

宝石矿物——钙铁榴石的物化性质研究及评价

陈克樵^①

地矿部矿床地质研究所 北京 100037

於晓晋

北京科技大学地质系 北京 100083

张英军

中国地质博物馆 北京 100034

马春学

钢铁研究总院 北京 100081

摘要 应用电子探针等矿物物理分析测试技术,对我国某地发现的宝石级石榴石—钙铁榴石宝石矿物进行物化性质方面的研究,并对宝石作了初步评价。

关键词 宝石 钙铁榴石 电子探针 物理性质 化学性质 光学性质

据有关文献^[1]介绍,目前我国已发现的石榴石宝石矿物有镁铝榴石(红榴石)、铁铝榴石(贵榴石)、锰铝榴石、钙铝榴石等。1982年在我国某地发现了钙铁榴石成分的翠榴石,已取名“三江祖母绿”^[2]。但这一发现仅有宝石学研究意义,因为该钙铁榴石既无宝石级利用价值,也无一定的规模和储量。

1994年在我国某地,笔者发现了宝石级石榴石—钙铁榴石。初步评价,宝石质量较优,而且形成一定规模和储量,有开采和利用

价值。从已采集到的少量样品琢磨的宝石戒面看来,同标准的翠榴石比较,似乎黄色调偏重,若称翠榴石有些勉强。

1 钙铁榴石的物理性质

石榴石(亦称紫牙乌)族宝石矿物,主要由镁铝榴石、钙铝榴石、铁铝榴石、锰铝榴石、钙铁榴石和钙铬榴石6个矿物种以及一系列过渡变种所组成(表1)。

表1 石榴石族各矿物种的物理性质^[2]

矿物种	化学式	密度 (t/m ³)	折射率	色散	颜色	微量元素
镁铝榴石	Mg ₃ Al ₂ [SiO ₄] ₃	3.60	1.72~1.75	0.022	红 浅红 红褐	Fe Cr
钙铝榴石	Ca ₃ Al ₂ [SiO ₄] ₃	3.65	1.73~1.75	0.027	黄 黄绿 橙黄 橙 褐 绿	V Cr
铁铝榴石	Fe ₃ Al ₂ [SiO ₄] ₃	4.05	1.67~1.82	0.027	红 暗红	Fe Cr
锰铝榴石	Mn ₃ Al ₂ [SiO ₄] ₃	4.18	1.79~1.82	0.027	黄 黄褐 橙褐	Fe
钙铁榴石	Ca ₃ Fe ₂ [SiO ₄] ₃	3.83	1.86~1.89	0.057	黄绿-绿 褐黑	Cr Cu Mn
钙铬榴石	Ca ₃ Cr ₂ [SiO ₄] ₃	3.77	1.85~1.87	0.021	绿	

所研究的这种钙铁榴石,结晶程度较好。已收集到的标本,晶体大小一般从几毫米到

百余毫米,而大多数粒径为20~50 mm 物晶形多为菱形十二面体的单晶或菱形十二

① 陈克樵 男,副研究员,从事矿物物理实验研究工作。

面体和四角三八面体的聚晶(图1)。有些矿物的单晶或聚晶的母体上又附生着石榴石的小晶体,这种小晶体一般颜色较母体浅。有的矿物晶体表面,有明显的生长纹和菱形阶梯状的生长坑。矿物颜色有环带状分布特征,表皮颜色多为黑棕色、浅棕色或两种颜色不规则相间成的杂色。矿物晶体切割面的颜色有:浅黄绿色、带黄色调的翠绿色、带绿色调的酒黄色、桔红色、深桔红色等。这些颜色在某些部位成逐渐过渡,没有明显的界线。

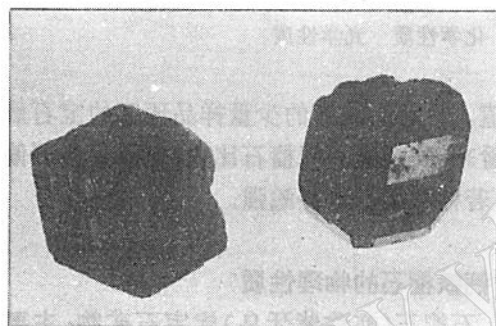


图1 钙铁石榴石晶形

左为菱形十二面体,
右为菱形十二面体与四角三八面体聚晶。

石榴石族矿物种各矿物的硬度(H)值均在6.5~7.5之间,本研究的钙铁石榴石表面看来结晶很好,块度较大。但是,切割后发现,内部的孔洞、孔隙和裂缝比较发育。因此,作为宝石原料的利用率比较低。

本研究的钙铁石榴石的折射率 >1.87 ,色散值为0.056,矿物密度为 3.82 t/m^3 。

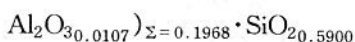
2 钙铁石榴石化学组成

电子探针能谱定性分析,可以看出矿物主要由 SiO_2 、 CaO 、 FeO 组成,并含少量的 Al_2O_3 、 MnO 、 MgO 、 TiO_2 及微量元素组分 Cr_2O_3 、 CuO (图2)。各种颜色钙铁石榴石组分电子探针定量分析结果及部分国外产出的钙铁石榴石化学组分列于表2。

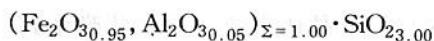
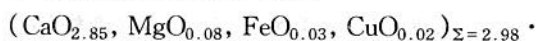
现以表2中黄翠绿色钙铁石榴石的电子探

针定量分析结果为例计算矿物化学式。钙铁石榴石的标准化学式为 $\text{Ca}_3\text{Fe}_2[\text{SiO}_4]_3$,根据元素类质同象替代原则和矿物定量分析结果,化学式可改写成 $3(\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Cu})^{2+} \text{O} \cdot (\text{Fe}, \text{Al})_2^{3+} \text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$ 。分别计算出二价、三价和四价元素的分子数。二价的 CaO 为0.5597, MgO 0.0154, CuO 0.0036, $\Sigma = 0.5787$;三价的 Fe_2O_3 0.1919, Al_2O_3 0.0107, $\Sigma = 0.2026$;四价的 SiO_2 0.5900。根据理论化学式,钙铁石榴石须有3个二价元素分子,1个三价元素分子和3个四价元素分子,才能达到化学式中阴、阳离子的总电价平衡。从以上分配结果看来,电价尚不平衡,三价元素的分子数稍高,二价元素的分子数稍低。因此,推测变价元素铁并不完全都以 Fe_2O_3 状态存在,还有小量的 FeO 状态存在。

为了达到化学式电价平衡,0.5787个二价元素分子需0.1929个三价元素分子,这样三价元素还剩余 0.0097 个变价 Fe 元素分子($0.2026 - 0.1929 = 0.0097$)。现在的关键是将0.0097个变价元素分子合理地分配给二价和三价元素,就能使整个化学式电价达到平衡。由于1.5份二价元素离子与1份三价元素离子的电价相等,所以 $(0.0097/2.5) \times 1.5 = 0.0058$ (分配给二价元素的分子数), $0.0097/2.5 = 0.0039$ (分配给三价元素的分子数)。经合理分配后,钙铁石榴石的化学式可改写为:



现以0.5900个二氧化硅分子作为标准的3个 SiO_2 ,则化学式改写为:



化简为: $3 \text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3 \text{SiO}_2$ 。结果与标准的钙铁石榴石的化学式完全一致。

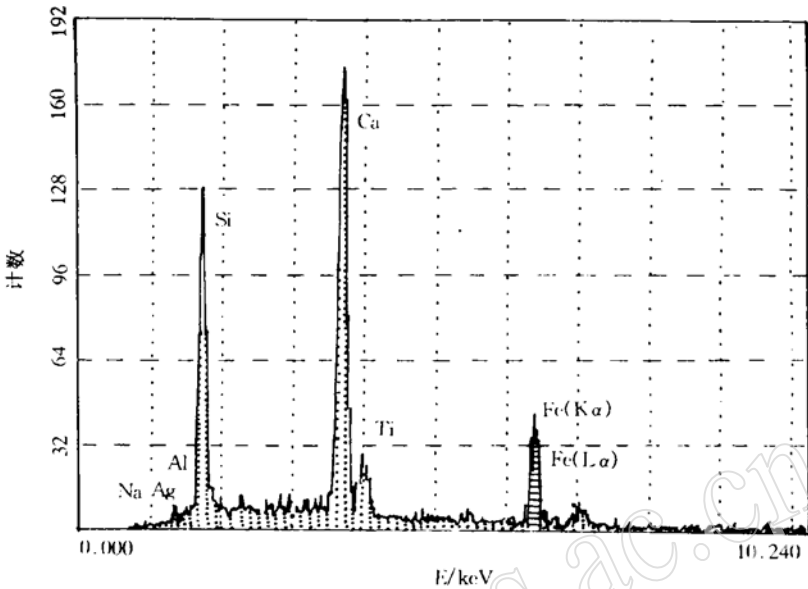


图 2 钙铁榴石组分能谱图
图中计数时间为 10 s。

表 2 国内外钙铁榴石化学组分比较^①

产出国	颜色	化学组分及含量/ 10^{-2}												
		Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	MnO	FeO	Fe ₂ O ₃	CuO	Σ
原苏联	草绿色	-	0.14	痕量	34.45	-	33.34	-	-	-	-	31.43	-	99.36
	苹果绿	-	0.07	痕量	34.31	-	33.46	-	0.06	-	-	31.42	-	99.32
	浅白绿	-	0.15	痕量	34.80	-	33.87	-	0.05	-	-	31.82	-	100.69
	橄榄绿	-	0.19	痕量	34.54	-	33.69	-	0.03	-	-	31.19	-	99.64
意大利	浅褐绿	-	痕量	痕量	34.19	-	32.18	-	-	-	1.19	31.69	-	99.25
中国	黄翠绿	0.00	0.62	1.09	35.45	0.00	31.39	0.00	0.06	0.08	30.65	-	0.29	99.63
	绿酒黄	0.00	0.70	7.26	35.62	0.00	30.81	0.62	0.15	0.65	23.92	-	0.00	99.73
	深酒黄	0.00	0.00	0.00	35.86	0.00	31.64	0.40	0.04	0.33	30.79	-	0.00	99.06
	桔红	0.00	0.00	0.00	35.48	0.00	31.24	0.77	0.00	0.17	31.30	-	0.00	98.96
	深桔红	0.00	0.00	0.00	34.74	0.00	32.26	0.95	0.00	1.02	29.95	-	0.00	98.92

① 分析仪器: JXA-733 电子探针仪, TN-5500、5600 能谱仪。测试条件: 加速电压 20 kV, 束流 20 nA。

3 钙铁榴石的观赏与评价

钙铁榴石琢磨成戒面与饰品后, 它以鲜亮明快的黄翠绿色为主调, 折射率虽较宝石之王——钻石稍低, 但比红宝石、蓝宝石、祖母绿、金绿宝石和翡翠等高档宝石都高。色散

值比它们也强, 即使钻石也无法与之相比(表 3)。由于钙铁榴石本身具有较高的折射率和极强的色散。因此, 用它琢磨成的刻面戒面反火都很好。多种款式的戒面, 在合适的光线照射下, 会出现鲜亮的翠绿色、金黄色、桔

红色等色彩斑斓、晶莹似火的光学效果,给人以金碧辉煌之美感。用钙铁榴石琢磨的素面戒面,有的还能见到星光效应。

由于钙铁榴石具有优良的宝石学性质,因此,钙铁榴石及其变种翠榴石宝石,将越来越受到人们的喜欢和青睐。

表3 钙铁榴石与高档宝石的宝石学性质比较^[3,4]

名称	硬度	折射率	色散	双折射率
钻石	10	2.412	0.044	
蓝宝石	9	1.76~1.77	0.011	0.008
红宝石	9	1.76~1.77	0.011	0.008
祖母绿	7.5~8	1.57~1.59	-	0.007
金绿宝石	8.5	1.75~1.76	-	0.009
翡翠	6.5~7	1.66~1.68	-	0.020
钙铁榴石	6.5	1.88	0.051	-

4 讨论

4.1 通常认为,宝石矿物的颜色取决于矿物结构缺陷所形成的色心和化学组分中的微量元素种类。从黄翠绿色、酒黄色直到深桔红色等各种颜色的钙铁榴石的电子探针定量分析结果看来,它们的化学成分基本相同,颜色相差甚大。因此,矿物的颜色除色心和微量元素种类差别的影响外,有可能还与主元素中变价元素不同价态的含量比例有关。另

外,矿物中含有均匀分布的超微包体,也会影响宝石矿物的颜色。

4.2 这次采集的小量钙铁榴石样品,琢磨宝石时,出成率比较低,主要由于宝石矿物中的孔洞、裂隙和裂缝比较发育。这可能与样品采集地表部位有关。若在矿区地表水不发育的部位,定能找到质优、成材率高的宝石级钙铁榴石或钙铁榴石的变种—翠榴石。

4.3 钙铁榴石素面戒面上的星光多出现在矿物的表皮部位,这部分钙铁榴石的颜色常成深酒黄色、桔红色、深桔红色。从目前琢磨的戒面中只出一种四射星光(不十分清晰)和无一定方向的星光现象。与电子探针定量分析结果联系起来,可以推测这部分矿物中含大量似有一定方向性的铁锰质矿物、金红石、钛铁晶石的微细矿物包体。

5 参考文献

- 1 王福泉. 宝石通论. 北京: 科学出版社, 1985. 117~121.
- 2 栾秉璽. 宝石. 北京: 冶金工业出版社, 1985. 143~152.
- 3 周国平. 宝石学. 北京: 中国地质大学出版社, 1989. 306~309.
- 4 地矿部北京宝石研究所. 宝石实验室鉴定手册(第11版). 北京: 中国地质大学出版社, 1981. 155.

(收稿日期: 1995-06-22, 修回日期: 1995-12-26)

Study and Evaluation on Physical and Chemical Properties for a Speies of Gem Garnet——Andradite

Chen Keqiao

(Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037)

Zhang Yingjun

(Geological Museum of China, Beijing, 10034)

Yu Xiaojin

(Department of Geology, University of Science and Technology, Beijing, 100083)

Ma Chunxue

(Central Iron and Steel Research Institute, Beijing, 100081)

In 1994, a species of gem garnet——andradite was found in China for the first time. It is not only with good quality but also with considerable scale and reserves. The density of the andradite is 3.83 t/m^3 with refractive index of more than 1.83 and dispersion of 0.56. The colours are from yellow fresh-green, green wine-yellow, dark wine-yellow, orange to dark orange. The crystal size of the gem varies from $x \text{ mm}$ to 100 mm with relatively perfect crystal shape and most of them are 20~50 mm. The crystals exhibit rhombic dodecahedron shaped or cimbination of rhombic and trapezohedron. The andradite with yellow fresh-green colour was analyzed by electron probe and its composition is as follows($w/\%$): MgO 0.62, Al_2O_3 1.09, SiO_2 35.45, CaO 31.39, Cr_2O_3 0.06, MnO 0.08 FeO 30.65, and CuO 0.29. The chemical formula of andratite is proved to be $3\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$ or $\text{Ca}_3\text{Fe}_2[\text{SiO}_4]_3$ by electrovalent equilibrium calculation. The physical and optical properties of andradite are only next to the best gem-diamond, but better than ruby, sapphire, emerald, chrysopal and jadeite. Its dispersion is even higher than diamond. Demantoid, a variety of andradite with good quality, can even compare favorably with the same grade of sapphire and emerald.

Key words: gem, andradite, electron probe, physical and optical properties, chemical composition