山西娄烦变质岩中蓝晶石、十字石和红柱石的特征及形成条件

卢保奇[1] 王赐银[2]
(1.上海大学材料学院宝石技术与工艺专业 上海 201800;
2.南京大学地球科学系 南京 210093)

摘 要 通过电子探针成分分析和矿物共生组合分析,利用地质温度计估算十字石、蓝晶石和红柱石的形成温压条件,以揭示十字石、蓝晶石和红柱石的形成与本区西川河断裂区域变质作用的关系。研究结果表明:本区西川河断裂以北地区出露的十字石和蓝晶石形成条件受压力控制(P = 5.5 - 7Kpa),变质温度为 520 - 550℃;而西川河断裂以南地区出露的红柱石的形成条件主要受温度控制(T = 570 - 600℃),压力小于 3Kpa。西川河断裂控制了南北地区的变质条件,进而控制了特征变质矿物十字石、蓝晶石和红柱石的空间分布。

关键词 蓝晶石 十字石 红柱石 地质温度计 西川河断裂

山西娄烦变质岩是一套经受中 - 高级区域变质作用的陆源碎屑岩及酸性和中性的火山岩。区内除广泛发育石榴石外[1],特征变质矿物蓝晶石、十字石和红柱石亦很常见,其中少量蓝晶石、十字石达到宝石级,而红柱石多数被炭质交代而形成空晶石。对这些矿物成分特征的研究以及相关计算,以确定它们的形成条件,阐明它们与断裂区域变质作用的关系,进而为找矿提供理论基础。

1 山西娄烦变质岩地质概况和变质岩石学特征

山西娄烦变质岩系分布于山西省吕梁山区,它北起岚县袁家村一带,南至娄烦县的尖山铁矿及西川河西侧,总体呈南北向展布[2]。区内吕梁群由四个地层组成,从东向西依次为:袁家村组、裴家庄组、近周营组和杜家沟组。这四个地层从北向南都表现出变质程度递增的趋势。特征变质矿物十字石、蓝晶石和红柱石主要出现在袁家村组、裴家庄组的中段和南段。其岩性为一套变泥质岩系,原岩为富铝的泥砂质沉积岩类。这一套等化学系列的变质泥岩[3],在不同的变质温度、压力条件下具有不同的变质矿物组合。北段主要为变质砾岩、变质砂岩及绢云母绿泥千枚岩、绿泥石片岩、硬绿泥石千枚岩,石榴云母片岩和石英岩等。这类岩石基本上保留了原岩的结构和构造特征;中段尖山一带岩性主要为白云母石英片岩、十字石榴云母片岩、蓝晶十字白云母片岩等,其中以十字石榴子石云母片岩为特征;南部西川河南岸,岩性主要为石榴红柱云母片岩和矽线二云片岩等(表 1)。

2 蓝晶石、十字石和红柱石的产状及特征

2.1 蓝晶石的产状及特征

蓝晶石主要产于本区袁家村组和裴家庄组中段的蓝晶十字石榴二云母片岩中,出露的范围是 100 米 - 10 米,可见少量达宝石级的蓝晶石,颜色呈淡黄色,半透明 - 不透明,呈板柱状集合体;单晶体长约 40 厘米,宽约 4 - 5 厘米(王赐银,周顺之,1976)。多数蓝晶石呈细长的柱状、板状变晶,可见其被白云母、石英等穿插切割,呈破碎的竹节状;在平行于(010)的片状变晶中,可见{100}完全解理,干涉色一级灰 - 一级黄,平行于(010)切面近于平行消光,平行于(100)切面斜消光,c∧Ng = 30°。

蓝晶石是本区中高压条件下所形成的特征变质矿物,笔者对尖山十字蓝晶白云母片岩中的蓝晶石进行 4 个点区的电子探针分析(表 2)。结果显示蓝晶石的化学成分除 SiO2 和 Al2O3 外,还含少量 FeO*(0.17 - 0.30%),阳离子数 Al = 2.1 - 2.00,Si = 0.99 - 1.00。计算所得的分子式为:$Al_{2.01}[SiO_4]O$。

收稿日期:2003 - 03 - 19

第一作者简介:卢保奇,男,1967 年生,南京大学地球科学系硕士毕业,讲师,主要从事宝石学教学与科研工作。

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1　袁家庄组和裴家庄组变质岩及特征变质矿物

Tab.1　The characterastics of metamorphic rocks and minerals in Y Jia Cun and P Jia Zhuang

位置		主要变质岩	代表性矿物组合	特征变质矿物	结构构造
西川河北	北段 袁家村	变质砂岩 绢云－绿泥千枚岩 黑云母千枚岩	绢云母＋绿泥石＋ 黑云母＋石英＋斜 长石	绿泥石 黑云母 硬绿泥石	变余砂质结构,千 枚状构造
	中段 皇姑山 榆树掌	含榴硬绿泥石片岩 石榴白云母片岩 石榴二云母片岩	硬绿泥石＋铁铝榴 石＋白云母＋黑云 母＋石英	硬绿泥石 铁铝榴石	显微鳞片变晶结 构,斑状结构,片 状构造
	南段 尖山一带	含榴十字云母片岩 十字黑云母片岩 蓝晶十字白云母片岩	十字石＋蓝晶石＋ 铁铝榴石＋黑云母 ＋白云母	十字石 蓝晶石	鳞片变晶结构,片 状构造
西川河南	何家兰－蔡家庄对面	石榴矽线云母片岩 矽线二云母片岩 含榴红柱石云母片岩	矽线石＋铁铝榴石 ＋红柱石＋白云母＋ 石英	矽线石 红柱石	粒状鳞片变晶结 构,片状构造

表 2　特征变质矿物十字石、蓝晶石和红柱石等的电子探针分析结果

Tab.2　The microprobe analysis of mineral staurolite and kyanite and sillimanite and relative data

产地	尖山												何家兰南		
样号	JS－11				LJ1－6－5				JS－4			9012	LH1－2	LH1－4	LH1－2
矿物	十字石				蓝晶石				角闪石			石榴石		红柱石	黑云母
SiO_2	28.64	28.50	28.50	28.18	36.29	37.52	37.36	37.06	41.72	41.89	42.06	37.68	37.72	37.53	34.93
TiO_2	0.43	0.49	0.42	0.47	0.00	0.00	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.06	0.01	0.09	1.57
Al_2O_3	56.26	56.28	56.16	56.87	62.53	63.71	63.39	63.21	13.74	13.08	12.42	21.55	22.11	61.05	18.96
FeO	12.42	12.01	12.49	12.27	0.23	0.17	0.30	0.23	27.17	27.07	26.97	32.04	36.79	0.96	21.55
MnO	2.59	1.63	0.00	1.10	0.00	0.01	0.00	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.00	0.01
MgO	1.30	0.71	0.89	0.85	0.03	0.00	0.02	0.02	3.71	3.59	3.48	2.13	1.69	0.16	9.38
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.07	11.22	11.38	2.24	2.86	0.13	0.04
Na2O	0.22	0.03	0.07	0.01	0.00	0.00	0.05	0.02	1.62	1.69	1.75	0.02	0.00	0.06	0.13
K2O	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.55	0.48	0.42	0.00	0.00	0.00	8.02
总和	101.85	99.65	98.54	100.01	99.07	101.41	101.15	100.54	99.61	99.07	98.53	95.74	101.19	99.02	94.59
阳离子数															
Si	3.83	3.86	3.88	3.81	0.99	1.00	1.00	1.00	6.41	6.47	6.54	3.10	3.00	1.02	2.69
Al^{IV}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.59	1.53	1.46	0.00	0.00	1.00	1.31
Al^{VI}	8.86	8.99	9.05	9.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.9	0.85	0.81	2.09	2.07	0.95	0.41
Ti	0.04	0.05	0.04	0.05	2.00	2.00	2.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09
Fe^{2+}	1.39	1.36	1.42	1.42	0.00	0.00	0.00	0.00	3.49	3.50	3.50	2.15	2.45	0.02	1.60
Mn	0.29	0.19	0.00	0.13	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.26	0.14	0.18	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.85	0.83	0.81	0.26	0.20	0.01	0.71
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.82	1.86	1.89	0.20	0.24	0.00	0.00
Na	0.06	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.48	0.51	0.53	0.00	0.00	0.00	0.02
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.09	0.08	0.00	0.00	0.00	0.79

* 样品由南京大学地球科学系中心实验室测试

2.2　十字石的产状及其特征

十字石作为特征变质矿物,主要产在该区南段十字黑云母片岩和蓝晶十字白云母片岩中,与蓝晶石、石榴石共生。镜下可见十字石呈柱状的变斑晶,

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

具筛状变晶结构，Ng－黄色，Nm－浅黄色，Np－无色，二轴晶正光性；野外观察可见十字石晶体的"X"双晶和"十"双晶，镜下可见十字石大部分已绢云母或白云母化，仅保留其假象。值得一提的是，在本区曾发现宝石级十字石的巨大单晶体（王赐银，1976），金黄色－淡黄色、半透明－不透明、呈柱状集合体。

为了确定本区十字石的形成条件，笔者对本区尖山十字黑云母片岩中的十字石进行了4个点区的电子探针分析（表2）。结果表明，十字石是一种富含铝的铁铝硅酸岩矿物，富含FeO是其显著特征之一，达12%左右；$Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Mg)=0.94$。

通常认为形成十字石变质反应有如下三种[4]：

①23硬绿泥石＝5铁铝榴石＋4十字石＋21H2O（10Kpa，600°C）

②31硬绿泥石＝4十字石＋5铁铝榴石＋3尖晶石＋29H2O（7－30Kpa，700°C）

③4硬绿泥石＋5红柱石＝2十字石＋石英＋3H2O（4－8Kpa，545°C）

根据本区出露的十字石蓝晶石片岩的矿物组合分析，推断本区的十字石应是反应①形成的。

2.3 红柱石的产状及特征

红柱石分布于本区西川河以南的较窄范围内，主要产于红柱云母片岩中。镜下呈柱状，变斑晶被白云母、绢云母等强烈交代而呈红柱石假象，受后构造影响，方形的截面多已呈菱形、拉长的菱形。其中可见炭质沿红柱石菱形对角线分布，为空晶石，大小约3.5～2.5mm。呈柱状的假象者，其晶体中可见十字石、蓝晶石、白云母等包体。红柱石的电子探针分析结果如表（2）。

3 蓝晶石、十字石、红柱石的形成条件

3.1 蓝晶石、十字石的形成条件和指示意义

蓝晶石、十字石作为本区低角闪岩相特征变质矿物主要产于本区的十字蓝晶二云母片岩、石榴云母片岩中，与本区北段高绿片岩相过渡的可能等变反应为[5]：

①硬绿泥石＋白云母＝十字石＋黑云母＋石英＋水

②硬绿泥石＋白云母＝蓝晶石＋黑云母＋水

为了判断十字石和蓝晶石的形成条件，笔者对本区与之共生的角闪石进行了电子探针分析，结果如表（2）。该区角闪石应属于钙质角闪石类的铁镁质角闪石或铁角闪石［$Mg^{2+}/(Mg^{2+}+Fe^{2+})=0.19$］。在$Al^{VI}$－Si变异图[6]（图1）上投影点落在大于5Kpa的压力型区域。此变异图是以5Kpa的压力为界的，说明本区角闪石的形成压力要大于5Kpa，而投影点没有超出图中最大可能的区，结合都城秋穗（1961）关于区域变质作用类型划分方案，该区的角闪石应属于中压条件下形成的。Hyndman，D.w.（1972）曾研究了不同变质相中角闪石中Al^{VI}含量的变化规律[7]，指出：在角闪岩相中，Al^{VI}为1.50－1.65，在麻粒岩相中为1.64－2.05。这说明角闪石中Al^{VI}含量越高，反映形成温度越高。Leake，E.（1971）指出：钙质角闪石中的Al^{VI}与压力成正相关关系，即Al^{VI}含量越高，压力越大。Закруткин，B，B（1968）根据钙质角闪石中的AL^{IV}/AL^{VI}来确定角闪石的寄主

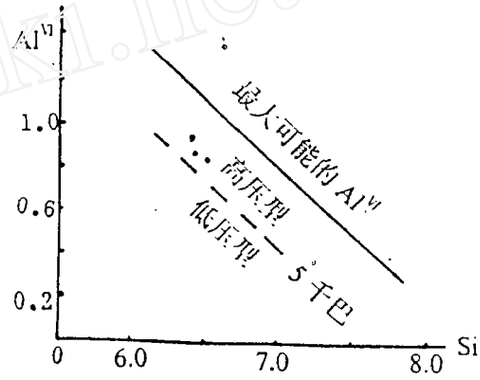

图1 角闪石压力与Al^{VI}－Si变异图

Fig.1 The relation of Al^{VI} and Si in Amphibole

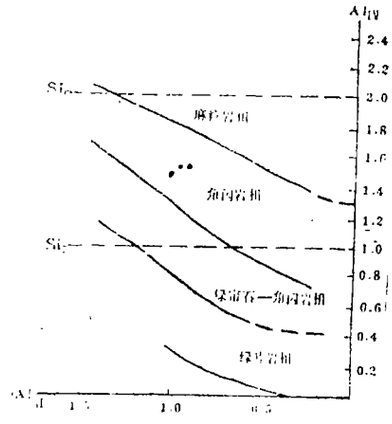

图2 角闪石中AL^{IV}与AL^{VI}变异图

Fig.2 The relation of AL^{IV} and AL^{VI} in Amphibole

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

岩石所属的变质相(图 2),从图中可知,三个投影点均落在角闪岩相,说明该区角闪石应属于中压低角闪岩相。这与图(1)的投影结果是一致的。因此本区十字石、蓝晶石也应形成于中压条件。

为了进一步定量计算十字石、蓝晶石的形成的温、压条件,笔者选取本区中与之共生的石榴石 - 黑云母[其中,石榴石的 $Mg^{2+}/(Mg^{2+} + Fe^{2+} + Mn) = 0.11$,黑云母的 $Mg^{2+}/(Mg^{2+} + Fe^{2+} + Mn) = 0.45$],利用石榴石 - 黑云母地质温度计来估算变质温度(图 3),再在石榴石 - 黑云母地质压力计上投影(图 4),计算结果为压力 5.5Kpa 左右,温度为 520 - 550℃之间。

Hoschck(1969)对形成十字石的变质反应作了很好的试验研究,得出下列反应及形成条件:

Ctd + Ms = St + Bi + Q + H2O: 1. PH_2O = 4Kpa, T = 540 + 15°C

PH_2O = 7Kpa, T = 565 + 15°C

笔者的估算结果与 Hoschck 的估算结果比较接近。因此,通过上述矿物成分特征所确定的温、压条件与实验资料基本吻合,可以确定本区十字石蓝晶石形成的变质温度在 520° - 550°C 之间,压力约 5 - 7Kpa,属于中压变质相系的特征变质矿物。

3.2　红柱石的形成条件和指示意义

为了定量计算红柱石形成的温、压条件,笔者选取本区中与之共生的石榴石 - 黑云母矿物对估算出该区形成的温度约为 570 - 600°C 之间[其中,石榴石的 $Mg^{2+}/(Mg^{2+} + Fe^{2+} + Mn) = 0.08$,黑云母的 $Mg^{2+}/(Mg^{2+} + Fe^{2+} + Mn) = 0.31$],压力小于 3Kpa,估算结果表明红柱石形成于热变质程度较低和变质压力较低的条件下。

4　结论

1. 本区等化学系列的岩石在不同的变质条件下出现了不同的特征变质矿物和变质矿物组合,在空间上从北向南规律分布。

2. 电子探针及矿物对温压估算表明:本区十字石和蓝晶石形成于中压条件(P = 5.5 - 7Kpa),属于低角闪岩相,温度为 520 - 550℃。而红柱石则受形成的温度控制(T = 570 - 600℃),形成压力小于 3Kpa。

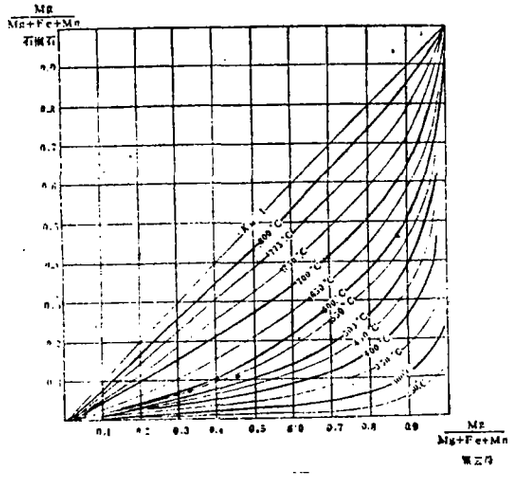

图 3　石榴石 - 黑云母矿物对与变质温度的关系

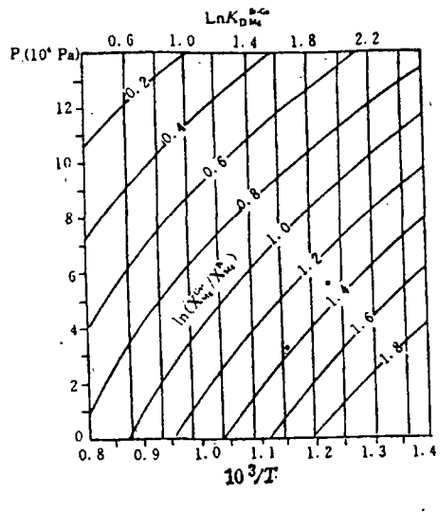

图 4　石榴石 - 黑云母矿物对与变质压力关系

Fig.3 - 4　The relation of metamorphic T &P and garnet - biotite assemblage

3. 西川河以北地区变质条件以压力为主,出现了压力型特征变质矿物十字石和蓝晶石。而西川河以南地区变质条件以温度为主,出现了温度型特征变质矿物红柱石。

4. 西川河断裂区域变质作用控制了本区的变质条件,且该断裂的南北两盘所经历的变质温压条件不同。

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

参考文献：

[1] 卢保奇，翁臻培，晋北吕梁群石榴石的特征及指示意义[J]，珠宝科技，2002，Vol.14，No2，1－5

[2] 山西省区域地质志，地质出版社[M]，1982

[3] 王赐银等，东天山苦水变质带变质作用及其成因研究[J]，南京大学学报，1992，28(4)

[4] 贺同兴等，变质岩石学，地质出版社[M]，1980，51－52

[5] Winkler，H.G.F.：Petrogenesis of metamorphic rocks[M]，1979

[6] Rasse，P. Contrib. Mineral. Petrol.，1974，45

[7] Hyndman，P.W.，petrology of Igneous and Metamorphic rocks，MCGraw－Hill Book Company，1972

The Characteristics and Forming Conditions of Staurolite and Kyanite and Sillimanite in The Metamorphic Rocks in LouFan District，ShanXi Province

LU Bao－qi[1]　WANG ci－yin[2]

（1. Gemology Department of Shanghai University，Shanghai 201800

（2. Dapartment of Earth Sciences，Nanjing University，Nanjing 210093）

Abstract：The characteristics and forming conditions of staurolite and kyanite and sillimanite in the metamorphic rocks in LouFan District，ShanXi Province have bee investigated. EPMA and the mineral paragenesis and the estimated calculation of geothermometer indicate that Staurolite and Kyanite in the North of the Xichuan are formed at the higher pressure（P = 5－7Kpa）and the lower temperature（T = 520－550℃），whereas Sillimanite in the South is controlled by relatively higher temperature（T = 570－600℃）and the lower pressure（P < 3Kpa），which is dominated by the fault of Xichuan river.

Key words：staurolite　kyanite　sillimanite　geothermometer　the fault of Xichuan river

（上接第 50 页）但同时也去除了几乎所有的对人体有益和必需的微量元素、无机矿物质，失去了饮水的营养功能。今年 3 月份“世界水日”之际，中国消费者协会向消费者发出了消费提醒：建议广大消费者不要长期饮用纯净水。

但是许多人并不清楚如何识别矿泉水和其他各种水。饮用天然矿泉水按照国家标准规定，必须是深部循环的地下水，包括自然喷出和人工打井，用水泵抽上来的；必须是未受污染的；它必须含有一定量的矿物质和微量元素，而且它的水质、水量、水温在一年四季都是相对稳定的，其 54 个水质指标的测试都必须符合饮用天然矿泉水国家标准规定的要求。具体的说，这些内容都要反映在其商标上。商标上必须标明矿泉水水源地名称及通过国家或省级鉴定认可的批准号，必须有采矿许可证号，标明产品名称“饮用天然矿泉水”，净含量、标准号、厂名、厂址；还必须标明宏量矿物质主要阴、阳离子（即 K^+、Ca^{+2}、Na^+、Mg^{+2}、HCO_3^-、SO_4^{-2}、Cl^-）的含量，主要微量元素的含量（如：锶、偏硅酸、锌等）、PH 值、溶解性总固体值等等。长期饮用矿泉水对预防心脏病、高血压等心血管疾病有一定的好处。

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net