

与前寒武纪含铁建造有关的 铁矿床基本特征及研究进展*

姚仲友,王天刚,汪建宁

(南京地质矿产研究所,南京,210016)

摘要:与前寒武纪含铁建造有关的铁矿床是最具经济价值的铁矿床类型,多形成于太古代和早元古代海底的环境。含铁建造结构多呈条带状,故被认为条带状含铁建造(BIF),粒状含铁建造(GIF)较为少见。条带状含铁建造是由各种富铁矿物组成的非均一组合,矿物包括含铁的氧化物、硅酸盐、碳酸盐和硫酸盐。而粒状含铁建造则主要由含铁的氧化物和硅酸盐组成,偶而富含含铁碳酸盐。根据结构及组成的不同,含铁建造可分为两类:阿尔戈马型(Algoma type)和苏必利尔型(Superior type),其中苏必利尔型含铁建造是最为重要的成矿母岩。以其为母岩形成的矿床可分为三类:未经富集的原生含铁建造矿床,假象赤铁矿-针铁矿矿床和高品位赤铁矿矿床,其中以高品位赤铁矿矿床最为重要,其形成与成岩作用、表生作用及深部流体的参与有关。我国在下一步工作中应加强对中高品位矿床成因的研究,并对国内已有类似矿床进行再认识,进而取得找矿突破。

关键词:高品位赤铁矿;条带状含铁建造;粒状含铁建造;前寒武纪含铁建造

中图分类号:P618.31

文献标识码:A

前言

与前寒武纪含铁建造有关的铁矿床指形成于前寒武纪(主要是太古代到早元古代)的沉积变质铁矿,因其矿石主要由硅质(碧玉、燧石、石英)和铁质(磁铁矿、赤铁矿)薄层组成而得名。该类型铁矿床是最为重要的铁矿床类型,占世界铁总储量的60%以上,占富铁矿储量的70%,主要分布于巴西、澳大利亚、美国、加拿大、俄罗斯等国家。目前世界上已发现的超大型铁矿床多属于该类型(图1)。

从20世纪初至今,对于与前寒武纪含铁建造有关的铁矿床的研究一直备受关注,研究方向主要集中在矿石结构构造特征、矿物组成、构造控矿、动力学背景、成矿年代、成矿物质来源、成矿热液特征和微生物成矿作用等方面,并提出了矿床的成矿模式^[2-3]。

随着世界范围内对铁矿石需求不断增加,研究

该类矿床形成的地质过程将有利于对未知铁矿床进行更有效的勘查以满足不断增长的需求。本文在介绍该类矿床基本地质特征的基础上,对该类矿床研究的最新进展和认识进行评述和回顾。

1 含铁建造基本特征

含铁建造是重要的成矿母岩,多形成于前寒武纪海底环境下。含铁建造的形成与海水的氧化还原状态、热液活动、微生物活动等有着密切联系^[4]。当富含溶解硅和铁的热水溶液喷发到海底以后,由于温度突然下降,硅酸在海水中达到过饱和状态,导致二氧化硅首先沉淀,形成贫铁层;随着热水溶液与海水不断混合,温度不断降低,海水中的 Fe^{2+} 逐渐被氧化生成 Fe^{3+} 随后沉淀,形成富铁层,海底热液的周期性活动形成了韵律性变化。早元古代(1.8 Ga)以后海洋硫酸盐浓度升高,由富铁海洋转化为富硫酸盐的海洋,导致早元古代后逐渐形成含铁建造^[5]。

* 收稿日期:2012-05-05

基金项目:大洋洲地区重要成矿带成矿规律与优势矿产资源潜力分析项目(项目编码:201130D06200123)资助。

第一作者简介:姚仲友(1962~),男,辽宁人,高级工程师,从事地质矿产普查找矿及成矿规律研究工作。

氧化物,其中含铁56%~63%;深成或变质成因后期(表 1)^[7]。
受表生改造的高品位赤铁矿矿床含铁 60%~68% 世界许多地方未经富集的原生含铁建造矿床是

表 1 世界上主要的与含铁建造有关的铁矿及其类型
Table 1 Major iron deposits type and examples hosted by iron formations

分类	亚类	主要的铁矿床
未经富集的原 生含铁建造	磁铁矿亚型	中国,弓长岭 美国,苏必利尔 澳大利亚,吉布森山
	赤铁矿亚型	加拿大,拉布拉多 中国,鞍山
假象赤铁矿- 针铁矿		澳大利亚,哈默斯利铁矿区
高品位赤铁矿	微板状赤铁矿亚型	澳大利亚,艾恩诺布、Whaleback 山、Tom Price 山 巴西,卡拉加斯矿区 印度,奥里萨邦矿区 南非,德巴齐姆比 乌克兰,克里沃罗格矿区
	赤铁矿亚型	巴西,铁四角矿区 中国,石碌

铁矿的主要来源,尤其在中国和北美,以富磁铁矿含铁建造和富赤铁矿含铁建造为主要含矿层。

假象赤铁矿-针铁矿矿床通常被认为是条带状含铁建造经表生淋滤及交代形成的。假象赤铁矿-针铁矿矿石特征为针铁矿(>50%)含量超过假象赤铁矿,原始含铁建造的层理保存较好。

高品位赤铁矿矿床(Fe>60wt%)包括假象赤铁矿-赤铁矿矿床和微板状赤铁矿-假象赤铁矿交代型矿床两种,它们具有不同特征:假象赤铁矿-赤铁矿矿床中赤铁矿矿石由残余的假象赤铁矿和(或)赤铁矿组成,这些矿物来源于含铁建造中脉石的淋滤而导致含铁的残积,大部分赤铁矿矿石含少量(<15%)针铁矿,地表硬帽除外,也可包含某些深成赤铁矿;微板状赤铁矿-假象赤铁矿交代型矿床则是由经强烈交代的微板状赤铁矿矿石组成,含少量或不含假象赤铁矿。

2 高品位赤铁矿矿床成因研究进展

高品位赤铁矿矿床是与前寒武纪含铁建造有关的铁矿床中最具经济价值的一种类型,对其成因的研究一直以来都是矿床学研究的热点之一^[2, 7]。经过多年的研究,对该类矿床的成因存在以下共识,即假象赤铁矿-针铁矿矿石形成于白垩纪至第三纪风化剖面以下含铁建造的近期表生富集,以及高品位赤铁矿矿石因近期的表生富集而提高品位。

目前研究认为,该类型矿床的成因主要与三种

地质作用有关:(1)早期同生作用和成岩作用^[8];(2)有深部热液流体和/或岩浆流体或浅部大气水和盆地卤水参与的深成蚀变作用和交代作用^[2, 7, 9];(3)前第三纪表生作用,伴有^[10]或没有后继的中生代或新生代埋藏变质作用^[11]。目前对该类型矿床的成因模式也集中于不同高品位赤铁矿矿床在不同地质作用下不同的深成-浅成复合模式上。目前对该类型矿床的成因模式主要有以下几种观点。

2.1 同生模式

以含铁建造石容矿岩的铁矿具有碎屑来源,伴有或没有成岩富集。而复合同生模式则包含由变质作用、火成活动、表生作用引起的后期改造^[8]。同生作用提供了原始的富磁铁矿含铁建造,而且较早讨论的是大型含铁建造沉积模式。然而,同生模式无法说明为什么假象赤铁矿-针铁矿矿石定位于近代风化面下部特定位置,或为什么受构造控制的微板状赤铁矿矿石通常发育于褶皱构造、正断层和/或后冲断层周围、脆性剪切带中。

2.2 表生模式

认为铁矿石是残积物,它们是含铁建造中脉石由地下水(位于现代或过去的侵蚀面之下)深部循环导致淋滤而形成,而非红土化过程的产物^[10]。

Morris^[10]提出了一个概念认为,假象赤铁矿-针铁矿矿体通过由大量水动力电化学圈导致的条带状含铁建造脉石矿物被含水铁氧化物表生交代而向地表方向生长。在这个过程中磁铁矿氧化成赤铁矿

2.3 表生矿床和后期埋藏变质作用叠加模式

表生成因矿叠加埋藏变质作用的模式被 Harmsworth et al.^[11]用于解释世界范围高品位微板状赤铁矿成因,即某些原来的假象赤铁矿-针铁矿表生矿床曾经历埋藏变质作用,后者达到成岩作用的水平($\sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$),而去水作用将表生成因的交代针铁矿转变为微板状赤铁矿。中生代微板状赤铁矿体受到剥露,大部分未转换成针铁矿溶于地下水,部分赤铁矿也发生溶解,最后留下从致密到高孔隙度的高品位赤铁矿体。

2.4 表生作用改造的深成模式

对于含铁建造富集为微板状赤铁矿矿床,目前深成热液成因说得到广泛支持,特别是用来说明澳大利亚微板状赤铁矿矿床和巴西的硬质高品位赤铁矿矿床^[2,9]。尽管深成成因说得到广泛支持,但存在着各种深成模式之间的显著差别,包括上升和下降热液流体的组合,其中又有盆地热卤水和/或加热的天水。这些模式有许多不同,如:在深成蚀变和形变的相对时间方面,在碳酸盐矿胚的重要性和普遍性方面,以及在热液流体类型方面。

铁矿床间的差异使建立一个统一模式变得困难。例如某些矿床含有碳酸盐矿胚(如 Tom Price 山、卡拉加斯、德巴齐姆比),而其他一些矿(如 Whaleback, Pico)就没有;某些矿床和矿区(如铁四角、德巴齐姆比)的深成矿化已经变质,而另一些则没有(如:哈默斯利、卡拉加斯和克里沃罗格)。各不相同的流体类型、体积、温度和来源用于解释不同的深成矿化,如盆地卤水和天水^[7,9,13],甚至还有 Carajas 的岩浆热液。地球化学作用把条带状含铁建造富集成高品位赤铁矿矿石,这些作用包括早期的去硅作用和碳酸盐化,然后是脱碳作用和磁铁矿的热液交代通过氧化变为假象赤铁矿或因为 Fe^{2+} 从磁铁矿中淋滤出来而发生 pH 值的偏移。晚期残留脉石和针铁矿的表生淋滤作用叠加也是深成成因模式的关键部分。

2.5 深成成因和表生成因及后期埋藏变质作用叠加模式

Morris^[14]认为, Tom Price 山矿床之下的残留碳酸盐生成于条带状含铁建造和铁矿成矿后变质交代,而 Kneeshaw 和 Kepert^[15]则声称, Whaleback 山矿床缺失碳酸盐矿胚,因而不支持 Taylor et al.^[2]的模式。Hagemann et al.^[9]和 Thorne et al.^[12]认为, Tom Price 山的条带状含铁建造燧石最初被盆地流体交代为碳酸盐,然后铁硅酸盐被盆地的氧化热卤水转

化为近处的微板状赤铁矿。反之 Webb et al.^[16]则认为,在 Whaleback 山条带状含铁建造可能仅受晚期作用影响,也可能受碳酸盐蚀变影响均需进一步证实。深成模式的支持者认为主要矿床(如 Whaleback 山)碳酸盐蚀变的缺失,说明碳酸盐化并非是形成大的高品位赤铁矿矿床的前提。

按 Morris^[10]模式,条带状含铁建造中燧石先被针铁矿交代,然后变质为微板状赤铁矿。Taylor et al.^[2]指出,依照该模式, Tom Price 山的磁铁矿-碳酸盐-磷灰石不应显示高品位赤铁矿矿化的空间关系,而高磷碳酸盐-磁铁矿矿化应含有残余针铁矿,而这些都是没有观察到。且流体包裹体研究显示成矿温度低于 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$,存在盆地卤水和改造天水,它们都不能说明 $\sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时高品位赤铁矿的埋藏变质作用成因^[9]。

3 我国与含铁建造有关的铁矿床分布特征及前景

与寒武纪含铁建造有关的铁矿床是我国最重要的铁矿床类型,其储量、矿产地和开采量均占全国首位,探明储量306亿吨,保有储量291亿吨,占全国铁矿探明总储量的57.7%^[17]。

我国该类矿床分布广泛,尤其在华北地块的鞍山-本溪地区、冀东地区、五台山-吕梁山地区、安徽霍邱、山东鲁西、河南鲁山-登-许昌等地均有产出。其形成时间从古太古代到新元古代,但以古太古代时期最为重要,在华北大陆绿岩带中形成了许多大规模的铁矿床,例如辽宁鞍山、弓长岭、山西五台、山东东平等。中国前寒武纪铁矿床的空间分布与中国前寒武纪地壳演化紧密相连,而且其分布与绿岩带的分布有着密切的联系,主要分布于中国东部、陆块区、陆块边缘和内部裂谷中^[18-19]。

虽然我国前寒武纪含铁建造分布广泛,铁矿资源也十分丰富,但是一直面临较大的问题。与国际主要超大型铁矿相比,我国铁矿多以未经富集的原生含铁建造矿床为主,因此品位较低,而高品位赤铁矿床仅在海南石碌产出,其原因在于我国与前寒武纪有关的铁矿床在形成后未经后期变质作用、热液及表生作用的叠加改造。而当今随着国际铁矿供应越来越短缺,我国亟需加强对该类型铁矿的成因认识,以指导找矿,特别是寻找含铁建造中高品位铁矿的效果。笔者认为在下一步工作中,应注意以下几点:

(1)加强对该类矿床的成因研究,对高品位铁矿床的成矿流体性质、矿床与构造形变时间关系、区域和局部构造在成矿中的作用、远/近矿化与蚀变的地

球化学和氢氧同位素关系、碳酸盐围岩与成矿作用的关系。

(2)因中高品位铁矿还常有铜、金等成矿元素伴生,因此需要对我国已有地质特征相近的铁、铜、金矿床进行再认识,在该类矿床的深、边部开展该类型铁矿床的找矿工作。

致谢

在本文撰写过程中,得到了中国地质调查局南京地质调查中心陆志刚研究员、戚建中研究员和邱永泉研究员的指导和帮助,在此致以诚挚的谢意!

参考文献

- [1] 张承帅,李莉,李厚民.世界铁资源利用现状述评[J].资源与产业,2011,13(3):34-43.
- [2] Taylor D, Dalstra H, Harding A, et al. Genesis of high-grade hematite orebodies of the Hamersley Province, Western Australia[J]. Economic Geology, 2001, 96(4): 837-873.
- [3] Rosiere C A and Chemale J F. Brazilian iron formations and their geological setting [J]. Revista Brasileira de Geociências, 2008, 30(2).
- [4] 李碧乐,霍亮,李永胜.条带状铁建造(BIFs)研究的几个问题[J].矿物学报,2007,27(2):205-210.
- [5] 李延河,侯可军,万德芳,等.前寒武纪条带状硅铁建造的形成机制与地球早期的大气和海洋[J].地质学报,2010,84(9):1359-1373.
- [6] Gross G and Zajac I. Iron-formation in fold belts marginal to the Ungava craton. Iron formations: facts and problems[M]. Amsterdam: Elsevier, 1983: 131-209.
- [7] Beukes N, Gutzmer J and Mukhopadhyay J. The geology and genesis of high-grade hematite iron ore deposits[J]. Applied Earth Science, 2003, 112(1): 18-25.
- [8] Lascelles D. A new look at old rocks—an alternative model for the origin of in situ iron ore deposits derived from banded iron-formation[J]. Proceedings of Iron Ore, 2002, 1-20.
- [9] Hagemann S, Barley M, Folkert S, et al. A hydrothermal origin for the giant BIF-hosted Tom Price iron ore deposit[A]. Stanley et al. Mineral deposits: Processes to processing [C]: Rotterdam: Balkema, 1999: 41-44.
- [10] Morris R. Genetic modelling for banded iron-formation of the Hamersley Group, Pilbara Craton, Western Australia[J]. Precambrian Research, 1993, 60(1-4): 243-286.
- [11] Harmsworth R, Kneeshaw M, Morris R, et al. BIF-derived iron ores of the Hamersley Province [A]. Huges. Geology of the mineral deposits of Australia and Papua New Guinea[C], 1990: 617-642.
- [12] Thorne W S, Hagemann S G and Barley M. Petrographic and geochemical evidence for hydrothermal evolution of the North Deposit, Mt Tom Price, Western Australia[J]. Mineralium Deposita, 2004, 39(7): 766-783.
- [13] McLellan J, Oliver N and Schaub P. Fluid flow in extensional environments; numerical modelling with an application to Hamersley iron ores[J]. Journal of structural geology, 2004, 26(6-7): 1157-1171.
- [14] Morris R. Genesis of high-grade hematite orebodies of the Hamersley Province, Western Australia — a discussion[J]. Economic Geology, 2002, 97(1): 177-178.
- [15] Kneeshaw M and Kepert D. Genesis of high-grade hematite orebodies of the Hamersley Province, Western Australia—a discussion [J]. Economic Geology, 2002, 97(1): 173-173.
- [16] Webb A, Oliver N and Dickens G. Multistage evolution of high-grade hematite ore bodies from the Hamersley Province, Western Australia[A]. Proceedings of Iron Ore[C]. 2002, 91: 94.
- [17] 姚培慧.中国铁矿志[M].北京:冶金工业出版社, 1993.
- [18] 凡家杰.条带状含铁建造铁矿床的分布与特征简介[J].工程建设,2011,43(2):20-24.
- [19] 沈保丰,翟安民,杨春亮,等.中国前寒武纪铁矿床时空分布和演化特征[J].地质调查与研究,2005,28(4): 196-206.

Characteristics and research progress of iron deposits related to Precambrian iron-bearing formation

YAO Zhong-you, WANG Tian-gang, WANG Jian-ning

(*Nanjing Institute of Geology and Mineral Resource, Nanjing, 210016, China*)

Abstract

The iron deposits related to Precambrian iron-bearing formation, formed in the environment of Archean and early Proterozoic sea floors, are the most economical iron deposit types in the world. Most of the structures of iron-bearing formation show a banding distribution and are named as banded iron-bearing formation (BIF), which is a non-uniform combination composing of various iron-rich minerals and mineral components are mainly of iron-bearing oxide, silicate, carbonate and sulfate. The uncommon granular iron-bearing formation (GIF) are mainly composed of iron-bearing oxide and silicate, while iron-bearing carbonate are rare. According to different structures and compositions, the iron-bearing formation can be divided into two categories: Algoma type and Superior type, and the Superior type iron-bearing formation is the most important host-rock for iron deposit. The iron deposits hosted by superior type iron-bearing formation can be further divided into three types: primary iron-rich iron-bearing formation, hematite-goethite deposits with false appearance and high-grade hematite deposit. In addition, the high-grade hematite ore is the most important deposit which is associated with diagenesis, supergene and deep fluids. In order to obtain prospecting breakthrough, we should strengthen research on genetic study of high-grade mineral deposits in the future work and reconsider the deposits that have a similar geological background.

Key words: high-grade hematite; banded iron-bearing formation; granular iron-bearing formation; Precambrian iron-bearing formation