

文章编号: 0254-5357(2014)03-0358-06

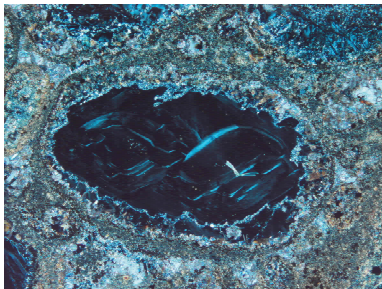
辽宁瓦房店金伯利岩中尖晶石族矿物种类划分及指示意义

迟广成, 伍 月
(沈阳地质矿产研究所, 辽宁 沈阳 110032)

摘要: 晶体矿物学理论认为不同成岩环境金伯利岩中尖晶石族矿物由于形成物理化学条件不同,其晶体结构和化学成分会发生明显的变化,通过对无矿、贫矿、富矿金伯利岩岩管中的尖晶石族矿物晶胞参数和化学成分的测定,研究尖晶石族矿物化学成分和晶胞参数变化与无矿、贫矿、富矿金伯利岩的内在关系,可以提高金伯利岩型金刚石矿床找矿效率。为了确定辽宁瓦房店金伯利岩中的尖晶石族矿物种属,探讨辽宁瓦房店金伯利岩中尖晶石族矿物化学成分和晶胞参数与金伯利岩含矿性关系,本文运用电子探针波谱仪对 50 件尖晶石族矿物中的 MgO 、 FeO 、 TiO_2 、 Al_2O_3 、 MnO 及 Cr_2O_3 进行微区化学成分分析,运用单晶 X 射线衍射仪对 136 个尖晶石族矿物晶胞参数进行测定。数据统计显示:瓦房店金伯利岩中尖晶石族矿物为铬铁矿和镁铬铁矿,以化学分子式中 A、B 组主要阳离子占位特征为基础,可把矿区的尖晶石族矿物划分为 10 个亚种;如果用尖晶石族矿物化学成分中 Cr_2O_3 与 $(Cr_2O_3 + Al_2O_3)$ 含量的比值 Cr' 来表示尖晶石族矿物与金伯利岩含矿性的关系,金伯利岩岩体含矿性由富矿→中等含矿→贫矿,相应岩体中尖晶石族矿物 Cr' 值分别为 89.5%、83.4%~87.1% 和 70.2%,逐渐变低;从无矿金伯利岩岩体→贫矿和中等含矿金伯利岩岩体→富矿金伯利岩岩体,金伯利岩体中第一世代尖晶石族矿物晶胞参数分别为 0.831~0.832 nm、0.834~0.836 nm、>0.837 nm,有逐渐变大的趋势。本文认为,辽宁瓦房店金伯利岩中第一世代尖晶石族矿物晶胞参数大小和 Cr' 参数可以作为判断辽宁瓦房店金伯利岩含矿性的指示标型。

关键词: 金伯利岩; 尖晶石族矿物; 化学成分; 晶胞参数; 矿物种类及 指示意义

中图分类号: P578.46 **文献标识码:** A



尖晶石族矿物在辽宁瓦房店金伯利岩中含量较多,分布普遍,是金伯利岩中的主要指示矿物^[1-3]。尖晶石族矿物在金伯利岩中按结晶形态和生成时间可分为三个世代,第一世代尖晶石族矿物以斑晶形式出现,颗粒直径一般为 0.7~2.0 mm,原始晶形为正八面体,部分为聚形晶,结晶颗粒粗大,晶体长期处于熔浆阶段,八面体的晶棱和角顶均被熔蚀,其形状多为浑圆状、椭圆形、饼状以及其它各种不规则形状,有时晶体表面形成各种形状的蚀象,形成早于第一世代橄榄石或同时生成^[4-7]。浑圆形斑晶尖晶石族矿物,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尖晶石族矿物斑晶^[8]。含矿性不同的金伯利岩岩体中,三个世代尖晶石族矿物的含量是不同的,富矿金伯利岩岩体,以第一世代浑圆形大斑晶尖晶石族矿物为主,约占总量的 70%,第二世代八面体歪晶尖晶石族矿物的含量小于总量的 25%,且歪晶种类简单,浑圆化作用强烈,第三世代小正八面体的尖晶石族矿物约占总量的 5%;中等含矿的金伯利岩岩体中,尖晶石族矿物以第二世代为主,约占总量的 60%,第一世代约占 30%,第三世代约占 10%;贫矿金伯利岩岩体中,以第三世代尖晶石族矿物为主,约占总量的 75%,第一世代约占 5%,第二世代含量小于总量的 20%^[9]。尖晶石族矿物这些特征对判别金伯利岩含矿性具有一定指导意义。

收稿日期: 2013-09-10; 接受日期: 2014-02-11
基金项目: 国土资源部公益科研专项“金刚石矿床标型矿物的 X 射线衍射特征”(200811120)
作者简介: 迟广成,高级工程师,从事岩矿测试工作。E-mail: chiguangcheng@126.com。

到目前为止,辽宁瓦房店金伯利岩中尖晶石族矿物是以铬铁矿为主,还是以尖晶石为主^[10]? 尖晶石族矿物哪些标型与金伯利岩含矿性有关^[11]? 一直是地学界热点话题。本文利用电子探针波谱仪和 X 射线单晶衍射仪分别对辽宁瓦房店不同含矿性的金伯利岩中尖晶石族矿物进行微区化学成分和晶胞参数检测,拟通过研究不同含矿性的金伯利岩岩体中尖晶石族矿物检测数据,准确划分尖晶石族矿物种类,以期解决地学界争论的金伯利岩中尖晶石族矿物种类划分的问题,探讨尖晶石族矿物化学成分和晶胞参数与金伯利岩含矿性的关系。

1 实验部分

1.1 样品采集

项目组在辽宁瓦房店金刚石矿区 50 号金伯利岩岩管、42 号岩管深部、42 号岩管浅部、1 号岩管、51 号岩管浅部、51 号岩管深部分别选取了 13 个、9 个、2 个、7 个、6 个和 13 个,共计 50 个尖晶石族矿物单晶样品做电子探针波谱微区化学成分分析。

晶胞参数测定选用的尖晶石族矿物样品取自于辽宁瓦房店金刚石矿区 50 号岩管、42 号岩管、1 号岩管、51 号岩管,各自选取了 24 个、55 个、25 个、32 个单晶样品,共计 136 个。

1.2 测量仪器及实验条件

尖晶石族矿物化学成分分析:在沈阳地质矿产研究所实验测试中心采用电子探针测定(仪器型号:JAX-8100,日本电子公司)。仪器实验条件为:室温 23℃,湿度 40%,加速电压 15 kV,工作电流 10⁻⁸A,工作距离 11 mm,束斑直径 1 μm^[12-13]。在设定条件下,用电子探针波谱仪对所采尖晶石族矿物样品进行微区分析,分析项目主要为:MgO、FeO、TiO₂、Al₂O₃、MnO、Cr₂O₃。

尖晶石族矿物晶胞参数测量:在中国地质大学(北京)采用单晶 X 射线衍射仪测定(仪器型号:SMART APEX CCD,德国布鲁克公司)。仪器实验条件为:Mo Kα 射线,石墨单色器,晶体与 CCD 的距离 50.017 mm,管压 45 kV,管流 35 mA。晶胞参数使用 matrix 方法测试,扫描范围:①2θ 角为-30°,四圆衍射仪上的 φ 转轴设为 0°,ω 转轴设为-30°~45°;②2θ 为-30°,φ 为 90°,ω 为-30°~45°;③2θ 为+30°,φ 为 0°,ω 为+30°~+15°,每个方向 50 帧,曝光时间 10 s,大多数样品可获得 200 个以上衍射点用于晶胞参数的精修,晶胞参数精修采用全矩阵最小二乘精修方法。经全部的晶胞参数的误差

统计表明,90% 以上数据误差小于 0.005,数据质量较好。所选晶体大小尽量保证在 0.08 ~ 0.30 mm^[14-17]。

2 结果与讨论

2.1 尖晶石族矿物化学成分特征

运用电子探针对辽宁瓦房店金伯利岩中 50 个尖晶石族矿物单晶的 MgO、FeO、TiO₂、Al₂O₃、MnO、Cr₂O₃进行波谱分析的测试结果见表 1。数据显示:尖晶石族矿物的 MgO 含量为 6.5% ~ 14.8%,FeO 含量为 13.8% ~ 30.7%,TiO₂ 含量为 0.03% ~ 3.8%,Al₂O₃ 含量为 3.0% ~ 22.0%,MnO 含量为 0.1% ~ 0.2%,Cr₂O₃ 含量为 42.8% ~ 64.7%;质量比 MgO/FeO 为 0.25 ~ 1.07,Al₂O₃/Cr₂O₃ 为 0.05 ~ 0.51。

标准尖晶石的 MgO 含量为 28.2%,Al₂O₃ 含量为 71.8%;标准铬铁矿的 FeO 含量为 32.9%,Cr₂O₃ 含量为 67.9%;标准磁铁矿的 FeO 含量为 31.0%,Fe₂O₃ 含量为 69.0%^[18]。比较而言,瓦房店金伯利岩中尖晶石族矿物样品 MgO 含量低于标准尖晶石中 MgO 含量(28.2%)的 52%;样品中 FeO 含量低于标准磁铁矿中 FeO 含量,是标准铬铁矿中 FeO 含量(32.9%)的 42% ~ 93%;样品中 Al₂O₃ 含量低于标准尖晶石中 Al₂O₃ 含量(71.8%)的 31%;样品中 Cr₂O₃ 含量高于标准铬铁矿中 Cr₂O₃ 含量(67.9%)的 63%。由此推测,瓦房店金伯利岩中尖晶石族矿物多为富镁铬铁矿,具有高铬、富镁特征,通常认为高 Cr、富 Mg、低 Ti、低 Al 的尖晶石族矿物是来自含金刚石原生矿的指示矿物^[19]。

表 1 尖晶石族矿物电子探针波谱微区化学成分分析数据
Table 1 Analytical results of the spinel minerals by electron probe

样品采集地点	样品 件数	尖晶石族矿物微区化学成分平均值(%)						
		MgO	FeO	TiO ₂	Al ₂ O ₃	MnO	Cr ₂ O ₃	总和
瓦房店 50 号岩管	13	11.262	21.949	1.287	8.820	0.184	56.379	99.84
瓦房店 42 号岩管深部	9	10.245	21.249	0.359	5.731	0.205	61.971	99.80
瓦房店 42 号岩管浅部	2	12.591	26.581	1.492	11.838	0.165	47.964	100.63
瓦房店 1 号岩管	7	12.815	20.938	0.209	8.520	0.192	57.581	100.25
瓦房店 51 号岩管浅部	6	11.886	20.329	0.294	8.329	0.193	58.725	99.83
瓦房店 51 号岩管深部	13	12.858	18.710	0.284	8.174	0.198	60.053	100.44

尖晶石族矿物微区化学成分统计结果显示:辽宁瓦房店金伯利岩中不同世代的尖晶石族矿物的化学成分不同,主要体现在铬和铝两个元素上。第一世代浑圆形斑晶尖晶石族矿物的 Cr₂O₃ 含量多为

57.0% ~ 60.0% , Al_2O_3 含量多为 4.0% ~ 6.0% ; 第二代歪晶尖晶石族矿物的 Cr_2O_3 含量多为 52.0% ~ 56.0% , Al_2O_3 含量多为 7.0% ~ 9.0% ; 第三代尖晶石族矿物的 Cr_2O_3 含量多为 46.0% ~ 51.0% , Al_2O_3 含量多为 9.0% ~ 14.0% 。如果用尖晶石族矿物化学成分中 Cr_2O_3 与 $(\text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3)$ 含量的比值 $\text{Cr}' = \text{Cr}_2\text{O}_3 / (\text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3) \times 100\%$ 来表示尖晶石族矿物与金伯利岩含矿性的关系, 金刚石包裹体中尖晶石族矿物的 Cr' 值为 90.0% ; 富矿金伯利岩中的第一世代斑晶尖晶石族矿物的 Cr' 值为 89.5% ; 中等含矿金伯利岩岩体中第一世代尖晶石族矿物的 Cr' 值为 87.1% , 第二代尖晶石族矿物的 Cr' 值为 83.4% ; 贫矿金伯利岩岩体中尖晶石族矿物的 Cr' 值为 70.2% 。金伯利岩岩体中含金刚石由富到贫, 对应金伯利岩体中尖晶石族矿物的 Cr' 值依次变低。研究认为, 高铬、低铝的粗晶尖晶石族矿物是金刚石找矿指示矿物, 金伯利岩中尖晶石族矿物的 Cr' 值可作为判定金伯利岩岩体含矿与否的重要指示参数。

2.2 尖晶石族矿物晶体化学式及种类划分

为了详细划分辽宁瓦房店金伯利岩中尖晶石族矿物的种属, 本文根据金伯利岩中尖晶石族矿物晶体结构特征, 计算出尖晶石族矿物化学分子式, 在确定尖晶石族矿物 A、B 组主要阳离子占位特征的基础上, 对尖晶石族矿物种类进行详细划分。

尖晶石族矿物的化学通式为 AB_2O_4 , 主要矿物有尖晶石、铁尖晶石、锌尖晶石、锰尖晶石、磁铁矿、钛铁晶石、锌铁尖晶石、镍磁铁矿和铬铁矿。A 组主要阳离子为 Fe^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Mn^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Ni^{2+} 等; B 组主要阳离子为 Cr^{3+} 、 Fe^{3+} 、 Al^{3+} 、 Ti^{4+} 等, 而 Fe^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Mn^{2+} 、 Co^{2+} 、 Ni^{2+} 、 Mn^{3+} 等亦可加入 B 组。尖晶石族矿物具尖晶石型结构: O^{2-} 呈立方紧密堆积, 单位晶胞中有 64 个四面体空隙(A 的可能位置) 和 32 个八面体空隙(B 的可能位置)。然而, 只有 8 个四面体空隙和 16 个八面体空隙被占据, 整个结构可视为 $[\text{AO}_4]$ 四面体和 $[\text{BO}_6]$ 八面体连接而成, 即沿三次轴方向上 $[\text{AO}_4]$ 四面体和 $[\text{BO}_6]$ 八面体共同组成的层与单纯的 $[\text{BO}_6]$ 八面体层交替排列; $[\text{AO}_4]$ 四面体与上、下八面体层中 $[\text{BO}_6]$ 八面体以共角顶的方式相联结(见图 1)。铬铁矿和尖晶石为正尖晶石型结构, 即单位晶胞中 8 个 A 组二价阳离子占据四面体位置, 16 个 B 组三价阳离子占据八面体位置。尖晶石族矿物中, 由于 Cr^{3+} 的八面体择位能(OSPE) 远大于 Fe^{2+} 的 OSPE, 因而三价阳离子

(Cr^{3+}) 便优先占据八面体配位位置, 二价阳离子(Fe^{2+}) 则只好进入四面体配位位置, 形成正尖晶石型结构^[20]。

依据尖晶石族矿物晶体结构特征, 通过辽宁瓦房店金伯利岩中 50 个尖晶石族矿物的电子探针微区化学成分分析数据, 计算出尖晶石族矿物分子式(见表 2), 尖晶石族矿物成分为探针微区分析项目, 氧化物为尖晶石族矿物中各氧化物所占的百分含量, 分子质量为氧化物原子质量之和, 摩尔数为氧化物百分含量与分子质量之比, 氧原子数和阳离子数为氧化物中原子数与摩尔数之积, 再以尖晶石族矿物中 4 个氧原子数除以各氧化物氧原子数之和 2.01 得 2.00, 以 2.00 乘氧化物中阳离子数得到分子中该元素阳离子数; 按二价阳离子首先占据四面体空位, 三价阳离子首选八面体占位的规律计算出尖晶石族矿物分子式(见表 3)。

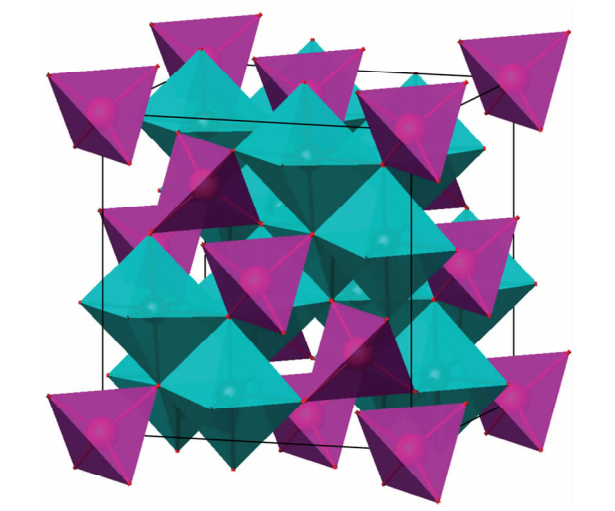


图 1 辽宁瓦房店金伯利岩中尖晶石族矿物
Fig. 1 The crystal structure of spinel group minerals in kimberlite from Wafangdian, Liaoning
紫色四面体为 $[\text{AO}_4]$, 蓝绿色八面体为 $[\text{BO}_6]$

表 2 尖晶石族矿物分子式计算
Table 2 The formula calculation of spinel group minerals

项目	石榴石化学成分					
	MgO	FeO	TiO ₂	Al ₂ O ₃	MnO	Cr ₂ O ₃
氧化物(%)	12.41	23.92	0.54	10.61	0.17	52.35
氧化物分子质量	40.30	71.85	79.87	101.96	70.94	151.99
氧化物摩尔数	0.31	0.33	0.01	0.10	0.00	0.34
氧化物中氧原子数	0.31	0.33	0.01	0.31	0.00	1.03
氧化物中阳离子数	0.31	0.33	0.01	0.21	0.00	0.69
分子式中阳离子数	0.62	0.67	0.01	0.42	0.00	1.38

表3 辽宁瓦房店金伯利岩中尖晶石族矿物分子式和类型

Table 3 The formula and types of spinel group minerals from Wafangdian, Liaoning

类型	样品件数	采样地点	含矿	不同亚种尖晶石族矿物分子式特征
I	2	瓦房店42号岩管	中等	(Fe _{0.61} Mg _{0.39}) _{1.00} (Cr _{1.62} Fe _{0.23} Al _{0.22} Mn _{0.01}) _{2.07} O ₄
VII	1	瓦房店42号岩管	中等	(Mg _{0.51} Fe _{0.44}) _{0.95} (Cr _{1.80} Al _{0.23} Mn _{0.01}) _{2.04} O ₄
II	1	瓦房店42号岩管	中等	(Fe _{0.57} Mg _{0.43}) _{1.00} (Cr _{1.66} Fe _{0.20} Al _{0.12} Ti _{0.05} Mn _{0.01}) _{2.04} O ₄
VIII	5	瓦房店42号岩管	中等	(Mg _{0.63} Fe _{0.37}) _{1.00} (Cr _{1.62} Al _{0.29} Fe _{0.13} Mn _{0.01}) _{2.05} O ₄
III	1	瓦房店42号岩管	中等	(Fe _{0.58} Mg _{0.42}) _{1.00} (Cr _{1.72} Al _{0.23} Fe _{0.07} Mn _{0.01}) _{2.03} O ₄
IX	1	瓦房店42号岩管	中等	(Mg _{0.58} Fe _{0.42}) _{1.00} (Cr _{1.39} Fe _{0.41} Al _{0.24} Ti _{0.07} Mn _{0.01}) _{2.12} O ₄
VIII	7	瓦房店50号岩管	富矿	(Mg _{0.62} Fe _{0.38}) _{1.00} (Cr _{1.48} Al _{0.37} Fe _{0.20} Ti _{0.01} Mn _{0.01}) _{2.07} O ₄
IX	1	瓦房店50号岩管	富矿	(Mg _{0.63} Fe _{0.37}) _{1.00} (Cr _{1.32} Al _{0.34} Fe _{0.32} Ti _{0.09}) _{2.07} O ₄
IV	1	瓦房店50号岩管	富矿	(Fe _{0.66} Mg _{0.34}) _{1.00} (Cr _{1.73} Al _{0.18} Ti _{0.05} Fe _{0.03} Mn _{0.01}) _{2.00} O ₄
V	1	瓦房店50号岩管	富矿	(Fe _{0.50} Mg _{0.50}) _{1.00} (Cr _{1.26} Al _{0.72} Ti _{0.01} Mn _{0.01}) _{1.99} O ₄
III	1	瓦房店50号岩管	富矿	(Fe _{0.56} Mg _{0.44}) _{1.00} (Cr _{1.65} Al _{0.20} Fe _{0.16} Ti _{0.03} Mn _{0.01}) _{2.05} O ₄
X	1	瓦房店50号岩管	富矿	(Mg _{0.60} Fe _{0.40}) _{1.00} (Cr _{1.62} Fe _{0.21} Al _{0.20} Ti _{0.02} Mn _{0.01}) _{2.06} O ₄
I	1	瓦房店50号岩管	富矿	(Fe _{0.57} Mg _{0.43}) _{1.00} (Cr _{1.52} Fe _{0.29} Al _{0.15} Ti _{0.10} Mn _{0.01}) _{2.07} O ₄
II	1	瓦房店50号岩管	富矿	(Fe _{0.57} Mg _{0.43}) _{1.00} (Cr _{1.52} Fe _{0.29} Al _{0.15} Ti _{0.10} Mn _{0.01}) _{2.07} O ₄
VI	1	瓦房店50号岩管	富矿	(Fe _{0.51} Mg _{0.49}) _{1.00} (Cr _{1.58} Al _{0.19} Fe _{0.18} Ti _{0.08} Mn _{0.01}) _{2.04} O ₄
X	2	瓦房店1号岩管	无矿	(Mg _{0.58} Fe _{0.42}) _{1.00} (Cr _{1.30} Fe _{0.46} Al _{0.38} Ti _{0.01}) _{2.15} O ₄
VIII	5	瓦房店1号岩管	无矿	(Mg _{0.63} Fe _{0.37}) _{1.00} (Cr _{1.62} Al _{0.27} Fe _{0.14} Ti _{0.01} Mn _{0.01}) _{2.05} O ₄
VIII	16	瓦房店51号岩管	贫矿	(Mg _{0.67} Fe _{0.33}) _{1.00} (Cr _{1.73} Al _{0.18} Fe _{0.12} Ti _{0.01} Mn _{0.01}) _{2.05} O ₄
I	1	瓦房店51号岩管	贫矿	(Fe _{0.54} Mg _{0.46}) _{1.00} (Cr _{1.55} Fe _{0.34} Al _{0.21} Ti _{0.01} Mn _{0.01}) _{2.12} O ₄
III	1	瓦房店51号岩管	贫矿	(Fe _{0.53} Mg _{0.47}) _{1.00} (Cr _{1.55} Al _{0.31} Fe _{0.16} Ti _{0.02} Mn _{0.01}) _{2.05} O ₄
X	1	瓦房店51号岩管	贫矿	(Mg _{0.58} Fe _{0.42}) _{1.00} (Cr _{1.65} Fe _{0.19} Al _{0.19} Ti _{0.02} Mn _{0.01}) _{2.06} O ₄

瓦房店金伯利岩中尖晶石族矿物分子式计算结果显示:A组主要阳离子为Fe²⁺、Mg²⁺;B组主要阳离子为Cr³⁺、Fe³⁺、Al³⁺、Ti⁴⁺、Mn²⁺。A组阳离子Fe²⁺占位数为0.28~0.66,占位数大于0.50的为11件;Mg²⁺占位数为0.34~0.72,占位数大于0.50的为39件。B组阳离子Cr³⁺占位数为1.05~1.80,Fe³⁺占位数为0.00~0.46,Al³⁺占位数为0.12~0.81,Ti⁴⁺占位数为0.00~0.10,Mn²⁺占位数为0.00~0.01。可见A组Mg、Fe的原子数接近,在0.28~0.72左右,多数Mg原子数大于Fe原子数。B组阳离子Cr³⁺占位数在1/2以上,少于1/2空位为Fe³⁺原子和Al³⁺原子占位。尖晶石族矿物的端员组分主要为MgCr₂O₄、MgAl₂O₄、FeCr₂O₄,还含有少量的MgTi₂O₄和FeO分子。

本文以占位原子数大于0.05的元素参加分类命名,并结合A、B组阳离子占位数大小的原则,把辽宁瓦房店金伯利岩中尖晶石族矿物划分为以下10个亚种,如表4所示。

2.3 尖晶石族矿物的晶胞参数特征

为了探讨金伯利岩中尖晶石族矿物晶胞参数大小与金伯利岩含矿性关系,判断尖晶石族矿物种类,对化学成分法划分的尖晶石族矿物种类进行验证,本文利用X射线单晶衍射仪对尖晶石族矿物晶胞参数进行测定,通过对不同含矿性金伯利岩岩体中第

表4 辽宁瓦房店金伯利岩中尖晶石族矿物的10个亚种类型

Table 4 The ten subspecies of spinel group minerals from Wafangdian, Liaoning

类型	矿物亚种类型	样品件数
I	铁镁-铬铁铝亚种	3
II	镁铁-铬铁铝钛亚种	2
III	铁镁-铬铝铁亚种	3
IV	铁镁-铬铝钛亚种	1
V	铁镁-铬铝亚种	1
VI	铁镁-铬铝铁钛亚种	1
VII	镁铁-铬铝亚种	1
VIII	镁铁-铬铝铁亚种	32
IX	镁铁-铬铁铝钛亚种	2
X	镁铁-铬铁铝亚种	4

一代代尖晶石族矿物晶胞参数统计,确定晶胞参数大小与金伯利岩含矿性的关系。晶胞参数测试结果显示:辽宁瓦房店50号富矿金伯利岩中的尖晶石族矿物晶胞参数分布在0.830~0.839 nm之间,分布比较分散;42号中等含矿金伯利岩中尖晶石族矿物晶胞参数分布在0.830~0.840 nm之间,集中在0.833~0.835 nm之间;51号贫矿金伯利岩中尖晶石族矿物晶胞参数分布在0.830~0.840 nm之间,集中在0.833~0.836 nm之间;1号无矿金伯利岩中尖晶石族矿物晶胞参数分布在0.830~0.839 nm之间,集中在0.831~0.835 nm之间。总体而言,瓦房

店金伯利岩中尖晶石族矿物的晶胞参数分布在 0.830 ~ 0.840 nm 之间,晶胞参数值总体偏小,集中在 0.831 ~ 0.836 nm 之间(图 2),约占 82%。

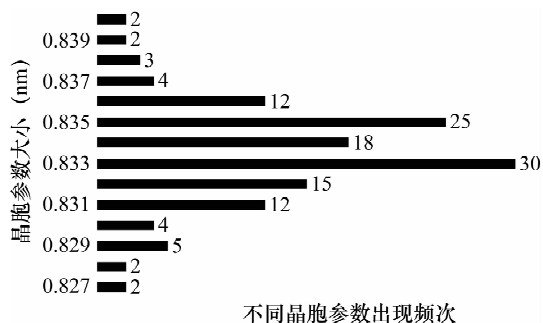


图 2 辽宁瓦房店金伯利岩中尖晶石族矿物晶胞参数统计
Fig 2 The statistics of crystal cell parameters for spinel group minerals from Wafangdian, Liaoning

本次所测的尖晶石族矿物可分为第一世代、第二世代和第三世代,通过对第一世代尖晶石族矿物晶胞参数统计,发现无矿金伯利岩岩体的第一世代尖晶石族矿物晶胞参数在 0.831 ~ 0.832 nm 之间;贫矿和中等含矿金伯利岩岩体的第一世代尖晶石族矿物晶胞参数在 0.834 ~ 0.836 nm 之间;富矿金伯利岩岩体的第一世代尖晶石族矿物晶胞参数大于 0.837 nm。从无矿岩体→贫矿岩体和中等含矿岩体→富矿岩体,第一世代尖晶石族矿物晶胞参数值有明显变大的趋势。

理论上镁尖晶石、铁尖晶石、锌尖晶石、锰尖晶石晶胞参数分别为 0.810 nm、0.813 nm、0.808 nm、0.828 nm;铬铁矿和镁铬铁矿晶胞参数分别为 0.838 nm 和 0.833 nm;磁铁矿晶胞参数为 0.840 nm^[21]。比较而言,所测得尖晶石族矿物的晶胞参数大小更接近于铬铁矿和镁铬铁矿晶胞参数,推测本区尖晶石族矿物为铬铁矿和镁铬铁矿。辽宁瓦房店金伯利岩中尖晶石族矿物晶胞参数较小,且变化范围较大,表明来源较复杂,可能有地幔捕虏晶来源及地幔捕虏体中的尖晶石族矿物离解混杂^[22-25]。

本区的尖晶石族矿物单晶衍射晶胞参数测定显示,较多地出现了超晶胞现象。通常情况下 Mg、Fe 构成类质同象,如果 Mg 含量较少,Mg、Fe 无序对结构没有影响。化学成分分析表明,辽宁瓦房店金伯利岩中尖晶石族矿物的 Mg 含量较高,镁原子数接近于 0.5,多数已超过 0.5,[BO₆]八面体中的 Mg、Fe 有序化形成 MgCr₂O₄ 和 FeCr₂O₄,导致晶胞参数加倍形成超结构现象。

3 结语

本文通过对辽宁瓦房店金伯利岩中尖晶石族矿物微区化学成分和晶胞参数检测分析,依据尖晶石族矿物分子式中 A、B 组阳离子占位特征,把辽宁瓦房店金伯利岩中尖晶石族矿物划分为 10 个亚种,并发现从无矿岩体→贫矿岩体和中等含矿岩体→富矿岩体,第一世代尖晶石族矿物晶胞参数值有逐渐变大的趋势,为金伯利岩型金刚石找矿提供了重要矿物学指示参数。由于富矿、中等含矿、贫矿和无矿金伯利岩体中的尖晶石族矿物样品采集困难,本次研究所划分的尖晶石族矿物亚种可能少于实际存在的种类;所统计的不同含矿程度的金伯利岩中的第一世代尖晶石族矿物晶胞参数变化规律也有待于通过其它金伯利岩型金刚石矿区加以验证。

4 参考文献

- [1] 辽宁省地质局第六地质大队. 辽宁省复县金刚石原生矿床地质研究报告[M]. 沈阳: 辽宁地质矿产局, 1982: 5-168.
- [2] 辽宁省地质局第六地质大队. 辽宁省复县地区隐伏金伯利岩体赋存规律及找矿方向研究报告[R]. 1990: 7-188.
- [3] 辽宁省地质矿产局中英合作地质队. 辽宁省东部地区中英合作金刚石原生矿勘查地质报告[R]. 1992: 1-12.
- [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] 孙国利, 赵磊, 李友林. 金伯利岩中铬铁矿原生表面特征成因类型及其成分特征[J]. 地质与勘探, 1999, 3(3): 17-20.
- [6] 赵丽娟, 赵磊, 李学军. 新疆喀拉喀什河金刚石找矿指示矿物原生表面特征研究[J]. 新疆地质, 2006, 18(2): 154-158.
- [7] 董振信. 山东金伯利岩中橄榄石的研究[J]. 岩石矿物学杂志, 1991, 10(4): 354-362.
- [8] 董振信. 中国金伯利岩[M]. 北京: 科学出版社, 1994: 22-276.
- [9] 赵秀英. 辽宁某地金伯利岩中尖晶石族矿物与金刚石的关系[J]. 矿物学报, 1982(1): 21-29.
- [10] 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.
- [11] 董振信, 周剑雄. 我国金伯利岩中尖晶石族矿物的标型特征及其找矿意义[J]. 地质学报, 1980, 54(4): 284-298.
- [12] 曾毅, 吴伟, 高建华. 扫描电镜和电子探针的基础及应用[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2009: 50-96.
- [13] 郭立鹤. 现代矿物学地球化学实验技术与地学应用[M]. 北京: 中国地质出版社, 1986: 1-19.

[14] 刘粤惠,刘平安. X 射线衍射分析原理与应用[M]. 北京:化学工业出版社,2003:72-77.

[15] 李树堂. X 射线衍射实验方法[M]. 北京:冶金工业出版社,1993:50-128.

[16] Jenkins R. Advances in X-ray Analysis [M]. New York: Plenum Press,1980:279.

[17] 廖立兵,李国武. X 射线衍射方法与应用[M]. 北京:地质出版社,2007:63-81.

[18] 王璞,潘兆鲁,翁玲宝. 系统矿物学(上册)[M]. 北京:地质出版社,1982:160-188.

[19] 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.

[20] 马鸿文. 工业矿物与岩石[M]. 北京:地质出版社,2002:195-200.

[21] 潘兆鲁. 结晶学与矿物学[M]. 北京:地质出版社,1985:257-258.

[22] 郑建平,路凤香. 金刚石中的流体包裹体研究[J]. 科学通报,1994,39(3):253-256.

[23] 路凤香. 深部地幔及深部流体[J]. 地学前缘,1996,3(4):181-186.

[24] 张鸿翔,徐志方,黄智龙. 地幔流体基本特征及成因[J]. 地质地球化学,2000,28(2):1-7.

[25] 张铭杰,王先彬,刘刚,李立武. 中国东部新生代碱性玄武岩及幔源捕虏体中的流体组成[J]. 地质学报,1999,73(2):162-166.

The Characteristics and Classification of Spinel Group Minerals in Kimberlite in Wafangdian, Liaoning Province

CHI Guang-cheng, WU Yue
(Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources, Shenyang 110032, China)

Abstract: According to crystal mineralogy theory, under the diagenetic environments with different physical and chemical conditions, crystal structure and chemical composition of spinel group minerals in kimberlite will be obviously different. Through the determination of the lattice parameters and chemical compositions of spinel group minerals from non-lean ore mines and Bonanza kimberlite pipe, the study of internal relations of chemical composition and lattice parameter changes in spinel group minerals among no ore, lean ore and bonanza kimberlite plays an important role for kimberlite diamond deposits prospecting. In order to determine the species of spinel group minerals, MgO, FeO, TiO₂, Al₂O₃, MnO and Cr₂O₃ of 50 spinel group minerals were analyzed by using micro area chemical analysis with Electron Microprobe. The lattice parameters of 136 spinel group minerals were determined by single-crystal X-ray Diffraction. The results show that spinel group minerals in kimberlite Wafangdian of Liaoning province are magnesium-rich chromite. Based on the main cations occupying chemical formulae groups A and B, the spinel group minerals in mining can be divided into 10 subspecies. If the ratio of Cr₂O₃/(Cr₂O₃ + Al₂O₃) content (Cr' values) in spinel group minerals represent the degree of mineralization of kimberlite ore-bearing deposit, the Cr' values in high-grade ore, medium-grade ore and lean ore of kimberlite rock in Wafangdian Liaoning are 89.5%, 83.4% - 87.1% and 70.2%, respectively. Lattice parameters of the spinel group minerals were 0.831 - 0.832 nm, 0.834 - 0.836 nm and larger than 0.837 nm from non-rock, lean ore rock, medium-grade ore and high-grade ore. A case that the spinel mineral lattice parameter of the first generation and Cr' value are the indicators of the ore bearing in Wafangdian kimberlite, Liaoning province is described.

Key words: kimberlite; spinel group minerals; chemical composition; cell parameters; mineral classification and its implications