

湖南柿竹园钨锡铋钼（铍）矿床中 石榴石的研究

南京大学地质系

陈图华*

一、产 状

湖南柿竹园钨锡铋钼（铍）矿床，为一规模巨大的网脉状云英岩—矽卡岩复合型的钨、锡、铋、钼（铍）及铅、锌等多金属矿

床。矽卡岩产于千里山花岗岩与泥盆系余田桥组灰岩平缓（ 10° — 15° ）的接触带上。

矽卡岩有三期：1. 透辉石—石榴石矽卡

* 杜绍华、李志昌、常海亮、张传荣、刘抗娟等同志参加了部分工作。

岩; 2. 石榴石—符山石砂卡岩, 二者构成了砂卡岩的主体 (占80%); 3. 符山石—石榴石砂卡岩。石榴石是砂卡岩中的主要矿物 (约占60—75%), 其中以1、2期砂卡岩中的 I_2 和 II_2 世代的石榴石含量高、分布广, 而钨、锡、铋、钼 (铍) 矿化与这两个世代的石榴石关系最为密切。

石榴石呈块状、粒状和脉状体, 它包裹有早期的透辉石、硅灰石等矿物而呈筛状结构, 同时也受到后期萤石、斜长石、角闪石、白钨矿、绿帘石、绿泥石、石英、方解石及黄铁矿、辉钼矿、辉铋矿、磁铁矿等矿物的交代。

石榴石的空间分布特征, 与国外某些矿床相似^[1,2,3], 有一定规律性。垂直方向上, 石榴石在砂卡岩体的下部多 (占60—80%),

而上部较少, 且石榴石的颜色在下部深 (暗棕褐色), 而上部浅 (棕黄色), 特别在强萤石化处为土黄色, 大理石化处为肉红色, 长石化处则近乎无色。水平方向上, 从砂卡岩体的内接触带到远离接触带, 石榴石的分布逐渐增多, 然后又趋向减少。

二、物理性质

石榴石晶体多呈菱形十二面体 {110} 和四角三八面体 {211} 及二者之聚形体。此外, 尚有五角十二面体 {210}。从早到晚, 其形成顺序为 {110} → {211} → {110} + {211} → {210}。

10个石榴石样品的比重 (比重瓶法) 和折射率 (单色光油浸法) 值及其它特征列于表1中。

表1 石榴石的产状、物理、光学特征

Table 1 Occurrence and physical—optical characters of Garnet

编 号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
产 状	透辉石—石榴石砂卡岩		石榴石砂卡岩	含透辉石的石榴石砂卡岩	石榴石砂卡岩		符山石—石榴石砂卡岩	含透辉石的石榴石砂卡岩	符山石—石榴石砂卡岩	石榴石砂卡岩
矿物亚种	钙铁榴石		铝钙铁榴石		钙铁—钙铝榴石		铁钙铝榴石		钙铝榴石	
颜 色	暗绿黄色	深暗棕色	黄绿色	暗棕色	棕 色	黄棕色	棕 黄 色		黄 色	红棕色
比 重 (D)	3.789 ±0.01	3.802 ±0.002	3.755 ±0.0005	3.800 ±0.0006	3.729 ±0.006	3.730 ±0.001	3.657 ±0.007	3.634 ±0.004	3.662 ±0.002	3.583
折 射 率 (N)	1.852 (29℃)	1.849 (27℃)	1.835 (26℃)	1.852 (26℃)	1.816 (26℃)	1.789 (27℃)	1.776 (30℃)	1.790 (33℃)	1.758	1.752
光 性	均 质 性						非均质性	非均质性多, 均质性少		非均质性
世 代	I_1	I_2				II		I_2	II	

从表1可见, 早期形成的石榴石, 比重较大且折射率高, 颜色深, 多为均质性, 它们属钙铁榴石系列; 相反, 晚期形成的石榴石, 比重小且折射率低, 颜色浅, 多为非均质性, 它们则属钙铝榴石系列。以上这些特征在文契尔的物理—光学性质与成分的投影图

上^[4]表现也是十分明显的 (图1)。

三、光学性质

均质和非均质石榴石常紧密共生, 且多呈过渡状态。非均质性可分为强、弱两种光性异常, 普遍为二轴晶正光性, 光轴角 $2V$ 为

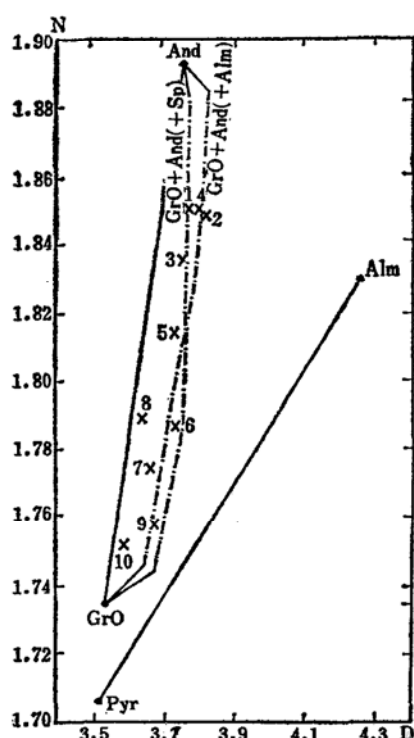


图1 石榴石的物理、光学性质与化学成分图解 (Gro—钙铝、And—钙铁、Alm—铁铝、Sp—锰铝、Pyr—镁铝、D—比重、N—折射率)

Fig. 1 Diagram for physical—optical characters and chemical compositions in Garnet.

35°—60°左右,干涉色为一级暗灰—灰色,表现为不均匀的波状消光、环带状消光、似聚片状消光,棱角—多角状消光及格子状和其它不规则状的消光现象。

石榴石的非均质体常交代均质体:同一晶体不论有无环带构造,往往是边缘的非均质体晕圈环绕中心的均质体分布,但两者又无明显的界限;非均质体呈细粒集合体包围均质体;或沿单个颗粒由边缘逐渐交代均质体;或呈细脉切割均质体。很显然,非均质性的产生是与后期矿化蚀变作用密切相关的。石榴石异常光性的成因^[5],初步有下列几种认识:

1. 等轴晶系的石榴石,为菱形十二面

体、四角三八面体及二者之聚形体,可视为由十二个斜方晶系的斜方四面体(似三方晶系之菱面体)和三个等轴晶系之八面体聚合成的。当其受到后期的热、动力变质作用时结构破坏,对称程度降低,化学成分也有改变,且产生重结晶。因此,当对晶体的不同方位切片时,必然产生和低级晶族相似的非均质性。这是石榴石光性异常形成的内在因素。

2. 石榴石的光性异常,也可以认为是锥状双晶现象:锥顶聚合于晶体的中心,锥底就是晶面,从而表现为角顶聚合于切面的几个三角形的中心。

3. 均质石榴石形成后,当溶液中的组份和物化条件适合于非均质石榴石形成时,它就沿着均质体的周围结晶,形成了多数以钙铝榴石为主的非均质体——同形异质的混合体。

4. 均质石榴石形成后,受到富含挥发份的热液蚀变作用,致使在强萤石化、斜长石化和大理石处出现非均质体的晕圈、条带或沿均质体裂隙充填、同化混染和产生重结晶,使矿物成分结构发生变化,而均质体则逐渐变成了非均质体。

四、化 学 成 分

表2为不同世代的10个石榴石样品的化学分析值。

对10个石榴石样品分析值,进行了晶体化学式的计算^[6],它们分别为:

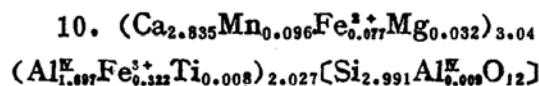
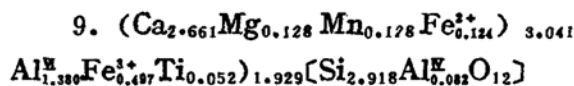
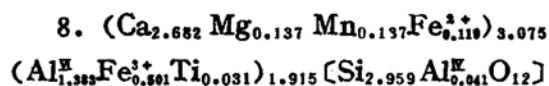
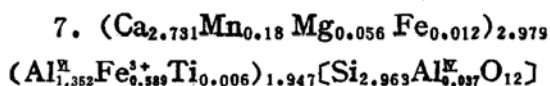
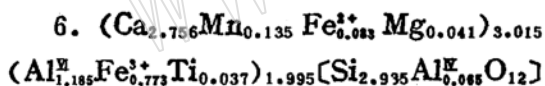
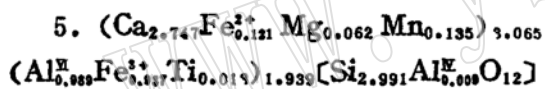
1. $(\text{Ca}_{2.741}\text{Fe}_{0.085}^{2+}\text{Mg}_{0.030}\text{Mn}_{0.093})_{2.949}(\text{Fe}_{1.425}^{3+}\text{Al}_{0.527}^{\text{IV}}\text{Ti}_{0.010})_{1.962}[\text{Si}_{3.00}\text{O}_{12}]$
2. $(\text{Ca}_{2.691}\text{Fe}_{0.108}^{2+}\text{Mn}_{0.166})_{2.963}(\text{Fe}_{1.46}^{3+}\text{Al}_{0.49}^{\text{IV}}\text{Ti}_{0.009})_{1.963}[\text{Si}_{2.956}\text{Al}_{0.044}^{\text{IV}}\text{O}_{12}]$
3. $(\text{Ca}_{2.857}\text{Fe}_{0.122}^{2+}\text{Mg}_{0.089}\text{Mn}_{0.109})_{3.177}(\text{Fe}_{1.432}^{3+}\text{Al}_{0.416}^{\text{IV}}\text{Ti}_{0.027})_{1.875}[\text{Si}_{2.979}\text{Al}_{0.021}^{\text{IV}}\text{O}_{12}]$
4. $(\text{Ca}_{2.747}\text{Fe}_{0.149}^{2+}\text{Mn}_{0.164})_{3.059}(\text{Fe}_{0.390}^{3+}\text{Al}_{0.429}^{\text{IV}}\text{Ti}_{0.015})_{1.834}[\text{Si}_{2.921}\text{Al}_{0.079}^{\text{IV}}\text{O}_{12}]$

表 2 钙铁—钙铝榴石系列的化学成分*

Table 2 Chemical compositions of Andradite—Grossularite series

样品号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
化学成分										
SiO ₂	35.85	35.63	35.79	35.15	37.13	36.71	37.32	37.55	37.04	37.86
TiO ₂	0.16	0.14	0.44	0.26	0.21	0.62	0.10	0.53	0.89	0.14
Al ₂ O ₃	4.58	5.47	4.47	5.19	10.50	13.29	14.86	15.36	15.84	18.65
Fe ₂ O ₃	23.84	23.54	22.94	22.31	15.50	12.89	9.90	8.43	8.38	5.55
FeO	1.28	1.53	1.77	2.13	1.81	1.24	1.17	1.81	1.90	1.19
MnO	1.38	2.37	1.56	2.33	1.98	2.01	2.68	2.07	1.94	1.49
MgO	0.22		0.01		0.52	0.34	0.47	1.16	1.09	0.27
CaO	32.08	30.27	32.04	30.85	31.75	32.17	32.10	31.80	31.60	34.00
Na ₂ O	0.01		0.04	0.03	0.01	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02
K ₂ O	0.02		0.01	0.01		0.02	0.02		0.01	0.14
WO ₃				1.04			0.37		0.20	
SnO ₂	0.44	0.61	0.46	1.20	0.23	0.12	0.12	0.08	0.12	0.12
H ₂ O	0.12	0.26	0.19	0.26	0.07	0.17	0.29	0.19	0.19	0.20
总 和	99.98	99.82	99.72	100.76	99.71	99.62	99.42	99.00	99.22	99.63
MnO/FeO+MnO	0.519	0.608	0.468	0.520	0.522	0.618	0.940	0.534	0.505	0.556
FeO/MnO+FeO	0.481	0.392	0.532	0.480	0.478	0.382	0.060	0.466	0.495	0.444
Fe ₂ O ₃ /FeO	18.62	15.39	12.96	10.47	8.56	10.40	8.46	4.66	4.41	4.66
矿物亚种	钙铁榴石		铅钙铁榴石		钙铁—钙铝榴石		铁钙铝榴石		钙铝榴石	

* 化学分析由原中南地质所化验室承担。



由此可见,石榴石是由钙铝—钙铁系列

表 3. 钙铁—钙铝榴石系列的矿物亚种成分

Table 3 Compositions of mineral sub-kind in Andradite—Grossularite

矿物亚种	分类标准 数值	分 子 百 分 比				石榴石中的百分含量 (%)	
		理 论 值		分 析 值			
		Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ **	Al ₂ O ₃ **	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
钙铁榴石		100—80	0—20	100—80.23	0—23.68	29.34—23.54	0—5.47
钨钙铁榴石		80—60	20—40	80.23—62.20	23.68—36.98	23.54—18.25	5.47—8.92
钙铝—钙铁榴石		60—40	40—60	62.20—43.93	36.98—55.99	18.25—12.89	8.92—13.29
铁钙钨榴石		40—20	60—80	43.93—18.78	55.99—65.68	12.89—5.5	13.29—15.84
钙钨榴石		20—0	80—100	18.78—0	65.68—100	5.5—0	15.84—24.12

** Fe₂O₃, Al₂O₃分别以各自的最高和最低含量和29.34、24.12为100计算。

的中间组份组成的,其 Al_2O_3 和 Fe_2O_3 成分变化如表3所示。

从钙铁向钙铝榴石系列过渡时, $\text{FeO}/\text{FeO}+\text{MnO}$ 和 $\text{MnO}/\text{FeO}+\text{MnO}$ 的比值呈反消长关系(见图2),比重和折射率也随 Al_2O_3 的增加和 Fe_2O_3 的减少而变小(见图3)。

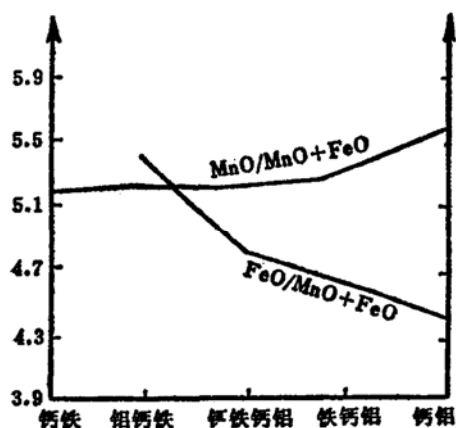


图2 钙铁—钙铝榴石中 $\text{FeO}/\text{FeO}+\text{MnO}$ 和 $\text{MnO}/\text{FeO}+\text{MnO}$ 成反比关系

Fig. 2 $\text{FeO}/\text{FeO}+\text{MnO}$ value inverse ratio $\text{MnO}/\text{MnO}+\text{FeO}$ in Andradite—Grossularite.

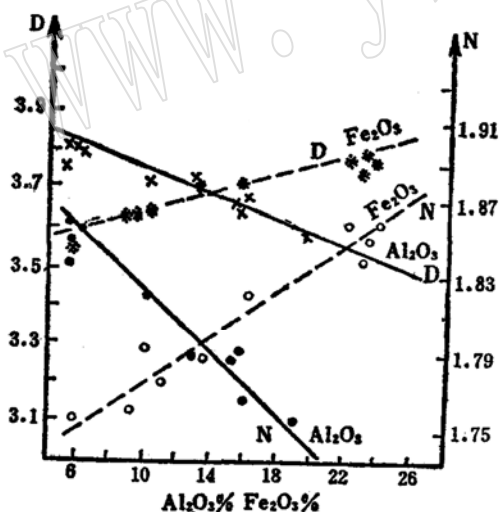


图3 石榴石中比重(D)、折射率(N)与 $\text{Al}_2\text{O}_3\%$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3\%$ 图解

Fig. 3 Diagram for specific gravity(D)—refractive (N) and $\text{Al}_2\text{O}_3\%$ $\text{Fe}_2\text{O}_3\%$ of Garnets.

10个石榴石样品的光谱半定量分析结果表明,其中微量元素较多,有钨、锡、铋、钼、铍及铅、锌、铜等近20种,其中以前五

种含量高,因而具有实际意义。

W: 钨在石榴石中含量为0.01—0.2%,最高达1%,其中晚期石榴石中钨的含量又高于早期石榴石中的含量。薄片见白钨矿呈团粒状细小晶体及黑钨矿交代石榴石之现象,这是矽卡岩中石榴石、萤石和其它含钙、钨的矿物分解, Ca 、 Fe 、 Mn 与 $[\text{WO}_4]^{2-}$ 结合的结果。可见,钨是以白钨矿、黑钨矿的形式存在于石榴石中的。

Sn: 石榴石中锡的含量普遍较高,约0.06—0.2%,部分达0.4—0.6%,最高可达1.2%。其中,钙铁榴石系列中锡的含量又高于钙铝榴石系列,赋存在石榴石中的锡占矿区总锡量的68%。显然,石榴石是主要的载锡矿物。

利用极谱法(物相分析)、扫描电镜点成分分析和电子探针扫描分析等方法,对锡在石榴石中的赋存状态进行了研究,研究后发现:1. 石榴石中锡的含量和其中钙铁榴石分子的多少呈正消长关系,最高达0.394%;2. 在钙铁榴石分子较高的石榴石中,锡呈均匀的面分布特征,说明主要以分散的胶态锡存在,最高达66.7%;3. 在钙铝榴石分子较高的石榴石中,锡呈独立的锡石和黝锡矿的细微包体存在的比例大,达56%。薄片见有锡石细粒团块交代石榴石之现象。

Bi、Mo: 铋、钼在石榴石中相对较少,且钙铁榴石分子中的含量又低于钙铝榴石分子系列。铋含量一般为0.001—0.003%,个别达0.004%。钼少于0.001%,个别高达0.3%。薄片见到石榴石中有细粒的辉铋矿、辉钼矿的晶体分布。

Be: 石榴石中铍含量为0.003—0.006%。铍可能置换硅,呈类质同象形式分散其中,因 $[\text{BeF}_4]^{2-}$ 和 $[\text{SiO}_4]^{4-}$ 有相似的构造,且 Si^{4+} 与 Be^{2+} 对氧(O^{2-})的配位相同,离子半径大小近似($\text{Be}^{2+}=0.35\text{ \AA}$, $\text{Si}^{4+}=0.34\text{ \AA}$)、负电性也相近($\text{Be}^{2+}=1.5$, $\text{Si}^4=1.8$),同

时, $[\text{BeO}_4]^{6-}$ 和 $[\text{BeF}_4]^{2-}$ 与 $[\text{SiO}_4]^{4-}$ 的络阴离子大小也近似, 因此广泛地存在着 Be^{2+} 、 Si^{4+} 及 Ti^{4+} 、 Zr^{4+} 和 F^{1-} 、 $(\text{OH})^{1-}$ 、 O^{2-} 的不等价的类质同象置换, 特别是在含水、氟高的溶液中。

可见, 石榴石对钨、锡矿化较为有利, 而对铍矿化不利。此外, 因钨、钼及钨、铋含量之间有正消长关系, 因此, 石榴石对钼、铋矿化也较为有利。

五、X—射线物相分析

X—射线物相分析结果(表4)表明, 随着石榴石由钙铁榴石向钙铝榴石系列过渡时, 其面网间距和相对强度均有减小之趋势^[7,8]。将石榴石的晶胞参数(a_0)和比重(D)、折射率(N)的值, 投影到文契尔的石榴石系列四面体图上(图4)^[4], 则所有点均落在钙铁—钙铝—铁铝榴石四面体三角形范围内, 并且晶胞参数 a_0 值随着 Fe_2O_3 含量的

增加而增大。

利用文契尔的石榴石四面体图, 并根据D值、校正的N值和 a_0 值, 计算出10个石榴石中各端员分子的百分数如下:

1. $\text{And}_{76}\text{Gro}_{16}\text{Alm}_7\text{Pyr}_1$
2. $\text{And}_{74}\text{Gro}_{25}\text{Alm}_1\text{Pyr}_0$
3. $\text{And}_{65}\text{Gro}_{33}\text{Alm}_2\text{Pyr}_0$
4. $\text{And}_{80}\text{Gro}_7\text{Alm}_{13}\text{Pyr}_0$
5. $\text{And}_{47}\text{Gro}_{30}\text{Alm}_{14}\text{Pyr}_9$
6. $\text{And}_{26}\text{Gro}_{47}\text{Alm}_{20}\text{Pyr}_7$
7. $\text{And}_{25}\text{Gro}_{61}\text{Alm}_9\text{Pyr}_5$
8. $\text{And}_{36}\text{Gro}_{45}\text{Alm}_5\text{Pyr}_{14}$
9. $\text{And}_9\text{Gro}_{69}\text{Alm}_{11}\text{Pyr}_{11}$
10. $\text{And}_{12}\text{Gro}_{84}\text{Alm}_2\text{Pyr}_2$

(其中And—钙铁 Gro—钙铝 Alm—铁铝 Pyr—镁铝)

可见本矿床中虽以钙铁—钙铝榴石系列的中间组份为主(图5)^[4], 但也包含有铁铝和镁铝榴石的成分, 这说明石榴石中类质同象替代的广泛性和成分的复杂性。这也可以从X—射线物相分析所得的面网间距和相对强度的变化得到进一步的证实。

六、石榴石形成的地质条件及与矿化的关系

矽卡岩中石榴石以钙铁—钙铝榴石系列为主, 它的形成可分为早、晚两个阶段。早期高温阶段, 石榴石的炸裂温度大于 400°C , 最高为 460°C ; 均匀化温度为 300°C (未作压力校正)。此时, 矽卡岩的形成以双交代作用为主。在碳酸盐岩石的间隙溶液中, pH值为6.98—7.32, 平均为7.15。其 Al_2O_3 的浓度低于硅酸盐岩浆。由于溶液呈偏碱性, 同时, 氧化还原电位大(E_h 为3—14, 平均为+6), 所以, Al_2O_3 不易溶解, 活动性小, 而 Fe_2O_3 浓度大。其活动性大大超过 Al_2O_3 , 与其它组份的结合力强, 特别是易与 SiO_2 结合形成富铁的石榴石。它多分布在近侵入体的下部接

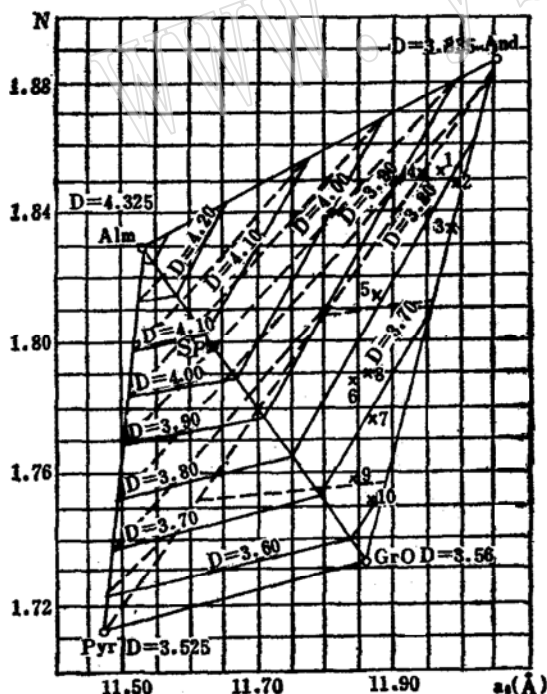


图4 石榴石系列四面体投影图解
Fig. 4 Projection drawing of tetrahedron in Garnet series.

表 4 石榴石的X—物相分析值**

Table 4 Value of X-ray-maternal phase analysis of Garnets

样 品 号 数	标准值* B.V. 米哈伊夫		1		2		3		4		标准值* B.V. 米哈伊夫		5		6		7		8		9		10		kkl
	d	I	d	I	d	I	d	I	d	I	d	I	d	I	d	I	d	I	d	I	d	I	d	I	
1	3.01	8	3.02	9	3.00	9	3.01	8			2.978	8	2.96	7	2.97	8	2.97	8	2.97	8	2.96	8	2.954	7	400
2	(2.97)	5							2.97	7	2.662	10	2.66	10	2.65	10	2.66	10	2.655	10	2.65	10	2.657	10	420
3	2.693	10	2.69	10	2.69	10	2.684	10	2.664	10	2.454	4	2.54	3	2.544	3	2.54	4	2.54	3	2.53	4	2.53	5	332
4	2.458	8	2.46	8	2.45	6	2.456	8	2.44	8	2.419	6	2.42	6	2.415	7	2.42	7	2.42	6	2.415	6	2.415	6	422
5	1.953	6	1.946	6	1.945	7	1.95	7	1.938	6	2.323	6	2.325	5	2.32	6	2.324	6	2.32	6	2.32	6	2.32	6	431
6	1.904	5	1.90	4	1.90	4	1.90	4			2.163	6	2.162	6	2.16	6	2.16	6	2.16	6	2.16	6	2.16	6	510
7	(1.776)	5	1.773	5	1.77	4	1.772	3	1.760	5	1.915	3	1.917	7	1.915	7	1.92	7	1.919	8	1.92	7	1.921	8	611
8	1.67	8	1.665	8	1.66	8	1.661	7	1.658	8	1.809	4			1.805	2	1.81	3	1.81	1	1.805	2	1.799	3	532
9	1.609	10	1.601	10	1.604	10	1.601	10	1.598	10	1.707	7	1.71	6	1.707	6	1.71	6	1.71	6	1.705	6	1.704	6	640B
10	1.505	5	1.499	6			1.50	6	1.496	6	1.639	9	1.64	8	1.641	7	1.645	8	1.64	7	1.64	8	1.641	8	444
11	1.346	8	1.341	7	1.34	7	1.34	7	1.338	7	1.581	10	1.581	10	1.582	10	1.581	10	1.581	10	1.581	9	1.581	10	640
12	1.314	9	1.309	8	1.309	8	1.31	8	1.305	8	1.479	7	1.481	6	1.479	5	1.48	5	1.479	7	1.48	6	1.481	7	800
13	1.284	8	1.278	6	1.279	6	1.279	7	1.276	6	1.324	8	1.324	7	1.325	7	1.326	7	1.325	7	1.322	6	1.326	7	840
14	1.216	6	1.212	6	1.212	5	1.211	3	1.209	3	1.291	9	1.293	8	1.291	8	1.294	9	1.293	8	1.292	7	1.294	9	842
15	1.118	10	1.114	8	1.114	9	1.115	8	1.112	8	1.263	5	1.264	6	1.263	8	1.263	5	1.264	4	1.263	6	1.264	7	664
16	1.10	9	1.094	9	1.095	9	1.095	10	1.094	8	1.196	5	1.198	5	1.196	5	1.201	3	1.196	4	1.196	4	1.199	5	853
17	1.064	8	1.059	8	1.060	9	1.059	9	1.056	8	1.101	10	1.103	10	1.101	10	1.102	9	1.002	10	1.101	10	1.101	10	864
18	1.003	8			1.00	9	0.999	9	0.998	8	1.802	9	1.085	9			1.086	9	1.083	9	1.082	9	1.084	9	10.4.2
19	0.989	7			0.986	9	0.987	6	0.984	8	1.060	5			1.062	5	1.06	5	1.06	5	1.06	5	1.061	5	10.6.4B
20	0.977	10									1.049	7	1.050	8	1.051	8	1.052	9	1.049	7	1.047	9	1.049	9	12.2.2B
晶胞参数	11.9770		11.9692		12.0106		11.9954		11.9491		11.8390		11.8624		11.8488		11.8667		11.8574		11.8462		11.8579		
矿物亚种	钙铁榴石		钙铁榴石		钙铁榴石		铝钙铁榴石		钙铝榴石		钙铁—钙铝榴石		铁钙铝榴石		钙铝榴石										

** X—物相分析由原中南地质研究所雷立同完成。* B.V.米哈伊夫, “X—物相分析手册”, 1955年版。

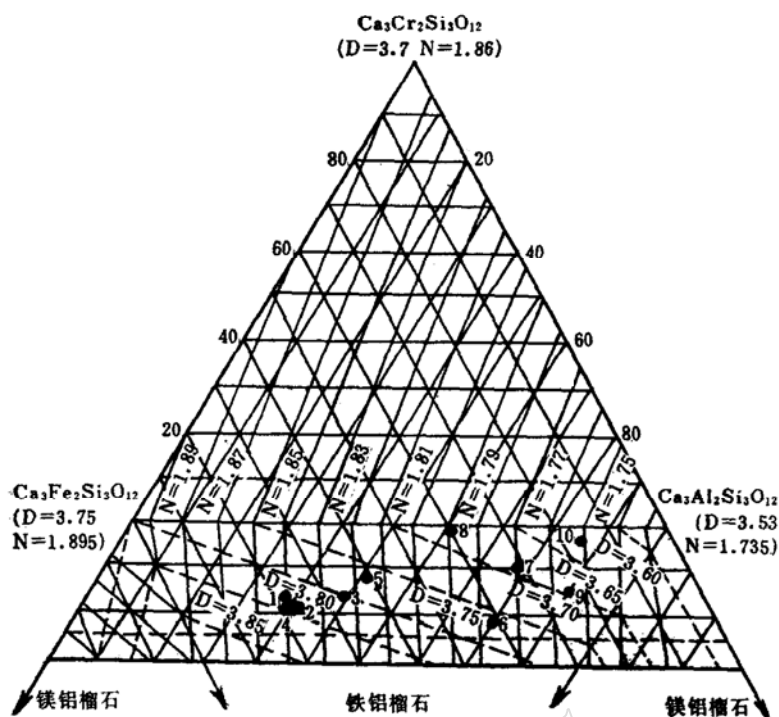


图5 石榴石端员组分图解

Fig. 5 Percentage diagram of end composition in Garnets.

触带处。

晚期低温阶段,石榴石的形成温度为300—400℃。此时,矽卡岩的形成以接触渗滤交代作用为主。测得溶液的pH值为6.24—6.78,平均为6.59, Eh为-3—+4,平均为-1。由于溶液的碱性程度和氧化还原电位度降低,此时饱和的铝硅酸盐溶液沿裂隙进入到碳酸盐岩石中,由于 Al_2O_3 浓度增大,而 Fe_2O_3 活性降低,组份减少,因而有利于钙铝榴石的形成。实验资料表明^[9]:中偏碱

性条件下,易于形成钙铁榴石,中偏酸性条件下,则易于形成钙铝榴石。

矿床中钨主要以黑钨矿和白钨矿的形式存在。其中白钨矿占46.48%,黑钨矿占51.10%,其它矿物占2.42%,而石榴石和萤石就占了1.26%。

矿床中锡除以锡石存在外,大部分存在于石榴石中。在钙铁榴石中呈分散状态,而在钙铝榴石中呈锡石和黝锡矿的细微包体。因此,石榴石是锡的主要载体矿物。

矿床中钼、铋主要以辉钼矿和辉铋矿的形式产出。但其余的钼、铋多呈类质同象形式存在于白钨矿、绿帘石和石榴石中。辉钼矿和辉铋矿与钙铁

榴石共生,而白钨矿、绿帘石又是交代石榴石形成的。因此钼、铋与石榴石的关系也是相当密切的。

* * *

莫柱荪总工程师指导了本文的工作。孙鼎教授审阅了文稿。湖南地质局原408队支持了野外工作。原中南地质研究所化验室及雷番立同志帮助完成了单矿物的化学分析和X—射线物相分析测试工作。作者在此一并致谢!

参 考 文 献

[1] Гнатив, Г. М., 1960. О гранате из гранат-пироксен-плаггиоклазовых пород западной Волыни. Минералогический сборник, No. 14.

[2] Wright, W. I., 1938. The composition and occurrence of garnets. AM. Mineral., Vol.

23, P. 436-449.

[3] Сидоренко, Е. Ф., 1960. Гранат из мигматитов приднестровья. Минералогический Сборник, No. 14.

[4] Deer, W. A., 1957. Rock-forming minerals, Vol. 1, P. 77-104.

[5] 卢祖荫, 1920, 接触变质岩中石榴石之光学研究。地质汇报№2, P. 43—48.

[6] Грудев, А. П., 1964. Состав и номенклатура гранатов андрадит-гроссуларового изоморфного ряда. Минералы СССР, Вып15, P.108-114.

[7] Abrahams, S. C. and Geller, S., 1958. Refinement of the structure of a grossularite garnet. Acta Crystallography, Vol. 11, P.437-441.

[8] Novak, G. A. and Gibbs, G. V., 1971. The crystal chemistry of the silicate garnet. AM. Mineral., No56, P.791-825.

[9] 赵斌、曹荣龙, 1975, 钙铁辉石、透辉石和钙铝榴石变化的实验研究。地质科学, №2.

Study on Garnet in Shi Zhu Yuan Tungsten-Tin-Bismuth-Molybdenum (beryllium) Ore Deposits in Hunan Province

Chen Tuhua

Abstract

This is a rather larger netted veinal polymetal ore deposit of composite greisen-skarn type rich in tungsten-tin-bismuth-molybdenum (beryllium) and lead-zinc etc. Garnets are the principal mineral in skarn, about 60—75%, of andradite and grossularite group. They are most closely related to W, Sn, Bi, Mo (Be) etc mineralization.

Based on our researches on 50 garnets of I, II, III different generations, the results are given as follows:

1. Garnet has abnormal optical properties, that are of three kinds: the optic isotrope, weak optic anisotrope and powerful optic anisotrope.

2. Garnets of the early period occur in the lower part of skarn, they are dark colour and optic isotrope, $N=1.852-1.781$, $D=3.802-3.550$, $a_0=11.9692-11.9491$, belonging to andradite groups. Towards the upper part of skarn they gradually become light colour and powerful optic anisotrope, $N=1.752-1.790$, $D=3.618-3.657$, $a_0=11.8579-11.8684$, belonging to grossularite.

3. Garnet groups are the complete isomorphism intermediate composition between andradite-grossularite.

4. Garnet has a higher content of tungsten-tin $W=0.2-1.0\%$ and $Sn=0.3-0.4\%$, W exists in the form of scheelite and wolframite, but Sn substitutes for Fe and exists with little content in the form of cassiterite and stannite in garnet.

5. Andradite is formed under conditions of high temperature ($T>400^{\circ}\text{C}$), $\text{pH}=6.64-6.98$ and $Eh=3-14$, mainly in the way of dimetasomatism, while grossularite is formed under the conditions of low temperature ($T=300-400^{\circ}\text{C}$), $\text{pH}=6.24-6.78$ and $Eh=-3-+4$, and mainly in the way of contact-infiltration metasomatism.