doi: 10.19388/j.zgdzdc.2020.06.05

引用格式:周琦忠,张琪,冯学知,等.徐州睢宁白露山岩体中的铬铁矿化学成分及金刚石的含矿性研究[J].中国地质调查, 2020,7(6):35-42.

徐州睢宁白露山岩体中的铬铁矿化学成分及 金刚石的含矿性研究

周琦忠,张琪,冯学知,王博,邱磊,王国强

(江苏省地质矿产局第五地质大队,徐州 221004)

摘要: 白露山岩体是苏北地区重要的金刚石含矿岩体。通过研究该岩体中的铬铁矿化学成分,探讨其成因及金刚石的含矿性,进一步分析金刚石的成矿潜力。白露山岩体中的铬铁矿具有高 Cr、低 Al、高 Mg 的特征,属于镁铬铁矿,是深部地幔橄榄岩结晶而成的,不是岩体本身的结晶产物,可能来源于岩体中的深源捕虏体。铬铁矿的结晶温度为1253~1354 ℃,与金刚石的形成温度(1150~1400 ℃)相近,二者关系密切。铬铁矿化学成分与山东、辽宁含矿金伯利岩中铬铁矿的化学成分较相似,多数属于 S4 组和 S6 组铬铁矿,少数属于 S1 组和 S2 组铬铁矿,其中 S1 组和 S2 组铬铁矿是含矿岩体的标型矿物。白露山岩体具有良好的金刚石成矿潜力和找矿前景。 关键词: 白露山岩体; 铬铁矿; 化学成分; 金刚石含矿性

中图分类号: P619.241; P578.46 文献标志码: A 文章编号: 2095-8706(2020)06-0035-08

0 引言

2013 年以来,江苏省地质矿产局第五地质大队 在苏北地区启动了第二轮金刚石原生矿找矿工作, 在郯庐断裂带西侧张集、塔山、吴桥、西村等地区开 展了矿产普查工作^[1-2],从基性 – 超基性岩中选获 了6颗原生金刚石。其中白露山岩体选获了3颗原 生金刚石,包括2颗大颗粒金刚石(粒径>1 mm),这 是郯庐断裂带西侧首次发现的大颗粒金刚石,苏北 地区金刚石找矿工作取得了重要突破。

白露山岩体是近几年在苏北地区新发现的金 刚石含矿岩体,因相关研究工作刚刚起步,因此存 在很多亟待解决的科学问题。该岩体中除了发现 原生金刚石外,还选获了大量铬铁矿。铬铁矿作为 典型的金刚石指示矿物,可以较好地指示金刚石的 含矿性^[3-5]。本文通过研究白露山岩体中铬铁矿 的化学成分,探讨其成因及金刚石的含矿性,并与 山东、辽宁含矿金伯利岩中铬铁矿的化学成分进行 对比,进一步分析白露山岩体的金刚石成矿潜力, 为今后该区金刚石勘查工作提供参考资料。

1 区域地质背景

白露山岩体位于江苏省徐州市东南部约55 km 处,属于徐州市睢宁县姚集镇管辖。其大地构造位 置处于华北陆块区(Ⅰ₁)胶东古陆块(Ⅱ₁)鲁南被 动陆缘与陆表海盆地(Ⅲ₁)徐淮陆表海盆地(Ⅳ₂) 徐州—宿县弧形断褶带北东段,东距郯庐断裂带约 45 km(图1)。华北陆块为典型的A型克拉通,区 域上古老基底为新太古界泰山岩群,上覆盖层为新 元古界碳酸盐岩和碎屑岩,厚度达数千米,为金刚 石的形成提供了有利条件^[1-2,6]。

该区构造运动较活跃,区内褶皱、断裂发育,且 多次叠加,形成了区域上错综复杂的构造格架。褶 皱主要发生在印支期—燕山期,表现为徐州—宿县 弧形断褶带内发育一系列轴向由 NNE 向渐转为 NEE 向的复式褶皱,并略向 NW 向凸出呈弧形。区域 断裂主要为 NE 向、NNE 向、NW 向和近 EW 向4组, 多期活动性明显,控制着区域岩浆岩的侵位与分布。

收稿日期: 2020-03-12;修订日期: 2020-07-15。

基金项目:江苏省地质矿产勘查局"江苏省徐州市吴桥—石匣地区原生矿普查(编号:苏地矿发[2016]86 号、苏地矿发[2017]96 号)"项 目资助。

第一作者简介:周琦忠(1990—),男,工程师,主要从事地质矿产勘查工作。Email:dzwdzqz@foxmail.com。



I₁. 华北陆块区; I₂. 秦祁昆造山系; I₃. 扬子陆块区; I₁. 胶东古陆块; I₂. 大别苏鲁地块; I₃. 下扬子古陆 块; II₁. 鲁南被动陆缘与陆表海盆地; II₂. 苏鲁高压 – 超高压变质岩系折返带; II₃. 苏皖前陆盆地; V₁. 鲁南 碳酸盐岩台地; V₂. 徐淮陆表海盆地; II₂. 苏鲁高压 – 超高压变质亚带; V₄. 苏北周缘前陆盆地; V₁. 欢口新 生代粉砂岩 – 泥岩建造; V₂. 丰沛古生代碳酸盐岩 – 陆缘碎屑岩建造; V₃. 敬安新生代粉砂岩 – 泥岩建造; V₄. 徐州—贾汪古生代碳酸盐岩 – 陆缘碎屑岩建造; V₅. 邳县—睢宁新元古代陆缘碎屑岩 – 碳酸盐岩建造; V₆. 新沂—宿迁中生代磨拉石建造; V₇. 东海—赣榆地区云母片岩 – 石英岩 – 花岗片麻岩 – 榴辉岩建造; V₈. 泗阳—连云港地区绿色云母片岩 – 含磷大理岩 – 变粒岩 – 浅粒岩建造; V₉. 滨海古生代陆缘碎屑岩 – 碳酸 盐岩建造; V₁₀. 阜宁新生代粉砂岩 – 泥岩建造; V₁₁. 建湖古生代陆缘碎屑岩 – 碳酸盐岩建造



该区岩浆活动不强烈,主要有3期岩浆岩,分别 为新元古代辉绿岩、中生代中酸性侵入岩及喷出岩、 新生代脉岩,白露山岩体属于新生代岩浆活动的 产物。

2 岩石学特征

白露山岩体出露于四山子村北一白露山一带, 受多组断裂控制而呈枝杈状分布,具有多次喷发的 特点,其出露形态反映了裂隙式 - 中心式喷发的隐 爆火山岩岩管特征。岩体由东、西2条岩脉和四山 子村岩管组成,其中东、西2条岩脉在北段合并为1 条,四山子村岩管可能在深部与东岩脉相连(图2)。

岩体的岩相分带较明显,根据岩石类型及其分 布特征,可分为中间相和外部相。自岩体内部向外 角砾含量逐渐增多,由中间相的橄榄玄武岩逐渐过 渡为外部相的橄榄玄武质隐爆火山角砾岩(图3 (a))。围岩为震旦系九顶山组下段深灰色中厚层 灰岩,接触界线清晰,围岩蚀变以大理岩化为主,但 蚀变范围有限。



橄榄玄武岩呈灰黑色、黑绿色,具斑状结构、基 质间粒结构,块状构造。斑晶主要由橄榄石 (10%)、单斜辉石(10%)以及少量斜长石和角闪 石组成,粒径一般为0.1~1.2 mm;基质主要由斜 长石(50%)、单斜辉石(20%)、橄榄石(5%)以及 少量不透明矿物、黑云母和角闪石组成,粒径一 般<0.1 mm(图3(b))。橄榄石呈半自形 – 它形 柱粒状,基本被皂石或碳酸盐矿物交代成假象。

橄榄玄武质隐爆火山角砾岩呈深灰色、灰绿 色,角砾状构造。角砾大小不一,直径2~10 cm,多 数呈浑圆状,具熔蚀壳,成分极其复杂,主要为橄榄 玄武岩和灰岩,此外还可见凝灰质、闪斜煌岩、辉石 岩和片麻岩角砾等。胶结物主要为碎粉、火山尘及 方解石等次生矿物等,粒径 <0.5 mm。



(a) 野外照片
 (b) 显微镜下照片
 Am. 角闪石; Cpx. 单斜辉石; Ol. 橄榄石
 图 3 白露山岩体野外及显微镜下照片
 Fig. 3 Field and microscope photos of Bailushan rock mass

3 样品特征与测试方法

3.1 样品特征

本次研究的铬铁矿主要来自白露山岩体东岩

脉选矿样品中的重砂矿物。其显微镜下特征为: 黑色,八面体,粒状,金属、半金属光泽,不透明,高 硬度,浑圆 – 半浑圆状,无解理,断口呈油脂光泽、 沥青光泽,条痕呈褐色,表面特征具有镜面状、指纹 状、致密状及斜切边状(图4)。



图 4 白露山岩体中的铬铁矿显微镜下照片 Fig. 4 Microscope photos of chromite from Bailushan rock mass

3.2 测试方法

对铬铁矿进行单矿物制靶和电子探针测试。 单矿物制靶在南京宏创地质勘查技术服务有限公 司完成,电子探针测试在国家海洋局第二海洋研究 所检测中心完成。电子探针仪器型号为 JXA - 8100 电子微探针波谱仪,测试条件为室温 23 ℃,湿 度 40%,加速电压 15 kV,束流 20 nA,光束直径 5 μm,分析项目包括 TiO₂、Cr₂O₃、Al₂O₃、MgO、FeO 和 MnO 含量测定。校正标准矿物主要为橄榄石 (Mg)、铁铝榴石(Fe、Al)、铬铁矿(Cr)、金红石 (Ti)和蔷薇辉石(Mn); Mn、Cr 计数时间峰值为
30 s,背景计数时间为 10 s,其他元素计数时间峰
值均为 10 s。

4 地球化学特征

4.1 主量元素

白露山岩体中铬铁矿的电子探针分析数据见

表1。铬铁矿的 Cr₂O₃含量为46.10%~66.10%,平 均值为58.12%; Al₂O₃含量为4.67%~14.78%,平 均值为8.25%; MgO 含量为9.68%~13.46%,平 均值为11.63%; FeO 含量为13.74%~25.43%; TiO₂含量多数为0~1.65%,极个别含量为3.76%, 平均值为0.81%。铬铁矿总体具有高 Cr、低 Al、高 Mg 的特征。

	表1 白露山岩体中铬铁矿电子探针分析数据	
Tab. 1	Data of electron probing analyses of chromite from Bailushan rock mass	

			- •••				P-	8.08											
氧化物含量/%				阳离子数					Cr/	Mg/	Cr⁄	TT / IZ	m /9C	八加					
${\rm TiO}_2$	$\mathrm{Cr}_2\mathrm{O}_3$	$\mathrm{Al}_2\mathrm{O}_3$	MgO	FeO	MnO	总量	Ti	Al	Cr	Fe^{3} +	Fe^{2} +	Mn	Mg	Al)	$(Mg + Fe^{2+})$	Fe^{3} +	17 K	I/ C	汀珇
0.31	52.80	14.70	12.23	19.00	0.22	99.40	0.01	0.56	1.34	0.09	0.42	0.01	0.58	0.71	0.58	3.21	1 605	1 331	S4
1.42	47.85	12.57	13.22	21.07	0.23	96.96	0.04	0.49	1.24	0.19	0.39	0.01	0.65	0.72	0.62	3.17	1 614	1 340	S4
0.22	65.43	4.73	13.15	15.39	0.35	99.64	0.01	0.18	1.71	0.07	0.35	0.01	0.65	0.90	0.65	4.87	1 527	1 254	S2
0.59	60.29	7.14	11.57	19.35	0.20	99.34	0.02	0.28	1.58	0.10	0.44	0.01	0.57	0.85	0.57	3.62	1 553	1 280	S2
0.52	55.97	8.98	10.57	22.05	0.32	98.73	0.01	0.35	1.48	0.14	0.48	0.01	0.53	0.81	0.52	3.11	1 575	1 302	S4
3.76	56.83	5.12	12.65	19.81	0.30	98.88	0.10	0.20	1.50	0.10	0.46	0.01	0.63	0.88	0.58	3.30	1 542	1 269	S6
1.72	62.93	4.64	12.64	16.62	0.28	99.26	0.04	0.18	1.66	0.06	0.41	0.01	0.63	0.90	0.61	4.11	1 526	1 253	S2
0.72	55.39	9.47	9.78	22.37	0.40	98.43	0.02	0.38	1.47	0.12	0.51	0.01	0.49	0.80	0.49	2.86	1 575	1 302	S4
0.30	58.69	8.57	10.62	19.82	0.37	98.52	0.01	0.34	1.55	0.09	0.47	0.01	0.53	0.82	0.53	3.34	1 562	1 289	S4
0.27	59.55	8.65	10.70	20.18	0.38	100.05	0.01	0.34	1.56	0.09	0.47	0.01	0.53	0.82	0.53	3.35	1 562	1 289	S4
0.13	66.10	5.96	13.46	13.88	0.24	100.01	0.00	0.23	1.72	0.04	0.34	0.01	0.66	0.88	0.66	5.01	1 529	1 256	S1
0.60	57.96	7.55	9.70	20.84	0.36	97.23	0.02	0.31	1.57	0.09	0.51	0.01	0.50	0.84	0.49	3.09	1 556	1 282	S6
1.65	57.96	6.28	11.61	19.76	0.32	97.86	0.04	0.25	1.55	0.11	0.45	0.01	0.59	0.86	0.57	3.47	1 551	1 278	S6
0.92	59.59	5.46	10.58	20.64	0.38	97.87	0.02	0.22	1.61	0.12	0.47	0.01	0.54	0.88	0.53	3.41	1 545	1 272	S6
0.97	59.68	5.51	10.52	20.52	0.30	97.74	0.03	0.22	1.61	0.11	0.48	0.01	0.54	0.88	0.53	3.37	1 543	1 270	S6
0.73	54.36	9.64	9.68	22.54	0.52	97.61	0.02	0.38	1.45	0.12	0.52	0.02	0.49	0.79	0.49	2.81	1 578	1 305	S4
0.31	51.32	14.78	11.95	19.76	0.33	98.81	0.01	0.56	1.31	0.11	0.42	0.01	0.58	0.70	0.58	3.11	1 609	1 336	S4
0.19	64.38	6.41	13.27	13.74	0.19	98.46	0.01	0.25	1.69	0.04	0.34	0.01	0.66	0.87	0.66	4.94	1 534	1 261	S1
0.13	61.36	9.04	11.83	16.09	0.31	99.11	0.00	0.35	1.60	0.04	0.41	0.01	0.58	0.82	0.59	3.93	1 553	1 280	S2
0.72	46.10	12.79	11.84	25.43	0.44	97.72	0.02	0.49	1.19	0.27	0.43	0.01	0.58	0.71	0.58	2.81	1 627	1 354	S4
0.00	61.55	8.91	12.28	15.55	0.27	98.76	0.00	0.35	1.61	0.05	0.38	0.01	0.61	0.82	0.61	4.18	1 554	1 281	S2
1.56	62.55	4.67	12.04	17.79	0.30	99.26	0.04	0.19	1.66	0.07	0.43	0.01	0.60	0.90	0.59	3.89	1 529	1 256	S2

在铬尖晶石晶格中, Cr^{3+} 和 Al^{3+} 是占据 B 位的 主要阳离子, Cr_2O_3 与 Al_2O_3 呈互为消长关系^[3]。在 铬铁矿 $Cr_2O_3 - Al_2O_3$ 图解(图 5)上,二者基本呈负 相关,但存在一定的离散,这主要是由于 Fe_2O_3 含量 较高,部分 Fe^{3+} 替代了 Cr^{3+} 和 Al^{3+} 所致。



Fig. 5 Cr₂O₃ – Al₂O₃ diagram of the chromite

与金伯利岩中的铬铁矿相比,白露山岩体中的 铬铁矿 Cr_2O_3 含量与山东富矿金伯利岩中的铬铁矿 Cr_2O_3 含量(53%~60%)大致相当,比辽宁富矿金 伯利岩中的铬铁矿 Cr_2O_3 含量(43%~58%)略高, 明显高于河南无矿金伯利岩中的铬铁矿 Cr_2O_3 含 量(30%~46%)^[4]。

4.2 种类划分

为了详细划分白露山岩体中铬铁矿的种类,本 文采用阴离子法^[5](氧原子数为4)计算得到了各 配位阳离子数,进而计算出化学分子式,确定其种 类,其中 Fe²⁺和 Fe³⁺通过剩余电价法估算得出。

尖晶石族的化学通式为 AB_2O_4 。计算结果(表 1)显示: A 组阳离子主要为 Mg^{2+} 和 Fe^{2+} ,占位数 分别为 0.49 ~ 0.66 和 0.34 ~ 0.52, Mn^{2+} 占位极 少,不超过 0.02; B 组阳离子主要为 Cr^{3+} 、 Al^{3+} 和 Fe^{3+} ,占位数分别为 1.19 ~ 1.72、0.18 ~ 0.56 和 根据 B 组 3 价阳离子的相对含量,依据索科洛 夫铬尖晶石分类方案^[8],将铬尖晶石分为 12 类。 在铬尖晶石类矿物分类图解(图 6)上,白露山岩体 中的铬铁矿大多数属于铬铁矿类,少数由于 Al₂O₃或 Fe₂O₃含量略高而落入铝铬铁矿、富铁铝富 铬尖晶石和富铁铬尖晶石类(图 6)。

亚种(3个样品)或铁镁-铬铝铁亚种(2个样品)。



Fig. 6 Classification diagram of the chrome spinellides^[6]

一些学者根据 Mg、 Fe^{2+} 、Cr、Al 的化学成分,将 尖晶石分为铝尖晶石、铁尖晶石、铬铁矿和镁铬铁 $\overline{\psi}^{[9]}$ 。白露山岩体中的铬铁矿 Cr/(Cr + Al)值为 $0.7 \sim 0.9$,均 > 0.5, $Mg/(Mg + Fe^{2+})$ 值为 0.49 ~ 0.66,基本 > 0.5。在尖晶石类矿物化学成分分类 图解(图7)上,白露山岩体中的铬铁矿大多数落入



constituents for spinellides

镁铬铁矿区,仅3个样品落入铬铁矿区。山东蒙阴 含金刚石金伯利岩中的铬铁矿与辽宁瓦房店 50号 岩管金伯利岩中的铬铁矿也多为镁铬铁矿^[10]。

5 讨论

5.1 成因

对于铬尖晶石的成因,一般认为高 Cr 铬尖晶石(Cr/(Cr + Al) >0.6)形成于深部地幔,而高 Al 铬尖晶石(Cr/(Cr + Al) <0.6)形成于接近莫霍面的浅部地幔^[11]。在铬铁矿 Cr/Fe³⁺ - Cr/(Cr + Al) 图解(图8)上,样品投影点从浅部地幔到深部地幔均有分布,但主要集中在深部地幔,说明白露山岩体中的铬铁矿主要来自深部地幔。





Fig. 8 $Cr/Fe^{3+} - Cr/(Cr + Al)$ diagram of the chromite^[11]

一些学者^[10,12]认为,随着铬铁矿中 Cr₂O₃成分 的变化,Al₂O₃与 TiO₂的成分变化表现出 2 种趋势: 一是 Cr₂O₃与 Al₂O₃呈负相关,而与 TiO₂无相关性, 代表其原地幔岩为橄榄岩;二是 Cr₂O₃与 TiO₂呈负 相关,而与 Al₂O₃无相关性,代表其原地幔岩为苦橄 岩。在铬铁矿 Cr₂O₃ – Al₂O₃图解(图 5)与 Cr₂O₃ – TiO₂图解(图 9)上,白露山岩体中铬铁矿的 Cr₂O₃ 与 Al₂O₃、TiO₂成分变化表现为第一种趋势,表明其 原地幔岩为橄榄岩。

对于含金刚石岩体中的铬铁矿来说,其成因更 为复杂,一般包括地幔捕虏体成因、原生结晶成因、 金刚石中的铬铁矿包体以及成岩期后交代成因 等^[3]。白露山岩体主体岩性为橄榄玄武岩,是一种 略偏碱性的基性岩,来源深度通常不超过 70 km^[13], 很难结晶出高 Cr 铬铁矿,后期交代成因显然与前





述来自深部地幔的观点不符,因此白露山岩体中的 铬铁矿更可能来自地幔捕虏体。白露山岩体除主 体岩性之外,还含有大量隐爆角砾,其成分十分复 杂,但由于地幔捕虏体在地表极易发生蚀变,目前 仅发现辉石岩等深源捕虏体,尚未发现其他类型的 深源捕虏体,后期有待进一步开展相关研究工作。

5.2 金刚石含矿性

在金刚石找矿过程中,铬铁矿常作为重要的指示矿物。关于铬铁矿与金刚石含矿性的关系,学者 们普遍认为富 Cr 贫 Al(Cr₂O₃含量 > 54%, Al₂O₃含 量 < 10%)的铬铁矿越多,金刚石的含矿性越 $F^{[3,10,13-15]}$ 。白露山岩体中的铬铁矿大多数属于 高 Cr、低 Al 铬铁矿(图4),与含矿岩体关系密切。

除了 Cr、Al 含量外, Cr、Mg 含量在一定程度上 也可指示金刚石的含矿性^[3,10]。在铬铁矿 Cr₂O₃ -MgO 图解(图 10)上, 白露山岩体中铬铁矿样品投 影点分布较分散, 在蒙阴常马庄含矿金伯利岩和辽 宁 50 号岩管铬铁矿区均有分布, 仅少数样品投影 点落在这 2 个区域之外, 且有一部分样品投影点落



Fig. 10 Cr_2O_3 – MgO diagram of the chromite¹⁰

人金刚石包体区,表明这些铬铁矿与金刚石具有密 切关系,指示金刚石的含矿性较好。

张安棣^[3]在研究金刚石指示矿物特征时,通过 对 TiO₂、Al₂O₃、Cr₂O₃和 MgO 含量 4 个变量进行 Q 型聚类分析,获得了铬尖晶石化学成分统计分类表 (表 2)。根据以上 4 个含量变量,发现白露山岩体 中的铬铁矿多属于贫钛富铝富镁铬铁矿(S4 组)和 富钛贫铝镁铬铁矿(S6 组),其次为无钛贫铝富镁 铬铁矿(S1 组)和含钛贫铝富镁铬铁矿(S2 组),表 明白露山岩体中的铬铁矿来自金伯利岩或钾镁煌 斑岩,其中 S1 组和 S2 组铬铁矿是含矿岩体的标型 矿物,进一步表明白露山岩体金刚石的含矿性较 好,岩体可能含有含矿的金伯利岩或钾镁煌斑岩捕 虏体,这在一定程度解释了大颗粒原生金刚石的来 源问题。

表 2 12 组铬尖晶石的平均含量及产状特征

 Tab. 2
 Average composition and occurrence

1. 40	to the		$w_{\rm B}$			
分组	名称	TiO ₂	$\mathrm{Al}_2\mathrm{O}_3$	$\mathrm{Cr}_2\mathrm{O}_3$	MgO	产状
S1	无钛贫铝富 镁铬铁矿	0.12	5.29	64.00	12.72	Inc 、KimD 、 LamD
S2	含钛贫铝富 镁铬铁矿	0.42	4.29	64.63	11.07	Inc 、KimD 、 LamD
S3	高镁高铬铬 铁矿	0.36	6.54	67.37	15.43	Met 、Inc 、 KimD
S4	贫钛富铝富 镁铬铁矿	0.48	12.17	52.81	11.69	Lay 、Chr 、 Lam 、Kim
S5	贫钛高铝富 镁铬铁矿	0.43	21.67	47.21	13.04	Lap Kim Chr
S6	富钛贫铝镁 铬铁矿	3.14	3.87	57.52	10.89	Kim Lam
S7	高钛富铝镁 铬铁矿	4.08	10.25	48.43	10.32	Lam Kim2
S8	贫铝富铁铬 铁矿	0.28	3.35	54.51	5.91	Ler
S9	低钛贫镁铬 铁矿	0.68	6.17	60.71	3.56	Met Chr
S10	低钛镁铝铬 尖晶石	0.13	34.14	35.38	14.40	Lap Kim
S11	含铬镁铝尖 晶石	0.06	52.50	14.35	18.56	Bas
S12	高钛富铁铬 铁矿	9.15	6.49	41.77	0.72	Met

注: Inc. 金刚石包体; KimD. 含矿金伯利岩; LamD. 含矿钾镁 煌斑岩; Kim. 金伯利岩; Kim2. 二型金伯利岩; Lam. 钾镁煌斑岩; Lay. 层状铬铁矿; Chr. 阿尔卑斯型和蛇绿岩型铬铁矿矿床; Lap. 煌 斑岩; Ler. 二辉橄榄岩等; Met. 陨石; Bas. 玄武岩。

计算铬尖晶石结晶温度的公式为 T(K) =

(4 250Y^{sp}_{Cr} +1 343)/(lnK⁰_{Cr} +1.825Y^{sp}_{Cr} +0.571),其 中Y^{sp}_{Cr} = Cr/(Cr + Al + Fe³⁺), lnK⁰_{Cr} = 0.34 +1.06 (Y^{sp}_{Cr})^{2[16-17]}。通过计算,得出白露山岩体中的铬铁 矿结晶温度为1526~1627 K,即1253~1354 ℃, 这与金刚石的形成温度(1150~1400 ℃)接近,进一 步表明二者可能存在共生关系。

综上所述,白露山岩体中的铬铁矿与金刚石具 有密切关系,该区具有良好的金刚石找矿前景。

6 结论与建议

(1) 白露山岩体中的铬铁矿 Cr₂O₃含量较高, 平均值为 58.12%; Al₂O₃平均值为 8.25%; MgO 平均值为 11.63%。铬铁矿总体具有高 Cr、低 Al、 高 Mg 的特征。按照化学分子式,铬铁矿多属于镁 铁 - 铬铝铁亚种; 根据索科洛夫铬尖晶石分类方 案,白露山岩体中的铬铁矿多属于铬铁矿; 根据 Mg、 Fe²⁺、Cr、Al 成分含量,铬铁矿多属于镁铬铁矿。

(2) 白露山岩体中的铬铁矿是深部地幔橄榄岩 结晶而成的, 不是岩体本身的结晶产物, 可能来源 于岩体中的深源捕虏体。

(3) 白露山岩体中的铬铁矿结晶温度为 1 253 ~ 1 354 ℃, 与金刚石的形成温度(1 150 ~ 1 400 ℃) 相近; 铬铁矿的化学成分与山东、辽宁含矿金伯利 岩中铬铁矿的化学成分较相似, 多数属于 S4 组和 S6 组铬铁矿, 少数属于 S1 组和 S2 组铬铁矿, 其中 S1 组和 S2 组铬铁矿是含矿岩体的标型矿物。白露 山岩体中的铬铁矿与金刚石具有密切关系, 该区具 有良好的金刚石成矿潜力和找矿前景。

(4)虽然本文已明确铬铁矿不是岩体的结晶产物,而是来自深源捕虏体,金伯利岩中的高 Cr 铬铁矿也多来自深源捕虏体。但目前尚未发现新鲜的深源包体或金伯利岩,而橄榄玄武岩的深度不足以直接携带大量的深源包体至地表,探寻地下深处是否存在更早期的金伯利质岩浆活动对解释金刚石成因及下一步勘查方向具有重要意义,后期将开展进一步研究工作。

致谢:本文得到了江苏省地质矿产局第五地 质大队施建斌正高级工程师的理论指导,在野外考 察及采样中得到了江苏省地质调查研究院厉建华 正高级工程师的大力帮助。此外,还得到了江苏省 地质矿产勘查局王大志高级工程师、张建正高级工 程师,江苏省地质勘查技术院张作宏高级工程师以 及中国地质调查局南京地质调查中心蔡逸涛博士 等专家的指导、支持和帮助。在此一并致以诚挚的 谢意!

参考文献:

- [1] 周琦忠,施建斌,黄友波,等. 江苏徐州西村金伯利岩管地质
 特征及其找矿意义[J]. 地质通报,2019,38(1):152-162.
- [2] 黄友波,周琦忠,张琪,等. 江苏徐州塔山橄榄玄武玢岩地球 化学特征及其与金刚石成因关系 [J]. 地质通报,2019,38
 (1):132-142.
- [3] 张安棣.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,1991:1-162.
- [4] 董振信.金伯利岩中铬尖晶石的特征及与其它岩类中铬尖晶石之对比[J].地质论评,1991,37(6):508-517.
- [5] 杨献忠,蔡逸涛,康丛轩,等.湖南桃源理公港地区含金刚石 沉凝灰岩的发现及其找矿意义[J].中国地质调查,2019,6
 (6):56-62.
- [6] 周琦忠,张琪,宗德林,等.徐州贾汪地区暗色岩锆石 U Pb 年 龄及金刚石成因探讨[J].华东地质,2018,39(3):202-211.
- [7] 李胜荣.结晶学与矿物学[M].北京:地质出版社,2008:147-196.
- [8] 索科洛夫.乌拉尔铬铁矿[M].朱福湘,李秉伦,袁启林,等译.北京;地质出版社,1958.
- [9] Roder P L, Schulze D J. Crystallization of groundmass spinel in kimberlite[J]. J Petrol, 2008, 49(8):1473-1495.
- [10] 居易,朱仁智,倪培,等. 瓦房店 30 号岩管金伯利岩中尖晶石成分特征及其意义[J]. 矿物岩石地球化学通报,2016,35
 (6):1217-1225.
- [11] 邓小芹,黄远成,丘志力,等.黔东南苍蒲塘钾镁煌斑岩含铬 尖晶石地球化学特征及其对金刚石含矿性的指示[J].大地 构造与成矿学,2019,43(5):1023-1035.
- [12] Rao N V C, Lehmann B, Mainkar D, et al. Diamond facies chrome spinel from the Tokapal kimberlite, Indrāvati basin, central India and its petrological significance [J]. Mineral Petrol, 2012, 105(3/4):121-133.
- [13] 蔡逸涛,陈国光,张洁,等.安徽栏杆地区橄榄辉长岩地球化 学特征及其与金刚石成矿的关系[J].资源调查与环境, 2014,35(4):245-253.
- [14] 贾晓丹. 辽宁瓦房店金伯利岩中铬尖晶石的矿物学特征及其 指示意义[D]. 北京:中国地质大学(北京),2014.
- [15] 杨志军,黄珊珊,陈耀明,等.山东蒙阴金伯利岩中尖晶石族 矿物特征及其地质意义[J].矿物岩石地球化学通报,2018, 37(2):168-179.
- [16] Fabriès J. Spinel olivine geothermometry in peridotites from ultramafic complexes[J]. Contrib Mineral Petrol, 1979, 69 (4): 329 – 336.
- [17] 潘雪峰. 阿拉善地块南缘北大山地区特拜基性 超基性岩体 岩石成因及构造意义[D]. 西安:长安大学,2019.

Chemical composition of the chromite and diamond potentiality of Bailushan rock mass in Suining area of Xuzhou

ZHOU Qizhong, ZHANG Qi, FENG Xuezhi, WANG Bo, QIU Lei, WANG Guoqiang (NO.5 Geological Team of Jiangsu Geology and Mineral Bureau, Xuzhou 221004, China)

Abstract: Bailushan rock mass is an important diamond -bearing rock mass in Northern Jiangsu Province. On the basis of the chemical composition of the chromite in Bailushan rock mass , the authors discussed its genesis and significance of the diamond potentiality and analyzed the diamond mineralization potential of Bailushan rock mass . The chromite in Bailushan rock mass has characteristics of high Cr , low Al and high Mg, which belongs to the magnochromite. It was crystallized from the peridotite that originated from the deep mantle , not a crystalline product of the rock mass , which is most likely derived from a deep-source trap in the rock mass. The crystallization temperature is 1 253 ~ 1 354 °C , which is consistent with the formation temperature of the diamond (1 150 ~ 1 400 °C), indicating a close relationship between them. The chemical composition of the chromite from Bailush – an rock mass is very similar to that from the ore -bearing kimberlites in Shandong and Liaoning. Most chromites belong to S1 and S2. S1 and S2 chromites are the marked minerals of diamond-bearing rock mass. Bailushan rock mass has good diamond potential and prospecting prospects .

Keywords: Bailushan rock mass; chromite; chemical composition; diamond potentiality

(责任编辑:刘永权)