

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2023.04.04

引用格式: 高新宇,王登红,黄凡,等. 西藏下司马铁矿与华北典型铁矿的对比分析[J]. 中国地质调查,2023,10(4): 29-36.
(Gao X Y, Wang D H, Huang F, et al. Comparative study of Xiasima iron deposit in Tibet and typical North China iron deposits[J]. Geological Survey of China, 2023, 10(4): 29-36.)

西藏下司马铁矿与华北典型铁矿的对比分析

高新宇^{1,2}, 王登红², 黄凡², 王成辉², 李玉彬³, 李阳⁴

(1. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083; 2. 中国地质科学院矿产资源研究所
自然资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037; 3. 西藏大学工学院, 西藏 拉萨 850000;
4. 成都理工大学, 地球科学学院, 四川 成都 610059)

摘要: 近年来华北沉积变质型铁矿的勘查工作取得了丰硕成果,但西藏此类矿床的勘查和研究程度较低。通过整理下司马铁矿的勘查资料,与5个华北典型铁矿的地质和地球化学特征进行对比研究,认为下司马铁矿属粒状铁建造(granular iron formation, GIF),成矿时代为中元古代(1.80~1.25 Ga),矿床成因可能是陆源风化和海底热液带来的 Fe^{2+} 在浅海大陆架氧化沉淀成矿,矿石整体较富集可能是原始沉积、岩浆热液的淋滤作用、区域变质作用等因素引起。下一步找矿工作应以高喜马拉雅成矿亚带的聂拉木岩群和亚东岩群为目标层位;重磁异常可作为重要的找矿标志,但应注意对局部低缓异常的解读;断裂和褶皱作用会影响矿体的最终定位,需注意辨别其性质。下司马铁矿和华北典型铁矿的对比研究可以为西藏地区沉积变质型铁矿的找矿提供参考。

关键词: 沉积变质型铁矿; 矿床成因; 找矿标志; 西藏地区; 华北陆块

中图分类号: P624; P611

文献标志码: A

文章编号: 2095-8706(2023)04-0029-08

0 引言

西藏地处欧亚大陆与冈瓦纳大陆之间的特提斯构造域,地质构造复杂,蕴含着丰富的矿产资源,其中铜、铬、硼、铅、锌、金、锑为优势矿种。因太古宇一元古宇分布稀少,以及铁矿价格、地理位置、环境等因素的限制,西藏地区沉积变质型铁矿的相关开发研究较少,过去曾被认为可能不存在形成此类矿床的地质环境,而中国华北的铁矿资源丰富,以沉积变质型铁矿的资源量占比最高、开发历史悠久、研究程度深^[1-3]。结合我国华北沉积变质型铁矿勘探的成功经验,开展西藏沉积变质型铁矿的找矿和研究工作对改变西藏的铁矿资源面貌具有重要意义。下司马铁矿是西藏典型的沉

积变质型铁矿,本文通过开展下司马铁矿与华北陆块分布的弓长岭铁矿、司家营铁矿、袁家村铁矿、大栗子铁矿、宣龙铁矿等典型矿床的对比研究,分析下司马铁矿的矿床类型、成矿时代和矿床成因,并探讨了西藏沉积变质型铁矿的找矿潜力和找矿方向,以为后续找矿和勘查工作提供资料和参考。

1 下司马铁矿地质特征和资源概况

下司马铁矿位于西藏自治区亚东县下司马镇以西约2 km,大地构造上位于喜马拉雅板块以南的主喜马拉雅基底推覆带(图1),其矿床类型为沉积变质型铁矿^[4]。铁矿的赋矿地层亚东岩群是一套中元古界的中-深变质岩系,岩性以灰白色片麻岩

收稿日期: 2022-09-07; 修订日期: 2023-06-21。

基金项目: 中国地质调查局“中国矿产地质志(编号: DD20221695、DD20190379、DD20160346)”项目资助。

第一作者简介: 高新宇(1992—),男,博士研究生,主要从事矿物学、岩石学、矿床学研究工作。Email: GaoxinyuGeology@outlook.com。

通信作者简介: 王登红(1967—),男,二级研究员,中国地质调查局“战略新兴矿产调查工程”首席专家,主要从事矿产资源研究工作。

Email: wangdenghong@vip.sina.com。

为主,与云母片岩组成不等厚互层,夹角闪磁铁片岩、角闪片岩、磁铁角闪片岩和石榴角闪岩各一层(图 2),其中角闪磁铁片岩为铁矿层,地层总厚度超过 750 m。矿区构造简单,总体为一套单斜地层,

走向 310°~320°,倾向北或北东,倾角 20°~70°,未见有褶曲和较大断裂构造。矿区岩浆岩以喜马拉雅期花岗质岩株为主,较常见沿裂隙充填的酸性脉岩,辉绿岩仅见一小露头(图 3)。

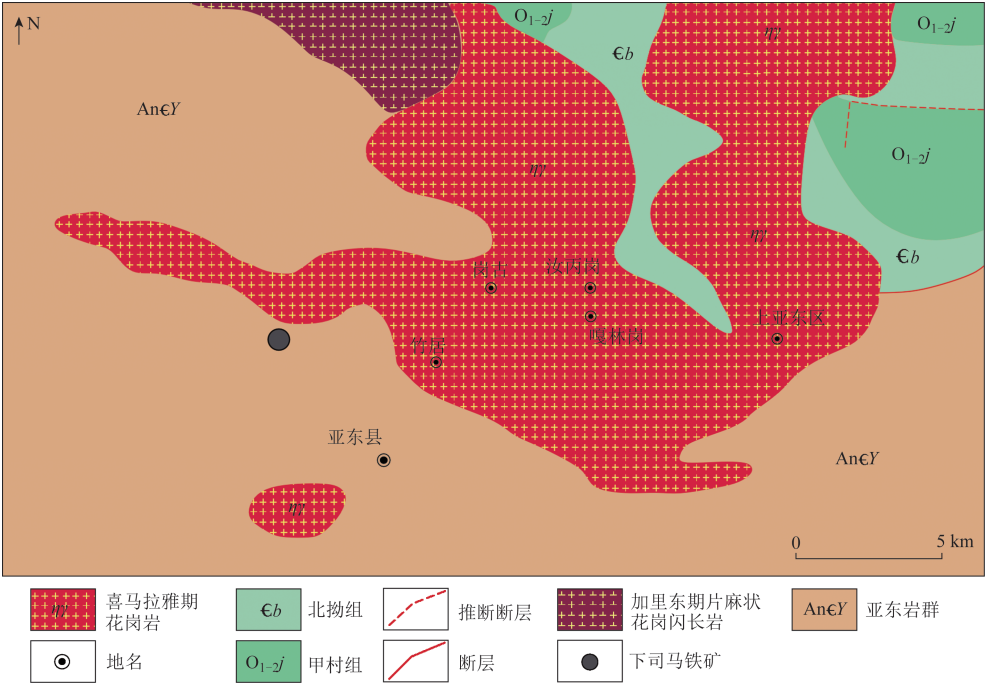


图 1 亚东县地质简图
Fig. 1 Geological sketch of Yadong County

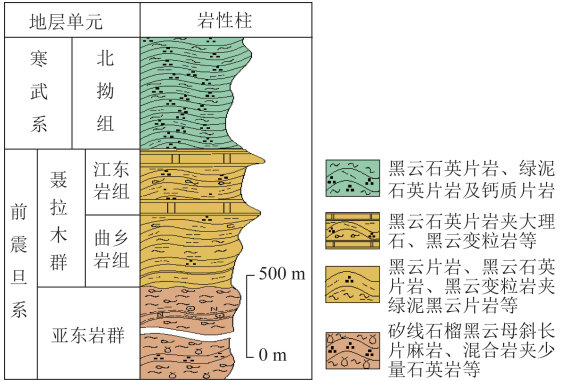


图 2 下司马矿区地层岩性
Fig. 2 Stratigraphic lithological of Xiasima mining area

下司马铁矿的矿体呈层状产出,产状与地层一致,沿层理矿化明显,有热液交代特征。矿体顶板、底板均为云母片岩,与矿体呈渐变过渡关系,靠近矿体及矿体边缘的部位角闪石含量较高,局部形成角闪片岩与云母片岩互层。矿体整体近 NW 向展布,出露长度约 700 m,厚度 12~15 m,按其产出情况可分 3 段:西段沿 NW—SE 向展布,出露长度

180 m,厚 15 m,夹数米厚的角闪片岩;中段沿 NW—SE 向展布,长 120 m,最厚处可达 29 m,夹约 10 m 厚的角闪片岩;东段沿近 NW 向展布,出露长度 400 m,厚约 23.5 m,夹 6 m 厚的角闪片岩(图 3)。

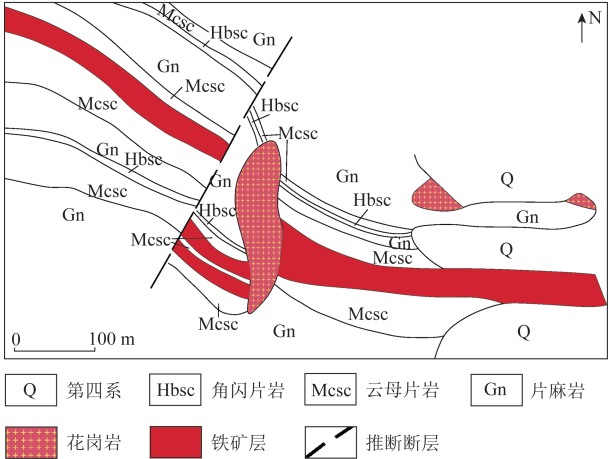


图 3 下司马铁矿矿区地质简图
Fig. 3 Geological sketch of Xiasima iron deposit

下司马铁矿矿石类型为细粒片状角闪石磁铁
矿矿石、细粒块状磁铁矿矿石和细粒块状磁黄铁
矿矿石,细粒结构,片状或块状构造,具有强磁性。
矿石质量以中段最佳,东段和西段角闪石含量较
多,品位偏低。矿石矿物成分较简单,以磁铁矿为
主,伴生有磁黄铁矿,脉石矿物主要为角闪石和石
榴石,热液矿物有磁黄铁矿。1980 年西藏区调队

对下司马矿区进行了评价工作,估算矿石资源量
450 万 t,属小型矿床^[5]。

2 矿床对比研究

2.1 地质特征

下司马铁矿与华北铁矿地质特征对比见表 1。

表 1 下司马铁矿与华北典型铁矿地质特征对比

Tab.1 Geological characteristics comparison between Xiasima iron deposit and typical North China iron deposits										
矿床名称	矿床类型	成矿时代/ Ga	构造 背景	赋矿 地层	赋矿围岩	变质程度	矿体 特征	矿石类型	矿石组构	矿石平均 品位/%
下司马铁矿	粒状铁 建造	1.80~1.25	浅海 大陆 架	亚东岩 群	角闪片岩、 云母片岩	高角闪岩相 —麻粒岩相	层状、 透镜状	粒状磁铁 矿、粒状磁 黄铁矿	细粒结构,片状或 块状构造	62.73~89.91
宣龙铁矿 ^[6]	沉积型	1.70	内陆 盆地	长城系 串岭沟 组	石英砂岩、 含铁砂岩、 含砂质条带 状页岩	低级区域变 质作用	层状	鲕状赤铁矿 矿石、肾状 赤铁矿矿石	以它形粒状结构为 主,另有自形或半 自形粒状结构,鲕 状、肾状和块状构 造 赤铁矿矿石具粒 状、交代残余等结 构,环带状和块状 构造;菱铁矿矿石 具粒状变晶结构, 块状、条纹状或结 核状构造。	赤铁矿 43.92, 磁铁矿 48.37
大栗子 铁矿 ^[7-8]	条带状铁 建造 (Su- perior 型)	1.80~1.70	滨海 —浅 海	老岭群 大栗子 组	千枚岩、砂 岩和碳酸盐 岩	低级区域变 质作用	似层状 或扁豆 状	赤铁矿、磁 铁矿、菱铁 矿及混合型 矿石		33.78~44.12
袁家村 铁矿 ^[9-10]	条带状铁 建造 (Su- perior 型)	2.50	浅海 大陆 架	吕梁群 袁家村 组	绿泥片岩、 镁铁闪石片 岩、绢云母 片岩等	绿片岩相— 低角闪岩相	层状或 似层状	赤铁石英 岩、磁铁 石英岩	粒状变晶结构,微 条带—中等条带 状构造	33.24~36.60
司家营 铁矿 ^[11]	条带状铁 建造 (Al- goma 型)	2.54~2.53	弧后 盆地	滦县岩 群	黑云变粒 岩、斜长角 闪岩	低角闪岩相	层状或 似层状	磁铁石英 岩、赤铁 石英岩	贫矿为中细粒结 构,条带状构造;富 矿为中粗粒结构, 块状构造	30.08
弓长岭 铁矿 ^[12-13]	条带状铁 建造 (Al- goma 型)	2.70~2.50	岛弧	鞍山岩 群茨沟 组	斜长角闪 岩、黑云变 粒岩、片麻 岩、大理岩	绿片岩相— 低角闪岩相	层状、 似层状 或扁豆 状	磁铁石英 岩、赤铁 石英岩等	贫矿为条带状构 造,细粒结构;富矿 主要为块状构造, 细粒—粗粒结构	37.66

亚东岩群是下司马铁矿的主要赋矿层位,而在
华北鞍本地区鞍山岩群中产出有齐大山、大孤
山、东鞍山、弓长岭、南芬、歪头山等一系列沉积变
质型铁矿,冀东的迁安岩群、滦县岩群也同样产出
司家营、马城、水厂、石人沟、杏山等大型铁矿。亚
东岩群上覆的聂拉木群(1.25~0.66 Ga)和下伏的
印度库蒙的维克瑞塔群(1.80 Ga)的年龄将下司马
铁矿的成矿年龄限定为 1.80~1.25 Ga^[5],接近于
宣龙铁矿的成矿时代,而鞍本、冀东矿集区含矿地
层的形成时代主要为新太古代(表 1)^[2]。

矿体产状通常与赋矿地层一致,构造运动会对
矿体的后期定位有较大影响,如弓长岭铁矿的矿体

多呈层状产出,规模大、延深大的断裂和横向褶皱
都是重要的富铁矿控矿构造^[14],司家营铁矿的贫
矿层内发育大规模富铁矿,主要产自构造断裂交汇
处附近热液蚀变强烈的位置^[11],而断层错动可能
导致下司马铁矿中段的矿体不连续,使中段矿体的
矿石品位升高。

2.2 矿石特征

下司马铁矿以粒状磁铁矿矿石为主,不存在
华北地区条带状铁建造(banded iron formation,
BIF)中广泛发育的条带状磁铁石英岩,矿石品位
也普遍高于华北铁矿(表 1)^[4]。按照赤铁矿的铁
元素质量分数(70%)计算,下司马铁矿中段的

TFe 矿石品位超过 50%, 达到了富铁矿的工业品位。相较而言, 华北铁矿的品位较低, 仅宣龙铁矿的 TFe 平均品位为 43.92% ~ 48.37%, 多数沉积变质型铁矿的 TFe 平均品位约 30%, 少数矿床发育一定规模的富铁矿, 如弓长岭铁矿和司家营铁矿的 TFe 品位分别为 37.69% 和 30.08%^[14]。理论上与下司马铁矿同层位产出的沉积变质型铁矿具有相同的沉积环境和后期构造改造, 矿石品位整体较富。因此, 尽管目前西藏地区仅发现一处沉积变质型铁矿, 矿床规模较小, 但分布集中、矿石品位高等特点使得西藏地区沉积变质型铁矿的找矿工作有巨大潜力。

2.3 矿床类型

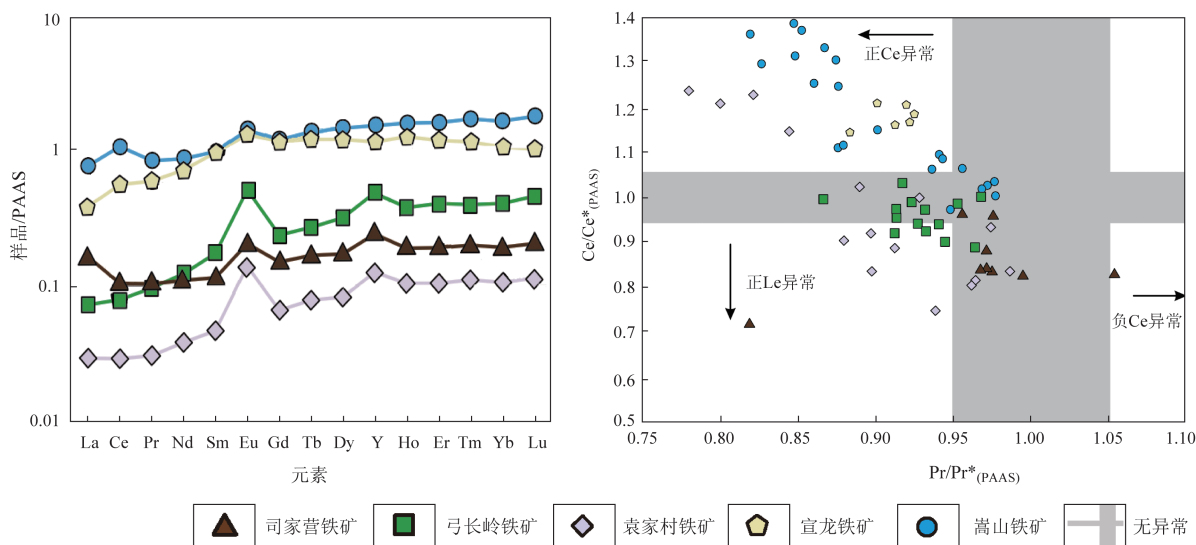
沉积变质型铁矿有 BIF 型(包括 Algoma 型、Superior 型和 Rapitan 型)、粒状铁建造(granular iron formation, GIF)型等多个亚类, 不同亚类的成矿时代有一定差别^[15]。Algoma 型铁矿主要在太古宙成矿, 如弓长岭铁矿和司家营铁矿; Superior 型铁矿的成矿时代集中于古元古代, 如辽东翁泉沟硼铁矿和吉南大栗子铁矿。中元古代形成的铁矿成矿作用较为复杂, 如下司马铁矿和白云鄂博 Fe-Nb-REE 矿床, 在成矿后期都受到了强烈的改造作用^[11]。

下司马铁矿属于 GIF 型铁矿, 矿石以粒状磁铁矿为主, 形成于浅部动荡水体, 而华北的 BIF 型铁

矿中的条带状矿石通常沉积于稳定水体。新太古代是 BIF 型铁矿的成矿高峰期^[12], 成矿作用一直持续到古元古代, 而中元古代的海洋氧化还原状态发生变化, 海水中的 Fe^{2+} 亏损, 没有大型 BIF 型铁矿成矿的水体条件, 仅出现一些小型的矿床, 如祁连山西段的镜铁山铁矿和燕辽裂谷带内下马岭组的富菱铁建造^[17-18]。下司马铁矿的成矿时代为中元古代, 对应于全球 GIF 型铁矿的成矿时代^[15, 19-20]。

2.4 物质来源和矿床成因

通过华北铁矿的稀土元素平均值数据^[11, 21-24]投图(图 4), BIF 型铁矿整体呈现轻稀土元素相对亏损, 重稀土元素相对富集的特征, 其中宣龙铁矿和嵩山铁矿的 LREE 和 HREE 分异较弱, 指示太古宙—元古宙的海洋具有动态变化的氧化还原条件^[21]。华北 BIF 型铁矿的正 Eu 异常和正 Y 异常明显, Y/Ho 值为 32.43 ~ 32.75, 介于现代海水值(>44)和球粒陨石值(26 ~ 28)之间, 表明海水和高温热液参与了成矿过程。沉积型和 GIF 型铁矿的 Eu 仅表现出微弱的正异常, 无明显正 Y 异常, Y/Ho 值为 23.70 ~ 25.03, 更接近上地壳和陆源沉积物, 受海水和高温热液影响较弱。在 Pr-Ce 判别图解(图 4)中, 华北的沉积变质型铁矿和沉积型铁矿均不存在显著的负 Ce 异常, 指示这些铁矿都形成于低氧或缺氧的海相环境。



注: PAAS 为澳大利亚后太古宙页岩标准化。

图 4 华北典型铁矿 REE 配分模式 (左) 与 Pr-Ce 判别图解 (右)^[11, 21-24]

Fig. 4 REE distribution pattern (left) and Pr-Ce discrimination diagram (right) of typical iron deposits in North China^[11, 21-24]

GIF 型铁矿作为 BIF 型铁矿与沉积型铁矿之间的过渡类型,成因也介于两者之间^[15]。在中元古代,部分盆地复苏的火山活动和风化的陆源物质共同为水体提供了 Fe^{2+} , Fe^{2+} 在浅海被氧化成 Fe^{3+} , 沉淀于相对动荡的浅海大陆架上,加之硅酸盐含量低,因此没有形成硅质脉石和条带状构造的矿石(图 5)。但大陆架之下的大陆坡和海盆中常发育 BIF 型铁矿,如北美的苏必利尔克拉、加拿大的环昂加瓦湖和澳大利亚西部的纳贝鲁盆地^[25],指示藏南前震旦系的深部可能有发育 BIF 型铁矿的潜力。

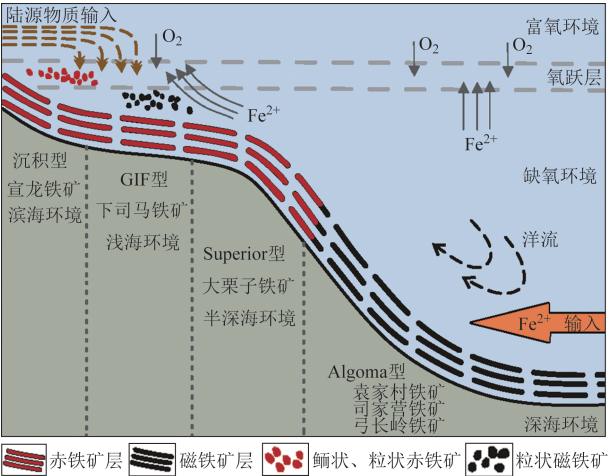


图 5 沉积变质型铁矿成矿模式

Fig. 5 Metallogenic pattern of sedimentary metamorphic iron deposits

2.5 下司马铁矿高品位铁矿石的成因

结合华北 BIF 型铁矿中富铁矿的研究成果,本文认为有 3 个因素可能显著提高了下司马铁矿的矿石品位: ①原始沉积作用^[11], 矿体围岩主要是角闪片岩,表明成矿过程中受到了一定规模的基性火山活动影响,同时带来大量铁质,使原始沉积的矿石品位更高,如司家营铁矿就有原始沉积型富铁矿发育^[11]; ②去硅富铁^[27-28]和铁质活化一再沉淀^[29]机制,即在喜马拉雅推覆构造的诱导下,局部热点引发中酸性岩浆活动,岩浆期之后的挥发性组分沿构造裂隙上升,在含铁岩层中发生交代置换,当氧逸度和 pH 值增大时,高温碱性的热液将 Si、Al 淋滤出来,留下铁质,使岩层中的铁质进一步聚集,形成富铁矿; ③下司马铁矿的变质程度达到高角闪岩相—麻粒岩相,强烈的区域变质作用可能使岩石发生脱水反应,形成变质热液,淋滤矿石中的脉石矿物,致使铁矿进一步富集^[24,30]。

3 找矿潜力与找矿方向

3.1 找矿潜力

沉积变质型铁矿主要赋存于前震旦系,但不同于稳定的克拉通大陆,西藏的高喜马拉雅成矿亚带是由陆块多次拼合而成,前震旦系仅在藏南分布有聂拉木岩群和亚东岩群,因此该类铁矿可能主要分布于西藏高喜马拉雅成矿亚带的南缘。本文认为下司马铁矿为浅海大陆架沉积的 GIF 型铁矿,深部古大陆坡与海盆环境中可能发育有 BIF 型铁矿,由于前震旦系被后期巨厚的沉积建造覆盖,加大了找矿勘查的难度,但仍有一定找矿潜力。例如: 在山南地区分布厚 229.2 m 的聂拉木岩群江东组,由石英片岩、黑云母透辉二长变粒岩、斜长角闪岩夹磁铁矿透辉体等组成,极有可能是铁建造的赋存层位。此外,本文统计了高喜马拉雅成矿亚带聂拉木岩群和亚东岩群已开展区域调查的多处矿化点(表 2),均为沉积变质型铁矿,未来可进一步开展综合普查评价。

表 2 西藏前震旦系铁矿矿化情况^[4-5]

Tibet ^[4-5]		
名称	产地	备注
塔村磁铁矿矿化点	聂拉木县塔村南 1 km	民采
聂拉木县磁铁矿矿化点	聂拉木县城北 1 km	TFe 含量 52%
章东磁铁矿矿化点	聂拉木县章东南	TFe 含量 24%
亚东县阿桑桥磁铁矿矿化点	亚东县阿桑桥西	TFe 含量 48.78%, SFe 含量 46.64%

3.2 找矿方向

参考华北铁矿的勘查经验,西藏的前震旦系应作为找矿的目标层位,其中角闪片岩层更容易实现找矿突破。此外,应该注意高喜马拉雅成矿亚带南缘的前震旦系中发育古风化壳型铁矿的位置,铁建造出露地表后经风化作用, SiO_2 被淋滤后带出风化壳,铁质残留富集下来,形成富铁的古风化壳矿床,如澳大利亚哈默斯利成矿省、美国上湖矿集区,巴西米纳斯吉拉斯成矿省^[31],这类矿床不仅矿石品位高,而且易采、易选。

西藏沉积变质型铁矿的矿石品位较高,因此密度和磁性较高,重磁异常显著,但应注意围岩的基性组分干扰。GIF 型铁矿的矿体深部可能有以赤铁矿为主的 Superior 型铁矿,由于赤铁矿只有弱磁

性,深部找矿应该将重力异常作为主要指标,弱磁异常区域若叠加高重力异常则找矿潜力巨大,如司家营铁矿南区的西侧有较大重力异常,但缺少相对应的地磁异常,后续的钻探工作却找到了厚大的富矿体^[11]。

沉积变质型铁矿在成矿后期经历了强烈的构造运动,这会影响矿体的最终定位,辨别断裂性质、识别褶皱类型有助于推断矿体位置和寻找富矿,如司家营铁矿向斜构造的复合部位矿体保存完整、矿石品位高,区域上原有的矿体由于受司家营—马城—长凝倒转向形控制转变为单斜控矿^[32];白云鄂博铁矿的主矿和东矿之间受近 EW 向的逆—平移断层控制向南移动,打破了原有的主矿和东矿深部不相连的认识,并且实现了找矿突破^[33];迁安铁矿的成矿区在向形聚敛构造之下发现了第三铁矿层。如果下司马的矿体中段存在 NE 向切割矿体的断层,有可能成为下司马铁矿找到富矿的突破口。

4 结论

(1)西藏的下司马铁矿为粒状铁建造,是陆源物质和海底热液共同提供铁质在浅海大陆架沉淀的产物,成矿时代主要在中元古代(1.80 ~ 1.25 Ga),原始沉积、岩浆热液的淋滤作用、区域变质作用等因素都有可能使矿体品位提高。

(2)西藏地区具备寻找沉积变质型铁矿的潜力,其中高喜马拉雅成矿亚带南缘的聂拉木岩群和亚东岩群可能是主要赋矿层位,高重力异常叠加低缓磁异常的区域找到富矿的可能性大,辨别断裂性质、识别褶皱类型有助于推断矿体的赋存位置和寻找富铁矿。

致谢:匿名审稿专家对本文提出了建设性修改意见,本文写作过程得到了“中国矿产地志”西藏项目组的帮助和指导,在此一并表示衷心感谢!

参考文献(References):

- [1] 陈毓川,薛春纪,王登红,等.华北陆块北缘区域矿床成矿谱系探讨[J].高校地质学报,2003,9(4):520-535.
Chen Y C, Xue C J, Wang D H, et al. A discussion on the regional mineralizing pedigree of the ore deposits in the northern margin of

- the north China landmass[J]. Geological Journal of China Universities, 2003, 9(4): 520-535.
- [2] 沈保丰,翟安民,苗培森,等.华北陆块铁矿床地质特征和资源潜力展望[J].地质调查与研究,2006,29(4):244-252.
Shen B F, Zhai A M, Miao P S, et al. Geological character and potential resources of iron deposits in the north China block[J]. Geological Survey and Research, 2006, 29(4): 244-252.
- [3] 赵一鸣.中国主要富铁矿床类型及地质特征[J].矿床地质,2013,32(4):685-704.
Zhao Y M. Main genetic types and geological characteristics of iron-rich ore deposits in China[J]. Mineral Deposits, 2013, 32(4): 685-704.
- [4] 中国矿产地志项目办.中国矿产地志·西藏卷[M].待出版,2021.
China Mineral Geology Project Office. Geology of Mineral Resources in China·Tibet Volume[M]. to be published, 2021.
- [5] 刘文灿.江孜县幅 H45C004004 亚东县幅 G45C001004(中国部分)1/25 万区域地质调查报告:上,下册[M].北京:中国地质大学(北京),2005.
Liu W C. Jiangzi County Sheet H45C004004 and Yadong County Sheet G45C001004 (Part of China) 1/250000 Regional Geological Survey Report: Volume 1 and Volume 2[M]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2005.
- [6] 段超,李延河,魏明辉,等.河北宣化姜家寨铁矿床串岭沟组底部碎屑锆石 LA-MC-ICP-MSU-Pb 年龄及其地质意义[J].岩石学报,2014,30(1):35-48.
Duan C, Li Y H, Wei M H, et al. U-Pb dating study of detrital zircons from the Chuanlinggou Formation in Jiangjiazhai iron deposit, North China Craton and its geological significances[J]. Acta Petrologica Sinica, 2014, 30(1): 35-48.
- [7] 王集源,吴家弘.吉林省元古宇老岭群的同位素地质年代学研究[J].吉林地质,1984(1):11-21.
Wang J Y, Wu J H. A preliminary study on isotopic geochronology of the Proterozoic Laoling group in Jilin Province[J]. Jilin Geology, 1984(1): 11-21.
- [8] 李厚民.沉积变质型铁矿的分类[J].矿床地质,2012,31(S1):117-118.
Li H M. Classification of sedimentary metamorphic iron deposit[J]. Mineral Deposit, 2012, 31(S1): 117-118.
- [9] Wang C L, Konhauser K O, Zhang L C. Depositional environment of the Paleoproterozoic Yuanjiacun banded iron formation in Shanxi Province, China[J]. Economic Geology, 2015, 110(6): 1515-1539.
- [10] 王惠初,苗培森,康健丽,等.吕梁群时代归属新证据[J].岩石学报,2020,36(8):2313-2330.
Wang H C, Miao P S, Kang J L, et al. New Evidence for the formation age of the Lyliang Group[J]. Acta Petrologica Sinica, 2020, 36(8): 2313-2330.
- [11] 高新宇,王登红,黄凡,等.对冀东司家营铁矿深部找矿问题的探讨[J].地质学报,2022,96(7):2494-2505.
Gao X Y, Wang D H, Huang F, et al. Discussion on deep prospec-

- ting of the Sijiaying iron deposit in eastern Hebei Province[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2022, 96(7): 2494 – 2505.
- [12] 陈光远, 黎美华, 汪雪芳, 等. 弓长岭铁矿成因矿物学专辑 第四章 角闪石[J]. *矿物岩石*, 1984, 4(2): 74 – 109.
- Chen G Y, Li M H, Wan X F, et al. Gongchangling iron ore genesis mineralogy album[J]. *Mineralogy and Petrology*, 1984, 4(2): 74 – 109.
- [13] 万渝生, 董春艳, 颜顽强, 等. 华北克拉通早前寒武纪条带状铁建造形成时代——SHRIMP 锆石 U – Pb 定年[J]. *地质学报*, 2012, 86(9): 1447 – 1478.
- Wan Y S, Dong C Y, Xie H Q, et al. Formation ages of early pre-cambrian BIFs in the North China Craton; SHRIMP zircon U – Pb dating[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2012, 86(9): 1447 – 1478.
- [14] 姚培慧. 中国铁矿志[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1993: 1 – 594.
- Yao P H. Records of China's Iron Ore Deposits[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1993: 1 – 594.
- [15] 刘利, 张连昌, 代堰镔. BIF 成因研究进展[J]. *地质科学*, 2014, 49(3): 1018 – 1033.
- Liu L, Zhang L C, Dai Y P. Research progress on the genesis of BIF[J]. *Chinese Journal of Geology*, 2014, 49(3): 1018 – 1033.
- [16] 高新宇, 王登红, 陈毓川, 等. 华北铁矿成矿系列与找矿方向[J]. *地球学报*, 2023, 44(4): 673 – 688.
- Gao X Y, Wang D H, Chen Y C, et al. Metallogenic series and prospecting direction of iron deposits in the north China block[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2023, 44(4): 673 – 688.
- [17] 毛景文, 张招崇, 杨建民, 等. 北祁连山西段铜金铁钨多金属矿床成矿系列和找矿评价[M]. 北京: 地质出版社, 2003: 1 – 420.
- Mao J W, Zhang Z C, Yang J M, et al. The Metallogenic Series and Prospecting Assessment of Copper, Gold, Iron and Tungsten Polymetallic Ore Deposits in the West Sector of the Northern Qilian Mountains[M]. Beijing: Geology Press, Beijing, 2003: 157 – 242.
- [18] Canfield D E, Zhang S C, Wang H J, et al. A mesoproterozoic iron formation[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 115(17): E3895 – E3904.
- [19] 《中国地层典》编委会. 中国地层典[M]. 北京: 地质出版社, 1996: 1 – 2482.
- Editorial Board of China Stratigraphic Code. Chinese Stratigraphic Code[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996: 1 – 2482.
- [20] Trendall A F. The significance of iron – formation in the Precambrian stratigraphic record[M]//Altermann W, Corcoran P L. Precambrian Sedimentary Environments: A Modern Approach to Ancient Depositional Systems. International Association of Sedimentologists, 2002: 33 – 66.
- [21] Lan C Y, Long X P, Zhai M G, et al. Depositional age and geochemistry of the 2.44 – 2.32 Ga granular iron formation in the Songshan Group, North China Craton: Tracing the effects of atmospheric oxygenation on continental weathering and seawater environment[J]. *Precambrian Research*, 2021, 357: 106142.
- [22] 李志红, 朱祥坤. 河北省宣龙式铁矿的地球化学特征及其地质意义[J]. *岩石学报*, 2012, 28(9): 2903 – 2911.
- Li Z H, Zhu X K. Geochemical features of Xuanlong type iron ore deposit in Hebei Province and their geological significances[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2012, 28(9): 2903 – 2911.
- [23] 王长乐, 张连昌, 兰彩云, 等. 山西吕梁古元古代袁家村铁矿 BIF 稀土元素地球化学及其对大氧化事件的指示[J]. *中国科学: 地球科学*, 2014, 44(11): 2389 – 2405.
- Wang C L, Zhang L C, Lan C Y, et al. Rare earth element and yttrium compositions of the Paleoproterozoic Yuanjiacun BIF in the Luliang area and their implications for the Great Oxidation Event (GOE) [J]. *Science China: Earth Sciences*, 2014, 57(10): 2469 – 2485.
- [24] Wang E D, Xia J M, Fu J F, et al. Formation mechanism of Gongchangling high – grade magnetite deposit hosted in Archean BIF, Anshan – Benxi area, Northeastern China[J]. *Ore Geology Reviews*, 2014, 57: 308 – 321.
- [25] Bekker A, Planavsky N J, Krapez B. Iron Formations: Their Origins and Implications for Ancient Seawater Chemistry[J]. *Treatise on Geochemistry*, 2014, 9: 561 – 628.
- [26] Pourmand A, Dauphas N, Ireland T J. A novel extraction chromatography and MC – ICP – MS technique for rapid analysis of REE, Sc and Y: Revising CI – chondrite and Post – Archean Australian Shale (PAAS) abundances[J]. *Chemical Geology*, 2012, 291: 38 – 54.
- [27] 李厚民, 陈毓川, 李立兴, 等. 中国铁矿成矿规律[M]. 北京: 地质出版社, 2012: 1 – 246.
- Li H M, Chen Y C, Li L X, et al. Metallogeny of the Iron Deposits in China[M]. Beijing: Geology Press, Beijing, 2012: 1 – 246.
- [28] 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: 1 – 536.
- Zhang Q S. Geology and mineralization of Early Precambrian in China[M]. Changchun: Jilin People's Press, 1984: 1 – 536.
- [29] 李延河, 张增杰, 侯可军, 等. 辽宁鞍山地区沉积变质型富铁矿的成因: Fe、Si、O、S 同位素证据[J]. *地质学报*, 2014, 88(12): 2351 – 2372.
- Li Y H, Zhang Z J, Hou K J, et al. The genesis of Gongchangling high – grade – iron ores, Anshan – Benxi area, Liaoning Province, NE China: evidence from Fe – Si – O – S isotopes[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2014, 88(12): 2351 – 2372.
- [30] Dai Y P, Zhu Y D, Zhang L C, et al. Meso – and Neoarchean banded iron formations and genesis of high – grade magnetite ores in the Anshan – Benxi area, North China craton[J]. *Economic Geology*, 2017, 112(7): 1629 – 1651.
- [31] Morey G B, Southwick D L. Allostratigraphic relationships of early Proterozoic iron – formations in the Lake Superior region[J]. *Economic Geology*, 1995, 90(7): 1983 – 1993.
- [32] 崔伟, 董国明, 郑思光, 等. 冀东沉积变质型铁矿成矿规律及找矿方向[J]. *地质与勘探*, 2022, 58(5): 989 – 1000.
- Cui W, Dong G M, Zheng S G, et al. Metallogenic regularity and prospecting potential of the sedimentary – metamorphic type iron deposits in Eastern Hebei Province[J]. *Geology and Prospecting*, 2022, 58(5): 989 – 1000.

[33] 李以科,柯昌辉,王登红,等. 白云鄂博矿区深边部铁矿床勘查突破及启示[J]. 矿床地质,2022,41(1):202–206.
Li Y K, Ke C H, Wang D H, et al. Important progress in prospec-

ting and exploration of iron ore in deep border area of Bayan Obo deposit, Inner Mongolia, China [J]. Mineral Deposits, 2022, 41(1):202–206.

Comparative study of Xiasima iron deposit in Tibet and typical North China iron deposits

GAO Xinyu^{1,2}, WANG Denghong², HUANG Fan², WANG Chenghui², LI Yubin³, LI Yang⁴

(1. School of the Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China;
2. Key Laboratory of Mineralization and Resource Evaluation Ministry of Natural Resources, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 3. College of Engineering, Tibet University, Tibet Lhasa 850000, China; 4. Chengdu University of Technology, Sichuan Chengdu 610059, China)

Abstract: In recent years, great achievements have been made in the exploration of sedimentary metamorphic iron deposits in North China block. However, the exploration and research degree of such iron deposits in Tibet are relatively low. By sorting out the exploration data of Xiasima deposit and comparing it with five typical deposits in North China, the authors in this paper concluded that Xiasima iron deposit belongs to granular iron formation (GIF), and the metallogenic age is Mesoproterozoic (1.80 ~ 1.25 Ga). The genesis of this deposit may be due to the oxidation and precipitation mineralization of ferrous iron in the shallow continental shelf caused by terrestrial weathering and submarine hydrothermal solution. The overall ore enrichment may be caused by the original sedimentation, leaching of magmatic hydrothermal solution, regional metamorphism and other factors. The next prospecting work should be focused on Nielamu Group and Yadong Group of the high Himalayan metallogenic sub belt, which are particularly important. Gravity and magnetic anomalies can be used as important prospecting indicators, but attentions should be paid to the interpretation of local low and slow anomalies. Fracture and folding will affect the final positioning of the ore body, and the identification of its properties should be appreciated. The comparative study of iron deposits in these two regions could also provide some references for the exploration of sedimentary metamorphic iron deposits in Tibet.

Keywords: sedimentary metamorphic iron deposits; genesis of the deposit; prospecting signs; Tibet region; North China block

(责任编辑: 魏昊明)