

吉林长白-朝鲜惠山地区铜矿成矿特征及成因研究

杨宏智¹, 张 倩², 赵 岩¹, 时建民¹, 冯跃文³, 时 溢¹

(1. 沈阳地质矿产研究所/中国地质调查局 沈阳地质调查中心, 辽宁 沈阳 110034;

2. 辽宁有色勘察研究院, 辽宁 沈阳 110013; 3. 中色地科矿产勘查股份有限公司, 北京 100012)

摘 要:吉林东南部长白地区与朝鲜惠山地区均位于元古宙辽吉裂谷内,地质背景相似。本文分析了我国临江铜矿与朝鲜惠山铜矿产出的地质背景,对地层、岩体、构造控矿进行了解析。研究认为临江铜矿为夕卡岩型铜矿,惠山铜矿具有斑岩型铜矿的地质特征,两铜矿同属斑岩-夕卡岩型成矿系统。指出长白沿江地区具有良好的找矿前景。今后找矿工作应注意:北西向、北东向断裂与近东西向断裂交汇部位矿化线索;燕山期中酸性侵入岩与前寒武纪地层接触部位矿化勘查以及斑岩型特征矿化蚀变的甄别。

关键词:临江铜矿;惠山铜矿;斑岩-夕卡岩成矿系统;找矿方向

DOI:10.13686/j.cnki.dzyzy.2015.01.004

GEOLOGY AND METALLOGENESIS OF COPPER DEPOSITS IN THE REGION OF CHANGBAI, CHINA AND HYESAN, DPRK

YANG Hong-zhi¹, ZHANG Qian², ZHAO Yan¹, SHI Jian-min¹, FENG Yue-wen³, SHI Yi¹

(1. Shenyang institute of geology and Mineral Resources, CGS, Shenyang 110034, China; 2. Liaoning Institute of Nonferrous Exploration and Research, Shenyang 110013, China; 3. Sinotech Minerals Exploration Co., Ltd., Beijing 100012, China)

Abstract: Changbai area in southeastern Jilin Province, China and Hyesan area of Korea, both located in the Proterozoic Liao-Ji rift, share similar geology settings. The geology, strata, intrusive rocks and ore-controlling structures of Linjiang copper deposit and Hyesan copper deposit are studied. The Linjiang deposit is characterized by skarn type of copper deposit; while the Hyesan deposit, porphyry copper deposit. They both belong to porphyry-skarn metallogenic system. The Changbai area has a good prospecting potential. The exploration should focus on the intersectional areas of NW, NE and E-W faults, contact zones between Yanshanian acid-intermediate intrusions and pre-Cambrian strata, and mineralized alteration belt with characters of porphyry deposit.

Key words: Linjiang Cu deposit; Hyesan Cu deposit; porphyry-skarn metallogenic system; ore prospecting

0 引言

吉林省长白地区与朝鲜惠山铜矿隔鸭绿江相望,区域上沿鸭绿江一带发育众多大型铜、铅锌矿床,朝鲜一侧发育的世界级超大型检德铅锌矿、惠山铜矿尤为著名。但在我国一侧,同类矿床产出甚少,规模也较小。临江铜矿产出在临江市六道沟镇,距离惠山铜矿直线距离 100 余千米。由于各种原因,对于朝鲜惠山铜矿的地质研究一直较少,也不十分深入。以往资料

未将 2 个铜矿进行详细对比分析。本文以产出在长白地区地质背景类似的朝鲜惠山铜矿、我国临江铜矿为研究对象,深入分析该地区铜矿床地质特征及成矿作用并对铜矿找矿方向进行探讨。

1 区域地质背景

研究区位于辽吉古裂谷带上,大地构造位置位于华北地台东部,南北两侧分别为朝鲜狼林地块和我国

收稿日期:2014-02-24;修回日期:2014-09-09。编辑:李兰英。

基金项目:中国地质调查局国土资源大调查项目“吉林省长白县沿江-十七道沟地区铜多金属远景调查”(编号 1212011120742)资助。

作者简介:杨宏智(1982—),男,硕士研究生,工程师,从事固体矿产勘查工作,通信地址 辽宁省沈阳市皇姑区黄河北大街 280 号,E-mail//36442029@qq.com

龙岗地块(图1)。辽吉古裂谷带主要由形成于2.45~2.55 Ga的太古宙TTG组成,产出有众多金属矿产资源^[1-6]。裂谷带可细分为边缘带与中央带,总体走向北东东,经过研究区进入朝鲜后走向变为北西向。有研究者^[1]将辽吉裂谷称为辽老摩裂谷,意在囊括国内辽吉裂谷与朝鲜境内裂谷部分。本文仍沿用传统称谓,但同样包括朝鲜北部元古宙狼林地块。

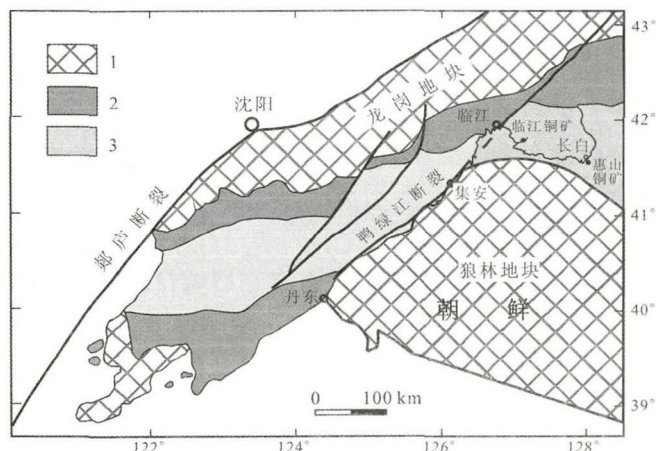


图1 长白地区大地构造背景图

(据文献[2]修改)

Fig. 1 Tectonic settings and distributions of Cu deposits in

Changbai region

(Modified from Reference [2])

1—元古宙基底(Proterozoic basement); 2—元古宙裂谷边缘(Proterozoic rift margin); 3—元古宙中央裂谷带(Proterozoic central rift)

辽吉裂谷带内的元古宙地层主要包括南北辽河群、吉林省内集安群和老岭群以及朝鲜境内的摩天岭群。地层归属群组不同,可能是因为原始沉积岩相变化以及由其反映的沉积环境的差异所致^[7]。

本区先后经历多期构造作用,裂谷基底及中生代活动明显的鸭绿江断裂构成本区主要的构造格架,主要有北东向、近东西向及北西向断裂。鸭绿江断裂与伊兰-伊通断裂、敦化-密山断裂基本平行,同为郯庐断裂的次级断裂带。鸭绿江深断裂带走向基本稳定,为北东40°~50°^[8]。对于鸭绿江断裂的切割深度多认为已达上地幔,但也有研究者认为鸭绿江断裂切割深度仅为下地壳^[9]。印支-燕山期是鸭绿江断裂构造集中活动的地质时期,尤以燕山期活动更为强烈。鸭绿江两侧断裂系统发育程度不同:在我国吉林一侧北东向断裂最为发育,经重、磁场资料分析也存在少量北西向断裂^[10];朝鲜一侧则是北西向断裂最为发育,北东向断裂出现较少^[9]。朝鲜地质学者通过研究发现北西向断裂与近

东西向断裂可能属同一构造体系,朝鲜的虚川江断裂、春冬断裂同属该组断裂^[1]。北西向断裂以区域性断层为主,也有与其平行的次级断层。近东西向断裂形成时间较早,以与区域构造线相平行的断裂为主^[12]。

研究区内主要有太古宙片麻岩体和晚侏罗世侵入岩。太古宙片麻岩体为本区最古老的岩石,主要为片麻状二长花岗岩、花岗片麻岩。晚侏罗世侵入岩主要为岩浆岩,有早期闪长岩和晚期花岗岩。晚侏罗世早期闪长岩呈岩基及岩株状产出,为闪长岩、石英闪长岩,与沉积地层呈侵入接触关系。晚侏罗世晚期花岗岩,岩石类型主要为花岗岩、斑状花岗岩。岩体内后期构造较发育,主要以节理及脆性断裂形式出现,多被石英脉、方解石脉充填。

2 临江铜矿地质特征

临江铜矿位于吉林省临江市六道沟镇,矿区面积约80 km²。矿区主体为铜山矿段,另外还有规模较小的六道沟、冰湖沟和错草顶子等矿段。

2.1 矿区地层

矿区出露地层主要为老岭群变质岩、中生代喷出岩及第三纪玄武岩。

老岭群地层遭受多期构造影响,依岩性特点将其分为5段:1)角岩为主夹大理岩互层带,属珍珠门组;2)珍珠门组厚层白云石大理岩;3)花山组厚层角岩,钻孔揭露深部有大理岩夹层,东部地区为片岩、千枚岩类;4)花山组角岩与大理岩互层夹石英岩薄层;5)厚层角岩层。

中生代侏罗纪侵入岩分布面积较广,从区域上看总体呈北东向展布。主要岩性有两类:一套以中性—中酸性火山熔岩与凝灰岩为主,有安山岩、安山质角砾夹晶屑、岩屑凝灰岩等;另一套为酸性熔岩和凝灰岩,为流纹岩、流纹质晶屑凝灰岩、流纹质岩屑凝灰岩、火山角砾等。第三纪玄武岩分布广泛,上覆于其他地层之上,由以气孔玄武岩为主和拉斑玄武岩为主的两类玄武岩组成,局部见橄榄玄武岩和黑色致密玄武岩。

2.2 矿区构造

临江铜矿床的形成和分布均受区域和矿区构造的控制。矿床产出在鸭绿江深大断裂北东侧,老黑顶子背斜的南翼。矿区内除受南北挤压应力外还受到近东西向的扭动应力影响,形成了主体北东向扭性断层组。该组构造控制了区内岩浆活动和成矿作用。矿区地层产状、侵入岩体轴向以及矿体群的展布均与区域构造线

① 吉林省长白朝鲜族自治县地质考察团. 朝鲜惠山地区地质矿产考察报告. 1987.

方向一致,走向 290~320°,倾角 55~75°。

矿区构造以断裂为主,燕山期主轴向为北西西向的侵入杂岩沿断裂贯入。北东向断裂与东西向断裂带的斜接部位贯入产出花岗闪长岩体,控制了铜山矿床的分布,是矿区最主要的导矿构造。

冰沟湖-小铜矿沟断裂 (F_1): 已知延长 10 km 以上,走向 50~60°,倾角 70~80°。据工程揭露,矿化集中分布在该断裂两侧。该断裂的次级构造也较发育。平行于主断裂面的裂隙带两盘见平行的多条断裂。断裂南盘有小铜矿沟弧形牵引构造(图 2)等。

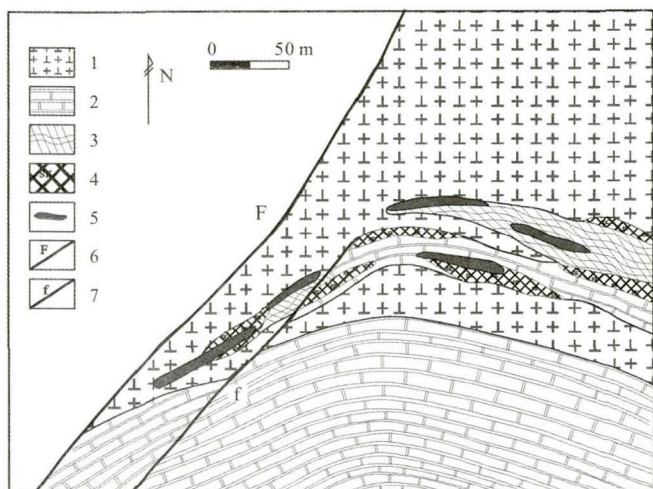


图 2 临江铜矿小铜矿沟矿区地质略图^①

Fig. 2 Geological sketch map of Xiaotongkuangou Cu orefield
1—花岗闪长岩 (granodiorite); 2—大理岩 (marble); 3—角岩 (hornstone);
4—夕卡岩 (skarn); 5—矿体 (ore body); 6—矿田断裂 (fault in ore field scale); 7—层间断裂 (fault between layers)

六道沟-铜山断裂(F_2): 位于 F_1 断裂的南东侧,在六道沟-铜山间与 F_1 断裂平行,走向为 50~60°。该断裂成矿后也具多次复活特征。可见有层间断裂带(f_1)。该组断裂带是矿区内的主要储矿构造。断层形成时间较早,被多期侵入岩及接触变质岩占据,与矿体产出关系密切(图 2)。

2.3 矿区岩浆岩

区内岩浆岩分布广泛,占矿区面积的 80% 以上。主要有前燕山期角闪辉长岩、燕山早期酸性火山杂岩、与成矿有关的燕山中期花岗闪长岩和再度侵入的石英闪长玢岩、燕山晚期酸性侵入岩。

前燕山期角闪辉长岩遭受变质作用较重,呈不规则脉状产出,出露面积较小。岩体变质程度较深,在其与石英闪长玢岩接触部位见有夕卡岩化。燕山早期喷发的中酸性火山岩分布在六道沟口附近 F_1 断裂以南

及铜山西侧一带。与成矿有关的燕山中期中酸性侵入岩有早阶段的花岗闪长岩和晚阶段的石英闪长玢岩。花岗闪长岩呈岩基、岩株状产出,岩石中粒花岗结构,块状构造。岩体岩相变化从中心的花岗闪长岩到边缘相的石英闪长岩。岩体与基底大理岩地层及早期中酸性喷出岩接触部位多形成夕卡岩,多为矿体产出赋存之处。吉林冶金地质勘探公司^①对花岗闪长岩中黑云母的同位素年龄测定结果为 120.5 Ma,属中燕山期侵入岩。石英闪长玢岩主要呈小岩株及岩脉产出。岩石地球化学测定结果显示,石英闪长玢岩与花岗闪长岩边缘相特征极为接近,且玢岩与石英闪长岩的空间产出关系也十分密切。故认为石英闪长玢岩与花岗闪长岩为同源侵入岩。燕山晚期酸性侵入杂岩有花岗斑岩、斑状二长花岗岩、花岗细晶岩等,多呈小岩株及较小岩脉状产出。

2.4 矿体及矿石特征

临江铜矿由多达几十条矿体组成,单个矿体多呈不规则脉状、透镜状产出,形态变化较大。矿体在空间分布上常见歼灭再现、平行成群产出等特征。矿体产状直接受含矿夕卡岩的形态、产状控制(图 2、3)。

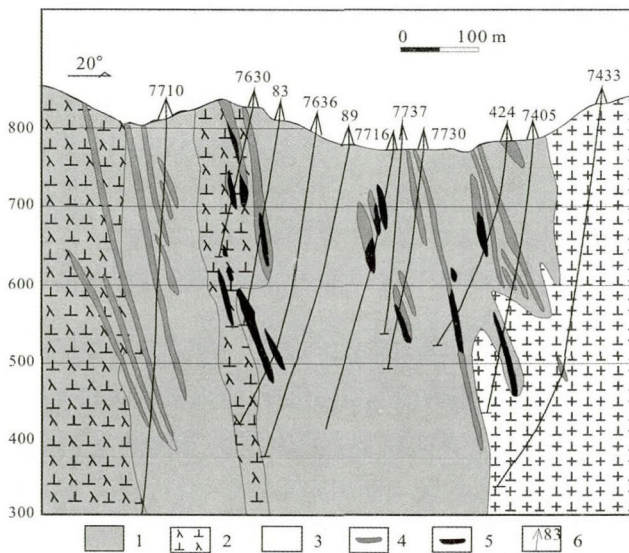


图 3 临江铜矿铜山区 14 线钻孔剖面图^①

Fig. 3 Drill hole section along No. 14 exploration line in

Tongshan orefield

1—大理岩与角岩未分 (marble and hornstone); 2—石英闪长玢岩 (quartz diorite porphyrite); 3—花岗闪长岩 (granodiorite); 4—夕卡岩 (skarn); 5—矿体 (ore body); 6—已施工钻孔 (finished drill hole)

矿石金属矿物主要为黄铜矿、斑铜矿、辉钼矿,其余少量矿物有硫铋铜矿、黝铜矿、方铅矿、闪锌矿、镜铁

^① 吉林省冶金地质勘探公司 601 队. 临江铜矿区地质勘探总结报告书. 1980.

矿、辉铜矿等。非金属矿物以夕卡岩矿物:石榴石、透辉石、透闪石等为主,方解石、斜长石次之。矿石构造以浸染状、致密块状及脉状构造为主,少见角砾状及条带状构造。矿石结构有自形、半自形结构,交代溶蚀结构等。矿石中见:辉钼矿呈自形片状、挠曲片状产出;多数金属矿物呈半自形集合体状产出;黄铜矿与闪锌矿呈乳浊状结构。黄铜矿与黄铁矿、黄铜矿与辉钼矿等呈交代残余结构。根据矿物结构构造及共生关系判断矿物生成顺序大致为:磁铁矿→早期黄铜矿、斑铜矿伴生黄铁矿→闪锌矿、黄铜矿→晚期斑铜矿、黄铜矿、伴生方铅矿、辉钼矿→褐铁矿、孔雀石等表生矿物。

2.5 围岩蚀变

临江铜矿的围岩蚀变类型主要有夕卡岩化、透辉石-钾长石化、碳酸盐化、沸石化。

夕卡岩化主要分布在花岗岩类与碳酸盐类岩石接触带,也见分布于花岗岩与中酸性喷出岩接触带围岩中,呈透镜状、不规则脉状产出。夕卡岩分带现象不明显,是矿区最主要的赋矿围岩。夕卡岩含矿性相差甚远,成分简单的干夕卡岩一般不含矿,复杂的湿夕卡岩常形成矿化富集。透辉石-钾长石化见于矿区东南部石英闪长岩楔形岩枝中,在近接触带的岩体一侧较为强烈。该蚀变以大量微斜条纹长石交代石英和斜长石,透辉石交代黑云母和角闪石为特征。碳酸盐化主要蚀变矿物为方解石,有时伴随少量石英或其他矿物,呈不规则团块状或细脉状产出。沸石化是矿区较晚的一种蚀变,沸石细脉几乎穿插交代所有岩石,尤其在各种火成岩、夕卡岩及角岩中较为发育。

3 惠山铜矿地质特征

惠山铜矿(也称朝鲜惠山青年铜矿)位于惠山市西南2 km,距鸭绿江700 m,与我国长白县沿江煤矿隔江相望。惠山铜矿的前身是惠山煤矿,在进行煤田普查时发现了铜矿化线索,继而转向以铜为主的勘探工作,于1967年正式建矿。

3.1 矿区地层

矿区产出较老地层为下元古界摩天岭系。该地层自下而上可分为3个统:底部城津统为基性火山岩及陆源碎屑岩建造、碳酸盐建造;中部北大川统为厚层碳酸盐岩;上部南大川统,在惠山矿区出露面积较大,以陆源碎屑岩夹火山碎屑岩为主。南大川统自下而上可分为3段:下段主要为黑云母片岩、二云母片岩夹薄层大理岩;中段以硅质岩、硅化绢云母片岩、硅化黑云母

片岩为主,为矿床围岩之一;上段由灰绿色粉砂岩、千枚岩、石英云母片岩、大理岩组成。

朝鲜北部古生界、中生界地层与我国华北地台地层有较好的对应关系,对比介绍如下。

阳德统地层与我国寒武系地层相当,由粉砂岩、斑点状页岩、鲕状灰岩(内含三叶虫化石)组成,矿区内该组地层与下部地层呈断层接触。楚山统相当于上寒武系至下奥陶系,主要岩性为黏土质灰岩及灰色灰岩互层。曼达统中奥陶系地层,以层状、块状灰岩为主,也有少量白云石化灰岩,为矿体下盘围岩,早期为惠山水泥厂主要原料。平安系与石炭系至二叠系地层相当,主要为砂岩、粉砂岩,上部砾质砂岩夹局部可采煤层。长坡里统相当于三叠系至下侏罗系地层,由砾岩、砂岩、砾质粉砂岩和煤层组成。该层内发育石墨化,石墨带呈透镜状、囊状,延长10~20 m^①。

新生代地层主要有第三系。底部为长石砂岩、薄层玄武岩含硅藻土层,与我国第三系土门子组地层相当。

3.2 矿区构造

惠山铜矿位于惠山-利原凹陷的西北端,虚川江断裂和长坡里断裂之间。惠山铜矿更接近虚川江断裂,矿体赋存于虚川江断裂次级的春冬断层和其东侧的马山断层之间(图4)。春冬断层走向330°,倾向东,倾角60~70°。断层切穿矿区所有的地层,并多次活动。成矿前该断层活动表现为将古生代地层错断,造成南大川统地层逆冲于古生代地层之上。伴随脉岩侵入,断层再次复活,见断层局部切穿脉岩现象。此次复活同时也破坏了矿体。春冬断层在深部与虚川江断裂带汇合。马山断层走向325~330°,倾向东,倾角65~70°,其与春冬断层近似平行,两侧围岩均为南大川统地层。两条断层明显控制了矿床的形成与矿体的分布(图4)。

3.3 矿区岩浆岩

矿区产出的侵入岩有惠山岩群和端川岩群及鸭绿江岩群。

惠山岩群:侵入时代大致为三叠纪,分布在利原-惠山一线。矿区内沿长坡里断裂带东侧分布,由约20个岩体组成,规模不大。主要岩性为黑云母花岗岩和角闪黑云母花岗岩、闪长岩、花岗闪长岩。侵入体边缘部分常出现夕卡岩化、角岩化及碳酸盐化。

端川岩群:侵入时代为侏罗纪,沿北西向及南北向断裂带产出,规模差别较大,呈小岩株、岩基状产出。主要岩性为绢云母花岗岩、花岗闪长岩。

鸭绿江岩群:侵入时代为白垩纪,与端川岩群为侵入不整合接触关系。早阶段为辉长岩、花岗闪长岩、石

① 吉林省长白朝鲜族自治县地质考察团. 朝鲜惠山地区地质矿产考察报告. 1987.

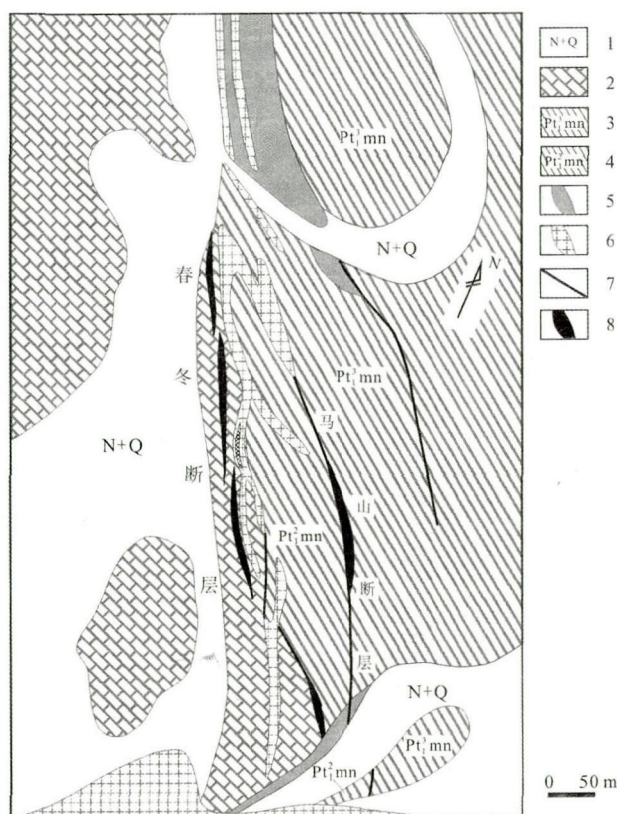


图4 朝鲜惠山铜矿地质略图^①

Fig. 4 Geological sketch map of Hyesan Cu deposit, DPRK

1—新近系—第四系地层 (Neogene and Quaternary); 2—曼达统灰岩 (limestone of Ordovician Manda series); 3—南大川统上段 upper member of Nandachuan series); 4—南大川统中段 middle member of Nandachuan series); 5—平安系地层 (Ping'an system); 6—花岗斑岩 (granite porphyry); 7—断层 (fault); 8—矿体 (ore body)

英闪长岩,多以脉状或小岩株的形式产出。晚阶段为文象花岗岩、花岗斑岩,规模不大,多以脉状产出。

3.4 矿体特征

惠山铜矿包括2个矿区:本山矿区和马山矿区。

本山矿区位于惠山铜矿的北端,距鸭绿江约700 m,包括3个矿体,依次称1、2、3号矿体。1号矿体沿春冬断层产出,分布在17~24线之间,长500 m左右,走向330°,在春冬断层走向转变部位矿体膨大产出。该矿体围岩为古生代平安系砂岩,主要矿石矿物为硫砷铜矿和黝铜矿,矿石矿物含量随矿体的膨大而变富。2号矿体为隐伏矿体,发育在曼达统灰岩与砂岩接触部位。在灰岩产状转变部位矿体富集程度好,矿化最好处矿体长200 m,富集铜铅锌元素。3号矿体产于曼达统灰岩之内,矿体长80 m,主要矿石矿物为闪锌矿。3个矿体形态有别,出露深度也不同,但均受春冬断层控制。

马山矿区位于惠山铜矿的南部,由4个矿体组成,仅编号为2、3号的矿体具有工业价值。矿体主要围岩为曼达统灰岩,少见南大川统片岩。随灰岩硅化程度的加强,矿石矿物的含量也相应增高。矿石类型主要有:1)黄铜矿、硫砷铜矿和黝铜矿;2)方铅矿、闪锌矿和黝铜矿;3)黄铁矿和黄铜矿。2号矿体长约100 m,宽22 m,走向为350°,倾向东,倾角60°。矿体下盘围岩为灰岩,顶板为硅化灰岩,内有石英斑岩脉穿插(图5)。

3.5 围岩蚀变特征

矿区内围岩蚀变较强,蚀变种类较多,见有高岭土化、绢云母化、碳酸盐化、硅化和夕卡岩化。这些蚀变作用大致可以分为3期:1)成矿前蚀变主要发生在本山地区的地表;2)成矿期表现为绢云母化蚀变;3)成矿后蚀变作用以热液蚀变作用为主^①。

4 讨论与找矿方向探讨

根据已有地质资料分析,临江铜矿属较典型的夕卡岩型铜矿。工程揭露矿体多产出在燕山期花岗闪长岩、石英闪长玢岩与围岩灰岩接触的夕卡岩内,矿区局部平面图与钻孔剖面图上均有显示(图2、3)。矿石、脉石矿物种类及生成顺序也符合夕卡岩型矿床的特征。朝鲜惠山铜矿受地质研究程度的限制,我国地质工作者对其了解不够详尽。目前了解到的地质概况反映惠山铜矿及围岩蚀变与斑岩型铜矿地质特征接近:矿体产出在中酸性花岗岩内;矿石类型以细脉浸染型为主;主要矿石矿物为黄铜矿;围岩蚀变主要为硅化、绢云母化。我国长白县沿江村与朝鲜惠山铜矿隔鸭绿江仅数百米。据武警黄金部队在沿江村水泥厂钻孔工程揭示,380 m左右存在厚度不大的金矿化体^[11],符合斑岩成矿系统外围浅成低温热液型金矿地质特征。长白县十二道沟地区经地质勘探工作发现钨矿化线索^[12]。对于2个矿床成矿年龄尚未有学者进行相关研究,但吉林冶金地质勘探公司^②对花岗闪长岩中黑云母的同位素年龄测定结果为120.5 Ma。结合花岗闪长岩与铜矿体的产出关系,可推测临江铜矿的成矿年龄应略晚于120 Ma。朝鲜惠山铜矿矿区范围内产出侏罗纪的端川岩群及三叠纪的惠山岩群。根据典型斑岩型铜矿成矿岩体与矿床成矿年龄的先后关系,可推测惠山铜矿成矿年龄与临江铜矿相近。根据对两个铜矿地质和时空特征分析,临江铜矿与惠山铜矿床应同属斑岩-夕卡岩型成矿系统。

① 吉林省长白朝鲜族自治县地质考察团。朝鲜惠山地区地质矿产考察报告。1987。

② 吉林省冶金地质勘探公司601队。临江铜矿区地质勘探总结报告书。1980。

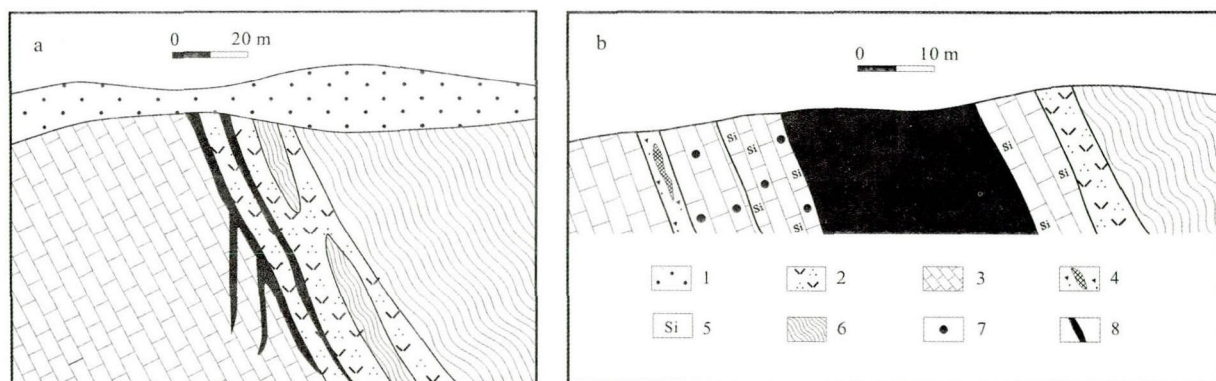
图5 惠山铜矿马山矿体剖面示意图^①

Fig. 5 Schematic section of the Mashan orebody in Hyesan Cu deposit

1—新近系砂岩 (Neogene sandstone); 2—石英斑岩 (quartz porphyry); 3—曼达统灰岩 (limestone of Ordovician Manda series); 4—含方解石脉破碎带 (fracture zone with calcite veins); 5—硅化 (silicification); 6—摩天岭组片岩 (schist of Motianling fm.); 7—黄铜矿化 (chalcopyritization); 8—矿体 (ore body)

典型的斑岩-夕卡岩型成矿系统有特定的成矿岩浆岩及围岩。朝鲜惠山铜矿与临江铜矿均产出在元古宙辽吉裂谷内,基本地质背景相似。古老裂谷形成初期拉张裂解阶段,形成了快速沉降火山喷发堆积和慢速沉积堆积旋回,形成了良好的铅锌、菱镁矿、铜、金等矿源层^[3]。在裂谷形成及演化阶段形成了鸭绿江成矿带内许多有名的矿床,如青城子铅锌矿、赤柏松铜镍硫化物矿床等。区内产出的前寒武系老岭群(朝鲜境内称为摩天岭群)老变质岩地层多种成矿元素地球化学背景值均较高,为成矿提供了良好的矿源层。前人对华北板块东缘构造体制的研究表明,中生代构造体制的转变,由挤压转变为拉伸过程中,引发了大量的热体制变化、火山喷发、花岗岩侵入与大规模成矿事件^[14-15]。前已述及该区产出在元古宙辽吉裂谷内,从长白县沿鸭绿江至临江一带多有前寒武纪弱变质灰岩、大理岩及中生代中酸性侵入岩出露。该地区具备寻找斑岩-夕卡岩型矿床的良好条件。

临江铜矿与朝鲜惠山铜矿的产出均受断裂构造控制。临江铜矿内主要断裂 F_1 (冰沟湖-小铜矿沟断裂)为鸭绿江断裂的次级断裂。断裂多次活动切割较深,为中酸性侵入体就位提供了空间,是矿床的导矿构造。其次级断裂基本与之平行,控制了临江铜矿多个铜矿体的产出。该断裂构造走向 $50^{\circ}\sim 60^{\circ}$,倾角 $70^{\circ}\sim 80^{\circ}$,与长白地区内主要的北东向断裂产状一致。惠山铜矿的产出受北西向春冬断裂和马山断裂的控制。春冬断裂走向 330° ,倾角 $60^{\circ}\sim 70^{\circ}$,马山断裂基本与之平行。朝鲜地质工作研究标明春冬断裂在深部与虚川江断裂汇合,并延伸进入中国境内。该组断裂也是长白地区区域上存

在的另一组主要断裂(层)。

研究显示,我国长白地区存在较好的寻找斑岩-夕卡岩型铜矿的潜力。找矿工作应注意中生代侵入岩与前寒武纪浅变质地层接触部位矿化线索,尤其是轴向为北西向、北东向产出的燕山期中酸性花岗岩类。典型斑岩型成矿系统的矿化蚀变也应引起足够重视。不容易引起重视的硅化、泥化也可能具有矿化指示作用。长白县附近产有一种称为“长白石”的观赏石,就是由叶腊石、明矾石、高岭石等组成,可能就是斑岩型蚀变外围泥化带的体现。由于长白山地区第三纪玄武岩大面积喷发,并上覆于之前地层之上,且玄武岩层较厚,对找矿勘查工作带来一定难度。鉴于该种类型矿床受构造控制产出明显,找矿时应注意主体北西向、北东向断裂与东西向断裂交汇部位的地球化学异常查证工作。

5 结论

1)临江铜矿矿体多出于夕卡岩内,呈透镜状、囊状,受构造控制明显。矿石矿物种类及生成顺序与典型夕卡岩矿床基本一致。该矿床为夕卡岩型铜矿。朝鲜惠山铜矿显示斑岩型铜矿地质特征。

2)2个矿床的地质特征及周边低温热液金矿化的产出指示两矿床同属斑岩-夕卡岩型成矿系统。研究区存在较好斑岩-夕卡岩型铜矿床找矿潜力。

3)今后找矿工作应注意:北西向、北东向断裂与近东西向断裂交汇部位矿化线索;轴向北西向、北东向燕山期中酸性侵入岩与前寒武纪地层接触部位矿化线索;斑岩型矿床不易引起注意的特征矿化蚀变。

(下转第74页 / Continued on Page 74)

① 吉林省长白朝鲜族自治县地质考察团. 朝鲜惠山地区地质矿产考察报告. 1987.

原生环境条件主导. 当评价指标中不含 TFe、Mn 时更能够反映人类活动对地下水的影响. 可见, 评价指标选取的不同, 会导致不同的评价结果.

(3) 地下水污染评价结果表明, 研究区地下水污染较重, 属于区域性污染, 主要污染因子为 NH_4^+ 、 NO_3^- . 主要污染源为养殖场、居民生活垃圾及农业生产所使用的化肥, 地下水污染程度受污染源强度、污染时间的控制, 同时也受到地下水的埋藏条件和径流条件的影响.

参考文献:

- [1] 高存荣, 王俊桃. 我国 69 个城市地下水有机污染特征研究[J]. 地球学报, 2011, 32(5): 581—591.
- [2] 张兆吉, 费宇红, 郭春艳. 华北平原区域地下水污染评价[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2012, 42(5): 1456—1462.
- [3] 李德彬, 张琪, 宋旭. 地下水三氮污染的现状 & 主要除氮方法[J]. 环境与可持续发展, 2009(5): 35—37.
- [4] 尹鹏. 哈尔滨市水资源发展态势及可持续利用评价研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2011.
- [5] 陈尚龙, 达丽红, 乔光建. 氮污染物在非饱和土壤中迁移过程对地下水水质影响分析[J]. 南水北调与水利科技, 2010, 8(4): 58—61, 102.
- [6] 王全九, 邵明安, 郑纪勇. 土壤中水分运动与溶质迁移[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007.

(上接第 25 页 / Continued from Page 25)

致谢: 野外地质考察工作得到吉林省地质调查研究院、长白县国土资源局领导的大力支持. 论文撰写过程中与沈阳地质调查中心张朋、张春鹏工程师进行了有益的讨论, 在此一并表示衷心感谢.

参考文献:

- [1] 宋建潮, 胡铁军, 王恩德, 等. 鸭绿江断裂带两侧成矿条件对比及辽东地区未来寻找金属矿产资源的启示[J]. 矿床地质, 2009, 28(4): 449—461.
- [2] CHEN Jiang-feng, YU Gang, XUE Chun-ji, et al. Pb isotope geochemistry of lead, zinc, gold and silver deposit clustered region, Liaodong rift zone, northeastern China[J]. Science in China: D (Earth Sciences), 2005, 48(4): 467—476.
- [3] 张朋, 乔树岩, 姜海洋, 等. 辽宁鞍山地区铁矿成矿规律与资源潜力分析[J]. 地质与资源, 2012, 21(1): 134—138.
- [4] 张朋, 乔树岩, 杨宏智. 辽宁南芬铁矿地质特征及找矿前景[J]. 金属矿山, 2011(12): 91—93.
- [5] 张森, 赵东方, 吕广俊, 等. 辽宁红透山铜锌矿床地质特征及成因浅析[J]. 地质与资源, 2007, 16(3): 173—182.
- [6] 张森, 张迪, 沙德喜, 等. 辽东林家三道沟 - 小佟家堡子地区金(银)矿成矿特征及成因[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2012, 42(3): 725—732.

- [7] 王成文, 刘永江, 李东涛. 辽河岩群南北区域对比的新证据[J]. 长春地质学院学报, 1997, 27(1): 17—24.
- [8] 吴冬铭, 李玮, 李玉龙, 等. 关于鸭绿江深断裂带北延的重力场证据[J]. 吉林地质, 2008, 27(1): 56—60.
- [9] 张国仁, 江淑娥, 韩晓平, 等. 鸭绿江断裂带的主要特征及其研究意义[J]. 地质与资源, 2006, 15(1): 11—19.
- [10] 董南庭, 武贵禄, 王光奇, 等. 鸭绿江断裂带基本地质特征及成矿规律[J]. 吉林地质, 1989(4): 1—25.
- [11] 陈文雅. 沿江与惠山成矿地质条件对比分析及找矿方向探讨[J]. 内蒙古科技与经济, 2012(262): 47—48.
- [12] 彭明生, 杨宏智, 赵岩, 等. 吉林省长白县十二道沟地区钨矿找矿前景探讨[J]. 地质与资源, 2013, 22(4): 284—288.
- [13] 马玉波, 邢树文, 张增杰, 等. 辽吉裂谷区铅锌金矿 S、Pb 同位素特征及其地质意义[J]. 地质学报, 2013, 87(9): 1399—1409.
- [14] ZHAI Ming-guo, ZHU Ri-xiang, LIU Jian-ming, et al. Time range of Mesozoic tectonic regime inversion in eastern North China Block[J]. Science in China: D (Earth Sciences), 2004, 33(10): 913—920.
- [15] 曹花花, 许文良, 裴福萍, 等. 华北板块北缘东段二叠纪的构造属性: 来自火山岩锆石 U-Pb 年代学与地球化学的制约[J]. 岩石学报, 2012, 28(9): 2733—2750.