

辽宁本溪大台沟铁矿地质特征及找矿标志

张 璟, 邵 军, 鲍庆中, 王宏博, 周永恒

(沈阳地质矿产研究所/中国地质调查局 沈阳地质调查中心, 辽宁 沈阳 110034)

摘 要 辽宁本溪大台沟铁矿为鞍山-本溪铁矿成矿带内发现的首个位于标高-1000 m 以下的特大型“鞍山式”铁矿床, 含矿岩系为近直立展布的鞍山群樱桃园岩组, 包含其内的铁矿体为隐伏的厚板状陡倾斜矿体, 矿体埋深 1100~1200 m, 控制矿体延长 2000 m. 矿体自上向下可划分 3 种自然矿石类型, 分别为赤铁矿石、赤铁磁铁矿复合矿石及磁铁矿石. 大台沟铁矿床属典型“鞍山式”铁矿床, 矿物成分较简单, 含铁矿物以磁铁矿和赤铁矿(镜铁矿)为主. 矿石结构类型有镶嵌粒状变晶结构、鳞片粒状变晶结构、柱状粒状变晶结构等; 矿石构造类型以条带状为主. 铁矿石 TFe 品位平均为 29.34%, mFe 品位平均为 14.63%. 矿石中其他元素含量除 SiO₂ 较高外, 均甚微, SiO₂ 平均含量 46.08%. 笔者在阐述大台沟铁矿地质特征基础上, 总结出大台沟铁矿找矿标志, 对于区域内潜在的“大台沟式”(埋藏较深、存在高大磁异常)铁矿床的找寻具有一定借鉴意义.

关键词 大台沟铁矿 樱桃园岩组 鞍山式铁矿 地质特征 找矿标志 辽宁省

DOI:10.13686/j.cnki.dzyzy.2014.04.007

GEOLOGICAL CHARACTERISTICS AND PROSPECTING INDICATORS FOR DATAIGOU IRON DEPOSIT IN BENXI, LIAONING PROVINCE

ZHANG Jing, SHAO Jun, BAO Qing-zhong, WANG Hong-bo, ZHOU Yong-heng

(Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources, Shenyang 110034, China)

Abstract : The Dataigou iron deposit in Benxi, Liaoning Province is the first oversize Anshan-type iron deposit explored below elevation of -1000 m in Anshan-Benxi iron ore metallogenic belt. The ore-bearing rock series are Yingtaoyuan Formation of Anshan Group, with concealed steeply dipping tabular iron orebody inside, buried in 1100-1200 m deep with extension of 2000 m long. The orebody falls into three natural ore types from top to bottom, i.e. hematite, hematite-magnetite complex and magnetite ores. The Dataigou iron deposit is of typical Anshan-type with simple mineral compositions, including iron-bearing minerals dominated by magnetite and hematite (specularite). The iron ores are in mosaic, lepidol and columnar granoblastic textures, with mainly banded structure. The average grade of TFe is 29.34%, with mFe of 14.63%, SiO₂ of 46.08% and little other elements. Based on the geological characteristics, the prospecting indicators of Dataigou iron deposit are summarized, which would provide reference for prospecting potential iron deposits with deep burial and significant magnetic anomaly in the region.

Key words : Dataigou iron deposit; Yingtaoyuan Formation; Anshan-type iron deposit; geological characteristic; prospecting indicator; Liaoning Province

0 前言

辽宁省本溪市桥头镇大台沟铁矿位于鞍山-本溪铁矿成矿带的东部, 周边大型铁矿密布, 西侧约 20 km

处为弓长岭铁矿, 南(偏东)约 10 km 处有南芬铁矿、徐家堡子铁矿, 北约 8 km 处为北台铁矿, 东侧约 10 km 有思山岭铁矿, 区域地质工作程度较高.

收稿日期 2013-05-16 修回日期 2014-05-07 编辑 周丽、张哲.

基金项目 全国矿产资源潜力评价项目 (No.1212011121004) 资助.

作者简介 张 (1984—), 男, 博士, 工程师, 主要从事固体矿产成矿规律与成矿预测研究, 通信地址 辽宁省沈阳市皇姑区黄河北大街 280 号, E-mail//441005231@qq.com

1970 年,辽宁省地质局物测大队在本溪桥头地区针对大台沟航磁异常进行地面检查工作,推断该航磁异常是由鞍山式铁矿引起。1974 年,本溪地质大队先后施工 3 个孔验证,均未达到见矿目的,最深孔深 1213.96 m,也只终孔于辽河群浪子山组绢云母千枚岩中。鉴于当时技术限制,没能达到矿体埋藏深度而终孔,未实现验证矿体的目标。但大量磁法、重力和推断地质资料均表明,该异常为一个规模较大、产状较陡、埋藏较深的矿致异常。2005 年,辽宁省地质矿产调查院针对该异常展开新一轮的研究与验证,在异常中心部位验证孔-1280 m 处发现了铁矿体,至终孔-1500 m 仍未穿出铁矿体,从而验证了该异常。大量研究成果表明^[1-3],大台沟铁矿赋存于中太古代鞍山群樱桃园岩组含铁石英岩中,为典型的“鞍山式”超大型铁矿床。

本文依据项目最新获得的野外资料,通过室内整理研究,以期全面揭示大台沟铁矿地质特征,总结大台沟铁矿找矿标志。大台沟铁矿是我国深部找铁矿工作的一个重大发现,随着地表浅部铁矿开采日益殆尽,深部找铁矿已然成为一重大趋势。鞍山-本溪铁矿成矿带仍有一些因上覆盖层过厚而尚未验证的高大磁异常,本文的借鉴意义尤为重要。

1 区域地质背景

鞍山-本溪铁矿成矿带大地构造单元隶属华北陆块-胶东陆块-太子河拗陷,区内主要为基岩分布区,地质构造复杂,变形变质作用明显,岩浆活动频繁。出露地层有中太古代鞍山群,古元古界辽河群,新元古界青白口系、震旦系,古生界及新生界第四系等。区内岩浆岩比较发育,主要有新太古代花岗岩、古元古代基性岩和中生代早白垩世花岗岩;区域地质构造主要为不同构造旋回、不同构造层中的褶皱和断裂构造,代表性的断裂为寒岭-偏岭断裂构造。

1.1 地层及岩浆岩分布

区域内中太古代鞍山群是一套变形较强的变质岩系,主要呈包体形式赋存于后期侵入的新太古代花岗岩(片麻岩化)中。鞍山地区鞍山群由 3 个岩组组成,分别为茨沟岩组、大峪沟岩组和樱桃园岩组。茨沟岩组、大峪沟岩组分布在本溪-辽阳一带,樱桃园组分布在鞍山地区,“鞍山式”铁矿主要赋存于茨沟岩组和樱桃园岩组中。

古元古界辽河群主要出露其下部浪子山岩组和里尔峪岩组,辽河群其他岩组区域内未出露。辽河群与上覆、下伏地层皆为不整合接触,变质相属低绿片岩相—

低角闪岩相。

新元古界青白口系在区内广泛分布,不整合覆盖于鞍山群、辽河群及新太古代花岗岩(片麻岩化)等结晶基底之上。主要由钓鱼台组、南芬组和桥头组组成,各组之间均为整合接触关系;震旦系分布在本溪-辽阳一带,在鞍山地区有零星分布,由康家组组成。

古生界主要分布在辽阳-本溪一带的太子河流域,由寒武系、奥陶系、石炭系和二叠系组成。侏罗系—白垩系小岭组中酸性火山熔岩、火山碎屑岩零星分布,第四系广泛分布于区内(图 1)。

新太古代花岗岩(片麻岩化)以往称为混合岩或混合花岗岩,多呈岩基或岩株状。受区域变质作用的影响,使其发生活化、变形变质和重结晶作用,形成了区域性变形变质岩石,亦称为变质深成岩。新太古代花岗岩侵蚀破坏了鞍山群,使其呈大小不等的捕虏体。后期变形变质事件使新太古代花岗岩与鞍山群一同发生变形变质,构成区内古老的太古宙变质岩结晶基底(变质表壳岩-变质深成岩组合)^[6-8]。古元古代基性岩主要为变辉长岩和变辉绿岩,二者常密切共生,成群成带出现,均经受了区域变质作用。单个岩体一般都较小,多呈脉状、透镜状产出,侵入辽河群不同层位。区内出露的白垩纪侵入岩比较发育,称为千山花岗岩,呈岩基和岩株状分布。白垩纪花岗岩对鞍山群含铁岩系起到了侵蚀和破坏作用。

1.2 构造及区域矿产特征

鞍山-本溪铁矿成矿带断裂构造较发育,主要为 NE 向及近 EW 的区域性压性-压扭性构造,代表性构造为 NE 向寒岭-偏岭断裂构造。

鞍山-本溪铁矿成矿带是我国重要铁矿成矿带之一,目前已发现铁矿床(点)近百处,如东、西鞍山铁矿、弓长岭铁矿、歪头山铁矿等。主要矿床类型为火山沉积变质型铁矿床,产于中太古代鞍山群茨沟岩组和樱桃园岩组中,为磁铁石英岩和角闪(透闪)磁铁石英岩型铁矿,即“鞍山式”铁矿。

2 矿区地质特征

大台沟铁矿位于本溪市平山区桥头镇台沟村一带,矿区地表出露地层为寒武系、震旦系及青白口系盖层,未见太古宙含铁岩系出露。盖层为较平缓的单斜岩层,构造简单。

2.1 地层

根据钻孔资料,矿区内存在地层单元自上至下可分为寒武系碱厂组,震旦系康家组,青白口系桥头组、

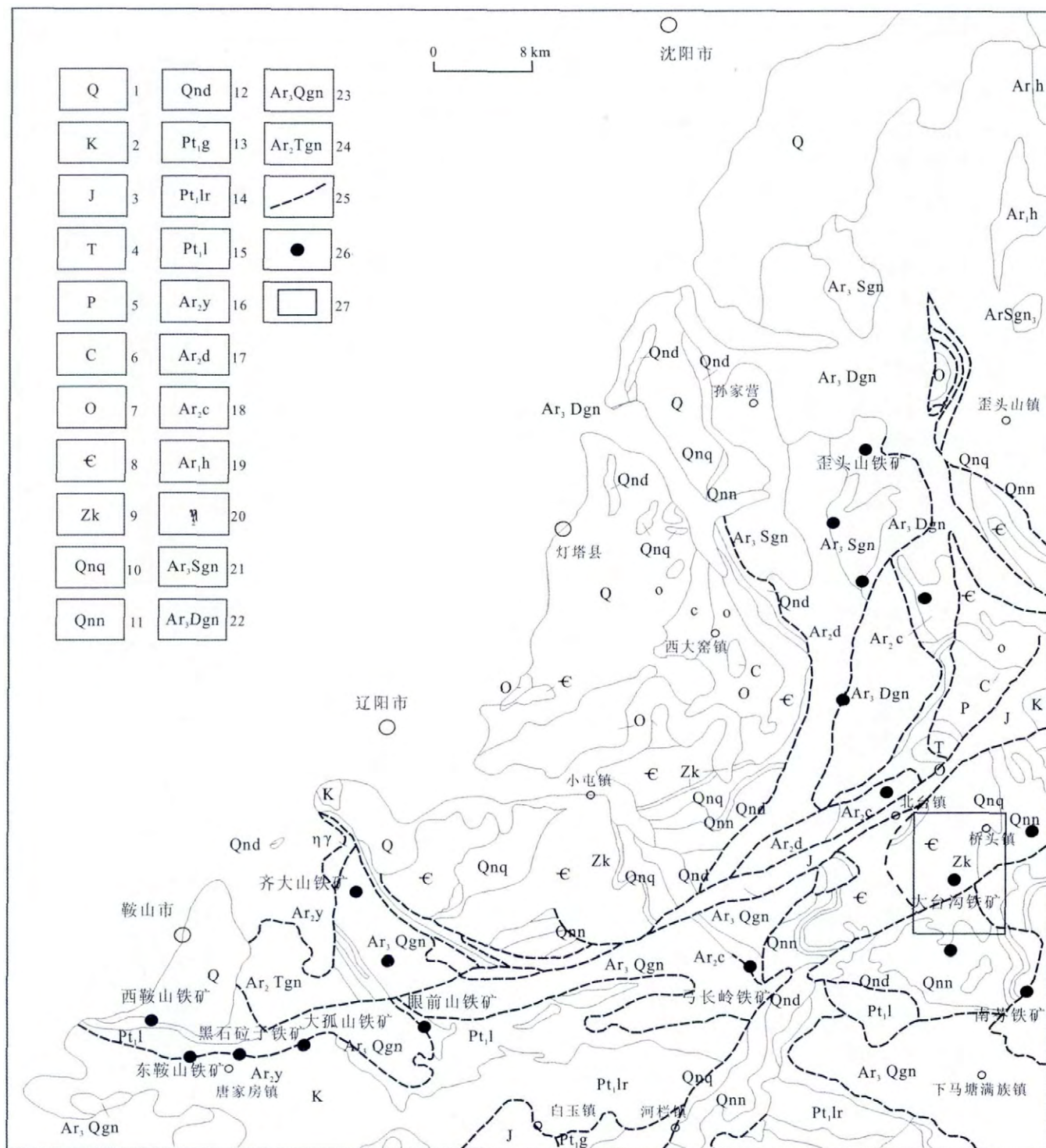


图1 鞍山-本溪区域地质图

Fig. 1 Regional geologic map of Anshan-Benxi area

1—第四系 (Quaternary) 2—白垩系 (Cretaceous) 3—侏罗系 (Jurassic) 4—三叠系 (Triassic) 5—二叠系 (Permian) 6—石炭系 (Carboniferous) 7—奥陶系 (Ordovician) 8—寒武系 (Cambrian) 9—震旦系康家组 (Sinian Kangjia fm) 10—青白口系桥头组 (Qingbaikouan Qiaotou fm) 11—青白口系南芬组 (Qingbaikouan Nanfen fm) 12—青白口系钓鱼台组 (Qingbaikouan Diaoyutai fm) 13—辽河群盖县岩组 (Gaixian fm. of Liaohé gr) 14—辽河群里尔峪岩组 (Lieryu fm. of Liaohé gr) 15—辽河群浪子山岩组 (Langzishan fm. of Liaohé gr) 16—中太古界鞍山群樱桃园岩组 (Yingtaoyuan fm. of Anshan gr., Mesoproterozoic) 17—鞍山群大峪沟岩组 (Dayugou fm. of Anshan gr) 18—鞍山群茨沟岩组 (Cigou fm. of Anshan gr) 19—古太古代红透山岩组 (Paleoproterozoic Hongtoushan rock fm) 20—古元古代桓仁花岗岩杂岩 (Paleoproterozoic Huanren granitic complex) 21—新太古代上英片麻岩单元 (Neoproterozoic Shangying gneiss unit) 22—新太古代大苏河片麻岩 (Neoproterozoic Dasuhe gneiss complex) 23—新太古代齐大山片麻岩 (Neoproterozoic Qidashan gneiss complex) 24—中太古界铁架山片麻岩单元 (Mesoproterozoic Tiejiaoshan gneiss unit) 25—断裂 (fault) 26—居民地及矿点 (residential area and ore occurrence) 27—大台沟铁矿分布范围 (Dataigou iron ore field)

南芬组、钓鱼台组,辽河群浪子山岩组,鞍山群樱桃园岩组.

樱桃园岩组总体走向北西 325° , 岩层产状较陡, 倾向南西, 倾角 $80^{\circ}\sim 90^{\circ}$, 为一套近直立岩层, 围岩为新太古代花岗岩 (片麻岩化), 樱桃园岩组呈包体状赋存在新太古代花岗岩 (片麻岩化) 中. 钻孔中见到的樱桃园岩组岩性较简单: 上部见少量绿泥绢云片岩, 条带状 (含铁) 石英岩, 中部为铁矿层, 主要为条带状磁铁石英岩, 条带状赤铁石英岩、条带状磁铁赤铁石英岩、透闪磁铁石英岩、透闪赤铁磁铁石英岩、角砾状赤铁石英岩, 下部为绿泥 (绢云) 石英片岩, 含磁铁绢云 (绿泥) 石英片岩, 在铁矿层中见有层间角砾岩 (表 1).

浪子山岩组地表没有出露, 钻孔中见到其以角度不整合覆盖于太古宙结晶基底之上, 底部见古风化壳, 由底砾岩、硅化大理岩、绿泥绢云石英片岩组成; 清白口系在矿区东南部出露, 有钓鱼台组、桥头组, 在钻孔中见到南芬组. 矿区内地表出露震旦系康家组, 与下伏桥头组呈整合接触. 寒武系出露于矿区的西北部, 主要为碱厂组和馒头组, 与下伏震旦系康家组呈平行不整合接触 (图 2).

2.2 岩浆岩及构造

矿区内没有岩浆岩出露, 在钻孔中见到新太古代花岗岩 (片麻岩化)、闪长玢岩脉, 在铁矿层中见到了辉绿岩脉. 脉岩对岩层及矿体起到一定的破坏和改造作用.

隐伏的新太古代花岗岩 (片麻岩化) 分布在矿体南西盘, 即上盘, 与樱桃园岩组呈侵入接触. 岩石矿物成分有微斜长石、石英, 少量残留正长石、斜长石.

矿区出露的盖层总体产状倾向北西, 倾角平缓 ($0^{\circ}\sim 10^{\circ}$), 没有褶皱构造. 断裂构造发育在矿区南部的大台沟以南地带, 对铁矿主体没有太大影响.

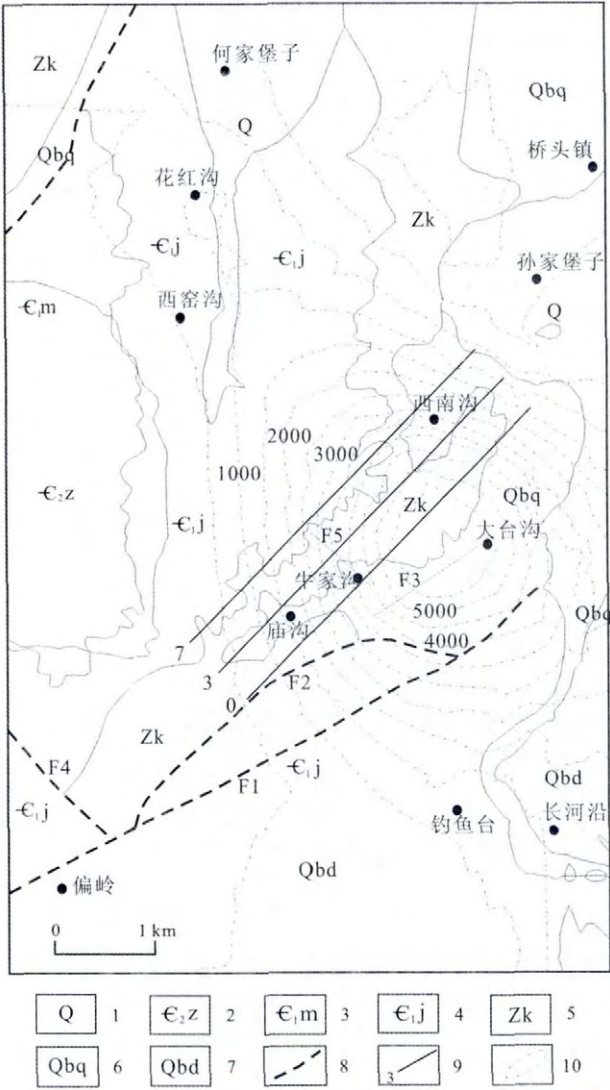


图 2 大台沟铁矿地质图

Fig. 2 Geological map of Dataigou iron deposit
1—第四系 (Quaternary) 2—寒武系张夏组 (Cambrian Zhangxia fm) 3—寒武系馒头组 (Cambrian Mantou fm) 4—寒武系碱厂组 (Cambrian Jianchang fm) 5—震旦系康家组 (Sinian Kangjia fm) 6—清白口系桥头组 (Qingbaikouan Qiaotou fm) 7—清白口系钓鱼台组 (Qingbaikouan Diaoyutai fm) 8—断裂 (fault) 9—勘探线 (exploratory line) 10—地磁等值线 (geomagnetic contour)

表 1 樱桃园岩组岩性分布特征
Table 1 Distribution characteristics of rocks in Yingtaoyuan Formation

岩性分段	主要岩石类型	岩石结构	岩石构造	主要矿物成分
上部岩性	绿泥绢云片岩	鳞片粒状变晶结构、镶嵌粒状变晶结构	片理构造	绢云母、绿泥石及少量赤铁矿
	条带状 (含铁) 石英岩	镶嵌粒状变晶结构	条带状构造	石英, 少量赤铁矿及方解石
中部岩性	磁铁石英岩	粒状变晶结构、鳞片粒状变晶结构	条带状构造	磁铁矿、石英, 少量赤铁矿、方解石、透闪石、绿泥石
	赤铁石英岩	粒状镶嵌变晶结构	条带状构造	赤铁矿、石英、磁铁矿、方解石、绿泥石
	透闪磁铁石英岩	镶嵌粒状变晶结构、柱粒状变晶结构, 鳞片粒状变晶结构	条带状构造	磁铁矿、石英、赤铁矿、透闪石、方解石、绢云母
下部岩性	含磁铁绢云 (绿泥) 石英片岩	鳞片粒状变晶结构, 粒状变晶结构	条带状构造、片状构造	石英、绢云母、绿泥石, 少量磁铁矿、方解石

3 矿体及矿石特征

3.1 矿体特征

本溪大台沟铁矿床为隐伏的单一矿体, 矿体埋深 1100~1200 m, 控制矿体延长 2000 m. 矿体总体走向北西 315°, 略倾向南西, 倾角约 85°, 近直立, 为一厚板状陡倾斜矿体. 矿体厚度巨大, 平均水平厚度 870.68 m. 矿体赋存在含铁石英岩中, 直接围岩为古风化壳含铁砾岩、太古宙绿泥片岩、含磁铁绿泥片岩等.

矿体自上向下可划分 3 种自然矿石类型, 分别为赤铁矿石、赤铁磁铁复合矿石及磁铁矿石. 赤铁矿石: $mFe/TFe \leq 15\%$. 复合铁矿石: $15\% < mFe/TFe < 85\%$. 磁性铁矿石: $mFe/TFe \geq 85\%$.

3.2 矿石质量

大台沟铁矿赋存于鞍山群樱桃园岩组含铁岩系中, 属典型的“鞍山式”铁矿, 矿石中的矿物成分较简单. 通过光、薄片观察研究, 铁矿石中发现有十余种矿物, 分别属于氧化物、碳酸盐矿物、硅酸盐矿物、硫化物等四大类. 按其生成环境可分为原生及次生两大类, 各类矿物组合特点如下(表 2).

表 2 铁矿石中矿物类型及组合

Table 2 Types and combinations of minerals in iron ore

类型	原生矿物	次生矿物
氧化物	磁铁矿、石英、赤铁矿	镜铁矿、假象赤铁矿
碳酸盐	方解石、白云石、铁白云石	
硅酸盐	透闪石、阳起石、绿泥石、电气石	绢云母、滑石
硫化物	黄铁矿、黄铜矿	

在钻孔中对铁矿体、矿化体进行了连续取样, 经光、薄片鉴定, 主要含铁矿物有磁铁矿、赤铁矿(镜铁矿)、假象赤铁矿、绿泥石, 其中以磁铁矿和赤铁矿(镜

铁矿) 为主, 假象赤铁矿次之. 赤铁矿交代磁铁矿较为发育, 表现为赤铁矿在磁铁矿中呈不规则的细脉状穿插, 或者分布在磁铁矿边缘, 个别磁铁矿被交代呈岛状残留. 值得一提的是, 在赤铁矿石中常见到镜铁矿, 多为后期热液产物, 呈束状、放射状、条带状集合体沿矿石层理延伸.(图 3)

铁矿层经历了多期次的变形变质作用改造, 形成了不同的结构、构造类型. 矿石结构类型有镶嵌粒状变晶结构、鳞片粒状变晶结构、柱状粒状变晶结构等. 矿石构造类型有条带状、条纹状、角砾状、小褶皱状、块状、石香肠状等, 以条带状为主, 其次为角砾状及小褶皱状. 条带状构造的条带宽窄不一, 最宽条带大于 35 mm, 最窄条带小于 0.5 mm, 多数条带宽为 1~5 mm. 条带由黑白相间的铁质条带和硅质条带构成, 黑色条带主要由铁矿物组成, 有少量的石英、硅酸盐矿物及碳酸盐矿物; 浅色条带主要由石英及少量碳酸盐矿物和硅酸盐矿物组成. 角砾状构造与脆性断裂构造活动有关, 铁矿层破碎成大小不同的角砾状, 局部角砾被赤铁矿胶结. 小褶皱状构造是原始硅铁建造在变形变质过程中塑性变形而形成的, 规模小而复杂, 总体上小褶皱轴面与矿层条带或片理产状一致(图 4).

3.3 矿石化学成分

大台沟铁矿区铁矿石化学成分符合鞍山式贫铁矿石成分相对简单的特征^[3]. 矿区 2559 件样品 TFe 品位一般在 20%~35% 之间, 平均 29.34%; mFe 一般在 3%~26% 之间, 平均 14.63%(图 5). 垂向上, TFe 和 mFe 品位随着标高的降低有逐渐升高的趋势, 硅酸铁含量逐渐降低, 碳酸铁变化很小, 含量较低(图 6).

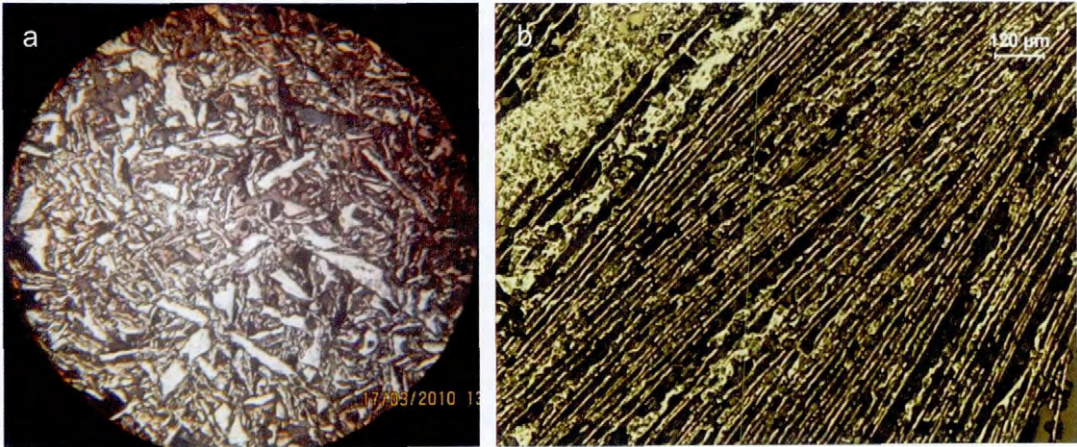


图 3 含铁矿物分布特征

Fig. 3 Distribution characteristics of minerals containing iron
a—赤铁矿(白色)呈细鳞片交织嵌布在磁铁矿(黑色)中, 反光镜下 200 倍 b—细长的针状磁铁矿(白色)晶体紧密镶嵌构成束状集合体, 反光镜下 200 倍

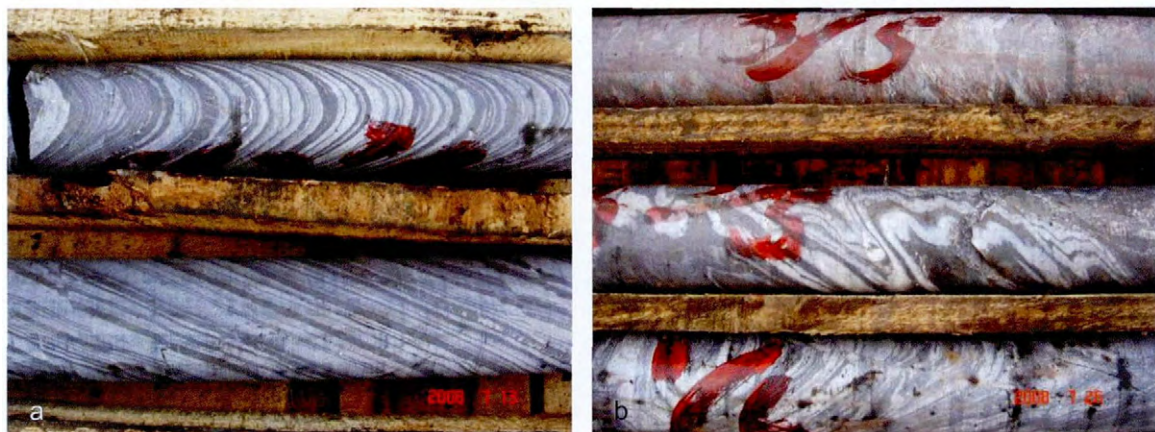


图4 铁矿石构造类型(岩心)

Fig. 4 Structural types of iron ore (core)

a—典型的条带状磁(赤)铁石英岩(磁铁矿岩) b—条带状赤铁磁铁矿石英岩中发育的小褶皱

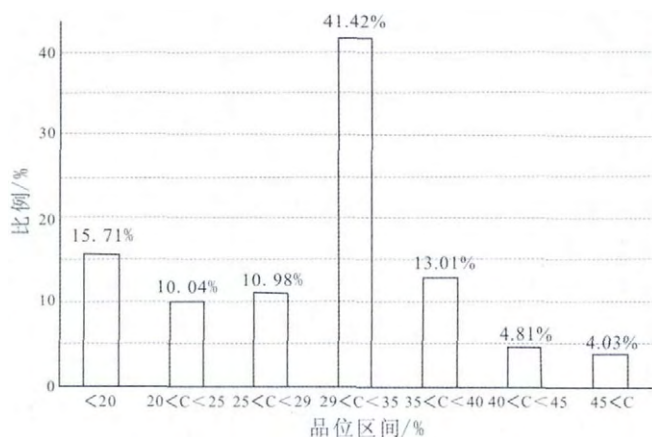


图5 TFe 品位分布

Fig. 5 Distribution of grade of TFe

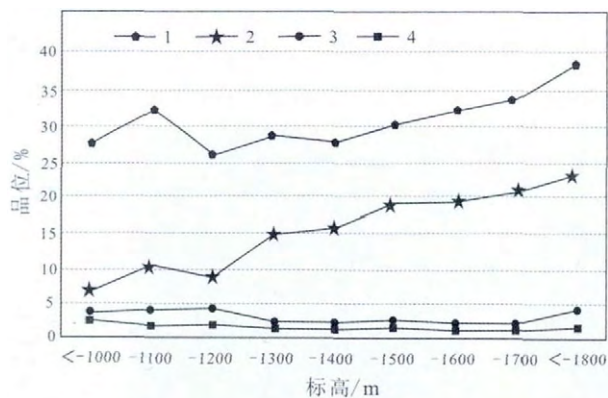


图6 不同标高铁矿物品位变化

Fig. 6 Grade variations for iron minerals by elevations

1—TFe 含量 (TFe content) 2—mFe 含量 (mFe content) 3—Si-Fe 含量 (Si-Fe content) 4—C-Fe 含量 (C-Fe content)

矿石中其他元素含量除 SiO_2 较高外,均甚微。 SiO_2 含量 20.62%~61.02%, 平均含量 46.08% S 含量 0.012%~0.161%, 平均含量 0.034% P 含量 0.005%~

0.115%, 平均含量 0.046% Mn 含量 0.025%~0.319%, 平均含量 0.11%。

根据磁铁矿石、赤铁磁铁矿复合矿石及赤铁矿石的化学全分析结果,3 种不同类型的样品碱性系数 $(\text{Ca}+\text{MgO})/(\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3)$ 均在 0.1 左右,表明它们均为酸性铁矿石。

4 矿床成因

大台沟铁矿属典型“鞍山式”铁矿床,其成矿特征与鞍山地区的齐大山铁矿相似,成矿时代为中太古代^[14]。

鞍山—本溪铁矿成矿带是太古宙花岗岩—绿岩带主要分布区之一。太古宙层状岩系(绿岩带)惯称鞍山群,也称为含铁岩系。鞍山群的主要含铁层位为茨沟岩组和樱桃园岩组:茨沟岩组相当于绿岩带中部岩系的上部,原岩为含沉积岩的基性—中酸性火山岩建造。樱桃园岩组相当于绿岩带上部沉积岩系的下部,原岩为砂质泥岩—泥岩建造。前人研究成果表明^[2-4,11-14],成矿所需的铁质与硅质是由地幔喷气或喷浆作用提供,进入海水后形成硅铁质化学沉积岩;硅铁质岩经区域变形变质作用、变质分异作用,形成条带状硅铁建造(BIF)型铁矿,相当于阿尔戈马型铁矿,通称鞍山式铁矿。新太古代花岗岩对铁矿及其围岩的侵入、改造,使其呈大小不等的包体状赋存在新太古代花岗岩岩石中。新太古代晚期—古元古代,区域强烈的变质作用使得含铁岩系与太古宙围岩一同变质。

大台沟铁矿之所以埋深较大且产状较陡,是因为其大地构造位置处于鞍山陈台沟—沂水陆核与太子河拗陷 2 个构造单元的衔接部位靠近太子河拗陷一侧。古元古代早期,大台沟铁矿所处区域整体下降,早期沉

积了浪子山组,之后至中元古代,区域处于隆升剥蚀阶段,因而未沉积中元古界。新元古代,区域再次沉降,沉积了巨厚层的青白口系及震旦系。后期相对封闭的构造环境使得大台沟铁矿类型保存完整,即由上至下“赤铁矿石—赤铁磁铁复合矿石—磁铁矿石”三模式分布特征。

5 矿床磁异常特征及电磁特征

5.1 磁异常特征

钻孔揭露的盖层自地表向下每种主要岩性物性特征表明,磁性参数总体上磁铁石英岩的磁性较强外,其他均为弱磁或无磁性,这种明显的磁性差异为磁法寻找本区“鞍山式”铁矿提供有效的地球物理依据(表 3)。

航磁异常对于鞍山—本溪铁矿成矿带“鞍山式”铁矿具有明显指示意义^[4],1/20 万航磁异常分布区鞍山群出露地段均已发现“鞍山式”铁矿。目前,航磁异常较好的覆盖区成为本区“鞍山式”铁矿的重点找矿区段,大台沟铁矿即处于该类型航磁异常范围内(图 8)。1/20 万大台沟航磁异常具有明显正负场,以大台沟为中心,北侧为负异常,南侧为正异常,异常形态呈椭圆状沿南东—北西向展布,具明显的异常中心,异常值很高(最高达 $\Delta T>4000\text{ nT}$)。

1/1 万地磁异常中心部位异常值近 6000 nT,异常走向北偏西(图 2)。根据异常特征,推断磁性体(铁矿体)走向北西(325°),倾向南西,倾角 $80^\circ\sim 90^\circ$ (近直立),向北西倾伏,矿体下延较大,矿体顶端平均埋深 1103 m,宽 1029 m,矿体长大于 5000 m。以上推断与实际铁矿体展布相似,证明了磁法对于本区铁矿找寻的有效性。

5.2 电磁特征

条带状磁铁石英岩和赤铁石英岩具明显的低阻高

极化特征,其他岩性之间视极化率相差不大,但电阻率变化较大,平均变化范围 13 362~1843 Ωm 之间,显示良好的电性差异,为电法测量推断深部隐伏矿体提供一定的地球物理前提(表 4)。

表 4 岩矿石电性参数
Table 4 Electrical parameters of rocks and ore

岩矿石名称	样品数	视电阻率/ Ωm		视极化率/%	
		变化范围	平均值	变化范围	平均值
灰黑色泥灰岩	14	312~5628	1843	0.69~5.06	2.59
砂岩夹页岩	15	368~4221	2140	0.34~4.81	2.9
蛋青色泥灰岩	15	592~3860	1981	0.81~3.61	1.75
紫色泥(灰)岩	15	965~10207	5975	1.15~5.4	2.63
灰白色石英砂岩	15	2058~38831	12229	0.49~2.17	0.98
硅化白云质大理岩	30	1226~25620	7918	0.64~5.83	2.83
绢化绿泥石英片岩	30	1688~44598	13362	1.07~6.26	3.59
条带状磁铁石英岩	15	448~3411	1267	7.65~11.93	10.26
赤铁石英岩	15	1036~7654	3165	2.52~28.99	16.12

EH4 大地电磁测深方法能够较好地反映深部铁矿体的埋藏深度和边界形态。纵向上,剔除构造因素影响,电阻率的变化主要反映岩性的变化。横向上,对于沉积岩系,电阻率的变化主要受断裂等构造的影响。对于深部的变质岩系,电阻率的变化有两种可能,一种是由构造引起,包括褶皱和断裂构造,另一种原因是由于矿体导致异常^[16-17]。

通过对矿区多条剖面(0、3、7 号剖面)进行 EH4 测量,发现剖面上的电阻率从地表到地下,由低到高逐渐增大,当标高达到 -1200 m 时,向下出现了电阻率依次降低的现象,直至 -2000 m 电阻率均小于 4000 Ωm 。电阻率变化规律与剖面岩性分布恰好对应,电阻率由低变高,反映了岩性垂向分布由近地表的受地下水影响的风化低阻灰岩、页岩向深部高阻的石英砂岩、大理

表 3 岩矿石磁性参数
Table 3 Magnetic parameters of rocks and ore

岩矿石名称	样品数	磁化率/ $4\pi\text{SI}$		剩磁强度/ (10^3 A/m)	
		变化范围	平均值	变化范围	平均值
灰黑色泥灰岩	14	0.00042~0.00249	0.00149	0.00008~0.00100	0.00039
砂岩夹页岩	15	0.00028~0.00254	0.00126	0.00024~0.00144	0.00062
蛋青色泥灰岩	15	0.00077~0.00786	0.00247	0.00038~0.00316	0.00139
紫色泥(灰)岩	15	0.00036~0.00648	0.00229	0.00022~0.00353	0.00097
灰白色石英砂岩	15	0.00025~0.00476	0.00211	0.00031~0.00516	0.00124
硅化白云质大理岩	30	0.00054~0.00498	0.00226	0.00023~0.00166	0.00072
绢化绿泥石英片岩	30	0.00037~0.00663	0.00275	0.00010~0.00289	0.00109
条带状磁铁石英岩	15	0.02624~0.56037	0.20959	0.01848~0.85831	0.18925
赤铁石英岩	15	0.00347~0.07762	0.02294	0.00269~0.08337	0.02694

岩转变.与此同时,电阻率开始降低的-1200 m 标高与见矿标高-1280 m 相接近,同时也证明了矿体延深大于 2000 m. 根据电阻率等值线展布特征并结合已知钻孔资料,于标高-1000 m 以下利用 4500 Ωm 等值线圈定疑似矿体,与钻孔控制的矿体范围大致重合,向南西侧稍有偏移(图 7). 偏移的原因可能为:(1) 矿体北东侧受磁铁矿影响而电阻率较真实值偏高;(2) 由电磁波传播非垂直反射产生的偏移^[3]. 可见,EH4 大地电磁测深方法对于圈定深部铁矿体分布范围具有较大准确性.

6 找矿标志

大台沟铁矿床为鞍山-本溪铁矿成矿带内发现的首个位于标高-1000 m 以下的特大型“鞍山式”铁矿床,除具备“鞍山式”铁矿共性特征外,还有自身一些特征,“大台沟式”铁矿主要找矿标志如下.

1) “鞍山式”铁矿为火山沉积变质成因,铁矿主要富集于茨沟岩组和樱桃园岩组中,它们是找寻铁矿的主要层位. 这两个岩组主要分布在鞍本地区,虽然已经找到多处大型及特大型铁矿床,但该区仍然是寻找大型隐伏铁矿床最有希望的区域.

2) 大地构造环境的演变对于大台沟铁矿体的赋存部位具有控制作用,大台沟铁矿之所以埋深较大而区别于现已发现铁矿床,是因为其处于太子河拗陷的边部,于古元古代拗陷形成之际下降,后期沉积巨厚沉积层所致. 目前地表浅部铁矿开采殆尽,今后应重点关注研究区太古宙古陆核边部沉降带(图 8).

3) 鞍本地区的太古宙花岗绿岩带受古断裂控制呈北东向展布,其东侧地表出露的为茨沟岩组,西侧为樱

桃园岩组,铁矿床相应地也分布在其中,应注意古构造对于“鞍山式”铁矿不同类型分布的控制作用.

4) 硅铁建造由于遭受了新太古代花岗岩侵位,分布不连续,成为大小不等的包体. 裸露地表的铁矿大多已被发现,今后应注意在花岗岩体内发现硅铁建造包体,进而找寻“鞍山式”铁矿.

5) 硅铁建造与新太古代花岗岩体之间多表现为塑性断层接触,硅铁建造与花岗岩有时为构造推覆叠置在一起,因此要注意在花岗岩推覆体之下找寻“鞍山式”铁矿床.

6) 铁矿体上部具有明显的航磁异常和地磁异常,矿体的规模与异常的规模和强度成正比. 因此,随着勘查技术的提高,应对过去因地表覆盖层较大而未达到钻探见矿目的的高大磁异常部位展开新一轮的深部验证工作.

7) EH4 大地电磁测深剖面显示,在深部高电阻率背景下出现低阻区,应为隐伏铁矿体埋藏区域,其电阻率变化梯度带为推断矿体边界线. 该方法对于找寻“大台沟式”深部铁矿具有直接指示意义.

7 结论

1) 大台沟铁矿含矿岩系-樱桃园岩组埋深较大,总体走向北西 325°,岩层产状较陡,倾向南西,倾角 80°~90°,为一套近直立岩层,其围岩为新太古代花岗岩(片麻岩化),樱桃园岩组呈包体状赋存在新太古代花岗岩中.

2) 大台沟铁矿床为隐伏的单一矿体,矿体埋深 1100~1200 m,控制矿体延长 2000 m. 矿体总体走向北

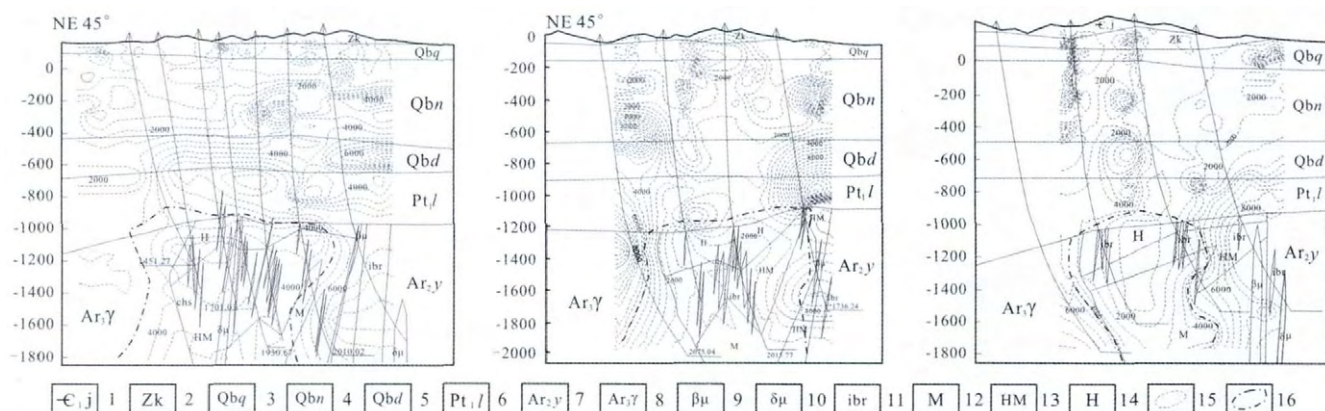


图 7 大台沟铁矿区 0-3-7 线综合地质剖面图

Fig. 7 Comprehensive geological profiles of Dataigou iron orefield along Nos. 0, 3 and 7 exploring lines

1—寒武系碱厂组 (Cambrian Jianchang fm) 2—震旦系康家组 (Sinian Kangjia fm) 3—青白口系桥头组 (Qingbaikouan Qiaotou fm) 4—青白口系南芬组 (Qingbaikouan Nanfen fm) 5—青白口系钓鱼台组 (Qingbaikouan Diaoyutai fm) 6—辽河群浪子山组 (Langzishan fm. of Liaohe gr) 7—鞍山群樱桃园组 (Yingtaoyuan fm. of Anshan gr) 8—新太古代花岗岩 (片麻岩化) (Neoproterozoic granite/gneissification) 9—辉绿玢岩 (sillite) 10—闪长玢岩 (dioritic porphyrite) 11—磁铁矿石英 (magnetite quartzite) 12—磁铁矿 (magnetite) 13—赤铁矿复合矿 (hematite-magnet complex ore) 14—赤铁矿 (hematite); 15—视电阻率等值线 (apparent resistivity contour) 16—EH4 推断矿体边界 (boundary of EH4 inferred orebody)

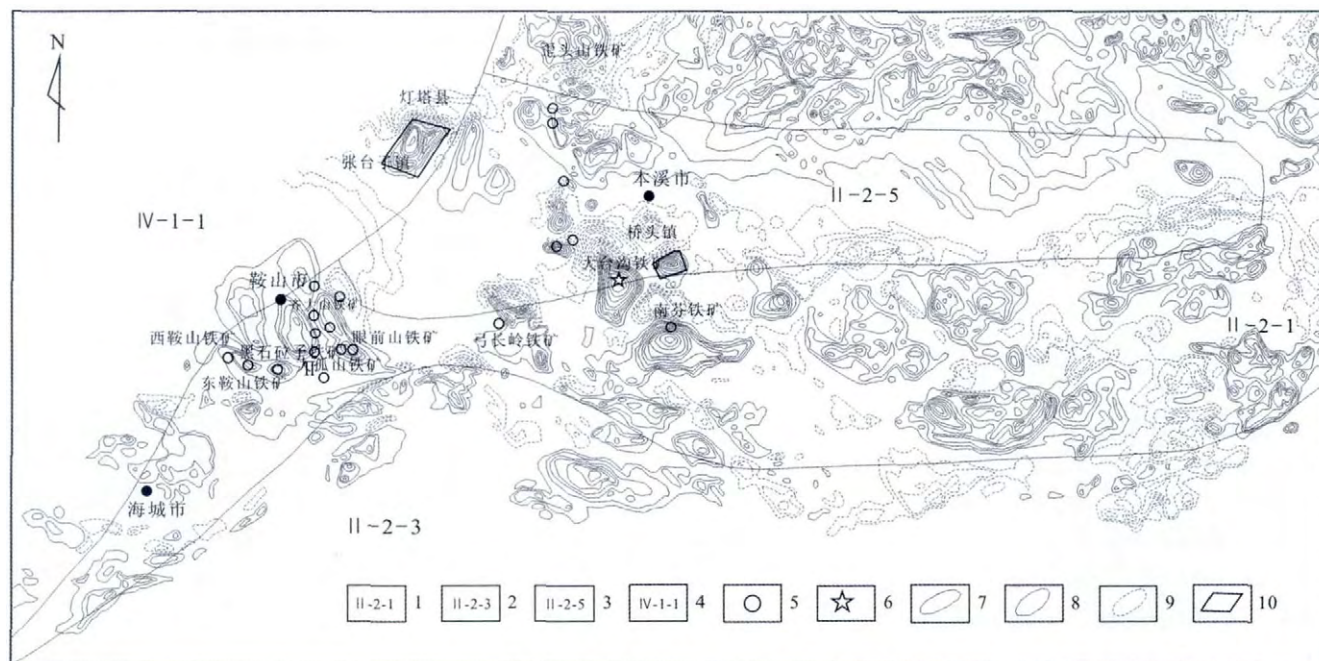


图8 “大台沟式”铁矿与大地构造关系示意图

Fig. 8 Relation between the “Dataigou type” of iron deposit and tectonic position

1—鞍山陈台沟-沂水陆核 (Anshan Chentaigou-Yishui continental nucleus) 2—辽吉裂谷 (Liaoning-Jilin rift zone) 3—太子河拗陷 (Taizihe depression) 4—下辽河盆地 (Lower Liaohe basin) 5—大型以上“鞍山式”铁矿床 (large or super-large iron deposit of Anshan-type) 6—大台沟铁矿床 (Dataigou iron deposit); 7—大地构造拟分界线 (tectonic boundary) 8—航磁正值等值线 (aeromagnetic contour of positive value) 9—航磁负值等值线 (aeromagnetic contour of negative value) 10—“大台沟式”铁矿找矿有利地段 (favorable ore-finding area for Dataigou-type iron deposit)

西 315° , 略倾向南西, 倾角约 85° , 近直立, 为一厚板状陡倾斜矿体。矿体厚度巨大, 平均水平厚度 870.68 m。矿体自上向下可划分 3 种自然矿石类型, 分别为赤铁矿石、赤铁磁铁复合矿石及磁铁矿石。

3) 大台沟铁矿床属典型“鞍山式”铁矿床。矿石中的矿物成分较简单, 含铁矿物以磁铁矿和赤铁矿 (镜铁矿) 为主。矿石结构类型有镶嵌粒状变晶结构、鳞片粒状变晶结构、柱状粒状变晶结构等。矿石构造类型以条带状为主。

4) 铁矿石 TFe 品位一般在 20%~35% 之间, 平均 29.34%; mFe 品位一般在 3%~26% 之间, 平均 14.63%; 矿石中其他元素含量除 SiO_2 较高外, 均甚微, SiO_2 含量 20.62%~61.02%, 平均含量 46.08%。

5) 大台沟铁矿之所以埋深较大且产状较陡, 是因为其大地构造位置处于鞍山陈台沟-沂水陆核与太子河拗陷两个构造单元的衔接部位靠近太子河拗陷一侧, 于古元古代拗陷形成之际下降, 后期沉积巨厚沉积层所致。

6) 航磁、地磁异常对于“鞍山式”铁矿具有明显指示意义, 今后应重点关注存在高大磁异常且被巨厚沉积层覆盖的区域, 有望找寻“大台沟式”铁矿床。EH4

大地电磁测深方法对于找寻深部“大台沟式”铁矿床有明显指示意义, 在深部高电阻率背景下出现低阻区, 应为隐伏铁矿体埋藏区域, 其电阻率变化梯度带为推断矿体边界。

参考文献:

- [1] 洪秀伟, 庞宏伟, 刘学文, 等. 辽宁本溪大台沟铁矿地质特征 [J]. 中国地质, 2010, 37 (5): 1426—1433.
- [2] 徐仲元. 鞍山地区太古宙铁矿中条带状构造的成因与演化 [J]. 长春地质学院学报, 1991, 21 (4): 389—396.
- [3] 周世泰. 我国太古宙条带状铁矿研究进展及展望 [J]. 地质与勘探, 1997, 33 (3): 1—7.
- [4] 万渝生, 刘敦一, 伍家善, 等. 辽宁鞍山-本溪地区中太古代花岗质岩石的成因——地球化学及 Nd 同位素制约 [J]. 岩石学报, 1998, 14 (3): 278—288.
- [5] 万渝生, 耿元生, 沈其韩, 等. 鞍山中太古代铁架山花岗岩中表壳岩包体的地球化学特征及地质意义 [J]. 地质科学, 2002, 37 (2): 143—151.
- [6] 李伟源. 古全球变化与非等时韵律沉积及前寒武纪条带状铁矿建造形成的终止 [J]. 地学前缘, 1997, 4 (1/2): 101—114.
- [7] 侯可军, 李延河, 万德芳, 等. 鞍山-本溪地区条带状硅铁建造的硫同位素非质量分馏对太古代大气氧水平和硫循环的制约 [J]. 中国科学 D 辑, 2007, 37 (8): 997—1003.

为主。瓦房子浅海沉积型锰矿的矿源层为震旦系含锰石灰岩层,桃花池锰矿矿源层为寒武系含锰石灰岩,矿石矿物有软锰矿、硬锰矿、水锰矿、黑锰矿和菱锰矿。风化残留型锰矿分布在震旦系和寒武系的不整合面中,矿石矿物以软锰矿和硬锰矿为主。

辽宁省锰矿分布的地质地理位置、成因类型、锰储量、锰品位和矿源层等特征资料分析结果显示:(1)火山热液型锰矿可在朝阳和锦西以西地区寻找,其矿源层为寒武系和震旦系的石灰岩,成矿热液为酸性岩浆岩提供,锰品位很高,但矿产规模小。(2)浅海沉积型锰矿规模较大,品位在 20×10^{-2} 以上,构成理想的锰矿战略基地(如已开采利用的朝阳瓦房子锰矿和喀左桃花池锰矿)在类似的构造环境和岩层中(如凌源、建昌一带),寻找大型锰矿床是值得尝试的。(3)风化残留锰矿规模较大,但锰矿品位较低,只有在热液作用叠加时,才可能形成品位较高的锰矿。

4 结语

通过对辽宁省不同构造单元地质体、不同时代岩

层、不同岩石类型锰元素和锰矿分布特征分析,初步得出以下几点认识:

(1) 铁岭组含锰灰岩岩层为沉积锰矿找矿的重要标志,其分布的辽西地区可划为辽宁省境内大型浅海沉积锰矿找矿远景区。

(2) 辽东、辽南白垩系富锰页岩分布的地区有望找到中到大型河湖相沉积锰矿床,这在辽宁省境内寻找锰矿提供了一个新的方向。

(3) 火山热液锰矿可在朝阳、锦西以西地区寻找,其矿源层为串岭沟组石英砂岩、高峪庄组含锰细砂岩和大红峪组、铁岭组、洪水庄组富锰碳酸盐岩,其成矿热液为酸性岩浆提供。

参考文献:

- [1] 贺同兴,卢良兆,李树勋,等. 变质岩岩石学 [M]. 北京:地质出版社, 1980: 105—190.
- [2] 何镜宇,余素玉. 沉积岩石学 [M]. 北京:地质出版社, 1983: 183—304.
- [3] 阮天健,朱有光. 地球化学找矿 [M]. 北京:地质出版社, 1985: 13—69.
- [4] 辽宁省地质矿产局. 辽宁省区域地质志 [M]. 北京:地质出版社, 1989: 664—728.
- [5] 刘敦一,万渝生,伍家善,等. 华北克拉通太古宙地壳演化和最古老的岩石 [J]. 地质通报, 2007, 26 (9): 1131—1138.
- [6] 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.
- [7] 周红英,刘敦一,万渝生,等. 鞍山地区 3.3 Ga 岩浆热事件——SHRIMP 年代学和地球化学新证据 [J]. 岩石矿物学杂志, 2007, 26 (2): 123—129.
- [8] 黎爱国,王艳平,刘伟. “鞍山式”富铁矿的成因 [J]. 辽宁科技大学学报, 2008, 31 (5): 462—464.
- [9] 张. 西鞍山铁矿典型矿床研究及“鞍山式”铁矿深部预测 [D]. 长春:吉林大学, 2009.
- [10] 周红英. 鞍山地区东山杂岩太古宙早期地质演化——SHRIMP 年代学及 Nd、Hf 同位素制约 [D]. 北京:中国地质大学, 2007.
- [11] 曾庆理,刘庆生,邱宁. 中国大陆科学钻探主孔高铁钛榴辉岩的磁性岩石学 [J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2009, 34 (6): 993—1000.
- [12] 付海涛,王恩德,刘忠元,等. 辽宁鞍山一代第四系覆盖区航磁异常的找矿意义 [J]. 物探与化探, 2006, 30 (3): 199—202.
- [13] 张红涛. EH4 在本溪大台沟地区隐伏铁矿探测的研究 [D]. 沈阳:东北大学, 2008.
- [14] 王志宏,郑娇. 大台沟铁矿的成因及找矿标志 [J]. 辽宁科技大学学报, 2010, 33 (4): 353—355.
- [15] 庞宏伟,洪秀伟,李尔峰,等. EH4 方法在辽宁本溪大台沟铁矿勘查中的应用 [J]. 山东国土资源, 2011, 27 (7): 17—21.

(上接第 351 页 / Continued from Page 351)