灰岩;
- 4—蓟县系雾迷山组白云岩;5—长城系高于庄组白云岩;6—太古界五台群片麻岩;7—钾长花岗岩;8—闪长玢岩;9—二长斑岩;
- 10—砂卡岩;11—逆、正断层及编号;12—古火山口;13—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

Fig. 2 Geological sketch map of the Mujicun orefield (after Ma, 1997)

- 1—Quaternary; 2—Andesite of Jurassic Tiaojishan Formation;
- 3—Cambrian-Ordovician limestone; 4—Dolomite of Wumishan Formation of Jixian System; 5—Dolomite of Gaoyuzhuang Formation of Changcheng System; 6—Gneiss of Archean Wutai Group;
- 7—Moyite; 8—Diorite porphyrite; 9—Monzonite porphyry; 10—Skarn; 11—Inverse, normal fault and its serial number;
- 12—Paleo-crater; 13—Ore deposit (segment): ①—Mujicun Cu (Mo) deposit; ②—Geziling Fe-Cu deposit; ③—Xiaoligou Fe-Cu deposit; ④—Tieling Fe-Cu deposit; ⑤—Futuyu Fe-Cu deposit;
- ⑥—Maeryu Fe-Cu deposit; ⑦—Donggou Fe-Cu deposit

形,有时可见淬火边。斑晶形态为自形及半自形,以半自形为主。此外,尚可见聚合斑晶及各种晶屑。基质为斜长石、正长石及少量石英,在高倍显微镜下观察到斜长石和正长石呈球粒状集合体。副矿物有

锆石、磷灰石等。

## 2 蚀变类型与分带性

该地区内,蚀变及蚀变岩异常发育(图3),主要与闪长玢岩有关。据其蚀变类型及矿物组合,自岩体到围岩,可划分出内、外2个蚀变带。斑岩型铜(钼)矿化主要受内蚀变带的控制,矽卡岩型铁铜矿化及热液脉型铅锌矿化主要受外蚀变带的控制。

### 2.1 内蚀变带

内蚀变带为典型的斑岩热液蚀变带,发育强硅化、钾化、石英绢云母化、青磐岩化及泥化等面型蚀变。钾化、石英绢云母化与斑岩型铜(钼)矿化关系密切,尤其是钾化。

强硅化带(Qn)见于“岩颈”深部中央,其埋深距地表约750~950 m,主要由石英及正长石组成。其核部为宽大的次生石英脉,外围为石英细网脉,与钾化带呈渐变关系。

钾化带 发育于强硅化带的外侧。特征蚀变矿物为钾长石、黑云母及石英、石膏、水云母等。此带可细分为钾长石-石膏亚带(Kf-Gy)及黑云母亚带(Bio),前者与强硅化带相连,后者位于其外。此带内的钾长石呈云雾状环边交代斜长石或石英,呈脉状交代原岩,黑云母选择交代角闪石、原生黑云母等暗色矿物。

钾长石-石膏亚带(Kf-Gy) 非金属矿物组合为石英、绢云母、黑云母、水云母、钾长石、石膏;主要金属矿物为黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿。

黑云母亚带(Bio) 非金属矿物组合为石英、绢云母、黑云母、水云母;金属矿物为黄铁矿、黄铜矿,有少量辉钼矿。

石英绢云母化带(Q-Ser) 发育于“岩颈”与“岩盖”的过渡部位,位于钾化带之外,地表出露南北长800 m,东西宽600 m,特征蚀变矿物为石英、绢云母、白云母、黄铁矿等,局部风化呈“火烧皮”状。

青磐岩化带(Pro) 发育于“岩盖”及枝体部位,

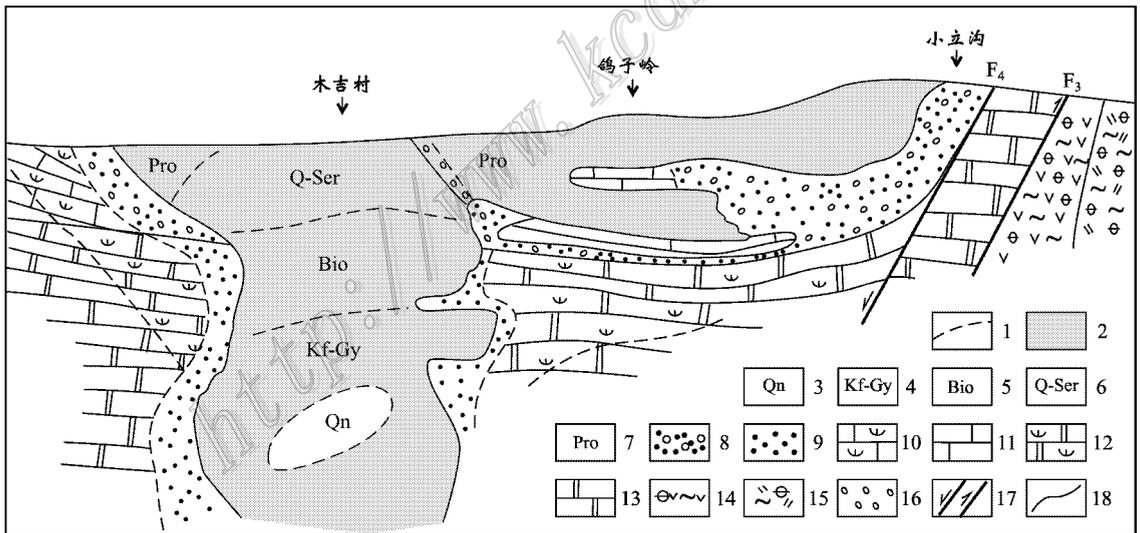


图3 木吉村矿床蚀变分带模式示意图(据马国玺,1997修改)

1—蚀变带界线;2—蚀变闪长玢岩;3—强硅化带;4—钾长石-石膏亚带;5—黑云母亚带;6—石英绢云母化带;7—青磐岩化带;8—“绿化”钙矽卡岩带;9—“绿化”镁矽卡岩带;10—蛇纹石化灰岩(寒武系);11—石灰岩(寒武系);12—蛇纹石化白云岩(蓟县-长城系);13—白云岩(蓟县-长城系);14—绿帘-绿泥石化安山岩;15—绿帘绿泥石化二长斑岩;16—泥化闪长玢岩;17—正、逆断层;18—不整合面

Fig. 3 Schematic alteration zoning pattern of the Mujicun ore deposit (modified after Ma, 1997)

1—Alteration zone boundary; 2—Altered diorite porphyrite; 3—Strong silicification zone; 4—K-feldspar-gypsum subzone; 5—Biotite subzone; 6—Quartz sericite zone; 7—Propylitization zone; 8—Propylitized calcium skarn zone; 9—Propylitized magnesium skarn zone; 10—Serpentinized limestone (Cambrian); 11—Limestone (Cambrian); 12—Serpentinized dolomite (Jixian-Changcheng System); 13—Dolomite (Jixian-Changcheng System); 14—Chlorite-epidotized andesite; 15—Chlorite-epidotized monzonite porphyry; 16—Argillized diorite porphyrite; 17—Normal, reverse

fault; 18—Unconformity

出露于岩体边部,位于石英绢云母化带的外侧,局部产在泥化带之外,特征蚀变矿物为绿泥石、绿帘石、方解石、石英等。

2.2 外蚀变带

闪长玢岩与寒武系灰岩及灰质白云岩接触形成了一套钙质砂卡岩,沿 F<sub>4</sub> 断裂带,与中-上元古界(蓟县-长城系)白云岩接触形成了一套镁质砂卡岩。以渗滤交代钙(镁)质砂卡岩为主,内砂卡岩不发育。外蚀变带的分带为:

**砂卡岩带** 分布在青磐岩化带的外缘,主要沿 F<sub>4</sub> 断裂带上盘断陷盆地内侧发育,厚度可达数百米,以钙砂卡岩为主,受青磐岩化叠加而成为“绿化”钙(镁)砂卡岩带。该带的主要矿物组合为石榴子石、透辉石、透闪石、绿帘石、绿泥石、方解石及石英等。含铜磁铁矿化与透闪石化相伴,镜铁-黄铜矿化与绿泥石、绿帘石化关系密切。

**蛇纹石化大理岩带** 发育于砂卡岩带外侧,其特征蚀变矿物为蛇纹石、方解石、白云石及透闪石,可伴有磁铁矿化、黄铜矿化。

**铁锰碳酸盐化带** 呈线型发育于矿区外围白云岩及灰岩的裂隙中,其特征蚀变矿物为方解石、白云石、石英及铁锰质矿物等,局部伴有脉状铅锌矿化。

**灰岩(白云岩)带** 分布于最外侧,有重结晶现象,蚀变微弱。

综上所述,木吉村铜(钼)矿床具有典型斑岩矿

床的蚀变分带特征,不同的蚀变带,具有不同的矿物组合及矿化特征,现将其综合列于表 1。

3 矿床地质特征

前已述及,受古火山构造及断裂等的控制,该区内发育有斑岩型铜钼矿床(木吉村)、砂卡岩型铜铁矿床(铁岭、东沟、浮图峪等)、热液叠加砂卡岩型铜(铁)矿床(小立沟、浮图峪、鸽子岭)、热液脉型铅锌矿床(合儿沟)。迄今,在该区已发现矿体 260 余个,主要分布在闪长玢岩体及与其相关的构造-砂卡岩带中,总体来看,是围绕着古火山构造呈带状展布。

3.1 斑岩-砂卡岩型铜钼矿

此类矿床位于木吉村一带,受闪长玢岩的控制,产在闪长玢岩体的“蘑菇柄”及其接触带砂卡岩中。共发现斑岩-砂卡岩型铜、钼、铁、硫、锌等矿体 108 个,以斑岩铜(钼)矿体为主。矿体分布受蚀变带的控制,具明显分带性,可分为上、下 2 个矿带(图 4 和图 5)。

**上部矿带** 为一斑岩型铜钼共生矿体,分布于钾质蚀变带中。其中,钼(铜)矿段主要分布在钾长石-石膏亚带,铜(钼)矿体主要产于黑云母亚带。目前,该矿体已被控制的南北长度大于 900 m,东西宽 180~790 m,厚度 18.39~343.51 m,平均厚度 218.41 m。

表 1 木吉村矿区的蚀变和矿化分带

Table 1 Zoning of alteration and mineralization in the Mujicum orefield

围 岩		岩 体					
灰 岩      白云岩		闪长玢岩					
外蚀变带		内蚀变带					
		青磐岩化带	石英绢云母化带	钾化带		强化带(石英核)	
				黑云母亚带	钾长石-石膏亚带		
蚀变矿物	透辉石、绿帘石、绿泥石、透闪石(少)、石英、方解石	透辉石、绿泥石、绿帘石(少)、透闪石、蛇纹石、石英、方解石	绿泥石、绿帘石、方解石等	石英、绢云母、水化黑云母、高岭石、金红石	黑云母、绢云母、水云母等	钾长石、硬石膏、石膏、水云母等	石英、少量钾长石
金属矿物	黄铜矿、镜铁矿、黄铁矿、闪锌矿	磁铁矿、黄铜矿、黄铁矿、闪锌矿	黄铁矿、黄铜矿	黄铜矿、黄铁矿	黄铜矿、黄铁矿	黄铜矿、辉钼矿及少量黄铁矿	少量黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿
金属矿物比值	大量镜(赤)铁矿、黄铜矿	磁铁矿为主,黄铜矿及黄铁矿少量	黄铁矿为主	黄铁矿:黄铜矿=14:1	黄铁矿:黄铜矿=6:1	辉钼矿增多	
矿石结构构造	条带状、块状,不规则状充填交代	细脉浸染状	细脉浸染状	浸染状为主	细脉浸染状		

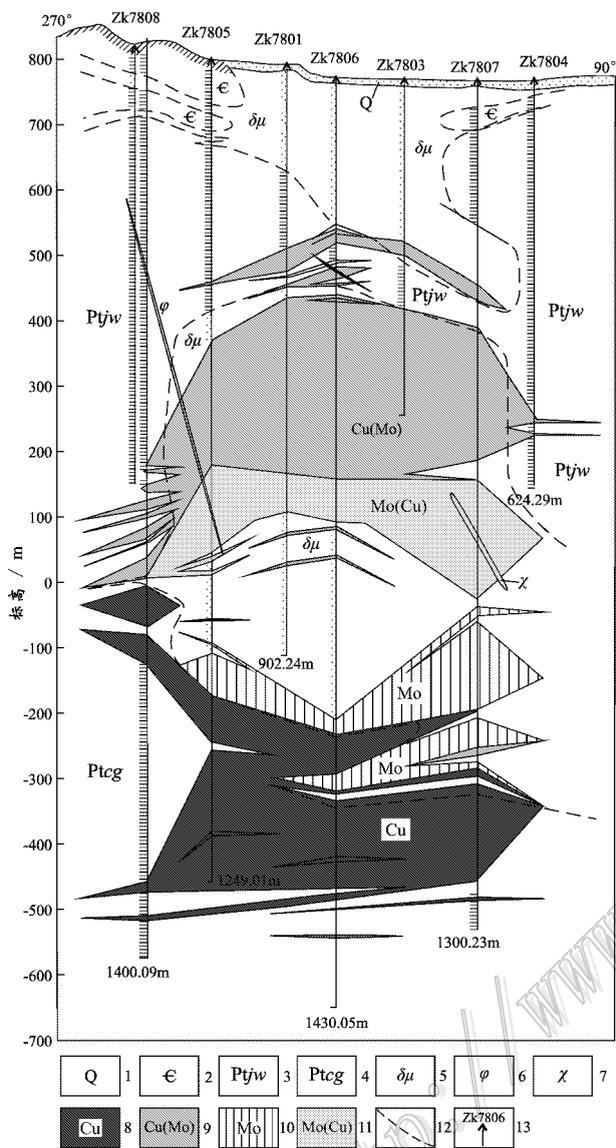


图4 木吉村铜钼矿床横剖面图

1—第四系；2—寒武系；3—蓟县系；4—长城系高于庄组；5—蚀变闪长玢岩；6—石英钠长斑岩脉；7—煌斑岩脉；8—铜矿带；9—铜钼矿带；10—钼矿带；11—钼铜矿带；12—蚀变带界线；13—钻孔位置及编号

Fig. 4 Cross section of the Mujicun Cu-Mo deposit  
 1—Quaternary；2—Cambrian；3—Jixian System；4—Gaoyuzhuang Formation of Changcheng System；5—Altered diorite porphyrite；6—Quartz albite porphyry vein；7—Lamprophyre vein；8—Copper ore belt；9—Copper-molybdenum ore belt；10—Molybdenum ore belt；11—Molybdenum-copper ore belt；12—Alteration zone boundary；13—Drill hole location and its serial number

该矿体的形态为一厚大的不规则透镜体，走向NNE，向SE倾，倾角20~30°。

下部矿带由斑岩型钼矿-砂卡岩型铜矿组成，分布在闪长玢岩体下部的钾质蚀变带及砂卡岩带中。该矿带目前已控制的长度大于400m，宽度为

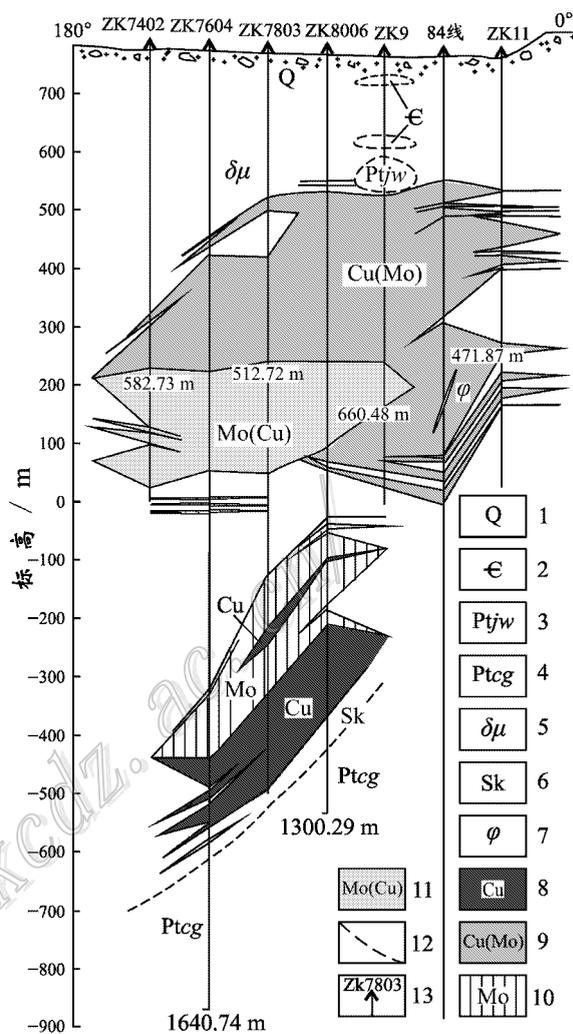


图5 木吉村铜钼矿床纵剖面图

1—第四系；2—寒武系；3—蓟县系；4—长城系高于庄组；5—蚀变闪长玢岩；6—砂卡岩；7—石英钠长斑岩脉；8—铜矿带；9—铜钼矿带；10—钼矿带；11—钼铜矿带；12—蚀变带界线；13—钻孔位置及编号

Fig. 5 Longitudinal section of the Mujicun Cu-Mo deposit  
 1—Quaternary；2—Cambrian；3—Jixian System；4—Gaoyuzhuang Formation of Changcheng System；5—Altered diorite porphyrite；6—Skarn；7—Quartz albite porphyry vein；8—Copper ore belt；9—Copper-molybdenum ore belt；10—Molybdenum ore belt；11—Molybdenum-copper ore belt；12—Alteration zone boundary；13—Drill hole location and its serial number

460~700 m，厚度为67.4~393 m，平均厚度247.82 m，其形态亦为厚大的不规则透镜体，产状与上部矿带基本一致，长轴近SN向，略向南东倾伏，倾角30~50°。

此类矿床有铜矿、铜钼矿、钼矿3种矿石类型。矿石中的金属矿物主要有黄铜矿、黄铁矿、辉钼矿、辉银矿等。铜矿石中黄铜矿含量高，辉钼矿含量少，

钼矿石则与之相反。非金属矿物主要有石英、绢云母、水云母、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 和 Mo，共生及伴生有 S、Fe、Zn 等。Cu 的平均品位为  $(0.26 \sim 0.49) \times 10^{-2}$ ，Mo 的平均品位为  $(0.038 \sim 0.142) \times 10^{-2}$ 。

木吉村铜（钼）矿床主要受闪长玢岩蚀变矿化体系的控制，斑岩铜钼矿化受内带斑岩型热液蚀变系统（子系统）的控制，从早到晚，由高温到低温，可划分为钾交代（钾化）及酸性淋滤（硅化、青磐岩化）2 个成矿阶段，钾交代阶段是铜钼矿的主要成矿期。

### 3.2 矽卡岩型含铜磁铁矿

该类矿体的分布受闪长玢岩“蘑菇顶盖”外带的钙（镁）矽卡岩带的控制，产于透辉透闪石矽卡岩带，覆于热液叠加矽卡岩型（铁）矿之上。沿舌状和分枝状青磐岩化闪长玢岩及 F<sub>4</sub> 断裂，矽卡岩带展布于鸽子岭-铁岭-浮图峪-茅儿峪一带。

矿体主要受裂隙及层间构造的控制，多呈似层

状、脉状、透镜状、瘤状，分枝复合及膨缩现象多见。矿体长度一般为 100~500 m，宽 50~200 m，厚数米至数十米，走向一般为 10~40°，多向南东倾斜，倾角 10~20°，受断裂控制者的倾角可达 60~80°（如茅儿峪矿体）。

此类矿体有磁铁矿、磁铁-黄铜矿、铜矿 3 种类型，以前 2 种为主。矿石具条带状、团块状、浸染状等构造；其主要金属矿物为磁铁矿、黄铜矿、黄铁矿、自然铜、斑铜矿、闪锌矿，还有少量方铅矿；脉石矿物有透闪石、透辉石、石榴子石、蛇纹石、绿帘石、绿泥石、石英、方解石、滑石等；主要有用组分为铜、铁，其品位为 Cu 0.64%~0.76%，Fe 30.89%~34.98%。

### 3.3 矽卡岩型镜铁黄铜矿

该类矿体受“绿化（绿泥石、绿帘石）矽卡岩带”的控制，伏于矽卡岩型含铜磁铁矿之下，沿 F<sub>4</sub> 断裂带产出于鸽子岭-小立沟-浮图峪-茅儿峪一带（图 6）。

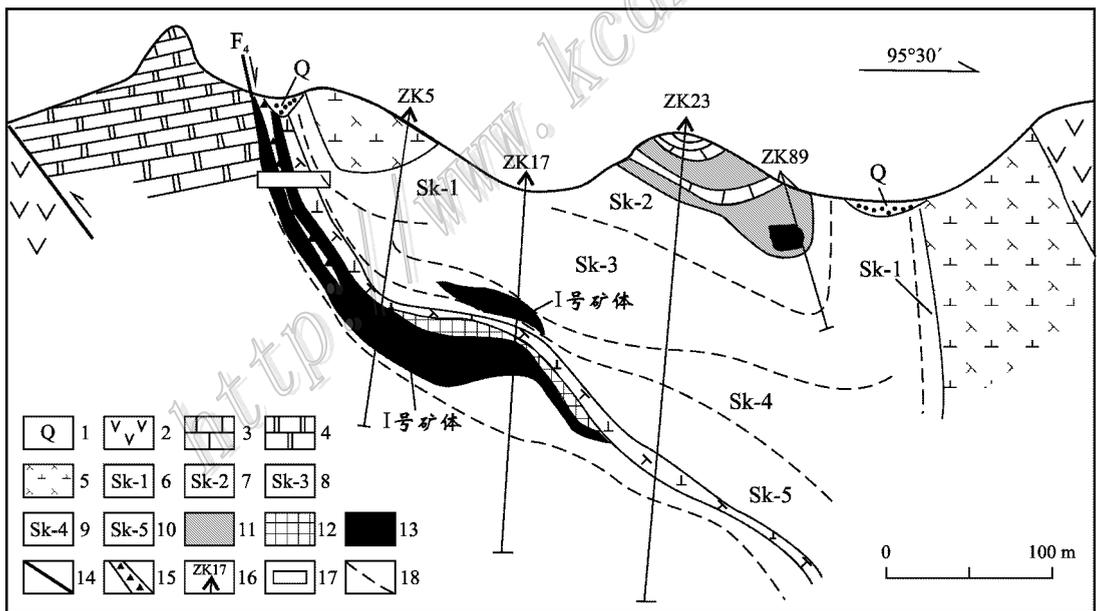


图 6 小立沟矿床（段）横剖面图（据牛树银等，1994）

- 1—第四系；2—侏罗系髻髻山组安山岩、安山角砾岩；3—寒武系灰岩；4—蓟县系雾迷山组白云岩；5—闪长玢岩；6—绿帘石矽卡岩；
- 7—透闪石-透辉石矽卡岩；8—透闪石石榴子石矽卡岩；9—绿泥石-绿帘石-透辉石矽卡岩；10—绿泥石-绿帘石化矽卡岩；
- 11—磁铁矿体；12—镜铁矿体；13—铜矿体；14—断层；15—断层破碎带；16—钻孔；17—坑道；18—蚀变岩界线

Fig. 6 Cross section of the Xiaoligou deposit (after Niu et al., 1994)

- 1—Quaternary; 2—Andesite, andesitic breccia of Jurassic Tiaojishan Formation; 3—Cambrian limestone; 4—Dolomite of Wumishan Formation of Jixian System; 5—Diorite porphyrite; 6—Epidote skarn; 7—Tremolite-diopside skarn; 8—Tremolite-garnet skarn; 9—Chlorite-epidote-diopside skarn; 10—Chlorite-epidotized skarn; 11—Magnetite ore body; 12—Specularite ore body; 13—Copper ore body; 14—Fault; 15—Fault shatter zone; 16—Drill hole and its serial number; 17—Trenches; 18—Altered rock boundary

矿体呈脉状、囊状、不规则状,分支复合及膨缩现象多见。矿体的最大延长可逾 800 m,一般 50~360 m,延深一般为数十米至 200 m,厚度由不足 1 m 到 32.96 m 不等。矿体产状受  $F_4$  及其派生裂隙的控制,走向一般为  $10\sim 37^\circ$ ,倾向南东,倾角  $40\sim 60^\circ$ 。

矿石类型有镜铁-黄铜矿石、镜铁矿石、黄铜矿石 3 种,以前者为主,具晶粒状、乳滴状、束状、交代等结构,条带状、块状、细脉浸染状等构造。其主要金属矿物为黄铜矿、镜铁矿、黄铁矿、磁铁矿、穆铁矿,还有少量硫钴矿、辉银矿、白钨矿等;主要非金属矿物为绿泥石、透辉石、绿帘石、石榴子石、透闪石、石英、方解石及蛇纹石、阳起石等。主要有用组分为铜、铁,伴生的有用组分为金、银、钴、硫等,Cu 品位为  $1.15\% \sim 2.43\%$ ,TFe 含量为  $18.89\% \sim 20.47\%$ 。

### 3.4 热液脉型铅锌矿

此类矿体受断裂裂隙的控制,产于铁锰碳酸盐化的构造破碎带中,分布于该矿区西部合儿沟及东南部顾家沟一带。

合儿沟铅锌矿化带长 2 400 m,宽 20~100 m。带内以铅矿体为主,呈脉状、囊状,长几十米至数百米,走向 NE 至 SN 向,倾向 SE,倾角  $45\sim 80^\circ$ 。经少量工程控制,查明矿体厚度为 5.12~10.25 m,Pb 平均品位为  $1.15\% \sim 2.62\%$ ,单样的 Pb 最高品位为 3.24%。

顾家沟的铅锌矿化集中分布在长 3 km,宽 0.6 km 的断裂构造带中,主要控矿构造长 2.1 km,宽 10 余 m,初步圈定出矿体 7 个。矿体呈囊状、脉状,长 40~170 m,厚 1.25~2.8 m,平均 2.02 m。Pb 品位最高为 11.09%,平均为 6.05%;Zn 品位最高为 12.68%,平均为 6.85%。

外蚀变带的铁铜多金属矿化受接触交代系统

(子系统)的控制,可划分为 2 个成矿期(矽卡岩期、热液期),5 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、碳酸盐阶段)。矽卡岩期成矿组合为黄铜-磁铁矿,以铁为主,主要形成于磁铁矿阶段,与透辉石化相伴生,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“绿化”相伴生。

## 4 矿床成因及成矿模式

### 4.1 成矿时代

该区内的蚀变、矿化与古火山机构相伴生,且与次火山岩相闪长玢岩有成因联系。闪长玢岩的全岩铷锶等时线年龄为 170 Ma<sup>①</sup>,其成岩年龄可大致代表成矿年龄,约为中侏罗世。

### 4.2 流体包裹体

采集了不同阶段的主要蚀变矿物,对其内的流体包裹体进行了测温及成分研究,测试结果列于表 2。

#### 4.2.1 成矿温度

斑岩蚀变矿化系统(内带)

石英、绢云母及碳酸盐化的温度范围为  $167\sim 488^\circ\text{C}$ 。由于具工业意义的斑岩铜钼矿化主要与钾质蚀变相伴生,故其成矿温度应更高些,属高(中)温阶段。

接触交代系统(外带)

矽卡岩期 温度范围为  $300\sim 450^\circ\text{C}$ ,磁铁矿阶段为  $300\sim 403^\circ\text{C}$ (高温)。

热液(“绿化”)期 温度范围为  $177\sim 386^\circ\text{C}$ ,其中,镜铁矿阶段为  $328\sim 386^\circ\text{C}$ (高温),硫化物阶段为  $127\sim 350^\circ\text{C}$ (中温), $300\sim 400^\circ\text{C}$ (高温)及  $177\sim 350^\circ\text{C}$ (中温)这两个温度阶段是外带的成矿主期。因此,该区的主要成矿期为高温(内带的斑岩型

表 2 木吉村小立沟矿床矿物流体包裹体化学成分

Table 2 Chemical composition of fluid inclusions from the Xiaoligou ore deposit of Mujicun

形成阶段	矿物	爆裂温度 /°C	pH	$\Sigma(B)(\text{mg}/10\text{g})$								$\Sigma(\text{NaCl}_{\text{eq}})\%$ (计算值)	
				Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> O		CO <sub>2</sub>
矽卡岩阶段	石榴子石	450	6.55	0.019	0.013	0.371	0.009 8	0.20	0.065	0	5.0	0	12
镜铁矿阶段	镜铁矿	332	7.58	0.014	0.007	1.786	0.014	0.15	0.025	7.17	3.5	0.16	72
硫化物阶段	黄铜矿	240	6.75	0.013	0.002	0.664	0.002	0.18	0.02	0	9.0		7
硫化物阶段	方解石	315	7.75	0.012	0	0.003	0.006	0.18	0.025	8.60	5.0	0	64
硫化物阶段	方解石		7.65	0.014	0.008	0.003	0.0045	0.18	0.03	7.17	13.0	0	36

① 马国玺. 1992. 河北省涞源县南屯乡大湾锌钼矿地质特征及成矿规律. 河北省地质矿产局第六地质队. 内部资料.

铜钼矿化及外带的矽卡岩型含铜磁铁矿化)和(高温)外带的热液矽卡岩型镜铁黄铜矿化)期;低温期在矿床外围发生了热液脉型铅锌矿化。从早到晚,从岩体到围岩,由高温至低温,从斑岩型铜钼矿化-矽卡岩型(铜)矿化-热液矽卡岩型(铁)矿化-热液脉型铅锌矿化,构成一个正向矿化序列。

4.2.2 包裹体成分及成矿介质条件

木吉村矿床钾化带石英中流体包裹体液相成分 [  $w(B) \mu g/10g$  ] 分析结果为:  $Na^+$  45.11,  $K^+$  427.44,  $Mg^{2+}$  0.89,  $F^-$  2.34,  $Cl^-$  7.88,  $SO_4^{2-}$

560.1, 气相成分 [  $w(B) \mu g/10g$  ] 为:  $CO_2$  62.96,  $H_2O$  624.36,  $H_2$  0.25,  $N_2$  0.17,  $CH_4$  0.97,  $CO$  5.41。可见该区内带的斑岩型热液蚀变系统的硅化石英内流体包裹体的液相成分中,阳离子以  $K^+$ 、 $Na^+$  为主,阴离子以  $SO_4^{2-}$ 、 $Cl^-$  为主,其气相成分以  $H_2O$  及  $CO_2$  为主。成矿介质为富含硫酸根和二氧化碳的高温 (340 °C) 盐水体系。笔者推测,在早期钾交代铜钼矿化阶段,  $K^+$  浓度会更高,这是钾化带异常发育的本质原因。由表 2 可知,外带接触交代系统矽卡岩阶段石榴子石内流体包裹体的成分以富钙(钠)、氯

表 3 木吉村矿床流体包裹体的氢、氧、碳同位素组成(章百明等,1996)

Table 3 Hydrogen, oxygen and carbon isotopic composition of fluid inclusions from the Mujicun ore deposit (Zhang et al., 1996)

采样位置及产状	序号	测定对象	爆裂温度/°C	$\delta D/\text{‰}$	$\delta^{18}O/\text{‰}$	$\delta^{18}O_{H_2O}/\text{‰}$	$\delta^{13}C/\text{‰}$	
木吉村矿床(段)								
硅化带	1	石英包裹体	340	-133	5.52	-0.72		
硅化带	2	石英包裹体	355	-97	8.01	2.20		
小立沟矿床(段)								
矽卡岩期	矽卡岩阶段	3	石榴子石包体		-148.41			
热液叠加期	硫化物阶段	4	黄铜矿		122.42			
热液叠加期	硫化物阶段	5	石英		-94.1			
热液叠加期	镜铁矿阶段	6	镜铁矿		-120.9			
矽卡岩期	矽卡岩阶段	7	石榴子石	450		2.03	4.47	
矽卡岩期	矽卡岩阶段	8	透辉石			-2.69		
矽卡岩期	磁铁矿阶段	9	磁铁矿	403		-2.30	5.07	
矽卡岩期	磁铁矿阶段	10	磁铁矿	403		-3.22	4.15	
矽卡岩期	磁铁矿阶段	11	磁铁矿	403		-6.84	0.53	
矽卡岩期	磁铁矿阶段	12	磁铁矿	403		-7.02	0.35	
矽卡岩期	磁铁矿阶段	13	磁铁矿	403		-3.73	3.64	
矽卡岩期	磁铁矿阶段	14	磁铁矿	403		-4.50	2.87	
热液期	镜铁矿阶段	15	石英	385		-1.90	-6.31	
热液期	镜铁矿阶段	16	石英	385		4.14	-0.27	
热液期	镜铁矿阶段	17	绿帘石			-2.37		
热液期	镜铁矿阶段	18	镜铁矿	332		-10.81	-4.86	
热液期	镜铁矿阶段	19	镜铁矿	332		-11.8	-5.85	
热液期	镜铁矿阶段	20	镜铁矿	332		-12.4	-6.45	
热液期	镜铁矿阶段	21	镜铁矿	332		-9.2	-3.25	
热液期	镜铁矿阶段	22	镜铁矿	332		-9.9	-3.95	
热液期	镜铁矿阶段	23	镜铁矿	332		-9.1	-3.15	
热液期	镜铁矿阶段	24	镜铁矿	332		-10.8	-4.85	
热液期	镜铁矿阶段	25	镜铁矿	332		-11.4	-5.45	
热液期	镜铁矿阶段	26	镜铁矿	332		-11.4	-5.45	
热液期	镜铁矿阶段	27	穆磁铁矿			-4.0		
热液期	镜铁矿阶段	28	穆磁铁矿			-3.9		
热液期	镜铁矿阶段	29	穆磁铁矿			-3.4		
热液期	镜铁矿阶段	30	穆磁铁矿			-3.9		
热液期	硫化物阶段	31	方解石	262		-3.2	-9.52	-2.34
热液期	硫化物阶段	32	方解石	262		-3.07	-9.39	-2.90
热液期	硫化物阶段	33	方解石	262		-4.32	-10.64	-2.75
热液期	硫化物阶段	34	方解石	262		-2.60	-8.92	-2.18
热液期	硫化物阶段	35	方解石	262		-3.07	-9.39	-2.94

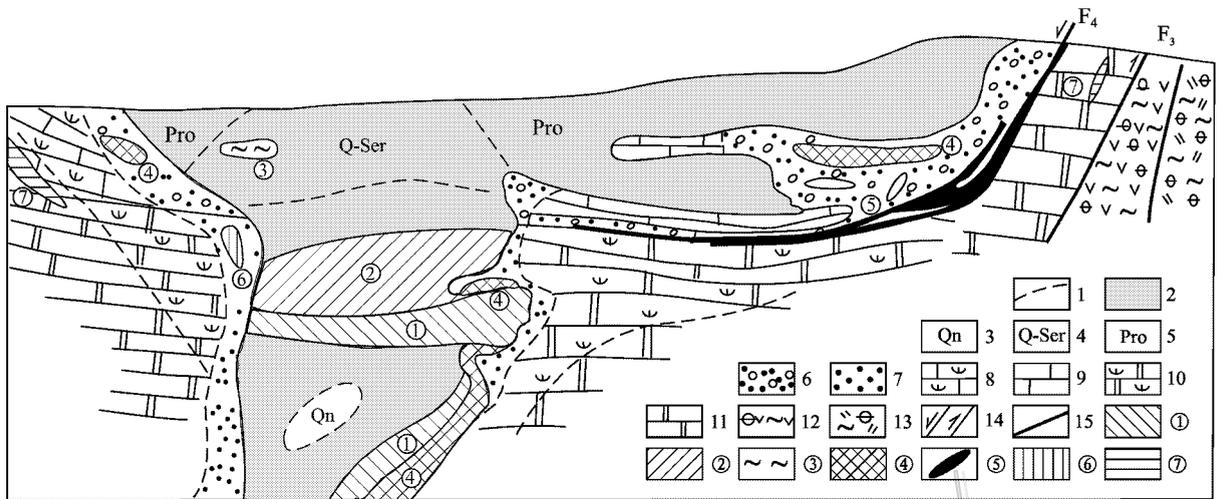


图7 木吉村铜钼矿床成矿模式图(空间分布模式)

1—蚀变带界线;2—蚀变闪长玢岩;3—强硅化带;4—石英绢云母化带;5—青磐岩化带;6—“绿化”钙砂卡岩带;7—“绿化”镁砂卡岩带;8—蛇纹石化石灰岩;9—石灰岩;10—蛇纹石化白云岩;11—白云岩;12—绿帘-绿泥石化安山岩;13—绿帘-绿泥石化二长斑岩;14—正、逆断层;15—不整合面。①—斑岩钼(铜)矿;②—斑岩铜(钼)矿;③—斑岩硫铁矿;④—砂卡岩含铜磁铁矿;⑤—热液叠加砂卡岩型镜铁-黄铜矿;⑥—砂卡岩锌矿;⑦—热液铅锌矿

Fig. 7 Metallogenic pattern (spatial distribution model) of the Mujicun Cu-Mo deposit

1—Alteration zone boundary; 2—Altered diorite porphyrite; 3—strong silicification zone; 4—Quartz sericitization zone; 5—Green disk petrochemical belt; 6—Green calcium skarn zone; 7—Green magnesium skarn zone; 8—Serpentinized limestone; 9—Limestone; 10—Serpentinized dolostone; 11—Dolostone; 12—Chlorite-epidotization andesite; 13—Chlorite-epidotization monzonite porphyry; 14—Normal, reverse faults; 15—Unconformity. 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-chalcopyrite deposit; ⑥—Skarn zinc deposit; ⑦—Hydrothermal lead-zinc deposit

和水为特征,成矿介质为高温(450℃)、中等盐度[ $\omega(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为12%]的弱酸性( $\text{pH}=6.55$ )盐水体系。热液期的镜铁矿、黄铜矿(方解石)内流体包裹体的成分更趋富钙、钠、氯,水仍是较主要组分,在镜铁矿、方解石内流体包裹体中, $\text{HCO}_3^-$ 上升为最主要组分。镜铁矿阶段的成矿介质为高温(332℃)、高盐度[ $\omega(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为72%]的弱碱性( $\text{pH}=7.58$ )溶液,硫化物阶段的成矿介质为中温(240~315℃)、中-高盐度[ $\omega(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为7%~64%]的中-弱碱性( $\text{pH}=6.75\sim 7.75$ )溶液。由流体包裹体的成分及介质条件的演变可以看出,接触交代系统从砂卡岩期到热液期,介质的成分中,钙和碳酸氢根明显增加,钾、钠、氯、氟成分减少,总盐度明显增大,碱性增强。介质条件的变化明显受到内带蚀变系统及围岩的影响。

#### 4.3 物质来源

**硫同位素** 不同产状的黄铜矿、黄铁矿、辉钼矿、方铅矿、石膏等硫化物的同位素测定表明,该矿区斑岩铜钼矿床(段)硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为0.4‰~

2.6‰,砂卡岩含铜磁铁矿硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为-3.3‰~0.6‰,热液镜铁黄铜矿硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为1.3‰~3.2‰,都接近零值,在频率直方图上呈高塔式分布,显示出单一深源岩浆硫的特征,而晚期热液铅锌矿的硫可能有沉积硫的加入。

**氢、氧、碳同位素** 该矿区氢、氧、碳同位素的分析数据列于表3。矿物内流体包裹体的 $\delta\text{D}$ 值为-94.1‰~-148.4‰, $\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}$ 值为-0.72‰~2.20‰,与岩浆水有一定偏离。

**矿物的氧、碳同位素** 外带砂卡岩成矿期的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}$ 值为0.35‰~5.07‰,平均3.01‰,与岩浆水接近;热液成矿期镜铁矿阶段的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}$ 值为-0.27‰~-6.54‰,平均-4.53‰,硫化物阶段方解石(与黄铜矿共生)的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}$ 值为-8.92‰~-10.64‰,平均-9.57‰; $\delta^{13}\text{C}$ 值为-2.18‰~-2.94‰,平均-2.62‰。随着成矿阶段的推移, $\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}$ 值趋于降低,说明大气降水成分逐渐增加。

综上所述,木吉村矿床的成矿物质主要来自深

源岩浆,由闪长玢岩从深部岩浆区带来,其成因类型为深成热液型。

#### 4.4 成矿模式

木吉村矿床是一个典型的斑岩型矽卡岩型矿床,据其成矿地质地球化学特征,可对其形成过程和机制作如下分析,并归纳总结其成矿模式(图7)。

在强烈的燕山运动的影响下,太行山隆起加剧,乌龙沟深断裂复活,在下地壳形成了含幔源物质的安山质岩浆房。在构造应力的作用下,安山质岩浆沿深断裂系上侵至处于多组构造交汇部位的木吉村断陷盆地,发生强烈火山喷发,并在该区形成了安山质火山岩建造(侏罗系髻髻山组)。在火山喷发期后(或间歇期),发生了次火山岩侵位,因受深断裂及层间构造带的控制,故形成了“蘑菇状”闪长玢岩体。

与深部岩浆房保持联系的火山机构多次溢出含矿气液,对闪长玢岩体及其围岩进行强烈的交代,形成了以闪长玢岩为中心、以岩浆水为主且有大气水逐渐加入的蚀变-矿化体系。由于受斑岩型热液蚀变系统(子体系)的控制,在“岩柄”部位的钾质蚀变带内,形成了细脉浸染型铜钼矿体,在“岩柄”与“岩盖”过渡部位的石英绢云母化-青磐岩化蚀变带,形成了脉型硫铁矿体;因受接触交代系统(子体系)的控制,故在岩体接触带及层间构造系内,形成了含铜磁铁矿体(矽卡岩期),因受该体系青磐岩化的叠加,主要沿层间构造系及盆地边缘断裂带( $F_4$ )形成了镜铁-黄铜矿体,而在矿区外围,则形成了“远温”热液

脉型铅锌矿体(化)。该矿床以闪长玢岩为中心,由内向外,形成了斑岩型铜(钼)-矽卡岩型铁铜矿、热液矽卡岩型铜(镜铁)矿及热液脉型铅锌矿“三位一体”,具有正向分带等鲜明特色的矿床组合。

#### References

- Cheng Y Q, et al. 1994. Introduction to the regional of China[M]. Beijing: Geol. Pub. House (in Chinese).
- Ma G X. 1997. The geological characteristics and metallogenic model of Mujicun copper deposit in the Laiyuan County, Hebei Province[J]. Journal of Geology and Mineral Resources of North China, (1): 52-66 (in Chinese with English abstract).
- Niu S Y, Chen L, Xu C S, et al. 1994. The crustal evolution and metallogenic regularity of the Taihangshan area[M]. Beijing: Seismological Press (in Chinese).
- Zhang B M, Zhao G L, Ma G X, et al. 1996. The main metallogenic series and metallogenic model of the mining area in Hebei Province [M]. Beijing: Petroleum Industry Press (in Chinese).

#### 附中文参考文献

- 程裕淇,等. 1994. 中国区域地质概论[M]. 北京:地质出版社.
- 马国玺. 1997. 河北省涿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(1) 52-66.
- 牛树银,陈路,许传诗,等. 1994. 太行山区地壳演化及成矿规律[M]. 北京:地震出版社.
- 章百明,赵国良,马国玺,等. 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.