

文章编号: 0258-7106 (2013) 02-0415-12

辽东二棚甸子-万宝地区铜多金属矿床 控矿条件分析及成矿预测*

梁 帅¹, 翟富荣², 杨占兴³, 刘敬党^{1,4}, 张艳飞⁴, 杨中柱², 王忠江²,
牟文君², 陈 圭², 陈荣度²

(1 辽宁工程技术大学, 辽宁 阜新 123000; 2 辽宁省地质勘查院, 辽宁 大连 116012;
3 辽宁省地质矿产勘查局, 辽宁 沈阳 110031; 4 辽宁省化工地质勘查院, 辽宁 锦州 121000)

摘 要 辽东二棚甸子-万宝地区位于辽东裂谷带的中部, 属华北地台北缘太平洋成矿带。由于受裂谷的控制, 其成矿地质条件十分优越, 是铜、铅锌、钼、金等金属矿产的富集地带。文章通过研究区内层控及与岩浆成矿作用有关类型的典型矿床成矿地质特征的对比研究, 总结出区域多金属矿床成矿控矿条件, 并以此为基础, 结合区内地质、矿物、地球化学等找矿标志, 将二棚甸子-桦树甸子及万宝外围划分为该区最有找矿潜力, 也是快速实现找矿突破的首选靶区。

关键词 地质学 控矿条件 成矿预测 多金属 找矿标志 找矿靶区 辽东裂谷

中图分类号: P618.41

文献标志码: A

Ore-controlling conditions and metallogenic prognosis of copper polymetallic deposits in Erpengdianzi-Wanbao area of eastern Liaoning Province

LIANG Shuai¹, ZHAI FuRong², YANG ZhanXing³, LIU JingDang⁴, ZHANG YanFei⁴, YANG ZhongZhu²,
WANG ZhongJiang², MU WenJun², CHEN Yao² and CHEN RongDu²

(1 Liaoning Technical University, Fuxin 123000, Liaoning, China; 2 Liaoning Geological Exploration Institute, Dalian 116012, Liaoning, China; 3 Liaoning Bureau of Geology and Mineral Resources, Shenyang 110031, Liaoning, China; 4 Liaoning Chemical Industry Geological Exploration Institute, Jinzhou 121000, Liaoning, China)

Abstract

The Erpengdianzi - Wanbao area of eastern Liaoning Province is located at the center of Liaodong rift zone. Because of the “rift control” action, the ore-forming geological conditions of this area are very favorable, and hence this area has become an enrichment zone of such metals as copper, lead, zinc, molybdenum and gold, which belongs to the North China platform marginal Pacific metallogenic belt. Based on a comparative study of the metallogenic geological characteristics of typical deposits related to stratabound and magmatic activities, the authors summed up the regional polymetallic ore-controlling conditions and, in combination with geological, mineralogical and geochemical prospecting criteria, delineated Erpengdianzi - HuaShudianzi area and peripheral area of Wanbao as the areas with most favorable prospecting potential, which are also preferred target areas for rapid prospecting breakthrough.

* 本文得到辽宁省地质矿产勘查规划项目及辽宁省钼、稀土元素等矿产勘查项目的资助

第一作者简介 梁 帅, 男, 1986 年生, 博士研究生, 矿床地质与地球化学专业。Email: zfr750@163.com

收稿日期 2011-05-14; 改回日期 2012-11-05。许德煊编辑。

Key words: geology, ore-controlling conditions, metallogenic prognosis, polymetallic, prospecting criteria, prospecting target area, eastern Liaoning rift

二棚甸子-万宝地区位于辽东裂谷带的中部,南芬-万宝中生代铜-铅锌-钼-金多金属成矿带的东段。上世纪 70 年代该地区已完成 1:20 万区域地质调查 80 年代,张秋生(1986)对辽东半岛的地壳与矿床进行了研究 80 年代后期至今,众多地质工作者相继对该地区内的单个多金属矿床的地质特征、地球化学特征、成矿模式或成因机制等进行了研究(王东方,1987 张乾,1992 时光,1997 宋建潮等,2001 湖铁军等,2009 张承帅,2009);但对二棚甸子-万宝地区多金属矿床成矿条件及预测方面的研究则很少,仅有王文清等(1993)对其区域成矿规律进行了总结。因此,研究该区域的控矿地质条件,总结找矿标志,并对区内多金属矿床进行成矿远景预测,具有重要意义。

1 区域地质背景

二棚甸子-万宝地区处于华北陆块北部的太子河-浑江拗陷与营口-宽甸隆起的交接部位(图 1)。其基底是古元古界辽河岩群。该岩群的下部为含电气石磁铁矿浅(变)粒岩类斜长角闪岩及镁质大理岩(含硼岩系);中-上部为黑云片岩、变粒岩,夹大理岩。基底之上依次沉积有新元古界青白口系—南华系、下古生界寒武系—奥陶系、上古生界石炭系—二叠系。新元古界与下古生界均为陆表海沉积,前者由陆源碎屑岩类夹碳酸盐岩组成,后者为碳酸盐岩夹陆源碎屑岩;上古生界为海陆交互的含煤砂页岩夹灰岩。在中生代晚期形成的上叠盆地中,堆积了以中性岩为主的火山岩系。

侵入岩,最早有吕梁期的花岗杂岩侵入于辽河岩群,在燕山晚期,则有沿 NW 向张剪性断裂侵位的中-酸性岩体,多为岩株和岩脉,岩石类型有辉石闪长岩-石英闪长岩、花岗闪长岩、花岗岩及石英斑岩,都是区内多金属矿化的母岩,相伴产出矽卡岩型铜(铁)矿床、铜(铁)矿床、斑岩型及脉状钼矿床。

该地区的构造甚为复杂。基底褶皱为近 EW 向的紧闭复式褶皱,在盖层褶皱中,NW 向褶皱形成于印支期,NE 向褶皱形成于燕山早期。区内断裂发育,主要有 2 组:以鸭绿江断裂为代表的 NE 向断裂系,以平北(平安北道)断裂为代表的 NW 向断裂系。

这些断裂系自印支期形成以来,有着不同的发育史,都发生过运动方式、方向和性质的多次改变,但晚白垩世以来主要表现为平移性质,NE 向断裂右行,NW 向断裂左行,共同归入 EW 向外力作用场下的一对共轭剪切断裂系。它们控制了区内早白垩世侵入岩及侏罗纪—白垩纪上叠盆地的边界。从大区域的角度分析,鸭绿江断裂主要起导岩作用,而 NW 向断裂及其他 NE 向断裂则表现为控岩断裂。

2 研究区矿床类型

经过多年的地质勘查工作,在研究区内,已发现了十几个大、中、小型矿床(点)(图 1),如张家堡子铅锌矿、高丽墓子铅锌矿、二棚甸子铜铅锌多金属矿、万宝源钼矿、东北沟钼矿、铁路子铅锌矿、老营沟铅锌矿、穷棒子沟钼矿、沙窝沟金矿等。通过对研究区内矿床地质及成矿方式等特征进行归纳总结,将矿床类型划分为 2 大类 5 小类(表 1)。一大类为沉积变质改造型矿床,或称层控型矿床;另一大类是与岩浆作用有关的矿床,包括接触交代矽卡岩型、斑岩型、爆破角砾岩型、热液脉型等 4 种矿床,以前 2 种为主。

2.1 层控型矿床

以张家堡子铅锌矿床为典型代表。该矿床包含张家堡子、高丽墓子矿段。矿体严格受地层控制且与地层产状一致。主要有 2 个地层岩性段控制着矿段的产出:下部碳酸盐岩段的白云石大理岩夹透辉石岩主要控制着张家堡子铅锌矿段;上部碳酸盐岩段的大理岩和橄榄白云石大理岩主要控制着高丽墓子铅锌矿段、张家堡子沟门铅锌矿段。

前一岩性段的特点主要是层位稳定,铅锌矿段的产状与上、下岩层的产状一致,矿体呈透镜状,顺层产出,常成行排列,控矿构造主要为层间构造,矿石的矿物成分简单,主要为闪锌矿、方铅矿、黄铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿、方解石、萤石、重晶石等;围岩蚀变主要为金云母化、镁橄榄石化、绿泥石化、重晶石化、萤石化等。后一岩性段的特点主要是层位稳定,铅锌矿段的产状与上、下岩层的产状一致,矿段的顶板为复杂钙硅酸盐,由金云母透闪透辉岩条带与方解石大理岩互层,底板为白云石大理岩夹透辉石条

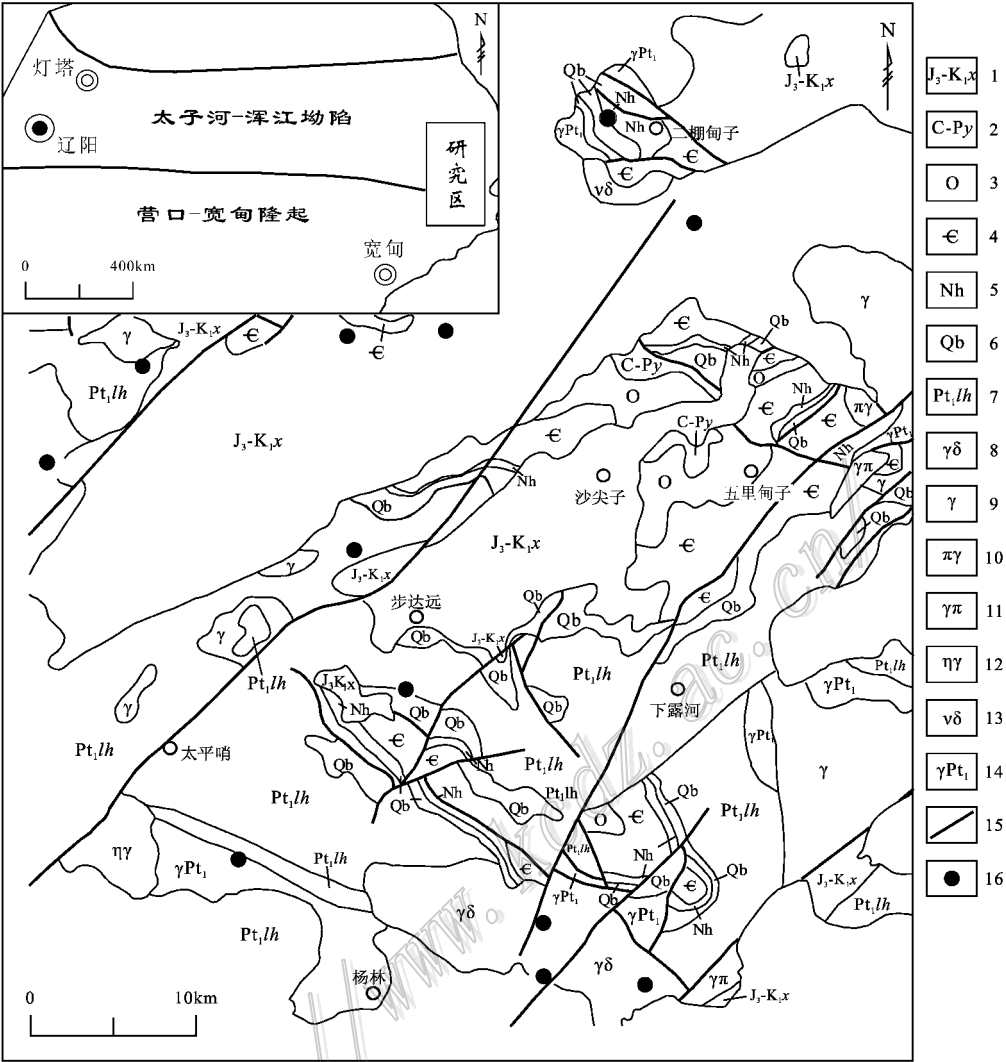


图 1 桓仁-万宝地区地质略图

- 1—侏罗系—白垩系小岭组；2—石炭系—二叠系月门沟群；3—奥陶系；4—寒武系；5—南华系；6—青白口系；7—辽河岩群；
8—13—白垩纪侵入岩：8—花岗闪长岩；9—花岗岩；10—似斑状花岗岩；11—花岗斑岩；12—二长花岗岩；13—辉长闪长岩；
14—古元古代花岗杂岩；15—断裂；16—多金属矿床(点)

Fig. 1 Simplified geologic map of Huanren-Wanbao area

- 1—Jurassic-Cretaceous Xiaoling Formation；2—Carboniferous-Permian Yuemengou Group；3—Ordovician；4—Cambrian；5—Nanhua System；
6—Qingbaikou System；7—Liaoh Group；8~13—Cretaceous intrusive rocks：8—Granodiorite；9—Granite；10—Porphyritic granite；
11—Granite porphyry；12—Monzogranite；13—Gabbro-diorite；14—Paleoproterozoic granitic complex；15—Fault；16—Polymetallic deposit (ore spot)

带 矿化赋存在白云石大理岩中,闪锌矿呈浸染状顺层分布,表现为层纹状,分布稳定,矿石矿物以闪锌矿为主,方铅矿和黄铁矿少量,具有典型的原始沉积矿床特点。矿石具层纹状构造,结构简单,为粒状变晶结构和退火结构,局部见有交代结构。围岩蚀变主要为蛇纹石化、硅化等。

该矿床的成矿模式(图 2)如下：

同生沉积阶段 地壳深部的矿质沿深大断裂喷发到海底的封闭海盆中,经过同生沉积作用,形成层状沉积矿床；

变质变形改造阶段 同生沉积阶段后,层状沉积矿床遭受了吕梁构造运动变质变形作用的改造,之后,又经历了中生代构造-岩浆作用的改造,形成了重新就位的层状铅锌矿床。

表 1 区内主要矿床类型表(据王文清等,1993 修改)

Table 1 Main types of ore deposits in the study area (modified after Wang et al.,1993)

类型	构造背景	矿种	侵入岩	地层及岩性	矿物组合	围岩蚀变	矿化分带	成矿方式	矿床名称	资料来源
层控型矿床										
沉积变质改造型	古裂谷内次级盆地边缘	Pb、Zn	火山硅质岩	高家峪组二段含铅碳酸盐岩	闪锌矿、方铅矿、黄铁矿	蛇纹石化、硅化	由上而下：Zn-Pb	火山喷气沉积、变质-变形重就位	张家堡子铅锌矿床	辽宁省地质矿产局,1986
与岩浆作用有关的矿床										
接触交代矽卡岩型	隆起区与拗陷区交界处	Pb、Zn、Cu、Fe	闪长岩类、花岗闪长岩类	寒武系碳酸盐岩	黄铜矿、磁铁矿、闪锌矿、黄铁矿	矽卡岩化、碳酸盐化	由下而上：Cu-Fe-Cu、Zn-Pb、Zn	接触交代为主,热液脉状为次	二棚甸子多金属矿床	宋建潮等,2007
斑岩型	陆相火山盆地边缘	Mo	花岗闪长岩、石英斑岩		辉钼矿、黄铁矿、黄铜矿	硅化、钾化		充填、交代型	万宝源钼矿床	胡铁军等,2009
爆破角砾岩型	陆相火山盆地边缘带	Mo(Cu、Au)	石英斑岩、花岗斑岩、二长花岗岩		辉钼矿、黄铁矿、自然金、石英	硅化、钾化、绿泥石化	自下而上：Au-Mo-Cu	充填、交代型	东北沟钼矿床	徐敏成等,2008
热液脉型	拗陷区	Pb、Zn	流纹斑岩、花岗斑岩	以辽河群片岩为主	黄铁矿、方铅矿、闪锌矿等	硅化、碳酸盐化	自上而下：Pb-Zn-Pb	充填为主,交代为次	老营沟铅锌矿床	辽宁省地质局,1970

2.2 与岩浆作用有关的矿床

2.2.1 接触交代矽卡岩型矿床

以二棚甸子多金属矿床为典型代表。矿体的形态受矽卡岩体形态的控制,多呈脉状、透镜状、囊状、似层状等,规模不等,一般长数百米,厚 2~6 m,延深 100~200 m,或更深。矿石矿物组成复杂,不同类型矿体的矿物组成有一定差异,但金属矿物主要为磁铁矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿,脉石矿物以透辉石、石榴子石、绿帘石、石英、方解石为主。围岩蚀变主要有大理岩化、矽卡岩化和晚期绿泥石化、碳酸盐化等。

矽卡岩化具有明显的垂向分带和水平分带。在垂向上,可大致划分为 3 个带(张承帅,2009)(表 2),即上部(0~200 m)铅锌矿化带、中部(-200~-400 m)铜锌矿化带及下部(-400~-720 m)铜铁矿化带。在水平方向上,铅锌矿体位于外接触带矽卡岩或矽卡岩化大理岩中,铜锌矿体多位于接触带部位铅锌矿体内侧的矽卡岩中,铜铁矿体主要位于靠近岩体一侧的矽卡岩中。

李庆森(1991)提出该矿床为层控矿床,认为其成矿物质来源于围岩,受侵入岩的影响,经热变质形成了含矿矽卡岩。而其地质特征表明,二棚甸子多金属矿床主要产在燕山期闪长岩岩枝(或舌状体)与中寒武统条带状大理岩的接触带中。

该矿床的形成机制大体如下:伴随燕山晚期强烈的构造-岩浆活动,在早白垩世早期,辉石闪长岩侵入位于结晶基底及其上覆的寒武纪地层中;在岩浆活动的晚期,岩浆气液与灰岩接触交代,在岩体与

围岩的接触部位形成了矽卡岩体,同时,大量的磁铁矿及部分黄铜矿沉淀,形成了磁铁矿体或铜铁矿体;在随后的高温气液期,黄铜矿和闪锌矿大量沉淀于接触带部位的矽卡岩中,形成了铜锌矿体,并伴随有高温组合的热液蚀变;在中-低温热液阶段,铅锌矿物大量沉淀于外接触带矽卡岩中,形成了铅锌矿体;晚期银矿化产生于破碎带中,同时,有一部分含铅锌的热液进入围岩裂隙,在接触带外侧形成了少量的脉状及层状矿体。该矿床的成因类型属典型的接触交代矽卡岩型多金属矿床,其成矿模式如图 3 所示。

2.2.2 斑岩型矿床

以万宝源钼矿床为典型代表。万宝源矿段的钼矿体主要赋存于石柱子花岗闪长岩体南东部的花岗闪长岩及石英斑岩中,有少数钼矿体赋存于石英脉中。矿体的围岩主要为花岗闪长岩,在该矿段内及其东侧,可见少量矿体被残余的大理岩包围,有的已矽卡岩化。矿体形态比较稳定,多呈脉状和透镜状,只有极少数为似层状。钼以鳞片状或细粒浸染状辉钼矿的形式存在,通常充填于容矿岩石的裂隙或孔洞中。据其围岩类型的不同,可分为似斑状花岗闪长岩型(斑岩型)钼矿石、石英脉型钼矿石、石英斑岩型钼矿石,以斑岩型为主。斑岩型矿石为辉钼矿-黄铁矿-黄铜矿型矿石。矿石构造为脉状、网脉状、细脉浸染状构造。围岩普遍发育绢云母化、硅化、绿泥石化和碳酸盐化。

此类矿床的成矿模式(图 4)如下:

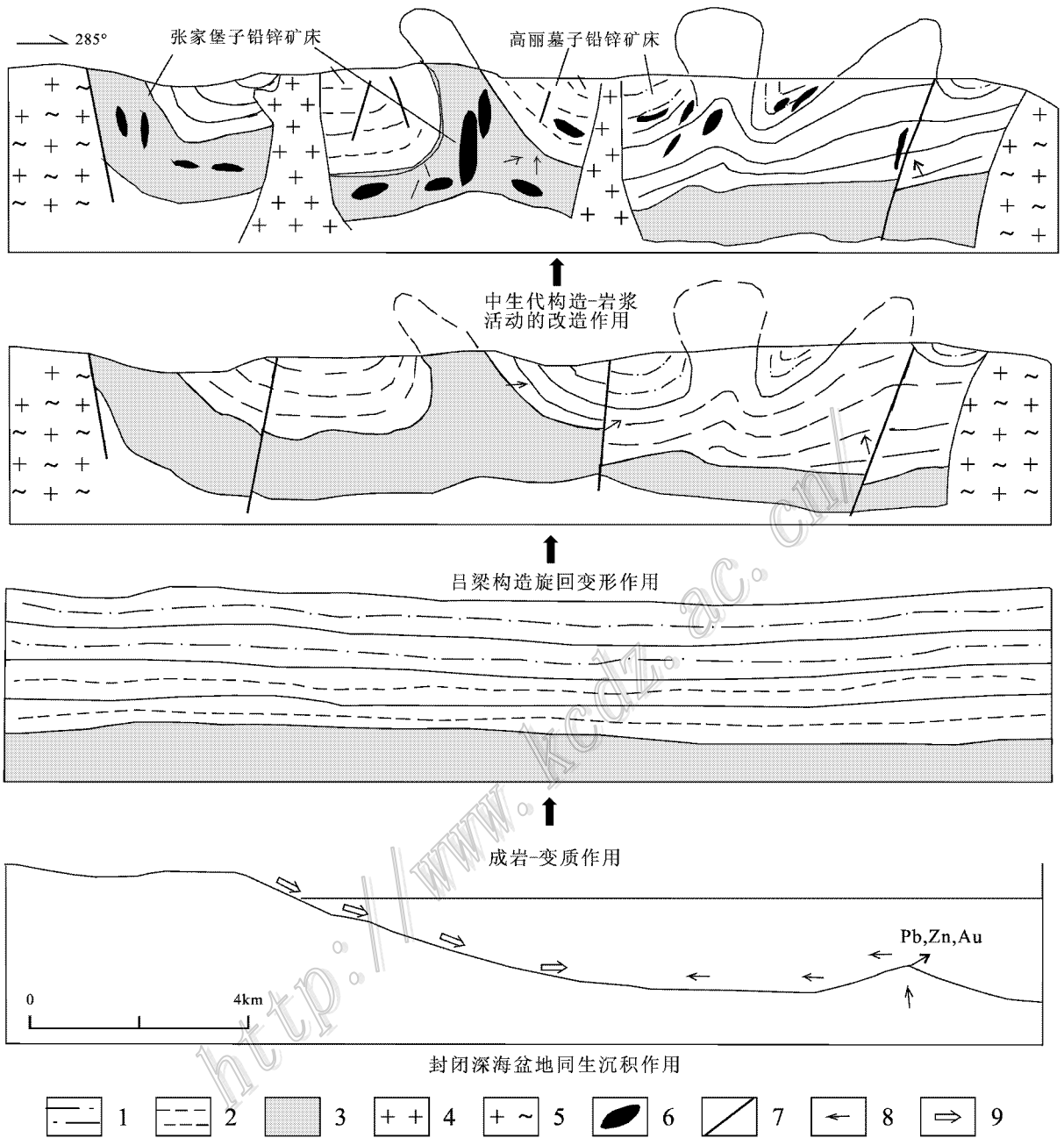


图 2 张家堡子及高丽墓子铅锌矿层控矿床成矿模式图(据孙文涛, 2008 修改)

1—上部大理岩和橄榄白云石大理岩建造; 2—中部碳酸盐建造; 3—下部白云石大理岩夹透辉石建造; 4—印支期—燕山期花岗岩; 5—辽河期混合花岗岩; 6—矿体; 7—断裂; 8—火山喷发排气方向; 9—沉积物搬运方向

Fig. 2 Stratabound metallogenetic models of Zhangjiabuzi and Gaolimuzi lead-zinc deposits

1—Upper part: marble and olivine dolomite-marble formation; 2—Middle part: carbonate formation; 3—Lower part: dolomite-marble intercalated with diopside formation; 4—Indosinian-Yanshanian granite; 5—Migmatitic granite of Liaohe Period; 6—Ore body; 7—Fault; 8—Direction of volcanic eruption and exhalation; 9—Sediment transport direction

表 2 二棚甸子多金属矿床砂卡岩化分带特征

Table 2 Zoning characteristics of skarn in the Erpengdianzi polymetallic deposit

含矿砂卡岩带	矿化元素组合	金属矿物	非金属矿物	分布标高/m
铅锌矿化砂卡岩带	Pb-Zn	方铅矿、闪锌矿	透辉石、石榴子石、方解石、石英	0 ~ -200
铜锌矿化砂卡岩带	Cu-Zn	黄铜矿、闪锌矿	绿帘石、透辉石、石榴子石、石英	-200 ~ -400
铜铁矿化砂卡岩带	Cu-Fe	磁铁矿、黄铜矿	石榴子石、绿帘石、透辉石	-400 ~ -720

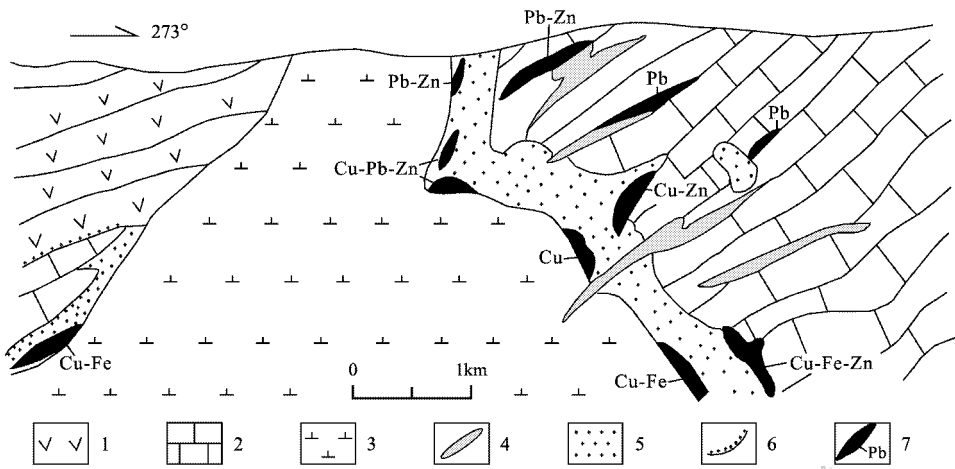


图 3 二棚甸子多金属矿床成矿模式(据辽宁省地质矿产局, 1997 修改)

1—小岭组火山岩; 2—寒武系灰岩; 3—早白垩世早期辉石闪长岩; 4—闪长玢岩脉; 5—砂卡岩; 6—不整合线; 7—矿体

Fig. 3 Metallogenic model for the Erpengdianzi polymetallic deposit

(modified after Liaoning Bureau of Geology and Mineral Resources, 1997)

1—Volcanic rocks of Xiaoling Formation; 2—Cambrian limestone; 3—Early Cretaceous pyroxene diorite; 4—Diorite porphyry vein; 5—Skarn; 6—Unconformity; 7—Ore body

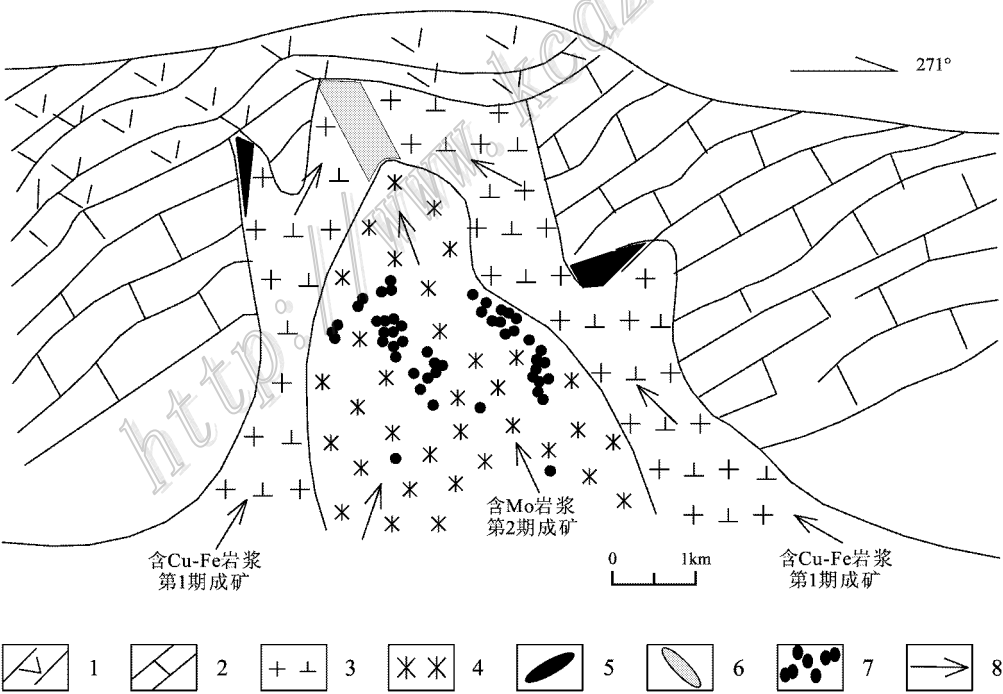


图 4 万宝源钼矿床成因机制示意图(据胡铁军等, 2009 修改)

1—流纹质凝灰岩; 2—条带状大理岩; 3—花岗闪长岩; 4—石英斑岩; 5—砂卡岩型铜铁矿体; 6—石英脉型钼矿体; 7—斑岩型钼矿石; 8—岩浆迁移方向

Fig. 4 Schematic diagram showing mechanism of the Wanbaoyuan molybdenum deposit (modified after Hu et al., 2009)

1—Rhyolitic tuff; 2—Striped marble; 3—Granodiorite; 4—Quartz porphyry; 5—Skarn-type Cu-Fe ore body; 6—Quartz vein type Mo ore body; 7—Porphyry-type Mo ore; 8—Magma migration direction

在强烈的燕山期构造运动中,岩浆演化具有阶段性,在不同的演化阶段,形成了不同组分的岩浆岩及其伴生的矿化。在早期,由深部地壳重熔形成的原生花岗质熔融体上升到浅部(高位)岩浆库后,随着岩浆分异作用的进行,首先出现花岗闪长质岩浆的结晶作用,其结晶作用末期所分异出的含Cu、Fe热液交代围岩而形成了矽卡岩型铜(铁)矿体。原生岩浆经过这一阶段的岩浆结晶分异作用后,剩余的液相部分,即残余岩浆,其酸性程度增高,有用组分中的钼得以富集,当构造作用再次发生时,残余岩浆沿着复活的和新生的断裂侵位到先期岩体的上部形成了石英斑岩小岩体,有的形成了爆破岩筒,随之分离出来的富钼热液,在脉动性构造作用中,沿母岩体的原生及次生节理裂隙充填而形成了斑岩型钼矿,有少部分富钼热液进入了顶部围岩中,形成了石英脉型钼矿。关于成矿物质的来源,笔者认为,主要来自母岩浆本身,但是,岩浆在其运移过程中,也可通过熔融式对流循环的方式,从围岩中萃取部分有用组分,故将其归属于斑岩型矿床。

2.2.3 爆破角砾岩型矿床

以东北沟钼矿床为典型代表。该矿床的矿体本身就是一个爆破角砾岩筒,形态为不规则的圆形,其围岩为爆破角砾岩。

该矿床的蚀变具有水平分带和垂直分带的特征。在水平方向,以爆破角砾岩筒为中心向外,有绿泥石化、绿帘石化、绢英岩化和钾化;绿泥石化、绿帘石化与钼矿化关系密切。在垂向上,由上而下为绢英岩化、硅化和钾化。

2.2.4 热液脉型矿床

以老营沟铅锌矿床为典型代表。矿体严格受NW向断裂的控制,与地层走向呈斜交关系。矿体呈脉状、透镜状断续出现。矿石矿物主要为黄铜矿、方铅矿、闪锌矿等。矿体顶底板为黑云母片岩、矽线黑云母斜长片麻岩等,矿体与围岩的关系不密切。围岩蚀变为硅化、绿泥石化、碳酸盐化、绢云母化、高岭土化。

3 矿床控矿条件分析

3.1 层控矿床的控矿条件分析

层状铅锌矿床受控于辽东裂谷的基底构造,以及与基底构造有关的沉积盆地内的特定层位,而后期的变质-变形则仅起着改造作用。

沉积盆地与成矿的关系

克拉通内的盆地(包括裂谷)具有在沉积期处于活动状态的断裂系统,由这些断裂引起的不平衡垂直运动所形成的盆地地形,为海底喷气活动提供了通道和矿物质沉淀的场所。裂谷中的内带断槽与外带断槽的接触带,是一个重要的构造-岩浆活动带。王有爵等(1993)的研究资料表明,铅锌矿点集中分布在该构造-岩浆活动带的两侧,构成了一个规模较大的矿化集中区。碳酸盐岩中的层状铅锌矿点分布在该构造-岩浆活动带南侧内带断槽的边缘(I矿带)。热液脉型矿点、矽卡岩型矿点则分布在I矿带的南、北两侧,构成II矿带和III矿带。不同成因类型铅锌矿床(矿点)的带状分布规律与原始沉积盆地的构造分带有关。对矿床来说,除受带状分布规律的控制外,还受次级盆地的控制,裂谷内由于地壳垂直运动的不均一性,太古代地体和花岗质岩石呈地垒式残留,从而把裂谷分隔成一些孤立的次级盆地,这些次级盆地控制着早元古代沉积物的堆积和层状铅锌矿体的形成。张家堡子铅锌矿床就产在张家堡子次级盆地中,太古宙晚期的花岗岩构成了该次级盆地的基底。地壳深部的含矿热液喷溢到这种次级盆地内,成矿物质就在这个稳定的沉积环境中形成了厚大的矿体。

地层与成矿的关系

古构造环境对层控矿床的控制作用最终要表现在地层上。在研究区内,已查明的层控矿床有2个赋存层位:下部层位和上部层位。下部含矿层位为高家峪组(Pt_1g)第三岩段白云石大理岩,张家堡子铅锌矿床即赋存于该层位中,而其余各岩段内仅含有脉状矿化。上部含矿层位为大石桥组(Pt_1d)第三岩段白色中-粗粒白云石大理岩,高丽墓子矿化段产于该层位中,矿化层连续稳定,延长约4 km。

变质-变形作用与成矿的关系

早先形成的层控矿床受变质-变形前构造条件和古地理环境的控制,而现今所见的构造格架则是成矿后构造变形的产物。吕梁期变质-变形作用对沉积硫化物的改造表现为3种形式:①沉积硫化物发生变质重结晶;②矿体发生褶皱变形;③硫化物发生物理的和化学的重就位。研究区下部层位中的张家堡子铅锌矿床和上部层位中的高丽墓子矿化段均发生了变质作用,形成了相应的粒状变晶结构和固溶体分离结构。同时,吕梁期的变形作用使矿体发生了褶皱,局部地段产生了石香肠化等。在上述

变形过程中,伴随高温高压作用,矿石和围岩处于塑性状态。由于不同硫化物的塑-固转化条件不同,导致方铅矿在层内率先发生物理迁移,形成脉状方铅矿。原始层状闪锌矿的层纹形成了分枝复合现象,并且形成了脉状闪锌矿,闪锌矿向褶曲的核部迁移,使闪锌矿层的厚度加大,应指出的是,物理迁移的距离有限。中生代的断裂切割了矿体,起着破坏作用,区域性的构造-岩浆活动,使先成矿体的某些化学组分发生了近距离的化学迁移,在矿体附近又形成了脉状矿化。但是,变质-变形作用对矿体只能产生一定的改造和影响。

3.2 与岩浆成矿作用有关矿床的控矿因素

在研究区,自印支期以来,由于受到太平洋板块俯冲作用的影响,其深部熔浆沿深大断裂上涌,形成了以燕山晚期岩浆活动为主体的岩浆成矿系列。

构造与成矿的关系

在中生代的不同时期,研究区内发生了不同的构造演化。在印支末期—燕山早期,鸭绿江断裂发生了张剪作用,因受其挤压,导致古元古代—古生代沉积盖层发生 NW 向褶皱,形成了万宝-周家屯、复兴村-二棚甸子等平行褶皱群。进入早白垩世初期,持续的侧向挤压,使 NE 向拉张作用加强,地壳减薄,形成了 NE 向凹陷盆地(王文清等,1993)。由于压力降低,深部地壳重熔物质上升,并喷出地表形成了桓仁、鸭绿江等火山盆地,并且,鸭绿江张剪断裂深切下地壳或上地幔,诱发了岩石部分熔融,岩浆上涌,沿剪断裂被动侵位,形成了中性-中酸性侵入体。早白垩世中期,早期形成的 NE 向断裂转为压剪性,深部岩浆在上涌过程中混熔了地壳重熔物质,并向浅部的沉积盖层运移,沿 NW 向张性断裂发生了被动侵位,形成了酸性侵入体。早白垩世晚期,区域内形成了 NNE 向太平哨壳断裂,使 NE-NNE 向断裂发生了从 NWW 方向朝 SEE 方向的推覆,导致老地层逆冲到新地层之上。局部地壳物质重熔上涌,在张剪断裂与其他方向断裂的交汇部位,形成了浅成-超浅成的中性-中酸性岩柱、岩枝或岩脉等。因此,这些深断裂就成为重要的导岩、导矿构造,并为矿质的富集提供了重要场所。尤其是,不同方向断裂的交汇处乃是与岩浆作用有关的矿床的主要控矿构造。不同矿种的表现形式不同,EW 向和 SN 向断裂控制着中性-中酸性侵入岩及铜、铅、锌矿化,如在桓仁-二棚甸子多金属矿集区内,南华系与寒武系构成了一个轴向为 NW 向的背斜构造,后期的断裂构造

使其支离破碎,而 EW 向和 SN 向断裂则控制了该矿集区内矿体的形态和展布。NW 向和 NE 向断裂是控制酸性岩体及脉状铜、铅、锌、金矿化的有利构造;NWW 向及 NNE 向断裂是控制中酸性岩株及钼、铜、金矿化的最佳构造。如万宝源铜钼矿区发育有 NE 向鸭绿江构造带及 NW 向周家屯-万宝构造带,前者主要由一系列平行断裂组成,控制着区域内的岩浆岩、沉积岩、变质岩和矿产的分布,也控制着中生代火山岩的产出,而后者主要发育曹家沟向斜及 2 条较大断裂,控制着各类岩脉、沉积岩的分布,也控制着 Cu、Mo 等矿化的形成。

地层与成矿的关系

在区域成矿过程中,不同时代的地层以及同时代地层但具有不同性质的岩石组合通常起着 2 方面的作用,一是作为矿源层提供成矿物质,二是为矿液选择性富集提供最佳场所,即赋矿层位。王文清等(1993)认为,辽河群基底岩系融矿源层和赋矿层位于一体,为铜、铅、锌、钼、金矿床提供了充分的矿质来源和赋矿层位。盖层沉积岩层在中生代的成矿作用中作为最佳赋矿层位而存在,仅提供了部分矿质。李庆森(1991)提出,太子河台陷内的中寒武统与砂卡岩型矿床紧密共生,控矿层位为中寒武统徐庄组及张夏组底部碎屑岩与碳酸盐岩的交界部位,发育于台陷区的中寒武统,其下部以砂质碎屑岩为主,上部为钙质碳酸盐岩,中间为二者的过渡类型。岩相古地理研究表明,随着海侵范围的不断扩大,生成一套由泻湖相转变为浅海相的广海沉积,后经印支晚期-燕山早期的挤压作用,形成了一系列平行褶皱群,二棚甸子砂卡岩型多金属矿体就产在寒武系中-上部层位的灰岩与早白垩世中性-中酸性岩(闪长岩)体的接触部位。此外,下白垩统小岭组受次火山岩浆的侵入,含矿热液在局部地段引发了不同程度的蚀变矿化,如老营沟铅、锌矿床。

岩浆岩与成矿的关系

燕山晚期的岩浆活动是研究区内中生代金属矿床的重要控矿因素,是主要的成矿物质来源、运移、分配和沉淀的重要条件。按其主要特征、形成环境,并结合控矿构造、地层特征,对研究区内燕山期岩浆的演化分析归纳如下(表 3)。

早白垩世第一阶段,侵入岩的岩石类型以闪长岩类为主,主要有闪长岩、石英闪长岩、二长闪长岩及二长石英闪长岩,在一些岩体的局部地段出现辉石闪长岩,在此阶段的后期,向中酸性岩类过渡,形

表 3 燕山晚期区域岩浆的演化(据王文清等,1993 修改)

Table 3 Evolution of regional magma during the Late Yanshanian period (modified after Wang et al., 1993)

阶段及岩体名称	岩相	产状	面积/ km ²	主要岩石类型	岩石成分及含量	控矿构造	岩石类型	围岩	有关矿床	副矿物
第一阶段										
二棚甸子	中深成	岩株	8	闪长岩、二长闪长岩、辉石闪长岩、斑状闪长岩	中长石 60%~80%，角闪石 15%~25%，石英 10%	近 EW 向壳断裂和 NW 向断裂	钙碱系列	寒武系，小岭组	二棚甸子多金属矿床	锆石、磷灰石、绿帘石、磁铁矿
石柱子	中深成	岩株	98	细晶闪长岩、花岩闪长岩、二长闪长岩、二长岩	更长石 35%~50%，石英 23%~20%，条纹石 15%~20%，暗色矿物 15%	近 EW 向断裂和 NE 向断裂	钙碱系列	中寒武统，辽河群	万宝源钼矿床、沙窝沟金矿床	磁铁矿、锆石、磷灰石、榍石
第二阶段										
大川沟	中深成	岩株	85	细粒花岗岩、中粗粒花岗岩	更长石 10%~50%，石英 25%~40%，条纹长石 15%~45%	SN 向和 NE 向断裂	钙碱系列	小岭组，辽河群		磁铁矿、磷灰石、榍石
榆树林子	中深成	岩基	240	花岗岩、钾长花岗岩	条纹长石 30%~50%，更长石 10%~30%，石英 25%~49%	NW 向和 NE 向断裂	钙碱系列	小岭组，南华系，古生界		锆石、榍石、磷灰石、独居石
老营沟	浅成	岩枝	0.7	闪长岩、二长斑岩、石英正长斑岩	斑晶 斜长石 5%~10%，黑云母 35% 基质为长英质矿物	NWW 向和 NEE 向断裂	钙碱系列	辽河群	老营沟铅锌矿床	磷灰石、磁铁矿、锆石
第三阶段										
穷棒子沟	超浅成	岩颈	0.17	流纹斑岩、石英核强蚀变带		NNE 向断裂	钙碱系列	小岭组	穷棒子沟钼矿床	磁铁矿、磷灰石

成了花岗闪长岩侵入体。单个岩体的岩石类型较为简单,个别岩体由边部向内部出现由中基性向酸性的演化特点。该阶段的岩体侵入并包裹小岭组安山质火山凝灰岩。

早白垩世第二阶段,侵入岩的类型以花岗岩类为主,单个岩体成分较单一,侵入期后,以中酸性为主的各种脉岩活动强烈。

早白垩世第三阶段,岩性较为复杂,形成以中酸性为主的各种超浅成侵入体,主要有花岗斑岩、二长花岗岩、二长斑岩及酸性细晶脉岩。

综上所述,早白垩世侵入岩从早到晚,岩石类型由中性、中酸性到酸性、酸碱性,构成一个复杂的演化系列,岩石成分由简单变为复杂。

岩体的规模、产状和岩相与岩石类型的演化相对应。从第一阶段到第三阶段,岩体的规模由小到大,再到小,产状由小岩株演变为大的岩基、岩株,最后以岩筒、岩柱及岩脉而结束,岩相也由中-深成相变为浅成、超浅成相。早、中阶段的侵入岩多形成独立的岩体,而晚阶段的岩体因受断裂构造的控制更为明显,多以涌动式侵入到早、中阶段的岩体内部或边部的裂隙中,构成复式侵入体。

因受燕山晚期岩浆演化的影响,在不同的阶段,

研究区内所形成的矿床类型也各不相同。早白垩世第一阶段,中性、中酸性岩株与 Cu、Fe、Zn、Au 的成矿关系密切;第二阶段的侵入体以酸性和酸碱性岩基为主,成矿作用相对较弱,但由于岩浆活动规模大,使得地下水溶液与部分岩浆热液混合,形成含矿热卤水,并伴随期后的中酸性脉岩而就位,形成了一些热液脉型的 Pb、Zn、Cu 矿床,也可以改造一些接触交代型矿体,并使其重新富集就位;第三阶段,与浅成、超浅成侵入体有关的矿化以 Mo 为主,其次为 Pb、Zn、Cu,还有爆破角砾岩型钼铜、金矿及热液脉型铅锌矿等。

研究区内矿床及矿点的空间分布与岩体具有明显的对应关系。在已发现的矿床中,矿体的空间分布均以岩体和岩株(包括二棚甸子花岗闪长岩体、石柱子花岗闪长岩体等)为中心,产于岩体内或接触带附近,并且,不同部位的矿种和矿石类型有明显的差异。徐敏成等(2008)认为,产于岩体内的矿床以钼为主,与晚白垩世受构造控制的浅成侵入体相伴产出,成矿类型以斑岩型为主(含爆破角砾岩型),如万宝源钼矿床、东北沟钼矿床等;产于岩体接触带及其附近的矿床以铜、铅锌等为主,成矿类型以接触交代型为主,由内接触带向外接触带,成矿元素也相应地由 Cu

向 Pb-Zn 演化,构成接触交代矽卡岩型矿体和部分热液脉型矿体,如二棚甸子铜铅锌多金属矿床;产于岩体外接触带的矿体以铅锌为主,多属热液脉型,规模一般不大,但品位较高,如老营沟铅锌矿床等。

综合研究区内矿床的地质特征、成因等,结合主要控矿因素,总结了区域的成矿模式(图 5)。

4 成矿预测

4.1 找矿标志

地质标志

研究区内,找矿的地质标志包括:① 地层方面,要注意辽河群里尔峪岩组二段、高家峪岩组二段、大石桥岩组三段、盖县岩组的含铅锌碳酸盐岩系及寒武系的钙质碳酸盐岩等;② 侵入岩方面,要注意燕山晚期的各类闪长岩、花岗岩及石英斑岩等岩体;③ 构造方面,要注意多组构造交汇区以及多期活动复式构造带等;④ 蚀变方面,应注意以燕山晚期中酸性侵入岩体与寒武系灰岩接触带矽卡岩化地段以及强构造蚀变带地段等。

矿物标志

前人在对该研究区进行区域地质调查时,根据有用重矿物的特点,结合地质构造条件、蚀变矿化情

况等,共圈出 4 处重砂异常(表 4),据此可见,黄铁矿、黄铜矿、磁铁矿、钛铁矿、锆石、白钨矿、辰砂、绿帘石、重晶石等重矿物也是重要的找矿标志。

地球化学标志

套合分析法是一种以多种成矿预测理论为基础,融入了相似类比理论的理念,借鉴了综合信息理论的做法,利用 GIS 平台对 2 个以上因素的空间关系进行分析,快速圈定出地质异常的一种成矿预测方法。付海涛(2009)以套合分析法对辽宁省的金、铅锌、铜、钼等矿产进行了预测,以区域化探元素异常为套合分析的主要参数,在该研究区内共圈定出套合异常 6 处。其中,金套合异常区 2 个,位于沙窝沟金矿床的外围,以及石柱子花岗闪长岩体以北,套合元素以 Au、Ag、Cu、Pb、Zn、As、W、Mo、Bi 为主;铅锌套合异常区 2 个,位于二棚甸子辉长闪长岩体内及其外围,套合元素以 Ag、Pb、Zn、Sb、W、Mo、Bi 为主;钼套合异常区 2 个,分别位于桦树甸子花岗岩体西北侧及石柱子花岗闪长岩体内,套合元素以 Mo、W、Bi、Au、Ag、Cu、Pb、Zn 为主。

4.2 找矿靶区的确定

二棚甸子-万宝多金属成矿区属南芬-万宝中生代铜、铅、锌、钼、金成矿带,该成矿带与朝鲜一侧的检德-惠山铜铅锌多金属成矿带相对应,宋建潮等

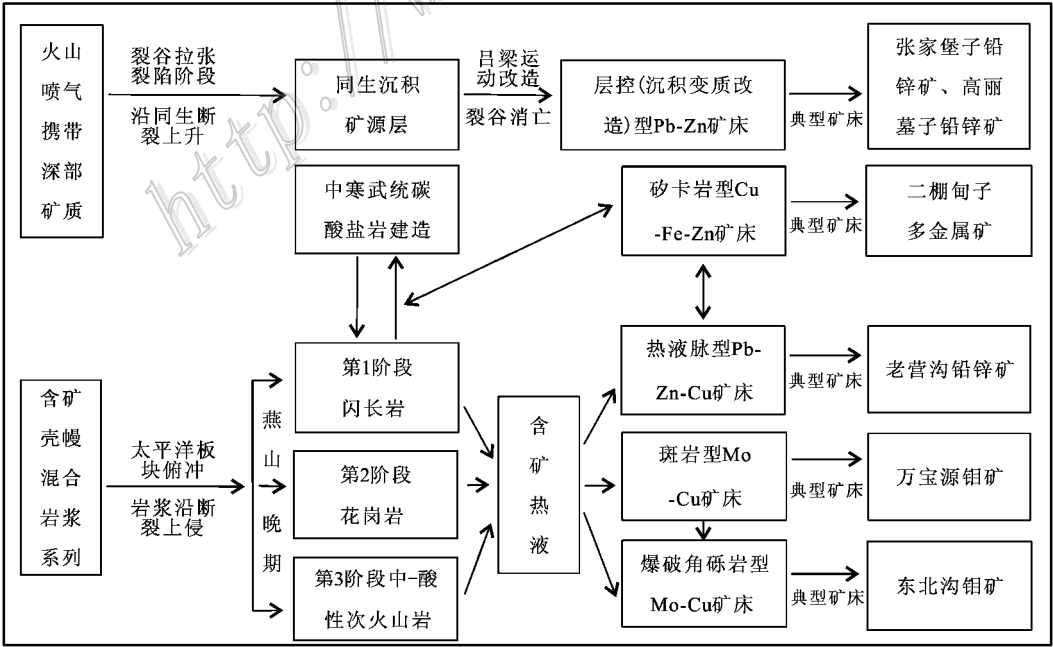


图 5 研究区区域成矿模式图

Fig. 5 Metallogenic model of the study area

表 4 重砂异常区
Table 4 Placer anomaly areas

编号	异常区名称	异常概况	异常区解释及找矿意义
1	二棚甸子铜铅锌矿物异常	异常区内共取 24 个样品,黄铜矿异常点 2 个,铅矿物异常 12 个,闪锌矿异常 10 个。伴生矿物:黄铁矿、辰砂、重晶石、锆石等	异常主要由二棚甸子多金属矿引起,应注意在矿区外围找矿
2	虎沟铅矿物异常	异常区内共取 23 个样品,异常矿物全为方铅矿。伴生矿物:黄铁矿、白钨矿、辰砂、磁铁矿、绿帘石等	异常可能来源于花岗岩与围岩的接触带或远离接触带的含铅脉脉,有进一步找矿的潜力
3	任家铺子铅矿物异常	异常区内共取 24 个样品,铅矿物有方铅矿、白铅矿、铅矾。伴生矿物:黄铜矿、黄铁矿、重晶石、辰砂、锆石等	经检查,异常由上侏罗统小岭组含黄铁矿英安质凝灰岩(局部铅矿化)及硫化物石英脉引起。英安质凝灰岩光谱分析结果: $w(\text{Cu}) > 0.1\%$, $w(\text{Pb}) > 0.1\%$, $w(\text{Zn}) > 0.1\%$,有进一步找矿的潜力
4	双水洞-老营沟铜铅矿物异常	异常区内共取 15 个样品,铜矿物异常点 3 个,铅矿物 7 个。伴生矿物:辰砂、锆石、金红石、钛铁矿等	异常主要由双水洞及老营沟铅锌矿点引起,应注意在矿点外围找矿

注:资料引自辽宁省第一区域地质调查队(1975)。

(2007)将其划分为桓仁-二棚甸子、五里甸子-向阳、万宝-张家堡子 3 个成矿区域。本文在辽宁省矿产资源规划的基础上,结合区域成矿地质条件及找矿标志等综合信息,将其划分为 2 个有利找矿靶区(图 6)。

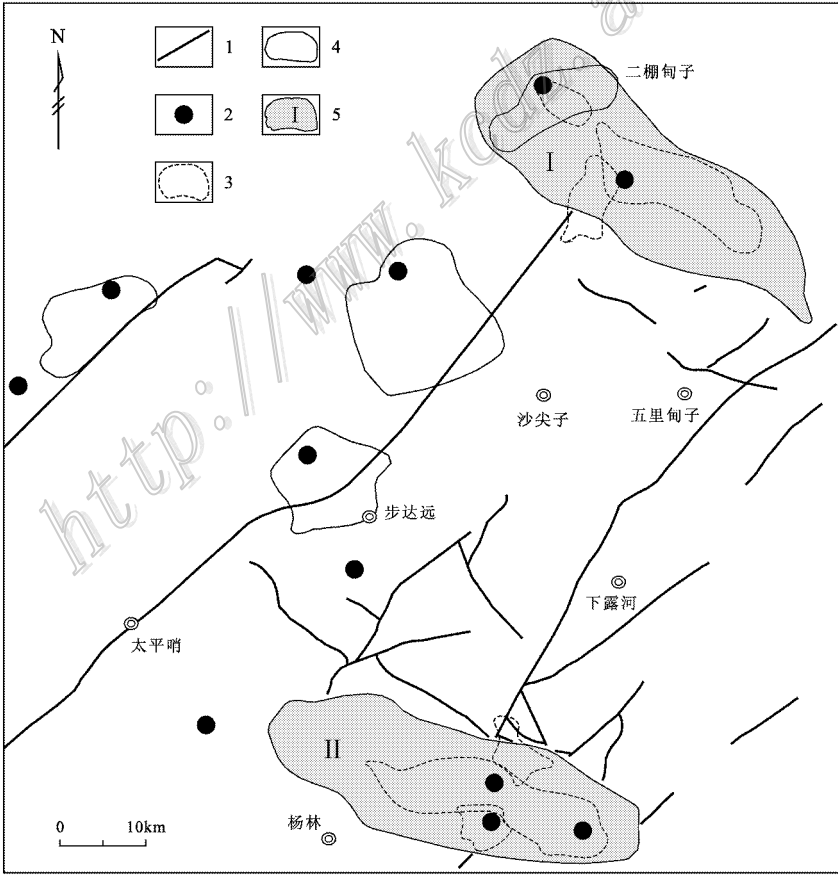


图 6 区域化探异常及找矿靶区图

1—断层;2—多金属矿床(点);3—金、铅锌、钼等套合异常;4—重砂异常区;5—预测找矿靶区及编号

Fig. 6 Sketch map showing distribution of regional geochemical anomalies and prospecting target areas

1—Fault;2—Polymetallic deposit (ore spot);3—Au, Pb-Zn, Mo combinational anomaly;4—Placer anomaly;5—Prognostic prospecting target area and its serial number

I 二棚甸子-桦甸子铜、铅、锌、钼、金找矿靶区

位于桓仁东南侧,构造上处于辽阳-本溪凹陷东段与桓仁凸起的交界处,发育着由古生界组成的印支期-早燕山期褶皱以及由侏罗系-白垩系小岭组火山岩系组成的上叠式盆地。断裂发育。早白垩世闪长岩及花岗岩先后沿 EW 向和 NW 向断裂侵入,在闪长岩及晚期酸性岩脉与寒武系-奥陶系灰岩的接触带,形成了矽卡岩型及热液脉型多金属矿床,Cu、Pb、Zn、Mo 异常呈 NW 向展布,并伴有铜、铅、锌、重砂异常。根据成矿地质条件,结合化探、重砂异常,推断二棚甸子矿床的北侧、挂牌岭岩体的西接触带有较大的找矿潜力。

II 万宝外围铜、钼、金找矿靶区

位于宽甸东部鸭绿江边,构造上处于太子河-浑江拗陷与营口-宽甸隆起的交界处。区内分布有古元古界辽河岩群,尤以盖县岩组出露广泛,其上依次发育有青白口系及寒武系,均受到印支期褶皱的影响,形成了 NW 向褶皱。早白垩世花岗岩闪长岩(石柱岩体)沿 NW 向侵入辽河岩群及青白口系-寒武系灰岩,其接触带内赋存有矽卡岩型铜(钼)矿化,岩体内有斑岩型铜、钼矿化,外围的盖县岩组中产有热液脉型金矿化。成矿条件良好,分布有 Cu、Mo、W、Bi、Pb、Zn、Au、Ag 套合异常,显示出较大的找矿潜力。

综上所述,二棚甸子-万宝多金属成矿区具有良好的成矿地质条件,在成矿元素组合和成矿类型上具有明显的系列性,因此,该区今后有望成为辽宁省多金属找矿的重点地带。

志 谢 在论文资料搜集和正文写作期间,得到了辽宁省地质矿产勘查局副总工程师付海涛、辽宁省地质勘查院张国仁教授级高工的帮助与指导,在此表示衷心感谢!

参考文献/References

付海涛. 2009. 套合分析法在辽宁省金、铅、锌、钼等矿种成矿预测中

的应用[R]. 辽宁省地质矿产勘查局. 内部资料.

胡铁军,宋建潮,王恩德,张承帅,魏 民,孙立军. 2009. 辽宁宽甸万宝源钼矿床地质特征及成因机制研究[J]. 矿产与地质,(2): 142-146.

李庆森. 1991. 辽东太子河流域万宝式铜矿床成因及成矿规律[J]. 辽宁地质学报,4(1): 1-12.

辽宁省第一区域地质调查队. 1975. 1:20 万区域地质调查报告(桓仁、朔州幅)[R]. 内部资料.

辽宁省地质局. 1970. 辽宁省宽甸县老营沟铅锌矿初步普查地质报告[R]. 内部资料.

辽宁省地质矿产局. 1986. 辽宁省凤北-宽北地区铅锌矿控矿因素研究及隐伏矿预测报告[R]. 内部资料.

辽宁省地质矿产局. 1997. 辽宁省地质矿产志[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社.

时光. 1997. 宽甸石柱岩-东北沟铜-金-钼矿床石英热发光研究[J]. 辽宁地质,6(2): 140-148.

宋建潮,胡铁军,王恩德,李际才. 2001. 辽宁宽甸万宝源钼矿地质特征及成因机制[J]. 世界地质,29(1): 45-50.

宋建朝,王恩德,张承帅,贾三石. 2007. 辽宁桓仁矽卡岩型铜钼矿床成矿模式及深部预测[J]. 地质与资源,16(4): 280-287.

孙文涛,孙吉国,刘志远. 2008. 辽东裂谷中部多金属矿集区成矿规律与成矿模式[J]. 科技创新导报,(6): 77-79.

王东方. 1987. 华北地台北缘地质构造演化及多金属成矿带的构造控制问题[J]. 矿床地质,6(3): 1-9.

王文清,罗守文,邵会文. 1993. 桓仁-宽甸地区金-有色金属成矿规律[J]. 辽宁地质,3(1): 1-15.

王有爵,刘 晖,方如恒. 1993. 辽宁东部元古宙碳酸盐岩中铅锌矿床[M]. 北京: 地质出版社. 117 页.

徐敏成,李超阳. 2008. 辽宁省宽甸县万宝-东北沟地区多金属矿床特征及找矿方向[A]. 见 辽宁地质矿产与环境[M]. 北京: 地震出版社. 163-164.

张承帅. 2009. 辽宁桓仁矽卡岩型多金属矿床成矿规律与成因研究(硕士论文)[D]. 导师: 王恩德. 沈阳: 东北大学. 96 页.

张 乾. 1992. 辽宁桓仁矽卡岩型铜铅锌多金属矿床的地球化学特征[J]. 地球化学,(3): 243-245.

张秋生. 1986. 辽东半岛早期地壳与矿床[M]. 北京: 地质出版社.