

# 层硅铈钛矿的矿物学研究

楼凤升

张荣英

刘汉儒

(核工业部三所) (湖北地质实验研究所) (沈阳240所)

**主题词:** 层硅铈钛矿; 矿物学; 层状结构; X射线衍射; 红外吸收光谱; 拉曼光谱

**提 要:** 层硅铈钛矿是一种罕见又多变的矿物, 因而至今未见详细报导。笔者在赛马碱性岩体的铀、钍、铀、稀土巨型综合矿床中获得了各种成因的新鲜矿样, 作了系统的研究, 指出该矿物为单斜晶系、具类似2M型白云母结构的层状钛硅酸盐。

层硅铈钛矿是一种罕见又多变的矿物, 产于苏联科拉半岛洛沃泽和格陵兰依里毛萨克等碱性岩中<sup>[1]</sup>。吴钟骆等在我国河北阳原碱性杂岩中亦有发现<sup>[2]</sup>, 但描述极其简单。现已查明, 组成赛马碱性岩巨型铀、钍、铀、稀土综合矿床的主要工业矿物是层硅铈钛矿, 它具有岩浆、伟晶、气液三种成矿类型, 在地表下250—800米处偶而能获得结晶良好、新鲜的矿样, 笔者对其进行了系统研究。

## 一、产状和矿物共生组合

层硅铈钛矿产于赛马碱性杂岩体中, 该岩体位于天山—阴山纬向构造体系东延部分与新华夏构造体系第二隆起带相交部位。区内出露有前寒武系变粒岩、大理岩、千枚岩、片岩、石英岩、页岩; 奥陶系灰岩和板岩; 三迭系火山岩; 侏罗系砂砾岩、页岩及煤系。区域南北出露有大量燕山期花岗岩, 碱性岩发育于中部。据核工业部三所同位素室所作的8个黑云母钾氩法、4个层硅铈钛矿铀-钍-铅法测得的地质年龄为220—240百万年, 属印支期, 而不是前人认为的燕山期<sup>[3]</sup>。

碱性杂岩体分三期: 第一期为碱性正长岩; 第二期是黑云母霓霞正长岩; 第三期为矿化期, 是草绿色霓霞正长岩。

碱性岩的组成矿物为: 微斜长石27—45%; 霞石20—30%; 霓石30—40%; 还有异性石、闪叶石, 层硅铈钛矿最高可达30—35%。并查明有氟碳钙铈矿、水硅铈钛矿、铈铀钙铈矿、富铀烧绿石、钍石、方钍石、沥青铀矿、铈磷灰石等70余种矿物。

## 二、物理性质

层硅铈钛矿的集合体呈多种形态出现: 岩浆期多呈星点状(照片1); 伟晶期常呈束状、

放射状(照片2);气成热液期呈脉状(照片3);单晶体外形为板状、长柱状(照片4),一般长0.2—2厘米,最长可达8—10厘米。柱面上常发育有平行柱体的纵纹。横断面为不规则多边形(照片5)。矿物呈黄色至浅黄色,条痕灰黄色,新鲜的具玻璃光泽,不平坦状断口,(100)面解理很清楚,摩氏硬度4—5,显微硬度475kg/mm<sup>2</sup>,比重瓶法测得比重为3.23—3.30,比磁化系数 $2.5 \times 10^{-6} \text{cm}^3/\text{g}$ ,在乙醇中测得的介电常数为7.58(KV=2.5)。

光学性质:单偏光下透明、无色至微黄色,具微弱多色性,吸收公式 $N_g > N_m > N_p$ 。用双变法测得折射率: $N_g=1.661$ , $N_m=1.653$ , $N_p=1.651$ 。在正交偏光下,环带结构和聚片双晶发育,干涉色为一级浅黄至一级黄,有时显靛蓝色异常干涉色,近于平行消光,负延性,二轴晶,正光性, $2V=80^\circ$ 。兹将层硅铈钛矿族有关矿物的光性对比列于表1。

由于矿物含铈、钽放射性元素,在衰变过程中,离子发生相当大的位移,并使其处于无序状态,加之矿物成分复杂,含有多种易形成络离子的变价元素,类质同像发育,使矿物发生变生作用,或易受各种蚀变作用影响,如碳酸盐化可形成氟碳钙铈矿等稀土碳酸盐,表生作用易变成水硅铈钛矿。所有这些使层硅铈钛矿在显微镜下显得异常复杂多变,有的形成均质化,有的具碳酸盐高级干涉色,其分布可以很不均匀,程度也可相差很大,有的均质化从中心向外发展,而且界线清楚(照片6)。

表1 层硅铈钛矿族矿物光性对比

Table 1 Optical properties of mosandrite group

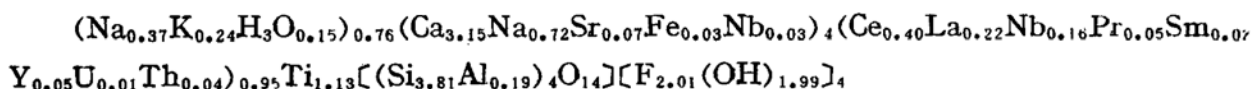
| 矿物名称                  | 晶系     | 光轴角        | 折 射 率         |       |       | 双晶    | 主 岩 | 资料来源   |     |
|-----------------------|--------|------------|---------------|-------|-------|-------|-----|--------|-----|
|                       |        |            | $N_g$         | $N_m$ | $N_p$ |       |     |        |     |
| 层<br>硅<br>铈<br>钛<br>矿 | B—杨    | 单斜         | $80^\circ$    | 1.661 | 1.653 | 1.651 | 聚片  | 霓霞正长岩  | 本文  |
|                       | 文<br>献 | 三斜         | $43^\circ$    | 1.681 | 1.668 | 1.665 | 聚片  | 方钠石正长岩 | [4] |
|                       |        | 单斜         | —             | —     | —     | —     | —   | —      | [6] |
|                       |        | 单斜         | $43-87^\circ$ | 1.651 | 1.645 | 1.643 | 聚片  | 霞石正长岩  | [4] |
| 水层硅铈钛矿                | 单斜     | $74^\circ$ | 1.658         | 1.649 | 1.646 | —     | 伟晶岩 | [4]    |     |
| 水层硅铈钛矿                | 三斜     | —          | —             | —     | —     | —     | —   | [7]    |     |

### 三、化学成分与化学式

将新鲜晶体(B-杨,伟晶岩型)和蚀变变生的(C-灰,气成热液型)层硅铈钛矿的化学成分与有关的文献资料对比列于表2。稀土含量配分列于表3。

以阳离子 $\text{Si} + \text{Al} = 4$ 为基准,计算层硅铈钛矿的化学结构式为:

B-杨:



C-灰:

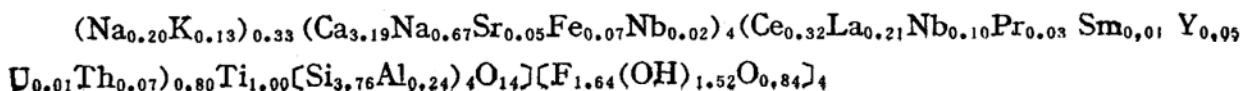


表 2 层硅铈钛矿族矿物化学成分对比  
Table 2 Chemical composition of mosandrite group

| 化学成分<br>(%)                    | 层 硅 铈 钛 矿 |        |        |       | 水层硅铈钛矿 |
|--------------------------------|-----------|--------|--------|-------|--------|
|                                | B—杨       | C—灰    | 文 献    |       |        |
| Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 8.12      | 7.32   | 21.25  | 8.84  | 10.45  |
| ∑L <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 9.92      | 8.15   |        | 9.57  | 6.34   |
| ∑Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.72      | 0.76   | 0.92   | 0.14  | 3.42   |
| U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>  | 0.33      | 0.40   | —      | —     | —      |
| ThO <sub>2</sub>               | 1.18      | 2.61   | —      | 0.63  | 0.34   |
| Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 0.45      | 0.45   | —      | 2.58  | —      |
| TiO <sub>2</sub>               | 11.25     | 11.21  | 13.36  | 8.27  | 5.33   |
| SiO <sub>2</sub>               | 31.73     | 31.90  | 29.08  | 28.38 | 30.71  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 2.55      | 1.70   | —      | 1.18  | —      |
| ZrO                            | —         | —      | —      | —     | 7.43   |
| FeO                            | 0.28      | 0.66   | 0.44   | 0.27  | 0.56   |
| CaO                            | 21.91     | 25.23  | 23.26  | 26.68 | 22.53  |
| SrO                            | 0.89      | 0.70   | —      | 0.40  | —      |
| MgO                            | —         | —      | —      | 0.24  | 0.63   |
| MnO                            | —         | —      | —      | —     | 0.45   |
| K <sub>2</sub> O               | 0.84      | 0.48   | —      | 0.36  | 0.38   |
| Ni <sub>2</sub> O              | 4.20      | 3.82   | 8.98   | 7.83  | 2.44   |
| r                              | 4.72      | 4.40   | 5.82   | 4.40  | 2.06   |
| H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>  | 2.71      | 1.93   | —      | 1.64  | 7.70   |
| H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>  | 1.34      | 0.26   | —      | —     | —      |
| -O = F <sub>2</sub>            | 1.99      | 1.70   | 2.45   | 1.85  | 0.81   |
| 总 和                            | 100.15    | 100.22 | 100.66 | 99.54 | 99.96  |
| 数据来源                           | 本 文       |        | [ 4 ]  | [ 5 ] | [ 4 ]  |

表 3 稀土含量配分  
Table 3 Partition of rare earth elements

| 组 份                            | B—杨  | C—灰  |
|--------------------------------|------|------|
| Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 44.8 | 45.0 |
| La <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 25.1 | 29.8 |
| Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 17.9 | 14.0 |
| Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 6.1  | 5.0  |
| Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 2.0  | 1.3  |
| Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | 4.0  | 4.7  |
| ∑                              | 100  | 100  |

理想化学式应是: NaCa<sub>4</sub>CeTi(Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>)(F, OH)<sub>4</sub>, 其中阳离子电价是 32。实测阳离子总价不足 32, B-杨少 1.36 价, C-灰少 2.04 价, 可能是层间大阳离子钾、钠流失之故。从表 2 可看出: 1. 该矿物主体元素稀土、硅、钙、氟都与文献中层硅铈钛矿相近; 2. 钠、铈偏低, 钍、铝、钾、铈偏高; 3. 自伟晶到气热, 稀土、钛、钾、钠略有降低, 而铀、钒、钙明显增

加；4. 稀土的含量随原子序数的增加而降低，而偶数元素又较相邻的奇数元素高。铈族含量占稀土总量的90%，故为强选择性铈族稀土矿物；5. 根据电子探针分析和元素特征X射线面扫描分布图像，钙、钛、铈、镧、铀、钍布点均匀，其轮廓与矿物形貌吻合，表明它们是以类质同像形式赋存于矿物晶格之中。矿物铀的电渗率仅0.11%（电渗条件pH=3，电压梯度=30V/cm），显微放射性照相所显示的 $\alpha$ 轨迹分布均匀，进一步证明矿物中U、Th是类质同像形式存在的。但蚀变或变生后元素分布变得不均匀，或分别集中，或杂乱无章，与显微镜下所见一致，表明矿物已蚀变或变生。

#### 四、X射线衍射分析

矿物的衍射图、数据以及指标化后测得的晶胞参数分别见图1、表4、表5。

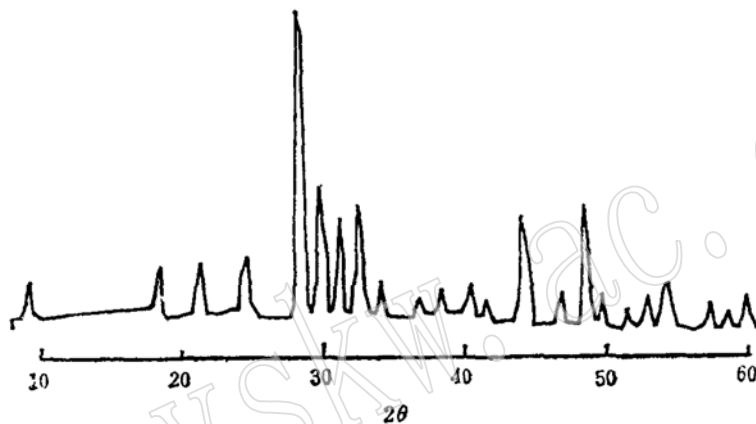


图1 层硅铈钛矿衍射图 (B-杨)

Fig. 1 X-ray diffraction pattern of mosandrite

实验条件: D/max-rA; CuK $\alpha$ ; 150mA

分析者: 张荣英

表5表明，样品B-杨的晶胞参数和轴交角参数与层硅铈钛矿相接近。三个角参数都偏离90°很小，因而常被认为是斜方晶系。实为层状结构的钛硅酸盐。硅氧骨干以四面体连成哑铃状小基元，硅氧双四面体条带与钛氧多面体连成络阴离子层，层平面与结构中bc面一致，两个络阴离子层之间，夹有钙一氧(包括氢氧)八面体层；结构类似2:1云母单元层，再由钠、铈等大阳离子连接。层片沿a轴方向平行堆叠，两个“2:1”络离子层加一层钙一氧八面体为a轴周期，和2M型白云母c轴相近。

#### 五、红外光谱、拉曼光谱及差热曲线

矿物的红外光谱(图2)和波数(表6)与文献上的层硅铈钛矿相似<sup>[8]</sup>，局部略有漂移。3550cm<sup>-1</sup>峰属羟基伸缩振动，3380cm<sup>-1</sup>峰是水分子的伸缩振动，1630cm<sup>-1</sup>为水的弯曲振动，表明存在结构水和吸附水。2900, 2320, 2000cm<sup>-1</sup>三个弱肩，可能属稀土元素与(OH)之间的吸收峰，1040、960、845cm<sup>-1</sup>三个峰为Si-O骨架伸缩振动，708、649cm<sup>-1</sup>两峰大概是Ti-O伸缩振动，580、420cm<sup>-1</sup>是Si-O弯曲振动吸收峰。C样在1460和1400cm<sup>-1</sup>处有弱峰，是碳酸盐杂质的反应。

拉曼荧光光谱(图3)有三个谱带区：1. 在150-350cm<sup>-1</sup>区间，250cm<sup>-1</sup>为强峰，两侧有

表4 层硅铈钨族矿物X射线衍射数据  
Table 4 X-ray diffraction data of mosandrite group

| 矿物名称                         | 层 硅 铈 钨 矿 |     |      |    |       |    |       |   |   |
|------------------------------|-----------|-----|------|----|-------|----|-------|---|---|
|                              | B-杨       |     | C-灰* |    | 文 献   |    |       |   |   |
|                              | hkl       | d   | I    | d  | I     | d  | I     | d | I |
| 200                          | 9.279     | 1.1 |      |    |       |    |       |   |   |
| 110                          | 5.201     | 0.9 |      |    |       |    |       |   |   |
| 111, $\bar{1}\bar{1}\bar{1}$ | 4.374     | 1.3 |      |    |       |    |       |   |   |
| 410                          | 3.573     | 1.1 | 3.50 | 2  | 3.55  | 3  | 3.52  | 2 |   |
| 510                          | 3.349     | 0.9 | 3.32 | 3  | 3.37  | 5  | 3.34  | 2 |   |
| 411, $\bar{4}\bar{1}\bar{1}$ | 3.187     | 1.1 | —    | —  | 3.22  | 5  | —     | — |   |
| 600, 112                     | 3.070     | 1.0 | 3.02 | 10 | 3.065 | 10 | 3.04  | 8 |   |
| 212                          | 2.945     | 3.2 | 2.88 | 3  | 2.925 | 5  | 2.92  | 2 |   |
| 110                          | 2.799     | 2.8 | 2.76 | 2  | 2.790 | 3  | 2.79  | 2 |   |
| 612                          | 2.706     | 1.7 | 2.66 | 5  | 2.690 | 5  | 2.69  | 3 |   |
| 412                          | 2.578     | 1.1 | 2.53 | 3  | 2.560 | 2  | 2.57  | 2 |   |
| —                            | —         | —   | —    | —  | 2.380 | 1  | 2.39  | 1 |   |
| 800                          | 2.309     | 1.3 | 2.27 | 3  | 2.300 | 1  | 2.29  | 2 |   |
| 222                          | 2.219     | 0.9 | —    | —  | —     | —  | 2.217 | 1 |   |
| 810                          | 2.153     | 1.3 | —    | —  | —     | —  | —     | — |   |
| 422, $\bar{4}\bar{2}\bar{2}$ | 2.025     | 1.7 | 1.99 | 6  | 2.005 | 7  | 1.199 | 1 |   |
| 004                          | 1.853     | 3.0 | 1.83 | 8  | 1.850 | 9  | 1.845 | 7 |   |
| 622                          | 1.823     | 1.1 | —    | —  | 1.810 | 2  | 1.810 | 3 |   |
| —                            | —         | —   | —    | —  | —     | —  | 1.752 | 1 |   |
| —                            | —         | —   | —    | —  | —     | —  | 1.709 | 1 |   |
| 032                          | 1.683     | 2.1 | 1.67 | 7  | 1.675 | 7  | 1.684 | 1 |   |
| 604                          | 1.587     | 1.7 | 1.57 | 3  | 1.585 | 1  | 1.585 | 1 |   |
| 124                          | 1.573     | 0.9 | —    | —  | —     | —  | —     | — |   |
| 614                          | 1.530     | 1.1 | 1.51 | 4  | 1.530 | 3  | 1.528 | 3 |   |
| 730                          | 1.519     | 0.6 | 1.47 | 5  | 1.475 | 1  | 1.478 | 3 |   |
| —                            | —         | —   | —    | —  | —     | —  | 1.422 | 2 |   |
| 140                          | 1.399     | 0.6 | —    | —  | —     | —  | 1.374 | 2 |   |
| —                            | —         | —   | 1.26 | 5  | 1.268 | 1  | 1.268 | 4 |   |
| —                            | —         | —   | —    | —  | 1.245 | 2  | 1.246 | 3 |   |
| 数据来源                         | 本 文       |     | 本 文  |    | 〔1〕   |    | 〔1〕   |   |   |

\* 变生非晶质, 经950℃处理后方获得衍射数据。

200、300 $\text{cm}^{-1}$ 弱峰。2.在560—860 $\text{cm}^{-1}$ 之间, 有800(强)、660(中)、600(弱)三个峰。3.1000—1200 $\text{cm}^{-1}$ 间, 有1070和1160 $\text{cm}^{-1}$ 两个宽而弱的小峰。各峰的归宿尚待进一步研究。

B-扬和C-灰的差热曲线(图4)仅在600℃有一个尖锐的放热峰, 可能是变生非晶质重结晶或形成结晶新相。水的含量低, 一般没反应。仅其它个别样品在100℃出现有弱吸收谷。

本矿物研究过程中, [彭志中]先生曾给予支持帮助, 并亲自多次作过分析, 在此深表怀

表5 层硅铈钛矿族矿物晶胞参数  
Table 5 Cell parameters of mosandrite group

| 矿物     | 晶系  | a <sub>0</sub> | b <sub>0</sub> | c <sub>0</sub> | α    | β        | γ      | 空间群            | Z              | 出处  |     |
|--------|-----|----------------|----------------|----------------|------|----------|--------|----------------|----------------|-----|-----|
| 层硅铈钛矿  | B-杨 | 单斜             | 18.46          | 5.66           | 7.34 | 89.5°    | 90.3°  | 89.8°          | —              | 2   | 本文  |
|        | 文献  | 单斜             | 18.41          | 5.64           | 7.43 | 90°      | 93°    | 90°            | —              | 2   | 〔1〕 |
|        |     | 单斜             | —              | —              | —    | —        | —      | —              | —              | —   | 〔4〕 |
|        |     | 单斜             | 18.28          | 5.59           | 7.38 | 90°      | 90°    | 90°            | P <sub>2</sub> | 2   | 〔6〕 |
|        |     | 三斜             | —              | —              | —    | —        | —      | —              | —              | —   | 〔4〕 |
| 水层硅铈钛矿 | 三斜  | 18.51          | 7.45*          | 5.64*          | 90°  | 101°     | 91.13° | P <sub>1</sub> | 4              | 〔7〕 |     |
|        | 单斜  | —              | —              | —              | —    | —        | —      | —              | —              | 〔4〕 |     |
| 胶层硅铈钛矿 | 单斜  | 18.52          | 5.71           | 7.52           | 90°  | 90-91.5° | 90°    | —              | —              | 〔4〕 |     |

\* 取轴方位不同, b, c轴对换。

表6 矿物的红外光谱波数 (cm<sup>-1</sup>)  
Table 6 Infrared spectral wavenumber of the mineral (cm<sup>-1</sup>)

| 矿物名称   | 层硅铈钛矿  |     |
|--------|--------|-----|
| 样号     | 文献〔8〕  |     |
| B      | 文 献〔8〕 |     |
| 3550弱  | 3540   |     |
| 3380强  | 3340   |     |
| 2900弱肩 |        |     |
| 2320弱肩 |        |     |
| 2000弱肩 |        |     |
| 1630弱  | 1630   |     |
|        | 1070   |     |
| 1040弱肩 | 1045   |     |
|        | 1000   |     |
| 960强   | 960    | 980 |
|        | 928    |     |
| 845中   | 905    | 885 |
| 708弱   | 670    | 662 |
| 649弱   | 640    | 592 |
| 580弱肩  | 570    | 560 |
|        | 530    | 515 |
| 478中   | 470    | 485 |
|        | 452    |     |
| 420弱肩  | 420    | 405 |
| 380弱肩  | 370    |     |
| 356弱   | 345    |     |

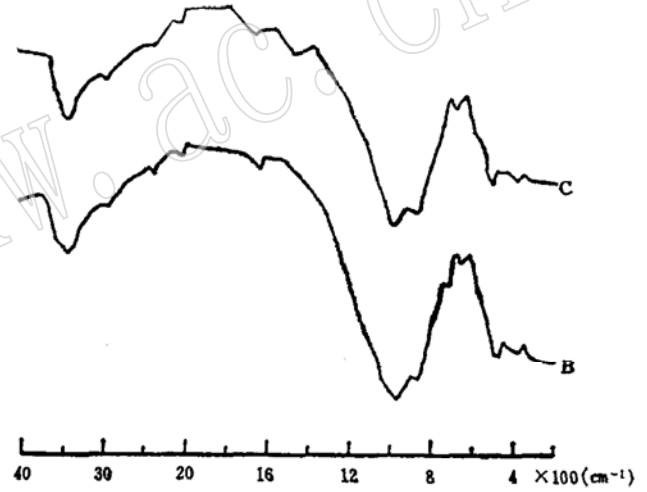


图2 层硅铈钛矿红外光谱  
B: B-杨, C: C-灰

Fig. 2 Infrared spectrum of mosandrite  
测定者: 曹颖春 (辽宁地质实验室)

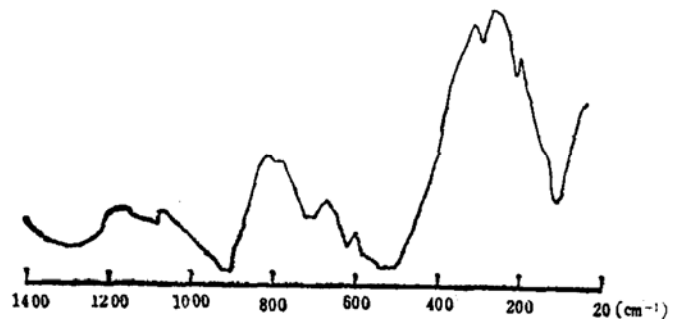


图3 层硅铈钛矿的拉曼荧光光谱 (B 杨)

Fig. 3. Raman spectrum of mosandrite  
测定者: 曾淑德 (北京三所)

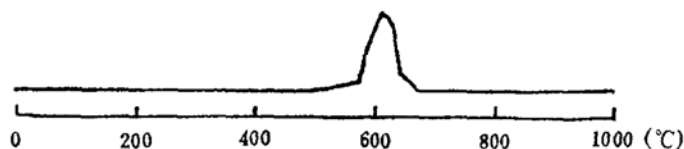


图4 层硅铈钛矿的差热曲线

Fig. 4 Differential thermal curve of mosandrite

测定者: 王树良 (沈阳240所)

念。

## 参 考 文 献

- [1] Власов К. А., 1964, Геохимия минералогия и генетические типы месторождений редких элементов. Том. 2, p. 308-310, Издательство "НАУКА", Москва.
- [2] 吴利仁, 1966, 若干地区碱性岩研究. P. 174, 科学出版社.
- [3] 彭琪瑞等, 1963, 凤城矿物志. P. 1, 科学出版社.
- [4] 中国地质科学院地质矿产研究所, 1977, 透明矿物显微镜鉴定表. 地质出版社.
- [5] 中国科学院贵阳地球化学所, 1972, 稀有元素矿物鉴定手册. p. 147, 科学出版社.
- [6] Borg I. Y. and Smith D. K., 1969. Calculated X-ray powder patterns for silicate minerals, p. 175-179.
- [7] Sahama and Hytonen, 1957. Geol. Foren. J., Stockholm, form 79, 791 (A. S. T. M. 12-582).
- [8] Мосанке Н., 1966. Минералспектрет, Akad. Verlag, Berlin, no. 6, 172.

## Mineralogy of Mosandrite

Lou Fengsheng

(Beijing Institute of Uranium Geology)

Zhang Rongying

(Hubei Geological Laboratory)

Liu Hanru

(240 Institute of Shenyang)

**Key words:** mosandrite; mineralogy; layer structure; X-ray diffraction; infrared absorption spectrum; Raman spectrum

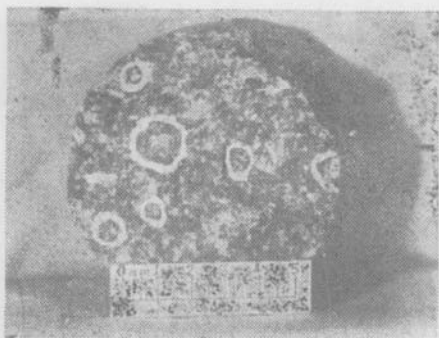
## Abstract

Mosandrite occurs in argirine-nepheline syenite of Saima, Liaoning province. It is light yellow to yellow in colour, and tabular or long columnar in crystal form. Specific gravity 3.23-3.30; hardness 4-5. Biaxial positive with  $2V=80^\circ$ ,  $N_g=1.661$ ,  $N_m=1.653$ , and  $N_p=1.651$ . Isotropism is observed at the center of this mineral. Chemical formula of the crystalline sample is  $(Na_{0.37}K_{0.24}H_3O_{0.15})_{0.76} (Ca_{3.15}Na_{0.72}Sr_{0.07}Fe_{0.03}Nb_{0.03})_4 (Ce_{0.4}La_{0.22}Nd_{0.16}Pr_{0.05}Sm_{0.02}Y_{0.01}U_{0.01}Th_{0.04})_{0.95}$

$\text{Ti}_{1.13}[(\text{Si}_{3.18}\text{Al}_{0.19})_4\text{O}_{14}][\text{F}_{2.01}(\text{OH})_{1.99}]_4$ . The cell dimensions measured by X-ray powder diffraction are  $a_0=18.46 \text{ \AA}$ ,  $b_0=5.66 \text{ \AA}$ ,  $c_0=7.34 \text{ \AA}$ ,  $\alpha=89.5^\circ$ ,  $\beta=90.5^\circ$ ,  $\gamma=89.8^\circ$ ,  $Z=2$ , belonging to monoclinic or pseudo-orthorhombic system with the crystal structure being layered Ti-silicate. The structure of mosandrite is similar to that of 2M type muscovite. In mosandrite,  $\text{Na}^+$  and  $\text{Ce}^{3+}$  cations link '2:1' unit layers which are composed of one Ca-O octahedral layer and two anion layers made up of Ti-O polyhedron and Si-O tetrahedron pairs. The main infrared absorption spectra of mosandrite are 3550, 3380, 1630, 1040, 960, 845, 649 and  $478\text{cm}^{-1}$ . Its Raman spectrum might be divided into three areas, with 310, 250,  $200\text{cm}^{-1}$  peaks in the first area, 800, 660,  $600\text{cm}^{-1}$  peaks in the second, and 1160,  $1070\text{cm}^{-1}$  peaks in the third. There exists only one exothermic peak ( $600^\circ\text{C}$ ) on the differential thermal curve, resulting from partial crystallization of the non-crystalline mosandrite.

www.yskw.ac.cn





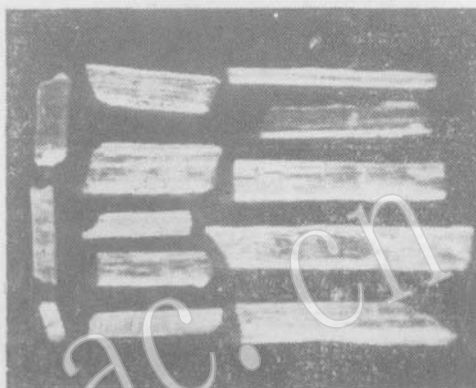
1. 星点状



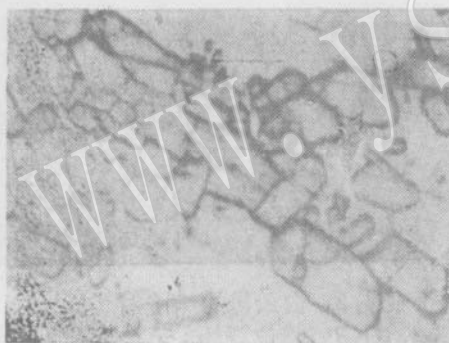
2. 放射状 (1:1)



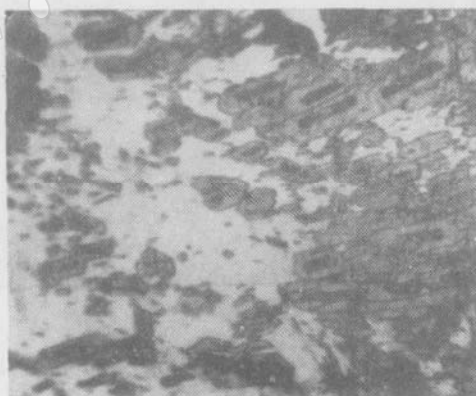
3. 脉状20×



4. 长柱状20×



5. 不规则多边形50× (单偏光)



6. 均质化80× (正交偏光)