

# 法国Beauvoir花岗岩中烧绿石族矿物的研究

王汝成

(南京大学地球科学系, 南京 210008)

Fontan F. Monchoux P.

(法国图鲁兹大学矿物学实验室, 31400)

**主题词** 烧绿石 细晶石 Beauvoir 花岗岩 法国

**提要** 在法国 Beauvoir 花岗岩中, 烧绿石-细晶石族矿物是重要的铌钽矿物之一, 主要出现在岩体的上部。大部分晶体为自形, 白色、淡黄色或淡绿色, 粒径为微米至毫米级。30 多个电子探针分析结果表明, 主要成分为 Na、Ca、U、Nb、Ta、F。从岩体的下部到上部, 烧绿石族矿物的 Nb/(Nb + Ta) 比值呈升高的趋势。这些矿物富含铀, UO<sub>2</sub> 含量最高达 15.05%, 部分烧绿石和细晶石为铀烧绿石和铀细晶石; 另一方面, 在岩体下部, 细晶石中 UO<sub>2</sub> 含量平均为 6.3%, 而在岩体上部, 烧绿石和细晶石中的 UO<sub>2</sub> 平均含量为 9.0%。

烧绿石-细晶石族矿物的晶体化学通式为:  $A_{2-m}B_2X_6Y_{1-n} \cdot pH_2O$  ( $m=0-2$ ;  $n=0-1$ ;  $p=0-?$ ), 其中 A 为 Ca、Na、U、Pb、K 等, B 为 Nb、Ta、Ti、Sn、W 等, X 为 O, Y 为 F、OH、O。本族矿物包括烧绿石、细晶石和贝塔石。在 B 位置, 当  $Nb + Ta > 2Ti$  时, 如果  $Nb > Ta$ , 为烧绿石, 如果  $Ta > Nb$ , 则为细晶石; 当  $Nb + Ta < 2Ti$ , 且铀含量很高时, 为贝塔石。由于 A 位置阳离子变化较为复杂, 因此, 在自然界中, 本族矿物存在近 20 个亚种, 如: 铀烧绿石、铀细晶石等。烧绿石一般产在超基性碱性岩、碳酸盐岩和伟晶岩中, 细晶石主要出现在花岗岩和花岗伟晶岩中<sup>[1]</sup>。

## 1 地质概况

Beauvoir 花岗岩位于法国中央高原北部, 它是欧洲著名的稀有金属矿化花岗岩, 其中主要矿物有石英、钠长石、钾长石、锂云母、黄玉、磷灰石、磷锂铝石等, 锡石、铌钽矿物、铍矿物等稀有金属矿物呈浸染状产出。由于地表高岭土化严重, 给进一步的地质研究带来一定的困难。为此, 法国有关部门于 1985 年联合在 Beauvoir 花岗岩中进行了深部钻探工作, 一个 900m 深的钻孔穿过该岩体。综合研究表明, 该岩体自上而下分为三个岩相: B I、B II、B III 岩相。在不同的岩相中, 矿物种类、矿物的化学成分和矿物组合都表现出不同的特征<sup>[2]</sup>。

Lacroix (1903) 首先在Beauvoir花岗岩中发现了与锡石、黄玉共生的烧绿石-细晶石矿物。此后, Termier (1904) 认为在该岩体中存在一种新矿物“新生钽铁矿(neotantalite)”, 但Aubert (1969) 证实这种矿物实际上是被钽铁矿交代的细晶石<sup>[3]</sup>。

## 2 烧绿石-细晶石族矿物的物理性质

烧绿石-细晶石族矿物是 Beauvoir 花岗岩中仅次于钽锰矿的重要的钽钽副矿物。它们广泛分布在岩体的 B I 岩相中, 但是向岩体深部其丰度降低, 在 B II 岩相中尚可少量出现, 在 B III 岩相中则完全未见, 特别是烧绿石只存在于岩体的最顶部, 并且是靠近围岩的部位, 它们具有特殊的成因(详见第4节)。烧绿石-细晶石主要呈八面体自形晶出现, 粒径为微米至毫米级。在岩体的不同部位, 烧绿石-细晶石的颜色有所不同, 在 B I 岩相中以白色、淡黄色为主, 在 B II 岩相中以淡绿色为主。

经重砂分选, 选取 B I 岩相中 3 个细晶石粉末样品进行 X 射线衍射分析。工作条件为: Fe 靶,  $Pb(NO_3)_2$  滤波, 电压 35 kV, 电流 30 mA。主要谱线为: 6.01(6)、3.14(5)、3.01(10)、2.61(5)、1.84(9)、1.57(9), 它们与钽细晶石的粉晶数据一致<sup>[4]</sup>。以  $\theta$  角大于  $40^\circ$  的主要谱线为基础求出  $\alpha$ , 再以外推法求出  $\alpha_0$ , 经计算,  $\alpha_0 = 10.412 \pm 0.005 \text{ \AA}$ , 这和其它地区的钽细晶石的  $\alpha_0$  值很相似(如阿尔泰伟晶岩<sup>[4]</sup>、美国 Harding 伟晶岩<sup>[5]</sup>)。

## 3 化学成分

### 3.1 一般特征

对近 20 个烧绿石-细晶石晶体进行了 38 个点的电子探针分析 (B I 岩相 30 个, B II 岩相 8 个), 选取有代表性的 10 个分析数据列于表 1。由于电子探针不能测出  $H_2O$ , 因此分析结果总量不足 100%, 一般介于 96%—98%。在计算矿物的晶体化学式时, 采用了 Cerny 等<sup>[6]</sup>建议的方法, 即假设: (1)  $\Sigma B = 2$ ; (2) Sn、Ti、W 只占据 B 位置。根据探针分析结果可以看出, Beauvoir 花岗岩中烧绿石-细晶石的主要成分有  $Nb_2O_5$ 、 $Ta_2O_5$ 、CaO、 $Na_2O$ 、 $UO_2$ 、 $WO_3$ 、F, 次要成分有 PbO、 $SnO_2$ 、 $TiO_2$  等。

### 3.2 化学计量配比成分

(1) B 位置: 主要由 Nb 和 Ta 占据, 单位晶胞中 Nb 的含量为 0.27—1.43, Ta 的含量为 0.46—1.68。Ti、Sn、W 亦占据该位置, 但含量较低。在 Nb—Ta—Ti 三角图解(图 1) 中, Beauvoir 花岗岩中的烧绿石-细晶石族矿物分布在 Nb—Ta 连线附近, 并主要集中在细晶石区域内, 但有少部分为烧绿石, 如前所述, 这些烧绿石具有特殊的成因意义。

(2) A 位置: 主要成分为 Ca、Na、U。单位晶胞中它们的含量变化范围分别为: 0.11—0.70、0.06—0.70 和 0.09—0.25。值得指出的是, Beauvoir 花岗岩中烧绿石-细晶石普遍富含铀,  $UO_2$  含量一般为 5%—10%, 因此, 可将它们称为富铀烧绿石-细晶石, 但少数  $UO_2$  含量可达 15.05% (表 3, No. 1), 根据烧绿石-细晶石的亚种的分类, 且对比已发表的其它地区的烧绿石-细晶石的化学成分<sup>[4,7]</sup>, 可将这部分烧绿石-细晶石定为铀烧绿石或铀细晶石(如表 1, No. 6 和表 3, No. 1)。

表 1 烧绿石-细晶石的具代表性的电子探针分析结果

Table 1 Representative electron microprobe analyses of pyrochlore-microlite

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Na <sub>2</sub> O	0.02	3.75	3.79	4.21	3.63	3.34	4.01	3.44	3.67	3.52
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	39.08	17.92	16.99	17.15	17.04	16.46	16.74	7.45	7.44	9.01
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	38.34	53.52	53.71	52.83	53.13	53.33	54.29	68.77	69.41	63.82
SnO <sub>2</sub>	0.48	1.27	1.23	1.15	1.38	0.93	1.20	0.45	0.42	0.67
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.11	0.03	0.06	0.09	0.52	0.05	0.04	0.02	0.04
FeO*	0.08	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00
MnO	0.08	0.00	0.02	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	2.64	6.30	7.08	6.23	6.25	5.62	6.59	7.38	7.90	6.51
WO <sub>3</sub>	2.97	2.12	2.81	3.22	2.57	1.14	2.65	2.91	3.33	2.45
UO <sub>2</sub>	8.05	10.24	8.63	10.66	10.76	12.94	9.21	6.01	4.60	8.82
PbO	0.00	0.41	0.26	0.43	0.23	0.70	0.34	0.00	0.22	0.52
F	0.00	1.67	1.78	2.01	1.84	1.36	2.15	2.86	2.77	1.53
F = 0 <sup>-</sup>	0.00	0.70	0.75	0.85	0.77	0.57	0.91	0.87	1.17	0.64
合计	91.74	96.61	95.60	97.10	96.19	95.57	96.37	98.44	98.11	96.25
Na <sup>+</sup>	0.003	0.611	0.625	0.696	0.601	0.563	0.661	0.579	0.611	0.610
Nb <sup>5+</sup>	1.216	0.681	0.653	0.661	0.657	0.647	0.643	0.292	0.289	0.364
Ta <sup>5+</sup>	0.718	1.223	1.242	1.225	1.233	1.261	1.255	1.624	1.621	1.552
Sn <sup>4+</sup>	0.013	0.043	0.042	0.028	0.047	0.032	0.041	0.016	0.014	0.024
Ti <sup>4+</sup>	0.000	0.007	0.002	0.004	0.006	0.034	0.003	0.003	0.001	0.003
Fe <sup>2+</sup>	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000
Mn <sup>2+</sup>	0.005	0.000	0.001	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ca <sup>2+</sup>	0.195	0.567	0.645	0.569	0.571	0.524	0.600	0.686	0.727	0.624
W <sup>6+</sup>	0.053	0.046	0.062	0.071	0.057	0.025	0.058	0.065	0.074	0.057
U <sup>4+</sup>	0.123	0.192	0.163	0.202	0.204	0.250	0.174	0.116	0.088	0.176
Pb <sup>2+</sup>	0.000	0.009	0.006	0.010	0.005	0.016	0.008	0.000	0.005	0.013
F	0.000	0.444	0.478	0.542	0.497	0.374	0.578	0.785	0.752	0.433
OH**	1.000	0.556	0.522	0.454	0.503	0.626	0.422	0.215	0.248	0.567

\* FeO为全铁含量; \*\* OH=1.000-F; 1-7: B I岩相; 8-10: B II岩相; 工作条件: 加速电压 15 kV, 束流 30 nA, 计数时间 10 秒; 使用仪器: Cameca SX 50 型电子探针; 测试单位: 法国 Toulouse 大学电子探针实验室; 测试者: F. Autefage

(3) Y位置: 由于分析技术的限制, 只分析了F。除F为主要成分外, (OH) 亦可能在该位置出现。

### 3.3 水化作用

水化作用主要在细晶石晶体的边缘或沿微裂隙两侧常见, 而在烧绿石晶体中未见。水化作用构成一个乳白色的边圈, 这种现象甚至可以在双目镜下见到。水化作用造成矿物的化学成分明显变化, 主要反映在A位置和Y位置元素含量的变化, 包括: (1) Na、Ca、U含量明显降低, 但水化过程中有K、Ba等组分的带入; (2) F含量的降低; (3) 由于用电子探针无法测出H<sub>2</sub>O, 所以遭受水化作用的部分, 其分析结果总量偏低, 一般低于95%, 有些甚至低于80%。

### 3.4 不同岩相中化学成分的特征

如前所述, 在 Beauvoir 花岗岩中, 烧绿石-细晶石分布于B I和B II岩相中, 从化学成

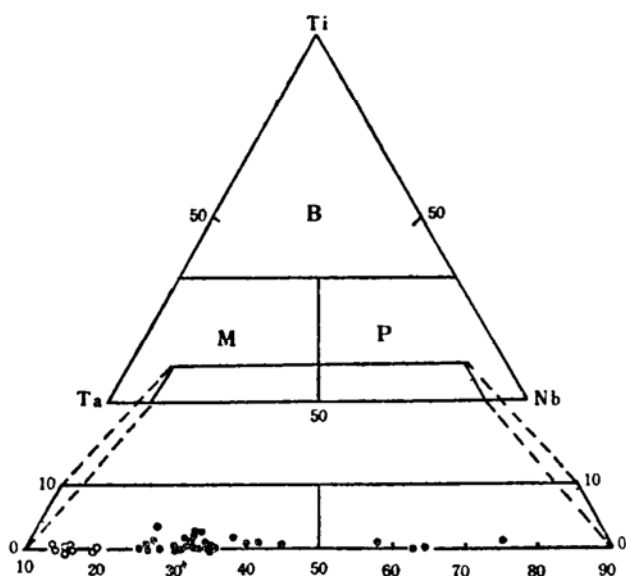


图 1 烧绿石-细晶石的化学成分在 Nb-Ta-Ti 图解中的投影

B—贝塔石；P—烧绿石；M—细晶石；●—B I 岩相；○—B II 岩相

Fig. 1 Nb-Ta-Ti diagram of pyrochlore-microlite

B—Betalite; P—Pyrochlore; M—Microlite; ●—B I facies; ○—B II facies

分方面来看，它们也表现出各自的特征。

在 B II 岩相，烧绿石-细晶石族矿物为细晶石端员，统计 8 个分析结果，得出  $Nb/(Nb + Ta)$  原子比值平均为 0.16。在 B I 岩相中，绝大部分也为细晶石，但  $Nb/(Nb + Ta)$  比值为 0.32。特别是在岩体顶部出现了烧绿石， $Nb/(Nb + Ta)$  比值平均为 0.67。说明烧绿石-细晶石族矿物的结晶演化特点是趋向于富铌。

Beauvoir 花岗岩中烧绿石-细晶石普遍富含铀。在 B II 岩相，细晶石中的  $UO_2$  含量为 4.6%—8.8%，平均含量为 6.3%；而在 B I 岩相中，烧绿石和细晶石的铀含量明显升高， $UO_2$  平均含量为 9.0%，部分可分成铀烧绿石或铀细晶石。

#### 4 带状构造

用扫描电子显微镜对部分烧绿石-细晶石晶体进行了详细研究表明，它们表现出特有的环带构造。从形态特征来看，这种构造近似同心状，一般由 3—4 个不同的环带组成，带与带之间的界限清楚，每个带的宽度变化较大，一般为  $50 \mu m$ （照片 1）。尤为特别的是，在 Beauvoir 花岗岩中的细晶石中常有一个孔状带出现（照片 1 中标记 3），该带在双目镜下为乳白色至浅黄色，在矿相镜下，以反射率低、多孔为特征。运用电子探针对不同的环带进行了分析，其结果列于表 2 中。图 2 显示出从晶体的中心到边缘，带与带之间存在 Nb 和 Ta 的周期性升高与降低的规律，这和 Beauvoir 花岗岩中铌锰矿的环带构造相同<sup>[8]</sup>，是由富铌带、富钽带交替出现所构成的韵律式环带构造。在 A 位置，Na、Ca 表现出和 Nb 一样的变化特征，而 U 正相反，和 Ta 的变化一样。孔状带的化学成分较其它带有所不同，Ta 含量高，但 Na、

表 2 环带状细晶石不同环带的电子探针分析结果

Table 2 Electron microprobe analyses of the different zones in zoned microlite

	1	2	3	4	5
Na <sub>2</sub> O	3.58	4.00	0.03	4.08	3.34
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	13.18	16.04	8.26	12.76	16.47
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	60.93	58.99	73.68	61.83	59.93
SnO <sub>2</sub>	0.84	0.39	0.55	0.29	0.45
TiO <sub>2</sub>	0.03	0.04	0.12	0.12	0.13
FeO*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MnO	0.00	0.03	0.43	0.02	0.10
CaO	7.20	8.29	1.79	3.11	7.41
WO <sub>3</sub>	2.49	3.42	1.34	1.39	2.23
UO <sub>2</sub>	8.50	4.88	6.76	6.77	6.39
PbO	0.41	0.05	0.41	0.19	0.14
F	1.35	2.97	0.00	2.51	2.45
F-O <sup>-</sup>	0.57	1.25	0.00	1.06	1.03
合计	97.94	97.36	93.42	97.04	98.06
Na <sup>+</sup>	0.590	0.637	0.005	0.683	0.526
Nb <sup>5+</sup>	0.506	0.595	0.306	0.498	0.605
Ta <sup>3+</sup>	1.408	1.317	1.641	1.453	1.325
Sn <sup>4+</sup>	0.028	0.013	0.018	0.010	0.015
Ti <sup>4+</sup>	0.002	0.002	0.007	0.003	0.003
Fe <sup>2+</sup>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mn <sup>2+</sup>	0.000	0.002	0.033	0.001	0.007
Ca <sup>2+</sup>	0.656	0.729	0.157	0.753	0.645
W <sup>6+</sup>	0.055	0.073	0.000	0.031	0.048
U <sup>4+</sup>	0.161	0.089	0.028	0.130	0.116
Pb <sup>2+</sup>	0.009	0.001	0.123	0.004	0.003
F	0.363	0.771	0.009	0.686	0.630
OH**	0.637	0.229	0.991	0.314	0.370

\* FeO 为全铁含量; \*\* OH = 1.000 - F; 1-5 分别代表照片 1 中的 5 个环带; 测试条件和测试单位同表 1

Ca、F 含量显著降低。细晶石的韵律环带构造的形成与细晶石晶体生长过程中化学势能的变化有关, 是在远离化学平衡的状态中, 晶体表面和周围环境(岩浆)之间化学组分的非平衡状态发生振荡变化而造成的。

铌铁矿交代烧绿石-细晶石的现象在文献中已有报道<sup>[1]</sup>, 而在 Beauvoir 花岗岩的顶部, 常可见到一种相反的交代构造。这种现象总是发育在铌锰矿的边缘, 有时烧绿石单独出现, 有时与细晶石一起出现, 但由于烧绿石和细晶石的粒径均小于 50 μm, 在一般光学显微镜下观察很容易忽略, 但借助于电子显微镜可以很清楚地观察到烧绿石-细晶石和铌锰矿之间的交代关系(图 3), 从中仍能看到交代残留的铌锰矿和烧绿石。用电子探针对该图中的不同部分逐一进行分析(表 3)。从铌锰矿、烧绿石到细晶石, Nb/(Nb+Ta) 原子比值依次为 0.88、0.76 和 0.45。根据这种交代构造出现的产状和形态特征, 笔者认为岩浆演化最晚阶段的热液交代了铌锰矿晶体的边缘形成了烧绿石, 然后烧绿石又可能会被细晶石交代, 形成特有的完整的交代构造, 即:

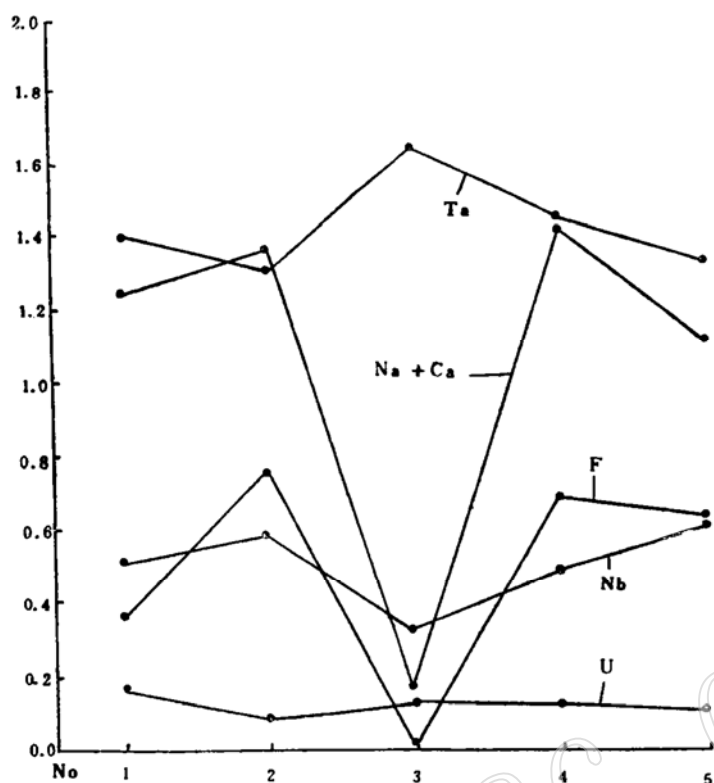


图 2 环带状细晶石的化学成分的变化

Fig. 2 Variation in chemical composition of the zoned microlite

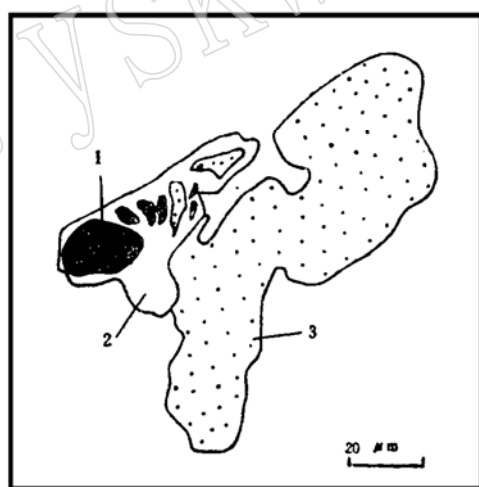


图 3 具交代构造的烧绿石-细晶石 (根据扫描电镜照片放大)

1—烧绿石; 2—细晶石; 3—铌锰矿

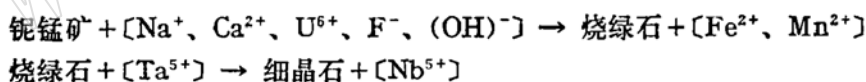
Fig. 3 Pyrochlore-microlite displaying replacement structure (SEM photo, enlarged)

1—Pyrochlore; 2—Microlite; 3—Manganocolumbite

表 3 具交代构造的烧绿石、细晶石和铌锰矿的电子探针分析结果  
 Table 3 Electron microprobe analyses of pyrochlore, microlite and manganocolumbite showing replacement structure

	烧绿石	细晶石	铌锰矿**
Na <sub>2</sub> O	0.41	0.14	0.01
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	43.51	25.14	65.96
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	23.01	51.29	15.45
SnO <sub>2</sub>	0.89	0.59	0.07
TiO <sub>2</sub>	0.51	0.22	0.16
FeO*	0.06	0.25	2.36
MnO	0.36	0.91	16.02
CaO	1.69	1.21	0.05
WO <sub>3</sub>	3.05	0.88	0.49
UO <sub>2</sub>	15.05	10.98	0.00
PbO	1.48	0.81	0.00
F	0.06	0.05	0.00
F-O <sup>-</sup>	0.02	0.02	0.00
合计	90.06	92.45	100.60
Na <sup>+</sup>	0.058	0.021	0.000
Nb <sup>5+</sup>	1.433	0.876	1.767
Ta <sup>5+</sup>	0.456	1.076	0.249
Sn <sup>4+</sup>	0.026	0.018	0.013
Ti <sup>4+</sup>	0.028	0.013	0.007
Fe <sup>2+</sup>	0.004	0.016	0.117
Mn <sup>2+</sup>	0.022	0.059	0.804
Ca <sup>2+</sup>	0.132	0.100	0.001
W <sup>6+</sup>	0.053	0.018	0.007
U <sup>4+</sup>	0.244	0.190	0.000
Pb <sup>2+</sup>	0.029	0.017	0.000
F	0.014	0.012	0.000
OH***	0.986	0.988	1.000

\* FeO为全铁含量；\*\* 以氧原子数为6计算铌锰矿的晶体化学式；\*\*\* OH = 1.000 - F；测试条件和测试单位同表 1



## 5 小结

(1) 文献资料已表明, 烧绿石只在岩浆成因的碳酸岩或花岗伟晶岩中存在<sup>[1,7]</sup>, 说明这种矿物不仅可以在高温条件下形成, 也可以在富气化热液的环境中结晶<sup>[9]</sup>。在Beauvoir花岗岩的顶部首次发现的富铀烧绿石和铀烧绿石, 显然代表了岩体演化的最晚阶段, 因此, 从另一方面证实了 Beauvoir 花岗岩体顶部表现出似伟晶岩的特征<sup>[10]</sup>。

(2) 在 Beauvoir 花岗岩中主要铌钽矿物有铌锰矿和烧绿石-细晶石族矿物, 它们的化

学成分和在不同岩相中的富集程度直接影响了全岩的 Nb、Ta 地球化学特征。从岩体的下部到上部, 铌锰矿的  $Ta/(Nb+Ta)$  比值是升高的, 并在 B I 岩相出现了多量的铌锰矿<sup>[2]</sup>, 而烧绿石-细晶石族矿物的  $Ta/(Nb+Ta)$  比值表现为降低的趋势。虽然如此, 由于从数量上讲, 铌锰矿要远远多于烧绿石-细晶石, 所以全岩的  $Ta_2O_5/(Nb_2O_5+Ta_2O_5)$  比值从下部到上部仍表现为升高的特征。

(3) Beauvoir 花岗岩中烧绿石-细晶石的另一个重要特征是富含铀, 并且在岩体顶部铀含量达到最高 ( $UO_2$  达 15.05%)。实验资料表明<sup>[11]</sup>, 铀在岩浆中可以有  $U^{4+}$ 、 $U^{5+}$ 、 $U^{6+}$  三种存在形式, 并且三者之间的相对含量与岩浆体系中  $fO_2$  的高低有关。铀在烧绿石-细晶石中应以  $U^{6+}$  形式为主<sup>[5]</sup>。因此, 在 Beauvoir 花岗岩结晶的早期,  $fO_2$  较低<sup>[12,13]</sup>, 铀主要以  $U^{4+}$  形式存在, 且此时岩浆中铀含量亦最高, 这将有利于晶质铀矿的晶出<sup>[12]</sup>; 在岩浆结晶的晚期,  $fO_2$  明显升高,  $U^{6+}$  成为岩浆中铀的主要存在形式, 晶质铀矿逐渐消失, 而铀则主要赋存在烧绿石-细晶石族矿物中。

### 参 考 文 献

- 1 Cerny P and Ercit T S. Mineralogy of niobium and tantalum: crystal chemical relationships, paragenetic aspects and their economic implications. In: Moller P., Cerny P., Saupe F., eds. Lanthanides, tantalum and niobium, Springer, 1989, 27-79.
- 2 Wang R C et al. Interrelations et evolution comparee de la cassiterite et des niobotantalates dans les differents facies du granite de Beauvoir (Massif d'Echassieres). Geol. France, 1987, 2-3, 237-245.
- 3 Aubert G. Les coupoles granitiques de Montebrias et d'Echassieres (Massif central francais) et la genese de leurs mineralisations en Sn, Li, W et Be. Memoire BRGM, 1969, 46, 345.
- 4 王贤觉等. 阿尔泰伟晶岩矿物学研究. 北京: 科学出版社, 1981, 29-35.
- 5 Lumpkin GR et al. Mineralogy and radiation effects of microlite from the Harding pegmatite, Taos County, New Mexico. Am. Mineral., 1986, 71, 569-588.
- 6 Cerny P et al. Fractionation trends of the Nb and Ta bearing oxide minerals in the Greer Lake pegmatitic granite and its pegmatitic aureole, S. E. Manitoba. Am. Mineral., 1986, 71, 501-517.
- 7 王濮等. 系统矿物学 (上册). 北京: 地质出版社, 1987, 451-458.
- 8 王汝成等. 法国中央高原 Beauvoir 花岗岩中铌钽矿的带状构造: 类型、化学成分和形成条件. 矿物学报, 1991, 11(3), 225-233.
- 9 Moh G H et al. Ore minerals: an experimental approach and new observations. Neues. J. Mineral. Abh., 1989, 160, 1-69.
- 10 Wang R C et al. Mineraux disseminés comme indicateurs du caractère pegmatitique du granite de Beauvoir, Massif d'Echassieres, Allier, France. Can. Mineral., 1992, 30, 763-770.
- 11 Calas G. Etude experimentale du comportement de l'uranium dans les magmas, états d'oxydation et coordinance. Geoch. Cosmoch. Acta, 1979, 43, 1521-1531.
- 12 Cuney M. and Bround M. Mineralogie et geochemie de U et Th dans le granite de Beauvoir et les mic-schistes. Geol. France, 1987, 2-3, 247-257.
- 13 王汝成. 法国 Echassieres 地区石英网脉中黑钨矿及共生矿物的固溶体研究. 岩石矿物学杂志, 1991, 10(4), 369-378.



## Study on Pyrochlore-Group Minerals from the Beauvoir Granite, France

Wang Rucheng

(Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing 210008)

Fontan F. and Monchoix P.

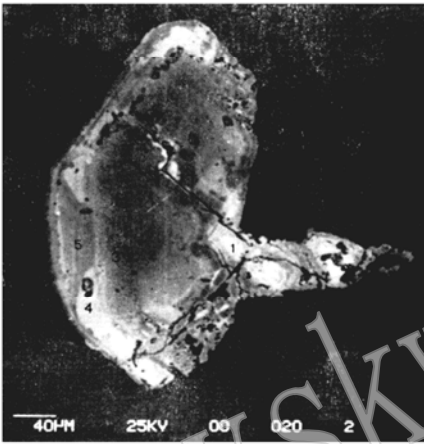
(Lab. Mineralogy, University of Toulouse, France 31400)

**Key words:** Pyrochlore; microlite; the Beauvoir granite; France

### Abstract

Minerals of the pyrochlore-microlite group belong to principal Nb, Ta accessory minerals in the Beauvoir granite, France. Most of their grains are euhedral with colors ranging from white, yellowish to greenish. Their sizes vary from microns to millimeters. Microlite is absent in the B III facies and rare in the B II facies, but very abundant in the B I facies; pyrochlore appears only at the top of the Beauvoir granite. Over 30 electron-microprobe analyses are consistent with the general crystalchemical formula:  $A_{2-m}B_2X_6Y_{1-n} \cdot pH_2O$ , where principally A=Ca, Na, U; B=Nb, Ta, W, Sn, Ti; X=O; Y=F, OH. The hydration often appears at the rim or along micro-fracture in grains of pyrochlore-microlite, accompanied by leaching of Na, Ca, U from the A site and of F from the Y site, and by the introduction of K, Ba into the A site. The Nb/(Nb+Ta) ratio of the pyrochlore-group minerals has an increasing tendency upward in the granite body. These minerals are generally rich in uranium, the highest percentage found of  $UO_2$  is 15.05%. On the one hand, certain pyrochlore-microlites may be considered as uranpyrochlore-uranmicrolite, and on the other hand, microlite of the lower part contains on average 6.3%  $UO_2$ ; in contrast, microlite and pyrochlore of the upper part have the mean content of 9.0%. Pyrochlore-group minerals show zoning structure, due chemically to the oscillatory variations in Nb and Ta. At the top of the granite, minerals of this group may replace manganocolumbite, leading to the formation of a special replacement structure related to the late stage subsolidus interaction between magma and meteoric fluid.

王汝成：法国 Beauvoir 花岗岩中烧绿石族矿物的研究



照片 1 具环带构造的细晶石晶体 (Cambridge Stereo Scan 扫描电镜 × 200)  
Photo 1 Zoned microlite crystal  
(Cambridge Stereo Scan SEM × 200)