

华北地台北缘东升庙多金属硫铁矿床中 石榴石标型特征及找矿意义

夏 学 惠

(化工部地质研究院)

提 要 本文从物理性质和化学成分等方面对东升庙矿区的石榴石进行了标型特征研究。石榴石具罕见的放射状“太阳晶”。石榴石中锰的含量及 Mn/Fe 比值与矿化强弱程度一致,从围岩到矿体 Mn/Fe 比值渐增,晶胞参数变小,晶形由 {211} 过度到以 {110} 为主,由褐红色转变为灰白色。石榴石具有典型的找矿矿物标型意义。

进而讨论了本区石榴石的成因,认为高锰石榴石的形成可能与海底喷气热液自交代作用有关。

关键词 石榴石 标型特征 放射状变晶结构

一、地质概况

内蒙古乌拉特后旗东升庙块状硫化物矿床,是华北地台北缘多金属硫化物成矿带^{〔1〕}内的特大型矿床之一。发育在鄂尔多斯克拉通边缘内带槽型断陷盆地中。矿区中元古界狼山群主要为一套浅变质低绿片岩相的炭质千枚岩、板岩、含炭白云岩、二云母片岩、并夹有多层火山岩及次火山岩的沉积含矿建造。

矿区内发育有石榴石系列矿物,它们与矿化关系十分密切。因此,研究石榴石标型特征及成因,对探讨矿床形成条件和找矿具有一定意义。

二、石榴石的分布与产状

东升庙矿区产出的石榴石具有一定的规律性,主要发育在狼山群第二岩组第三岩段(Pt₁³)炭质千枚岩中,剖面上具有特征的局限性,并呈带状分布。岩石化学分析表明,在此带内表现出 Mn、B、Ti 含量增高的特点,Mn 含量可高达 1.07~2.52%。高锰层位(即含石榴石层位)的出现往往与锌—硫型(闪锌矿磁黄铁矿层)矿化有关。

据本区石榴石产状特征,可分出两种产状的石榴石;Ⅰ类以变斑晶方式分布在炭质千枚岩中,石榴石颗粒粗大。Ⅱ类石榴石颗粒细小,其集合体呈条带状分布,与矿石互为条带状产出。此类石榴石与矿化关系密切。

三、石榴石形态及物性特征

本区两种产状的石榴石在形态和物性上有显著差别(表 1),具有重要的标型意义。

1、以变斑晶产出的石榴石为褐红色,晶形较完好,多以四角三八面体晶形为主,晶体粗大,粒径在 2.5~5mm 间。绝大多数石榴石晶体呈放射状(照片 1),类似于太阳晶结构(Sun-like crystal texture)。单偏光下,可见石榴石晶体由中心向四周呈放射状,这种放射状石榴石晶体在国内外未见报导,实为罕见,其形成原因可能与构造作用有关。无放射状者,大部分石榴石具有锥状双晶与扇状双晶(照片 2、3)。个别石榴石晶体,见有六边形裂纹(照片 4),类似于云母的击象,多数裂纹内充填碳质物,少数充填磁黄铁矿。石榴石包裹体较发育,主要为不规则状硅质(照片 5)与略呈放射状排列的气液包裹体。还可见到受变质作用挤压产生的定向裂隙,裂隙内充填有围岩成分。从上述特征看,此类石榴石形成可能较早,在区域变质及构造作用过程中进一步重结晶,并产生光性异常与放射状晶体,形成现在所见的变斑晶。

2、以条带状产出的石榴石,无色、灰白色微带浅黄色色调。此类石榴石粒径较小,一般在 0.2~0.6mm 间,石榴石集合体呈条带状(照片 6)产出在近矿岩层及矿层内。石榴石自形程度较高,以菱形十二面体为主,少部分为菱形十二面体{110}与四角三八面体聚形,其中{110}发育较好,而{211}发育不完整。当其石榴石晶形转化为菱形十二面体为主时,则矿化转变成以富矿为主,石榴石集合体与闪锌矿、磁黄铁矿互为条带。石榴石矿物组合中常出现微细粒电气石、金红石与胶磷矿。推测此类石榴石的形成可能与容矿含硼岩系热液化学沉积组合有关。

本区石榴石颜色、晶形、粒度、比重、折光率等标型特征与其形成环境及矿化有明显关系(表 1),从中可以看出当其成矿介质环境转化,石榴石晶形由{211}转化为{110}并伴随矿化的增强,石榴石含 Mn 量明显增高。

表 1 石榴石形态物性与矿化的关系

Table 1 Relations between crystal form,physical property of garnets and mineralization

样号	序 号	岩(矿)石名称	颜 色	粒径 mm	晶 形	折光率 N	比重 D	MnO 含量%
BG-19-1	1	条带状石榴石闪锌 磁黄铁矿矿石	无色、微带 浅黄色色调	0.2~0.6	{110}	1.8031	4.2981	33.44
BG-19-②	2	条带状含石榴石闪 锌磁黄铁矿石	灰白色、带 浅黄色色调	0.25~0.5	{110} {211}	1.8052	4.1727	33.67
BG-16	4	含石榴石炭质千枚 岩	褐红色	2.5~5	{211}	1.8159	4.1364	23.63
CK160-32	5	含石榴石炭质千枚 岩	褐红色	2.5~5.5	{211}	1.8228	4.1669	18.70
BG-40	6	含石榴石炭质千枚 岩	红褐色	2.5~5	{211}	—	—	20.13

注:(MnO)电子探针分析者,地科院矿床所陈克樵等,比重采用显微比重法,何同平协助完成。

四、石榴石化学组分特征

本区两类不同石榴石化学组分及端员组分百分含量见表 2,表 3。

表 2 石榴石化学组分(重量%)
Table 2 Chemical composition of Garnets (wt%)

样号	1	2	3	4	5	6
	BG-19-①	BG-19-②	CK160-419	BG-16	CK160-32	BG-40
岩性	含石榴石矿石	含石榴石矿石	含石榴石矿石	石榴石炭质千枚岩	石榴石炭质千枚岩	石榴石炭质千枚岩
SiO ₂	35.44	36.00	36.28	36.64	36.59	36.44
TiO ₂	0.27	0.65	—	0.00	0.05	—
Al ₂ O ₃	19.17	19.02	20.68	19.16	20.73	21.59
FeO	8.62	8.32	9.05	18.18	20.84	17.61
MnO	33.44	33.67	29.81	23.63	18.70	20.13
MgO	0.56	0.23	0.73	0.00	0.26	0.84
CaO	2.38	2.25	2.47	2.44	2.59	2.83
Na ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
K ₂ O	0.00	0.08	0.01	0.00	0.08	0.03
Cr ₂ O ₃	0.00	0.24	0.00	0.00	0.29	0.03
合计	99.88	100.46	99.03	100.05	100.13	99.51
Mn/Fe	3.88	4.05	3.29	1.30	0.90	1.14

电子探针分析者:地科院矿床所陈克樵和湖南地矿局测试中心盛兴土。

从表 2 中可见,本区石榴石以 MnO 含量高, CaO, MgO 含量低为主要特征,几乎不含 K₂O 和 Na₂O。石榴石富含锰,并从围岩到矿层锰含量明显增高,围岩中石榴石 MnO 含量为 18.7~23.63%,而到矿体内石榴石锰含量则增高到 29.81~33.67%, Mn/Fe 比值也渐增,从远离矿层围岩中的 0.9~1.30 增高到近矿及含矿层中的 3.29~4.05。这一变化特征为找矿勘探提供了有意义的间接标志。

本区石榴石中锰铝榴石分子含量很高,最高可达 78.40%, MnO 最高含量 33.67%。而镁铝榴石分子含量则较低,铁铝榴石分子变化在 12.95~47.83%间。故本区的石榴石以锰铝榴石为主,这与 X-射线分析结果基本一致。由近矿围岩到含矿岩石,石榴石系列则由铁铝榴石向锰铝榴石转变。石榴石对变质作用较敏感,随着变质程度的加深,镁铝榴石组分增高,锰铝榴石组分减少。本区石榴石 Mg 含量很低, MgO = 0.0~0.84%。从这一特点,反映本区石榴石是在变质程度不高的条件下形成的。

表 3 石榴石化学式及端元组分

Table 3 Chemical formula and end-member component of Garnets

样号	BG-19-①	BG-19 ②	CK-419	BG-16	CK160-32	BG-40
Si	2.9182	2.9653	2.9889	3.034	2.9926	2.9740
Al ^{IV}	0.0818	0.0347	0.0111		0.0074	0.0260
Al ^{VI}	1.7784	1.8217	1.9980	1.8696	1.9906	2.0514
Fe ³⁺	0.2698	0.0916	0.0078	0.0636	0.0274	0.0162
Ti	0.0168	0.0446	—	0.000	0.0031	—
Fe ²⁺	0.3237	0.4678	0.6131	1.1567	1.4247	1.1980
Mg	0.0687	0.0248	0.0841	0.000	0.0319	0.0980
Mn ²⁺	2.3321	2.3515	2.0792	1.6572	1.2953	1.3915
Ca	0.2105	0.1980	0.2178	0.2189	0.2270	0.2449
钙铁榴石	7.02	4.68	0.391	3.18	1.37	0.71
镁铝榴石	2.29	0.80	2.805	0.00	1.07	3.35
锰铝榴石	77.74	78.40	69.442	55.24	43.48	47.42
钙铝榴石	0.00	2.02	6.883	4.12	6.25	7.56
铁铝榴石	12.95	14.10	20.479	37.46	47.83	40.96

注：电子探针分析的 < FeO > 采用电价差值法计算 Fe²⁺ 和 Fe³⁺ [4]

五、石榴石红外光谱特征

从本区石榴石红外光谱的图谱中(图 1)可以看出,在 600 ~ 1100cm⁻¹ 频段内 Si-O-Si 吸收谱带频率变化很小。因为本区的石榴石内 SiO₂ 含量相近,样品分析 SiO₂ 含量 35.44 ~ 36.64%。由于 M²⁺ 位置锰铁的置换,从图谱中可以看出含矿层内与非矿层内的石榴石,由于 Mn²⁺ 含量的增加和 Fe²⁺ 含量的相应减少,K-L 谱带频率随之向高频区偏移,即由铁铝榴石向锰铝榴石转化。

参照 Tarte and Deliens (1973) [4] 的办法,用 L 频率 Cm⁻¹ 数值为纵坐标,用铁铝榴石分子百分含量为横坐标做图(图 2),反映当 Mn 含量升高,L 频段向高频偏移。铁铝榴石分子含量降低,则 L 振动频带升高。它们呈线性关系。

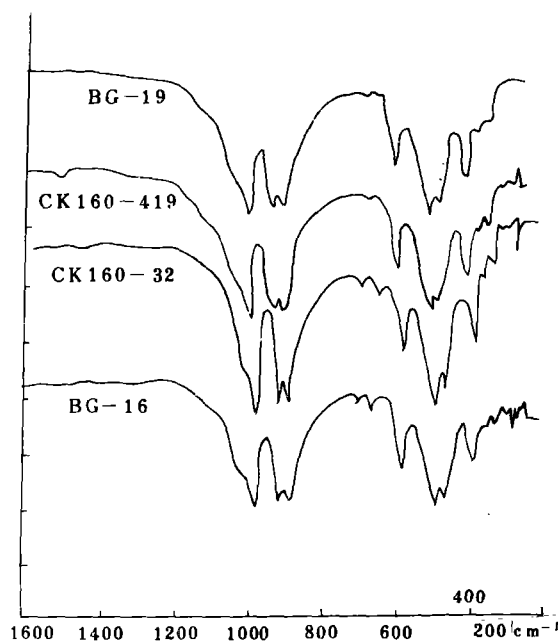


图1 石榴石的红外光谱(样品号同表2)

Fig. 1 The infrared spectrum of Garnet

(由化工部地研院李平测定, KBr 压片法, PE-783 型红外光度计)

六、石榴石的 X 射线衍射特征

采用 PHILIPS APD-10 型衍射仪在同一条件下, 对本区石榴石进行 X 射线粉晶衍射分析(表 4)。经与标准 JCPDS 卡片对比, 本区石榴石主要为锰铝榴石。

石榴石晶胞参数测定表明, 近矿体内的无色石榴石晶胞参数 a 。值较小, 变化在 $11.593 \sim 11.598 \text{ \AA}$, 围岩中的变斑晶石榴石 a 。值较大, 变化在 $11.610 \sim 11.635 \text{ \AA}$ 。一些学者研究认为^[4]随着变质程度的增加, 将排斥大半径的阳离子 (Mn^{2+} 、 Ca^{2+}), 而使石榴石 FeO 、 MgO 含量增加, 由于晶格内阳离子的变化, 石榴石晶胞参数也随之变化, 这种变化反映了变质程度的强弱。但在该区的石榴石晶胞参数 a 。值较小者, Mn^{2+} 含量却很高, 而 Mn^{2+} 含量低 Fe^{2+} 含量高者, 晶胞参数 a 。值则较大。这一结果与前人研究的结论不一致。这种不一致的原因可能由于本区石榴石在变质作用过程中, 受构造作用影响, 晶格产生位错所致。

七、石榴石微量元素特征

矿物的微量元素特征为矿床成因提供有效信息。本区石榴石微量元素分析见表 5。从中可以看出, 石榴石以富含 Zr、La 和 Y 为特征, Zr 含量可达 1000PPm, La 含量在 100 ~ 200PPm, Y 最高可达 800PPm。Ni 含量大于 Co、 $\text{Co}/\text{Ni} < 1$ 。Sr/Ba 比值接近 1, 其中 V、As、Ti 等元素均偏高。本区石榴石钇含量与 М. Л. Гельман^[5] 研究证实

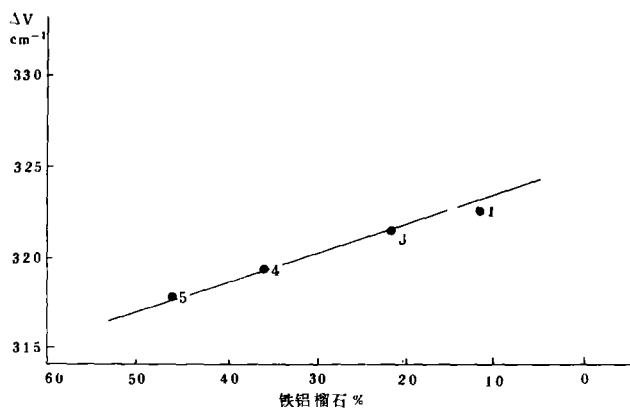


图2 石榴石红外光谱 L 谱带频率与铁铝榴石成分的关系

(样号同表 2)

Fig. 2 Relations between (IR Spectrum) L Spectral band frequency and the gradient of almandine

火山岩系的石榴石钇含量是一致的。石榴石微量元素特征与区内火山岩夹层元素接近, 反映

本区石榴石的物源及形成可能与酸性~中酸性热液即海底喷气-热液沉积作用有关,并可作为东升庙矿床成因的间接证据。

表4 石榴石X射线粉晶数据

Table 4 The data of x-ray powder diffraction of Garnet

标准锰铝榴石		BG-19-①		CK-419		BG-16		CK160-32	
d Å	I/I ₁	d Å	I/I ₁	d Å	I/I ₁	d Å	I/I ₁	d Å	I/I ₁
4.76	6	4.729	0	3.349	35	—	—	—	—
3.10	8	3.104	0	3.097	3	3.097	2	3.099	1
2.91	25	2.9025	32	2.9015	28	2.9062	31	2.8997	36
2.60	100	2.5946	100	2.5946	100	2.5975	100	2.5910	100
2.48	10	2.4787	3	2.5198	1	2.4787	4	2.467	3
2.37	16	2.3738	18	2.3684	19	2.3714	14	2.3702	18
2.28	10	2.2778	10	2.2745	12	2.2773	10	2.2745	10
2.13	16	2.1205	15	2.1196	15	2.120	14	2.1186	12
2.06	6	2.0553	3	2.0518	8	2.0553	4	2.0518	3
1.886	20	1.8846	20	1.8824	20	1.8853	20	1.8827	19
1.836	2	1.8364	0	1.8182	3	1.8364	0	1.8354	0
1.797	2	—	—	—	—	—	—	—	—
1.710	2	—	—	—	—	—	—	—	—
1.681	20	1.6769	11	1.6741	12	1.6766	13	1.6755	11
1.650	6	—	—	—	—	—	—	—	—
1.614	30	1.6102	22	1.6094	23	1.612	20	1.6094	22
1.586	6	1.5801	1	1.5791	2	1.5784	2	1.5791	2
1.557	40	1.5518	34	1.5504	27	1.5537	33	1.5511	27
1.482	2	—	—	1.4746	1	—	—	1.4753	0
1.456	16	—	—	1.4511	6	1.453	7	1.4509	12
—	—	—	—	1.4368	3	1.4336	3	1.4293	1
—	—	—	—	1.298	6	1.2982	6	1.2979	6
—	—	—	—	1.2658	13	1.2678	12	1.2663	12

工作条件:PHILIPS APD-10,铜靶,管压40KV,管流30MA,测试者:黄祖超。(样品号同表2)

八. 石榴石形成条件及找矿意义

石榴石的矿物共生组合和成分变化,反映了形成环境物理化学条件的差异。

石榴石对变质作用较敏感,随着变质作用的加深,镁铝榴石组分增加。但本区石榴石 Mg 含量很低。镜下观察石榴石千枚岩,炭质含量高,主要矿物组合为绢云母,石英,少量黑云母。与矿化有关的条带状石榴石,矿物组合主要为石英、绢云母、电气石、单斜磁黄铁矿、闪锌矿等。在别尔丘克的黑云母—石榴石共生矿物对的 $Mg/(Mg+Fe+Mn)$ 与变质温度关系图解中,本区两类不同石榴石矿物对所反映的变质温度是有差别的,褐红色变斑晶石榴石变质温度在 $400\sim 420^{\circ}C \pm$ 。无色条带状石榴石变质温度在 $250\sim 350^{\circ}C \pm$ 。

表 5 石榴石微量元素特征(ppm)
Table 5 Trace elements analysis of Garnet (ppm)

样 号	BG-19-①	CK-419	BG-16	CK160-32
Ba	< 300	< 300	< 300	< 300
Sr	< 300	< 300	< 300	< 300
Co	< 10	< 10	< 10	< 10
Ni	< 30	< 30	< 30	< 30
La	200	100	100	100
Y	800	60	40	40
Zr	1000	1000	1000	1000
As	< 100	< 100	< 100	< 100
Sb	< 100	< 100	< 100	< 100
Sn	100	60	60	60
w	< 100	< 100	< 100	< 100
Cr	< 100	< 100	< 100	< 100
Ti	500	500	300	300
V	100	30	30	30
Zn	< 300	< 300	< 300	< 300
Bi	< 10	< 10	< 10	< 10
Cd	< 30	< 30	< 30	< 30

光谱分析者:本院化验室李景文。(样号同表 2)

Raheim, A. (1974)^[6] 在高温高压实验后提出,石榴石中钙铝榴石分子含量随压力增大而明显增加,而且与温度关系不大。本区铁铝榴石系列的石榴石大多数贫钙 ($CaO\ 2.25\sim$

2.83%),石榴石中钙铝榴石分子平均为4.47%。从这一特点,反映了本区石榴石属低压产物。经温度压力计算,以及与石榴石共生的单斜磁黄铁矿包体爆裂测温结果,反映它们是在温度和压力不高的条件下形成的。

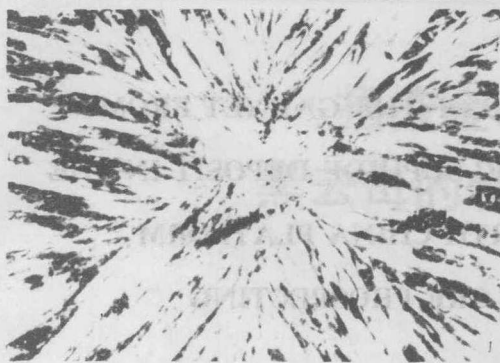
从本区石榴石标型特征看,石榴石富含锰,并从围岩到矿体锰含量渐增,Mn/Fe比值增大。国外一些沉积岩中的海底喷气硫化物矿床也有这种特征。R. L. Stanton, (1976)^[7] 和 E. F. Stumpfl, (1979)^[8] 分别阐述了布罗肯希尔和南非开普省西北部硫化物矿床中的石榴石为富含锰的石榴石,并从围岩到矿体石榴石含锰量增加。D. J. Robinson (1984)^[9] 认为,加拿大Redstone块状硫化物矿床中的富锰石榴石和黑硬绿泥石是海底喷气的产物。本区石榴石据其产状和标型特征与国外同类型矿床对比,推测可能为海底喷气热液活动自交代产物,后经变质作用形成的。

本区石榴石形态标型由围岩中的褐红色{211}晶形变化到近矿围岩及矿层内的灰白色{110}晶形和石榴石中锰的含量及其Mn/Fe比值与矿化强度一致等标型特征,为进一步在华北地台北缘找寻同类多金属硫化物矿床提供了找矿标型矿物,具有重要的地质找矿意义。

工作中曾请教于地质大学陈光远教授,李家振副教授,得到我院魏东岩高级工程师以及赵晓、何同平、郭玉亭等同志的帮助,在此表示感谢。

参考文献

- [1] 王东方,华北地台北缘地质构造演化及多金属成矿的构造控制问题,矿床地质,(3) 1987, 1~9。
- [2] 刘仁福等,内蒙古中部元古宙火山沉积铁、铜多金属矿床的成矿区划,地质找矿论丛,(1) 1986, 30~39
- [3] 郑巧荣,由电子探针分析估算 Fe^{3+} 和 Fe^{2+} , 矿物学报,(1)。
- [4] P. Tarte and M. Deliens., Correlation between infrared spectrum and the Composition of Garnets in the Pyrope—almadine, Contr. Mineral. Petrol. Vol. 40, 1973, P25~37
- [5] М. Л. Гельман, 喷出岩中的石榴石, 国外地质,(2) 1983, 30~36
- [6] A. Raheim and D. H. Green Experimental determination of the temperature and pressure dependence of Fe—Mg partition Coefficient for coexisting garnet and clinopyroxene. Contr. Mineral. Petrol., Vol. 48, 1974, P179~203
- [7] R. L. Stanton., Petrochemical studies of the ore environment at Broken hill, New south wales; S—banded iron formation and sulphide ore bodise; Constitutional and genetie ties; Irons inst, Min and Met, Vol. 85, 1976, P132~141
- [8] E. F. Stumpfl, 层控有色金属矿床的锰晕, 国外地质科技,(2) 1980
- [9] D. J. Robinson., Silicate facies iron—formation and stratabound alteration, tuffaceous exhalites derived by mixing—evidence from Mn garnet—stilpnomelane rocks at Redstones Timmins, Econ. Geol., Vol. 79, 1984, P1796~1817



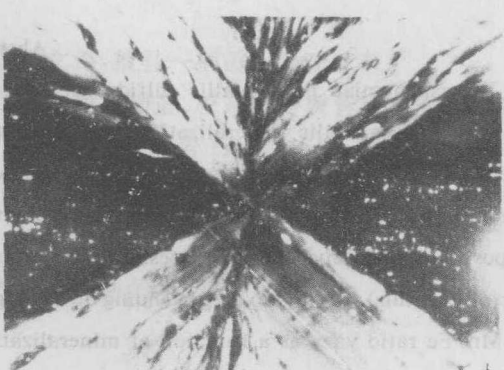
照片1 放射状石榴石晶体, 类似于太阳晶结构, 单偏光 X10



照片2 石榴石具扇状双晶, 正交偏光 X10



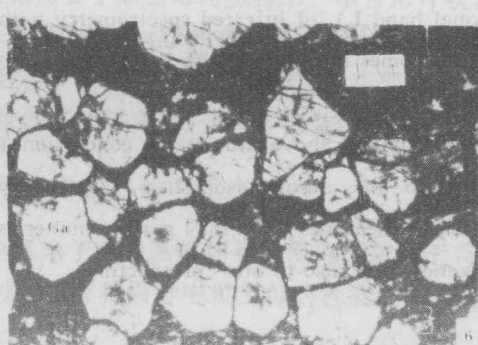
照片3 石榴石的锥状双晶, 锥顶聚合于晶体中心, 正交偏光 X10



照片4 石榴石晶体具六边形裂纹, 正交偏光 X10



照片5 石榴石晶体(Ga)内包裹不规则状石英(Q), 单偏光 X50



照片6 石榴石集合体呈条带状(Ga), 黑色为闪锌矿与磁黄铁矿(Pyr), 单偏光 X10

TYPOMORPHIC PECULIARITIES OF THE GARNET FROM DONGSHENCMIAO POLYMETALLIC SUPHIDE DEPOSIT IN THE NORTHERN MARGIN OF NORTH CHINA PLATFORM; THIER SICNIFCANCE TO ORE PROSPECTING

Xia Xuehui

(Geological Institute, Ministry of Chemical Industry)

Abstract

Dongshengmiao polymetallic sulfide deposit is one of the superscale sulfide deposits developed within the polymetallic mineralization belt along the northern margin of north china platform. The minerals of garnet group developed in the mining area, have a close relation to mineralization, So the present paper deals with them and gives their typomorphic characters with respect to chemical compositions and physical properties. The garnet minerals reveal an unique radial (similar to the light of the sun) crytal texture, tending to be high in Mn and low in Mg and Ca. The Mn content and Mn/Fe ratio vary as a function of mineralization, as indicated by the progressive increase in the Mn/Fe from 0.9 in the country rocks to 4.05 near the ore bodies. With these changes, the crystal forms also transit from (211) to (110), the unit cell parameter $\text{\AA}$ from long to short, and the crystal colours from brown red to gray white. The meaningful comparison of the pattern (particularly the vibrational band L) of infrared spectrometry with the compositions of the almandine points out that the band becomes heightened with the decrease in the molecules of the mineral, that is, the two are negatively related.

Based on the above studies, a conclusion is easily drawn that the Mn-rich garnets can be attributed to the autometasomatism of the hydro — thermal fluids derived from submarine exhalations. Researches on the garnet minerals is not only significant to mineralogy and metallogenesis but also to ore — prospecting.