

辽宁凤城翁泉沟硼铁矿床磁铁矿的成因研究

王慧媛¹ 彭晓蕾²

(1. 北京大学 造山带与地壳演化重点实验室, 北京 100871;

2. 吉林大学 地球科学学院, 吉林 长春 130061)

摘要:辽宁凤城翁泉沟硼铁矿床产于古元古代辽吉裂谷带, 赋存于下辽河群的含硼岩系里尔峪组中。其矿石矿物主要为硼镁铁矿、磁铁矿和硼镁石等; 脉石矿物主要为蛇纹石、白云石、金云母等。翁泉沟硼铁矿床中的磁铁矿分为 3 种类型: 变质形成的粗粒磁铁矿 (I 型)、热液蚀变而成的细粒磁铁矿 (II 型) 和网脉状磁铁矿 (III 型), 其中, I 型显示均质性, II、III 型显示非均质性。均质性磁铁矿的镁、铝元素含量高于非均质性磁铁矿, 硅含量低于非均质性磁铁矿, 导致前者硬度高于后者。元素含量差异可能是磁铁矿发生非均质化的原因。研究结果表明, 翁泉沟矿床的成矿过程包括了沉积变质和后期热液叠加作用。

关键词: 硼铁矿床; 磁铁矿; 化学成分; 成因

中图分类号: P618.31 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2008)06-1299-08

磁铁矿为等轴晶系、高硬度、均质性矿物^[1], 但辽宁翁泉沟硼铁矿床的部分磁铁矿反射率和显微硬度较低, 显示非均质效应。翁泉沟硼铁矿床的研究程度相对较高, 硼铁矿的矿物学研究、矿石特征、工艺矿物学、包裹体特征、成矿作用等均有报道, 但矿床成因认识仍未统一^[2-7]。鉴于磁铁矿是翁泉沟硼铁矿床的主要矿石矿物之一, 笔者详细研究了翁泉沟硼铁矿床磁铁矿的类型、特征及其差异, 讨论了磁铁矿特征变化的原因, 确定翁泉沟矿床磁铁矿经历了沉积变质和后期热液叠加, 进而认为翁泉沟硼铁矿床的形成经历了沉积变质和后期热液叠加两个过程。

1 地质背景

翁泉沟硼铁矿床处于中朝克拉通东北部的辽吉地块, 属营口—宽甸—集安隆起带。辽吉地块盛产硼矿床, 赋矿岩群为古元古代辽河群、集安群变质岩系, 沉积于辽吉裂谷^[8](图 1), 裂谷主断裂位于营口—凤城—宽甸—一线, 沉降中心位于虎皮峪—红石砬子一带。在沉降中心, 海底火山活动频繁, 变火山岩的硼含量为同类火山岩的数十倍至数百倍, 为硼

成矿提供了有利的物质来源。硼矿床产于富镁碳酸盐岩中, 具有一定的层位。其中, 翁泉沟超大型硼铁矿床赋存于该裂谷的中心凹陷带。

多数学者将辽吉地块古元古代地层合称为辽河群, 并由下而上分为 5 个组^[9]: 依次是浪子山组、里尔峪组、高家峪组、大石桥组和盖县组。辽河群沉积时限为 2.3~1.86 Ga, 其中浪子山组、里尔峪组、高家峪组和大石桥组可能形成于 2.2~2.174 Ga, 而盖县组应形成于 2.021~1.86 Ga^[10-13]。

翁泉沟硼矿区及其邻区的主要褶皱构造为近东西向的线状紧闭复式背斜和向斜。由北而南, 3 个规模较大的复式褶皱依次为英洛—草河口—太平哨复向斜, 虎皮峪—红石砬子—清河复背斜, 盖县—岫岩—古楼子复向斜。断裂构造主要为北北东向断裂, 切割辽河群地层。

不同时期的侵入岩多数出露于古元古代的隆起带上, 总体呈东西向分布。古元古代岩体数量多、规模小, 呈岩株产出, 多为闪长岩类。中生代早期岩浆侵入作用强烈, 岩体规模大且广泛发育, 多为斑状二长花岗岩。中生代晚期岩浆侵入岩以花岗岩类为主,

收稿日期: 2008-12-01; 改回日期: 2008-12-08

基金项目: 国家“973”项目(2006CB403508)资助。

作者简介: 王慧媛, 女, 1986 年生, 博士生, 实验地球化学专业, E-mail: wanghuiyuan1986@126.com。

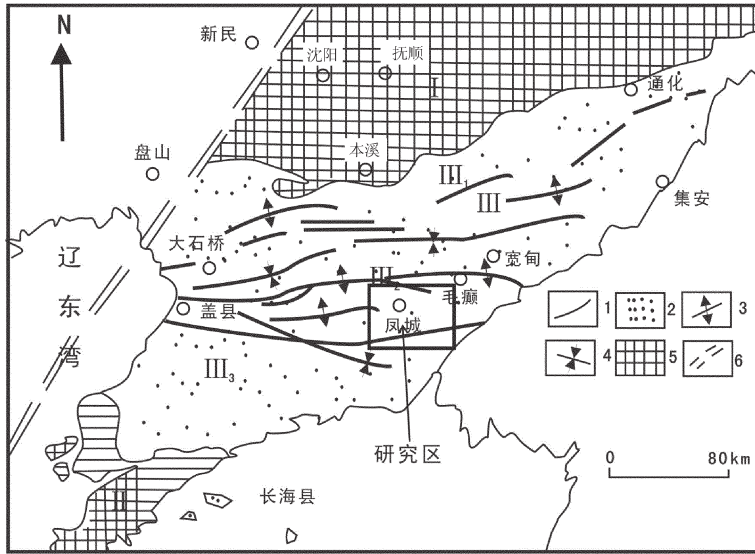


图1 辽吉裂谷带构造分区略图^[8]

I—北部古陆；II—南部古陆；III—辽东裂谷；III₁—北缘斜坡；III₂—轴部凹陷；III₃—南缘浅台；1—构造岩相分区界线(深断裂带)；2—裂谷沉积；3—背斜；4—向斜；5—太古宙古陆；6—郑庐断裂带

Fig.1 Tectonic units of the Liao-Ji rift^[8]

1—Boundary of tectonic units (deep-fracture zone); 2—Sediment in rift; 3—anticline; 4—syncline; 5—Archean continent; 6—Tan-Lu fault

次为闪长岩类。

2 矿床地质

翁泉沟硼铁矿床赋存于翁泉沟含硼岩系内,含硼岩系自上而下可分为4个岩性段:角闪变粒岩与钠长浅粒岩互层段、蛇纹岩与硼镁铁矿互层段、钠长浅粒岩与黑云变粒岩互层夹斜长角闪岩段、斜长角闪岩夹钠长浅粒岩段^[14]。矿区发育两层硼铁矿床,包括9个矿体(图2)。矿体分布于翁泉沟向斜翼部和转折端,呈层状、透镜状、扁豆状,规模较大的矿体是I、II号。I号矿体规模最大,其储量占全矿区的90%。南北宽1500 m,东西延长2800 m,最大厚度150 m,平均厚度45 m。II号矿体分布I号矿体的底板,长约776 m,厚度35~5 m,平均厚度22 m。其余7个矿体多分布于I号矿体顶底板,为较小的扁豆体,无单独利用价值。

翁泉沟铁硼矿床中矿石矿物主要有磁铁矿、板状硼镁石、硼镁铁矿、遂安石和硅硼钙石等;脉石矿物主要有蛇纹石、金云母、镁橄榄石、斜硅辉石、透闪石等,伴有少量或微量的黄铁矿、黄铜矿和磁黄铁矿等硫化物。此外,还存在少量的放射性元素矿

物,如晶质铀矿、铈硼硅石和独居石。

矿石结构主要有变晶结构和交代结构两大类,可见少量充填结构。变晶结构包括粒状变晶结构、板状-柱状变晶结构、柱状变晶结构、纤维状变晶结构、鳞片变晶结构。交代结构包括交代残余结构、交代假象结构、交代网状结构、交代侵蚀结构等。后期的磁铁矿沿透明矿物的解理、裂隙或粒间充填,形成充填结构。

矿石构造复杂,可分为变质构造和热液构造。变质构造包括变余矿石构造、变成矿石构造。热液构造以网脉状构造、条带状构造和脉状构造为代表。此外,可见放射状构造、块状构造等。总体而言,矿床形成后又经历了变质作用和热液作用的改造。

翁泉沟硼矿床的围岩蚀变作用强烈,类型多样,过程复杂(表1),从早到晚有镁橄榄石化、硅镁石化、细粒透闪石化、电气石化、蛇纹石化、金云母化。

3 磁铁矿的成因研究

3.1 磁铁矿的类型

磁铁矿是矿床主要含铁矿物,按照其产出形式可分为3种类型:原生粒状磁铁矿、蚀变细粒磁铁

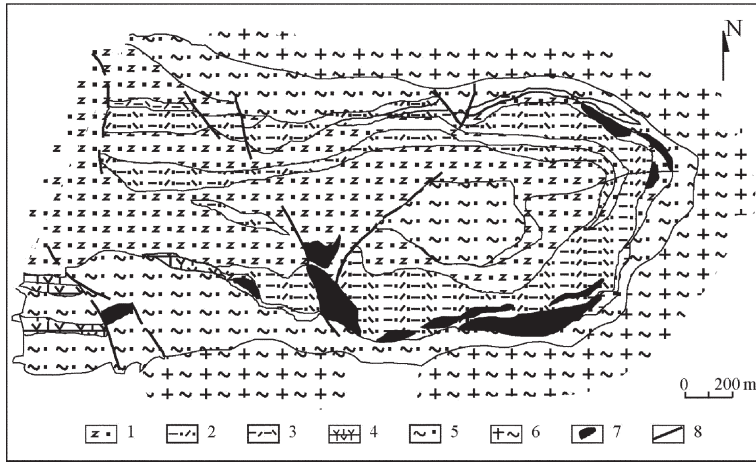


图 2 翁泉沟硼铁矿床地质图

1—浅粒岩;2—角闪透辉变粒岩;3—黑云透闪岩;4—蛇纹石化大理岩;5—黑云变粒岩;
6—片麻状花岗岩;7—硼镁铁矿体;8—断层

Fig.2 Geological map of the Wenquangou vonsenite deposit

1-Leucoguanlitite;2-Amphibole-pyroxene granulitite;3-Biotite tremolitite;
4-Serpentine-bearing marble;5-Biotite granulitite;6-gneissic granite;
7-vonsenite orebody;8-Fault

表 1 翁泉沟硼铁矿床蚀变作用期次和阶段划分

Table 1 Alteration stages in the Wengquangou vonsenite deposit

区域变质热液蚀变期		叠加热液蚀变期	
早阶段	晚阶段	早阶段	晚阶段
镁橄榄石化、金云母化、透辉石化(少)	透闪-阳起石化、金云母化、电气石化、硅镁石化、硼镁石化	蛇纹石化、绿泥石化、纤维硼镁石化、黄铁矿化	金云母化、透闪石化、滑石化、石棉化、碳酸盐化、黄铁矿化、电气石化

矿、网脉状磁铁矿,分别介绍如下:

原生粒状磁铁矿——I型磁铁矿。黑色,金属光泽,强磁性。显微镜下反射色灰白略带棕色,高硬度,均质性,反射率IV级。晶体两组解理清晰,裂纹发育。颗粒间接触方式简单,界线圆滑平坦。他形,半自形至自形晶,粒状集合体(图3-a)。一般粒度为0.1~1.5 mm,最小粒度<0.01 mm以下。常与斜硅镁石、蛇纹石嵌生,有时与硼镁铁矿及板状硼镁石共生,构成条带状或块状矿石。

蚀变细粒磁铁矿——II型磁铁矿。在3类磁铁矿中含量最高,系由硼镁铁矿分解而形成。灰黑色,弱金属光泽,具磁性。显微镜下反射色为灰白色,非均质性,反射率IV级。粒间接触方式复杂,呈参差状,齿状接触,晶体自形程度低,粒度一般为0.12~0.45 mm,部分<0.1 mm。按照粒度不同又可分为IIa、IIb、IIc3

种亚型。其中,IIa型是硼镁铁矿开始分解的产物,粒度一般小于0.1 mm,反射色为灰白色微带棕色,中硬度,弱非均质性,不显反射多色性,无内反射(图3-b);IIb型是硼镁铁矿分解彻底时的产物,常与纤维硼镁石密切共生,磁铁矿呈硼镁铁矿的假象,具典型的假象结构,反射色为灰白色微带棕色,中硬度,非均质性,不显反射多色性,无内反射(图3-c);IIc型为重结晶形成的磁铁矿,粒度一般大于0.75 mm,反射色为灰白色微带棕色,中硬度,非均质性较强,显反射多色性,无内反射(图3-d)。

网脉状磁铁矿——III型磁铁矿。网脉状磁铁矿的含量最低,无法单独形成矿石。镜下反射色为灰白色,高硬度,非均质性。呈细脉状、树枝状、网脉状,沿其他矿物裂隙、粒间充填,尤其是零星分布于金云母(图3-e)、蛇纹石(图3-f)等脉石矿物的裂隙或粒间。

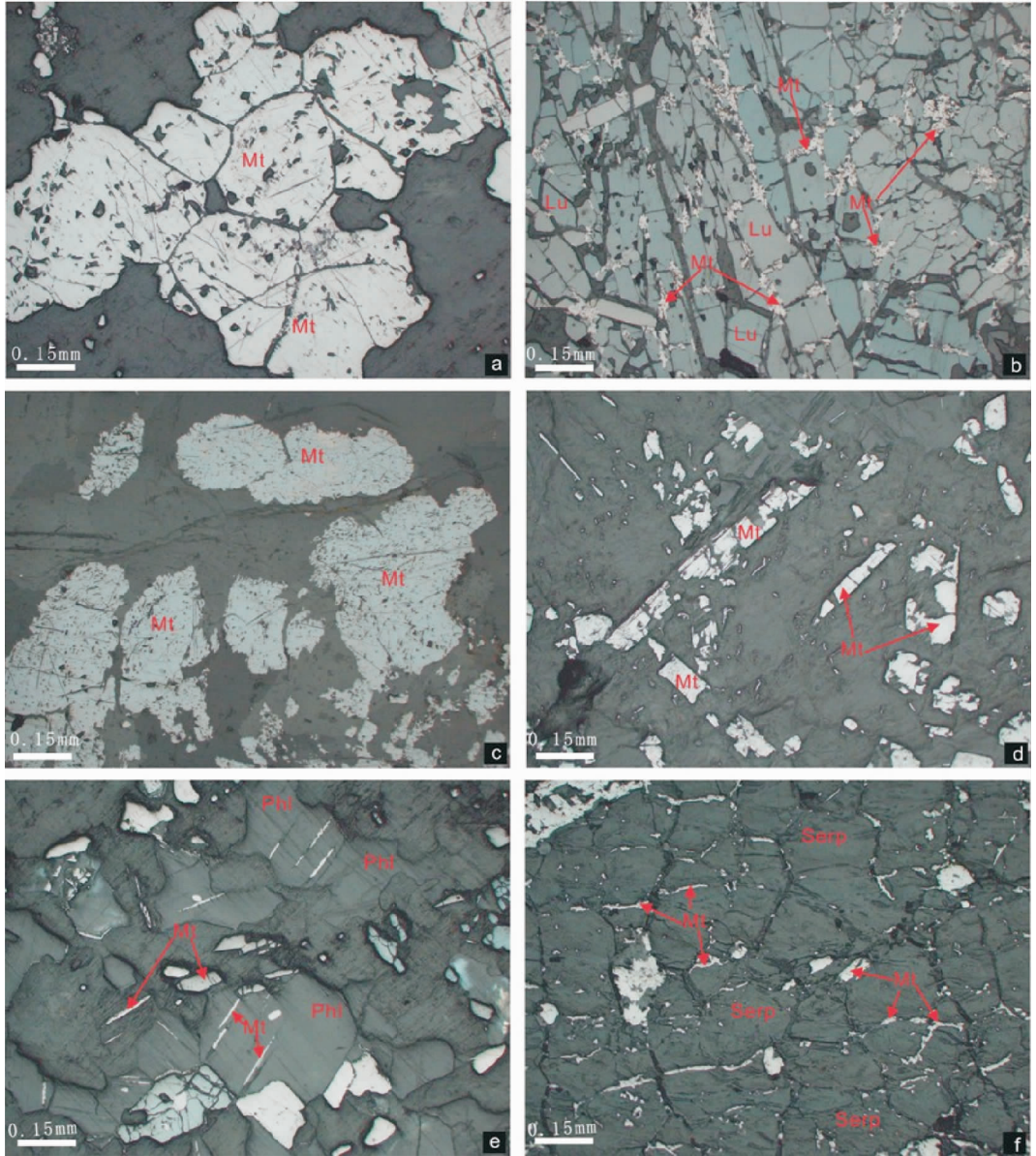


图 3 不同类型磁铁矿的显微照片

a— I 型原生粒状磁铁矿; b— 硼镁铁矿开始分解时形成的 II a 型磁铁矿; c— II b 型假象磁铁矿;
 d— 重结晶形成的 II c 型磁铁矿; e— 金云母解理缝中的 III 型磁铁矿; f— 蛇纹石晶界中的 III 型磁铁矿

Fig.3 Microphotographs for magnetites of different types

a—Primary magnetite—Type I; b—Subtype IIa magnetites formed in early decomposing of ludwigite;
 c—Subtype IIb magnetites formed in end decomposition of ludwigite, showing pseudomorph of ludwigite;
 d—Recrystallized magnetites of subtype IIc; e—Type III magnetites filled in cleavages of phlogopite;
 f—Magnetites occurring between inter-grain boundaries of serpentine

按生成顺序可将磁铁矿分为 3 个世代: 第 1 世代磁铁矿多呈自形晶, 即 I 型磁铁矿, 与橄榄石同期形成, 含量较少; 第 2 世代磁铁矿是硼镁铁矿受热液作用的分解产物, 即 II 型磁铁矿, 其形态各异, 粒度细小, 与纤维状硼镁石交织共生; 第 3 世代磁铁矿呈

细脉状穿插在不同类型的矿石中, 即 III 型磁铁矿, 含量较少。

3.2 样品及测试

电子探针分析在中国地质科学院矿产资源研究所电子探针室完成, 采用日本电子公司生产的

JXA-8800 R 型电子探针仪测定。测定条件:加速电压 20 kV,电流 20 nA,束射直径为 3 μm。使用徕兹显微硬度测试仪测定不同类型磁铁矿的显微硬度,测试方法是威克刻缺法,即用金刚石角锥产生刻缺,用光学方法测量。威克角锥的基端是正方形,在相邻角锥之间,尖端夹角 136°。刻缺的深度与对角线长度的 1/7 一致。威克硬度的计算公式为 $HV=1864.9/9.81 \times 10^{-3} \times F/d^2=189.03 \times 10^{-3} \times F/d^2$,其中 F 为牛顿,d 为刻缺对角线长度(m),HV 单位是 kg/mm²。

4 结果与讨论

4.1 磁铁矿的化学成分

磁铁矿单矿物进行电子探针波谱定量分析(表 2),各种类型磁铁矿的阳离子含量都很低,Ni、V、Mn、Ti、Cr 的含量尤其低。磁铁矿的 CoO 含量特别高,平均达 0.16%,Co 在磁铁矿中的分布较稳定。结合磁铁矿的晶体化学特征,认为 Co 应以类质同象的形式存在。根据 CoO 换算出 Co 元素平均含量为 0.13%,远高于钴的综合利用品位(0.01%)。MgO、Al₂O₃、SiO₂ 在均质性及非均质性磁铁矿中的含量不同(图 4),均质性磁铁矿中 MgO、Al₂O₃ 的含量较非均质性高, SiO₂ 含量较非均质低。MgO 在均质性磁铁矿中的范围是 0.77%~1.08%,平均含量为 0.87%;在非均质性磁铁矿中的范围为 0.07%~0.98%,平均含量为 0.49%。Al₂O₃ 在均质性磁铁矿中的范围是 0.10%~0.81%,平均含量为 0.23%;在非均质性磁铁矿中的范围是 0.00%~0.13%,平均含量为 0.05%。SiO₂ 在均质性磁铁矿中的范围是 0.00%~0.08%,平

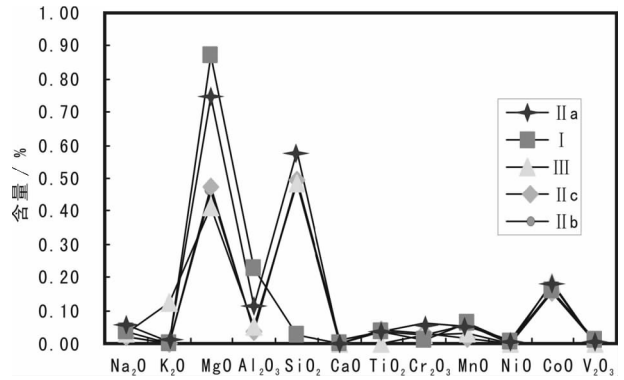


图 4 磁铁矿化学成分对比图

Fig.4 Diagram showing contrast compositions of magnetites of different types

均含量为 0.02%;在非均质性磁铁矿中的范围是 0.04%~0.70%,平均含量为 0.51%。以上表明,均质性磁铁矿的镁、铝元素较非均质性磁铁矿中的含量高,硅元素较非均质性磁铁矿中的含量低。

4.2 磁铁矿的显微硬度

一般而言,磁铁矿为高硬度矿物,压入硬度变化范围为 440~1100 kg/mm²。测试结果表明,翁泉沟矿床不同类型磁铁矿之间的硬度差别较大(表 3),变化范围为 549~927 kg/mm²,平均值为 633.8 kg/mm²。均质性原生粒状磁铁矿的显微硬度平均值为 748.25 kg/mm²,非均质化的磁铁矿的显微硬度平均值为 568.92 kg/mm²,前者显微硬度大于后者。

均质性磁铁矿的 Mg、Al 含量高于非均质性磁铁矿,硬度也高于非均质性磁铁矿,显示了二者之间

表 2 磁铁矿电子探针成分分析

Table 2 The composition of magnetite analyzed by electronic microprobe

	I	I	I	I	I	I	I	IIa	IIa	IIb	IIb	IIb	IIb	IIc	IIc	IIc	IIc	III	III	III
Na ₂ O	0.03	0.07	0.04	0.1	0	0.05	0	0.1	0.01	0.06	0	0.02	0	0.03	0.05	0	0	0	0	0.1
K ₂ O	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0	0	0	0	0	0	0.01	0	0.23	0.06	0.08
MgO	0.77	0.83	0.75	0.77	0.86	0.96	0.94	0.68	0.82	0.98	0.62	0.16	0.07	0.38	0.44	0.81	0.27	0.5	0.61	0.12
Al ₂ O ₃	0.12	0.21	0.1	0.18	0.12	0.14	0.14	0.13	0.1	0.05	0.11	0.01	0	0	0	0.13	0.02	0.1	0.05	0.01
SiO ₂	0.04	0	0.01	0.03	0.03	0.08	0	0.62	0.55	0.48	0.44	0.59	0.46	0.04	0.54	0.7	0.7	0.66	0.64	0.15
CaO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TiO ₂	0	0	0	0.04	0.03	0	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.02	0.04	0.06	0.04	0	0	0
Cr ₂ O ₃	0	0	0	0	0.03	0.02	0.03	0.05	0.07	0.05	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.02	0.04	0	0.03	0.04
MnO	0.1	0.01	0.06	0.1	0.06	0.09	0.03	0.04	0.06	0.12	0.02	0.05	0.03	0.04	0.02	0.01	0	0.07	0.03	0
FeO*	93	91.8	92.2	91.4	91.1	91.7	90.7	91.5	91.2	91.7	93	94	93.7	92.1	92.3	92.7	92.2	91	91.6	92.8
NiO	0	0	0	0	0	0	0.06	0	0.02	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CoO	0.18	0.14	0.16	0.18	0.16	0.14	0.16	0.17	0.19	0.17	0.12	0.15	0.17	0.18	0.1	0.17	0.16	0.18	0.18	0.19
V ₂ O ₅	0.02	0.04	0	0	0.01	0	0	0	0	0.03	0.02	0.05	0.04	0	0.02	0	0	0	0	0
Total	94.2	93.1	93.3	92.8	92.4	93.2	92.1	93.3	93	93.7	94.4	95.1	94.6	92.8	93.5	94.6	93.4	92.7	93.2	93.5

注:电子探针分析条件:加速电压 20 kV,电流 2nA,所有的 Fe 被认定为二价处理,定量结果不足部分为剩余氧,含量单位为百分比,均由中国地质科学院矿产资源研究所电子探针室分析。

表 3 磁铁矿的显微硬度测试结果

Table 3 Microhardness of magnetites of different types

样号	序 号	d ₁ (μm)	d ₂ (μm)	HV ₁ (μg/mm ²)	HV ₂ (kg/mm ²)	HV (kg/mm ²)	均质性特征	HV 平均值(kg/mm ²)	类型
W3-7	1	20	20	927	927	927	均质性	748.25	I 型
	2	24.5	24.3	618	628	623			
	3	22.5	22.6	733	726	729.5			
	4	23	22.6	701	726	713.5			
W7	1	25.6	26	570	549	559.5	非均质性	599.75	IIc 型
	2	24.4	24	623	644	633.5			
	3	25.5	25.2	570	554	562			
	4	24	24	644	644	644			
W12	1	26	25.6	549	566	557.5	非均质性	594.25	IIc 型
	2	24	24.5	644	618	631			
W3-1	1	26.4	26.7	532	524	528	非均质性	512.75	IIb 型
	2	27.2	27.4	501	494	497.5			

注: Test force 200,F=1962.0×10³N, d₁、d₂ 分别为菱形对角线的长度, HV₁、HV₂ 为对应的硬度值, HV 为 HV₁、HV₂ 的平均值。均由吉林大学地球科学学院实验中心分析。

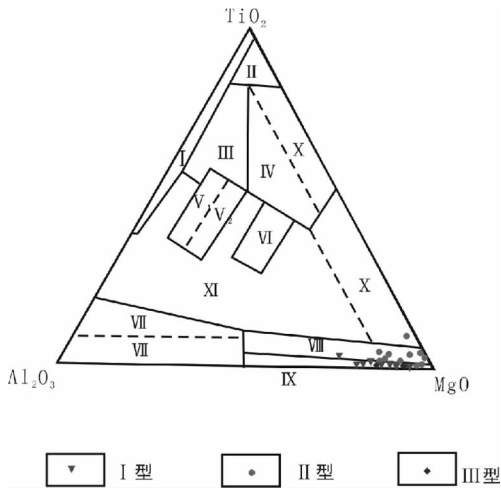


图 5 磁铁矿的 TiO₂-Al₂O₃-MgO 图解

I—花岗岩区; II—玄武岩; III—辉长岩区; IV—橄辉岩区;
V1—角闪石岩区(包括单斜辉石岩), V2—闪长岩区;
VI—金伯利岩区; VII—热液型及矽卡岩型; VIII—热液型镁矽卡岩型;
IX—沉积变质、热液叠加型; X—碳酸盐岩型; XI—过渡区

Fig.5 Diagram of TiO₂-Al₂O₃-MgO of magnetite

I—Granite; II—Basalt; III—Gabbro; IV—Peridotite; V1—Hornblende;
V2—Diorite; VI—Kimberlite; VII—Hydrothermal and skarn types;
VIII—Hydrothermal and Mg-skarn types; IX—Sedimentary-metamorphic deposit overprinted by hydrothermal fluid;
X—Carbonate rock; XI—Transition zone

的正相关关系, 其原因是磁铁矿的类质同象元素有关, 硬度随 Mg、Al、Ti 含量的增加而增加。

样品 W3-7 给出了硬度最高值 927 kg/mm², 原

因是磁铁矿的硬度还受被测颗粒的粒度影响, 二者也呈正相关关系^[5]。粒度小的颗粒是在快速结晶条件下形成的, 未达到平衡状态, 晶格缺陷较多, 因而硬度降低; 粒度大的颗粒经历了“竞争性生长”, 结晶慢, 晶格较完善, 故硬度大。在测量过程中, 颗粒破裂也导致测试硬度降低, HV 与 d² 呈反比, 当粒度小时, 压痕往往发生破裂, d 值加大, 导致硬度值降低; 而大颗粒者则不易破裂, 在压锥抬起后的弹力作用使压痕变小, 导致硬度值增大。

4.3 矿床的成因分析

从磁铁矿 TiO₂-Al₂O₃-MgO(图 5)图解^[6]可以看到少数点落在 X 区, 属于碳酸盐岩型; 部分点落在 VIII 区, 属于热液型或镁矽卡岩型; 大部分点落在 IX 区, 属于沉积变质或热液叠加型。以上说明矿床在沉积变质之后遭受了热液叠加作用。

5 结 论

(1) 翁泉沟硼铁矿床产于古元古代辽吉裂谷, 赋存于下元古界辽河群里尔峪组含硼岩系中, 主要矿石矿物包括硼镁铁矿、磁铁矿、硼镁石等, 是含硼岩系沉积后的区域变质作用和热液作用的产物, 属于沉积变质-热液再造矿床。

(2) 翁泉沟硼铁矿床中的磁铁矿有 3 种类型: 原生粒状的 I 型磁铁矿; 后期热液蚀变而形成的 II 型细粒磁铁矿, 即硼镁铁矿分解形成的磁铁矿; 网脉

状的Ⅲ型磁铁矿。

(3)翁泉沟矿床部分磁铁矿显示非均质性,Ⅱ型磁铁矿非均质化现象明显。均质性磁铁矿的 Mg 和 Al 含量高于非均质性磁铁矿, Si 含量低于非均质性磁铁矿,表明元素含量差异是使磁铁矿非均质化的原因之一。

(4)均质性磁铁矿的硬度高于非均质性磁铁矿,磁铁矿硬度与类质同象元素有关,随 Mg、Al、Ti 含量增加而增加。

(5)磁铁矿研究显示翁泉沟硼铁矿床为沉积变质-热液叠加矿床。

致谢:祝贺著名矿床学家胡受奚教授从事地质事业 60 周年和 80 华诞!陈衍景教授对论文进行了修改,特此致谢!

参考文献 (References):

- [1] 尚浚. 矿相学[M]. 北京:地质出版社, 1987:135-136.
Shang Jun. Mineralography [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1987:135-136(in Chinese).
- [2] 夏学惠, 阎飞, 赵玉海等. 辽东裂谷硼铁矿床地质及成矿作用[J]. 矿床地质, 2006, 25(1):83-88.
Xia Xuehui, Yan Fei, Zhao Yuhai, et al. Geological features and ore-forming process of uranium-bearing vonsenite deposit in Liaodong rift, eastern Liaoning Province, China. Mineral Deposits, 2006, 25(1):83-88(in Chinese with English abstract).
- [3] 李雪梅, 孙丰月, 李碧乐, 等. 辽东地区后仙峪及翁泉沟硼铁矿床流体包裹体特征研究[J]. 现代地质, 2007, 21(4):645-653.
Li Xuemei, Sun Fengyue, Li Bile, et al. Study on the fluid inclusions from Houxianyu and Wengquangou borate deposits in eastern Liaoning prince. Geoscience, 2007, 21 (4):645-653 (in Chinese with English abstract).
- [4] 张秋生. 中国前寒武纪地质及成矿作用[M]. 长春:吉林人民出版社, 1984:135-160.
Zhang Qiusheng. Precambrian geology and mineralization, China [M]. Changchun:Jilin People's Publishing House, 1984:135-160(in Chinese).
- [5] 夏学惠. 辽东地区硫化物矿床中电气石岩热水沉积结构序列[J]. 岩石学报, 1997, 13(2):215-225.
Xia Xuehui. Occurring order of tourmaline rocks associated with pyrite deposit in east Lianing:an indicator of hot-water deposition at sea bottom [J]. Acta Petrologica Sinica, 1997, 13 (2):215-225(in Chinese with English abstract).
- [6] Peng Q M, Palmer M R. The Palaeoproterozoic boron deposits in eastern Liaoning, China-A metamorphosed evaporate[J]. Precambrian Research, 1995, 72:185-197.
- [7] 刘敬党. 辽东-吉南地区古元古代硼镁石型硼矿床地质特征及矿床成因[J]. 化工矿产地质, 1997, 18 (3):208-211.
Liu Jindang. Ore genesis and geology feature of szaibelyite type boron deposit of the Proterozoic in eastern Liaoning-southern Jilin area [J]. Geology of Chemical Minerals, 1997, 18 (3):208-211(in Chinese with English abstract).
- [8] 冯本智, 邹日, 谢宏远. 辽吉早元古宙裂谷带内含硼热水沉积建造与硼矿床[C]//. 第五届全国矿床会议论文集, 北京:地质出版社, 1993:512-514.
Feng Benzhi, Zou Ri, Xie Hongyuan. B deposit and B-bearing hot-water depositional formation in the Proterozoic rift zone of Liaoning and Jinlin Provinces [C]//Collected Papers of the Fifth Deposit Conference of China. Beijing:Geological Publishing House, 1993: 512-514(in Chinese).
- [9] 姜春潮. 再论辽东前寒武纪地层的划分和对比: 辽河群一词使用的商榷[J]. 中国地质科学院院报, 1984, 9:157-167.
Jiang Chunchao. A review of the Precambrian stratigraphic division and correlation of eastern parts of Liaoning and Jilin [J]. Acta Geoscientia Sinica (Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences), 1984, 9:157-167 (in Chinese with English abstract).
- [10] 孙敏, 张立飞, 吴家弘. 早元古代宽甸杂岩的成因: 地球化学证据[J]. 地质学报, 1996, 70(3):207-222.
Sun Min, Zhang Lifei, Wu Jiahong. The origin of the early proterozoic Kuandian Complex: evidence from geochemistry. Acta Geologica Sinica, 1996, 70 (3):207-222 (in Chinese with English abstract).
- [11] Wan Y S, Song B, Liu D Y, et al. SHRIMP U-Pb zircon geochronology of Palaeoproterozoic metasedimentary rocks in the North China Craton; Evidence for a major Late Palaeoproterozoic tectonothermal event[J]. Precambrian Research, 2006, 149:249-271.
- [12] 汤好书, 陈衍景, 武广, 等. 辽北辽河群碳酸盐岩碳-氧同位素特征及其地质意义[J]. 岩石学报, 2008, 24(1):129-138
Tang Haoshu, Chen Yanjing, Wu Guang, et al. The C-O isotope composition of the Liaohe Group, northern Liaoning Province and its geologic implications [J]. Acta Petrologica Sinica, 2008, 24(1): 129-138(in Chinese with English abstract).
- [13] 汤好书, 武广, 赖勇. 辽宁大石桥菱镁矿床的碳氧同位素组成和成因[J]. 岩石学报, 2009, 25(2).
Tang Haoshu, Wu Guang, Lai Yong. The C-O isotope geochemistry and genesis of the Dashiqiao magnesite deposit, Liaoning province, NE China[J]. Acta Petrologica Sinica, 2009. 25(2)(in Chinese with English abstract).
- [14] 冯本智, 卢静文, 邹日, 等. 中国辽吉地区早元古代大型-超大型硼矿床的形成条件[J]. 长春地质学院学报, 1998, 28(1):1-15.
Feng Benzhi, Lu Jingwen, Zou Ri, et al. Ore-forming conditions for the early Proterozoic large-super large boron deposits in Liaoning and Jilin Provinces, China [J]. Journal of Changchun University of Science and Technology, 1998, 28 (1):1-15 (in Chinese with English abstract).
- [15] 张德. 江苏韦岗铁矿磁铁矿的矿物学特征及其意义 [J]. 江苏地质, 1994, 18(1):25-29.
Zhang De. Mineralogical characteristics and significance of the

magnetite in Weigang iron ore-deposit, Jiangsu. *Jiangsu Geology*, 1994, 18(1):25-29(in Chinese with English abstract).

1986:64-68.

[16] 靳是琴, 李鸿超. 成因矿物学概论 [M]. 长春: 吉林大学出版社,

Jin Shiqin, Li Hongchao. *Genetic Mineralogy*[M]. Changchun: Jilin University Press, 1986:64-68(in Chinese).

Genesis of magnetite of the Wengquangou vonsenite deposit, Fengcheng county, Liaoning Province

WANG Hui-yuan¹, PENG Xiao-lei²

(1. *Key Laboratory of Crustal and Orogenic Evolution, Peking University, Beijing 100871, China;*

2. *College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, Jilin China*)

Abstract: The Wengquangou vonsenite deposit, Fengcheng county, Liaoning Province, is located in the Liao-Ji Palaeoproterozoic rift and hosted in the boron-bearing series within the Lieryu Formation, lower Liaohe Group. The main ore-minerals are ludwigite, magnetite and szaibelyite, coexisting with gangue minerals including serpentine, dolomite and phlogopite. The magnetite can be distinguished in terms of occurrence from coarse-grained metamorphic (I), fine-grained hydrothermal (II) and stockworks (III). Type I is optically homogeneous and Types II and III appear to be heterogeneous. As detected using electronic microprobe and energy spectroscopy, the homogeneous magnetite has higher contents of Mg and Al and lower Si content than the heterogeneous, resulting in that Type I is harder than types II and III. It is possible that the discrepancy in element contents caused the transformation from homogeneous to heterogeneous magnetite. Study on magnetite shows that the formation process of the Wengquangou deposit includes sedimentary-metamorphism and hydrothermal overprint.

Keywords: vonsenite deposit; magnetite; chemical composition; genesis

About first author: WANG Hui-yuan, Female, born in 1986, PhD student, majored at Experimental Geochemistry, E-mail: wanghuiyuan1986@126.com.