

文章编号: 0258-7106(2009)04-0449-13

鸭绿江断裂带两侧成矿条件对比及对辽东地区未来寻找金属矿产资源的启示*

宋建潮^{1,3}, 胡铁军², 王恩德¹, 贾三石¹

(1 东北大学资源与土木工程学院, 辽宁 沈阳 110004; 2 辽宁有色铁岭地质勘查院, 辽宁 铁岭 112001;
3 中国人民武装警察部队黄金第八支队, 新疆 乌鲁木齐 830057)

摘要 鸭绿江断裂带两侧分属中国和朝鲜,在其范围内分布着包括五龙金矿、青城子铅锌矿、造岳金矿和检德铅锌矿在内的一批世界知名的大型、超大型矿床。其成矿基底构造为形成于古元古代的辽老摩古裂谷,成矿地层为古元古代形成的辽宁境内的辽河群和朝鲜一侧的摩天岭群,成矿岩浆活动为古元古代和中生代的岩浆侵入事件。成矿的高峰期集中于古元古代裂谷发育活动期和中生代构造-岩浆活动的活化期。朝鲜的成矿空间根据矿产种类的分布及密集程度可以划分为平北金成矿带和检德-惠山铜铅锌多金属成矿带,其中平北金成矿带又可进一步划分为云山-大榆洞金成矿亚带、天摩-造岳金成矿亚带、吉祥-宣川金成矿亚带。在其中国一侧也相应地划分为五龙-白云金成矿带和万宝-桓仁铜铅锌多金属成矿带,两大成矿带各自进一步划分为五龙-白云、岫岩-大孤山、新房-猫岭金成矿亚带和桓仁-二棚甸子、五里甸子-向阳、万宝-张家堡子铜铅锌多金属成矿亚带。未来在辽东地区寻找贵金属和有色金属矿产资源的的方向就集中于这些亚带和亚带的局部地段,层控性的铜矿床有可能是未来寻找矿产资源的重大突破点。通过进一步研究对比,有望在辽东地区寻找到铜资源量1 000万吨,铅锌资源量2 000万吨,金资源量500吨。

关键词 地质学, 鸭绿江断裂带, 多金属成矿带, 矿产资源, 辽东地区

中图分类号: P618.51, P618.41, P618.42, P618.43

文献标志码: A

A comparison of metallogenic conditions between two sides of Yalu River and its inspiration to future ore-prospecting in Liaodong area

SONG JianChao^{1,3}, HU TieJun², WANG EnDe¹ and JIA SanShi¹

(1 Institute of Resource & Civil Engineering, Northeast University, Shenyang 110004, Liaoning, China; 2 Tieling Geoexploration Bureau of Liaoning Nonferrous Metals, Tieling 112001, Liaoning, China; 3 No. 8 Gold Detachment of Chinese People' Armed Police Force, Urumqi 830057, Xinjiang, China)

Abstract

The Yalu River fault zone between China and Korea has a lot of world-famous metal deposits on both sides, such as the Wulong gold deposit, the Qingchengzi Pb-Zn deposit, the Zaoyue gold deposit and the Jiande Pb-Zn deposit. The Paleoproterozoic Liaolaomo paleorift, the Paleoproterozoic strata (Liaoh Group in China and Motianling Group in Korea) and the Paleoproterozoic-Mesozoic igneous activities make up the metallogenic geological background of this area. There existed two metallogenic peak stages, i. e., Paleoproterozoic rifting and Mesozoic tectono-magmatic activation. The ore-forming belts in Korea can be divided into the Pingbei gold ore belt and the Jiande-Huishan Cu-Pb-Zn polymetallic ore belt, and the former ore belt can be further divided into

* 本文得到辽宁省自然科学基金项目(20072029)和教育部博士点基金项目(20060145032)的联合资助

第一作者简介 宋建潮,男,1976年生,博士研究生,主要从事金属矿产资源成矿规律研究。Email: tidesung@126.com

收稿日期 2008-12-08; 改回日期 2009-03-09。李德先编辑。

the Yunshan-Dayudong, the Tianmo-Zaoyue, and the Jixiang-Xuanchuan gold sub-belts. The ore belts on China's side are composed of the Wulong-Baiyun gold ore belt and the Wanbao-Huanren Cu-Pb-Zn polymetallic ore belt. Among them, the Wulong-Baiyun gold ore belt is further divided into the Wulong-Baiyun, the Xiuyan-Dagushan and the Xinfang-Maoling gold sub-belts, and the Wanbao-Huanren Cu-Pb-Zn polymetallic ore belt is further divided into the Huanrenpengdianzi, the Wulidianzi-Xiangyang and the Wanbao-Zhangjiabaozi Cu-Pb-Zn sub-belts. These sub-belts constitute the most favorable places for finding mineral resources in Liaodong area, with the most hopeful metallic deposits being stratabound Cu ore deposits. 1 000 million tons of Cu, 2 000 million tons of Pb-Zn and 500 tons of Au are expected to be found through a comparative study on both sides of the Yalu River fault zone.

Key words: geology, Yalu River fault zone, polymetallic ore belt, mineral resources, Liaodong area

鸭绿江断裂带位于中朝边境,沿鸭绿江伸展,由数条走向北东的断裂束组成,向北经吉林省进入俄罗斯境内,向南跨海与山东境内的阜平-即墨断裂相连,是郯庐断裂系的一个重要分支(张国仁等, 2006)。该断裂带是一压-压剪性岩石圈断裂,多处受到韧性剪切作用,其内岩浆活动强烈(辽宁省地质矿产局, 1989),对中朝两侧,特别是中生代以来的地质构造演化、沉积作用、岩浆活动、矿产分布控制明显(毛景文等, 2005; 祁进平等, 2005; 赵海玲等, 1998),与中生代以来太平洋板块向欧亚板块俯冲挤压作用密切相关(孙卫东等, 2008; 殷长建等, 2000)。

在朝鲜一侧,距鸭绿江断裂带约 200 km 范围

内,分布着一批重要的有色金属和贵金属矿床(郭海军, 2006),可以划分为 2 个重要的北西向成矿带(图 1),南为平北金成矿带,该成矿带长 250 km,宽 120 km,集中分布了近百个金矿床(点),其中大型金矿床有 7 个;北为检德-惠山铜铅锌多金属成矿带,该成矿带长 200 km,宽 50 km,分布有有色金属矿床几十处,著名的世界级超大型铅锌矿床——检德铅锌矿床就位于该成矿带内,已累计探明铅锌储量超过 7 000 万吨,铜 1 200 万吨。然而在中国一侧,与朝鲜已探明的资源量相比,相差甚远。

研究表明,朝鲜、辽宁东部同属中朝准地台的一部分,有着极为相似的地质构造演化史,其大地构造

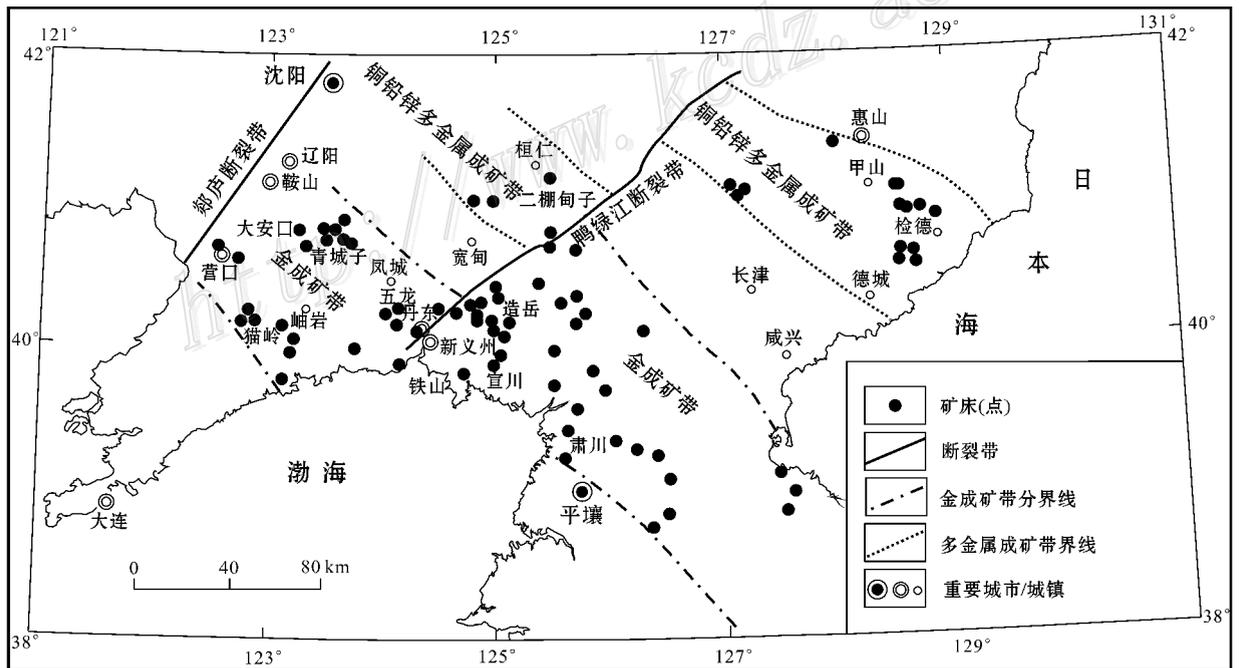


图 1 鸭绿江断裂带两侧中朝矿产分布示意图

Fig. 1 Schematic map showing mineral resource distribution on both sides of the Ralu River fault zone

格局均可以概括为“两陷夹一拱”，具体为北部的太子河-浑江-利原台陷+中部的宽甸-狼林台拱+南缘的复州-平壤台陷，所形成的矿产种类和矿床类型也大致相同，但矿产资源量/储量却差别较大，这一现象应予以高度重视。

本次研究选择与朝鲜相对应的辽老摩裂谷及其附近太古代地块范围内的金-铜-铅锌多金属矿床，就成矿地质背景、矿产类型、矿床成因等方面进行研究对比，为辽东地区矿产资源预测与找矿提供了有益的信息。

1 成矿地质条件对比

1.1 构造

中朝准地台是一个活动性较强的一级构造单元，具有盖层变形强烈和花岗质岩浆活动广泛的特点，故冠以“准”地台(准克拉通)之称，这一点有别于世界上其他大多数古老地台(米兰诺夫斯基,1985)。准地台具有特征的二元基底，即太古代和古元古代基底，其形成演化史较复杂。传统观点认为该地台有着相对较为统一的太古代到元古代结晶基底，但是越来越多的研究资料，特别是地质年代学所提供的 SHRIMP 和 LA-ICP-MS 测年资料表明，中朝准地台是由三部分组成的，分别为西部地块、东部地块和中部造山带(Zhao et al., 1998; 1999; 2002)。辽老

摩裂谷位于东部地块，南北两侧分别为辽南-狼林地块(也称狼林地块)和辽北-吉南地块(也称龙岗地块)(图 2)，均向东进入朝鲜境内，主要由形成于 2.45~2.55 Ga 的太古代 TTG 组成。辽老摩裂谷形成于 2.2~1.9 Ga，是世界上少有的、保存完整的古元古代裂谷之一(路孝平等, 2004)。距今约 1.85 Ga 的一次构造事件使得裂谷形成了稳定的克拉通基底，这次事件也是中朝准地台东部地块、西部地块与中部造山带拼合的时间(Zhao et al., 2001; 2005)。以往研究认为，辽老摩裂谷向西穿过渤海与燕辽沉降(裂谷)带相连。但目前多数人认为，该裂谷带穿过渤海进入了山东东部，并将其统称为“胶辽吉活动带”(Li et al., 2006)。朝鲜地盾以往也多被认为是中朝准地台与扬子准地台拼合的结果(Clusel, 1993)，而 Wu 等(2007)则认为，朝鲜地盾只是中朝准地台的一部分，没有扬子准地台的参与。

辽老摩裂谷总体走向 NEE，而在跨过鸭绿江进入朝鲜境内时走向转为 NW，呈一“肘状”(图 2)。有些研究者把辽老摩裂谷在辽宁的那一部分称为“辽东裂谷”(陈荣度, 1984; 1990)，辽东裂谷与吉林部分统称为“辽吉裂谷”(刘俊来等, 1991; Liu, 1997)，并与展布在朝鲜境内的部分合称为“辽老摩裂谷”(孙洪云等, 2004)。

区域构造上，在古元古代，辽东裂谷发展演化过程中，所形成的断裂构造与裂谷的走向基本相同，为

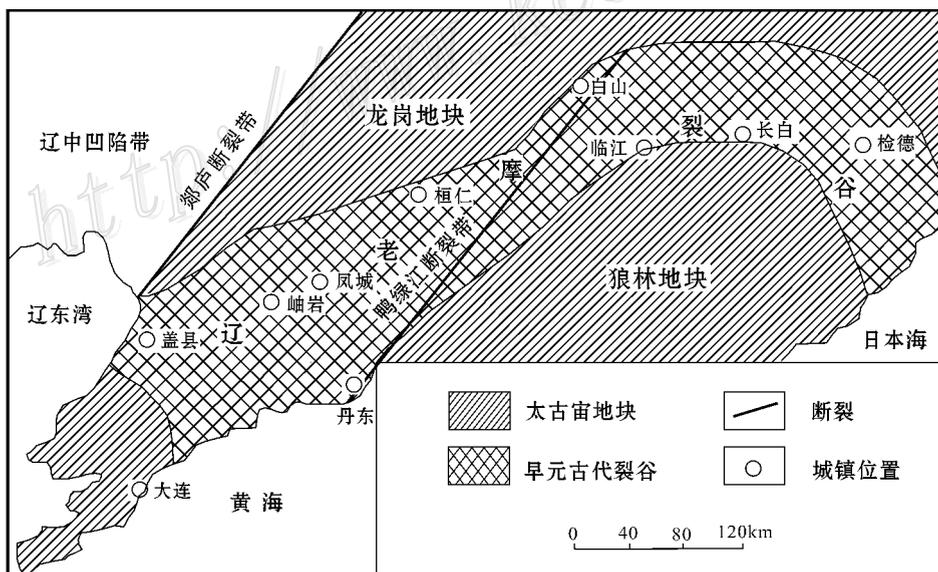


图 2 辽老摩裂谷展布范围示意图

Fig. 2 Schematic map showing distribution of Liaolaomo paleorift

大致东西向,这些断裂在裂谷两侧呈阶梯状,构成地堑构造,后为上覆地层掩盖,目前能够确认的主要有营口-草河口-清河-临江深大断裂和庄河-永宁深大断裂,是划分辽东裂谷北缘斜坡、中央凹陷和南缘浅台的标志性断裂。部分矿体的形成、岩浆活动以及地层的分布特征与此有关。朝鲜一侧古元古代的断裂构造与裂谷走向大体一致,呈北西向。由此可见,在古元古代时期,大型的断裂构造是受裂谷控制的,与裂谷的走向相同,多为正断层,倾向裂谷的中心部位,这些断层常常成为后期岩浆活动上涌的通道,成矿物质沿通道沉积于地堑之上或地层中。

中生代断裂构造非常发育,展布方向为北北东向、北东向和北西向,少部分近南北向。在中国一侧,断裂以北北东向和北东向为主,性质多为压性或压扭性,沿这些断裂常有岩浆活动存在,断裂切割深度较大,大型断裂可以深达下地壳或上地幔。近年也识别出一些北西向断裂构造,许多矿体就赋存于北西向构造带中。朝鲜一侧与中国相比,北西向的断裂构造更为发育,与北东、北东东向断裂构造一起组成了中生代构造体系。

总体上讲,辽老摩裂谷带是在古元古代早期水平拉张太古代基底基础上形成的,随后裂谷在发展过程中沉积了巨厚的火山-沉积建造,并伴随有强烈的构造运动、岩浆活动和变质变形作用。中国和朝鲜一侧大地构造环境和演化特征几乎相同,在矿床类型、矿床规模和成矿作用等方面也应该相似。

1.2 地层

辽老摩裂谷内沉积了一套巨厚的古元古代沉积-火山岩地层,在不同的区域冠以不同的名称,在辽宁省境内称为辽河群,又可细分为北辽河群和南辽河群,在吉林省称为老岭群和集安群,朝鲜境内则称为摩天岭群。之所以会有南北辽河群、老岭群和集安群之分,很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(王成文等,1997)。北辽河群和老岭群具有可对比性,分布于裂谷的北缘,靠近太古宙结晶基底的位置;南辽河群、集安群和摩天岭群具有可对比性,共同位于裂谷的中央凹陷部位,两者以韧性剪切带和断层带为界。

地层对比揭示,该区地层自下而上都具有由碎屑岩沉积序列→双峰式火山序列→碳酸盐序列→富泥质碎屑岩序列的递延层序变换。以辽河群为例,辽河群自下而上可以分为浪子山组、里尔峪组、高家峪组、大石桥组和盖县组,由于在中央凹陷部位未发

现浪子山组的存在,故又以中央凹陷为界细分为北辽河群和南辽河群。分别沉积了陆源碎屑-粘土沉积建造、基-酸性火山岩建造、碳酸盐-陆源粘土-碎屑沉积建造、碳酸盐沉积建造和陆源粘土-碎屑岩沉积建造。摩天岭群自下而上可以划分为3个组:城津组、北大川组和南大川组。城津组相当于辽河群的里尔峪组和高家峪组,北大川组相当于辽河群的大石桥组,南大川组相当于辽河群盖县组。摩天岭群亦缺失与浪子山组相当的地层,说明摩天岭群的沉积环境和南辽河群是一致的。

这些地层沉积后,都经历了不同程度的变质作用,尤其是在约1.90 Ga的变质事件,致使裂谷范围内的地层发生了大范围的区域变质作用。北辽河群主要经历了绿片岩相的变质作用,而南辽河群则经历了角闪岩相的变质作用,变质岩石为石英岩、变粒岩、片岩、千枚岩、板岩等,主要变质矿物为石英、石榴子石、十字石、蓝晶石、红柱石、堇青石和矽线石。Li等(2005)将辽河群划分为4期变质作用(M1-M4)和3期变形作用(D1-D3)。这些变质变形作用均发生于辽河群沉积后的1.90~1.87 Ga。而摩天岭群目前已知在1.90 Ga左右发生了中压相系角闪岩相变质作用,并且表现出由东南向西北变质程度减弱,岩性上片岩由少到多,成分上钙质由多变少的现象。

1.3 岩浆活动

辽老摩裂谷内的岩浆活动主要集中于古元古代和中生代,分别受裂谷形成发展和太平洋板块向欧亚板块俯冲的影响,所以其岩浆活动既有裂谷岩浆活动特征,又有板块俯冲所形成的岩浆活动特征。

在中国一侧辽东裂谷范围内,与辽河群地层相伴的是大面积的古元古代花岗岩体和基性侵入岩体。基性侵入岩包括辉长岩和辉绿岩,大多数经历了绿片岩相和角闪岩相的变质作用,但是依然还保留有火成岩的某些组构。花岗质侵入体,也称为辽吉花岗岩,主要由变形的二长花岗片麻岩和未变形的斑状二长花岗岩、花岗岩和碱性花岗岩组成。二长花岗片麻岩呈层状、岩席状,沿太古代基底和古元古代变质沉积盖层间的韧性剪切带分布,属A型花岗岩,来源于一次扩张事件过程中新太古宙结晶基底的部分熔融,形成于区域变质作用之前。斑状二长花岗岩、花岗岩和碱性花岗岩未发生变形,通常认为形成于扩张环境下,特别是构造后和非造山环境,也属于A型花岗岩(Li et al., 2007)。

中生代是辽东裂谷范围内岩浆活动的又一个高

峰期,属于环太平洋构造-岩浆活动带的一部分。在三叠纪,岩浆活动相对较弱,只在宽甸、赛马地区发现有碱性霞石正长岩的存在,另外还有少量的花岗岩类分布,辽东裂谷构造相对稳定。进入后中生代以来,受燕山运动的影响,大约有近 20 000 km² 的侵入岩体分布,主要为侏罗纪侵入岩和白垩纪侵入岩,前者包括含角闪石英云闪长岩和二云母二长花岗岩,经历了区域韧性变形作用,后者主要为二长花岗岩和花岗闪长岩,未发生变形作用,两者都属于钙碱性岩浆系列。火山岩仅局限于早白垩世,岩石类型包括熔岩、火山碎屑熔岩、火山碎屑岩、火山碎屑沉积岩和潜火山岩(Wu et al., 2005)。

朝鲜一侧的古元古代岩浆岩体由老至新可以划分为利原岩群、莲花山岩群和安突岩群。利原岩群呈层状侵入于摩天岭群,主要为片麻状花岗岩、白岗质花岗岩和辉长岩类。摩天岭群底部的花岗岩为条痕状角闪花岗岩,与辽东一侧的含硼岩系底部的条痕状角闪花岗岩,无论是在产出状态、产出层位,还是岩性特征上完全一致。莲花山岩群和安突岩群可与辽东古元古代裂谷中的角闪辉长岩系列、巨斑黑云母花岗岩系列相对比(Zhao et al., 2006)。

印支期岩浆岩,主要岩性为斑状花岗岩、片麻状花岗岩,以及石英正长岩和霞石正长岩等碱性岩类,可与辽东印支期花岗岩类和碱性岩类相对比。燕山期的侵入岩称为侏罗纪端川岩群和白垩纪鸭绿江岩群。主要岩性为花岗岩、花岗闪长岩和闪长岩类,与辽东裂谷范围的燕山期岩浆岩基本一致。

2 矿床地质特征对比

辽东裂谷内成矿的高峰期主要集中于古元古代裂谷发育活动期以及中生代构造-岩浆活动活化期(骆辉等, 2002; 翟安民等, 2005)。在古元古代时期,辽东裂谷形成的矿产主要有宽甸-凤城一带的硼矿、青城子-荒北一带的铅锌矿以及大石桥-海城一带的菱镁矿,另外还有一些铁矿和铜矿,这些矿产均受辽河群地层层位的控制,形成于辽河群地层层序中的特定位置(张秋生, 1984)。中生代形成的矿产种类多与岩浆活动关系密切,主要是受岩体控制的金矿、银矿以及铜钼等多金属矿。矿体主要分布于岩体与围岩的接触部位或者岩体内部,如五龙金矿、猫岭金矿、万宝源铜钼矿、桓仁铜钼矿等。朝鲜一侧无论是矿产种类还是矿床类型都与辽东裂谷相当,但又有

其自身特点,中生代的金属矿床,尤其是金矿床,大部分超出了裂谷的分布范围。以矿种而论,可以分为铁矿矿集区、金矿矿集区、铜矿矿集区和铅锌矿矿集区(田书文, 1986),构成了摩天岭成矿区、狼林成矿区和遂安-银波成矿区。

2.1 铁矿矿集区

在朝鲜东北部发现铁矿 200 余处,主要形成于前寒武纪,也有部分属于早古生代,按成因可以分为沉积变质型、矽卡岩型和风化残积型 3 种类型。铁矿石为磁铁矿、赤铁矿与褐铁矿,主要分布于摩天岭地区与鸭绿江流域,较著名的有茂山、余宁、富宁、虚川、利原、北川、北山里、德岬等铁矿床。

虚川铁矿位于咸镜南道虚川群,是一个矽卡岩型矿床,矿体赋存于利原岩群附近的摩天岭群南大川组变质岩内,整个矿区则位于摩天岭褶皱区的中部复向斜带中。矿体产状同变质岩的片理方向一致,其形态较为复杂,以脉状为主,脉宽主要在 1.5~2.5 m 范围内,最大可达 6 m。矿化作用经历了 4 个阶段:矽卡岩形成阶段→磁铁矿形成阶段→矿体交代阶段→矿化结束阶段。

与朝鲜一侧相比,中国的沉积变质型(磁铁石英岩型或者 BIF 型)铁矿主要集中于鞍山-本溪一带,规模巨大。朝鲜茂山铁矿与之产于同一条构造带内,在裂谷范围内具有一定规模的铁矿多与硼矿共生,形成硼铁矿型或硼镁铁矿型矿床,如形成于翁泉沟一带的硼铁矿床。与古元古代岩体有关的矽卡岩型铁矿则发育有营口的周家、丹东的矿洞沟等,但通常规模很小。值得指出的是,产于裂谷内的“矽卡岩”铁矿多呈水平层状产出,意即铁矿产于水平层状的矽卡岩内。这显然与沿太古代基底和古元古代变质沉积盖层间侵入的花岗质岩体有关。

2.2 铜矿矿集区

朝鲜东北部的铜矿床主要分布在富宁、上农、万德-甲山、惠山、和平、德岬、上西、威安等地。较著名的有上农、甲山、惠山铜矿床(图 3)。

上农铜矿分布在咸镜南道虚川群中,发育于结晶片岩内,同古元古代利原群花岗岩相关,矿体以含黄铜矿、磁黄铁矿和毒砂为标志。矿区地质构造复杂,有许多小型褶皱构造,矿体多发育于次级背斜的翼部。矿脉的形成根据矿物共生组合关系可以分为两期:第一期主要形成石英、电气石与毒砂,少量黄铁矿、绿泥石、绢云母、角闪石和黑云母,并含有少量钴和金;第二期生成磁黄铁矿与黄铁矿,以细脉形态

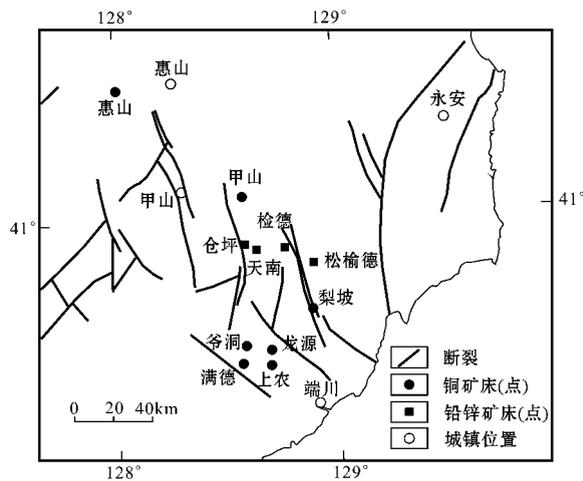


图3 朝鲜北部主要铜、铅锌矿床分布示意图

Fig. 3 Distribution of Cu and Pb-Zn ore deposits in northern North Korea

存在,与其共生的矿物有绢云母和绿泥石,偶尔有闪锌矿与黝铜矿,金多赋存于黄铁矿的裂隙中。矿体呈透镜状、细脉状和囊状充填于砂卡岩内的裂隙中。铜平均品位0.37%,至2006年末,累计产铜(金属量)55万吨,伴生金150多吨。

甲山铜矿位于两江道甲山群,产于下元古界北大川统白云岩内,白云岩、云母片岩与石灰岩地层构成了矿区复式褶皱,主要矿体产于其中一个大背斜的翼部,其内断裂、裂隙发育,部分充填有玄武岩细脉。矿体的大小与矿体所处构造部位有关,大的矿体产于背斜翼部,小规模透镜状矿体仅见于背斜核部。矿体由磁铁矿、硫化物矿石与碳酸盐-玉髓矿石组成,有价值的是硫化物矿石。

惠山铜矿产于虚川江深大断裂的次级断裂中,矿体呈脉状,矿石由硫砷铜矿、砷黝铜矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿及黄铁矿组成,平均品位1.5%,已探明储量在100万吨以上。

关于这些铜矿床的成因,很可能与古元古代的侵入岩体及火山岩有关,许多规模都达到大型、超大型。而在辽东裂谷范围内,含铜的黄铁矿主要发现于鞍山东南,上华至草河口长约100 km的东西向狭长地带内,矿体赋存于北辽河群里尔峪组下部,和钠质火山岩密切相关,伴生矿物有石膏和重晶石,通常被认为是火山作用的产物,其形成过程也可能受到

盐丘的控制(Wang et al., 1997)。近年研究发现,在裂谷发展早期阶段包括浪子山组、里尔峪组和高家峪组地层内均发现有与火山碎屑岩有关的层控型铜矿床,在火山口附近形成块状、浸染状硫化物矿床,而远离火山口则形成火山-沉积矿床^①。裂谷环境是形成层控型铜矿床的极为有利的地质环境,这是由附近含有铜的矿源岩-高的地热梯度-沉积盆地中适宜的沉积相等良好的成矿条件所决定的,如非洲大西洋边缘盆地中的铜矿床、北欧的含铜页岩和中非铜带中的矿床等。目前在辽东裂谷内已经发现有层控性的周家铜矿、上华岩寺铜矿以及尖山子铜矿等,并且根据化探异常结合地质资料圈定了7个异常区。有理由相信,未来在辽东裂谷内有可能会发现具有一定规模的层控型铜矿床。

辽东裂谷范围内其形成与中生代岩浆活动有关的铜矿主要包括桓仁铜锌矿、万宝铜钼矿和华铜铜钼矿等,不过这些矿床中,铜常常作为成矿系列的一个单元而存在,很少单独产出。

2.3 铅锌矿床集区

检德铅锌矿是亚洲乃至世界最大的铅锌矿之一(图3),由十余个小型矿床组成,均位于摩天岭成矿区的中部带内。矿区出露地层简单,以摩天岭群北大川统白云岩、大理岩以及南大川统各种结晶片岩为主。侵入岩为中生代侏罗纪端川岩群,岩性为花岗岩闪长岩。褶皱构造有北大川统和南大川统构成轴向近南北的紧密线形倒转复式褶皱,并被断裂所切割。铅锌矿体产于北大川统上部不同颜色的白云岩中或层间。铅锌矿带呈南北向分布,与地层展布一致,分布面积达150 km²,矿带一般长4.5~13 km,宽度不等。矿石矿物主要为闪锌矿、方铅矿,次要矿物为磁黄铁矿、黄铁矿、毒砂、黄铜矿等,脉石矿物有石榴子石、辉石、透闪石、方解石、阳起石、石英等,矿石品位为5%~18%,富含银,银的品位一般为20~30 g/t,最高可达50 g/t,总金属储量有6 000~7 000万吨(王魁元, 1987)。

辽宁的青城子铅锌矿、吉林的荒沟山铅锌矿以及朝鲜的检德铅锌矿共同构成了辽老摩裂谷中的三大铅锌成矿区,均赋存于裂谷内的斜坡与凹陷的接触部位或其附近,形成于包括碳酸盐岩在内的一套浊积岩中(陈江, 2002),成因与海底喷流沉积作用有

① 辽宁省有色地质局勘查总院. 2004. 辽东古元古代裂谷底部层控型铜钴矿床资源评价地质报告.

关(刘志远等,2007)。世界上产于碳酸盐岩中的矿床主要分为密西西比河谷型、阿尔卑斯型和爱尔兰贱金属型 3 种(刘英超等,2007;Sawkins,1984),均形成于显生代,而以上三大铅锌矿却形成于古元古代时期,是有别于以上 3 种类型的。

2.4 金矿矿集区

朝鲜具有丰富的金矿资源,其北部的平安北道、平安南道、黄海北道等 6 个道都分布有金矿床,其中平安北道金矿集中分布。平安北道位于朝鲜北部,鸭绿江以南,清川江以北地区。与中国一江之隔,发现的 7 个大型金矿床为:云山、大榆洞、竹大、宣川、造岳、九岩、天水。据资料介绍,金的总储量达 1 000 吨以上。

区内地层主要为古元古代摩天岭(狼林)群,出露有大理岩、云母片岩、黑云母片麻岩等。变质岩多

强烈的混合岩化,并往往成为莲花山花岗岩中的残留体。

与本区金矿化有关的构造主要为断裂构造。北东向断裂主要有鸭绿江断裂、清川江断裂;南北向断裂主要有定义-龟城断裂、大宁江断裂;北西向断裂主要有平北断裂、天摩-永山断裂,定义-新义州断裂等。平安北道发现的 27 个金矿床(点),皆赋存于 3 组断裂交汇部位。其中 7 个大型金矿床,组成 3 个北西向金矿成矿亚带,由北向南依次为云山-大榆洞金成矿亚带,天摩-造岳金成矿亚带,吉祥-宣川金成矿亚带(图 4)。北西向断裂为金的导矿构造,其中一些低序次、规模较小的北北东向、北西向、或北东向断裂,往往形成容矿构造。

平北地区出露的岩浆岩从老到新依次为,莲花山花岗岩(1 700~2 039 Ma),惠山花岗岩(184~214

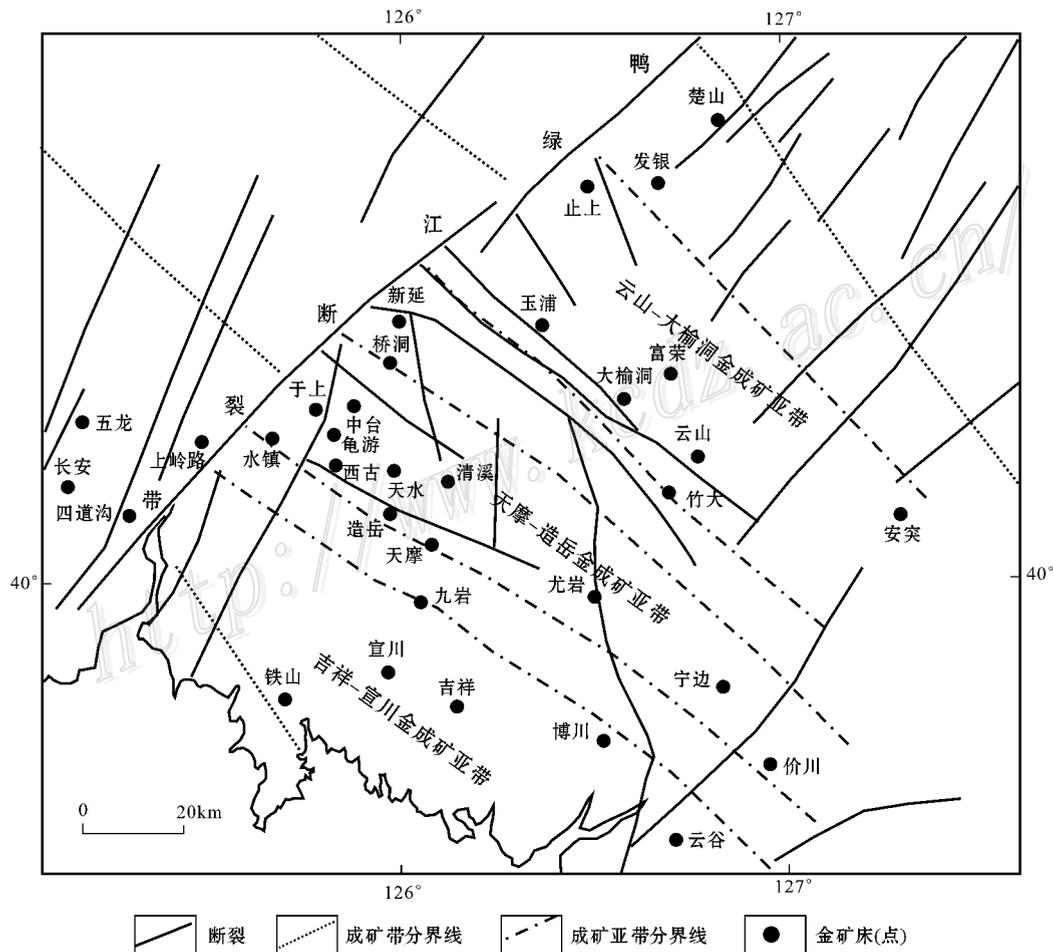


图 4 朝鲜北部主要金矿床分布示意图

Fig. 4 Schematic map showing distribution of Au ore deposits in northern North Korea

Ma)和端川花岗岩(134~164 Ma)。其中端川花岗岩体分布广泛,且存在于大型金矿床附近,与金矿成因关系密切。造岳金矿是其中较为著名的一个,该矿位于平安北道造岳郡狼林台背斜的铁山断块上,容矿围岩为狼林群黑云母片麻岩,附近有燕山期花岗岩闪长岩体存在。金赋存于含硫化物的石英脉中,石英脉长约2 km,宽2~3 m,最宽处达10 m,延伸目前控制在300~400 m,矿石由黄铁矿、方铅矿、闪锌矿和自然金组成。还有一种富含毒砂的石英脉,产于正断层中,长500 m左右,宽0.5~1.5 m,金品位最高可达10~20 g/t,矿石主要由黄铁矿、毒砂和自然金组成,金的储量达60吨。

再结合五龙、猫岭、白云金矿可以看出,本区成矿带内的金矿具有如下特点:①时空的不均一性,即成矿主要集中爆发于中生代,而赋矿层位多为前寒武纪形成的碎屑岩-碳酸盐岩地层中;②成矿区域的不均衡性,表现在一定范围内形成特定的矿化集中区,在辽宁主要集中于青城子外围、猫岭和丹东一带,朝鲜则主要集中于平云山-大榆洞、天摩-造岳和吉祥-宣川一带;③成矿时期的多重性、叠加性,金矿的成矿时期多受到裂谷建造期的沉积作用、改造期的变质作用和活化期的构造-岩浆作用的多重因素控制,许多矿床具有叠加成矿的特点。

3 辽东地区未来寻找矿产资源的方 向

辽东地区与朝鲜半岛的成矿地质条件相同,成矿种类、矿床类型也相似,但金、铜、铅锌的储量却相差甚远,这种现象值得思考。辽老摩裂谷主体将近三分之二都分布于辽宁境内,产有世界著名的菱镁矿和硼矿,规模巨大,也有一批大中型的铅锌矿、金矿、铜矿等矿床存在。特别是近年在青城子铅锌矿外围,通过综合运用地、物、化找矿方法和找矿理论,新发现了4处金、银矿产地,分别是尖山沟特大型金(银)矿,白云三道沟大型金矿、云山石湖沟银矿和兰花岭银矿^①,另外还有白云、杨树、高家堡子、小佟家堡子等一批近20~30年间发现的金银矿产地,可见青城子铅锌矿及其周围为一重要多金属赋存聚集区。另外随着近年找矿热度的提高和找矿力度的加大,在该区相继寻找到了—批与中生代岩浆岩体有

关的铜、钼等多金属矿床。由此可见,在辽东地区有着极为宽广的找矿空间。

朝鲜的有色金属及贵金属如前所述,主要分布于两大北西向成矿带内,通过与朝鲜北部的对比,结合矿床的空间分布特征和构造地质特征可以发现,辽东地区的成矿空间也可以分为两大成矿带,北侧的万宝-桓仁铜铅锌多金属成矿带和南侧的五龙-白云金成矿带(图5),与朝鲜—侧成矿带遥遥相对。

3.1 万宝-桓仁多金属成矿带

该成矿带与朝鲜—侧的检德-惠山铜铅锌多金属成矿带相对应,成矿带长大于160 km,宽60 km,带内有桓仁铜锌矿、万宝源铜钼矿、张家堡子铅锌矿等中小型矿床以及大量的铜铅锌多金属矿点,累计探明铅锌金属储量不超过100万吨,铜储量不超过50万吨。该成矿带可以划分为桓仁-二棚甸子、五里甸子-向阳、万宝-张家堡子3个成矿亚带(图5中I、II、III)。

(1) 桓仁-二棚甸子成矿亚带

桓仁铜锌矿是典型的矽卡岩型矿床,矿体均位于燕山晚期形成的闪长杂岩体与寒武纪碳酸盐岩接触部位形成的矽卡岩内。成矿元素具有明显的分带性,垂向上,自上而下具有Pb-Zn-Cu-(Mo)-Fe的成矿系列变换,水平方向,从碳酸盐岩—侧向闪长杂岩体—侧也有如上的变化顺序,只是出现于不同的标高,矿体呈网脉状、细脉状、囊状充填于矽卡岩内的裂隙中,并被后期北东向断裂所破坏。矿山在开采至井下500~600 m时,发现了有工业价值的钼矿的存在,但尚不具规模(宋建潮等,2007)。

目前所寻找到的矿体主要集中于闪长杂岩体的北接触带上,而南接触带由于有安山岩的覆盖,还没有开展具体工作,但物、化探资料显示有矿化异常的存在。另外,在其外围还发现了10处小型的铜、钼矿点,通过进一步工作,本区有望成为一个重要的矿化集中区。

(2) 五里甸子-向阳成矿亚带

五里甸子-向阳铜铅锌金成矿亚带,走向北西,长35 km,宽6 km。已发现金矿化体2条,铜矿化体1条,铅锌矿化体1条。五里甸子金矿(化)体延长100~600 m,脉带宽15~30 m,单脉宽1~7 m,含金

① 辽宁省有色地质局勘查总院,2004.辽东凤城青城子铅锌矿外围金银矿评价报告。

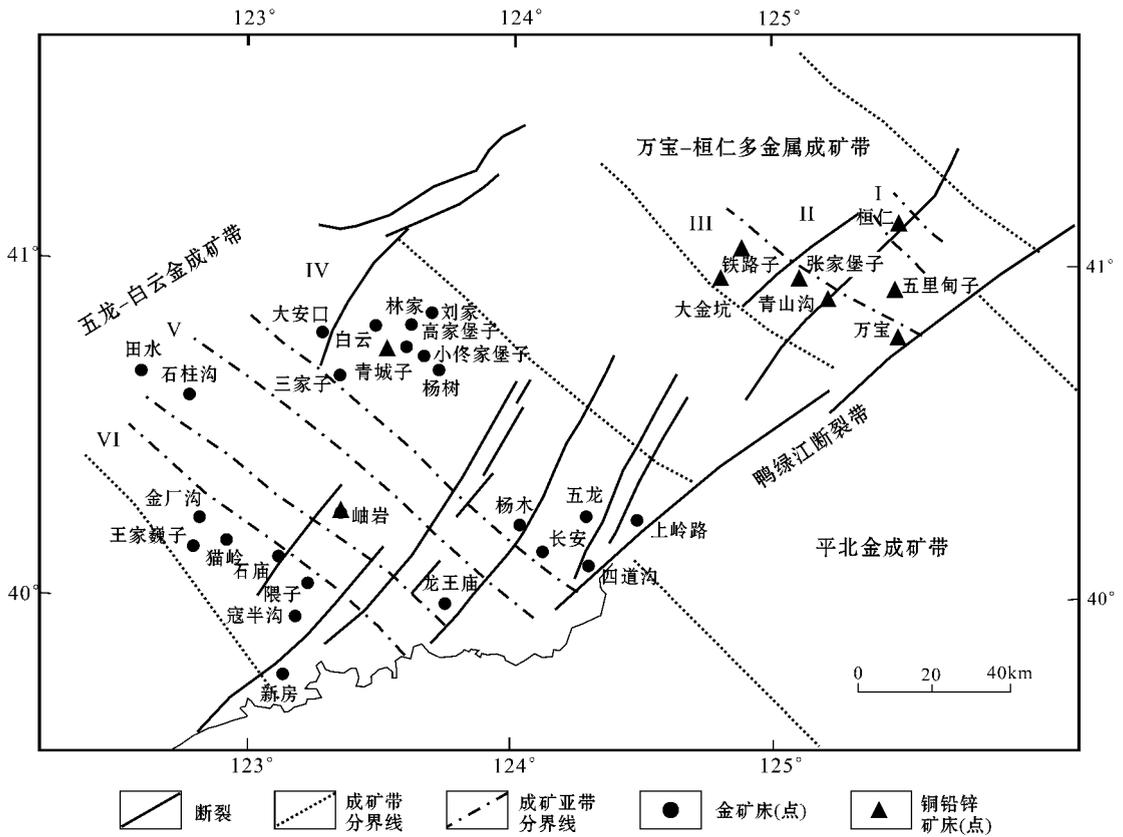


图 5 辽东地区主要金、多金属矿床分布示意图

I—桓仁-二棚甸子成矿亚带；II—五里甸子-向阳成矿亚带；III—万宝-张家堡子成矿亚带；IV—五龙-白云金成矿亚带；V—岫岩-大孤山金成矿亚带；VI—新房-猫岭金成亚带

Fig. 5 Schematic map showing distribution of Au and polymetallic ore deposits in Liaodong area

I—Huanren-erpengdianzi metallogenic sub-belt；II—Wulidianzi-xiangyang metallogenic sub-belt；III—Wanbao-zhangjiapuzi metallogenic sub-belt；IV—Wulong-baiyun gold metallogenic sub-belt；V—Xiuyan-dagushan gold metallogenic sub-belt；VI—Xinfang-maoling gold metallogenic sub-belt

0. n~3.55 g/t,最高 10.6 g/t;永红铜矿体长大于 150 m,平均厚 5.17 m,最厚处达 11 m,最高品位 Cu 为 7.31%,Au 为 3.1 g/t,Fe 为 62.17%。

带内分布有大量的铜、铅、锌、金、银多元素水系底沉积物异常。其中五里甸子铜异常面积约 50 km²,Cu 异常值为 30×10⁻⁶~100×10⁻⁶。

该区的成矿地质环境与朝鲜上农铜金矿区域成矿环境有许多相似之处,均赋存于裂谷中央凹陷区内的古老地层中,均与中酸性花岗岩或花岗闪长岩体有关,以多金属成矿作用为主,赋存层位一般都较浅。但是朝鲜上农铜金矿区的成矿作用与古元古代花岗岩体有关,而该区与中生代岩体有关,成矿种类也比前者更为多样。通过进一步找矿工作,有望找到大型铜金矿。

(3) 万宝-张家堡子成矿亚带

该成矿亚带南东起宽甸县振江镇万宝村,西北

止牛毛坞乡张家堡子村,长 55 km,宽 5~10 km,带内主要分布有一些铜铅锌多金属矿床(点),还有少量的金、铁矿床(点)。

万宝源铜钼矿床位于鸭绿江断裂与辽东裂谷的交汇部位,受北东向的鸭绿江断裂与北西向的周家屯-万宝断裂带控制,矿体产于中生代石柱子花岗岩体与古生代碳酸盐岩的接触部位或者岩体内部,成矿类型为浅部的矽卡岩型铜矿以及较深部位的斑岩型钼矿。辉钼矿主要产在破碎剪切带中的石英脉、裂隙脉和壁上覆有辉钼矿薄膜的微细裂缝中(Evans,1980)。钼品位一般为 0.017%~2.42%,平均品位为 0.129%。S、D-O 同位素研究认为,成矿流体为以岩浆水为主,伴有少量同生水或者大气水的混合流体(宋建潮等,2008)。在石柱子花岗岩体与围岩的接触带上,已经发现了十余处中小型铜钼金矿床(点),化探和物探资料表明,轴向呈北西向的石

柱子花岗岩体沿轴向以钼矿为主,向两侧与围岩接触部位则变化为铜和金,具有明显的分带性。

研究认为,沿鸭绿江断裂带的西侧,自南向北分布着4个形成于燕山期的岩体:长甸子二长花岗岩体、腰岭子二长花岗岩体、石柱子花岗闪长岩体和川沟花岗岩体,均是未来寻找斑岩型-矽卡岩型-热液脉型矿床的重要地段,成矿种类以Cu-Mo-Au-Pb-Zn-Fe多金属为主。

张家堡子铅锌矿床是一处典型的层控型矿床,矿体呈层状或似层状分布于大石桥组大理岩中,一般矿体长100~300 m,厚1~3 m,铅品位最高达35%,在其外围分布着与之相似的十余处矿点,与朝鲜检德铅锌矿同位于一个成矿带上,成矿环境相同,具有进一步工作的价值。

3.2 五龙-白云金成矿带

五龙-白云金成矿带与朝鲜平北金成矿带相对应,带长大于130 km,宽120 km,内有五龙、四道沟、猫岭、小佟家堡子、高家堡子、杨树、白云以及新房、隈子等大-中型金银矿床及大量的金矿点,累计探明金工业储量约150吨。该成矿带也可划出3个亚带,即五龙-白云金成矿亚带、岫岩-大孤山金成矿亚带、新房-猫岭金成矿亚带(图5中IV、V、VI)。目前五龙-白云金成矿亚带已获工业储量100多吨,其余两个亚带工作程度较低。

通过近年来的地质找矿工作,在鸭绿江成矿带辽东地段已发现了一批矿化信息,预示着能找到类似朝鲜的中大型矿床。通过对区带资料的综合分析,立足以寻找大-超大型金矿为目标,以下选区是寻找金矿首选地段。

(1) 五龙金矿外围区

通过五龙金矿区及外围800 km²的1:5万水系底沉积物测量,获得了I、II、III类Au、Ag、As、Bi综合异常14个,呈北东向和北西向展布,主要异常均与构造交汇部吻合。五龙石英脉型金矿床异常组合为Au-Ag-Bi,蚀变岩型金矿床异常组合为Au-Ag-As,五龙外围异常组合大部分为Au-Ag-As,说明该区是以蚀变岩型金矿床为主。五龙金矿近60吨储量集中在5 km²极小范围内,与整个分散流异常相比,五龙矿区外围工作程度较低,尚存在较大范围的异常区未开展工作,其中部分异常值远大于五龙本区异常。通过对五龙地区分散流异常进行详细、深入的查证,有望取得较好的地质找矿效果。

从区域空间位置来看,该区与平北金成矿带更

为接近,在鸭绿江附近,分布着大量的金矿床(点),它们应属于同成矿作用下的产物,所以该区可以作为一个主要的金矿远景目标区。

(2) 宽甸古楼子地区

根据以往水系底沉积物测量,沿鸭绿江断裂带中国一侧古楼子地区分布着面积较大的Au异常带,异常带一般长4.5~5.0 km,宽1.5~4.0 km,金异常值为 $5 \times 10^{-9} \sim 22 \times 10^{-9}$,最高为 220×10^{-9} 。区内大面积出露印支期混合花岗岩,西北部为燕山期五龙背-凤凰山斑状花岗岩。在汞洞沟及老边墙等处已发现十余条含自然金的石英脉富矿脉,石英脉一般延长100~500 m,宽0.3~1.0 m,石英脉地表品位较贫,向深部金矿化富集,充填于石英脉裂隙中的自然金,品位最高可达10 000 g/t,可见该区带金矿异常富集。各种矿化信息显示与朝鲜一侧的大型-超大型金矿床具有一致性,但该区地质工作程度相对较低,可以作为未来一个主要的找矿靶区。

(3) 岫岩-龙王庙成矿带

该带与朝鲜天摩-造岳金成矿亚带相对应,但带内目前仅发现有田水金矿、岫岩金矿、石灰窑金铜矿及龙王庙金矿点等(床)点十余处。以往地质工作非常薄弱,经与朝鲜金矿带对比研究,认为该带具有很大的找矿潜力,急需加大找矿投入。以往水系底沉积物测量,在该带的中部岫岩金矿地区发现了较多的Au、Ag、Cu、Pb、Zn异常。其中金异常呈北西向带状分布明显,且面积较大。另外,围绕哨子河流域是砂金分布较集中的地区,以往有单位提交过哨子河乡砂金储量,这也间接说明哨子河流域地区应有岩金分布。

4 结论与建议

通过鸭绿江两侧朝鲜和中国辽宁境内成矿地质条件、成矿特征的对比研究,可以得出以下结论:

(1) 辽东地区与朝鲜一侧成矿地质条件均以发育在板块边缘的陆间型大陆裂谷——辽老摩裂谷为成矿地质背景,后经历了相似的沉积作用、岩浆活动、变质变形运动,特别是中生代北东向的发育于中朝板块边缘的岩浆侵入-喷发活动造成了裂谷的复活,对区带地质演化及矿产形成意义重大。

(2) 辽东地区与朝鲜一侧矿产种类与矿床类型基本相同,具有两大显著特征:① 矿体赋存于古元古代形成的辽河群或摩天岭群的某一特定位置,矿

产具有显著的层控性, 矿产种类相对单一, 成矿规模较大, ② 矿体赋存于中生代岩浆岩体与围岩的接触部位或岩体内部, 矿床均有明显的穿层性, 矿产种类以多金属成矿系列为主, 成矿规模受岩体控制, 多属中小型矿床。

(3) 辽东地区与朝鲜一侧成矿特点均可划分为不同的成矿带, 以北西向为主, 朝鲜一侧可划分为平北金成矿带和检德-惠山铅锌成矿带, 中国一侧也可相应的划分为五龙-白云金成矿带和万宝-桓仁多金属成矿带, 两者具有相似性和类比性。在此基础上又可进一步划分为不同的成矿亚带, 层控性的铜矿床有可能是未来寻找矿产资源的重大突破点。

依据目前所掌握的辽东地区大量地质矿产资料, 并结合与矿化有关的地层、构造、岩浆岩等成矿条件等信息, 预测辽东地区潜在铜资源量 1 000 万吨, 铅锌资源量 2 000 万吨, 金资源量 500 吨。

通过与朝鲜北部大型有色金属矿床和贵金属矿床的对比研究, 鸭绿江断裂带中国辽东地区一侧, 有着极其广阔的找矿远景和巨大的找矿潜力。加大这一地区的找矿投入, 加强中朝两侧地质成矿规律的进一步总结对比, 势必会收到事半功倍的效果, 极有可能在辽东地区的有色及贵金属找矿方面取得重大突破。

References

- Bureau of Geology and Mineral Resources of Liaoning Province. 1989. Regional geology of Liaoning Province [M]. Beijing : Geol. Pub. House. 684-685 (in Chinese).
- Chen J. 2002. Geological characteristics and ore-forming evolution of turbidite-hosted deposits in Qingchengzi ore field (doctor candidate degree [D]. Supervisor : Wang E D. Shenyang : Northeast University. 11-28 (in Chinese with English abstract).
- Chen R D. 1984. A Paleoproterozoic rift basin-Liaodong rift [J]. Liaoning Geology, (2): 125-133 (in Chinese).
- Chen R D. 1990. The tectonic evolution of the Liaodong Rift [J]. Regional Geology of China (4): 306-315 (in Chinese with English abstract).
- Clusel D. 1993. The earth dynamic evolution of Korean peninsula [J]. Translator : Yang W D and Shen X S. Offshore Oil, (2): 20-24 (in Chinese).
- Evans A M. 1980. An introduction to ore geology [M]. Blackwell Scientific Publications. 130-143.
- Guo H J (collection). 2006. Geological analysis of Sino-Korean nonferrous metals [J]. World Nonferrous Metals (12): 16-18 (in Chinese).
- Li S Z, Zhao G C, Sun M, Han Z Z, Luo Y, Hao D F and Xia X P. 2005. Deformation history of the Paleoproterozoic Liaohe assemblage in the eastern block of the North China Craton [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 24 : 659-674.
- Li S Z, Zhao G C, Sun M, Han Z Z, Zhao G T and Hao D F. 2006. Are the south and north Liaohe groups of North China Craton different exotic terranes? Nd isotope constraints [J]. Gondwana Res., 9 : 198-208.
- Li S Z and Zhao G C. 2007. SHRIMP U-Pb zircon geochronology of the Liaoji granitoids : Constraints on the evolution of the Paleoproterozoic Jiao-Liao-Ji belt In the Eastern Block of the North China Craton [J]. Precambrian Res., 158 : 1-16.
- Liu J L. 1991. Deformation structures and deformation mechanism in bedding-parallel tectonic : Schist in the inner zone of the Liaoji paleorift [J]. Jilin Geology (4): 1-9 (in Chinese with English abstract).
- Liu J L, Liu Y J and Chen H. 1997. The inner zone of the Liaoji paleorift : Its early structural styles and structural evolution [J]. Journal of Asian Earth Science, 15 (1): 19-31.
- Liu Y C, Hou Z Q, Yang Z S, Tian S H, Song Y C, Yang Z M, Wang Z L and Li Z. 2008. Some insights and advances in study of Mississippi Valley-type (MVT) lead zinc-deposits [J]. Mineral Deposits, 27 (2): 253-264 (in Chinese with English abstract).
- Liu Z Y, Xu X C, Tian Y C, Yang D J, Jiang Y Z, Tian S H and Wei M. 2007. Relationship between sedimentation-exhalation ore-forming process and gold-silver polymetallic mineralization in Qingchengzi area, Liaoning Province [J]. Mineral Deposits, 26 (5): 563-571 (in Chinese with English abstract).
- Lu X P, Wu F Y, Lin J Q, Sun D Y, Zhang Y B and Guo C L. 2005. Geochronological successions of the early Precambrian granitic magmatism in southern Liaodong peninsula and its constraints on tectonic evolution of the North China Craton [J]. Scientia Geologica Sinica, 39 (1): 123-138 (in Chinese with English abstract).
- Luo H and Li J J. 2002. Geological features of Au, Ag, Pb, Zn, Cu and Co ore deposits and forming conditions in the eastern region of Liaoning Province, China [J]. Progress in Precambrian Research, 25 (3-4): 240-245 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Xie G Q, Zhang Z H, Li X F, Wang Y T, Zhang C Q and Li Y F. 2005. Mesozoic large-scale metallogenic pulses in north China and corresponding geodynamic setting [J]. Acta Petrologica Sinica, 21 (1): 169-188 (in Chinese with English abstract).
- Mironovski E E. 1985. Rift in earth history [M]. Beijing : Geol. Pub. House. 90-94 (in Chinese).
- Qi J P, Chen Y J and Franco P. 2005. Geological characteristics and tectonic setting of the epithermal deposits in the northeast China [J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 25 (2): 47-59 (in Chinese with English abstract).
- Sawkins F J. 1984. Metal deposits in relation to plate tectonics [M]. Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo : Springer-Verlag. 187-196.
- Song J C, Wang E D, Zhang C S and Jia S S. 2007. Metallogenic model and deep prediction of Huanren copper-zinc skarn deposit in Liaoning Province [J]. Geology and Resources, 16 (4): 280-283 (in Chinese

- with English abstract).
- Song J C , Wang E D , Hu T J , Zhang C S and J S S . 2008 . The origin of ore-forming fluids and ore formation model of Wanbaoyuan Mo deposit , Kuandian County , Liaoning Province [A] . In National conference on deposits No. 9 [C] . Beijing : Geol. Pub. House. 789-791 (in Chinese).
- Sun H Y and Sun W T . 2004 . The comparison of study premises between Liaohe group siderite deposit controlled by strata of Liaoning eastern middle part and Jiande pattern deposit of Korea and perspective fores [J] . Non-ferrous Mining and Metallurgy , 20(4) : 9-13 (in Chinese with English abstract).
- Sun W D , Ling M X , Wang F Y , D X , Hu Y H , Zhou J B and Yang X Y . 2008 . Pacific plate subduction and Mesozoic geological event in eastern China [J] . Bulletin of Mineralogy , Petrology and Geochemistry , 27(3) : 218-225 (in Chinese with English abstract).
- Tian S W . 1986 . Introduction of Precambrian and its minerals , North Korea [J] . Geological Survey and Research (1) : 79-89 (in Chinese).
- Wang A J , Peng Q M and Palmer M R . 1997 . Salt dome-controlled sulfide precipitation of Paleoproterozoic Fe-Cu sulfide deposits , eastern Liaoning , northeastern China [J] . Economic Geology , 93 : 1-14 .
- Wang C W , Liu Y J and Li D T . 1997 . New evidences on the correlation of Liaohe lithogroup between the southern and the northern regions in eastern Liaoning Province [J] . Journal of Changchun University of Earth Sciences , 27(1) : 17-24 (in Chinese with English abstract).
- Wu F Y , Yang J H , Wilde S A and Zhang X O . 2005 . Geochronology , petrogenesis and tectonic implications of Jurassic granites in the Liaodong Peninsula , NE China [J] . Chemical Geology , 221 : 127-156 .
- Wu F Y , Yang J H , Wilde S A , Liu X M , Guo J H and Zhai M G . 2007 . Detrital zircon U-Pb and Hf isotopic constraints on the crustal evolution of North Korea [J] . Precambrian Res. , 159 : 155-177 .
- Wang K Y . 1987 . Geological characteristics of Jiande Pb-Zn deposit , North Korea [J] . Information of Geological Science and Technology , 6(1) : 14-17 (in Chinese).
- Yin C J , Peng Y J and Jin K . 2000 . Mesozoic volcanism in the eastern part of northeast China and Transpacific Plate [J] . Regional Geology of China , 19(3) : 303-311 .
- Zhai A M , Shen B F , Yang C L , Hu X D , Cao X L and Gong X H . 2005 . Geological evolution and ore-forming of the Liaoning-Jilin Paleoproterozoic rift [J] . Geological Survey and Research , 28(4) : 213-220 (in Chinese with English abstract).
- Zhang G R , Jiang S E , Han X P , Huang Z F , Qu H X , Guo W J and Wang F J . 2006 . The main characteristics of Yalujiang fault zone and its significance [J] . Geology and Resources , 15(1) : 11-19 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Q S . 1984 . Geology and metallogeny of the early Precambrian in China [M] . Changchun : Jilin People ' s Publishing House. 81-99 (in Chinese).
- Zhao G C , Simon A W and Cawood P A . 1998 . Thermal evolution of Archean basement rocks from the eastern part of the North China Craton and its bearing on tectonic setting [J] . Int. Geol. Rev. , 40 : 706-721 .
- Zhao G C , Simon A W , Cawood P A and Lu L Z . 1999 . Tectonothermal history of the basement rocks in the western zone of the North China Craton and its tectonic implications [J] . Tectonophysics , 310 : 37-53 .
- Zhao G C , Simon A W , Cawood P A and Sun M . 2001 . Archean blocks and their boundaries in the North China Craton : Lithological , geochemical , structural and P-T path constrains and tectonic evolution [J] . Precambrian Res. , 107 : 45-73 .
- Zhao G C , Simon A W , Cawood P A , Sun M and Lu L Z . 2002 . Metamorphism of basement rocks in the central zone of the North China Craton : Implication for Paleoproterozoic tectonic evolution [J] . Precambrian Res. , 103 : 55-88 .
- Zhao G C , Sun M , Wilde S A and Li S Z . 2005 . Late Archean to Paleoproterozoic evolution of the North China Craton : Key issues revisited [J] . Precambrian Res. , 136 : 177-202 .
- Zhao G C , Cao L , Wilde S A , Sun M and Choe W J . 2006 . Implications based on the first SHRIMP U-Pb zircon dating on Precambrian granitoid rocks in North Korea [J] . Earth and Planetary Science Letters , 251 : 365-379 .
- Zhao H L , Deng J F , Chen F J , H Q and Zhao S K . 1998 . Petrology of the Mesozoic volcanic rocks and the basin formation in northeast China [J] . Geoscience , 12(1) : 56-62 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- Clusel D . 1993 . 论朝鲜半岛的地球动力学演化 [J] . 杨武道 , 申小苏译 . 海洋石油 (2) : 20-24 .
- 陈江 . 2002 . 青城子矿田油积岩型矿床地质特征及成矿作用演化 (博士论文) [D] . 导师 : 王恩德 . 沈阳 : 东北大学 . 11-28 .
- 陈荣度 . 1984 . 一个早元古代裂谷盆地—辽东裂谷 [J] . 辽宁地质 , (2) : 125-133 .
- 陈荣度 . 1990 . 辽东裂谷的地质构造演化 [J] . 中国区域地质 (4) : 306-315 .
- 郭海军 (整理) . 2006 . 中朝有色金属矿床的地质分析 [J] . 世界有色金属 (12) : 16-18 .
- 辽宁省地质矿产局 . 1989 . 辽宁省区域地质志 [M] . 北京 : 地质出版社 . 684-685 .
- 刘俊来 . 1991 . 辽吉古裂谷内带顺层构造片岩的变形构造与变形机制 [J] . 吉林地质 (4) : 1-9 .
- 刘英超 , 侯增谦 , 杨竹森 , 田世洪 , 宋玉财 , 杨志明 , 王召林 , 李政 . 2008 . 密西西比河谷型 (MVT) 铅锌矿床 : 认识与进展 [J] . 矿床地质 , 27(2) : 253-264 .
- 刘志远 , 徐学纯 , 田豫才 , 杨德江 , 蒋永臻 , 田树海 , 魏民 . 2007 . 辽东青城子地区喷流-沉积成矿作用与金银多金属矿化的关系 [J] . 矿床地质 , 26(5) : 563-571 .
- 路孝平 , 吴福元 , 林景仁 , 孙德有 , 张艳斌 , 郭春丽 . 2004 . 辽东半岛南部早前寒武纪花岗质岩浆作用的年代学格架 [J] . 地质科学 , 39

- (1):123-138.
- 骆辉,李俊建. 2002. 辽东裂谷 Au、Ag、Pb、Zn、Cu、Co 金属矿床地质特征和成矿条件[J]. 前寒武纪研究进展, 25(3-4):240-245.
- 毛景文,谢桂青,张作衡,李晓峰,王义天,张长青,李永峰. 2005. 中国北方中生代大规模成矿作用的期次及其地球动力学背景[J]. 岩石学报, 21(1):169-188.
- 米兰诺夫斯基 E. E. 1985. 地球历史上的裂谷作用[M]. 北京:地质出版社. 90-94.
- 祁进平,陈衍景, Franco Pirajno. 2005. 东北地区浅成低温热液矿床的地质特征和构造背景[J]. 矿物岩石, 25(2):47-59.
- 宋建潮,王恩德,张承帅,贾三石. 2007. 辽宁桓仁夕卡岩型铜锌矿床成矿模式及深部预测[J]. 地质与资源, 16(4):280-283.
- 宋建潮,王恩德,胡铁军,张承帅,贾三石. 2008. 辽宁宽甸万宝源钼矿成矿流体起源及成矿模式研究[A]. 第九届全国矿床会议论文集[C]. 北京:地质出版社. 789-791.
- 孙洪云,孙文涛. 2004. 辽东中部辽河群层控隐伏矿床与朝鲜检德式矿床对比研究前提及远景区预测[J]. 有色矿冶, 20(4):9-13.
- 孙卫东,凌明星,汪方跃,丁星,胡艳华,周继彬,杨晓勇. 2008. 太平洋板块俯冲与中国东部中生代地质事件[J]. 矿物岩石地球化学通报, 27(3):218-225.
- 田书文. 1986. 朝鲜的前寒武纪及其有关矿产简介[J]. 地质调查与研究(1):79-89.
- 王成文,刘永江,李东涛. 1997. 辽河岩群南北区域对比的新证据[J]. 长春地质学院学报, 27(1):17-24.
- 王魁元. 1987. 朝鲜检德铅锌矿床的地质特征[J]. 地质科技情报, 6(1):14-17.
- 殷长建,彭玉鲸,靳克. 2000. 中国东北东部中生代火山活动与泛太平洋板块[J]. 中国区域地质, 19(3):303-311.
- 翟安民,沈保丰,杨春亮,胡小蝶,曹秀兰,宫晓华. 2005. 辽吉古裂谷地质演化与成矿[J]. 地质调查与研究, 28(4):213-220.
- 张国仁,江淑娥,韩晓平,黄振福,曲洪祥,郭伟静,王福君. 2006. 鸭绿江断裂带的主要特征及其研究意义[J]. 地质与资源, 15(1):11-19.
- 张秋生. 1984. 中国前寒武纪地质及成矿作用[M]. 长春:吉林人民出版社. 81-99.
- 赵海玲,邓晋福,陈发景,胡泉,赵世柯. 1998. 中国东北地区中生代火山岩岩石学特征与盆地形成[J]. 现代地质, 12(1):56-62.