

doi:10.6053/j.issn.1001-1412.2022.04.013

蒙古国伊罗河铁矿床地质特征及找矿标志

马红义¹, 张林兵¹, 于志龙¹, 马雁飞², 王利霞¹, 黎红莉²

(1. 河南省地质矿产勘查开发局第二地质环境院, 郑州 450053;

2. 河南省地质矿产勘查开发局第二地质环境调查院, 郑州 451464)

摘要: 蒙古国伊罗河铁矿床属于华力西晚期形成的接触交代型铁矿床, 探获资源量近 10×10^8 t, 矿床平均品位 $>50\%$, 外围有多个探明铁矿产地及找矿远景区, 周边潜在资源量 $30 \times 10^8 \sim 40 \times 10^8$ t。为探讨该区域接触交代型铁矿床的成矿地质规律, 本文从伊罗河铁矿的成矿地质背景、矿区地层、构造、岩浆岩、变质作用分析入手, 以其东矿段 I 号矿体为例详细论述矿体形态、规模、产状、赋矿岩性特征, 通过矿石样品测试分析阐述矿物组成特征、化学成分、矿石结构构造、磁铁矿粒度及成矿阶段等, 初步总结了矿床成因和找矿标志。

关键词: 伊罗河铁矿床; 矿床地质特征; 找矿标志; 蒙古国

中图分类号: P618.31; P613 **文献标识码:** A

0 引言

蒙古国位于我国北部, 铁矿资源丰富, 铁矿成因类型较齐全, 有矽卡岩(接触交代)型、沉积变质型、火山沉积型、岩浆热液型等矿床。近年来, 秦增刚、冯昌格、张璟、张莉莉等^[1-4]对蒙古国内铁矿成矿地质特征进行了研究, 江思宏等^[5-6]对蒙古国内铜铅矿床成矿地质条件及成矿规律进行了分析。

伊罗河铁矿^{①②}位于蒙古国北部色楞格省, 矿区中心点地理坐标为 $E107^{\circ}04'20''$ 、 $N49^{\circ}38'31''$, 该矿是近些年来地质勘查工作取得的重大进展。初步“探明+控制+推断”铁矿石资源量近 10×10^8 t, 与其周边图木尔泰铁矿^[7]、呼斯泰铁矿、图木尔陶勒盖铁矿、巴彦戈勒铁矿、扎赫查格乌拉铁矿等组成了呈 NE 向展布的铁矿带, 受巴彦戈勒大断裂控制。整个铁矿带长约 420 km。本文基于蒙古国伊罗县伊罗河矿区铁矿勘探工作, 从地层岩性、构造、岩浆岩、矿石质量等特征及成因分析入手, 总结出成矿规律, 通过对比研究^[8]为进一步开展境外铁矿找矿提供参考。

1 成矿地质背景

矿区位于蒙古北部褶皱系塔里亚特—色楞格褶皱带和蒙古阿木尔褶皱系的衔接地带。该褶皱带的南东侧为北肯特褶皱带, 北西侧为色楞格火山岩带。两个褶皱系以伊罗河断层为分界。在蒙古国铁矿成矿区带划分上, 属巴彦戈勒铁矿带, 带内构造复杂, 岩浆活动剧烈, 矽卡岩型、热液型铁矿分布较多(图 1)。

区域地层主要为下寒武统达尔罕组。下部岩性为砂岩、页岩层, 岩性以暗灰色薄板状砂岩、凝灰岩和砂岩为主, 夹有安山玢岩、硅质岩、千枚状页岩等, 厚度约 2 km; 上部岩性为砂岩、砾岩层, 岩性以块状砂岩、砾岩为主, 夹有暗灰色泥岩和千枚状页岩, 厚度约 2.2 km。两者呈断层接触, 岩层内部构造复杂, 褶皱断裂发育, 具有浅—中等程度的变质作用。

伊罗河断层带是区域的主要断裂构造, 其走向 NEE, 延长数十千米, 沿构造带有大量中基性岩浆岩侵入, 断层带上磁力异常显著, 常见有铁矿床呈带状分布, 说明断层切割深度较大, 是重要的导矿、控矿构造。除区域性的断层外, 可见到许多次级的 NW 向、NE 向的小断层。

收稿日期: 2022-03-01; 改回日期: 2022-09-05; 责任编辑: 赵庆

作者简介: 马红义(1968—), 男, 学士, 教授级高级工程师, 从事地质勘查及研究工作。通信地址: 河南省郑州市金水区南阳路 56 号地矿大厦 407; 邮政编码: 450053; E-mail: xcmahongyi@163.com

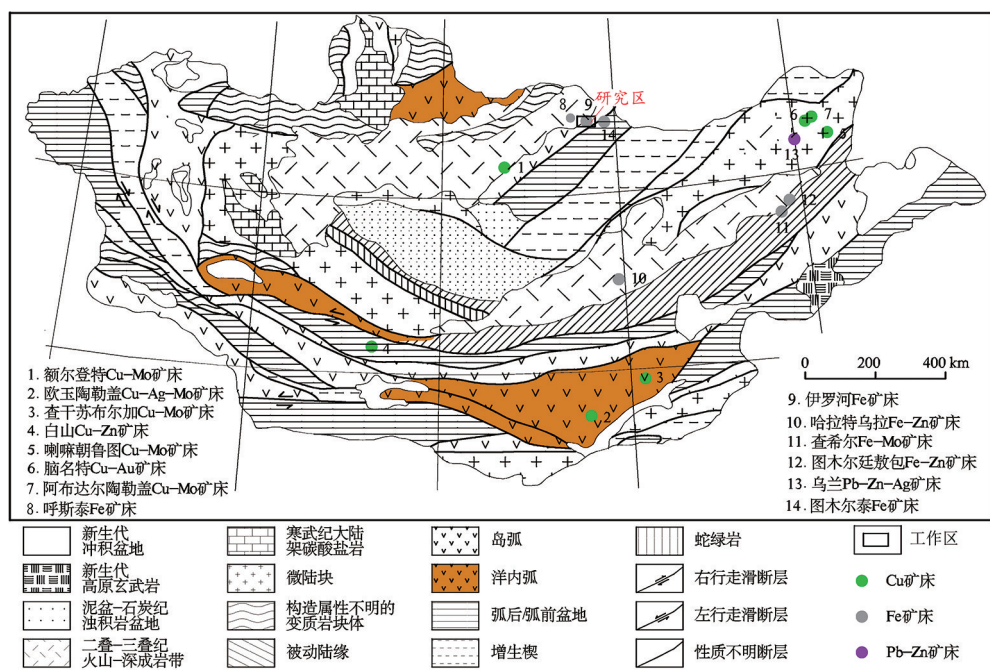


图 1 蒙古国主要金属矿床分布图(据文献[4], 修编)

Fig. 1 Map showing distribution of metal deposits in Mongolia

岩浆岩以华力西晚期侵入杂岩体为主, 沿北东方向侵入达尔汗组中, 岩体大小 $1 \sim 150 \text{ km}^2$ 。依据岩石学特征分为两个侵入岩相, 第一个侵入岩相为含碱质较高的辉长岩、石英闪长岩、闪长岩、花岗闪长岩和斜长花岗岩, 第二个侵入岩相为淡色正长花岗岩。与岩体同期相伴的岩脉还有辉长岩、闪长岩、微晶闪长岩、闪长玢岩、辉绿玢岩等。

2 矿区地质特征

2.1 地层

矿区出露地层主要为达尔汗组中的变质砂岩、页岩、泥岩、板岩、片岩等变质岩系, 以砂岩最为常见。由于后期花岗岩类、闪长岩类的侵入, 岩石普遍角岩化、片理化、混合岩化, 岩石变得坚硬, 片理和条带发育。达尔汗组在矿区以向斜构造的形式分布, 中部地层新, 南北两侧地层老(图 2)。

2.2 构造

除区域性的伊罗河断裂出露在矿体的西北部外, 矿区内亦有断裂构造, 呈 NW-NE 向展布, 区内见 5 条, 长 $350 \sim 800 \text{ m}$, 分别切断区内多个矿体。断裂沿达尔汗组形成的向斜构造两翼发育, 走向 60°

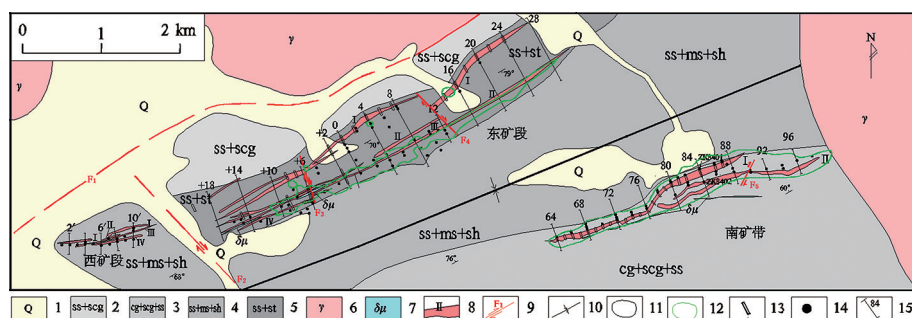


图 2 伊罗河铁矿区地质简图

Fig. 1 Geological sketch of Yiluo river Fe deposit

1. 第四系; 2. 砂岩、砂砾岩; 3. 砾岩、砂砾岩、砂岩; 4. 砂岩、泥岩、页岩; 5. 砂岩、粉砂岩;
6. 华力西晚期花岗岩; 7. 华力西晚期辉长岩; 8. 铁矿体及编号; 9. 推测断层; 10. 向斜轴线;
11. 岩性界线; 12. 磁异常; 13. 探槽位置; 14. 钻孔位置; 15. 勘查线及编号

~70°。断层具有剪切平移特征,在成矿前、成矿后均有活动。不同时期、不同方向的断层在矿区内非常发育,往往使矿体形态复杂化。

2.3 岩浆岩

主要为华力西晚期花岗岩、闪长岩。大规模的花岗岩体出露于矿区北西部,闪长岩体出露于中矿段,辉长岩体出露于东矿段东部。矿区内达尔汗组中脉岩发育,岩性有闪长岩、闪长玢岩、辉绿岩等。其中,微晶闪长岩、闪长玢岩岩脉最为常见且与矿体空间关系密切,它们常为矿体的上下盘或在矿体中间呈夹石出现,且含有浸染状磁铁矿化,品位达20%~25%。

中生代酸性岩脉偶见,岩性为流纹斑岩、花岗斑岩、石英斑岩等。

2.4 变质作用及围岩蚀变

矿区除第四系外,地层均遭受变质。区内变质岩具有纵向成层叠置、横向面式展开的变质格局,变质程度不深,沉积构造保存较好。

达尔汗岩系普遍遭受浅-中等程度的变质作用,形成变质砂岩、板岩、千枚岩、片岩等变质岩。沿构造带或矿体附近变质作用增强,岩石遭受更强烈的热力及动力作用,形成角岩、片岩、甚至是混合岩。岩石中劈理、片理、条带状构造发育,这些岩层构造与地层层理、断层产状基本一致,反映了应力方向。

在矿体或断层附近围岩蚀变作用强烈,蚀变类型有硅化、角岩化、矽卡岩化、绿帘石化、绿泥石化、黑云母化、方解石化等,其中角岩化、矽卡岩化与矿体关系最为密切。

3 矿床地质特征

3.1 矿体特征

按照矿体的空间分布位置,将伊罗河铁矿床分成南北2个矿带,分别位于向斜的南北两翼。北翼的北矿带又依据出露情况分为西矿段和东矿段,西矿段和东矿段总体方向一致,磁性异常是连续的,应为同一条矿化带。2个矿段相距约1 km,推测被NW向断层切断。

矿区共发现10个矿体,其中西矿段4个,东矿段4个,南矿段2个。各矿体特征见表1所述。

本次研究区位于勘查区的东部(南矿段),由2个矿体构成,分别为Ⅰ、Ⅱ号矿体,矿体呈似层状沿东西向分布。在伊罗河上游支流的萨尔高勒河流域北边界的山脊分水岭部位上均有露头出露。赋存于达尔汗—图木尔泰构造带向斜南翼的围岩中,走向近EW,倾向WN,倾角70°~82°。矿体长2200~2600 m,深度大于600 m,真厚度40~50 m,2个矿体在形态和构造特征方面有所不同。最大的Ⅰ号矿体正好在伊罗河向斜东南分支上,Ⅱ号矿体位于Ⅰ号矿体南约80 m处,两者呈雁列式排列。Ⅰ号矿体为单一脉状矿床,Ⅱ号矿体为复脉型矿床,沿走向分支复合、膨胀收缩现象Ⅱ号比Ⅰ号明显。

下面以Ⅰ号矿体为例,详述其矿体特征。

Ⅰ号矿体地表由100~200 m槽探工程(TC1—TC18)及生产过程中的台阶工程揭露,深部由ZK6401—8002、8101、8204、8401、8603、8604、8701、8701-E等钻孔沿矿体走向工程间距100~200 m控制(图3)。控制矿体长度2580 m(64~88 勘查线之间),深度一般为300~600 m,钻孔控制的最大斜深达700 m,根据物探资料显示,矿体在深部延伸较深。矿体走向65°~70°,矿体东部80 勘查线由SE-NW

表1 伊罗河铁矿矿体特征

Table 1 Characteristics of ore bodies of Yiluo river Fe deposit

矿段	矿体 编号	矿体 形态	控制 矿体长/m	倾向	倾角/°	控制矿体 最大斜深/m	平均 厚度/m	厚度变化 系数/%	平均 品位/%	品位变化 系数/%	矿石量 /10 ⁴ t
南矿带	Ⅰ	层状	走向 2580	NW	70~85	700	42.57	42	52.72	16	38387
	Ⅱ	层状	长 2270	NW	70~85	660	53.12	51	48.52	24	401007
东矿段	Ⅰ	似层状	长>4000	SSE	70	320	39.39	48	42.36	18	17703
	Ⅱ	层状	控制长 3100	SSE	70~78	300	17.86	36	43.81	16	3795
	Ⅲ	不规则似层状	控制 3150	SE	70~75	320	22.73	49	54.86	22	4526
	Ⅳ	似层状	长 1310	SE	70~72	320	19.42	45	43.81	19	1491
西矿段	Ⅰ	透镜状	断续长>1000	SSE	80	>230	30.61	10	49.4	6	433
	Ⅱ	似层状	长 550	SSE	80	>100	10.35	56	53.79	10	303
	Ⅲ	层状	长>1000	SSE	78	>260	15.77	67	52.99	17	1567
	Ⅳ	透镜状	长度 660	S	74	>250	18.97	48	57.43	9	801

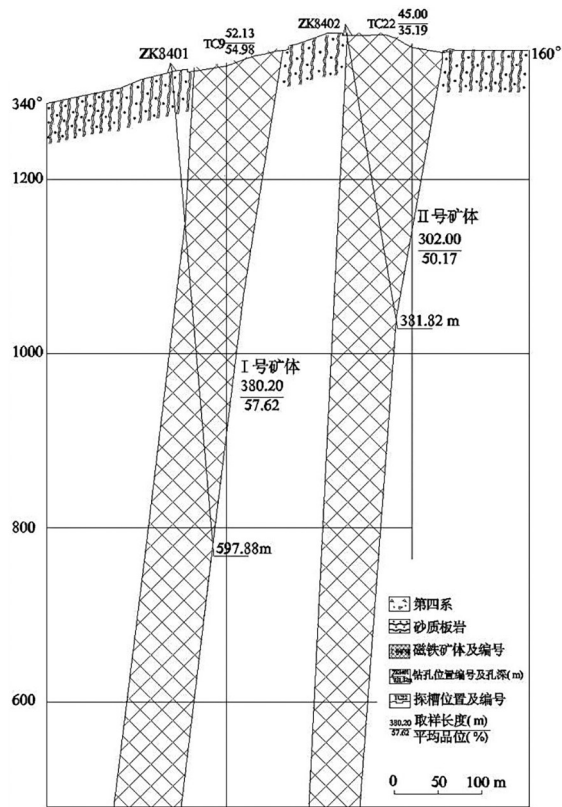


图 3 伊罗河铁矿区 84 勘查线剖面图

Fig. 3 Section of line 84 in the deposit of Yiluo river Fe deposit

受局部断层影响,走向转为 40° ,并且矿体在此发生膨胀拉伸,倾向 NW,倾角 $70^\circ \sim 85^\circ$ 。矿体呈层状、似层状、大脉状,延伸较稳定,局部有分支复合现象。矿体厚度 $3.00 \sim 78.92$ m,平均厚度 42.57 m,厚度变化系数 42% ;原生矿石铁平均品位 52.72% ,品位变化系数 16% ,全部为富矿石。矿体厚度和品位变化不大,矿体的氧化带不深(为 $15 \sim 20$ m)。氧化带产出较多的是假象赤铁-磁铁矿和磁铁矿,颜色从褐色到钢灰,中小颗粒,局部氧化程度加强,且浸染、富集有透辉石、阳起石、辉石、云母和蛇纹石等。

矿体顶底板围岩为千枚状页岩、粉砂岩、碎屑砂岩,距矿体上下盘 $2 \sim 7$ m 内岩层角岩化、片理化、混合岩化强烈,岩石变得坚硬,片理和条带极发育,矿体两侧岩层千枚状页岩和砂岩中 $w(\text{TFe})$ 值为 $6.34\% \sim 21.46\%$,大理岩中为 9.83% ,岩脉中为 $14.75\% \sim 39.34\%$ 。

3.2 矿石质量

(1) 矿物成分

矿石中金属矿物主要有: $\varphi(\text{磁铁矿})=72.0\%$ 、 $\varphi(\text{褐铁矿})=5.1\%$ 、 $\varphi(\text{赤铁矿, 黄铁矿})=1.5\%$ 、

$\varphi(\text{磁黄铁矿})=0.2\%$,少量钛铁矿、黄铜矿。脉石矿物主要为 $\varphi(\text{透闪石})=12.1\%$,其次为 $\varphi(\text{石英})=2.2\%$ 、 $\varphi(\text{钾长石})=1.4\%$ 、 $\varphi(\text{透辉石})=1.6\%$,以及少量的 $\varphi(\text{磷灰石})=0.5\%$ 、 $\varphi(\text{黑云母})=0.3\%$ 、 $\varphi(\text{绿泥石})=1.3\%$ 等, $\varphi(\text{其它矿物})=1.8\%$ 。

(2) 主要矿物特征

磁铁矿。磁铁矿是矿石中最主要的金属矿物,也是最重要的回收对象。颜色为深灰-钢灰色,中粗粒结构,致密块状构造,局部含有少量不均匀浸染状硫化铁、极少量硫化铜。磁铁矿主要呈粗粒半自形、它形晶粒状或粒状集合体的形式产出(图 4a);少量以细粒不规则状嵌布在脉石矿物中(图 4b)。其中,部分磁铁矿的裂隙和颗粒间隙被褐铁矿充填交代,另有少量磁铁矿以包体形式嵌布在黄铁矿和褐铁矿中,有时可见磁铁矿中包裹有细粒的黄铁矿和细脉状的褐铁矿,偶尔可见磁铁矿中包裹有微细粒的磁黄铁矿和黄铜矿包体,包体粒度一般都小于 0.010 mm。总之,矿石中的磁铁矿整体嵌布粒度较粗,与脉石矿物及其它硫化物的嵌布关系比较简单,所以粗磨即可使矿石中的磁铁矿单体解离比较充分。

褐铁矿。褐铁矿是矿石中重要的铁矿物之一,主要呈不规则状产出,常与磁铁矿共生在一起,有时可见其中包裹有细粒的磁铁矿包体(图 4c),其次以细脉状嵌布于脉石矿物和磁铁矿中(图 4d),有时可见褐铁矿充填于磁铁矿的颗粒间隙之中形成镶边结构,偶尔可见细粒不规则状褐铁矿以包体形式嵌布于磁铁矿中。矿石中的褐铁矿相对富集于矿石中的局部区域,嵌布粒度比磁铁矿较细,多介于 $0.020 \sim 0.417$ mm 之间,且与磁铁矿的嵌布关系比较密切,在粗磨的情况下可与磁铁矿一同进入到铁精矿中综合回收利用。

黄铁矿。黄铁矿是矿石中最主要的硫的独立矿物。黄铁矿主要呈它形晶粒状嵌布在脉石矿物中,其次可见与磁铁矿以及黄铜矿共生在一起,有时可见其中包裹有细粒的磁铁矿和黄铜矿颗粒,部分黄铁矿以包裹体形式嵌布于磁铁矿中,偶尔可见黄铁矿以细脉状嵌布于脉石矿物中。总之,矿石中的黄铁矿嵌布粒度较粗,多为 $0.043 \sim 0.833$ mm,虽然其常与磁铁矿连生在一起,但二者的连生关系比较简单,易于解离,因此只需进行粗磨矿,就可以达到比较理想的单体解离效果。

磁黄铁矿。磁黄铁矿也是重要的硫的独立矿物之一,但相对含量很低。磁黄铁矿主要呈微细粒不规则状以包裹体形式嵌布在磁铁矿中,包裹体粒度

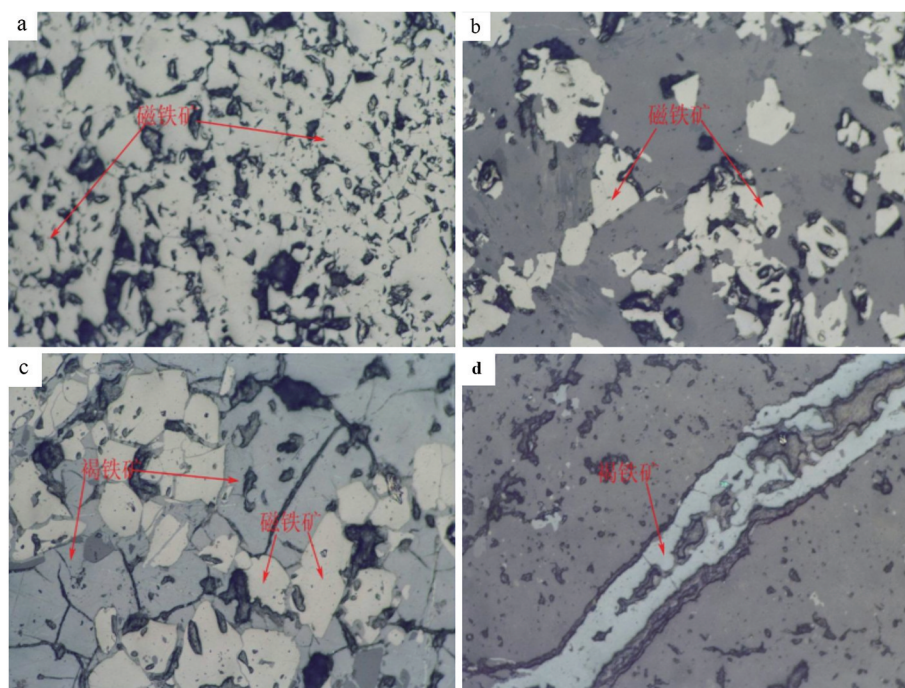


图 4 铁矿显微照片

Fig. 4 Micrograph of the Fe ore

- a. 磁铁矿呈粒状集合体的形式产出(反光 260 $\times$);
 b. 磁铁矿以细粒不规则状嵌布在脉石矿物中(反光 260 $\times$);
 c. 褐铁矿与磁铁矿的嵌布关系(反光 260 $\times$);
 d. 褐铁矿以细脉状嵌布于脉石矿物中(反光 260 $\times$)

一般都在 0.020 mm 之下,偶尔可见少量的磁黄铁矿嵌布在黄铁矿和脉石矿物中。由于在选矿的过程中随磁铁矿一同进入铁精矿中,所以对铁精矿质量造成一定的影响。

脉石矿物是硅酸盐和碳酸盐,少量的磷灰石、电气石、锆石、锐钛矿,主要是以不均匀斑点形式出现,少数条带状或浸染状。脉石矿物中透闪石分布最为广泛,有时形成透闪石矽卡岩,成分是阳起石、角闪石、透闪石,少量的三斜辉石、透辉石等;绿泥石广泛发育,分布在磁铁矿和其它矿物晶体之间;石榴石和辉石类主要是钙铝榴石和透辉石;绿帘石存在于矿石中,含量变化大,形成颗粒状聚集体;长石主要是钠长石,与磁铁矿、石英、绿泥石相伴;石英在矿体中分布广泛,主要为隐晶质,脉体宽度达 1~3 mm。

(3) 矿石化学成分

矿石的主要化学成分: $w(\text{Fe})=56.97\%$ 、 $w(\text{S})=0.65\%$ 、 $w(\text{P})=0.087\%$ 、 $w(\text{Al}_2\text{O}_3)=1.02\%$ 、 $w(\text{SiO}_2)=8.56\%$ 、 $w(\text{CaO})=2.60\%$ 、 $w(\text{MgO})=1.77\%$ 、 $w(\text{K}_2\text{O})=0.25\%$ 。表明矿石的铁品位较高(56.97%)及有害杂质元素 S 含量较高(0.65%),而 P 含量较低。

光谱分析结果表明,矿石还含有如下伴生物质: $w(\text{Ga})=0.002\%\sim 0.03\%$ 、 $w(\text{Mo})=0.001\%\sim 0.06\%$ 、 $w(\text{Ni})=0.002\%\sim 0.03\%$ 、 $w(\text{Pb})=0.001\%\sim 0.003\%$ 、 $w(\text{Sr})=0.01\%$ 、 $w(\text{V})=0.004\%\sim 0.03\%$ 。

矿石中铁的化学物相分析结果见表 2。矿石中铁主要以磁铁矿形式存在,占总量的 89.02%;以硫化铁形式存在的铁很低,其中磁黄铁矿中铁只占总量的 0.25%,对磁铁矿精矿质量影响很小。

(4) 矿石结构、构造

矿石结构主要为半自形中-粗粒状结构和它形粒状结构。矿石构造主要为致密块状,少数为条带状构造、细脉浸染状构造和角砾状构造。

(5) 矿石自然类型

区内见有原生磁铁矿、半假象赤铁矿(弱氧化)2 种矿石类型。原生磁铁矿在矿床中呈中粗粒状结构、块状构造,块状矿石品位较高,为富矿石,主要分布在西矿段和东矿段 I 号矿体。半假象赤铁矿(弱氧化)主要分布在矿体的顶部,一般厚度 0~20 m,品位在 60% 以上,是优质的铁矿石。

表 2 矿石中铁的物相分析结果
Table 2 Physical phase analysis of the Fe ore

矿石类型	元素存在的相	磁性铁中铁	磁黄铁中铁	硫化物中铁	赤、褐铁中铁	硅酸铁中铁	总量
铁矿石	含量/%	50.68	0.14	0.71	3.53	1.87	56.93
	占有率/%	89.02	0.25	1.25	6.20	3.28	100.00

表 3 矿石中磁铁矿嵌布粒度组成情况
Table 3 Grain size composition of magnetite of the Fe ore

粒级/mm	磁铁矿		粒级/mm	磁铁矿		粒级/mm	磁铁矿	
	含量/%	累计/%		含量/%	累计/%		含量/%	累计/%
>2	1.23	1.23	0.417~0.295	13.42	48.36	0.043~0.020	4.76	99.40
2~1.651	2.49	3.72	0.295~0.208	8.91	57.27	0.020~0.015	0.25	99.65
1.651~1.168	5.09	8.81	0.208~0.147	12.96	70.23	0.015~0.010	0.13	99.78
1.168~0.833	4.26	13.07	0.147~0.104	5.95	76.18	<0.010	0.22	100.00
0.833~0.589	11.40	24.47	0.104~0.074	10.78	86.96			
0.589~0.417	10.47	34.94	0.074~0.043	7.68	94.64			

3.3 矿石中磁铁矿的粒度组成及嵌布特征

2008 年 3 月, 矿业权人委托北京矿冶研究总院进行了选矿试验研究, 结果表明, 矿石中重要矿物磁铁矿的嵌布粒度在显微镜下用线段法进行了系统的测定, 其结果见表 3。

从表 3 中可以看出, 矿石中的磁铁矿以粗、中粒产出为主, 在 +0.074 mm 粒级中, 磁铁矿的占有率达 86.96%; 而在 -0.010 mm 粒级中, 磁铁矿的占有率仅为 0.22%。只要进行粗磨矿, 单体解离就会比较充分。

对磨矿细度为 -0.074 mm 粒级占 44% 的磨矿产品中磁铁矿的单体解离度进行了测定, 结果表明: 磁铁矿的单体解离度为 73.4%, 与褐铁矿连生体占 12.3%, 二者总计 85.7%, 与其它脉石矿物连生体占 14.3%, 可见当磁铁矿与其它脉石矿物解离比较充分时, 大部分褐铁矿仍与磁铁矿连生, 可一同被选入铁精矿综合回收利用, 将有利于铁回收率的提高, 这与矿石中磁铁矿的粒度特征及其与褐铁矿等的嵌布关系相一致。

3.4 成矿阶段划分

基于原生矿石为含硫化物的磁铁矿, 该矿床应属接触-交代作用形成的铁矿床。根据磁铁矿的形成时间分为 3 期: 早期磁铁矿与硅酸盐矿物同时形成, 夹杂在硅酸盐矿物之间; 中期磁铁矿出现在主成矿期, 分布最广泛, 形成矿体, 磁铁矿晶体为 0.2~1.0 mm 的等轴型普通聚集体, 在大的聚集体中有石英、长石、辉石残留颗粒, 少量硫化物析出与磁铁矿化有关; 晚期磁铁矿与硫化物有关, 磁铁矿晶体颗粒达 3~5 mm。

矿石中的硫化物主要为黄铁矿、钙质黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿, 少量的砷质黄铁矿、闪锌矿和辉钼矿。矿石中硫化物含量小于 10%。硫化物存在的形式多为均匀分散的浸染状和细脉状。最常见的是黄铁矿和磁黄铁矿。矿石中的黄铁矿分为两期: 早期黄铁矿与磁黄铁矿混合生长, 呈浸染状被夹杂在磁铁矿晶粒间, 单个晶体颗粒大小达到 0.13~3 mm; 晚期黄铁矿与磁黄铁矿和钙质黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、辉钼矿共生。

4 成因初探

伊罗河铁矿床产于华力西晚期花岗岩类、闪长岩类侵入体与达尔汗组的外接触带, 矿体受断裂构造控制, 基于矿体产出特征、矿石组分及组构特点, 应属于接触-交代作用形成的铁矿床(接触交代型铁矿床), 成矿时代属于早二叠世。可将该铁矿床的形成分为两个阶段, 即岩浆侵入阶段和矿石成矿阶段。

(1) 岩浆侵入阶段: 华力西晚期花岗岩、石英闪长岩、闪长玢岩通过构造或裂隙侵入到寒武系达尔汗组中的碎屑岩和碳酸盐岩中, 使接触带附近的围岩和岩脉产生了重结晶和角岩化作用, 形成了大理岩、角岩和结晶片岩等, 在混合岩化过程中, 角岩化表现最强烈, 在后期还伴随着镁和铁质的少量带入。

(2) 铁的成矿阶段: 岩浆侵入后期使围岩产生了活化和破碎, 老的断裂和裂隙进一步扩大, 同时又产生了新的断裂和裂隙构造, 这些新老构造通道对于岩浆溶液的交代和成矿起到积极的作用, 在高温条

件下(600~800 °C),富含 Fe、Mg、Cl、F、B、O₂、CO₂ 和水蒸气的岩浆溶液沿着通道扩散侵入,并和碳酸盐、硅酸盐、铝代硅酸盐及其它岩石发生强烈的交代作用,形成了各种蚀变矿物和铁矿石。根据岩浆岩的期次、矿物的矿物成分、化学成分等的不同,又可将成矿期细分为 2 期:

①成矿前期

成矿前期最早是含钠长石岩浆(辉绿岩、闪长岩、含钠玢岩)的喷出和结晶作用以及围岩的钠长石化,在以钠长玢岩为代表的岩浆岩的碱性交代作用下,由于钠和硅的渗入,导致围岩中大量的铁、钙、钾等组分的析出,其中的铁质成分则以磁铁矿形式部分富集到钠长玢岩中,另一部分呈浸染状重新回到围岩中,但都没有形成矿体,只是使围岩产生了一定的蚀变现象,蚀变矿物组合钠长石-方柱石-阳起石-磁铁矿。

在进一步的接触变质过程中,随着温度的逐渐降低,含钙、镁、亚铁离子的岩浆热液硅酸盐、碳酸盐发生交代作用,形成矽卡岩。在进一步的成矿过程中,大量的铝、铁、镁进入矽卡岩中,多余的硅、钙析出,随着铁的不断带入,其它组分都被析出,最终产生磁铁矿的富集。这一阶段最显著的特征是矽卡岩化,但由于又被其它蚀变矿物和磁铁矿所替代,所以保存的矽卡岩较少。

在温度的进一步降低过程中,矽卡岩的矿物组合越来越不稳定,除了被磁铁矿不断充填富集外,还产生了新的蚀变矿物组合绿帘石-钠长石-阳起石,同时产生大量的硫化物,硫和其中的铁、铜相互作用形成了第一代的黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿等,此为铁矿石的主要成矿阶段。

②成矿后期

前期成矿作用结束以后,由于环境的变化和构造运动的影响,使矿体内部发生变化,富含二氧化硅、硫的热水溶液不断迁移进入矿体内部或接触带,在硫化物的作用下,首先形成磁黄铁矿,然后形成黄铁矿和石英脉,并形成细粒的磁铁矿,含有少量的闪锌矿。最后进入表生作用期,接近地表的矿体经历氧化和风化作用,产生弱氧化矿石,成分为假象赤铁矿-磁铁矿,脉石矿物组合为绿泥石-绿帘石-钠长石

-阳起石。

5 找矿标志

(1)NE—近 EW 向断裂构造带是主要的导矿和容矿构造,是找矿的有利部位;

(2)达尔汗组中向斜构造两翼浅变质岩系是主要的含矿围岩,是重要的含矿部位;

(3)晚古生代岩浆活动,特别是中基性岩脉的出现成为含矿热液活动的中心部位;

(4)地表半假象赤铁矿、铁帽是直接找矿标志;

(5)地质条件优越地段的角岩化、矽卡岩化、硅化等围岩蚀变为找矿的直接标志;

(6)有一定规模和一定强度的地磁异常,是良好的找矿标志。

注释:

- ① 马红义,印修章,董永志,等. 蒙古国色楞格省伊罗县伊罗河矿区铁矿勘探报告[R]. 郑州:河南省地质矿产勘查开发局第二地质环境调查院,2014.
- ② 马红义,印修章,董永志,等. 蒙古国色楞格省伊罗县拉勒高特矿区铁矿勘探报告[R]. 郑州:河南省地质矿产勘查开发局第二地质环境调查院,2014.

参考文献:

- [1] 秦增刚. 浅谈蒙古国矽卡岩型铁矿资源[J]. 西部资源,2015(1): 152-153.
- [2] 冯昌格,王玉杰,李昌凯. 蒙古国东戈壁省达图铁矿床地质特征及找矿标志[J]. 矿物学报,2015(S1): 1078-1079.
- [3] 张璟,王宇利,成龙. 蒙古国中戈壁省哈拉特乌拉铁矿床地质特征[J]. 矿物学报,2017(S1): 887-888.
- [4] 张莉莉,江思宏,王怀坤,等. 蒙古国东部矽卡岩型铁多金属矿床成矿岩体年代学及地球化学[J]. 地球科学,2022(8): 2856-2870.
- [5] 江思宏,聂凤军,苏永江,等. 蒙古国额尔登特特大型铜-钼矿床年代学与成因研究[J]. 地球学报,2010,31(3): 289-306.
- [6] 江思宏,韩世炯,陈郑辉,等. 蒙古国铜矿床成矿规律[J]. 地质科技情报,2019,38(5): 1-19.
- [7] 付艳丽,刘新山. 蒙古国图木尔铁矿区地质特征[J]. 中国科技信息,2005(10): 119.
- [8] 王瑜,李朗田,苏绍明. 鄂东铁矿成矿地质特征与找矿预测[J]. 地质与勘探,2007,43(1): 17-25.

Geological characteristics and respecting marks of Yiluo river Fe deposit in Mongolia

MA Hongyi¹, ZHANG Linbing¹, YU Zhilong¹, MA Yanfei², WANG Lixia¹, LI Hongli²

(1. No. 2 Institute of Geology and Environment of Geology and Mineral resources Development

Bureau of Henan Province, Zhengzhou 450053, China;

2. No. 2 Geological Exploration Institute, Henan Bureau of Geology and Mineral Resources

Development, Zhengzhou 451464, China)

Abstract: Yiluo River Fe deposit is a Late Variscian deposit with 1 billion tons of Fe ore resources. The average grade is $>50\%$ Fe. In surroundings of the deposit there are several Fe ore occurrences and potential areas for further prospecting, with potential mineral resources estimated at $30 \times 10^8 - 40 \times 10^8$ tons. In the paper metallogenic background, strata, structure, magmatic rock and metamorphism of the deposit are dealt with to explore its metallogenic law. Morphology, size, occurrence, host rock characteristics of ore body 1 in the east domain, mineralogy, chemical composition, structure and texture, grain size of magnetite of the ore and metallogenic stage of the deposit are detailly described and genesis of the deposit and prospecting marks pointed out.

Key Words: Fe deposit; geological characteristics of the deposit; prospecting mark; Yiluo river; Mongolia