

山东蒙阴金刚石矿床中铬铁矿红外谱学特征及找矿意义

迟广成¹, 邹耀辛², 汪寅夫¹, 李丽君¹, 刘 敏², 付 宇²

(1. 沈阳地质矿产研究所, 辽宁 沈阳 110032; 2. 辽宁地质矿产研究院, 辽宁 沈阳 110032)

摘 要 :铬铁矿是金伯利岩型金刚石矿床含矿性重要指示矿物之一。通过对山东蒙阴金刚石矿区无矿、贫矿、中等含矿、富矿金伯利岩岩筒中的铬铁矿红外光谱系统采集,寻找不同金伯利岩岩筒中铬铁矿红外谱图参数特征与金伯利岩含矿性的关系,以达到判断金伯利岩体无矿、贫矿还是富矿的目的。不同含矿性金伯利岩岩筒中 50 个铬铁矿红外光谱参数特征统计显示:铬铁矿红外光谱 A 峰吸光度与高频峰吸光度平均比值从无矿、贫矿、中等含矿到富矿金伯利岩岩筒,数据依次为 0.71、0.73、0.83~0.93、1.09,显示出明显的找矿指示意义。

关键词 :金伯利岩;铬铁矿;红外图谱;含矿性判断;山东省

THE INFRARED SPECTROSCOPIC FEATURES OF CHROMITE IN THE MENGYN DIAMOND DEPOSIT IN SHANDONG PROVINCE: Significance in ore prospecting

CHI Guang-cheng¹, ZOU Yao-xin², WANG Yin-fu¹, LI Li-jun¹, LIU Min², FU Yu²

(1. Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources, CGS, Shenyang 110032, China;

2. Liaoning Institute of Geology and Mineral Resources, Shenyang 110032, China)

Abstract :Chromite is one of the key indicators for ore potentiality of kimberlite type diamond deposits. With systematical collection of infrared spectra of the chromites from kimberlite pipes in the Mengyin diamond orefield in Shandong Province, the infrared spectroscopic features of the chromites in barren, poor, medium-ore-bearing and rich ores are respectively analyzed, to find out their relation to the ore potentiality of the kimberlite. The statistic results show that, from barren, poor, medium-ore-bearing to rich ores, the average ratios of absorbance of A-peak and high-frequency peak of the infrared spectra are 0.71, 0.73, 0.83~0.93 and 1.09, respectively, with a significant indication.

Key words :kimberlite; chromite; infrared spectrum; ore potentiality; Shandong Province

金伯利岩中铬铁矿的分布比较普遍,其含量与金伯利岩含矿性成正比,如山东的胜利 1 号富矿小岩筒金伯利岩含铬铁矿 78~1440 g/m³,贫矿金伯利岩含铬铁矿 33~169 g/m³。金伯利岩中铬铁矿的显著特征是浑圆形斑晶和形态复杂的八面体歪晶。浑圆形斑晶一般大于 1 mm,最大可达 5 mm。八面体歪晶一般 0.2~0.7 mm,呈显微斑晶。而基质中的铬铁矿则为小于 0.2 mm 的正八面体自形晶。浑圆形斑晶铬铁矿,在物理性质和化学成分上,与金刚石中包体铬铁矿很接近,有的完全一样,表明其与金刚石为共生或近共生的关系。相似岩石中不含这种浑圆形斑晶铬铁矿,铬铁矿

标型具成因意义^[1-9]。铬铁矿为尖晶石族矿物,尖晶石族矿物化学成分通式为 AB₂O₄。A 组离子有 Mg²⁺、Mn²⁺、Fe²⁺、Ni²⁺、Zn²⁺、Fe²⁺等。B 组离子有 Fe³⁺、Al³⁺、Cr³⁺及 Mg²⁺、Mn²⁺、Fe²⁺、Ni²⁺等。该族矿物属等轴晶系,尖晶石型结构,每个单体晶胞由 32 个 O 原子堆叠形成 64 个四面体空隙和 32 个八面体空隙。根据结构中 A、B 组离子的分布,可将尖晶石型结构细分为:正尖晶石型,分子中 A 组二价阳离子 Mg²⁺、Fe²⁺占据四面体位置,B 组三价阳离子 Al³⁺、Cr³⁺、Ti⁴⁺、Fe³⁺则占据八面体位置,如铬铁矿 Fe[Cr₂]O₄;反尖晶石型,分子中 1/2 的 B 组三价阳离子 Fe³⁺进入四面体位置,剩余的 1/2 的 B 组三价阳

收稿日期 2011-05-03,修回日期 2012-05-22。编辑 李兰英。

基金项目:国土资源部“金刚石矿床标型矿物的 X 射线衍射特征”项目(编号 200811120)资助。

作者简介:迟广成(1964—),男,高级工程师,从事岩矿测试工作,通信地址:沈阳市北陵大街 26 甲 3 号,E-mail:chiguangcheng@126.com

离子和全部的 A 组二价阳离子进入八面体位置,如磁铁矿 $\text{Fe}^{3+}[\text{Fe}^{3+}\text{Fe}^{2+}]_2\text{O}_4$ [10-13]。尖晶石矿物的群分析表明,尖晶石族矿物总共有 16 类光学振动模式,其中 $A_{1g}+E_g+3F_{2g}$ 是拉曼光效性模式, $4F_{1u}$ 是红外光效性模式。大量实验数据表明 [14],尖晶石红外光谱高频带主要与聚合八面体的晶格振动相关,分子的振动频率由八面体阳离子 B 与 O 原子间键力强度决定,低频红外谱带是四面体和八面体离子都参与的复合振动,分子的振动频率取决于阳离子的质量和半径大小。据晶体光谱学理论,除多面体对称降低使红外简并谱带分裂外,还有两种因素会引起振动红外谱带位移。一种是振动基团内离子置换引起的质量改变;另一种是由于电负性不同的离子间置换或由于多面体畸变引起振动基团内化学键力学常数的改变。尖晶石矿物晶体中,小半径阳离子 Al^{3+} (离子半径 $0.51 \text{ \AA}$) 进入八面体位置, O^{2-} 离子将沿(111)远离邻近的四面体阳离子,四面体体积增大,对称性不变。而八面体体积变小,与相邻八面体 3 对共用棱变短,2 对非共用棱保持不变,导致八面体畸变程度增加, $\text{Al}-\text{O}$ 键短,高频谱带 ν_1 处于高位(678.8 cm^{-1})。磁铁矿八面体中的一半位置由大半径 Fe^{2+} (离子半径 $0.74 \text{ \AA}$) 离子占据, $\text{B}-\text{O}$ 键变长,高频谱带 ν_1 处于低位(567.5 cm^{-1})。铬铁矿中中等大小的 Cr^{3+} (离子半径 $0.63 \text{ \AA}$) 离子进入八面体,高频谱带 ν_1 位于前两者之间(633.7 cm^{-1})。尖晶石、铬铁矿、磁铁矿红外低频谱带分别位于 510.3 cm^{-1} 、 503.8 cm^{-1} 和 471.4 cm^{-1} ,铬铁矿低频谱带同样位于尖晶石和铬铁矿低频谱带之间 [15]。

1 金伯利岩中铬铁矿样品采集

笔者在山东蒙阴金伯利岩中选取 50 件铬铁矿样品做红外光谱分析。在胜利 1 号小岩筒中等含矿金伯利岩体中选了 20 件铬铁矿样品,胜利 1 号小岩筒富矿金伯利岩体中选了 3 件铬铁矿样品,胜利 1 号大岩筒中等含矿金伯利岩体中选了 15 件铬铁矿样品,红旗 6 号岩筒贫矿金伯利岩中选了 3 件铬铁矿样品,胜利 2 号贫矿金伯利岩脉中选了 3 件铬铁矿样品,无矿坡里金伯利岩脉中选了 6 件铬铁矿样品。

2 铬铁矿的红外光谱采集

2.1 仪器和测量条件

采用仪器为 Nicolet 5700 型红外光谱仪(美国热

电公司生产)。测量所需条件:光源为 IR,扫描次数为 32,分辨率为 4,检测器为 DTGS CsI,分束器为 CsI,光圈 100,镜速 0.6329 ,扫描范围 $400\sim 4000 \text{ cm}^{-1}$ 。

2.2 测试样品的制备

本次研究采用溴化钾压片法,每个铬铁矿测试样品称取 1 mg 左右,用玛瑙研钵磨细至 $45 \mu\text{m}$,将待测铬铁矿样品与 150 mg 溴化钾粉末放在玛瑙钵中,一起研磨至 $2.5 \mu\text{m}$ 左右,利用压片机制成测试样 [16]。

2.3 样品测试

在给定的仪器测试条件下,用红外光谱仪对铬铁矿样品进行测试,获得相应的铬铁矿红外图谱。

2.4 分析样品红外图谱特征解译

本次实验所测得的 50 件铬铁矿样品红外图谱参数特征如下。

(1)胜利 1 号小岩筒中等含矿金伯利岩体中铬铁矿红外光谱吸收峰在指纹区有 3 个。高频吸收峰 $617.5\sim 628.1 \text{ cm}^{-1}$,平均值为 622.9 cm^{-1} ;低频吸收峰 $494.3\sim 501.2 \text{ cm}^{-1}$,平均值为 497.8 cm^{-1} ;A 吸收峰 $1073.8\sim 1095.1 \text{ cm}^{-1}$,平均值为 1084.4 cm^{-1} 。A 峰吸光度(I_A)与高频峰吸光度(I_1)的比值为 $0.69\sim 0.99$,平均值为 0.83 ;高频峰(ν_1)与低频峰(ν_2)差值为 $120.9\sim 129.1 \text{ cm}^{-1}$,平均值为 125.0 cm^{-1} 。

(2)胜利 1 号大岩筒中等含矿金伯利岩体中铬铁矿红外光谱吸收峰在指纹区有 3 个。高频吸收峰在 $618.6\sim 629.2 \text{ cm}^{-1}$ 之间,平均值为 623.7 cm^{-1} ;低频吸收峰在 $494.3\sim 503.1 \text{ cm}^{-1}$ 之间,平均值为 498.3 cm^{-1} ;A 吸收峰在 $1020.0\sim 1072.3 \text{ cm}^{-1}$ 之间,平均值为 1041.3 cm^{-1} 。A 峰吸光度与高频峰吸光度的比值为 $0.75\sim 1.03$,平均值为 0.88 ;高频峰与低频峰差值为 $122.1\sim 130.2 \text{ cm}^{-1}$,平均值为 125.4 cm^{-1} 。

(3)红旗 6 号岩筒贫矿金伯利岩中铬铁矿红外光谱吸收峰在指纹区有 3 个。高频吸收峰在 $620.8\sim 621.9 \text{ cm}^{-1}$ 之间,平均值为 621.3 cm^{-1} ;低频吸收峰在 $493.4\sim 497.5 \text{ cm}^{-1}$ 之间,平均值为 495.4 cm^{-1} ;A 吸收峰在 $1085.2\sim 1088.2 \text{ cm}^{-1}$ 之间,平均值为 1086.5 cm^{-1} 。A 峰吸光度与高频峰吸光度的比值为 $0.61\sim 0.88$,平均值为 0.73 ;高频峰与低频峰差值为 $124.6\sim 127.8 \text{ cm}^{-1}$,平均值为 125.9 cm^{-1} 。

(4)坡里无矿金伯利岩脉中铬铁矿红外光谱吸收峰在指纹区有 3 个。高频吸收峰在 $630.9\sim 634.6 \text{ cm}^{-1}$ 之间,

①郭立鹤,王阿连,王五一. 全国第六届分子光谱学术报告文集. 1991.

②郭立鹤,赵泰. 全国第七届分子光谱学术报告文集. 1992.

③郭立鹤,陈启桐. 全国第七届分子光谱学术报告文集. 1992.

平均值为 632.2 cm^{-1} , 低频吸收峰在 $498.0\sim 507.9\text{ cm}^{-1}$ 之间, 平均值为 504.3 cm^{-1} ; A 吸收峰在 $1083.9\sim 1090.7\text{ cm}^{-1}$ 之间, 平均值为 1088.0 cm^{-1} . A 峰吸光度与高频峰吸光度的比值为 $0.54\sim 0.83$, 平均值为 0.71 cm^{-1} ; 高频峰与低频峰差值在 $124.3\sim 133.3\text{ cm}^{-1}$ 之间, 平均值为 127.9 cm^{-1} .

(5) 胜利 1 号小岩筒富矿金伯利岩体中铬铁矿红外光谱吸收峰在指纹区有 3 个. 高频吸收峰在 $623.9\sim 624.9\text{ cm}^{-1}$ 之间, 平均值为 624.5 cm^{-1} ; 低频吸收峰在 $494.9\sim 500.7\text{ cm}^{-1}$ 之间, 平均值为 498.4 cm^{-1} ; A 吸收峰在 $1030.9\sim 1032.9\text{ cm}^{-1}$ 之间, 平均值为 1032.1 cm^{-1} . A 峰吸光度与高频峰吸光度的比值为 $1.07\sim 1.12$, 平均值为 1.09 ; 高频峰与低频峰差值为 $121.9\sim 129.8\text{ cm}^{-1}$, 平均值为 126.1 cm^{-1} .

(6) 胜利 2 号岩脉中等含矿金伯利岩体中铬铁矿红外光谱吸收峰在指纹区有 3 个. 高频吸收峰在 $623.3\sim 623.8\text{ cm}^{-1}$ 之间, 平均值为 623.5 cm^{-1} ; 低频吸收峰在 $498.8\sim 501.6\text{ cm}^{-1}$ 之间, 平均值为 500.3 cm^{-1} ; A 吸收峰在 $1028.7\sim 1031.8\text{ cm}^{-1}$ 之间, 平均值为 1030.6 cm^{-1} . A 峰吸光度与高频峰吸光度的比值为 $0.92\sim 0.96$, 平均值为 0.93 ; 高频峰与低频峰差值为 $123.2\sim 124.5\text{ cm}^{-1}$, 平均值为 123.3 cm^{-1} .

3 铬铁矿红外图谱吸收峰与金伯利岩含矿性关系

胜利 1 号小岩筒中等含矿金伯利岩、红旗 6 号岩筒贫矿金伯利岩、胜利 1 号小岩筒富矿金伯利岩、坡里无矿金伯利岩脉、胜利 1 号大岩筒中等含矿金伯利岩和胜利 2 号中等含矿金伯利岩脉中铬铁矿红外光谱的高频峰和低频峰与金伯利岩含矿性对应关系显示: 无矿金伯利岩中铬铁矿红外光谱高频峰平均值大于 632.0 cm^{-1} , 低频峰平均值大于 504.0 cm^{-1} ; 贫矿金伯利岩中铬铁矿红外光谱高频峰平均值小于 622.0 cm^{-1} , 低频峰平均值小于 496.0 cm^{-1} ; 中等含矿金伯利岩中铬铁矿红外光谱高频峰平均值在 $622.8\sim 623.8\text{ cm}^{-1}$ 之间, 低

频峰平均值在 $497.0\sim 501.0\text{ cm}^{-1}$ 之间, 富矿金伯利岩中铬铁矿红外光谱高频峰平均值在 $624.4\sim 624.8\text{ cm}^{-1}$ 之间, 低频峰平均值在 $498.0\sim 499.0\text{ cm}^{-1}$ 之间. 无矿金伯利岩中铬铁矿红外光谱高频峰和低频峰值较大, 贫矿金伯利岩中铬铁矿红外光谱高频峰和低频峰值较小, 中等含矿和富矿金伯利岩中铬铁矿红外光谱高频峰和低频峰值在两者之间, 规律性较强(见表 1).

不同含矿性金伯利岩体中铬铁矿红外光谱的 A 峰与高频峰吸光度比、高频峰与低频峰差值和含矿性对应关系显示: 无矿金伯利岩中铬铁矿红外光谱高频峰与低频峰平均差值大于 127.5 cm^{-1} , 吸光度平均比值小于 0.72 ; 贫矿金伯利岩中铬铁矿红外光谱高频峰与低频峰平均差值为 $125.5\sim 126.0\text{ cm}^{-1}$, 吸光度平均比值在 $0.72\sim 0.76$ 之间; 中等含矿金伯利岩中铬铁矿红外光谱高频峰与低频峰平均差值为 $123.0\sim 125.5\text{ cm}^{-1}$, 吸光度平均比值在 $0.82\sim 0.94$ 之间; 富矿金伯利岩中铬铁矿红外光谱高频峰与低频峰平均差值为 $126.0\sim 126.5\text{ cm}^{-1}$, 吸光度平均比值在 $1.08\sim 1.12$ 之间. 无矿金伯利岩中铬铁矿红外光谱高频峰和低频峰平均差值大, 吸光度平均比值小; 贫矿、中等含矿和富矿金伯利岩中铬铁矿红外光谱高频峰和低频峰平均差值相差不多; 从贫矿→中等含矿→富矿, 吸光度比值有明显加大的趋势, 具有明显分带性, 规律性较强.

4 结语

(1) 山东蒙阴金刚石矿区金伯利岩中铬铁矿样品红外图谱高频吸收峰范围为 $617.5\sim 634.6\text{ cm}^{-1}$, 低频吸收峰范围为 $493.4\sim 507.9\text{ cm}^{-1}$, 分别介于磁铁矿高频吸收峰(567.5 cm^{-1})与尖晶石高频吸收峰(678.8 cm^{-1})、磁铁矿低频吸收峰(471.4 cm^{-1})与尖晶石低频吸收峰(510.3 cm^{-1})之间, 显示山东蒙阴金伯利岩中尖晶石族矿物多为铬铁矿, 极少为尖晶石^[17-18].

(2) 不同含矿性金伯利岩中铬铁矿 A 峰吸光度与高频峰吸光度平均比值, 由无矿→贫矿→中等含矿→

表 1 山东蒙阴金伯利岩中铬铁矿红外图谱特征统计表

Table 1 Statistics for the infrared spectroscopic features of chromite in the Mengyin kimberlite deposit in Shandong Province

样品	含矿性	件数	A 峰均值/ cm^{-1}	高频峰均值/ cm^{-1}	低频峰均值/ cm^{-1}	I_A/I_1	$(\nu_1-\nu_2)/\text{cm}^{-1}$
1 号小岩筒	中等	20	1084.4	622.9	497.8	0.83	125.0
1 号大岩筒	中等	15	1041.3	623.7	498.3	0.88	125.4
6 号岩筒	贫矿	3	1086.5	621.3	495.4	0.73	125.9
坡里岩脉	无矿	6	1086.5	632.2	504.3	0.71	127.9
1 号小岩筒	富矿	3	1032.1	632.2	498.4	1.09	126.1
2 号岩脉	中等	3	1030.6	623.5	500.3	0.93	123.3

测试单位 沈阳地质矿产研究所实验测试中心.

富矿金伯利岩, 依次为 0.71、0.73、0.83~0.93、1.09, 逐渐升高, 显示出明显的找矿意义。

(3) 无矿金伯利岩中铬铁矿红外光谱高频峰和低频峰值偏大, 贫矿金伯利岩中铬铁矿红外光谱高频峰和低频峰值偏小, 中等含矿和富矿金伯利岩中铬铁矿红外光谱高频峰和低频峰值在两者之间, 峰值分区明显, 具有找矿意义。

参考文献:

- [1] 贺灌之. 金伯利岩和金刚石的形成机制[J]. 地质评论, 1980, 26(5).
- [2] 庄德厚. 探讨我国金伯利岩形成的时代[J]. 地质评论, 1979, 25(1).
- [3] 董振信. 中国金伯利岩[M]. 北京: 科学出版社, 1994: 22—276.
- [4] 董振信. 我国金伯利岩型金刚石矿床的若干地质特征及其找矿标志[J]. 矿床地质, 1991, 10(3): 255—264.
- [5] 赵秀英. 辽宁某地金伯利岩中铬铁矿与金刚石的关系[J]. 矿物学报, 1982(1): 21—29.
- [6] 董振信, 周剑雄. 我国金伯利岩中铬铁矿的标型特征及其找矿意义[J]. 地质学报, 1980, 54(4): 284—298.
- [7] 董振信, 丛安东, 韩柱国. 金伯利岩含金刚石性的矿物学标志[J]. 矿床地质, 1993, 12(1): 47—54.
- [8] 张安棣, 谢锡林, 郭立鹤. 金刚石找矿指示矿物研究及数据库[M]. 北京: 北京科学技术出版社, 1991: 66—89.
- [9] 迟广成, 宋丽华, 王娜, 等. X射线粉晶衍射仪在山东蒙阴金伯利岩蚀变矿物鉴定中的应用[J]. 岩矿测试, 2010, 29(4): 475—477.
- [10] 潘兆橐. 结晶学与矿物学[M]. 北京: 地质出版社, 1984: 73—78, 113—116.
- [11] 王璞, 潘兆橐, 翁玲宝. 系统矿物学(上册)[M]. 北京: 地质出版社, 1982: 160—188.
- [12] 张蓓莉. 系统宝石学[M]. 北京: 地质出版社, 1997: 320—330.
- [13] 吴惠群. 实用宝石学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1994: 125—128.
- [14] 郭立鹤, 张维睿. 中国地质科学院“七五”对外科技合作成果选编[M]. 北京: 地质出版社, 1993: 166—178.
- [15] 吴瑾光. 近代傅里叶变换红外光谱技术及应用[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1994: 239—287.
- [16] 翁诗甫. 傅里叶变换红外光谱仪[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 239—287.
- [17] 郭立鹤. 现代矿物学地球化学实验技术方法与地学应用[M]. 北京: 地质出版社, 1986: 1—19.
- [18] 林森, 吴平平, 周文敏. 实用傅立叶变换红外光谱学[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1991: 117.