

陕甘川交界区碧口群的绿帘石 及其岩石学意义*

魏 春 景

(北京大学地质学系, 北京 100871)

关键词: 绿帘石 绿纤石 变质作用 碧口群

提 要: 绿帘石广泛分布于碧口群各类变质岩石中, 但以变质基性岩(绿片岩和蓝片岩)为主。绿片岩中绿帘石 $X_{ps} = 0.23-0.37$, 但多为 $0.30-0.32$, 在不同样品中绿帘石成分变化很大, 但同一样品中绿帘石变化不明显, 说明其成分与全岩成分有关。蓝片岩中绿帘石 $X_{ps} = 0.22-0.36$, 其成分在同一样品中也有很大变化, 一般细粒者ps分子少, 而粗粒者ps分子多, 且常发育环带结构, 向中心ps分子减少, 说明蓝片岩可能经历了一个以降压为特征的变质过程。此外, 该群也偶见绿纤石, 但它们均被绿帘石包裹, 不能构成独立变质相。

1 前 言

绿帘石是低级变质岩中最常见的矿物之一。其结构通式为 $X_2Y_3Z_3O_{12}(OH)$, 其中X主要为Ca及少量的 Fe^{2+} 和 Mn^{2+} 等, Y为Al、 Fe^{3+} 、Ti等, Z为Si^[1]。绿帘石的化学成分变化常见主要表现在Y位上 Fe^{3+} 和Al之间的替代。据Dollase (1971)的研究, Y离子在晶格中为八面体配位, 单位晶胞中有3个八面体位置(M_1 、 M_2 、 M_3), 其中 M_1 和 M_2 主要为Al充填, M_3 位置由 Fe^{3+} 和Al充填。当 M_3 位置主要为Al时, 构成斜黝帘石端员分子 $[Ca_2Al_3Si_3O_{12}(OH)]$; 当 M_3 位置全部为 Fe^{3+} 时, 构成绿帘石端员分子 $[Ca_2Al_2Fe^{3+}Si_3O_{12}(OH)]$ 。绿帘石的成分变化常见介于这两个端员分子构成的类质同象系列之间。实际工作中为了表述方便, 常用理论绿帘石端员分子 $[Ca_2Fe^{3+}Si_3O_{12}(OH)$, pistacite 或ps]表示, 即 $X_{ps} = Fe^{3+}/(Fe^{3+} + Al)$ 。当 $X_{ps} < 0.15$ 时, 为斜黝帘石, 正光性; 当 $X_{ps} > 0.15$ 时为绿帘石, 负光性^[1,2]。

变质岩中绿帘石的成分变化与变质作用条件密切相关, 国外很多学者在这方面做过研究^[2-4], 一般认为随着变质作用温度、压力的增加, 绿帘石中ps分子降低。而国内在这方面研究还很少。

碧口群由一套低级变质的火山岩-沉积岩系组成, 绿帘石广泛地出现于各类岩石中, 偶尔绿帘石中也包裹绿纤石。本文主要讨论这两种矿物的成分特征及其岩石学意义。

* 国家自然科学基金资助项目, 也得到中关村联合测试基金资助。
本文于1992年6月26日收到, 1993年6月24日改回。

2 碧口群的地质及岩石学特征

碧口群分布于陕甘川交界区，在变质地质单元上位于扬子地台北缘前寒武纪低温高压变质带的最西段^[5]。由一套中晚元古代的双峰式火山岩及复理石型沉积岩组成，同位素年龄多为 $800-1000 \times 10^6 a$ ^[6]。自下而上可分成三套岩石组合：下部为双峰式火山岩组合（I 岩组），主要由变质基性火山岩和变质酸性火山岩组成，有时二者互层产出，夹少量变质沉积岩。岩石类型有绿片岩、白云母钠长片岩及少量的蓝片岩和千枚岩等。中部为火山碎屑沉积岩组合（II 岩组），主要岩石类型为绿泥（绿帘）白云母片岩，夹少量绿片岩及变质沉积岩类。上部为沉积岩组合（III 岩组），由变质长石杂砂岩和千枚岩互层产出，构成复理石岩系^①（如图 1）。三个岩组之间为断层接触。

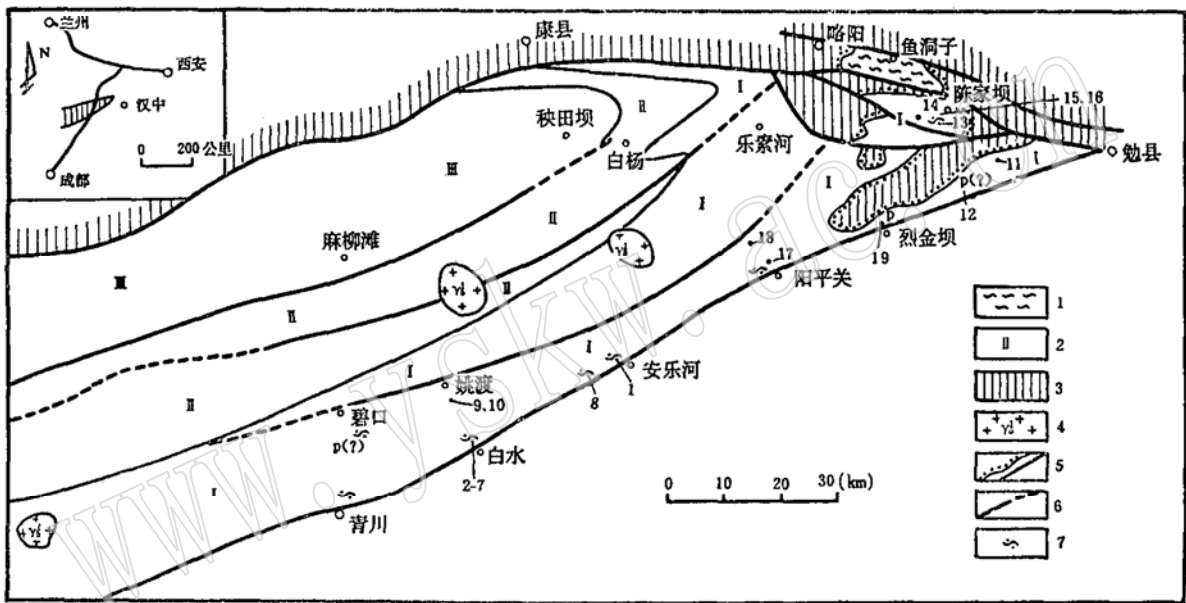


图 1 陕甘川交界区碧口群地质略图

Fig.1 Geological sketch map of the Bikou in the Shanxi-Gansu-Sichuan border area

1—晚太古界或早元古界鱼洞子群；2—碧口群及其岩组编号；3—震旦系及其以上盖层；4—印支期花岗质侵入体；5—角度不整合及岩组界线；6—断层；7—蓝片岩出露点；P 和 P(?)—绿帘石出露点和可能的出露点；图中数字为表 1 中的样品位置。

碧口群经历了蓝片岩相到绿片岩相的低级变质作用，其大面积区为低绿片岩相。在变质基性岩中出现的矿物组合为：绿泥石 + 绿帘石 + 阳起石 + 钠长石 + 铁氧化物 ± 石英 ± 方解石 ± 白云母 ± 黑硬绿泥石；变质酸性火山岩中出现的组合为：白云母 + 钠长石 + 石英 + 铁氧化物 ± 绿帘石 ± 黑硬绿泥石 ± 方解石；在变质泥质岩中出现的组合为：白云母 + 石英 + 铁氧化物 ± 钠长石 ± 绿泥石 ± 黑硬绿泥石。蓝片岩仅做为条带或岩片零星地出露于碧口群南部和东部的绿片岩中，即 I 岩组的下部层位中，其矿物组合为：钠质闪石（青铝闪石、镁钠闪石、铁蓝闪石）+ 绿帘石 + 绿泥石 + 钠长石 + 铁氧化物 ± 石英 ± 白云母。镜下常见钠质闪石

① 魏春景.1992.陕甘川三省交界区碧口群岩石学特征及变质作用. 博士论文, 北京大学地质学系.

转变成阳起石和绿泥石等退变质现象(指压力降低)。据角闪石的成分、有关的变质反应及实验资料,笔者确定蓝片岩相的条件为: $P=0.5-0.6\text{GPa}$, $t=300-400^\circ\text{C}$; 绿片岩相(I、II岩组)的温度与之相似,但压力要低一些,为 0.4GPa 左右, III岩组(绿片岩相)的压力更低。因此,碧口群的三个岩组可能代表了地壳不同层次的演化特征,后期差异性抬升使其置于同一地壳水平。因为蓝片岩条带或岩片主要分布在 I 岩组中,并且其中常发育向绿片岩相组合转变的现象(钠质闪石转变为阳起石和绿泥石),以及二者具有相似的温度条件和不同的压力条件,说明至少 I 岩组中绿片岩相变质作用可能与早期蓝片岩相地质体的抬升过程有关。现在还没有证据说明 II、III 岩组也经历过蓝片岩相阶段^①。

表 1 陕甘川交界区碧口群绿帘石的探针分析

Table 1 Electron microprobe analyses of epidotes from the Bikou in the Shanxi-Gansu-Sichuan border area

序号	1				2			3		4			5		6
样号	BBA-15				BBB-4			BBB-6		BBB-8			878-29-1		BBB-7
分析点	细粒 I	细粒 2	粗粒 C	粗粒 R	细粒 I	粗粒 C	粗粒 R	粗粒 C	粗粒 R	细粒 I	粗粒 C	粗粒 R	粗粒 C	粗粒 R	1
SiO ₂	39.11	38.18	36.88	35.31	36.89	35.00	35.95	35.92	36.11	37.54	35.54	34.76	36.66	36.64	37.12
Al ₂ O ₃	24.86	24.68	24.93	21.17	22.32	23.18	22.00	22.87	22.00	22.33	20.65	20.78	23.34	24.17	21.95
FeO	12.52	11.52	11.65	14.98	14.22	14.09	15.19	13.31	14.40	11.82	15.19	16.24	12.63	11.93	11.87
TiO ₂	0.00	0.00	0.07	0.00	0.03	0.13	0.00	0.03	0.03	0.09	0.30	0.47	0.17	0.20	0.06
MnO	0.23	0.23	0.04	0.18	0.34	0.62	0.29	0.20	0.33	0.10	0.00	0.13	1.08	0.49	0.16
MgO	0.21	0.05	0.03	0.01	0.06	0.03	0.06	0.55	0.41	0.05	0.08	0.05	0.05	0.05	0.06
CaO	19.35	19.67	23.51	21.90	20.14	21.13	22.44	22.55	21.89	24.88	21.83	22.73	21.94	22.37	25.08
Na ₂ O	0.12	0.03	0.03	0.09	0.00	0.01	0.00	0.04	0.04	0.00	0.01	0.03	0.07	0.03	0.06
K ₂ O	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.03
Σ	96.41	94.36	97.14	93.68	93.95	94.23	95.90	94.99	95.37	97.16	93.57	95.23	95.94	95.90	96.38

以25个氧为基础计算的晶体结构式

Si	6.140	6.125	5.841	5.859	6.085	5.752	5.823	5.851	5.869	5.937	5.906	5.719	5.904	5.880	5.926
Al	4.601	4.668	4.653	4.140	4.340	4.490	4.200	4.391	4.214	4.163	4.044	4.029	4.430	4.572	4.131
Fe ³⁺	1.399	1.332	1.543	2.079	1.483	1.937	2.058	1.813	1.957	1.563	2.073	2.234	1.701	1.601	1.585
Ti	0.000	0.000	0.008	0.006	0.004	0.016	0.000	0.004	0.004	0.011	0.037	0.058	0.021	0.024	0.007
Fe ²⁺	0.244	0.213	0.000	0.000	0.479	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.038	0.000	0.000	0.000	0.000
Mn	0.031	0.031	0.005	0.025	0.048	0.086	0.040	0.028	0.045	0.013	0.000	0.018	0.147	0.067	0.022
Mg	0.049	0.012	0.007	0.007	0.002	0.015	0.031	0.015	0.133	0.097	0.012	0.020	0.012	0.012	0.014
Ca	3.255	3.381	3.989	3.893	3.560	3.721	3.895	3.936	3.812	4.216	3.887	4.007	3.785	3.847	4.290
Na	0.037	0.009	0.029	0.000	0.003	0.000	0.013	0.013	0.013	0.000	0.003	0.010	0.022	0.009	0.019
K	0.002	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.002	0.000	0.004	0.000	0.000	0.002	0.000	0.004	0.006
X _{ps}	0.23	0.22	0.25	0.33	0.25	0.30	0.33	0.29	0.32	0.27	0.34	0.36	0.28	0.26	0.28

① 魏春景. 陕甘川三省交界区碧口群的变质作用及其地质意义. 特刊.

3 绿帘石的矿物学特征

绿帘石出现于区内的各类岩石中，但以变质基性岩为主。按产状可分成四种类型：(1) 做为气孔充填物，有时呈放射状集合体；(2) 呈脉体产出，常与钠长石、石英及绿泥石等共生；(3) 构成斜长石斑晶的假象；(4) 做为岩石中的基本组成矿物。在光性上，大多数为浅黄绿色，多色性弱，鲜艳的二级干涉色，不均匀，二轴晶负光性。仅少数做为斜长石斑晶假象的绿帘石为I级灰干涉色，或具有异常蓝干涉色，二轴晶正光性。粒度变化较大，细粒为0.01—0.02 mm，粗粒可达0.5 mm。下面主要讨论一下变质基性岩中绿帘石的成分特征。

对区内19个变质基性岩样品中的绿帘石进行了电子探针分析。其化学成分及按25个氧、16个阳离子数计算的晶体结构式列于表1，这些样品的 X_{ps} 分布如图2。由于样品较少，很难找出上述不同产状绿帘石成分的规律性。做为气孔充填物产出的两个样品BJS-3和

序号	7			8	9			10			11	12	13
样号	BBB-1			BGY-1	878-30-8			RS-47			BJS-3	BQ-5	878-25-8
分析点	细粒1	粗粒C	粗粒R	1	C	R	细粒1	粗粒C	粗粒CR	粗粒R	1	1	1
SiO ₂	35.76	36.47	37.51	37.46	36.44	36.64	38.23	34.90	34.59	34.99	38.80	36.31	38.85
Al ₂ O ₃	23.37	22.74	22.67	20.14	20.81	20.61	22.01	22.00	21.19	21.95	24.07	20.81	19.23
FeO	13.10	14.34	13.57	12.49	11.90	11.82	13.05	15.54	16.26	16.00	10.27	16.87	14.62
TiO ₂	0.13	0.00	0.00	0.64	0.06	0.00	0.00	0.03	0.00	0.07	0.00	0.10	0.07
MnO	0.13	0.15	0.24	0.12	0.16	0.14	0.28	0.31	0.11	0.18	0.22	0.11	0.25
MgO	0.20	0.01	0.04	0.06	0.14	0.03	0.06	0.05	0.04	0.02	0.05	0.05	0.03
CaO	21.34	22.59	21.93	25.85	25.55	25.77	25.05	22.14	22.61	22.48	24.75	22.58	21.63
Na ₂ O	0.03	0.01	0.03	0.01	0.11	0.06	0.02	0.01	0.05	0.03	0.02	0.02	0.19
K ₂ O	0.00	0.00	0.01	0.06	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Σ	94.06	96.32	96.00	96.82	95.19	95.07	98.71	95.00	94.85	95.71	98.17	96.85	94.88
以25个氧为基础计算的晶体结构式													
Si	5.856	5.864	6.037	5.987	5.895	5.939	5.979	5.728	5.709	5.708	6.052	5.843	6.368
Al	4.512	4.309	4.300	3.795	3.969	3.938	4.058	4.256	4.122	4.220	4.426	3.948	3.716
Fe ³⁺	1.752	1.928	1.636	1.669	1.610	1.602	1.707	2.133	2.244	2.183	1.340	2.270	1.593
Ti	0.016	0.000	0.000	0.077	0.007	0.000	0.000	0.004	0.000	0.009	0.000	0.012	0.009
Fe ²⁺	0.042	0.000	0.190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.411
Mn	0.018	0.020	0.033	0.016	0.022	0.019	0.037	0.043	0.015	0.025	0.029	0.015	0.035
Mg	0.049	0.002	0.010	0.014	0.034	0.007	0.014	0.012	0.010	0.005	0.012	0.012	0.007
Ca	3.745	3.892	3.782	4.427	4.429	4.476	4.198	3.894	3.998	3.929	4.136	3.893	3.799
Na	0.010	0.003	0.009	0.003	0.035	0.019	0.006	0.003	0.016	0.009	0.006	0.006	0.060
K	0.000	0.000	0.002	0.012	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002
X _{ps}	0.28	0.31	0.27	0.31	0.29	0.29	0.30	0.33	0.35	0.34	0.23	0.37	0.30

注：1-5为蓝片岩；6-19为绿片岩；C—颗粒核部；R—颗粒边部；Pm—绿纤石；Ep—绿帘石。其他未标明者均为绿

BQ-5, X_{ps} 分别为 0.23 和 0.37; 做为脉体产出的一个样品 BTL-3(1), $X_{ps}=0.31$, 与其主岩石中绿帘石成分相似; 做为斜长石斑晶假象的一个样品, $X_{ps}=0.09$, 但从光性上看, 大部分斑晶假象中的绿帘石的 ps 分子含量应高得多。

区内的变质基性岩为绿片岩和蓝片岩。对绿片岩来说, 其绿帘石的 $X_{ps}=0.23-0.37$, 大多数样品为 0.30—0.32, 不同样品中绿帘石的成分变化较大, 但在同一样品的不同颗粒之间变化较小(如 BL-5)。环带特征无明显规律性, 有的无环带或不明显, 如 878-30-8, RS-47, 有的出现反环带(核部富 Fe^{3+}), 如: BBB-1。对蓝片岩来说, 其中绿帘石的 X_{ps} 为 0.22—0.36, 不同样品中绿帘石的成分有些变化, 但同一样品的不同颗粒之间绿帘石的成分也有很大变化, 如图 3。一般来说, 细粒者(0.01—0.02mm) X_{ps} 偏低, 为 0.22—0.27, 粗粒者(0.2—0.5mm) X_{ps} 较高, 为 0.25—0.36, 与绿片岩中绿帘石相似。并且这些粗粒绿帘石常有环带结构, 大部分为正环带, 只有一个样品出现反环带(878-29-1), 但这一样品在 MnO 含量上有明显变化, 核部 MnO 为 1.08, 边部为 0.49。同一样品中绿帘石成分有如此大的变化, 说明变质作用并未达到平衡。

续表 1

14	15	16	17	18		19							
BM-10	878-27-7	878-27-11	878-26-4	BTL-3		BL-5							
1	1	1	1	1 脉体	2	1C-Pm	1R-Ep	2C-Pm	2R-Ep	2R-Ep	3C-Pm	4C-Pm	4R-Ep
38.72	37.92	38.42	38.79	36.55	39.91	36.46	37.30	35.85	36.91	38.16	36.74	37.34	37.93
21.89	29.61	19.37	23.56	20.57	20.63	19.76	21.41	19.56	21.47	22.26	20.60	20.43	21.53
16.02	4.27	14.66	11.08	13.12	12.35	9.38	13.12	13.64	12.84	11.82	7.84	8.98	11.87
0.18	0.09	0.03	0.09	0.03	0.06	0.09	0.09	0.03	0.03	0.00	0.03	0.09	0.06
0.19	0.08	0.17	0.06	0.10	0.10	0.00	0.14	0.14	0.08	0.10	0.04	0.06	0.04
0.04	0.06	0.06	0.06	0.01	0.05	2.53	0.07	4.30	0.07	0.19	2.84	2.62	0.07
19.38	25.91	21.91	24.98	25.01	23.31	23.69	24.36	20.02	25.54	25.27	25.20	24.61	25.28
0.70	0.24	0.00	0.02	0.02	1.14	0.06	0.00	0.03	0.01	0.02	0.03	0.01	0.00
0.01	0.01	0.01	0.02	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.10	0.00
97.13	98.19	94.63	98.66	95.40	97.54	92.56	96.49	93.57	96.94	97.82	93.34	94.24	96.79

以 25 个氧为基础计算的晶体结构式

6.170	5.786	6.320	6.033	5.923	6.263	5.985	5.972	5.831	5.874	5.999	5.941	6.006	6.038
4.112	5.326	3.757	4.320	3.930	3.817	3.824	4.042	3.751	4.028	4.126	3.926	3.874	4.041
1.724	0.545	1.598	1.441	1.778	1.621	1.222	1.757	1.591	1.709	1.554	1.060	1.116	1.580
0.022	0.010	0.004	0.011	0.004	0.007	0.011	0.011	0.004	0.004	0.000	0.004	0.011	0.007
0.411	0.000	0.419	0.000	0.000	0.000	0.134	0.000	0.265	0.000	0.000	0.000	0.092	0.000
0.026	0.010	0.024	0.008	0.014	0.013	0.000	0.019	0.019	0.011	0.013	0.005	0.008	0.005
0.009	0.014	0.015	0.014	0.002	0.012	0.619	0.017	1.042	0.017	0.045	0.684	0.628	0.017
3.309	4.236	3.862	4.163	4.343	3.920	4.167	4.179	3.489	4.362	4.257	4.366	4.241	4.312
0.216	0.071	0.000	0.006	0.006	0.347	0.019	0.003	0.009	0.003	0.006	0.009	0.003	0.000
0.002	0.002	0.002	0.004	0.000	0.000	0.019	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.021	0.000
0.30	0.09	0.30	0.25	0.31	0.30	0.24	0.30	0.30	0.30	0.27	0.22	0.22	0.28

帘石, 取样位置见图 1。北京大学地质系 EPM-810 型电子探针仪分析, 分析者: 舒桂明、李小凤。

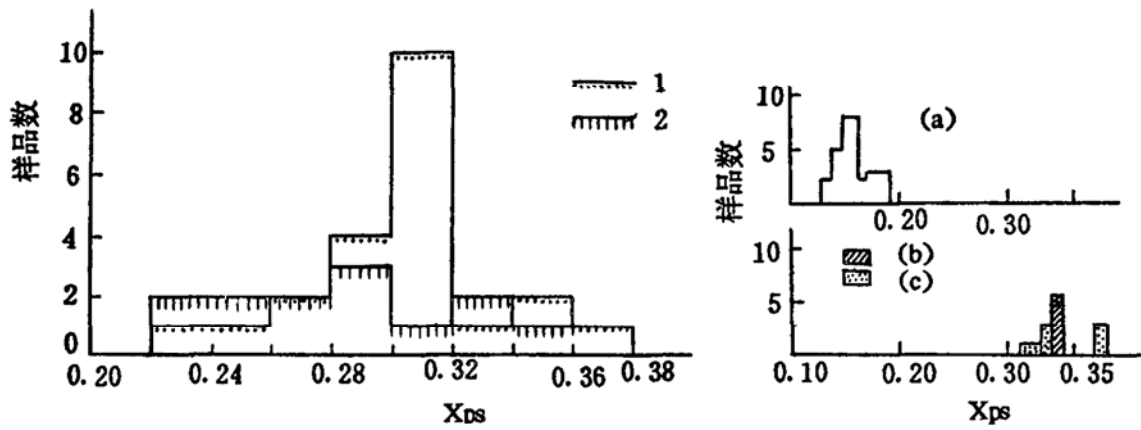


图 2 陕甘川交界区碧口群绿帘石的 X_{ps} 分布图 (左) 及其与其他地区的对比 (右)
 Fig. 2 X_{ps} distribution of epidotes from the Bikou Group in the Shanxi-Gansu-Sichuan border area (left) and the comparison with epidotes from other areas (right)
 1—绿片岩；2—蓝片岩；右图中 (a) 为弗兰西斯科；(b) 新西兰；(c) 日本三波川

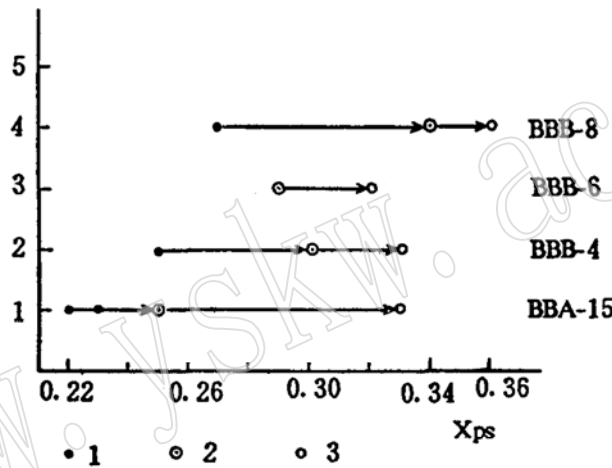


图 3 陕甘川交界区碧口群 4 个蓝片岩样品中绿帘石的 X_{ps} 变化
 Fig. 3 X_{ps} distribution of epidotes in four blueschist samples from the Bikou Group in the Shanxi-Gansu-Sichuan border area
 1—细粒；2—粗粒核部；3—粗粒边部

4 绿帘石的岩石学意义

很多学者研究发现,随着变质作用的温度、压力升高,绿帘石中ps分子减少。如:Winkler指出,从很低级变质作用向低级变质作用转变时,绿帘石从富铁绿帘石(负光性)转变为贫铁绿帘石(正光性),即黝帘石或斜黝帘石^[2]。Maruyama等在讨论从蓝片岩相向绿片岩相的转变时指出,随着变质作用压力降低,绿帘石中 X_{ps} 增高^[4]。如:弗兰西斯科 Ward Greek 蓝片岩中的绿帘石 $X_{ps}=0.12-0.18$, 变质作用的压力约为0.7GPa; 新西兰 Wakatipu湖区和三波川 Mikabu 地区蓝片岩中绿帘石的 X_{ps} 超过 0.31, 变质作用的压力约为 0.4 GPa (见图 3)。此外,绿帘石的成分还受到全岩成分及氧逸度等多种因素的影响^[7,8]。

本区绿帘石的成分变化可能反映了比较复杂的原因:(1) 不同样品中绿帘石的成分变

化可能与全岩成分有关,尤其是与氧逸度有关;(2)大部分绿片岩中绿帘石的 X_{ps} 与三波川和新西兰Wakatipu等地的蓝片岩相当,可能说明其变质作用条件相似;(3)蓝片岩中绿帘石成分的复杂性说明它们可能经历了或记录了更为复杂的变质历史。其中细粒绿帘石可能更多地记录了原来蓝片岩相的特征,而粗粒绿帘石可能经受了后期绿片岩相变质作用的改造。由细粒绿帘石至粗粒绿帘石的成分变化及后者(指粗粒)的环带特征表明了一个压力或温度降低的变质作用过程,若考虑闪石等矿物的变化,那么降压应该是主要因素。即早期蓝片岩相组合由于压力降低而变成绿片岩相组合。

此外,通过对绿帘石的研究,应引起注意的问题是本区大面积绿片岩相中的绿帘石 X_{ps} 多大于0.30,为负光性类型;国外很多绿片岩相区甚至角闪岩相区的绿帘石也均为负光性类型,如大不列颠哥伦比亚Vancouver岛上Karmutsen绿片岩的绿帘石 $X_{ps}=0.20-0.32$ ^[9],西太平洋Yap岛的低绿片岩相中绿帘石的 $X_{ps}=0.30-0.34$,绿帘角闪岩相中绿帘石的 X_{ps} 为0.21—0.37(平均为0.32),角闪岩相中绿帘石的 $X_{ps}=0.19-0.30$ (平均为0.28)^[10]。这说明Winkler以绿帘石的光性变化做为划分很低级变质作用和低级变质作用的界线可能没有多少实际意义,尽管这一标准仍被广泛引用于国内的变质岩教科书中。

5 绿纤石的特征及其岩石学意义

绿纤石是本区很稀少的变质矿物,在本次研究中,笔者在陕西宁强县烈金坝一带的绿片岩中发现了绿纤石(BL-5)。其组成矿物除绿纤石外还有绿帘石、阳起石、绿泥石、钠长石、方解石和铁氧化物等,为典型的绿片岩相组合。绿纤石周围均发育绿帘石环,此外不与其他矿物接触。在光性上为绿色—浅黄绿色多色性,中高正突起。其化学成分的探针分析结果列于表1。

绿纤石的结构通式为: $W_4X_2Y_4Z_6O_{20+x}(OH)_{8-x}$,其中 $W=Ca, Mn$, $X=(Mg, Fe^{2+}, Mn)_{2-x}(Fe^{3+}, Al)_x$, $Y=Al, Fe^{3+}$, $Z=Si, Al$ ^[11]。以16个阳离子数和24.5个氧计算了绿纤石的晶体结构式见表1。与绿帘石相比,绿纤石富MgO,本区绿纤石MgO含量为2.53—4.30,而与其伴生的绿帘石MgO为0.03—0.19;绿纤石中水含量高,所以电子探针分析的总量要比绿帘石低;另外,绿纤石中FeO也相对低些,但当MgO含量较高时,往往FeO含量也高,这可能与更多的Fe—Mg替代有关。

绿纤石的成分变化也主要表现在 Fe^{3+} 和Al的替代上,很多学者的野外及实验研究表明^[11,12],随着变质作用温度压力的增加,绿纤石中Al含量增加。另外,绿纤石的成分也明显受到全岩成分,微区成分及氧逸度的影响,以致于不同变质条件下绿纤石成分有较大重叠。本区绿纤石的 $X_{Fe^{3+}} [=Fe^{3+}/(Fe^{3+}+Al)]$ 一般为0.22—0.24,富Mg的类型可达到0.30,与伴生的绿帘石相似。在Coombs的Al-Fe*-Mg图解上(图4)^[11],本区绿纤石接近高压区的范围,与弗兰西斯科II型变质基性岩中绿纤石带的绿纤石相当^[13]。

关于碧口群中的绿纤石,以前也曾有过一些报导,如吴旭静等在水口及碧口两地发现含绿纤石的蓝片岩^[14],绿纤石存在于火山岩的杏仁体中,认为绿纤石与阳起石等共生,但没有绿纤石的成分资料,尚瑞钧等^①在勉县东边河发现了绿纤石,其成分为:SiO₂=39.44,

① 尚瑞钧、谢茂祥等,1991.扬子地块北缘中晚元古界变质作用(陕西部分),陕西省地矿局。

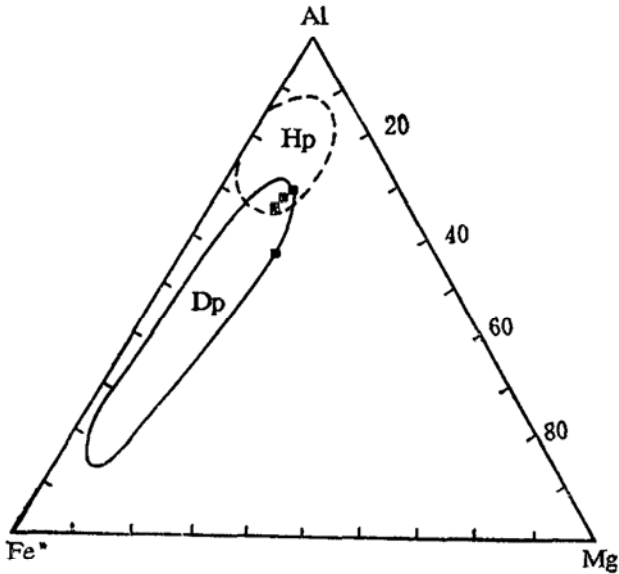


图4 陕甘川交界区碧口群绿帘石的Al-Fe*-Mg图解

Fig. 4 Al-Fe*-Mg diagram of pumpellyites from the Bikou Group in the Shanxi-Gansu-Sichuan border area

Hp为高压地质体；Dp为Del Peuto蛇绿岩^[14]

$Al_2O_3=24.48$, $FeO=8.16$, $MnO=0.17$, $MgO=2.47$, $CaO=24.84$, 它产于变质基性火山岩的杏仁体中, 为针柱状集合体, 并认为绿帘石与阳起石共生, 划分出这一地区的绿帘石-阳起石相。但笔者在同一岩石的杏仁体内得到的为绿帘石 (BQ-5), 并且与阳起石共生。所以, 即使绿帘石可能存在, 但它是否与阳起石共生构成绿帘石-阳起石相是值得怀疑的。

烈金坝一带的绿帘石均被绿帘石包裹, 而不与其他矿物接触, 代表一进变过程的残留矿物。如果吴旭静等的发现是可能的^[14], 那么, 它可能是蓝片岩中的一个组成矿物。否则也至少可以说明本区的绿片岩曾经历过更低温阶段。

6 结 论

(1) 碧口群绿片岩中的绿帘石主要为负光性类型, $X_{ps}=0.23-0.37$, 但多数为 $0.30-0.32$, 在同一样品中成分变化不明显, 说明绿帘石成分与全岩成分有关。

(2) 碧口群蓝片岩中的绿帘石也均为负光性类型, $X_{ps}=0.22-0.36$ 。同一样品中不同颗粒间成分变化较大, 一般细粒绿帘石ps分子较低, 而粗粒绿帘石ps分子较高, 且粗粒者多具环带特征, 向中心更富铝, 说明蓝片岩可能经历了一个以降压为特征的变质作用过程。

(3) 碧口群中的绿帘石均被绿帘石包裹, 为一进变过程的残留矿物, 并不与阳起石等共生, 构成一独立变质相。

本文的野外和室内工作都是在董申保教授指导下完成的, 野外工作中得到陕西区调队谢茂祥, 单振刚等人的帮助, 室内工作中得到王长秋、舒桂明和李小凤等老师的帮助, 谨此致谢。

参 考 文 献

- 1 Deer W A, Howie R A, Zussman J. Rock-forming minerals 1b. Disilicates and ring silicates. Longman London and New York, 1986. 1-247.

- 2 Winkler H G F. Petrogenesis of metamorphic rocks (fifth edition). Springer Verlag, New York Heidelberg Berlin, 1979. 68—74.
- 3 Nakajima T, Banno S, Suzuki T. Reactions leading to the disappearance of pumpellyite in low grade metamorphic rocks of the Sanbagawa metamorphic belt in Central Shikoku, Japan. *J. Petrol.*, 1977. 18: 263—284.
- 4 Maruyama S, Cho M, Liou J G. Experimental investigations of the blueschist-greenschist transition equilibria; pressure dependence of Al_2O_3 contents in sodic amphiboles—a new geobarometer. In: Evans, B. W. & Brown, E. H. ed. *Blueschists and eclogites*. Geol. Soc. Am. Memoir, 1986. 164: 1—16.
- 5 董申保等. 中国变质作用及其与地壳演化关系. 地质专报. 第4号. 北京: 地质出版社, 1986. 150—169.
- 6 赵祥生, 马少龙, 邹湘华, 修泽雷. 秦巴地区碧口群时代层序、火山作用及含矿性研究. 中国地质科学院西安地质矿产研究所所刊, 1990. 29: 1—125.
- 7 Holdaway M J. Thermal stability of Al-Fe epidote as a function of f_{O_2} and Fe content. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 1972, 37: 307—340.
- 8 Liou J G. Synthesis and stability relations of epidote, $Ca_2Al_2Fe^{3+}Si_3O_{12}(OH)$. *J. Petrol.*, 1973, 14: 381—413.
- 9 Cho M, Liou J G. Prehnite-pumpellyite to greenschist facies transition in the Karmutsen metabasites, Vancouver Island, B. C., *J. Petrol.*, 1987, 28(3): 417—443.
- 10 Maruyama S, Suzuki K, Liou J G. Greenschist-amphibolite transition equilibria at low pressure, *J. Petrol.*, 1983, 24(4): 583—604.
- 11 Coombs D S, Nakamura Y, Vuagnat M. Pumpellyite-actinolite schists of the Tavayanne Formation near Locche, Valais, Switzerland. *J. Petrol.*, 1976, 17: 440—471.
- 12 Schiffman P, Liou J G. Synthesis and stability relations of Mg-Al pumpellyite, $Ca_2Al_5MgSi_6O_{21}(OH)_7$, *J. Petrol.*, 1980, 21: 441—474.
- 13 Maruyama S, Liou J G. Petrology of Franciscan metabasites along the jadeite-glaucophane type facies Series, Cazadero, California, *J. Petrol.*, 1988, 29(1): 1—37.
- 14 吴旭静, 左国朝, 曲新国, 曹治霖 吴汉泉. 甘肃省文县碧口至四川白水街一带蓝片岩的发现及其意义. 中国北方板块构造文集(1). 北京: 地质出版社, 1986. 37—46.

Epidotes from Bikou Group in the Shanxi-Gansu-Sichuan Border Area and Their Petrological Significance

Wei Chunjing

(Department of Geology, Peking University, Beijing 100871)

Key words: epidote; pumpellyite; metamorphism; Bikou Group

Abstract

Epidotes are extensively seen in various metamorphic rocks of the Bikou Group, especially in such metabasites as greenschist and blueschist. X_{ps} values of epidotes from greenschist are in the range of 0.23—0.37, mostly 0.30—0.32. Epidotes from different samples show considerable compositional variation, whereas those from the same sample are quite similar in composition, indicating that their composition is related to bulk composition. As for epidotes from blueschist, $X_{ps}=0.22—0.36$, and their composition varies remarkably even in the same sample. In general, fine-grained epidotes contain relatively low ps while things are just the opposite for coarse-grained ones which commonly exhibit zonal structure characterized by the gradual decrease of ps towards the core, suggesting that the blueschist might have experienced a pressure-decline metamorphic process. In addition, a few pumpellyites are occasionally observed in the group; nevertheless, they are all enveloped in epidotes and fail to constitute an independent metamorphic facies.