

doi:10.3969/j.issn.2097-0013.2021.02.003

安徽省泗县山头金刚石砂矿中指示矿物特征研究

董钟斗¹, 蔡逸涛^{2*}, 曹正琦^{3*}, 张洁², 向华⁴, 康丛轩²

DONG Zhong-Dou¹, CAI Yi-Tao^{2*}, CAO Zheng-Qi^{3*}, ZHANG Jie², XIANG Hua⁴, KANG Cong-Xuan²

(1. 安徽省地勘局第二水文地质工程勘察院, 安徽芜湖 241000; 2. 中国地质调查局南京地质调查中心, 南京 210016;

3. 湖北文理学院, 湖北襄阳 441053; 4. 湖南省地质矿产勘查开发局四一三队, 湖南常德 415000)

(1 The Second Institute of Hydrology and Engineering Geological Prospecting of Anhui Geological Prospecting Bureau, Wuhu 241000, Anhui; 2 Nanjing Center of China Geological Survey, Nanjing 210016, China; 3 Hubei University of Arts and Science, Xiangyang 441053, Hubei; 4. Team 413 of Geological Development Bureau, Hunan Province, Changde 415000, Hunan)

摘要:安徽省泗县山头地区分布着金刚石砂矿,其金刚石来源一直存在争议,尤其是在安徽省宿州栏杆地区发现了碱性基性岩型的金刚石后,一些学者认为栏杆地区可能是砂矿的来源。本文对山头金刚石砂矿中指示矿物(石榴子石和铬铁矿)进行了电子探针分析,结果显示石榴子石矿物化学式 $A_3^{2+}B_2^{3+}(SiO_4)_3$ 中的 A 主要由 Mg^{2+} 、 Fe^{2+} 和 Ca^{2+} 离子占位, B 主要由 Al^{3+} 离子和少量的 Mn^{3+} 离子占位,以铁铝榴石(Alm)为主,其次是镁铝榴石(Pyp),属于铁铝-镁铝-钙铝石榴子石系列的 G3、G4 石榴子石;铬铁矿中 Cr_2O_3 的含量绝大多数大于 40 wt%, MgO 的含量平均在 8 wt% 左右, TiO_2 含量在 0.11~2.26 wt% 之间,属于中铬-铬铁矿,与山东、辽宁金伯利岩中发现的中铬-铬铁矿成分基本一致,说明其物源并非来自栏杆地区碱性基性岩型金刚石原生矿。

关键词:石榴子石; 铬铁矿; 山头金刚石砂矿; 安徽省泗县

中图分类号: P619.24+1

文献标识码: A

文章编号: 2097-0013(2021)02-0151-13

Dong Z D, Cai Y T, Cao Z Q, Zhang J, Xiang H and Kang C X. Characteristics of Indicator Minerals of the Shantou Diamond Placer Deposit in Sixian County, Anhui Province. *South China Geology*, 2021, 37(2):151-163.

Abstract: The origin of diamonds from the Shantou diamond placer in Sixian County, Anhui Province, has been controversial. After the discovery of alkaline-basic-rock-type diamond in the Lan'gan area of Suzhou, Anhui Province, some scholars believe that the Lan'gan area might be the source of the Shantou diamond placer. The electron microprobe analyses of indicator minerals (garnet and chromite) in Shantou diamond placer show that in the formula $A_3^{2+}B_2^{3+}(SiO_4)_3$ of garnet, A is mainly occupied by Mg^{2+} , Fe^{2+} and Ca^{2+} , while B is mainly occupied by Al^{3+} and a small amount of Mn^{3+} , and the garnets are mainly almandine (ALM), followed by magnesium aluminum garnet (PYP), and belong to G3, G4 garnets of Fe-Al, Mg-Al and Ca-Al garnet series. The chromites contain more than 40 wt% Cr_2O_3 , average 8 wt% MgO , and 0.11 ~ 2.26 wt% TiO_2 ,

收稿日期: 2021-3-10; 修回日期: 2021-4-4

基金项目: 江苏省自然科学基金“郯庐断裂西侧苏北地区碱性基性岩型金刚石及其包裹体对深部作用制约(BK20191132)”; 中国地质调查局项目“钦杭成矿带武宁-平江地区钨铜多金属矿地质调查(DD20190153)”、“安徽省宿州栏杆地区金刚石调查评价(编号: 12120114054401)”; 国家自然科学基金“安徽栏杆含金刚石母岩及金刚石矿床指示矿物特征研究(41402075)”联合资助

第一作者: 董钟斗(1962—), 男, 高级工程师, 长期从事地质矿产勘查开发工作

通讯作者: 蔡逸涛(1982—), 男, 高级工程师, 从事流体包裹体、金刚石及矿床学研究 E-mail: cyitao@cgs.cn

共同通讯: 曹正琦(1980—), 男, 副教授, 从事地质学研究, E-mail: caozq@hbuas.com

and belong to the medium-chromium chromites and are the same as those found in kimberlites of Shandong and Liaoning provinces, which indicates that they did not come from the alkaline-basic-rock-type primary diamond deposit in the Lan'gan area.

Key words: garnet; chromite; Shantou diamond placer deposit; Sixian County, Anhui Province

金刚石是找矿难度最大的矿种之一,砂矿一般先于原生矿被人们发现^[1-3]。我国金刚石找矿进程中,也是先发现砂矿,再溯源寻找原生矿。如山东郯城地区砂矿中发现的巨钻“常林钻石”,苏北新沂地区的金刚石砂矿以及湖南金刚石砂矿^[4-5]。这些砂矿的发现为寻找原生金刚石矿提供了诸多线索,砂矿中最重要的伴生矿物为石榴子石、铬铁矿等,尤其是高铬的石榴子石,往往作为金伯利岩或其他含金金刚石母岩的指示矿物而备受地质学家重视^[6-8]。安徽省泗县山头地区早在1960年代就发现金刚石砂矿点。在2012年安徽宿州栏杆地区发现原生金刚石后^[9],有学者提出泗县山头地区金刚石是否来自于栏杆地区原生金刚石矿的问题^[10]。为此,本文以泗县山头地区金刚石砂矿中的指示矿物石榴子石和铬铁矿为研究对象,并与栏杆地区原生金刚石矿的相应指示矿物进行对比,探讨砂矿中金刚石的来源,以期能够对区域金刚石找矿工作有所启示。

1 区域地质背景

泗县山头地区位于华北克拉通东南缘,基底为新太古代五河群、霍丘群和古元古代凤阳群,时代为1878~2963 Ma^[12-13];盖层包括青白口系、南华系、震旦系及寒武系,岩性为石英岩、灰岩、页岩等,总厚达7000米。古生代时,本区长期处于隆起剥蚀状态,造成上奥陶统、志留系、泥盆系、下石炭统缺失。侏罗纪以来形成陆相沉积,包括河湖相及中性火山岩复陆屑建造组合。

郯庐断裂带穿过泗县地区的东部,由嘉山-庐江断裂和五河-合肥断裂构成东西主干断裂^[14,15],另有一系列与其配套的北西向断裂(图1)。

本区岩浆活动不强烈,加里东期为少量辉绿岩的侵入,燕山期为中酸性岩的侵入和喷发,喜山期主要是超浅成-玄武质岩浆的侵入和喷发,主要

岩性有花岗岩、闪长玢岩、安山质凝灰岩。此外,还发育一些煌斑岩类脉岩^[18]。在区内北部的大庄凹陷及泗县凹陷内分布的毛坦厂组(J_3m)、黑石渡组(J_1hs)以中基性火山岩、火山碎屑岩为主,岩性有安山质角砾凝灰岩、气孔状安山岩、辉石安山岩等。在以往对泗县翟庄的航磁异常(87-138)进行钻探验证时,还发现有碱性橄榄玄武岩。

2 山头地区地质特征

山头地区砂矿点范围内广泛发育第四系,包括中下更新统和全新统。下更新统为河流相碎屑沉积,是主要含金金刚石层位,分布在赤山南北两端;上更新统下段属残坡积成因,含金金刚石,上段为冲积成因粉质粘土;全新统广泛分布于赤山周围的冲积平原上。山头地区含金金刚石的地层为下更新统豆冲组(Qp^1d)和上更新统戚嘴组(Qp^3q)。豆冲组依据岩性特征及空间分布(图2),可进一步分为上、中、下三个岩性段。

豆冲组下段仅出露两处,一处在赤山顶周围,另一处在赤山南端,岩性为棕黄、棕红、杂色粘土质砂砾,砾石含量为65%~80%,砂含量10%左右,粘土含量10%~25%,自上而下砾石含量渐增,砾径增大,粘土含量逐渐减少。砾石成分以安山岩(安山质凝灰岩)、硅质条带灰岩、石英砂岩为主,脉石英次之,并含少量辉绿岩、闪长煌斑岩、片麻岩及红色砂岩砾石。砾石磨圆度差,多为棱角状-次棱角状,少为次圆状,砾径一般为1-10 cm,大者30-60 cm(主要为硅质条带灰岩)。砂成分以长石为主,石英次之,呈棱角状-次棱角状。结构松散,分选性差,砾石排列无定向。下伏地层为古近系。豆冲组中段主要分布于赤山南段,赤山顶附近,岩性为灰黄、浅褐色砂砾,粘土质砂砾,砾质砂及含砾砂,在纵向上和横向上岩性变化较大,显示了河流相的沉积特点。

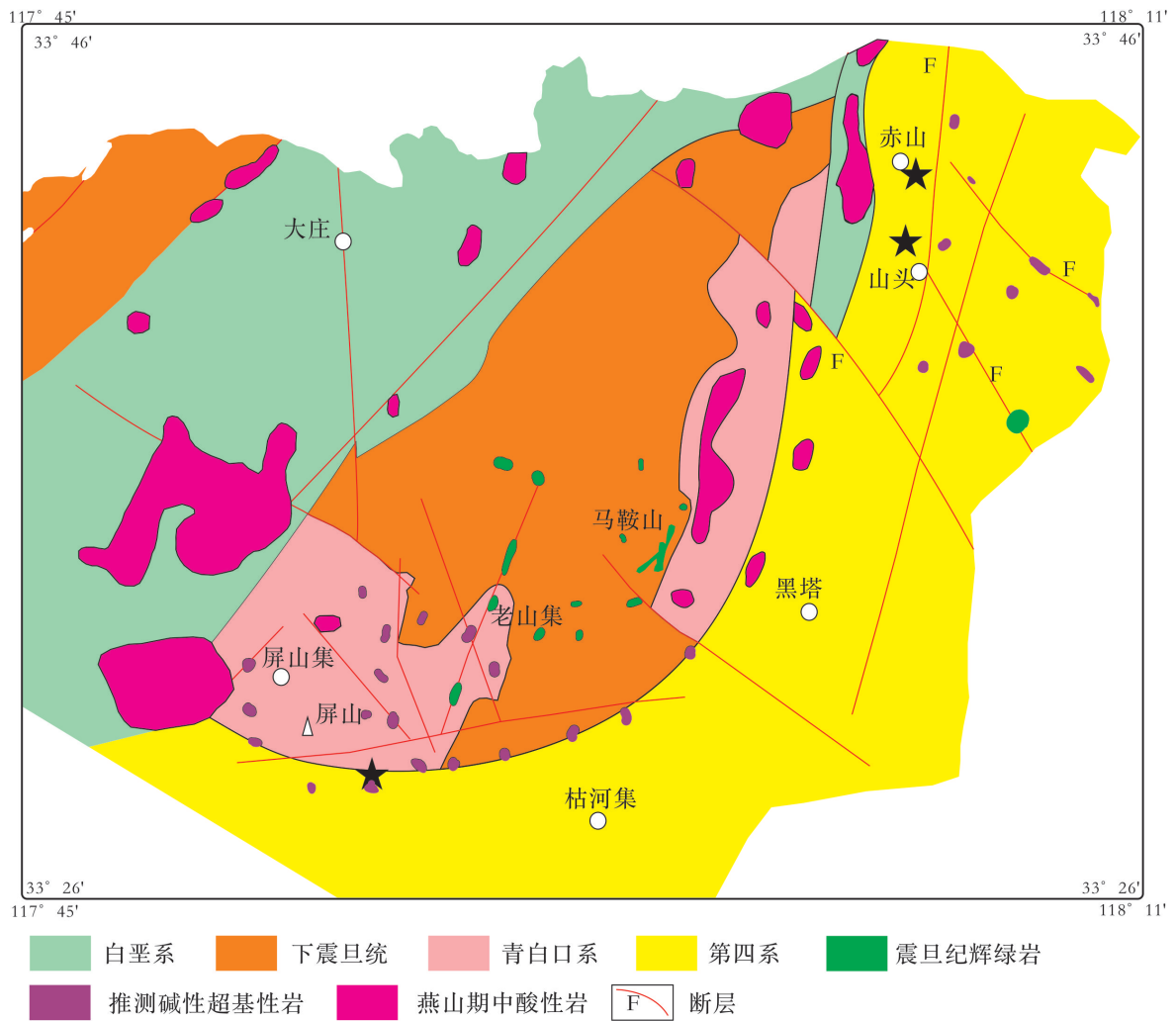


图 1 泗县地区地质简图

Fig. 1 Sketch Geologic map of the Sixian area

五角星为金刚石出土点 .

表 1 豆冲组中段成分统计表 (%)

Table 1 Composition statistics of the middle section of the Douchong Formation (%)

测试 粒级(mm)	磨圆度				成分				各粒级占 总体积
	圆状	次圆状	次棱角状	棱角状	石英岩、燧石	石英砂岩	安山岩、凝灰岩	片麻岩、杂砂岩	
> 50	11.3	23.8	58.8	6.1	8.0	86.7	0	5.3	46
50-20	9.3	25.3	57.4	8.4	30.0	59.9	5.2	4.9	8.9
20--10	3.9	17.4	50.0	28.7	33.6	56.8	4.0	5.6	9.8
10--4	0.7	8.1	41.3	49.9		53.8	7.6	38.6	11.4
4--2	0.2	3.0	27.6	69.2		75		25	10.7

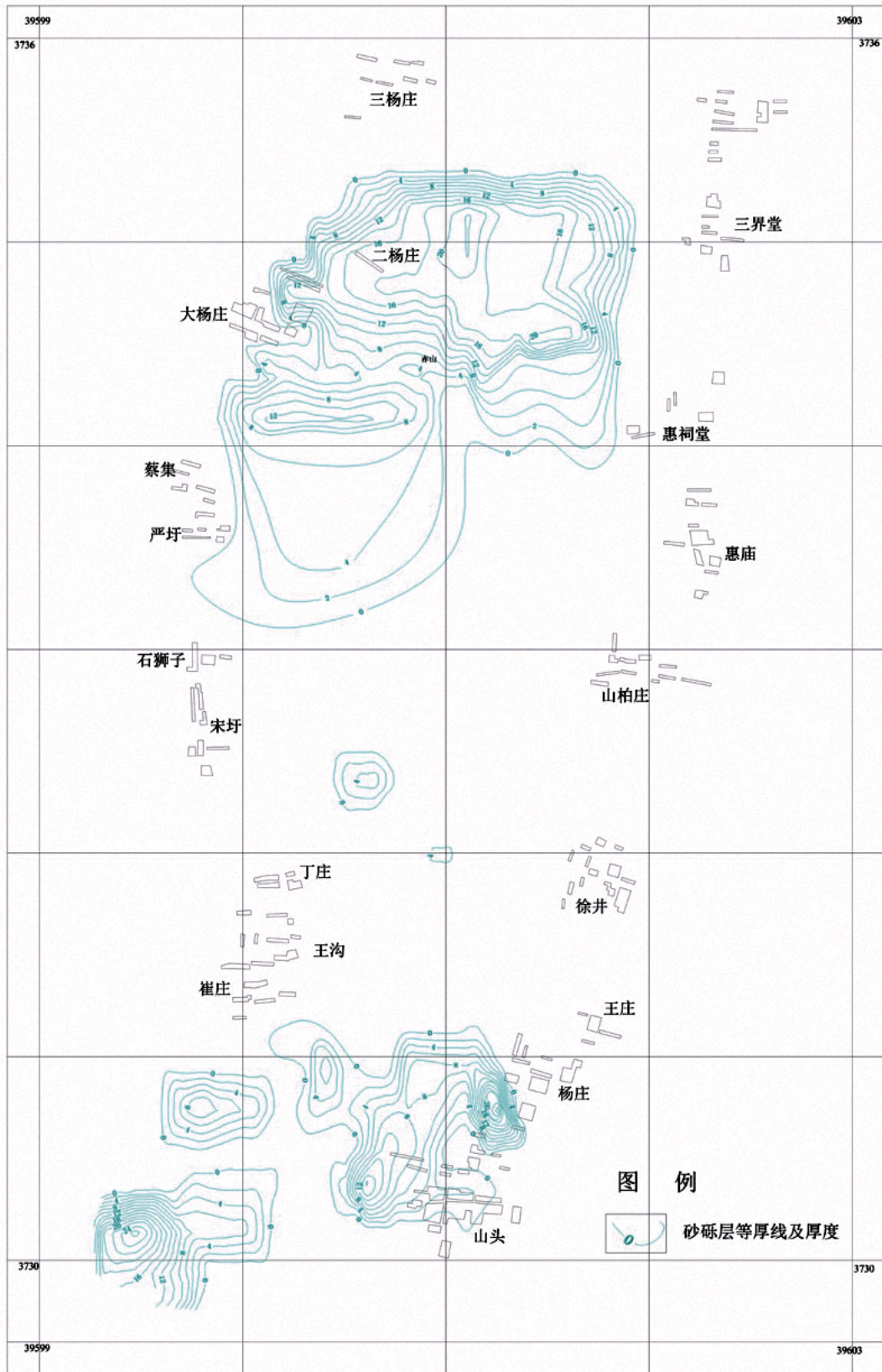


图2 山头地区砂砾层分布图

Fig. 2 Distribution map of sand and gravel in the Shantou area

通过对砾石成分的测量(表 1),发现豆冲组中段砾石成分以石英砂岩为主,石英岩、脉石英、燧石、玛瑙、安山质火山岩和红色砂岩次之,偶见片麻岩、灰岩、煌斑岩砾石;砾径多为 0.5-5 cm,少数达 10 cm;砾石磨圆度差,多为次棱角状,棱角状次之,极少数为次圆状-浑圆状,其中片麻岩砾石多呈浑圆状,且砾径都小于 5 cm。砾石排列略显定向性;砂成分以长石、石英为主,长石一般风化成粘土,但

颗粒形状仍依稀可辨,砂粒多呈棱角状、次棱角状。

豆冲组上段主要分布在赤山南北两端,北端零星分布;南端呈东西向长条状展布;岩性以褐灰色、灰黄色含砾砂及砂层为主,砂砾层次之。该段岩性特征与中段大致相同。通过对砾石的统计(表 2),发现砾石成分以石英砂岩为主,磨圆度差;砂成分以长石、石英为主;总体上上段细,以砂为主,并发育水平层理,砾石块度明显变小。

表 2 豆冲组上段成分统计表(%)

Table 2 Composition statistics of the up section of the Douchong Formation(%)

测试 粒级(mm)	磨圆度				成分								各粒级占 总体积
	圆状	次圆状	次棱角状	棱角状	石英岩及 脉石英	石英 砂岩	火山岩	片麻岩	杂砂岩	玉髓 燧石	正长岩	泥质 岩	
> 32	4.9	17.1	68.3	9.7	6.1	63.3	9.8	9.8	9.8	1.2	0	0	6.6
16-32	2.3	4.5	78.4	14.8	8.5	42.6	6.8	13.6	4.5	11.4	4.5	8.0	8.3
8--16	2.9	4.7	79.5	12.9	11.1	25.5	19.6	10.5	14.4	8.5	10.5	0	8.3
4--8	0.3	1.8	7.3	90.6	13.9	23.3	16.4	10.0	13.6	8.9	7.9	6.1	11.6
2--4	0.5	2.5	16.9	80.1	10.0	25.9	15.3	10.7	4.8	3.3	10	20.0	5.0
< 2													58.2
泥质													2.0

戚嘴组下段上覆于豆冲组,仅在赤山顶北东惠祠堂附近有零星出露,属残坡积沉积,由豆冲组改造而成,岩性为灰黄色、褐色含铁锰球粘土质砂砾、粘土质砂砾、砂砾。砾石成分主要为石英砂岩、石英岩、脉石英、燧石等,另外还有红色砂岩,砾径一般为 1-4 cm,少数达 7-8 cm,多为次棱角-次圆状,分选差,砾石排列不定向,砂成分为石英,棱角状。总之,该层砾石成分及含矿性与豆冲组相似,其区别主要在于含有较多的铁锰球,铁锰球大小为 1-2 mm,黑色,球体内部为褐黄色,粘土含量增高,结构松散。

裹体,以黑色片状石墨(或片状硫化物)为主,其次可见少量浅色包裹体,推测可能为石榴子石、透辉石、橄榄石等^[19]。该区发现的金刚石部分具有较好的晶形,以阶梯状八面体、平八面体为主,其它有菱形十二面体、平八面体聚晶及其聚形等;曲面晶体有曲四六面体、曲面菱形十二面体、曲八面体等;八面体晶形晶面光滑,少见三角蚀像,曲面晶体表面常见特征的熔蚀坑、熔蚀沟。

前人在栏杆地区的辉绿岩等碱性基性岩中曾选获大量微粒金刚石^[20],从颜色、晶体特征来看,均与泗县地区出土的金刚石明显不同(表 3)。

3 山头金刚石特征及对比

在该区砂矿点选获金刚石 64 颗,颜色以无色至浅黄色为主,少量具有浅蓝色、粉红色、灰白色等,金刚光泽,X 光下呈蓝色。金刚石粒径大多在 0.3 mm 至 2.0 mm 之间,最大单粒为 2.7 mm × 2.1 mm × 2.9 mm,重 22.3 mg。镜下观察,其中部分富含包

4 指示矿物特征

本区与金刚石成矿、找矿关系比较密切的重砂矿物有石榴子石,铬铁矿等。

本次研究选获石榴子石 300 余粒,粒径 3-0.2 mm。以浅紫色、浅玫瑰色为主,其它还有浅紫青色、浅粉红色等。

表3 皖北地区金刚石特征一览表

Table 3 The list of diamonds features from North of Anhui

岩石类型	颜色	包裹体	晶体特征		大小(mm)	金刚石类型	工业级别
			晶形	晶面与晶棱			
砾岩	黄色为主,浅黄色次之,无色者极少。	少量晶体含石墨包裹体	立方体及曲面菱形十二面体为主,八面体次之,个别为原生碎块、八面体与菱形十二面体聚形、立方体与曲面菱形十二面体聚形、阶梯状八面体与立方体聚形	熔蚀沟、晶面具熔蚀凹坑,呈不等边三角形。四边形凹坑,晶面高低不平的熔蚀面,晶体表面染有深绿色,使整个晶体呈绿黑色。晶棱浑圆,见很窄的曲面,晶棱显钝	0.3×0.3×0.3 ~ 1.2×1.1×1		碎粒级
砂砾层	无色透明为主,浅黄色次之,其它有浅蓝色、粉红色、灰白色等	部分晶体含有包裹体,包裹物以黑色片状石墨(或硫化物?)为主,其次可能为石榴子石、透辉石、橄榄石等。	平面晶体中以阶梯八面体平八面体为主。此外还有菱形十二面体、平八面体聚晶、平八面体八面体聚晶、菱形十二面体与阶梯状八面体连生体;曲面晶体有曲四六面体、曲菱形十二面体、曲八面体等。	平面晶体晶面光滑,曲面晶体晶面常见熔蚀坑,晶棱显钝或弧形	0.3×0.18×0.15 ~ 2.7×2.1×1.9	II型 (25%以上)	宝石级、碎粒级
辉绿岩	黄绿色-浅黄色为主	少见包裹体	立方体和曲面菱形十二面体、立方体与八面体聚形为主	晶形完整,晶面洁净	0.2~0.6	I b型	研磨与切割用

选获的铬铁矿一般多呈黑色,半透明-不透明,具沥青光泽,条痕棕色,硬度中等,粒径大多为0.1-0.5 mm,少数晶粒可达1 mm,折射率在1.887-2.040之间,比重为4.18。

5 样品分析及测试条件

样品主要来自于2016-2018年安徽地勘局第二水文地质工程勘查院在泗县山头地区的施工钻孔(ZK1502和ZK1501)中的人工重砂。共测试石榴子石69颗,铬铁矿33颗。

将挑选出来的样品经过丙酮、酒精清洗,去除表面杂质及污染,在双目镜下制成透明树脂靶,并将其抛磨至矿物露出表面,进行电子探针测试。

样品分析在国家海洋局第二海洋研究所完成。使用仪器为JEOL JXA-8100电子微探针波谱仪,测试条件为:加速电压15 kV,束流20 nA,光束直径为5 μm。校准标准矿物为:硬玉(Si, Na),橄榄石(Mg),铁铝榴石(Fe, Al),透辉石(Ca),透长石(K),铬铁矿(Cr),金红石(Ti),蔷薇辉石(Mn)和硅铍铝钠石(Cl)。Ni, Co, Mn, Cr和Cl的计数时间峰值为30秒,背景计数时间为10秒,其他元素分

析为峰值10秒,背景5秒。

6 测试结果

6.1 石榴子石化学成分特征

山头地区伴随金刚石出土的石榴子石的主要化学成分见表4,其中:MgO含量为11.81~4.04 wt%, SiO₂含量为36.74~36.99 wt%, FeO含量为17.21~32.43 wt%, Na₂O含量为0.03~0.40 wt%, Al₂O₃含量为21.19~23.34 wt%, CaO含量为0.84~8.16 wt%, MnO含量为0~2.18 wt%, Cr₂O₃含量很低,部分未达检测限。

石榴子石的一般化学式为A₃²⁺B₂³⁺(SiO₄)₃,其中A大多为Ca、Mg、Fe、Mn, B则常为Al、Fe、Cr、Ti等。端元组分常见有铁铝榴石、钙铝榴石、镁铝榴石、铬铝榴石和钙铬榴石等端元组分。依据电子探针化学成分数据计算的石榴子石的分子式表明(表5),山头地区砂矿中石榴子石族矿物化学式中的A主要由Mg²⁺、Fe²⁺和Ca²⁺占位, B主要由Al³⁺和少量的Mn³⁺占位;三价阳离子主要为Al³⁺,二价阳离子主要为Fe²⁺;虽然Fe²⁺的离子半径较大,难以与其他二价阳离子置换,但在本区Mg²⁺和Fe²⁺之间的置换较普遍。

表 4 石榴子石电子探针测试数据 (wt%)
Table 4 Composition of major elements of the garnets (wt%)

样品	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	ZnO	Cr ₂ O ₃	Si	Al iv	Al vi	Fe ²⁺	Mn	Mg	Ca	Total
GAR01	38.62	0.11	22.21	24.53	0.552	10.76	1.091	0.082	0.004	0	0	2.99	0.01	2.01	1.61	0.04	1.24	0.09	8.00
GAR02	38.59	0	22.06	25.24	0.678	10.49	1.15	0.069	0	0.073	0	2.99	0.01	2.01	1.64	0.04	1.21	0.10	8.00
GAR03	37.19	0.019	21.41	30.46	0.905	6.424	0.895	0.084	0.028	0.017	0	2.99	0.01	2.02	2.07	0.06	0.77	0.08	8.00
GAR04	37.5	0.088	21.46	29.74	1.019	6.461	0.895	0.09	0.04	0.06	0.06	3.00	0.00	2.03	2.04	0.07	0.77	0.08	7.99
GAR05	37.72	0	21.39	29.73	0.528	6.62	1.057	0.088	0.003	0.048	0.154	3.01	0.00	2.02	2.03	0.04	0.79	0.09	7.99
GAR06	37.79	0.079	21.46	30.11	0.577	6.816	1.061	0.094	0.018	0.011	0.079	3.00	0.00	2.01	2.03	0.04	0.81	0.09	7.99
GAR07	37.27	0.015	21.51	30.95	0.619	5.858	0.844	0.072	0.017	0.06	0.145	2.99	0.01	2.03	2.13	0.04	0.70	0.07	8.00
GAR08	37.93	0.122	22.17	28.65	0.569	7.911	1.094	0.034	0.036	0	0.025	2.97	0.03	2.02	1.92	0.04	0.92	0.09	8.01
GAR09	38.1	0	22.07	28.64	0.575	7.991	1.108	0.069	0.018	0.044	0	2.98	0.02	2.03	1.91	0.04	0.93	0.09	8.00
GAR10	37.88	0	21.75	27.75	0.658	7.851	1.858	0.086	0.015	0.015	0.003	2.99	0.01	2.02	1.86	0.04	0.92	0.16	8.00
GAR11	37.9	0.044	21.81	27.48	0.624	7.369	1.985	0.109	0.025	0.017	0	3.00	0.00	2.04	1.87	0.04	0.87	0.17	7.99
GAR12	37.44	0.093	21.38	31.58	2.175	4.71	1.037	0.112	0.014	0	0.054	3.00	0.00	2.02	2.16	0.15	0.56	0.09	7.99
GAR13	36.90	0.00	21.51	30.48	2.12	4.79	0.99	0.13	0.02	0.04	0.03	2.99	0.01	2.05	2.13	0.15	0.58	0.09	8.00
GAR14	36.74	0.05	21.53	32.43	1.60	4.43	0.86	0.10	0.03	0.01	0.08	2.97	0.03	2.03	2.25	0.11	0.53	0.07	8.01
GAR15	37.05	0.01	21.26	30.99	1.55	4.75	0.84	0.11	0.02	0.00	0.01	3.01	0.00	2.05	2.18	0.11	0.57	0.07	7.99
GAR16	37.74	0.00	21.78	29.74	0.68	7.01	0.98	0.16	0.03	0.00	0.02	2.99	0.01	2.03	2.01	0.05	0.83	0.08	8.00
GAR17	37.85	0.07	21.86	29.81	0.74	7.09	1.03	0.10	0.02	0.02	0.00	2.99	0.01	2.02	2.00	0.05	0.83	0.09	8.00
GAR18	38.01	0.00	21.70	27.82	0.62	7.80	1.64	0.07	0.03	0.02	0.00	3.00	0.00	2.02	1.87	0.04	0.92	0.14	8.00
GAR19	38.09	0.03	21.81	28.64	0.58	7.62	1.65	0.08	0.03	0.00	0.14	2.99	0.01	2.01	1.91	0.04	0.89	0.14	8.00
GAR20	37.89	0.00	21.58	26.49	0.63	8.04	2.69	0.08	0.02	0.00	0.08	2.99	0.01	2.01	1.77	0.04	0.95	0.23	8.00
GAR21	38.17	0.15	21.47	26.85	0.66	8.16	2.66	0.11	0.01	0.00	0.07	3.00	0.00	1.99	1.77	0.04	0.96	0.22	8.00
GAR22	37.81	0.04	21.89	29.29	0.43	7.79	1.06	0.08	0.00	0.03	0.01	2.98	0.02	2.02	1.95	0.03	0.91	0.09	8.01
GAR23	37.87	0.05	21.74	28.45	0.62	7.63	1.10	0.10	0.02	0.01	0.03	2.99	0.01	2.03	1.93	0.04	0.90	0.09	8.00
GAR24	37.58	0.01	21.80	29.08	0.80	7.25	1.23	0.09	0.02	0.06	0.08	2.98	0.02	2.02	1.96	0.05	0.86	0.10	8.01
GAR25	37.39	0.00	21.52	29.80	0.65	7.27	1.14	0.09	0.04	0.05	0.11	2.98	0.02	2.00	1.99	0.04	0.86	0.10	8.01
GAR26	37.26	0.05	21.67	31.50	0.78	5.29	1.05	0.08	0.02	0.00	0.00	2.99	0.01	2.04	2.17	0.05	0.63	0.09	8.00
GAR27	38.14	0.02	21.19	30.89	1.31	5.55	1.15	0.20	0.04	0.00	0.01	3.04	0.00	2.00	2.10	0.09	0.66	0.10	7.98
GAR28	38.68	0.00	22.40	24.28	0.70	10.32	1.71	0.09	0.03	0.09	0.01	2.98	0.02	2.03	1.60	0.05	1.19	0.14	8.00
GAR29	38.12	0.00	22.27	29.19	0.55	8.24	0.99	0.09	0.02	0.04	0.01	2.97	0.03	2.01	1.92	0.04	0.96	0.08	8.01
GAR30	39.43	0.07	22.40	24.44	0.49	10.55	1.38	0.40	0.03	0.02	0.03	3.01	0.00	2.02	1.61	0.03	1.20	0.11	7.99
GAR31	38.80	0.00	22.29	24.23	0.59	10.25	1.35	0.07	0.04	0.08	0.05	3.00	0.00	2.04	1.62	0.04	1.18	0.11	7.99
GAR32	37.99	0.05	22.03	28.70	0.39	8.46	1.02	0.08	0.04	0.06	0.03	2.97	0.03	2.01	1.90	0.03	0.99	0.09	8.01
GAR33	38.12	0.05	22.17	28.98	0.32	8.30	1.04	0.12	0.03	0.00	0.01	2.97	0.03	2.02	1.92	0.02	0.96	0.09	8.01
GAR34	38.52	0.00	21.87	23.52	0.64	7.19	6.81	0.07	0.03	0.03	0.00	3.00	0.00	2.01	1.54	0.04	0.83	0.57	8.00

续表 4

样品	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	ZnO	Cr ₂ O ₃	Si	Al iv	Al vi	Fe ²⁺	Mn	Mg	Ca	Total
GAR35	38.56	0.04	21.91	23.17	0.66	7.21	6.67	0.11	0.01	0.02	0.07	3.00	0.00	2.01	1.54	0.04	0.84	0.56	7.99
GAR36	38.02	0.00	21.44	29.19	1.18	5.44	2.60	0.12	0.02	0.01	0.01	3.02	0.00	2.02	2.00	0.08	0.64	0.22	7.98
GAR37	38.32	0.00	21.73	28.81	0.65	7.86	1.01	0.08	0.00	0.05	0.00	3.01	0.00	2.01	1.92	0.04	0.92	0.08	7.99
GAR38	38.03	0.00	21.57	29.56	1.30	7.15	1.15	0.10	0.02	0.05	0.03	3.00	0.00	2.01	1.96	0.09	0.84	0.10	8.00
GAR39	39.10	0.00	21.82	25.36	0.53	8.39	3.59	0.09	0.01	0.00	0.03	3.02	0.00	1.99	1.67	0.03	0.97	0.30	7.98
GAR40	38.04	0.01	21.67	27.94	0.74	5.22	4.24	0.06	0.02	0.00	0.04	3.01	0.00	2.03	1.91	0.05	0.62	0.36	7.99
GAR41	37.72	0.00	21.73	28.87	0.69	5.04	4.10	0.08	0.02	0.02	0.00	2.99	0.01	2.04	1.97	0.05	0.60	0.35	8.00
GAR42	37.76	0.00	21.24	28.43	0.82	6.90	2.14	0.10	0.01	0.03	0.04	3.01	0.00	2.00	1.92	0.06	0.82	0.18	7.99
GAR43	37.61	0.05	21.40	28.37	0.82	6.77	2.18	0.03	0.00	0.00	0.00	3.00	0.00	2.02	1.92	0.06	0.81	0.19	7.99
GAR44	38.12	0.37	21.20	20.53	1.48	9.32	5.60	0.12	0.03	0.00	0.03	3.00	0.00	1.96	1.33	0.10	1.09	0.47	7.99
GAR45	38.40	0.31	21.29	21.21	1.57	9.27	5.44	0.08	0.01	0.02	0.08	3.00	0.00	1.95	1.36	0.10	1.08	0.45	8.00
GAR46	38.54	0.05	21.95	25.39	0.49	9.89	1.28	0.09	0.02	0.04	0.05	3.00	0.00	2.02	1.68	0.03	1.15	0.11	8.00
GAR47	38.72	0.07	21.85	25.64	0.43	10.04	1.24	0.09	0.01	0.00	0.12	3.00	0.00	2.00	1.68	0.03	1.16	0.10	7.99
GAR48	38.03	0.06	21.80	23.67	0.56	6.35	7.50	0.09	0.05	0.05	0.02	2.99	0.01	2.01	1.57	0.04	0.74	0.63	8.00
GAR49	37.59	0.00	21.92	29.63	0.66	6.70	1.00	0.07	0.02	0.02	0.03	2.98	0.02	2.05	2.03	0.04	0.79	0.08	8.00
GAR50	37.67	0.10	22.18	30.00	0.60	6.66	1.04	0.10	0.01	0.00	0.00	2.97	0.03	2.04	2.04	0.04	0.78	0.09	8.00
GAR51	37.74	0.03	21.66	28.82	0.71	6.94	1.23	0.08	0.02	0.01	0.01	3.00	0.00	2.04	1.97	0.05	0.82	0.10	7.99
GAR52	37.46	0.10	21.35	31.71	0.11	4.04	3.02	0.10	0.01	0.03	0.00	3.01	0.00	2.03	2.19	0.01	0.48	0.26	7.99
GAR53	37.20	0.20	21.30	32.14	0.03	4.16	3.28	0.08	0.02	0.06	0.00	2.99	0.01	2.01	2.19	0.00	0.50	0.28	8.00
GAR54	38.65	0.00	22.15	26.07	0.58	9.04	2.17	0.06	0.02	0.01	0.06	2.99	0.01	2.02	1.72	0.04	1.04	0.18	8.00
GAR55	38.66	0.07	21.94	26.26	0.49	9.15	2.10	0.06	0.02	0.02	0.16	2.99	0.01	2.00	1.72	0.03	1.06	0.17	8.00
GAR56	38.39	0.00	21.80	26.06	0.92	7.62	3.81	0.06	0.01	0.00	0.03	3.00	0.00	2.01	1.72	0.06	0.89	0.32	8.00
GAR57	37.10	0.00	21.47	30.29	0.95	4.52	3.19	0.10	0.02	0.00	0.07	2.99	0.01	2.03	2.08	0.06	0.54	0.28	8.00
GAR58	37.42	0.02	21.25	30.68	0.96	4.52	2.79	0.09	0.01	0.00	0.03	3.01	0.00	2.02	2.11	0.07	0.54	0.24	7.99
GAR59	37.36	0.00	21.57	30.03	1.57	5.24	1.96	0.12	0.03	0.00	0.05	2.99	0.01	2.03	2.06	0.11	0.63	0.17	8.00
GAR60	37.39	0.01	21.63	31.20	1.90	4.87	1.77	0.11	0.03	0.03	0.08	2.98	0.02	2.02	2.12	0.13	0.58	0.15	8.00
GAR61	37.96	0.00	21.56	29.87	0.96	6.77	1.57	0.04	0.02	0.00	0.00	3.00	0.00	2.01	1.99	0.06	0.80	0.13	8.00
GAR62	39.69	0.09	23.34	17.51	0.34	11.32	7.35	0.08	0.02	0.03	0.03	2.96	0.04	2.02	1.12	0.02	1.26	0.59	8.01
GAR63	38.38	0.17	23.18	22.22	0.59	8.30	7.26	0.05	0.00	0.10	0.03	2.92	0.08	2.01	1.44	0.04	0.94	0.59	8.03
GAR64	38.72	0.13	22.22	21.83	0.57	8.13	7.24	0.12	0.01	0.06	0.01	2.98	0.02	2.00	1.42	0.04	0.93	0.60	8.00
GAR65	38.88	0.12	22.90	21.72	0.56	8.32	7.03	0.08	0.00	0.00	0.04	2.96	0.04	2.02	1.43	0.04	0.94	0.57	8.01
GAR66	39.99	0.06	23.34	17.21	0.30	11.81	7.29	0.05	0.03	0.10	0.08	2.96	0.04	2.01	1.09	0.02	1.31	0.58	8.01
GAR67	38.86	0.10	22.73	23.93	0.66	6.06	8.16	0.08	0.02	0.13	0.04	2.97	0.03	2.02	1.57	0.04	0.69	0.67	8.01
GAR68	38.17	0.13	22.48	23.96	0.67	6.02	8.09	0.13	0.01	0.00	0.02	2.96	0.04	2.01	1.58	0.04	0.69	0.67	8.01
GAR69	38.17	0.09	22.80	24.22	0.62	5.81	7.97	0.04	0.01	0.01	0.07	2.95	0.05	2.03	1.61	0.04	0.67	0.66	8.02

表 6 铬铁矿 / 铬尖晶石电子探针化学成分数据表 (wt%)

Table 6 Composition of major elements of the chromites (wt%)

样品	Cr ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	TiO ₂	FeO	Fe ₂ O ₃	MgO	MnO	Total	Cr	Al	Ti	Fe ³⁺	Fe ²⁺	Mg	Mn	100Mg/Mg+Fe ²⁺	100Cr/Cr+Al	100Fe ³⁺ /Cr+Al+Fe ²⁺
CH1	39.72	13.40	1.16	22.48	13.04	8.08	0.09	97.97	8.49	4.27	0.24	2.65	5.20	3.25	0.02	34.39	66.53	17.21
CH2	53.18	10.77	0.41	21.86	4.00	7.44	0.21	97.87	11.52	3.48	0.08	0.82	5.02	3.04	0.05	35.74	76.80	5.21
CH3	53.21	8.87	0.22	26.71	4.25	3.75	0.40	97.40	12.00	2.98	0.05	0.91	6.38	1.59	0.10	17.02	80.09	5.74
CH5	58.97	8.80	0.13	16.59	3.57	10.86	0.02	98.94	12.45	2.77	0.03	0.72	3.71	4.32	0.01	66.66	81.80	4.50
CH6	52.13	13.12	0.19	15.12	4.84	11.98	0.04	97.42	10.87	4.08	0.04	0.96	3.35	4.71	0.01	63.39	72.71	6.04
CH7	52.25	13.13	0.42	16.27	3.68	11.29	0.03	97.07	10.97	4.11	0.08	0.74	3.62	4.47	0.01	57.79	72.74	4.65
CH8	53.75	9.70	0.11	21.41	3.07	6.90	0.16	95.09	12.05	3.24	0.02	0.65	5.08	2.92	0.04	35.02	78.79	4.11
CH9	56.09	8.87	0.43	22.07	2.83	7.04	0.23	97.56	12.32	2.90	0.09	0.59	5.13	2.91	0.05	36.26	80.92	3.74
CH10	52.00	12.93	0.16	18.64	4.22	9.66	0.10	97.70	11.00	4.08	0.03	0.85	4.18	3.85	0.02	46.63	72.95	5.33
CH11	51.03	13.09	0.37	18.55	3.99	9.66	0.12	96.81	10.87	4.16	0.07	0.81	4.19	3.88	0.03	46.47	72.33	5.11
CH12	45.17	10.91	0.41	27.53	9.43	3.75	0.23	97.43	10.11	3.64	0.09	2.01	6.58	1.58	0.05	15.47	73.52	12.75
CH13	45.95	10.84	0.22	27.25	9.42	3.82	0.36	97.86	10.24	3.60	0.05	2.00	6.49	1.60	0.09	15.90	73.98	12.62
CH16	35.68	29.05	0.51	10.44	5.27	16.96	0.08	97.99	6.71	8.15	0.09	0.94	2.09	6.01	0.02	58.73	45.16	5.97
CH17	35.23	29.23	0.79	10.66	5.50	17.11	0.12	98.64	6.58	8.14	0.14	0.98	2.12	6.03	0.02	58.70	44.70	6.23
CH19	35.17	28.81	0.80	10.59	5.23	16.96	0.01	97.57	6.64	8.12	0.14	0.94	2.13	6.04	0.00	58.94	45.01	5.99
CH21	37.70	18.64	0.61	17.08	12.62	11.95	0.06	98.65	7.62	5.62	0.12	2.43	3.75	4.55	0.01	48.62	57.56	15.50
CH22	41.60	15.02	0.88	17.82	11.64	11.10	0.07	98.13	8.62	4.64	0.17	2.30	3.99	4.34	0.02	50.23	65.00	14.75
CH23	43.67	9.33	0.60	25.40	10.73	4.50	0.28	94.51	10.08	3.21	0.13	2.36	6.29	1.96	0.07	20.60	75.84	15.07
CH24	49.19	13.00	0.46	24.79	5.21	5.97	0.27	98.90	10.56	4.16	0.09	1.07	5.65	2.42	0.06	24.63	71.73	6.75
CH25	48.83	14.67	0.73	24.14	3.10	6.68	0.12	98.28	10.41	4.66	0.15	0.63	5.45	2.68	0.03	26.54	69.06	4.01
CH26	56.97	10.20	0.26	18.20	4.30	10.24	0.14	100.31	11.87	3.17	0.05	0.85	4.02	4.02	0.03	55.92	78.93	5.36
CH27	43.91	12.50	0.74	23.27	9.92	6.95	0.15	97.45	9.53	4.05	0.15	2.05	5.41	2.84	0.04	30.07	70.20	13.12
CH28	54.93	10.67	0.35	14.45	4.52	12.16	0.11	97.19	11.58	3.36	0.07	0.91	3.24	4.83	0.02	73.32	77.54	5.73
CH29	46.41	9.85	2.26	20.40	9.66	9.62	0.17	98.37	9.91	3.14	0.46	1.96	4.67	3.87	0.04	49.61	75.96	13.08
CH30	46.81	9.86	2.04	20.35	9.67	9.55	0.15	98.43	10.00	3.14	0.41	1.97	4.66	3.85	0.03	49.29	76.10	13.02
CH31	46.59	9.22	0.71	22.95	11.64	7.02	0.21	98.35	10.18	3.00	0.15	2.42	5.40	2.89	0.05	34.40	77.21	15.52
CH32	45.21	9.07	0.84	22.90	12.35	6.96	0.26	97.59	9.96	2.98	0.18	2.59	5.45	2.89	0.06	34.31	76.97	16.68
CH33	45.92	9.15	0.72	22.53	10.95	6.88	0.17	96.31	10.24	3.04	0.15	2.32	5.40	2.89	0.04	34.25	77.09	14.89

表 7 石榴子石端元组分 (%)
Table 7 End member of the garnets (%)

样品	Alm	Grs	Pyp	Sps	Uvt	样品	Alm	Grs	Pyp	Sps	Uvt	样品	Alm	Grs	Pyp	Sps	Uvt
GAR01	54.13	3.03	41.62	1.21	0.00	GAR24	65.94	3.23	28.77	1.80	0.26	GAR47	56.59	3.08	38.99	0.96	0.38
GAR02	54.79	3.19	40.53	1.49	0.00	GAR25	66.26	2.93	29.00	1.47	0.34	GAR48	52.69	21.07	24.92	1.24	0.07
GAR03	69.55	2.58	25.80	2.07	0.00	GAR26	73.71	3.06	21.43	1.80	0.00	GAR49	68.77	2.76	26.85	1.51	0.11
GAR04	68.99	2.40	26.08	2.34	0.19	GAR27	71.34	3.30	22.35	3.00	0.02	GAR50	69.20	2.97	26.49	1.35	0.00
GAR05	69.02	2.57	26.71	1.21	0.49	GAR28	53.82	4.70	39.91	1.53	0.04	GAR51	66.93	3.51	27.89	1.62	0.04
GAR06	68.47	2.79	27.18	1.31	0.25	GAR29	63.75	2.77	32.24	1.22	0.02	GAR52	74.47	8.83	16.44	0.26	0.00
GAR07	72.37	1.99	23.75	1.43	0.47	GAR30	54.45	3.73	40.66	1.07	0.08	GAR53	73.66	9.51	16.77	0.06	0.00
GAR08	64.54	3.01	31.09	1.27	0.08	GAR31	54.89	3.64	40.02	1.30	0.15	GAR54	57.66	5.86	35.04	1.28	0.17
GAR09	64.24	3.13	31.36	1.28	0.00	GAR32	63.04	2.78	33.20	0.87	0.10	GAR55	57.68	5.35	35.41	1.07	0.49
GAR10	62.27	5.26	30.98	1.48	0.01	GAR33	63.93	2.88	32.45	0.71	0.02	GAR56	57.56	10.58	29.73	2.04	0.09
GAR11	63.45	5.70	29.43	1.42	0.00	GAR34	51.65	19.01	27.93	1.41	0.00	GAR57	70.26	9.07	18.28	2.18	0.21
GAR12	73.00	2.83	19.00	4.99	0.17	GAR35	51.72	18.49	28.13	1.45	0.21	GAR58	71.32	8.02	18.34	2.22	0.10
GAR13	72.51	2.81	19.65	4.93	0.10	GAR36	67.85	7.51	21.92	2.69	0.03	GAR59	69.60	5.52	21.14	3.59	0.15
GAR14	75.79	2.25	18.02	3.69	0.25	GAR37	64.71	2.86	30.98	1.44	0.00	GAR60	71.14	4.82	19.46	4.32	0.26
GAR15	74.26	2.47	19.60	3.64	0.03	GAR38	65.68	3.18	28.14	2.91	0.08	GAR61	66.68	4.44	26.74	2.14	0.00
GAR16	67.78	2.73	27.88	1.54	0.08	GAR39	56.18	9.94	32.61	1.18	0.10	GAR62	36.92	19.75	42.51	0.73	0.09
GAR17	67.35	2.94	28.05	1.66	0.00	GAR40	65.09	12.14	20.96	1.70	0.11	GAR63	46.22	20.16	32.22	1.31	0.09
GAR18	63.01	4.66	30.92	1.40	0.00	GAR41	66.46	11.80	20.18	1.57	0.00	GAR64	47.43	20.01	31.29	1.25	0.03
GAR19	64.13	4.22	29.92	1.30	0.43	GAR42	64.40	6.02	27.58	1.86	0.14	GAR65	47.51	19.24	31.90	1.21	0.13
GAR20	59.24	7.39	31.72	1.41	0.24	GAR43	64.76	6.28	27.10	1.86	0.00	GAR66	35.78	19.30	44.04	0.64	0.24
GAR21	59.09	7.28	31.96	1.46	0.22	GAR44	44.07	15.05	36.75	3.31	0.10	GAR67	52.81	22.37	23.25	1.44	0.13
GAR22	65.32	2.99	30.71	0.97	0.02	GAR45	45.00	14.00	36.23	3.50	0.25	GAR68	52.30	22.67	23.50	1.48	0.05
GAR23	65.07	3.04	30.39	1.40	0.10	GAR46	56.71	3.43	38.63	1.08	0.16	GAR69	53.57	22.16	22.67	1.38	0.21

Alm-铁铝榴石; Pyp-镁铝榴石; Sps-锰铝榴石; Grs-钙铝榴石; Adr-钙铁榴石; Uvt-钙铀榴石.

表 5 山头地区典型石榴子石分子式

Table 5 Molecular formula of typical garnet in the Shantou area

石榴子石名称	代表样品分子式
铁铝 - 镁铝榴石	$(\text{Fe}_{2.25}\text{Mg}_{0.53}\text{Ca}_{0.07}\text{Al}_{0.04})_{2.89}(\text{Al}_{2.03}\text{Mn}_{0.11})_{2.14}\text{Si}_{2.97}\text{O}_{12}$
镁铝 - 铁铝 - 钙铝榴石	$(\text{Ca}_{0.58}\text{Fe}_{1.09}\text{Mg}_{1.31})_{2.98}(\text{Al}_{2.01}\text{Mn}_{0.02})_{2.03}\text{Si}_{2.96}\text{O}_{12}$
铁铝 - 钙铝 - 镁铝榴石	$(\text{Ca}_{0.67}\text{Fe}_{1.58}\text{Mg}_{0.69})_{2.94}(\text{Al}_{2.01}\text{Mn}_{0.04})_{2.05}\text{Si}_{2.96}\text{O}_{12}$
铁铝 - 镁铝 - 锰铝榴石	$(\text{Fe}_{2.16}\text{Mg}_{0.56}\text{Ca}_{0.09})_{2.81}(\text{Al}_{2.02}\text{Mn}_{0.15})_{2.17}\text{Si}_{3.0}\text{O}_{12}$

6.2 铬铁矿化学成分特征

铬尖晶石类矿物广泛出现于金伯利岩等含金刚石母岩中,其含量甚至可超过石榴子石族矿物。当 Cr^{3+} 在单位晶胞中的数量大于 8 时为铬铁矿,小于 8 者为铬尖晶石(单位晶胞中 3 价阳离子数为 16)^[21]。山头地区重砂中的铬尖晶石类矿物以铬铁矿为主;铬尖晶石只有 4 粒,所占比例很小。

从表 6 可知,铬尖晶石矿物中 Cr_2O_3 的含量最小值为 35.17 wt%,绝大多数大于 40wt%; MgO 的含量为 3.75~17.11 wt%,大多数在 8 wt% 左右; TiO_2 含量为 0.11~2.26 wt%。

7 讨论

本区石榴子石中的端员组分主要以铁铝榴石(Alm)为主(占比 35.78%~75.79%),其次是镁铝榴石(Pyp)(占比 16.44%~44.04%)(表 7),钙铝榴石(Grs)占比较低(1.99%~22.67%);其他端员组分钙铁榴石、锰铝榴石和钙铬榴石的含量非常低,基本可以忽略不计。69 件石榴子石化学成分测试结果表明:区内指示矿物石榴子石主要为铁铝 - 镁铝 - 钙铝石榴子石系列。按照 Dawson Stephens 对石榴子石的划分方法(表 8),本区石榴子石主要类型应为 G3、G4 石榴子石(图 3),其主要来自于榴辉岩^[22-24]。

表 8 Dawson-Stephens 分类中不同岩石类型石榴子石的平均氧化物含量^[22]Table 8 Average oxides contents of garnets from different rock types^[22]

类别	名称	TiO ₂ %	Cr ₂ O ₃ %	FeO%	MgO%	CaO%	岩石类型
1	钛 - 镁榴石	0.58	1.34	9.32	20.0	4.82	K, GL, GOW, D
2	高钛 - 镁铝榴石	1.09	0.91	9.84	20.3	4.52	K
3	钙 - 镁铝榴石 - 铁铝榴石	0.31	0.30	16.49	13.35	6.51	K, GL, GOW, EC, D
4	钛、钙、镁 - 铁铝榴石	0.90	0.08	17.88	9.87	9.41	K, EC, D
5	镁 - 铁铝榴石	0.05	0.03	28.23	7.83	2.44	K, EC, D
6	镁铝榴石 - 钙铝榴石 - 铁铝榴石	0.24	0.27	10.77	10.38	14.87	GP, EC, GR
7	铁 - 镁 - 钙铬榴石 - 钙铝榴石	0.29	11.52	5.25	8.61	21.60	K, GS
8	铁 - 镁 - 钙铝榴石	0.25	0.04	6.91	4.69	24.77	GR
9	铬镁铝榴石	0.27	3.47	8.01	20.01	5.17	K, GL, GOW, GH, EC, D
10	低钙 - 铬 - 镁铝榴石	0.04	7.73	6.11	23.16	2.13	K, GS, D
11	钙铬榴石 - 镁铝榴石	0.51	9.55	7.54	15.89	10.27	K, GL, GWH, D
12	镁铬榴石 - 钙铬榴石 - 镁铝榴石	0.18	15.94	7.47	15.40	9.51	K, GS

注:K-金伯利岩;GL-石榴二辉橄榄岩;GH-石榴方辉橄榄岩;GD-石榴纯橄岩;GS-石榴蛇纹岩;GOW-石榴橄榄二辉岩;GP-石榴辉石岩;GWH-石榴易剥橄榄岩;GR-辉榴蓝晶岩;EC-榴辉岩;D-金刚石包体。

宿州栏杆地区含金刚石母岩中的石榴子石端员组分主要以钙铝榴石(Grs)为主(41.64%-80.29%,平均为 72.88%),其次是钙铁榴石(Adr)(18.45%-48.58%,平均为 25.75%^[23]),镁铝榴石的

含量较低(0.29%-1.14%,平均为 1.01%),主要为钙铝 - 钙铁 - 镁铝石榴子石系列,并且发现有超硅石榴子石的存在^[23],属于 G0 系列石榴子石^[24]。泗县山头砂矿中的石榴子石指示矿物与安徽栏杆地区

石榴子石类型完全不同,说明该砂矿的金刚石不是源自栏杆地区的原生矿。

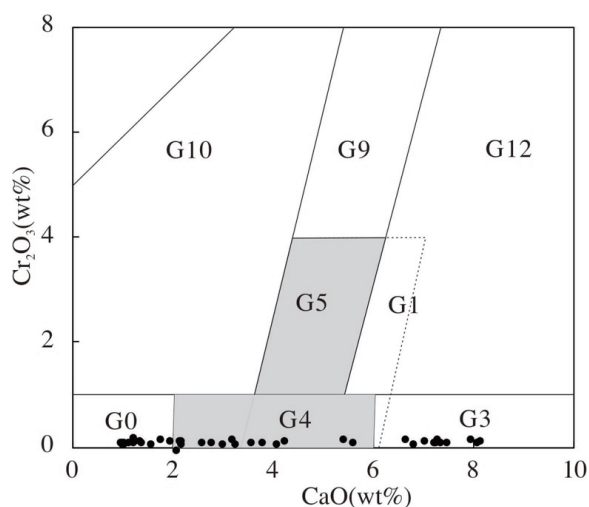


图3 山头地区石榴子石分类图^[24]

Fig. 3 Classification of garnets from the Shantou area (after^[24])

从另一个重要指示矿物——铬铁矿来看。根据 Cr_2O_3 含量可以将山头地区的铬铁矿分为中铬-铬铁矿和低铬铬铁矿(图4),且中铬-铬铁矿与山东、辽宁金伯利岩中发现的中铬-铬铁矿成分基本一致,但缺乏后者的高铬-铬铁矿系列^[25, 26]。说明山头砂矿中铬铁矿应该是与该区金刚石共生的指示矿物。

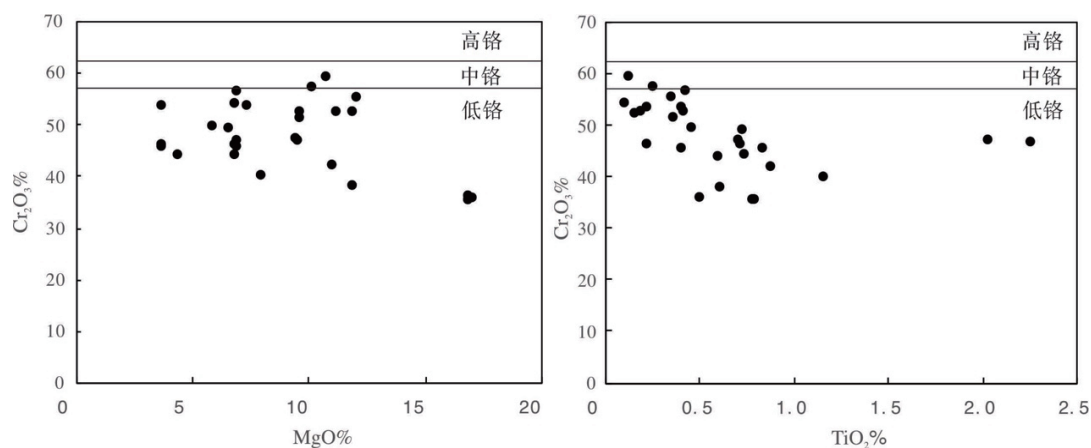


图4 山头地区铬铁矿成分分布图

Fig. 4 Composition diagram of chromites from the Shantou area

前人对安徽栏杆地区金刚石找矿指示矿物中铬铁矿的研究显示,其大多为含铬尖晶石^[27],Cr含量低于本区铬铁矿。因此,从化学成分上来讲,泗县地区的铬铁矿也并非来自栏杆地区。

综上所述,泗县地区砂矿和栏杆地区原生矿中的石榴子石、铬铁矿在化学成分上相差较远,并不属于同一来源,同时也表明两者金刚石来源不同。

8 结论

(1)安徽泗县山头地区砂矿中石榴子石族矿物主要为铁铝-镁铝-钙铝石榴子石系列的G3、G4石榴子石,与栏杆地区原生金刚石矿中石榴子石类型完全不同。本区铬尖晶石族矿物中中铬-铬铁矿与山东、辽宁金伯利岩中发现的中铬-铬铁矿成分基本一致,属于含金刚石母岩中常出现的铬铁矿类型,与安徽栏杆地区原生金刚石矿中铬尖晶石明显不同。

(2)该区砂矿中出土的金刚石与宿州栏杆地区的原生金刚石在颜色、晶型等方面均有明显不同,指示矿物也明显不同,因此栏杆地区的金刚石原生矿并不是该区金刚石砂矿的物源,本区是否具有金刚石原生矿的潜力需要进一步研究。

参考文献:

[1] Tappert R, Tappert M C. The Origin of Diamonds[M].//In: Diamonds in Nature. Springer, Berlin, Heidelberg, 2011: 1-14.

[2] 蔡逸涛,杨献忠,康丛轩.国内外金刚石成因认识现状[J].华东地质,2017,38(增刊):95-102.

[3] Gurney J J, Helmstaedt H H, Richardson S H, Shirey S

- B. Diamonds through time[J]. *Economic Geology*, 2010, 105(3): 689-712.
- [4] 蔡逸涛, 施建斌, 周琦忠, 徐敏成, 张洁, 张雪辉, 袁秋云. 徐州白露天含金刚石橄榄玄武岩地球化学特征及其岩浆演化特征[J]. *中国地质*, 2020, <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1167.P.20200507.1415.004.html>.
- [5] 施建斌, 蔡逸涛, 张琪, 黄友波, 张洁. 徐州北部西村苦橄玢岩地球化学特征及其与金伯利岩的对比[J]. *地质学刊*, 2017, 41(4): 535-541.
- [6] Stachel T, Luth R W. Diamond formation—Where, when and how [J]? *Lithos*, 2015, 220: 200-220.
- [7] Tappert R, Tappert M C. *Diamonds in Nature*[M]. Berlin, Heidelberg: Springer, 2011.
- [8] Stachel T, Harris J W. Formation of diamond in the Earth's mantle[J]. *Journal of Physics: Condensed Matter*, 2009, 21(36): 364206.
- [9] 蔡逸涛, 陈国光, 张洁, 董钟斗, 周世文. 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.
- [10] 黄先觉, 董钟斗. 安徽省宿州地区金刚石成矿条件与预测研究报告[R]. 芜湖: 安徽省地勘局第二水文工程地质勘察院, 2009.
- [11] 蔡逸涛, 张洁, 施建斌, 周琦忠, 马玉广, 刘吉强, 徐敏成, 万方来, 徐华, 肖丙建, 吴祥珂, 袁秋云. 华北克拉通南缘碱性基性岩金刚石成因探讨—来自红外光谱的证据[J]. *地质学报*, 2020, 94(9): 2736-2747.
- [12] 康丛轩, 杨献忠, 蔡逸涛, 宗雯, 黄先觉, 孔广林, 李朝维. 华北克拉通东南缘蚌埠隆起带荆山—涂山岩体地质地球化学特征再认识[J]. *现代地质*, 2018, 32(6): 1242-1253.
- [13] 黄先觉. 金刚石原生矿床类型及安徽省金刚石找矿前景分析[J]. *安徽地质*, 2012, 22(2): 103-105.
- [14] 张岳桥, 董树文. 郯庐断裂带中生代构造演化史: 进展与新认识[J]. *地质通报*, 2008, 27(9): 1371-1390.
- [15] 余心起, 江来利, 许卫, 邱瑞龙, 杜建国, 戴圣潜. 皖浙赣断裂带的界定及其基本特征[J]. *地学前缘*, 2007, 14(3): 102-113.
- [16] 聂峰, 张忠宝, 石永红, 王娟, 唐盼, 任光雪. 郯庐断裂(安徽段)两侧肥东群与霍邱群特征性岩石对比研究[J]. *岩石学报*, 2016, 32(4): 1087-1100.
- [17] 黄超, 余朝华, 张桂林, 傅良同, 袁志云, 范兴燕. 郯庐断裂中段新生代右行走滑位移[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2013, 43(3): 820-832.
- [18] 蔡逸涛, 张洁, 董钟斗, 曹正琦, 肖书阅, 李帅, 李成凯, 陈乐柱, 范飞鹏. 皖北栏杆地区新元古代岩浆活动: 含金刚石母岩 U-Pb 年代学及地球化学制约[J]. *中国地质*, 2018, 45(2): 351-366.
- [19] 马瑛, 王琦, 丘志力, 陆太进, 李榴芬, 陈华, 邓小芹, 薄昊楠. 湖南砂矿金刚石中石墨包裹体拉曼光谱原位测定: 形成条件及成因指示[J]. *光谱学与光谱分析*, 2018, 36(8): 1753-1757.
- [20] 张洁, 蔡逸涛, 董钟斗, 马玉广, 范飞鹏, 陈乐柱, 李成凯, 杨迪威. 安徽栏杆金刚石矿物特征及其寄主母岩地球化学特征研究[J]. *宝石和宝石学杂志*, 2015, 17(5): 1-11.
- [21] 隋真龙, 董国臣, 董亮琼, 何勇, 王曼丽. 铬铁矿自然重砂组合特征及其找矿意义[J]. *地质通报*, 2014, 33(12): 1929-1932.
- [22] Dawson J B, Stephens W E. Statistical Classification of Garnets from Kimberlite and Associated Xenoliths[J]. *The Journal of Geology*, 1975, 83(5): 589-607.
- [23] 蔡逸涛, 张洁, 康丛轩, 杨献忠, 曹正琦, 董钟斗, 马玉广, 施建斌. 安徽栏杆含金刚石基性岩中石榴子石矿物学特征[J]. *地质通报*, 2019, 38(1): 18-28.
- [24] Grutter H S, Gurney J J, Menzies A H, Winter F. An updated classification scheme for mantle-derived garnet, for use by diamond explorers[J]. *Lithos*, 2004, 77: 841-857.
- [25] 陈华, 丘志力, 陆太进, Richard Stern, Thomas Stachel, 孙媛, 张健, 柯捷, 彭淑仪, 秦社彩. 扬子克拉通及华北克拉通大陆岩石圈地幔碳同位素组成及其差异: 金刚石碳同位素原位测试证据[J]. *科学通报*, 2013, 58(4): 355-364.
- [26] 施建斌, 曹强, 蔡承刚. 江苏新沂金刚石砂矿地质特征及供源方向探讨[J]. *化工矿产地质*, 2010, 32(1): 39-43.
- [27] 蔡逸涛, 徐敏成, 施建斌, 杨献忠, 张洁, 康丛轩, 曹正琦, 董钟斗, 马玉广. 安徽栏杆含金刚石基性岩中辉石及钛铁矿矿物化学特征[J]. *地质通报*, 2019, 38(1): 1-13.