

山东省韩旺条带状铁矿床地质特征 及其成矿地质条件分析

谭钢¹, 印建平¹, 孙建丁², 李旭平³, 余宏全⁴

(1. 中国有色金属建设股份有限公司, 北京 100029; 2. 山东省第一地质矿产勘查院, 山东 济南 250014; 3. 山东科技大学地质科学与工程学院, 山东 青岛 266510; 4. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037)

摘要:山东省沂源县韩旺铁矿是华北克拉通一大型条带状铁矿床, 铁矿层赋存于新太古代泰山岩群雁翎关组上部的变质岩系中。矿体规模较大, 断续延伸近 8 000 m, 单矿层厚度一般 1~25 m。矿体总体呈单斜层状产出, 矿石为硅质和铁质相间排列构成的条纹一条带状构造。含矿岩性主要为含磁铁斜长角闪片岩、含磁石英角闪片岩及片麻岩类, 原岩属于中基性的火山岩和火山沉积岩类。结合近些年来国内外学者在研究前寒武纪 BIF 铁矿年代学、同位素地球化学与成矿作用方面取得的最新进展, 认为韩旺铁矿沉积成矿时代为~2.6 Ga, 矿床形成于海洋化学沉积环境, 成矿物质来源具有明显的火山物质贡献特征, 矿床的形成与华北地区太古宙克拉通化形成的稳定沉积环境以及微生物的参与是密不可分的。

关键词:条带状铁矿; 新太古代; 泰山岩群; 华北克拉通; 韩旺铁矿

中图分类号: P618.31

文献标识码: A

条带状铁建造(Banded Iron Formations, 简称 BIFs), 是形成于前寒武纪的海相化学沉积岩, 当其中铁含量达到矿床工业品位时就构成了 BIF 铁矿床。世界上条带状铁矿床主要形成于新太古代—古元古代, 是地质演化和环境变化耦合作用的产物^[1]。

条带状铁建造通常被划分为阿尔戈马(Algo-ma)型和苏比利尔(Superior)型^[2]。阿尔戈马型主要产在太古宙绿岩带中, 与海底火山作用密切相关; 苏比利尔型与正常沉积的细碎屑岩—碳酸盐岩共生, 通常发育在被动大陆边缘或稳定克拉通盆地的浅海沉积环境中, 与火山作用没有直接联系。

前寒武纪条带状铁矿是世界上最重要的铁矿类型, 具有规模大、易勘探、易开采、易选矿等特点。该类铁矿的矿石储量约占世界铁矿储量的 70%。世界上前寒武纪条带状铁矿主要分布在俄罗斯、澳大利亚、加拿大、非洲、印度、美国和巴西等地。我国是世界上条带状铁矿的重要发育地区之一, 主要分布

在华北地区的辽北、鞍山、本溪、密云、冀东、大青山、固阳、五台、吕梁、登封、霍邱、鲁西和胶东等地。

韩旺铁矿是我国鲁西地区(指的是沂沭断裂带之安丘-莒县断裂以西地区^[3])一处重要的条带状铁矿床, 探明矿石储量达 1.6 亿 t, 属于大型磁铁矿床。矿床位于山东省沂源县东南部, 矿区北起沂源县东里镇院峪村, 南至沂水县新民官庄乡张耿村, 全长 11 km, 宽约 4 km, 总面积约 40 km²(图 1)。迄今为止, 沈其韩等^[4]曾做过矿区上河矿段 4 件矿石样品的稀土和微量元素地球化学研究, 还未见关于该矿床其他方面研究的报道, 该文在区域地质背景和矿床地质特征研究的基础上, 结合 BIF 铁矿的研究成果及最新进展, 初步分析了该矿床的形成时代、成矿物质来源及成矿因素。

1 成矿地质背景

韩旺矿区位于中朝准地台(I)鲁西断隆(II)鲁

* 收稿日期: 2013-03-04; 修订日期: 2013-05-03; 编辑: 曹丽丽

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAB01A10)资助

作者简介: 谭钢(1985—), 男, 山东滨州人, 助理工程师, 主要从事矿床地质与矿床经济评价工作; E-mail: tangang1745@163.com。

西断块隆起(Ⅲ)泰山-鲁山-沂山断凸(Ⅳ)的东部边缘、沂沭断裂带(Ⅳ)西侧。

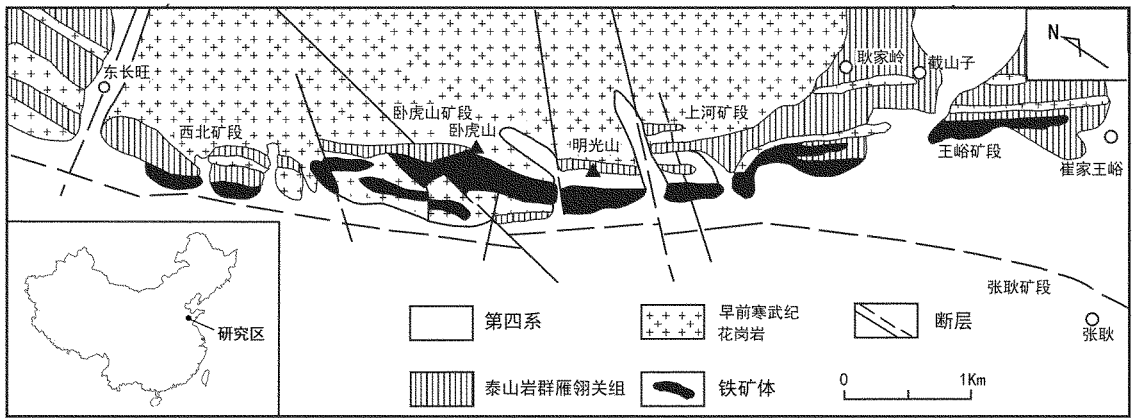


图 1 山东省韩旺铁矿矿区地质简图

1.1 地层

矿区地层主要由新太古代泰山岩群变质岩系, 古生代寒武纪砂页岩、白云岩、含燧石条带薄层灰岩以及第四系组成。铁矿层即赋存于新太古代泰山岩群雁翎关组上部的片岩、片麻岩之中, 该组地层呈单斜状产出, 总体走向 $300^{\circ}\sim 320^{\circ}$, 倾向 SW, 倾角 $25^{\circ}\sim 60^{\circ}$, 厚度大于 450 m; 岩性主要为角闪片岩、斜长角闪片岩、角闪斜长片麻岩、黑云斜长片麻岩, 夹少量黑云变粒岩、黑云石英片岩、透闪石片岩等。

1.2 构造

矿区构造以断裂为主, 褶皱不发育。韩旺-石桥断裂为矿区主要的断裂构造, 该断层是一条长期活动的弧形复杂构造带, 由西北至东南方向纵贯整个矿区, 并延伸至矿区以外, 区内长度约 8 km, 倾向 SW, 倾角 $50^{\circ}\sim 70^{\circ}$, 为一中—高角度的正断层。该断层将矿区分为东北和西南两大部分, 西南侧上盘为古生代寒武纪地层, 东北侧下盘为新太古代泰山岩群雁翎关组变质地层。

1.3 岩浆岩

矿区内的岩浆岩分布极为广泛, 以中粗粒二长花岗岩和伟晶花岗岩为主, 其余为一些中基性岩脉和小型侵入体。其中, 伟晶花岗岩广泛分布在矿区, 与矿体的关系也最为密切。伟晶花岗岩往往呈岩枝和凹凸不规则状侵入到新太古代泰山岩群地层中, 其走向多与片理方向一致, 基本为顺层侵入; 但有时斜切矿层, 使矿层遭受到较大的破坏。

2 矿床地质特征

韩旺铁矿自西北向东南分为 5 个矿段, 分别为西北矿段、卧虎山矿段、上河矿段、王峪矿段和张耿矿段, 矿体规模大, 断续延伸近 8 000 m。

2.1 矿体特征

韩旺铁矿赋矿层位为上新古代泰山岩群雁翎关组顶部的变质岩系之中, 其经受了绿片岩相—低角闪岩相的变质作用^[4]。含矿岩性主要为含铁石英角闪片岩, 含铁斜长角闪片岩, 含铁角闪石英片岩及片麻岩类等。

矿体呈多层带状, 紧密排列, 与上、下盘围岩产状一致, 矿体在走向及倾向上皆呈幅度不大的波状弯曲, 矿体厚度具有上厚下薄的特点, 单矿层厚度较薄且夹层多, 分枝复合现象明显(图 2)。单矿层厚度一般 1~25 m, 数厘米至数十厘米的矿层为数众多。单矿层全铁(TFe)品位一般 $20\%\sim 41.2\%$, 平均 35.3%, 矿体品位沿走向及倾向上变化均不大。

2.2 矿石特征

手标本下, 矿石呈黑灰色、块状, 石英与磁铁矿构成条纹—条带状, 条纹与条带相间排列, 条纹一般宽 0.5~1 mm, 条带一般宽 2~3 mm, 黑白相间(图 3A)。矿石组构为硅质和铁质构成的细粒条带状构造, 矿石矿物以磁铁矿为主, 其次见有赤铁矿、假像赤铁矿等, 偶见少量的黄铁矿、黄铜矿和磁黄铁矿等(图 3B); 脉石矿物由含铁硅酸盐矿物和不含铁矿物组成, 含铁硅酸盐矿物主要有铁闪石、普通角闪石、黑云母、透闪石、阳起石以及少量的绿泥石与绿帘石

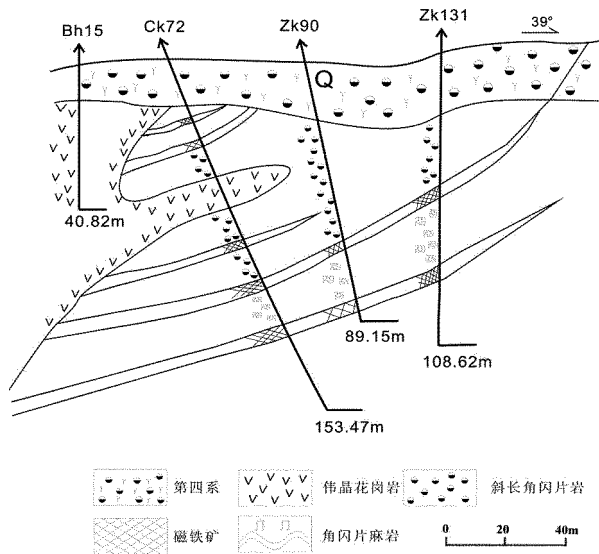


图 2 韩旺铁矿上河矿段第 57 勘探线地质剖面简图

等；不含铁矿物主要是石英，其次是斜长石、钾长石、碳酸盐类矿物、绢云母等。

显微镜下，矿石一般呈半自形—自形粒状变晶结构，磁铁矿粒度较细，一般在 0.04~0.15 mm，有时呈微尘状，只有 0.004~0.007 mm；磁铁矿往往聚集成星散条纹状、条痕状分布在普通角闪石条带中。

矿石全铁(TFe)品位一般在 25%~39%之间，平均品位 33.2%，磁铁(mFe)品位一般在 15.0%~32.5%，平均 22.4%^①。

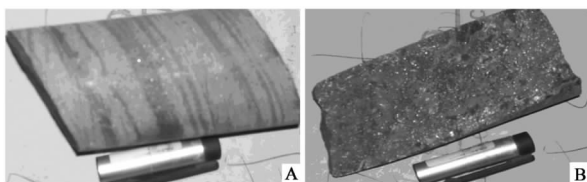


图 3 山东省韩旺铁矿矿石手标本照片

A—硅质和铁质构成黑白相间的条带状矿石；B—后期碳酸盐脉形成的裂隙面上见星点状分布的黄铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿颗粒

3 成矿条件分析

3.1 矿床形成时代限定

含铁建造(尤其是铁矿层)中缺乏可直接提供测定放射性同位素年龄的矿石矿物，BIF 的形成时代主要是根据与铁矿体共生且同时代的火山岩以及后期侵入到铁矿层内的岩浆岩的锆石 U-Pb 年龄来

限定。然而利用锆石 U-Pb 法测定 BIF 铁矿的形成时代往往存在年龄偏老、数据质量不高等情况^[5]，原因是这些火山岩或侵入岩形成时代很早，在后期漫长的地质演化过程中，又经历了至少一次的区域变质作用或岩浆作用的改造，造成锆石往往存在增生边(核幔结构)。

鲁西泰山岩群自下而上划分为孟家屯组、雁翎关组、山草峪组和柳杭组^[3,6-8]。近些年来，针对泰山岩群表壳岩的形成时代，前人做了大量的锆石 U-Pb 同位素测年工作。杜利林等^[7]获得孟家屯组黑云母片岩源区岩浆岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为(2 742±23)Ma，变质年龄为(2 642±23)Ma；杨恩秀等^[8]获得雁翎关组中部变质砾岩中一花岗岩砾石锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为(2 632±18)Ma；赖小东和刘晓勇^[9]对赋存于柳杭组上部斜长角闪岩段内的杨庄条带状铁矿进行了同位素测年，获得含磁铁矿斜长角闪岩中锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄为(2 615±61)Ma；王伟等^[10]获得泰山岩群上部济宁群变质长英质火山岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为(2 560±20)Ma，研究认为济宁群形成于新太古代晚期，而不是以往认为的古元古代^[11]。上述研究表明，泰山岩群表壳岩系形成于 2.75~2.6 Ga。据此，认为韩旺铁矿的沉积成矿时代为新太古代中期(~2.6 Ga)，此与华北克拉通 2.8~2.5 Ga 最强烈的陆壳增生和构造-岩浆热事件的时代相对应^[1,12]。

3.2 成矿物质来源

对于 BIF 铁矿成矿物质的来源问题，一直存在较大的争议：一种观点认为成矿物质来源于陆源物质的风化；另一种观点认为成矿物质来源于海底的火山作用。近些年来，随着稀土与微量元素、铅、硫、铁、硅、氧、碳同位素等地球化学示踪方法应用的日渐成熟，为解决 BIF 成矿物质的来源问题提供了强有力的依据。

在稀土与微量元素研究方面，前人在鞍山、本溪地区的弓长岭、南芬、东鞍山、齐大山、大孤山铁矿^[13]，冀东地区的大杏山、宫店子、庙沟、栅栏杖子、前白枣山、司家营、水厂、大杨庄、羊崖山铁矿^[14-17]，五台地区的白峪里、昌盛、八塔、柏枝岩、峨口、山羊

① 山东省第一地质矿产勘查院，山东省沂源县韩旺矿区深部及外围铁矿详查报告，2007 年。

坪铁矿^[14,17], 吕梁地区袁家村、碾沟、尖山、狐姑山铁矿^[14]的研究表明, 这些条带状铁矿的稀土总量都较低, 稀土配分模式 (REY) 均具有轻稀土相对亏损、重稀土相对富集的特征, 且具有明显的 Eu, Y, La 正异常, Ce 负异常不明显的特征; 微量元素显示 Th, U, La, Ce, P, Sm 富集, 亏损 K, Nb, Hf, Zr, Ti, 具有太古宙海洋沉积的特征。

蒋少涌等^[18]研究得出辽宁弓长岭矿床磁铁石英岩硅同位素 $\delta^{30}\text{Si}$ 值为 $(-0.9 \sim -2.2) \times 10^{-3}$, 与现代海底热液活动形成得硅华的化学成分相近, 认为弓长岭条带状铁矿中硅质来源于海底周期性喷溢的火山热液。李志红等^[13]对鞍山、本溪地区 10 个 BIF 全岩样品中 Fe 同位素组成的分析结果表明, 所有样品均呈现 Fe 的重同位素富集特征, 且 Fe 同位素组成与 Eu 异常存在明显的正相关关系。杨凤筠 (1980 年) 对鞍山地区 5 个条带状铁矿床 93 个样品硫同位素的分析发现, 几乎所有样品的硫同位素值 ($\delta^{34}\text{S} \times 10^{-3}$) 都接近于 0, 具有陨硫硫的特征 (转引自张秋生等^[19])。华北克拉通太古宙条带状铁矿床在稀土、微量元素、铁、硅同位素表现出的这些地球化学特征表明, 该地区 BIF 是在海洋的化学沉积作用下形成的, 成矿物质具有火山热液贡献的特征, 基本没有陆源碎屑等外来物质的加入。

沈其韩等^[4]对韩旺铁矿稀土及微量元素研究表明, 其稀土元素总量较低, 介于 $(9.45 \sim 11.39) \times 10^{-6}$, 平均为 10.33×10^{-6} , 具有太古宙海洋沉积的特征; 稀土配分模式具有轻稀土相对亏损、重稀土相对富集, 明显的正 Eu、Y 异常、无明显的 Ce 异常等特征, 这与上述前人对鞍山、冀东、五台、吕梁以及世界上多数太古宙 BIF 铁矿相一致; 原始地幔标准化的微量元素配分曲线显示 U, Ta, La, Ce, P 富集, K, Nb, Sr, Hf, Zr 亏损的特征; Sr/Ba 值为 1.25 ~ 2.92, Ti/V 值为 10.10 ~ 17.74, 与火山岩和海相沉积物的特征值相类似, 这些特征共同指示了韩旺铁矿应是在海底火山喷发带来的铁硅质高温热液与海水的混合后, 在一定的温度、pH, Eh 等物理化学条件下经化学沉积而形成的。

3.3 成矿因素讨论

华北克拉通最古老的地质记录大于 38 亿 a^[20,21], 而后经历了复杂的多阶段构造演化历史。华北克拉通太古宙大致经历了 >3.0 Ga 的陆核与微陆块的形成、2.7 ~ 2.9 Ga 的陆壳增生, 2.5 Ga 的

岩浆、变质作用与克拉通化等构造事件^[12]。其中, 2.7 ~ 2.5 Ga 发生的强烈的构造热事件形成规模巨大的克拉通, 为巨型 BIF 形成提供了稳定的沉积环境。Trendall^[22]同样认为 BIF 的形成至少需要满足的条件之一是当时的构造稳定期需长达百万年之久, 同时他指出当时发生化学沉积时的海水需足够深, 以避免外来陆源碎屑物质的混入和海底扰动而造成干扰。

现已证实, 地球早期大气中是缺氧的, 而条带状铁矿的矿石矿物是磁铁矿, 甚至是赤铁矿, 即铁质的沉淀是在有氧的环境下形成的, 是何原因造成了环境的转变? 一些学者认为^[12,23-26], 微生物在 BIF 铁矿的形成过程中起到了重要的作用。Cloud et al.^[25]认为促使铁质沉淀的氧化作用是通过原始生物的光合作用完成的, 厌氧生物的光合作用产生了少量的生物性氧, 从而使溶解在海水中的 Fe^{2+} 氧化为 Fe^{3+} 沉淀下来。1978 年, 朱好庆等在鞍山地区含铁建造中发现了比较系统的微体化石和超微体化石, 经鉴定皆属于铁细菌类 (转引自张秋生等^[19])。尽管在鲁西地区尚未见太古宙条带状铁建造内有微生物化石的报道, 但结合前人的研究, 认为前寒武纪条带状铁建造形成过程中微生物的参与作用是不可低估的。

4 结论

(1) 山东省韩旺铁矿赋存于新太古代泰山岩群雁翎关组上部变质地层中, 围岩岩性主要为斜长角闪片岩、石英角闪片岩和片麻岩等, 矿体呈单斜层状、似层状产出, 与围岩产状一致; 矿石为硅石和铁质 (磁铁矿及少量的赤铁矿) 构成的条带状构造, 矿石全铁 (TFe) 品位一般在 25% ~ 39% 之间, 属于贫矿。

(2) 前人研究表明泰山岩群表壳岩系形成于 2.75 ~ 2.6 Ga, 韩旺铁矿的沉积成矿时代应该在新太古代中期 (~2.6 Ga); 矿石稀土和微量元素、铁、硫、硅同位素结果共同指示韩旺铁矿形成于海洋化学沉积环境, 成矿物质具有明显的火山热液贡献特征; 新太古代一定时期内稳定的沉积环境以及微生物的生物光合作用是矿床形成的必要条件。

参考文献:

- [1] 张连昌, 张晓静, 崔敏利, 等. 华北克拉通 BIF 铁矿形成时代与构造环境[J]. 矿物学报, 2011, (Z1): 666 - 667.
- [2] Cross G A. A classification of iron formations based on depositional Environments [J]. The Canadian Mineralogist, 1980, 18(2): 215 - 222.
- [3] 王世进, 万渝生, 张成基, 等. 鲁西地区早前寒武纪地质研究新进展[J]. 山东国土资源, 2008, 24(1): 10 - 20.
- [4] 沈其韩, 宋会侠, 赵子然. 山东韩旺新太古代条带状铁矿的稀土和微量元素特征[J]. 地球学报, 2009, 30(6): 693 - 699.
- [5] 张连昌, 翟明国, 万渝生, 等. 华北克拉通前寒武纪 BIF 铁矿研究: 进展与问题[J]. 岩石学报, 2012, 28(11): 3431 - 3445.
- [6] 张连峰. 初论鲁西太古宇“孟家屯岩组”[J]. 山东地质, 1994, 10(增刊): 18 - 20.
- [7] 杜利林, 庄育勋, 杨崇辉, 等. 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, 2003, 77(3): 359 - 366.
- [8] 杨恩秀, 陶有兵, 张新平, 等. 鲁西地区新太古界雁翎关组中花岗质“砾石”SHRIMP 锆石 U - Pb 定年及地质意义[J]. 地球化学, 2008, 37(5): 481 - 487.
- [9] 赖小东, 杨晓勇. 鲁西杨庄条带状铁建造特征及锆石年代学研究[J]. 岩石学报, 2012, 28(11): 3612 - 3622.
- [10] 王伟, 王世进, 刘敦一, 等. 鲁西新太古代济宁群含铁岩系形成时代-- SHRIMP U - Pb 锆石定年[J]. 岩石学报, 2010, 26(4): 1175 - 1181.
- [11] 亓润章. 鲁西前寒武纪地层划分及含铁建造地质特征[J]. 资源调查与环境, 1984, (3): 58 - 84.
- [12] 翟明国. 华北克拉通的形成演化与成矿作用[J]. 矿床地质, 2010, 29(1): 24 - 36.
- [13] 李志红, 朱祥坤, 唐索寒. 鞍山-本溪地区条带状铁建造的铁同位素与稀土元素特征及其对成矿物质来源的指示[J]. 岩石矿物学杂志, 2008, 27(4): 285 - 290.
- [14] 李志红, 朱祥坤, 唐索寒, 等. 冀东、五台和吕梁地区条带状铁矿的稀土元素特征及其地质意义[J]. 现代地质, 2010, 24(5): 842 - 846.
- [15] 李文君, 靳新娣, 崔敏利, 王长乐. BIF 微量稀土元素分析方法及其在冀东司家营铁矿中的应用[J]. 岩石学报, 2012, 28(11): 3670 - 3678.
- [16] Zhang X J, Zhang L C, Xiang P, et al.. Zircon U - Pb age, Hf isotopes and geochemistry of Shuichang Algoma - type banded iron formation, North China Craton: Constraints on the ore - forming age and tectonic setting[J]. Gondwana Research, 2011, 20(1): 137 - 148.
- [17] 沈其韩, 宋会侠, 杨崇辉, 万渝生. 山西五台山和冀东迁安地区条带状铁矿的岩石化学特征及其地质意义[J]. 岩石矿物学杂志, 2011, 30(2): 161 - 171.
- [18] 蒋少涌, 丁梯平, 万德芳, 李延河. 辽宁弓长岭太古代条带状铁建造(BIF)的硅同位素组成特征[J]. 中国科学(B辑), 1992, (6): 626 - 631.
- [19] 张秋生. 中国早前寒武纪地质及成矿作用[M]. 长春: 吉林人民出版社, 1984: 110 - 536.
- [20] Liu D Y, Nutman A P, Compston W, et al.. Remnants of ≥ 3800 Ma crust in the Chinese part of the Sino - Korean Craton [J]. Geology, 1992, 20: 339 - 342.
- [21] Wan Y S, Song B, Yang C, Liu D Y. Zircon SHRIMP U - Pb Geochronology of Archaean Rocks from the Fushun - Qingyuan Area, Liaoning Province and Its Geological Significance[J]. Acta Geologica Sinica, 2005, 79(1): 78 - 87.
- [22] Trendall A F. The significance of iron - formation in the Precambrian stratigraphic record. IN: Altermann W and Corcoran P L(eds.). Precambrian Sedimentary Environments: A Modern Approach to Ancient Depositional systems. Spec. Publ. Int. Assoc. Sedim., 2002, 33: 17 - 148.
- [23] Fortin D, Ferris F G, Scott S D. Formation of Fe - silicates and Fe - oxides on bacterial surfaces in samples collected near hydrothermal vents on the Southern Explorer Ridge in the northeast Pacific Ocean [J]. American Mineralogist, 1998, 83: 1399 - 1408.
- [24] 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.
- [25] Cloud P, Morrison K. On microbial contaminants, micro-pseudofossils, and the oldest records of life? [J]. Precambrian Research, 1979, 9(1/2): 81 - 91.

Analysis on Geological Characteristics and Ore - forming Conditions of Hanwang Banded Iron Deposit in Shandong Province

TAN Gang¹, YIN Jianping¹, SUN Jianding², LI Xuping³, SHE Hongquan⁴

(1. China Nonferrous Metal Industry's Foreign Engineering and Construction Limited Corporation, Beijing 100029, China; 2. No. 1 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Shandong Jinan 250014, China; 3. Geological Science and Engineering College of Shandong University of Science and Technology, Shandong Qingdao 266510, China; 4. Mineral Resources Institute of Chinese Academy of Geological Sciences Beijing 100037, China)

Abstract: Hanwang iron deposit in Yiyuan county of Shandong province is a large banded iron deposit in

North China Craton. Its ore bodies occur in the metamorphic rocks of upper Yanlingguan formation of Neo - Archaean Taishan Group. The ore bodies are generally layered with thickness of 1~25m, which can extend over 8000m intermittently. The iron ores are characterized by banded texture with alternating siliceous and ferruginous. The ore - bearing rocks are named as magnetite - plagioclase amphibole schist, magnetite - quartz amphibole schist and their gneisses. Its original rock belongs to basic volcanic rocks and volcanic sedimentary rocks. Combining with advanced development gained in chronology, isotope geochemistry and metallogenesis of Precambrian BIF iron deposit in recent years by domestic and overseas scholars. It is regarded that Hanwang iron deposit was formed during 2.6Ga in marine chemical sedimentary environment. Its ore materials were associated with volcanic hydrothermal solution. It is concluded that stable sedimentary environments resulting from Neo - Archaean cratonization of North China and anaerobe involving were all indispensable during the formation of the deposit.

Key words: Banded iron formation; Neo - Archaean; Taishan Group; North China Craton; Hanwang iron deposit