

加强前寒武纪条带状铁建造中伴生矿床的研究

沈其韩, 宋会侠

(中国地质科学院 地质研究所, 北京 100037)

摘要: 在世界范围内, 前寒武纪条带状铁建造中除产出大量贫铁矿和富铁矿外, 常共生和伴生许多金属和非金属矿产, 特别是金、锰、铅锌铜和镍以及硫铁矿等矿床, 其中不少达到大型和超大型规模, 其经济价值超过铁矿床本身, 在一些国家的国民经济中占有重要位置。我国前寒武纪鞍山式条带状铁建造除主要产出贫铁矿和少量富铁矿外, 少数地区也已发现伴生金矿床。但目前已知多属于中小型矿床, 大型金矿床和其他金属矿床迄今为止尚未发现, 从综合找矿角度, 应重视和加强这些矿床的研究和进一步寻找, 一旦有新发现, 一矿变多矿, 在找矿中必将有重大突破。本文主要介绍国内外目前对这些矿床的研究现状和基本地质特征, 为我国的找矿工作提供借鉴, 扩大找矿思路。

关键词: 条带状铁建造; 矿床; 找矿潜力

中图分类号: P618.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2014)04-0763-07

On the strengthening of the research on Au, Mn, Pb-Zn, Cu and Ni ore deposits associated with Precambrian banded iron formation

SHEN Qi-han and SONG Hui-xia

(Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract: In the world, besides a number of high-grade or low-grade iron ore deposits in the Precambrian banded iron formation, there exist numerous associated deposits which contain large quantities of metallic and non-metallic resources, particularly Au, Mn, Pb-Zn, Cu and Ni. These deposits are large to super-large in size, and some of them possess an important position in national economy of some countries. However, in China, only several small-medium sized Au deposits have been discovered, whereas large-sized Au deposits and other metallic ore deposits have not yet been found. Therefore, during the geological survey and integrated prospecting, researches on polymetallic deposits associated with the banded iron-formation must be strengthened. The geological characteristics and background of Precambrian greenstone belt and banded iron formation must be studied. Moreover, synthetic thought must be formed in looking for these mineral deposits which have favorable ore-prospecting potential. This paper deals with the research situation and basic geological characteristics of several typical ore deposits in China and abroad in the hope of providing some reference and expanding train of thought for China's prospecting work.

Key words: banded iron formation; ore deposits; ore-prospecting potential

在世界范围内, 鞍山式条带状铁建造中, 除产出丰富的铁矿床(贫铁矿和富铁矿)外, 在不少国家, 常有许多金属矿床和少量非金属矿床与铁矿床伴生, 金属矿床主要有金、锰、铅锌、铜、镍以及非金属矿床

收稿日期: 2013-12-03; 修订日期: 2014-04-10

基金项目: 中国地质调查局工作资助项目(1212010811048)

作者简介: 沈其韩(1922-), 研究员, 中国科学院院士, 从事早前寒武纪地质和变质岩研究, E-mail: huixiasong@cags.ac.cn

黄铁矿和磁黄铁矿,不少达到大型和超大型规模,其经济价值远大于铁矿床本身,有些矿产在一些国家的国民经济收入中占有重要的比重。我国鞍山式条带状铁建造中曾有多种伴生金矿床的报导,但都属于小型规模,个别中型。是否存在大型或超大型金矿床,其他金属矿床是否也有存在,尚需进一步研究。从战略找矿的角度考虑,应加强和重视这些矿床的研究和探索,为整装勘查和普查找矿扩大找矿思路,本文对世界上已知的与铁建造伴生的金属矿床和非金属矿床的地质特征做一简略报道,对我国已发现的金矿床的研究现状也简单地予以介绍,以供借鉴。

1 世界上已知的与铁建造伴生的有关矿床

据国外前寒武纪地质编辑部(1986)的报道,做一概略的介绍。

1.1 与铁建造伴生的金矿床

其一般性的共同特征是:①含矿体产于绿岩带的铁建造中,或与铁建造(或含铁石英岩、含铁燧石岩)呈互层产出;②铁建造一般与基性火山岩或碳酸盐岩伴生,并一起经受了褶皱作用和变质作用、受构造控制;③矿床一般为层状或层控型或脉状矿床,具有同生成因和后生成因;④规模一般达中-大型。

1.1.1 条带状铁建造中的层控状金矿床

南非的津巴布韦是世界上重要的产金国之一,约有13%的金产自与铁建造有关的层控金矿床中。津巴布韦南部关达太古宙绿岩带中的武巴奇奎金矿是典型的层控条带状铁建造容矿型金矿之一。该矿床产于一个同轴重褶皱向斜构造的北翼和倾伏处。绿岩带主要由已达绿片岩相变质的基性和酸性火山岩组成,并含有超镁铁质火山岩、变质沉积岩和铁建造。含铁建造厚200~350 m,出现在基性岩底部以上500 m处。含铁建造具有碳酸盐相、氧化物相、硅酸盐相、硫化物相和硅酸盐相,以具有丰富的黑云母和叶绿泥石及透闪石为特征。11个含金矿层已褶皱成香肠状并局限在比较薄的富含毒砂和其他硫化物的铁建造中。矿石呈夹层和透镜体产在铁建造中,一般走向长200 m,倾向方向长250 m,厚5 m,局部整个铁建造层都是矿石,在矿石中80%以上的金呈小包体出现在毒砂晶体中,包体直径为30 μm。铁建造中常见的矿物主要有磁铁矿、赤铁矿、菱铁矿、含

铁白云石、铁白云石、透闪石、叶绿泥石、黑云母、磁黄铁矿、毒砂和黄铁矿等,同时含金毒砂的样品中发现金和砷有定量关系,金矿石中金的平均品位为 11×10^{-6} 。

1.1.2 铁建造中的脉状金矿床

西澳伊尔岗地块的黄金,15%来自于赋存在铁建造中的金矿,西澳大利亚的水桶山金矿床是铁建造中脉状矿床的代表。金矿床产在条带状铁建造的构造混杂带中,显示强烈的破裂和角砾化。铁建造被包在镁铁质和长英质火山岩层序中并经历了多次褶皱。金矿床以含金的小石英脉-磁黄铁矿脉产出,金分布在石英硫化物脉和其间的蚀变晕内。石英脉分布在陡倾斜断层带附近的氧化物相的铁建造内,显示出矿化受构造控制。

1.1.3 与前寒武纪富铁沉积物伴生的金矿床

美国南达科他州的霍姆斯塔克金矿是这一类型的代表,该矿床是北美最大金矿床之一,该金矿床的地层层序如表1。

表1 美国霍姆斯塔克金矿地层层序
Table 1 Stratigraphic sequence of Homestake Gold Mine in the USA

时代	建造	岩性
第三纪	表生沉积	
寒武纪	代德伍德	砾岩
	格里扎利	灰色千枚岩
太古	弗拉格罗克	绢云母片岩,石英岩,变燧石,石墨黄铁矿片岩
古元古代	北西	灰黑色和黄黑色板岩夹角闪岩
	埃利森	千枚岩与片岩,石英岩夹角闪岩
	霍姆斯塔克	菱铁矿、镁铁闪石片岩,含矿层
	普尔曼	灰色千枚岩

霍姆斯塔克岩组或岩层的原岩为微具条带状的硅质、铁质白云质灰岩,现已变质成镁铁闪石片岩、绿泥石片岩,其中褶皱的石英细脉是主要的含金矿石。金富集于该岩组/岩层褶皱的顶部,矿体呈层状、脉状或透镜状产出,金与毒砂紧密伴生,其他矿物为磁黄铁矿、黄铁矿和石英。主要矿体长200多米,宽20~200 m,含金品位 $8 \times 10^{-6} \sim 12 \times 10^{-6}$,含银为 2×10^{-6} 。总体而言,这种矿床的主要特征为:①与火山岩伴生;②与富铁的前寒武纪变质化学沉积岩共生;③矿床具有明显的整合特征;④很多情况下矿石量大;⑤存在金-磁黄铁矿-毒砂-石英矿物组合(±黄铁矿和黄铜矿),在矿体中缺乏分带性;⑥在空间上和时间上,深成岩不存在,且没有与金矿

成矿联系的证据; ⑦ 在蚀变组合中, 绿泥石的含量大于绢云母; ⑧ 矿石中存在变质结构。

1.2 铁建造中的锰矿床

1.2.1 与铁建造伴生的锰矿床

该矿是一种沉积变质的锰矿床, 原生矿石矿物为碳酸锰、硅酸锰, 氧化锰主要为硬锰矿和软锰矿。此种矿床在南非、俄罗斯、澳大利亚、加蓬、巴西和印度都有发现, 储量占相当比例。

南非的波斯特马斯堡-卡拉哈里锰矿是世界上最大的锰矿床。该矿床沿走向长 112 km 的矿带, 位于南非的中部, 锰矿产于德兰士瓦系(前寒武系)中, 该系可分为下白云岩系和上普雷托里亚系, 为地槽区浅海沉积, 产于佛尔沃特铁建造底部, 与铁矿层呈互层和透镜状产出, 锰矿层与铁建造整合产出, 矿层厚约 6.5 m, 局部达 29 m, 含锰(Mn)40%~80%, 主要锰矿物为褐锰矿、方铁锰矿、黑锰矿、软锰矿和铁镁锰矿等。

巴西米纳斯格拉斯地区的锰矿床也是一个含铁建造型锰矿床, 它产在地台型元古宙米纳斯岩系的变质铁建造-白云岩层序中, 锰矿呈层状和透镜状沿走向断续延伸可达 4~5 km, 局部锰矿层与完全缺失白云岩的铁建造呈互层。在该区的纳特维达韦矿床, 锰矿层和锰矿透镜体直接产于铁建造与白云岩的接触部位, 这种与铁建造共生的锰矿品位为 30%~40%。

1.2.2 与铁矿床为上下层关系的锰矿床

加蓬的木安达锰矿床是这种类型锰矿床的代表。矿床产于古元古代弗朗斯维尔岩系的 F₁B 上部, 锰矿层呈层状, 厚 5~9 m, 锰含量为 26%, 属大型沉积矿床。F₁B 地层的底部为不稳定的泥砾层, 向上为含云母的绿色泥岩, 逐渐过渡为含黄铁矿变质页岩, 再过渡为云母质细砂岩、白云质砂岩和泥岩, 在泥岩中有含碳质角砾, 上部为含粉砂质、白云质和锰的碳质页岩, 夹有机质胶结的黑色砂岩, 锰矿就产于此层。其上为稳定的条带状硅质铁矿石, 其形成经历了三个阶段: ① 细碧质火山作用提供了锰质; ② 沉积物通过沉积-成岩作用富集成锰碳酸盐; ③ 表生作用使原生沉积的贫锰矿石富集成富锰氧化物矿石。

1.3 与铁建造伴生的铅锌矿床

代表性矿床是澳大利亚的布肯希尔铅锌矿, 矿床产在澳大利亚新南威尔士州西部元古代威尔马超群中, 矿床围岩主要包括花岗片麻岩、角闪岩片麻

岩、条带状铁建造、夕线石片麻岩。含硫化物矿体与矿脉层位于上部的布肯希尔群和下部的撒卡林加群之间, 条带状铁建造厚度从数厘米至两米, 有很好的层状特征, 沿走向延长 15 km, 条带状铁建造共有 8 层, 有两层沿走向即变为铅锌矿层, 铁建造与铅锌矿脉有相似的沉积物, 铁建造中铅锌品位较高。主要金属矿物是富银铅锌矿和富铁闪锌矿、黄铜矿和磁黄铁矿等, 脉石矿物为石英、方解石和辉石等, 在连续层位中, 石榴子石、赤铁矿、磷灰石、磁黄铁矿和磁铁石英岩与铅锌矿共生。

在布肯希尔地块除产有 Pb-Zn-Ag 外, 还有 Cu-Fe、Cu-Fe-Ag-Sn、Fe-Co-Fe 和 Mn 等矿床, 矿床成因是热交代, 成矿元素来自地幔流体或与玄武岩浆侵入有关, 一直在争论中。

1.4 与铁建造伴生的铜矿床

这类矿床的代表有巴西萨洛特铜矿床和格陵兰太古宙伊苏阿铜矿床。巴西萨洛特铜矿床矿区地层主要是元古宙的含矿岩系, 由变沉积岩和少量变质基性火山岩组成, 铜矿产于萨洛特含矿岩系中, 从顶到底可分为五段, 上部为片麻岩、片岩, 下部为片麻岩, 铜矿与含磁铁矿角闪岩、黑云片岩(含石榴子石等)。储量达到大型规模, 平均 Cu 品位为 0.8%, 主要含铜矿物为斑铜矿和辉铜矿。

格陵兰太古宙伊苏阿铜矿床产于太古宙条带状铁建造中, 铁建造与凝灰质角闪岩共生, 铜的硫化物含量高, 还含有较多的黄铁矿和磁黄铁矿, 铜矿化与玄武质熔岩和凝灰质同生, 铜矿属于海底喷发成因, 与铁建造同时沉积。

1.5 与铁建造伴生的镍矿床

澳大利亚的温达拉镍矿床是温达拉绿岩带中与铁建造伴生的镍矿床的一个实例, 其地层层序最下部为超镁铁质岩, 原岩为次火山侵入岩, 其上为条带状铁建造, 厚 2~150 m, 是变质碳酸盐和硫化物相铁建造, 其上为超镁铁质岩, 厚 20~700 m, 再向上为变玄武质熔岩, 剪切状和块状角砾岩, 偶然有夹层状不连续铁建造-超镁铁质透镜体。

1.6 与铁建造伴生的黄铁矿和磁黄铁矿床

西澳大利亚诺斯曼图达尔古达湖和塔列格山等处黄铁矿矿床和帕克尔斯山的磁铁矿床是这类矿床的代表, 这些矿床均产于绿岩带的铁建造内, 详细地质情况不再列举。

2 我国与铁建造伴生的有关矿床

目前我国的太古宙和元古宙的铁建造内,尚未发现锰、铅锌、镍等矿床,铜锌矿只在辽宁清原红透山清原绿岩带内存在规模达中型。金矿床在太古宙的部分铁建造中和元古宙的铁建造中都有发现,不过都属于中小型或矿化点,还未找到大型或超大型矿床。沈保丰等(1988)对前寒武纪条带状铁建造中金矿的成矿作用,进行了研究并初步总结了铁建造金矿床的7点找矿标志。沈保丰等(1997)对中国绿岩带型金矿类型和地质特征进行过研究。骆辉等(1994, 1998, 2002)、陈志宏等(2001)、林枫等(1996)和田永清等(1991, 2000)曾对新太古代五台山绿岩带铁建造中的金矿床做过详细的研究;原山东省地质矿产局第一地质大队(1989)^①对鲁西泰山岩群绿岩带化马湾金矿和李泽才等(1993, 1994)^{②③}对沂水汞丹山金矿做过普查和研究,臧学农等(1998)、辛后田等(2000)、肖丙建等(2003)、李强等(2004)、王虹等(2006)分别对鲁西太古宙泰山岩群绿岩带柳杭岩组中不同金矿区或矿点进行了研究。最近,王继广等(2013)对鲁西地区新太古代泰山岩群铁建造绿岩型金矿及其矿源层进行了较详细的研究。刘静兰等(1991)对黑龙江古元古代东风山金矿也做过详细的研究。此外还有不少金矿的矿化点产于太古宙绿岩和元古代的金建造中,如辽宁歪头山棉花堡子的金矿化主要产于鞍山群茨沟组条带状铁建造底部的斜长角闪岩中,南龙王庙金矿产于清原群红透山含铁岩系的磁铁角闪石英岩、黑云变粒岩和薄层条带状磁铁硅酸盐中,江西新余金矿产于新元古代震旦系中统杨家山组含铁岩系的含磁铁绿泥石英片岩、含黄铁绢云千枚岩、含磁铁绿泥绢云千枚岩和条带状磁铁石英岩中,布琼阿斯特地区金矿化产于铁克里克前震旦基底条带状铁建造中,有的矿化点分布广,有的矿点深部情况不明,不少仍具有找矿潜力,需进一步深入研究。

2.1 五台山地区新太古代五台群铁建造金矿床

根据骆辉等(1994, 1998, 2002)的研究,华北地区新太古代五台山金矿全部产于条带状铁建造中,

金矿与条带状铁建造关系密切,可分为三类:①碳酸盐相条带状铁建造金矿床;②碳酸盐氧化物混合相条带状铁建造金矿床;③硅酸盐-氧化物混合相条带状铁建造金矿床。

第一类产于五台山五台群柏枝岩组条带状铁建造中,矿区岩石是柏枝岩组变火山岩和变沉积岩,变沉积岩主要为大理岩、硅质岩和条带状铁建造。林枫等(1996)认为这套变沉积岩属于喷气沉积岩,大理岩富含电气石和金云母,硅质岩由燧石岩和石英岩组成,含少量铁白云石、菱铁矿和赤铁矿,条纹条带状构造,实为条带状铁建造组成部分。条带状铁建造包括含铁碳酸盐(石英)岩,磁铁石英岩、赤铁石英岩。含铁碳酸盐明显多于氧化物,属于碳酸盐-氧化物混合相条带状铁建造。矿物以铁白云石为主,含少量菱铁矿,部分碳酸盐岩条带状铁建造已赤铁矿化,形成赤铁矿石英岩。康家沟金矿已发现8个矿体,整合产于条带状铁建造中,矿体长50~200 m,厚0.28~4.4 m,延伸15~200 m。矿石主要为碳酸盐石英岩型和赤铁矿型,条带状和块状构造,碳酸盐矿物主要为铁白云石,部分为方解石,矿石金品位一般为 $1.10 \times 10^{-6} \sim 7.54 \times 10^{-6}$,最高可达 130×10^{-6} 。

第二类碳酸盐-氧化物混合相条带状铁建造金矿床,产于五台山绿岩带五台群柏枝岩组条带状铁建造中,分布在繁峙县和五台县,主要有小板峪和殿头两个金矿床,矿床地质基本相似。条带状铁建造主要为磁铁石英岩,主要由碳酸盐、磁铁矿和石英组成。含铁品位低,平均全铁为21.59~22.68,为贫铁建造。并发生强烈褶皱、剪切变形和透镜体化。矿体产于碳酸盐磁铁石英岩中或碳酸盐磁铁石英岩与绿泥片岩的层间接触带,容矿岩石都是碳酸盐磁铁石英岩,矿体受褶皱构造及其剪切构造控制,在褶皱轴部形成侧伏状柱状矿体,在翼部剪切构造带形成层状、似层状或透镜状矿体,矿体长80~395 m,厚0.4~8.93 m,垂深大于158 m,矿石金品位平均 $8.93 \times 10^{-6} \sim 13.54 \times 10^{-6}$,矿石自然类型有碳酸盐磁铁石英型和细脉型两种。

第三类为硅酸盐-氧化物混合相条带状透镜状金矿床,这类矿床分布于五台山台怀地区,也产于

① 山东省地质矿产局第一地质大队. 1989. 泰安纸房地区西南岭-柳杭金矿带地质普查(内部刊物).

② 李泽才,等. 1993. 山东省沂水县汞丹山金矿普查报告(内刊).

③ 李泽才,李秉仁,童兆福,等. 1994. 山东沂水汞丹山金矿地质特征. 山东地质信息第二期3~5(山东省地质科学研究所内部刊物).

五台群柏枝岩组条带状铁建造中,原岩主要为基性火山岩。条带状铁建造包括磁铁石英岩、铁闪磁铁石英岩和铁闪石片岩,以富含铁硅酸盐矿物铁闪石为突出特征。该铁建造分为上下两个层位,下部为薄层,规模小,贫铁,由铁闪磁铁石英岩、磁铁铁闪片岩和绿泥片岩的薄层呈互层组成,含铁硅酸盐矿物含量高,磁铁矿物少,为贫铁建造。上部规模较大,为中厚层,富含磁铁矿,含硅酸盐矿物少,属富铁建造。金矿层赋存于下部薄层贫铁建造中,矿化带长3500 m,宽3~50 m,一般宽10~25 m,产状与地层产状一致,顺层呈波状弯曲,在矿带内圈出10矿化体,呈似层状或透镜状,单个矿体长25~300 m,厚度0.6~5.23 m,平均厚1.25 m。矿化体由含金薄层磁铁石英岩或铁闪磁铁石英岩或铁闪石片岩和无矿夹层组成。矿石为硅酸盐磁铁石英岩型,由磁铁矿条带、铁闪石条带和石英条带组成。主要矿物为磁黄铁矿、黄铁矿、铁闪石和磁铁矿,矿石Au品位平均为 2.45×10^{-6} ,最高为 10.79×10^{-6} 。陈志宏等(2001)根据金矿床的基本地质特征和地球化学特点,将五台地区前寒武纪条带状铁建造中金矿床按地区划分出小板峪型、东腰庄型和康家沟型三种类型。

小板峪铁建造金矿床赋存于条带状铁建造中,属于后生叠加成因,矿石矿物组成除继承原铁建造矿物磁铁矿和赤铁矿外,主要为黄铁矿、少量黄铜矿、微量金、银,矿体随铁建造一起遭受两期褶皱变形的改造,成矿时代为2.3 Ga,东腰庄金矿床受控于韧-脆性剪切构造,具有复杂的矿物组合如黄铁矿、毒砂、黄铜矿、辉钼矿和电气石等,矿化具多阶段性,黄铁矿化、碳酸盐矿化、硅化发育,成矿时代为2451 Ma。康家沟金矿床赋存围岩主要为侵入成因的碳酸盐岩,矿化产物为含金黄铁矿、黄铜矿的碳酸盐石英脉或石英脉,成矿时代为2140 Ma。

2.2 鲁西新太古代泰山岩群绿岩带中金矿床

鲁西新太古代泰山岩群属绿岩带,其地层自下而上划分为孟家庄岩组、雁翎关岩组、山草峪岩组和柳杭岩组,它们是重要的含铁建造(程裕淇等,1977,1982;曹国权等,1996;杜利林等,2003)。鲁西泰山岩群绿岩带金矿主要有两种类型:韧性剪切带型和层控型,而以前者为主(王继广等,2013)。韧性剪切带型金矿床已知有化马湾金矿床、埠洼金矿床和岳家庄金矿床。前两矿产赋存于柳杭岩组中中下段变质超基性-基性夹沉积岩中,后者赋存于雁

翎关岩组第三岩组第9 大层,原岩为变基性火山岩,均属小型矿床。

鲁西地区绿岩带金矿,王继广等(2013)进行了较详细的研究,现根据他们的研究作简要的介绍:

韧性剪切带金矿的产状、形态和空间延伸,明显受岩层和韧性剪切带控制,金矿化一般长1~5 km,宽1~10 m,矿化的岩石类型主要为黄铁矿化的绢云石英片岩、二云片岩、糜棱岩化斜长角闪岩和滑石透闪片岩等。矿化带金含量一般为 $0.05 \times 10^{-6} \sim 10 \times 10^{-6}$,后期脆性断裂和脉岩所在部位常局部形成蚀变岩型金矿或石英脉型金矿,金品位相对富集。蚀变范围比较广泛,主要为硅化、绢云母化、黄铁矿化和碳酸岩化。矿石矿物主要为自然金、银金矿和金银矿。

层控型金矿主要受绿岩带中特定层位控制,特别是与铁建造关系密切。目前已知的该类矿床仅见于新泰市的东官庄金矿和沂水县的汞丹山金矿,均属小型。东官庄金矿处于火贯-雁翎关-盘车沟绿岩带的中段,赋存于雁翎关组二段顶部第9 大层灰黑色斜长角闪岩、含铁角闪岩中。受绿岩的层位控制非常明显。矿化带断续延伸长达10 km,宽1~10 m,倾斜较陡达 $70^\circ \sim 80^\circ$,顺片麻理形成了三条金矿体,均为含金石英脉,矿体长20~60 m,宽0.86~1.04 m,围岩已普遍阳起石化,局部透闪石化。矿化带内金含量一般为 $10 \times 10^{-9} \sim 0.5 \times 10^{-6}$ 。含金石英脉中金品位在 $0.3 \times 10^{-6} \sim 6.49 \times 10^{-6}$ 。沂水县汞丹山金矿的矿体以层状、似层状为主,局部呈脉状,共圈出5个金矿体,最大长度为365 m,最小48 m,厚0.9~3.2 m,最大延深122 m。矿体产状与磁铁石英岩一致。在磁铁石英岩层的顶部、中上部、中下部、底部均有金矿体分布,沿走向,矿体厚度变化较大。矿石自然类型有磁铁石英岩、角闪磁铁石英片岩、黑云角闪片岩、交代石英岩等4种。矿石金品位在 $1.02 \times 10^{-6} \sim 9.41 \times 10^{-6}$ 之间。金的赋存状态大致有3种形式:一是金赋存于岩石中,并受一定层位和岩性控制;二是金赋存于黄铁矿的晶体裂隙中;三是金赋存于含金石英细脉中,矿体的深部情况,尚不了解。这方面尚缺乏资料。

2.3 黑龙江东风山古元古代条带状铁建造中金矿床

据刘静兰等(1991)的研究,该金矿床产于古元古代东风山群下部岩组的中部条带状铁建造中,自下而上条带状铁建造分为硫化物相、碳酸盐相、硅酸盐相和氧化物相四层。金矿床赋存于硫化物相条带

状铁建造之中,主要由黄铁矿闪锰榴岩、磁黄铁矿锰榴铁闪岩和铁闪黑云石英锰榴岩组成。矿床由9个矿体组成,矿化呈浸染状,与钴共生,形成浸染型钴金矿层,与硫化物相条带状铁建造整合产出。矿体形状受褶皱构造控制,褶皱翼形成层状、似曾状和扁豆状、透镜状矿体,褶皱轴部为鞍状或透镜状。矿体长50~250 m,厚度1.73~9.01 m,褶皱转折端处矿体明显加厚,矿石类型主要有贫硫钴金矿石、硫化物钴金矿石和铁钴金矿石,矿物成分比较复杂,主要矿物有锰铝榴石、磁铁闪石、尤莱辉石、铁橄榄石、铁闪石、磁黄铁矿、辉钴矿、红砷镍矿、辉砷钴镍矿、磁铁矿、黄铜矿、毒砂、电气石、磷灰石和自然金。载金矿物主要是硅酸盐、硫化物和砷化物与锰铝榴石、磁铁闪石、毒砂、辉钴矿和磁黄铁矿。自然金多为包裹金和晶隙金,矿石品位变化较大,铁钴金矿中金的品位较低,最高 13.97×10^{-6} ,硫化物钴金矿金的品位变化较大,品位较高,最高 65×10^{-6} ,贫硫钴金矿中金的品位较稳定,含量较高,最高 60×10^{-6} 。

2.4 与铁建造伴生的硫铁矿矿床

目前有两个实例:一个是在山西五台山产于新太古代五台群下部金刚库岩组中的硫铁矿床,与条带状铁建造共生,规模为中型。另一个是山东新泰雁翎关地区的石河庄硫铁矿床,产于新太古代泰山岩群绿岩带雁翎关岩组第二岩段的第7和第8大层中,与斜长角闪岩、磁铁石英角闪岩伴生,矿层与围岩产状一致,受层位控制,延展较长,但厚度很小,规模很小,属矿点或小矿床(程裕淇等,1977,1982;司双印等,2001)。

3 几点建议

(1) 在普查新区条带状铁矿远景和详细勘察条带状铁矿深部资源的工作时,首先要树立条带状铁建造可伴生多种金属和非金属矿床的综合找矿的战略思想,综合研究工作区的地质构造和矿化线索,采用地物化结合方法,最大限度地发现各种伴生矿床的成矿有利条件,加以全面评价,研究条带状铁建造要全面研究其赋存的绿岩带,不能仅仅局限在铁建造本身。

(2) 对目前已知的铁建造伴生的金矿床应加强深部地质的研究,查明在深部是否存在第二找矿空间,扩大远景,对已知的若干矿化点,应进行进一步工作,必要时打一些普查钻,做出新的评价。相信

加强了这些工作,必将取得巨大成效。

(3) 除条带状铁建造外,其他类型的铁建造或含铁建造也往往含有相同或相似的伴生矿产,在整装勘查中也应加强综合找矿的思路,密切注意多矿伴生的可能性。

致谢 评审员提出了许多宝贵的意见和建议,杨红和王舫两位同志在本文成稿后打印和文字校对方面做了许多工作,特表示衷心的感谢。

References

- Cao Guoquan, *et al.* 1996. Early Precambrian Geology of Western Shandong [M]. Beijing: Geological Publishing House: 1~30(in Chinese).
- Chen Zhihong, Luo Hui, Mao Debao, *et al.* 2001. The types and their geological characteristics of Early-Precambrian gold deposits in Wutai Area, China[J]. Progress in Precambrian Research, 24(3): 184~191(in Chinese with English abstract).
- Cheng Yuqi, Shen Qihan and Wang Zejiu. 1977. The Preliminary study on Taishan Group metamorphic rock series in Xintai Yanlingguan Area, Shandong Province[J]. Geological Prospecting Research, 3(in Chinese).
- Cheng Yuqi, Shen Qihan and Wang Zejiu. 1982. Archean Metamorphic Volcanic-Sedimentary Rocks in Yanlingguan Area, Shandong Province[M]. Beijing: Geological Publishing House: 1~90(in Chinese).
- Du Lilin, Zhuang Yuxun, Yang Chonghui, *et al.* 2003. Characters of zircons in the Mengjiatun Formation in Xintai of Shandong and their chronological significance[J]. Acta Geologica Sinica, 77(3): 359~366(in Chinese with English abstract).
- Editorial Department of Overseas Precambrian Geology. 1986. Mineralization of several foreign Precambrian main metal deposits[J]. Overseas Precambrian Geology, 2(34): 79~94(in Chinese).
- Li Qiang, Liu Jingjie, Cui Xuemin, *et al.* 2004. Geological characteristics and ore-probing symbol of Huamawan gold deposit in Tai'an City [J]. Land and Resources of Shandong Province, 20(1): 47~50(in Chinese with English abstract).
- Lin Feng and Cao Guoxiong. 1996. Geological Characters of Wutaishan Kangjiagou Gold Deposit[A]. Hu Guiming. The Geological Structure Evolution and Main Deposits on Northern Margin of North China Terrane [C]. Wuhan: China University of Geosciences Press(in Chinese).
- Liu Jinglan, Hao Zhengping and Sun Shaozhou. 1991. Precambrian BIF-hosted Gold Deposits of Dongfengshan [M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- Luo Hui and Chen Zhihong. 1998. Geology and Mineralization of BIF-hosted Gold Deposits in Wutaishan Area[J]. Mineral Deposits, 17 (Sup): 163~164(in Chinese).

- Luo Hui, Chen Zhihong and Shen Baofeng. 2002. Geological character and ore-forming constraints of BIF-hosted Gold Deposits in China [J]. *Progress in Precambrian Research*: 25(2): 80~85(in Chinese with English abstract).
- Luo Hui, Peng Xiaoliang and Zhao Yunqi. 1994. BIF-hosted Gold Deposits in Wutaishan Greenstone Belt[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- Luo Hui, Yu Zhiren, Chen Zhihong, *et al.* 2002. Geology and Mineralization of BIF-hosted Gold Deposits in Wutaishan Area[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- Shen Baofeng, Li Shangsen and Luo Hui. 1988. Mineralization of Precambrian BIF-hosted Gold Deposits[J]. *Overseas Precambrian Geology*, 1: 1~34(in Chinese).
- Shen Baofeng, Luo Hui, Li Shuangbao, *et al.* 1997. Type and geological character of Chinese Greenstone Belts gold Deposits[J]. *Progress in Precambrian Research*: 20(4): 1~12(in Chinese with English abstract).
- Si Shuangyin and Sun Maotian. 2001. Geological characteristics and mineralization mechanism of pyrite deposits in Archaean Greenstone Belt in the Western Shandong Region[J]. *Geology of Chemical Minerals*, 23(2): 86~92 (in Chinese with English abstract).
- Tian Yongqing, Yu Keren and Miao Peisen. 2000. A simple analysis of metallogenic geologic features and ore-control factors of Dongyaozhuang Gold Deposit in Wutaishan Greenstone Belt[J]. *Progress in Precambrian Research*: 23(2): 88~97(in Chinese with English abstract).
- Tian Yongqing. 1991. Geology and Gold Mineralization of Hengshan Greenstone Belt in Wutaishan Area[M]. Taiyuan, Shanxi Science and Technology Press(in Chinese).
- Wang Hong, Huo Guanghui and Wang Baojun. 2006. Characteristics and origin of Greenstone Belt type gold deposits in Western Shandong[J]. *Journal of Geomechanics*, 11(4): 350~356(in Chinese with English abstract).
- Wang Jiguang, Li Jing, Li Qingping, *et al.* 2013. Greenstone Belt Gold Deposits and their ore source beds in Western Shandong[J]. *Acta Geologica Sinica*, 87(7): 994~1002(in Chinese with English abstract).
- Xiao Bingxia, Xia Lixin, Liu Jvlong, *et al.* 2003. On the relations between Buwa Gold Deposit and Ductile Shear Zone in Mengyin County [J]. *Geology and Mineral Resources Research*, 18(3): 195~198 (in Chinese with English abstract).
- Xin Houtian, Li Junjian, Shen Baofeng, *et al.* 2000. Ore-control-structure Features of Yuejiazhuang Gold Deposits in Xintai City, Shandong Province, China[J]. *Progress in Precambrian Research*: 21(1): 35~43(in Chinese with English abstract).
- Zang Xuenong and Wu Qingguo. 1998. Geological characteristics and genesis of Buwa Gold Deposit in Mengyin County[J]. *Shandong Geology*, 14(3): 23~30(in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 曹国权, 等. 1996. 鲁西早前寒武纪地质[M]. 北京: 地质出版社: 1~30.
- 陈志宏, 骆辉, 毛德宝, 等. 2001. 五台地区早前寒武纪金矿床类型及其地质特征[J]. *前寒武纪研究进展*, 24(3): 184~191.
- 程裕淇, 沈其韩, 王泽九. 1977. 山东新泰雁翎关一带泰山群变质岩系的初步研究[J]. *地质找矿研究*, 第三期.
- 程裕淇, 沈其韩, 王泽九. 1982. 山东太古代雁翎关变质火山-沉积岩[M]. 北京: 地质出版社: 1~90.
- 杜利林, 庄育勋, 杨崇辉, 等. 2003. 山东新泰孟家屯岩组锆石特征及其年代学意义[J]. *地质学报*, 77(3): 359~366.
- 国外前寒武纪地质编辑部. 1986. 国外前寒武纪几种主要金属矿床的成矿作用[J]. *国外前寒武纪地质*, 2(34): 79~94.
- 李强, 刘敬杰, 崔学敏, 等. 2004. 泰安市化马湾金矿地质特征及找矿标志[J]. *山东国土资源*, 20(1): 47~50.
- 林枫, 曹国雄. 1996. 五台山康家沟金矿床地质特征[A]. 胡桂明. 华北地体北缘地质构造演化及其主要矿床[C]. 武汉: 中国地质大学出版社.
- 刘静兰, 郝正平, 孙绍州. 1991. 东风山前寒武纪铁建造金矿床[M]. 北京: 地质出版社.
- 骆辉, 陈志宏, 沈保丰. 2002. 中国条带状铁建造金矿地质特征和成矿条件分析[J]. *前寒武纪研究进展*, 25(2): 80~85.
- 骆辉, 陈志宏. 1998. 五台山地区铁建造金矿地质和成矿作用[J]. *矿床地质*, 17(增刊): 163~164.
- 骆辉, 彭晓亮, 赵运起. 1994. 五台山绿岩带铁建造金矿[M]. 北京: 地质出版社.
- 骆辉, 余志忍, 陈志宏, 等. 2002. 五台山地区条带状铁建造金矿地质及成矿作用[M]. 北京: 地质出版社.
- 沈保丰, 李上森, 骆辉. 1988. 前寒武纪条带状铁建造(BIF)中金的成矿作用[J]. *国外前寒武纪地质*, 1: 1~34.
- 沈保丰, 骆辉, 李双保, 等. 1997. 中国绿岩带型金矿床类型和地质特征[J]. *前寒武纪研究进展*, 20(4): 1~12.
- 司双印, 孙茂田. 2001. 鲁西地区太古宙绿岩带硫铁矿床地质特征及成矿机制[J]. *化工矿产地质*, 23(2): 86~92.
- 田永清, 余克忍, 苗培森. 2000. 五台山绿岩带东腰庄金矿成矿地质特征及控矿因素浅析[J]. *前寒武纪研究进展*, 23(2): 88~97.
- 田永清. 1991. 五台山恒山绿岩带地质及金的成矿作用[M]. 太原: 山西科学技术出版社.
- 王虹, 霍光辉, 王宝君. 2006. 山东鲁西地区绿岩带型金矿床特征及成因浅析[J]. *地质力学学报*, 11(4): 350~356.
- 王继广, 李静, 李庆平, 等. 2013. 鲁西地区绿岩带金矿及其矿源层探讨[J]. *地质学报*, 87(7): 994~1002.
- 肖丙建, 夏立新, 刘巨龙, 等. 2003. 山东蒙阴县埠洼金矿与韧性剪切带的关系[J]. *地质找矿论丛*, 18(3): 195~198.
- 辛后田, 李俊健, 沈保丰, 等. 2000. 新泰市岳家庄金矿构造控矿特征[J]. *前寒武纪研究进展*, 21(1): 35~43.
- 臧学农, 吴清国. 1998. 蒙阴县埠洼金矿床地质特征及成因[J]. *山东地质*, 14(3): 23~30.