

# 江苏某含铬镁铝榴石的宝石矿物学研究

王福泉

(中国地质科学院地质博物馆)

镁铝榴石, 英文名称 Pyrope 来自希腊语, 寓意矿物呈火焰般鲜红色。自古以来, 镁铝榴石宝石颇为人们所赏识和珍藏。在宝石学上, 镁铝榴石宝石归属主要宝石(Major gem)类, 并在世界宝石市场上一直是畅销的中档宝石品种。

江苏含铬镁铝榴石宝石最早为江苏第六地质队发现\*, 已进行很多工作。作者在此基础上, 拟对其宝石矿物学特征作一报导。

## 一、地质产状

含铬镁铝榴石呈砂、砾状, 赋存于近超基性岩岩面的第四纪残坡积碎石和结核层及其冲沟和凹地里。

据调查, 含铬镁铝榴石的矿源岩主要来自附近的斑状镁铝榴石二辉橄榄岩, 其证据为:

1. 含铬镁铝榴石砂砾磨圆度低, 很少

磨损、破碎, 机械分选性差, 系附近含斑状镁铝榴石超基性岩风化残坡积产物;

2. 残坡积层中的大量含镁铝榴石残斑晶碳酸钙质结核, 乃是斑状镁铝榴石蛇纹岩风化壳层碳酸盐化和地表水、地下水溶蚀产物。而该蛇纹岩又是斑状镁铝榴石二辉橄榄岩的蚀变产物;

3. 从残坡积含铬镁铝榴石、碳酸钙质结核中的残斑晶镁铝榴石和原生新鲜之斑状二辉橄榄岩中的含铬镁铝榴石(斑晶)的矿物化学、物理特征相同, 也可说明它们是同源的。

## 二、物理性质和X射线分析

含铬镁铝榴石矿物呈砂矿产出, 悉为多棱角的或磨蚀为半浑圆形的砂、砾状, 其主要物性见表1。

Stockwell, C. H., (1927)<sup>[1]</sup>在对石榴

含铬镁铝榴石宝石主要物性

表 1

颜色	紫红色	脆性	中等
条痕	白色	比重	3.70
光泽	玻璃——金刚光泽	光性	均质体
透明度	透明	折光率	1.741±0.001
解理	无	包裹体	熔融包裹体
断口	参差状	碎屑(油浸)颜色	弱淡紫色
硬度	H=7.62 Hv=1495Kg/mm <sup>2</sup>		

石种属X-射线研究中发现, 镁铝榴石的332, 422和431三条衍射线的强度相等, 而铁铝榴石的332比422和431的强度稍弱。这一现象

\* 江苏某地超基性岩铬铁矿普查评价报告, 江苏第六地质队, 1977。

含铬镁铝榴石宝石X-射线粉晶分析数据

表 2

hkl	含铬镁铝榴石* (江苏)		镁铝榴石 (矿物X-射线 粉晶鉴定手册)		铁铝榴石 <sup>(2)</sup> (Umba)		hkl	含铬镁铝榴石* (江苏)		镁铝榴石 (矿物X-射线 粉晶鉴定手册)		铁铝榴石 <sup>(2)</sup> (Umba)	
	d	I	d	I	d	I		d	I	d	I	d	I
222	3.34	1	3.34	2	3.33	1	840	1.287	4	1.285	4	1.287	5
400β	(3.162)	2	(3.17)	2			842	1.257	5	1.256	5	1.255	6
400	2.869	8	2.874	6	2.87	8	921/761			1.241	1	1.241	1
420β	(2.71)	1	(2.824)	2			664	1.228	3	1.227	3	1.227	5
420	2.565	10	2.566	10	2.57	10	851/754	1.214	1	1.214	1	1.213	1
332	2.447	4	2.447	4	2.45	4	864β	(1.180)	1	(1.178)	1		
422	2.346	4	2.343	4	2.34	6	941/853	1.164	2	1.164	2	1.163	4
431	2.252	4	2.255	4	2.25	6	1011					1.138	½
521	2.099	3	2.098	3	2.10	6	862	1.130	1	1.131	1		
440					2.03	4	1020					1.128	3
611/532	1.866	8	1.867	4	1.863	6	943					1.118	½
620	1.818	1			1.818	2	952					1.096	½
640β	(1.759)	1	(1.755)	2			864α <sub>1</sub>	1.070	9	1.068	5		
642β	(1.694)	1	(1.691)	3			864α <sub>2</sub>	1.069	5	1.069	2		
444	1.660	3	1.660	3	1.660	5	1040					1.070	8
640	1.596	6	1.597	6	1.595	8	1042α <sub>1</sub>	1.052	4	1.051	4	1.052	7
642	1.537	8	1.537	8	1.537	9	1042α <sub>2</sub>	1.051	2	1.051	2		
732					1.459	½	880α <sub>1</sub>	1.019	4	1.018	4	1.018	7
800	1.438	3	1.437	3	1.438	4	880α <sub>2</sub>	1.018	2	1.018	2		
840β			(1.419)	1			972	0.9958	1			0.9948	½
741					1.417	½	1060					0.9876	½
653					1.374	½	1141					0.9807	½
752					1.302	½	1062					0.9734	½

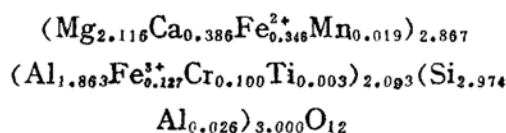
\* 由武汉地院北京研究生部 X-光实验室陈荣秀同志分析  
实验条件: 铁靶, 工作电压 32 千伏, 电流 9 毫安, 曝光 8 小时。

又为 Zwaan, P. C. (1974)<sup>[2]</sup>在对坦桑尼亚 Umba 的宝石级铁铝榴石 X-射线研究中所证实。本宝石样品的 X-射线分析结果 (表 2) 展示衍射指数 332、422 和 431 强度相等, 据此可同铁铝榴石相区别。

含铬镁铝榴石宝石矿物晶胞参数  $a_0 = 11.525 \text{ \AA}$ , 比一般镁铝榴石的理论值略大, 可能和含有铬 ( $\text{Cr}^{3+}$ )、铁 ( $\text{Fe}^{2+}$ ) 离子有关。

### 三、化学成分和端员组分

宝石样品经化学定量全分析, 通过计算得宝石矿物化学式为:



化学式中 A 组阳离子以  $\text{Mg}^{2+}$  为主, B 组以 Al 为主, 故应定名为镁铝榴石, 鉴于含  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  达 1.78% 应参予命名, 故宝石矿物可定名为含铬镁铝榴石或铬-镁铝榴石。

Rickwood, P. C. 的石榴石分析换算端员分子计算, 是一个适用于任何天然石榴石的方案<sup>[3]</sup>。Rickwood 计算程序比较复杂, 但较为严密、合理, 国内金成伟已有介绍<sup>[4]</sup>, 拟从略。本宝石镁铝榴石的端员组分采用 Rickwood 计算程序得出矿物主要端员组分

江苏含铬镁铝榴石 (宝石矿物) 端员组份计算

表 3

氧化物	重量 (%)	分子量	分子比	阳离子比	Rickwood 顺序编号					
					6	7	8	9	11	12
SiO <sub>2</sub>	41.81	60.09	0.69579	0.69579	0.66066	0.61594	0.11209	0.11639	0.10583	0.02483
TiO <sub>2</sub>	0.064	79.90	0.00080	0.00080						
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22.52	101.94	0.22091	0.44183			0.1118	0.10879	0.10175	0.04775
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.78	152.02	0.01171	0.02342	0					
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.38	159.70	0.01490	0.02981		0				
FeO	5.82	71.85	0.08100	0.08100						0
MnO	0.32	70.94	0.00451	0.00451				0		
MgO	19.96	40.32	0.49504	0.49504			0			
CaO	5.07	56.08	0.09041	0.09041	0.05528	0.01056			0	
总计	99.72			1.86261						
形成的端员分子					Uva	And	Pyr	Spe	Gro	Alm
端员分子比例					0.01171	0.01491	0.16501	0.00150	0.00352	0.027
端员分子 (%)					5.24	6.67	73.78	0.67	1.57	12.07
配入端员分子的阳离子 (%)					$\frac{8 \times 0.22365 \times 100}{1.86261} = 96.06$					

(%) 为镁铝榴石 73.78, 铁铝榴石 12.07, 钙铁榴石 6.67 和钙铬榴石 5.24, 见表 3。经与挪威含铬镁铝榴石宝石矿物端员组分及主要物理参数对比<sup>[5]</sup>, 中国江苏的钙铬榴石组分偏低, 晶胞参数亦小, 可能主要系由 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量不同引起, 如表 4 所示。

江苏镁铝榴石宝石化学成分与世界诸著名宝石级镁铝榴石基本相同。如表 5 所列。

含铬镁铝榴石宝石端员组份及主要物理参数 表 4

铁铝榴石	12.07	14.72
钙铁榴石	6.67	2.04
钙铝榴石	1.57	0.64
镁铝榴石	73.78	70.81
锰铝榴石	0.67	0.88
钙铬榴石	5.24	10.92
n	1.741 ± 0.001	1.747 ± 0.001
S. G.	3.70	3.715 ± 0.005
a <sub>0</sub> (Å)	11.525	11.54 ± 0.01
产地	中国江苏	挪威 Otteroy

#### 四、宝石颜色指数

一九七九年我国陈正等最早将以色度学原理为基础的颜色测量应用于金属矿物的反射色研究, 并已取得较大成果, 而透明宝石矿物的颜色鉴定研究, 目前国内外仍限于文字定性描述。基于透明矿物宝石的颜色乃是其自身对入射白光选择性吸收或透过的一种物理光学效应, 如对其进行透射测量, 可以得出不同波长下的透射率色散值。根据色度学原理, 可以在标准光源照射的条件下, 具体确定某些物体表面和物体透光的颜色规格。自然, 透明矿物宝石透射色的颜色规格, 亦可适用和应用这一方法表述。作者以制备的 0.6 毫米厚的二面光片宝石样品为前提, 用紫外可见分光光度计测制出本含铬镁铝榴石宝石透射率色散曲线<sup>①</sup>。从色散曲线量得与三刺激函数相对应波长的透射率值, 然后求

① 由中国地质科学院测试所朱玉伦完成。

世界含铬镁铝榴石宝石化学成分

表 5

编号	1	2	3	4	5	6	7
产地	江苏 (中国)	奥特罗 (挪威)	波希米亚 (捷克斯洛伐克)	米鲁尼查 (捷克斯洛伐克)	成功 (苏联雅库特)	扎尔尼查 (苏联雅库特)	杰·比尔斯 (南非)
SiO <sub>2</sub>	41.81	42.32	46.15	42.94	41.80	41.20	40.89
TiO <sub>2</sub>	0.064	—	0.70	—	0.13	0.76	—
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22.52	21.09	22.10	21.43	20.23	19.24	21.84
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.78	3.72	1.48	1.97	2.38	1.56	1.79
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.38	0.73	} 8.22	1.00	6.07	3.22	1.87
FeO	5.82	7.11		7.80	3.03	7.40	9.06
MnO	0.32	0.42	未测	0.47	0.20	0.22	0.30
MgO	19.96	19.20	16.66	20.52	20.85	18.70	19.17
CaO	5.07	5.03	3.25	4.42	5.64	6.83	4.93
N <sub>2</sub> O	—	0.06	0.55	—	—	—	—
K <sub>2</sub> O	—	0.07	0.25	—	—	—	—
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	—	—	—	—	0.09	—	—
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	—	0.15	—	—	—	1.12	—
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	—	0.05	—	—	—	—	—
总计	99.72	99.95	99.36	100.55	100.42	100.25	99.85

1. 分析者 史世云, 1981.      3. 据 Ю. О. Лидовский 等, 1977.  
 2. 据 Fens Hysingford, 1971.      4--7 据 Е. Я. Киевленко 等, 1974.

各等值波段透射率值与其对应的三刺激函数之积, 按三色分别相加即得:

$\Sigma(P_{E\lambda} \cdot \bar{x}_\lambda \cdot T_\lambda)$ ,  $\Sigma(P_{E\lambda} \cdot \bar{y}_\lambda \cdot T_\lambda)$ ,  $\Sigma(P_{E\lambda} \cdot \bar{z}_\lambda \cdot T_\lambda)$  三值, 即三刺激值 X、Y、Z。根据陈正等提出采用的以等能光源 S<sub>E</sub> 为照明标准的等值纵座标法<sup>[6]</sup>认为, 等能光源 S<sub>E</sub> 在可见光范围内各波长的能量值相同, 上三式中的 P<sub>Eλ</sub> 均可以 1 表示。因此, 于计算各等值波段的乘数中可以略去, 而径以后二值的乘积计算三刺激值 X、Y、Z。最后求出其视觉透射率 T<sub>vis</sub>, 色度座标 x, y, 并经过投影求出主波长 λ<sub>d</sub> 和饱和度 P<sub>s</sub>。

颜色指数可以准确地表征宝石颜色的色调 (hue) 和纯度 (purity of excitement), 尤其对各种颜色近似的宝石可以进行定量测量, 以克服人为的主观因素造成的差异和混乱。

含铬镁铝榴石宝石的颜色指数计算及其

在色度图中的位置如图 1 和表 6 所示。

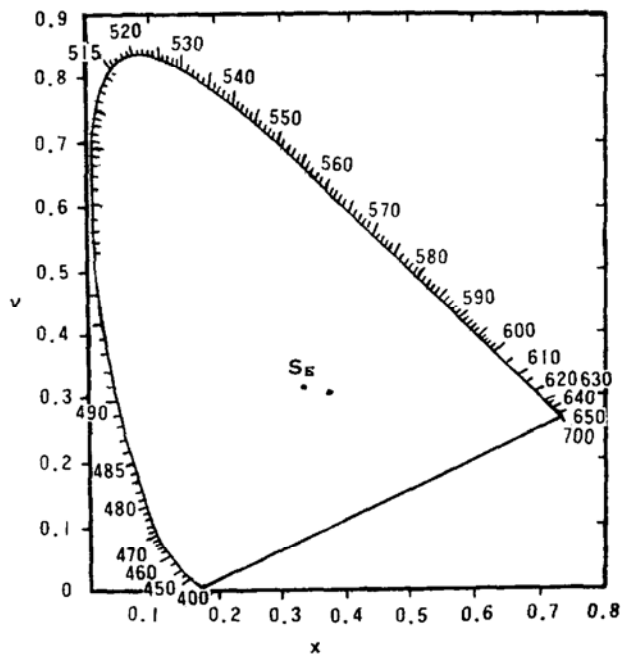


图 1 含铬镁铝榴石宝石色度图

含铬镁铝榴石宝石颜色指数按照  $S_E$  光源 ( $P_{E\lambda}$ ) 应用等值纵座标法计算记录表 表 6

波 长 (nm)	$P_{E\lambda} \cdot \bar{x}_\lambda \cdot T_\lambda$	$P_{E\lambda} \cdot \bar{y}_\lambda \cdot T_\lambda$	$P_{E\lambda} \cdot \bar{z}_\lambda \cdot T_\lambda$
400	0.1430	0.0040	0.6790
410	0.4176	0.0115	1.9910
420	1.4650	0.0436	7.0370
430	4.6560	0.1902	22.7238
440	7.5929	0.5014	38.0868
450	8.8084	0.9956	46.4290
460	8.3750	1.728	48.0730
470	5.862	2.73	38.628
480	2.9540	4.2951	25.1217
490	0.9536	6.1984	13.8630
500	0.1362	8.9794	7.5616
510	0.2455	13.2792	4.1765
520	1.5382	17.253	1.9003
530	3.6741	19.1364	0.9368
540	6.0113	19.7478	0.4202
550	8.5813	19.701	0.1723
560	11.7117	19.6015	0.0768
570	15.8517	19.8016	0.0437
580	21.2582	30.184	0.0394
590	26.9917	19.9091	0.0289
600	30.2727	17.9835	0.0228
610	32.0832	16.096	0.0096
620	31.6128	14.097	0.0074
630	24.7966	10.229	0.0000
640	18.8118	7.35	0.0000
650	12.9843	4.9006	0.0000
660	7.8163	2.8914	0.0000
670	4.2302	1.5488	0.0000
680	2.3166	0.8415	0.0000
690	1.135	0.41	0.0000
700	0.5734	0.2062	0.0000
三者之和	303.8603	270.8448	258.0286
应乘因素	$\frac{1}{10.68}$	$\frac{1}{10.68}$	$\frac{1}{10.68}$
三刺激值	$X = 28.4514$	$Y = 25.3600$	$Z = 24.1600$
视觉透射率	$Trans = Y = 25.3600$		
色度座标	$x = 0.3649$	$v = 0.3252$	
主波长	$\lambda_d = -495\text{nm}$		
饱和度	$P_c = 0.09$		

## 五、吸收光谱特征

镁铝榴石中铬多为  $\text{Cr}^{3+}$  (极少为  $\text{Cr}^{5+}$  或  $\text{Cr}^{6+}$ ) 存在, 以类质同象形式置换  $\text{Al}^{3+}$  参加矿物结构, 从而导致矿物染色。通过吸收光

谱测试, 加深了对含铬镁铝榴石呈色机理及其变色性认识。

本宝石样品的吸收光谱曲线 (图 2) 揭示出波长  $5500\text{—}5600\text{ \AA}$  和  $4000\text{—}4100\text{ \AA}$  两处均显示极明显的  $\text{Cr}^{3+}$  峰。按通常  $\text{Cr}^{3+}$  配位八

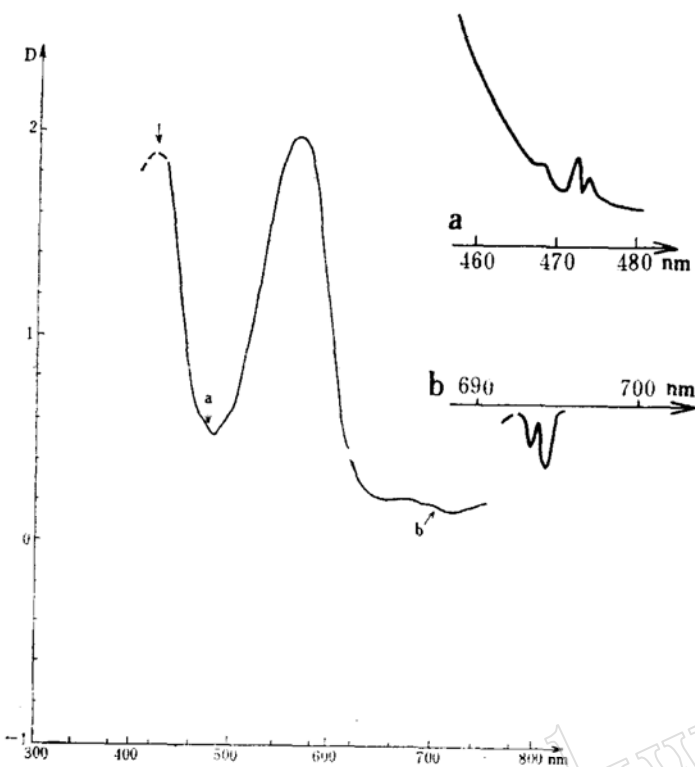
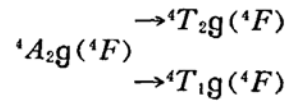


图2 含铬镁铝榴石宝石可见区吸收谱  
(测试者: 马钟玮)

面体能级跃迁, 该两个峰应属下列两组电子能级跃迁:



据Farrall, E.F. 和Newnham, R. E. 研究证实, 此二组跃迁的波长临界值为4150 Å和5800 Å<sup>[7]</sup>, 如果吸收峰波长小于这个值, 矿物呈红色, 否则显绿色。本宝石样品的上述测试结果正符合这一规律。

宝石在白昼光下呈现红紫色, 而在灯光或白炽光透射下则呈现鲜艳的红宝石红色。这一现象即所谓的变色效应, 亦称变石效应 (Alexandrite effect)。本宝石同挪威西部 Otteroy 岛产之含铬镁铝榴石宝石之变色效应相同, 其对比如表7。

含铬镁铝榴石宝石变色效应

表7

产地	名称	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	白昼光	白炽光	产状
中国	含铬镁铝榴石	1.78—2.00	红紫色	红宝石红色	二辉橄榄岩及其残坡积砂矿
挪威	含铬镁铝榴石	3.72	紫色	酒红色	橄榄岩

## 六、矿物包裹体

江苏含铬镁铝榴石宝石制成二面光薄片在高倍镜下观察发现有熔融包裹体, 显系主晶结晶过程中捕获岩浆早期硅酸盐熔融体。形状为乳滴状或圆形 (照片4); 呈一体一色、一体二色, 乳滴体尖端大致呈定向。包体大小6—66 $\mu$ , 全为玻璃质。

## 结 语

(一) 江苏含铬镁铝榴石宝石的铬

(Cr<sup>3+</sup>) 吸收峰波长为5500—5600 Å和4000—4100 Å, 小于临界值5800 Å和4150 Å, 故呈红色。具鲜明的变色效应, 即白昼光下主色调呈紫色微偏红, 灯光或白炽光下呈鲜艳红宝石红色。

宝石颜色指数:  $T_{vis}25.3600, x0.3649, y0.3252, \lambda_a-495mm, P_0.09$ 。

(二) 鉴于本宝石红宝石红色特别艳丽又纯正鲜明, 质地纯净无瑕又晶莹剔透, 胜过国内外同类品种宝石, 堪为石榴石宝石中之佳品。按国际宝石市场惯例, 建议启用“江

苏红宝石”商业名称。本宝石粒径大于10毫米者属上品，地方和国家博物馆应予收藏陈列。

(三) 江苏含铬镁铝榴宝石矿源岩是斑状镁铝榴石二辉橄榄岩，含矿超基性岩体以规模不大、分异作用不强为特征，其空间分布受北北东向深断裂次一级构造控制。今后在相似地质条件下，有可能找寻到含铬镁铝榴石宝石原生及其残坡积或河流冲积砂矿。

工作中承江苏第六地质队的大力支持和陈正先生的热心指导，还得到朱玉伦、曹俊臣、马钟玮、刘瑾璇、陈荣秀、石桂华和严奉林等同志的热忱帮助，在此一并致谢！

#### 参 考 文 献

- [1] Stockwell, C. H., 1927, An X-ray study of the garnet group, *The American Mineralogist*, Vol. 12, No. 9.
- [2] Zwaan, P. C., 1974, Gem minerals from Umba, Tanzania, *Scripta Geol.* 20.
- [3] Rickwood, P. C., 1968. On recasting analyses of garnet into end-member molecules, *Contr. Mineral. and Petrol.*, Vol. 18, No. 2.
- [4] 叶大年、从柏林, 1981. 岩矿实验室工作方法, 地质出版社。
- [5] Fens Hysinglord, 1971. A gem garnet from the Island of Otteroy, *The Journal of Gemmology*, Vol. 12, No. 7.
- [6] 陈正、陈殿芬、邹星, 1979. 金属矿物颜色指数研究, 地质出版社。
- [7] Платонов, А. Н., 1976. Природа окраски минералов, «Наукова Думка», Киев.

## Study on Gemological Mineralogy of Chromium-Containing Pyropes of Jiangsu Province

Wang Fuquan

#### Abstract

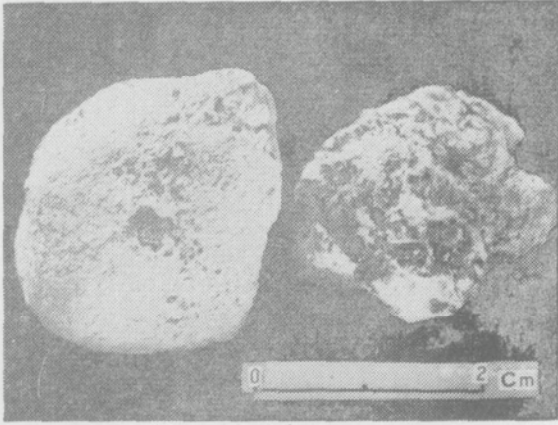
The samples studied are collected from the Quarternary residual drift bed. The chromian pyrope has been supposed to be derived mainly from the nearby porphyritic chromian pyrope-chrome diopside-enstatite-peridotite.

The present stone has been well known on its bright red color, purity and transparency. The faceted gem reveals its excellent quality which may be comparable with the best known "Bohemian Ruby".

The present pyrope is rather peculiar in color. When the quality of illumination is altered, the color of the mineral changes to such an extent that an alexandrite-like effect is seen. In transmitted daylight the pyrope appears reddish violet, in lamplight it is ruby-like red.

The wave length of optical absorption spectra of Cr ions for the present pyrope is 5500—5600 Å, 4000—4100 Å. With its absorption spectra of Cr ions less than the critical value of 5800 Å and 4150 Å, the present pyrope appears red in color.

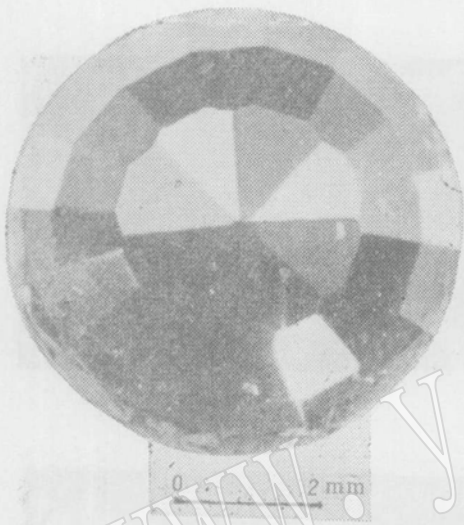
The color indices of the transmission color of chromium-containing pyrope are  $T_{0.1}$ , 25.36 x 0.3649 y 0.3252  $\lambda_d$ -495nm P.0.09.



1. 含宝石级含铬镁铝榴石碳酸钙质结核



2. 宝石级含铬镁铝榴石



3. 含铬镁铝榴石翻型宝石款式：圆钻石型，顶部33翻，底部40翻。重量：2克拉



4. 含铬镁铝榴石宝石中熔融包裹体 (1575×) 示呈定向排列的乳滴状包裹体