

## 明溪石榴石的宝石学特征

汤德平<sup>1</sup>, 江爱耕<sup>1</sup>, 罗维英<sup>2</sup>

(1. 福州大学材料科学与工程学院, 福建 福州 350002; 2. 福建省清流县矿产资源管理局, 福建 清流 365300)

**摘要:**产于福建明溪的石榴石有两种类型, 一种为紫红色, 具有主波长 585~588 nm, 饱和度 0.569~0.629, 折射率 1.74, 密度 3.65~3.78 g/cm<sup>3</sup>; 另一种为褐红色, 主波长 595~600 nm, 饱和度 0.866~0.939, 折射率 1.75~1.76, 密度 >3.8 g/cm<sup>3</sup>. 在 RI-D 图上, 前者属镁铝榴石, 而褐红色的石榴石落在铁铝榴石—镁铝榴石区域内. 明溪石榴石含有特征的钉状包裹体. 电子探针分析表明, 紫红色的石榴石中含有较高的 Cr, 而褐红色的石榴石中则富含 Fe 和 Ti. 文章还探讨了明溪石榴石的吸收光谱特点及颜色成因.

**关键词:**石榴石; 宝石; 明溪**中图分类号:** P578.94<sup>+</sup>7**文献标识码:** A

## 1 明溪石榴石的产状

在以往的工作中, 对明溪矿区蓝宝石的研究较多<sup>[1,2,4]</sup>, 但很少有关于石榴石的研究报导. 明溪石榴石源于第三系玄武岩及其深源包裹体, 并作为砂矿产出. 与它同时产出的还有蓝宝石和锆石等, 其中石榴石的储量最丰富. 已发现的石榴石矿体有 5 个, 包括有河床砂矿型、阶地砂矿型和残坡积砂矿型. 它们多与蓝宝石和锆石伴生产出, 也有以石榴石为主的矿体. 根据颜色的不同, 明溪石榴石有紫红色和橙红色两种类型. 据研究, 前者来源于石榴石二辉橄榄岩包体, 后者多为火山岩中的捕虏晶.

## 2 明溪石榴石的宝石学特征

## 2.1 形态与大小

明溪石榴石多呈浑圆状和不规则块状, 晶体完好者较少. 晶体表面的熔蚀现象明显, 多呈麻点状或熔蚀凹坑. 紫红色石榴石个体较小, 一般为 1~2 mm, 部分大于 3 mm, 因此, 较少可加工成宝石成品. 橙红色石榴石粒度较大, 粒径多在 4~6 mm, 最大可达 24 mm×17 mm, 为主要的宝石原料, 可切磨成质量好的成品.

## 2.2 物理性质

明溪石榴石的颜色主要有紫红色和橙红色两种. 其中橙红色石榴石占多数. 据对所收集样品的统计, 紫红色约占 2.6%, 橙红色约占 97.4%. 对它们的颜色测量的结果见表 1. 可见二者有明显的差别, 紫红色石榴石的主波长偏向紫端, 饱和度较低. 橙红色石榴石主波长较大, 饱和度较高, 肉眼观察, 颜色较暗.

明溪石榴石的透明度一般较好, 但一些颜色较深的橙红色石榴石透明度稍差. 玻璃光泽用宝石折射线仪对其折射率的测试结果见表 2. 紫红色石榴石的折射率较小, 为 1.740, 橙红色石榴石的折射率为 1.75~1.76. 在长、短波紫外光下, 两种石榴石均不呈现荧光.

表 1 明溪石榴石的颜色测量

样号	颜色	色度坐标		主波长/nm	饱和度
		X	Y		
GP1	紫红色	0.455	0.400	585	0.569
GP3	紫红色	0.478	0.398	588	0.629
GB1	橙红色	0.588	0.366	600	0.866
GB4	橙红色	0.586	0.394	595	0.939

注: 数据由中国地质大学(武汉)测试中心叶松用 MPV-3 显微分光光度计测量

收稿日期: 2000-09-30

作者简介: 汤德平(1954-), 男, 教授, 博士.

基金项目: 福建省科技三项基金资助项目(K98011)

1) TANG De-ping. The color and its origin of the mingxi sapphires in Fujian southern China. Abstract of the 17th general meeting of international mineralogical association, Toronto, Canada, 1998. A13.

用台式分光镜观察, 明溪石榴石中, 紫红色石榴石在黄绿区(590~550 nm)有一宽的吸收带, 505 nm 处有一窄的吸收带, 紫区吸收。该吸收光谱与捷克和美国等地的既含铬又含铁的镁铝榴石的光谱较接近<sup>[3]</sup>。在这些镁铝榴石的吸收光谱中, 铬在 687、685、670 和 650 nm 处的吸收线很弱或不存在, 一个以 570 nm 为中心的宽吸收带掩盖了铁铝榴石的 575 和 527 nm 强吸收带, 但仍保留了它的 505 nm 吸收带。橙红色石榴石吸收光谱的绿区至紫区(560~400 nm)基本完全吸收, 与镁铝榴石的典型光谱差别较大。这些光学性质都表明, 与典型的镁铝榴石相比, 明溪镁铝榴石含有较多铁。但相对而言, 紫红色石榴石中铬的含量较高, 而橙红色石榴石中铁含量较高。

表 2 明溪石榴石的折射率

紫红色				橙红色				
GP1	GP2	GP3	GP4	GB1	GB2	GB3	GB4	GB5
1.739	1.740	1.740	1.740	1.760	1.751	1.751	1.751	1.754

采用静水力学法对明溪石榴石的密度测量结果见表 3。结果表明, 紫红色石榴石的密度小于 3.78, 而橙红色石榴石的密度一般大于 3.80。Webster 曾根据密度和折射率, 将石榴石分为 3 种<sup>[3]</sup>: 镁铝榴石(Pyrope)、铁铝榴石(Almandine)和镁铝—铁铝榴石(Pyrope-almandine)(图 1)。从图 1 中可以看出, 紫红色的石榴石属于镁铝榴石, 而大部分橙红色的石榴石在过渡的镁铝—铁铝榴石区域内。

表 3 明溪石榴石的密度

(单位: g/cm<sup>3</sup>)

紫红色								橙红色							
GP1	GP2	GP3	GP4	GP5	GP6	GP7	GP8	GB1	GB2	GB3	GB4	GB5	GB6	GB7	GB8
3.646	3.755	3.740	3.775	3.734	3.727	3.723	3.752	3.772	3.949	3.839	3.800	3.822	3.745	3.851	3.814

### 2.3 包裹体

明溪石榴石中常见的有两种包裹体。一种是钉状包裹体, 该包裹体实际上是一个空的管子, 一头大, 一头小, 形似钉子, 尖端处常见发生弯曲。一般从晶体的表面深入内部, 排列具一定的方向性。这种包裹体在其它产地的石榴石中还未见报道, 因此, 是明溪镁铝榴石的一个特征包裹体。另一种是沿一定方向排列的针状包裹体。根据形态和产状判断, 可能是金红石, 这种包裹体在富铁的镁铝—铁铝榴石和铁榴石中较为常见<sup>[3]</sup>。此外, 在明溪石榴石中还可见到一些不透明的黑色固态包裹体。

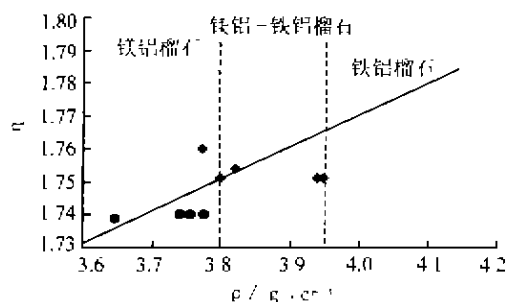


图 1 明溪石榴石的品种及密度与折射率的关系  
(圆点为紫红色石榴石; 菱形点为橙红色石榴石)

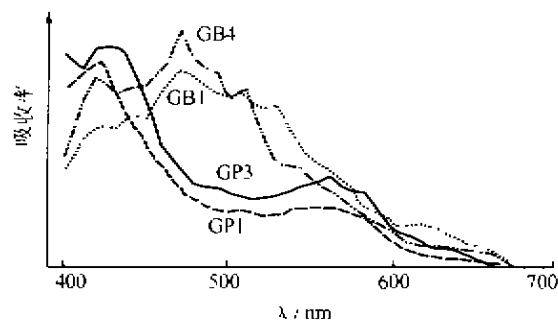


图 2 明溪石榴石的吸收光谱

### 3 石榴石的化学成分

明溪石榴石的电子探针的分析结果见表 4。计算出的石榴石晶体化学式为:

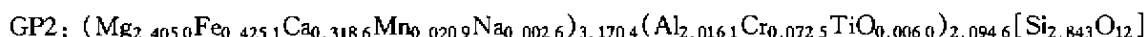
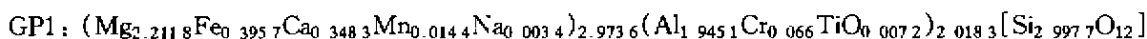


表 4 明溪石榴石的电子探针分析 (质量分数)

颜色	样号	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	总计
紫红	GP1	42.53	0.13	23.41	6.71	0.24	21.05	4.61	0.05	1.19	99.93
	GP2	39.35	0.11	23.68	7.03	0.34	22.33	4.09	0.02	1.27	98.23
橙红	GB1	40.59	0.47	22.44	12.82	0.32	16.75	5.28	0.06	0.00	98.73
	GB4	41.49	0.49	21.94	12.63	0.43	18.01	5.04	0.04	0.00	100.06

注: 电子探针分析由中国地质大学(武汉)测试中心刘惠芳完成

分析结果证实, 明溪石榴石是一种铁含量较高( $\text{FeO} > 6.5\%$ )的镁铝榴石. 其中紫红色石榴石中的 Cr 含量相对较高, 而橙红色石榴石中的 Fe 和 Ti 含量较高. 此外, 明溪石榴石中还含有不少的 CaO. 这与上述明溪石榴石的物理性质所表现出的特征是一致的, 也反映了二者的来源有所不同.

#### 4 石榴石的吸收光谱及颜色成因

由 MPV-3 显微分光光度计测得的明溪石榴石吸收光谱见图 2. 测量所用的样品厚度为 1 mm. 由图 2 可见, 紫红色石榴石(GP1、GP3)在 570 nm 处有一个宽阔的吸收峰, 在 410 nm 附近有一个强的吸收峰. 橙红色石榴石(GB1、GB4)的吸收光谱与此不同. 它在 590~400 nm 区间都有较强烈的吸收. 最强的吸收峰出现在 480 nm 左右. 在 410、510 nm 等处也有较强的吸收. 目前, 对石榴石可见光区吸收光谱的研究不多. Manning 对镁铝榴石、镁铝—铁铝榴石和锰铝榴石的紫外—红外进行了研究<sup>[4]</sup>. 与他的研究资料相比, 明溪地区紫红色镁铝榴石的吸收光谱与 Moravian 的镁铝榴石相似. Manning 将其中的 410 和 570 nm 两个吸收峰归属于镁铝榴石中的  $\text{Cr}^{3+}$ . 由于明溪镁铝榴石中含有较高的  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ (表 4), 因此, 笔者同意 Manning 的观点. 明溪橙红色石榴石的吸收光谱与 Manning 研究的 Madagascar 和 Gore Mountain 的镁铝—铁铝榴石有较大的差别. 对这些吸收峰的归属还有待于进一步的研究. 此外, 石榴石中含有少量的 Mn, 对宝石的颜色也会有所影响.

#### 5 明溪石榴石的质量评价和鉴别特征

石榴石是明溪宝石矿区所产宝石中储量最大的宝石品种, 易开采, 且粒度大, 大部分原料的颜色和透明度都较佳. 因此是一种质量好、具有较大开发价值的宝石品种. 但部分宝石的颜色偏暗, 对它的质量有一定的影响. 这与其中的含铁量较高有关.

明溪石榴石以橙红色为多. 相对于典型的镁铝榴石, 其密度和折射率都偏大, 吸收光谱也有较大差别. 其中常见的钉状包裹体是明溪石榴石的特征包裹体.

致谢: 参与本研究工作还有解小建、江建峰等. 野外工作中得到福建省区测队徐亚长、杜群英和闽西地质大队王炳春等的支持, 特此表示谢意.

#### 参考文献:

- [1] 温德清, 彭明生. 明溪蓝宝石的量子矿物学研究及其颜色本质[J]. 福建地质, 1990, 9: 228-235.
- [2] 汤德平, 江爱耕, 段建平, 等. 福建明溪蓝宝石的谱学特征及颜色成因[J]. 矿物学报, 1998, 18(4): 533-540.
- [3] Webster Robert Gems. Their sources, descriptions and identification[M]. London: Butterworths, 1983.
- [4] Manning P G. The optical absorption spectra of the garnets, almandine - pyrope, pyrope and spessartine and some structural interpretations of mineralogical significance[J]. Can Mineral, 1967, 9: 237-251.

(转第 73 页)

**参考文献:**

- [1] JIANG Da-hua, SHEN Jing-hua. Strength of concrete slabs in punching shear[J]. ASCE, 1986, 112(12): 2 578 - 2 591.
- [2] 周朝阳. 钢筋混凝土板抗冲切计算模型与配筋研究[D]. 长沙: 湖南大学, 1989.
- [3] 蒋大骅, 周克荣. 考虑错动和转动复合影响的钢筋混凝土板的冲切承载力塑性解[J]. 建筑结构学报, 1992, 13(6): 67 - 75.

**New collapse mechanism of reinforced concrete slab subjected to punching shear**

LIN Xu-jian

(College of Civil and Architectural Engineering, Fuzhou University, Fuzhou, Fujian 350002, China)

**Abstract:** According to the test results of reinforced high-strength concrete slabs subjected to punching shear, a new collapse mechanism of punching shear slab is presented.

**Keywords:** reinforced concrete; slab; punching shear; collapse mechanism

=====

(接第 66 页)

**The gemological features of the garnets from Mingxi, Fujian**TANG De-ping<sup>1</sup>, JIANG Ai-geng<sup>1</sup>, LUO Wei-ying<sup>2</sup>

(1. College of Materials Science and Engineering, Fuzhou University, Fuzhou, Fujian 350002, China; 2. Qingliu Bureau of Geology and Mining, Qingliu, Fujian 365300, China)

**Abstract:** There are two types of garnets found in Mingxi gemstone deposit, Fujian Province. One is purplish-red in color, with the main wavelength of 585 - 588 nm and saturation 0.569 - 0.629 in their chromatic measurement, the other is brownish-red, with the main wavelength of 600 - 595 nm and saturation 0.866 - 0.939. The purplish-red garnet has the refractive index of 1.74, the density of 3.65 - 3.78 g/cm<sup>3</sup> and the brownish-red garnet is 1.75 - 1.76 in RI and over 3.8 g/cm<sup>3</sup> in density. In the RI-D diagram of Webster (1983), the purplish-red one falls into the category of pyrope and most of the brownish-red garnet almandine-pyrope. The conclusion is conformed by microprobe analysis, which also shows that the purplish-red type is higher in Cr while the brownish-red garnet is richer in Fe and Ti. In the optional absorption spectra of the Mingxi garnets, the purplish-red type has absorption at 410 and 570 nm, which have been assigned into Cr<sup>3+</sup> in the crystals and the brownish-red type shows the broad band from 590 - 400nm which peaks at 410 and 510 nm.

**Keywords:** garnet; gemstone; Mingxi