

# 内蒙天皮山伟晶岩的碳、氢、氧 稳定同位素组成及成因分析

王时麒 郑淑蕙 郑斯成 陈成业

(北京大学地质系)

**内容提要:** 本文着重对天皮山伟晶岩的氧、氢、碳同位素的组成和成因进行了研究。经测定,伟晶岩中石英的氧同位素值域为12—14.4‰,平均值为13.8‰;白云母的氧同位素值域为11.5—12.2‰,平均值为11.9‰。这些数值与其围岩的氧同位素值一致,表明伟晶岩导源于周围的变质岩。白云母的氢同位素值域为-30.3—-59.4‰,平均值为-48.9‰;石英中流体包裹体中水的氢同位素值域为-32—-73.4‰,平均值为-59.1‰。 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$  和  $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$  值域表明本区伟晶岩中的水主要来自岩浆水,少部分来自地表水。石英包裹体中的碳同位素值有-5.5‰和-19.6‰两组,重碳可能来自地壳深部的原生碳,轻碳可能来自围岩中的有机碳。

**关键词:** 伟晶岩 氧同位素 氢同位素 碳同位素 矿床成因 内蒙天皮山

内蒙土贵乌拉天皮山一带,伟晶岩广泛分布,其中所产的巨晶板状白云母质佳量大,具有很高的工业价值,是我国白云母矿的主要产地之一,并有多年的开采历史。关于该矿区的变质岩系和变质作用、伟晶岩矿床的一般特点和形成时代等,前人曾做过许多工作<sup>(1)(2)(3)</sup>。笔者于1980年和1981年在该区实地进行了观察,并进行了室内工作和总结。本文着重对伟晶岩的碳、氢、氧稳定同位素的组成特点和成因进行分析和讨论。

## 一、矿区地质概况

该矿区位于内蒙台背斜中部。出露地层主要为太古界的集宁群(原称桑干群)。主要岩性有四类,即紫苏斜长麻粒岩类、浅粒岩类、石榴长英片麻岩类和矽线榴石正长片麻岩类。紫苏斜长麻粒岩原岩为基性火山岩类;浅粒岩原岩为酸性火山岩类;石榴长英片麻岩原岩为长石石英砂岩类夹一些半粘土质岩;矽线榴石正长片麻岩是本区的特征岩石,分布广泛,原岩为一套富铝质的沉积岩。岩石的矿物组合和地球化学特征表明这些岩类经过中压高温深变质作用,达到麻粒岩相,后期又有角闪岩相退变质作用的现象。混合岩化普遍发育,在长英质岩石中尤为强烈,形成许多条带状混合岩类。此外,本区尚有少量的石炭—二叠系,主要岩性为砂砾岩夹一些泥质页岩。

区内岩浆岩比较发育,前寒武纪有花岗斑岩、细晶岩、花岗伟晶岩和辉绿岩,第三纪有玄武岩。

本区的主要构造线为NE—NEE向,主要由一系列线型紧闭褶皱组成。断裂构造发育,

主要有NW向、NEE向和NNW向三组。第一组主要控制了大多数伟晶岩脉和部分细晶岩脉；第二组控制了大多数细晶岩脉和部分伟晶岩脉；第三组为成矿后裂隙，主要控制辉绿岩脉。

## 二、伟晶岩的一般特点

该区伟晶岩分布甚广，均产于太古代深变质岩系中，各类变质岩中都有矿脉产出，但以矽线榴石片麻岩中矿化率最高。伟晶岩脉的生成时代为1900Ma左右（李璞等，1964）。

根据产出情况和矿化强弱，本区伟晶岩可分为两大类。第一类为原地分异型，主要分布于混合岩化程度较高的片麻岩中，主要特征是顺层产出，与混合岩呈过渡关系。这类伟晶岩分布普遍但规模比较小，成分比较简单，主要是石英、长石和云母。其分带性不好，交代作用弱，白云母矿化差，一般不具有工业价值。这类伟晶岩可能是在区域性混合岩化作用的晚期由于挥发份局部富集致使原地早期结晶的较细粒的花岗质脉体通过重结晶作用和分异作用而形成的，为同构造期的产物。第二类为异地贯入型，主要受构造裂隙控制，斜交围岩片麻理产出，与围岩间具有明显的侵入接触关系，显然是混合岩化期后的岩浆贯入裂隙而成。这类伟晶岩一般规模比较大，脉长一般100—300m，个别可达500—600m，厚度一般是1—3m，有的可达5—6m。根据其成分和结构可进一步分为简单型和复杂型两种。简单型伟晶岩脉的矿物组成比较简单，分带性差，围岩蚀变和交代作用弱，矿化不好，一般工业意义不大。复杂型伟晶岩脉则矿物组成比较复杂，除了石英、长石和云母外，常发育有磁铁矿、磷灰石、黄玉、电气石、矽线石、绿柱石、萤石、独居石、锆石等矿物。其围岩蚀变强烈，常形成1—2m宽的蚀变带。分异较好具有明显的分带性，发育完全的分带自外向内可分为边缘带、细晶结构带、中粒结构带、文象结构带、粗粒结构带、块体长石带和石英核。钠长石化和云英岩交代带通常位于粗粒带和块体带之间。

## 三、同位素样品的选择、分析方法和分析结果

本区规模最大矿化最好的伟晶岩为I号和II号矿脉。笔者选择了分带性比较完整代表性比较强的II号脉进行了深入工作。在野外详细观察基础上，系统地采集了各带标本，选出了单矿物石英和白云母，进行了碳、氢、氧稳定同位素组成的测定。

氧同位素的分析方法采用五氟化溴法。碳同位素的分析是利用提取矿物气液包裹体中的二氧化碳气进行的。氢同位素的分析，石英是利用提取矿物包裹体中的水，白云母是利用提取矿物中的结构水。水中氢的析出采用金属铷法。最后，在MAT-250质谱仪上分别测定 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 比值、D/H比值和 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比值。

同位素分析结果以 $\delta$ 表示，即用样品和标样的同位素比值的千分差表示：

$$\delta M_{\text{样品}} = \frac{R_{\text{样品}} - R_{\text{标准}}}{R_{\text{标准}}} \times 10^3$$

其中M为 $^{18}\text{O}$ 、D、 $^{13}\text{C}$ ；R为 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 、D/H、 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ；R<sub>标准</sub>：氧和氢用SMOW，碳用PDB。

本次共测得同位素数据31个。其中各带单矿物石英氧同位素值9个；石英中流体包裹体水的氢同位素值7个；石英包裹体中二氧化碳气的碳同位素值4个；各带单矿物白云母氧同位素值3个；云母中结构水的氢同位素值8个。其结果分别列入表1和表2。

表1 伟晶岩脉中石英的氧、氢、碳同位素组成

Table 1. Oxygen, hydrogen and carbon isotopic compositions of quartz from pegmatite veins

| 样号  | 产状     | 矿物形成温度(℃)① | $\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$ | $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}(\text{‰})$ (计算)② | $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}(\text{‰})$ | $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$ |
|-----|--------|------------|---------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------|
| 石-1 | 一中段石英核 | 244        | 14.4                            | 5.1                                                        | -58.3                                           |                                 |
| 石-2 | 三中段石英核 | 256        | 14.3                            | 5.5                                                        |                                                 |                                 |
| 石-3 | 四中段石英核 | 282        | 14.0                            | 6.2                                                        | -68.9                                           | -6.8                            |
| 石-4 | 五中段石英核 | 227        | 14.2                            | 4.1                                                        |                                                 |                                 |
| 石-5 | 六中段石英核 | 213        | 12.0                            | 1.2                                                        | -32.0                                           | -5.2                            |
| 石-6 | 细粒带    | 366        | 14.0                            | 8.6                                                        | -42.9                                           | -19.3③                          |
| 石-7 | 粗粒带    | 398        | 13.6                            | 8.9                                                        | -68.9                                           | -4.5                            |
| 石-8 | 文象带    | 378        | 13.8                            | 8.7                                                        | -69.1                                           |                                 |
| 石-9 | 交代带    | 267        | 13.9                            | 5.6                                                        | -73.4                                           |                                 |

① 据爆破法测得的起爆温度，未经压力校正

② 据  $1000\ln\alpha_{\text{石英-水}} = 3.05 \times 10^6 T^{-2} - 2.09$  (Matthews, 1979) 计算

③ 为-21.3和-17.8两次测定的平均值

表2 伟晶岩中白云母的氢、氧同位素组成

Table 2. Hydrogen and oxygen isotopic composition of muscovite from pegmatite

| 样号  | 产状     | $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}(\text{‰})$ | $\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$ | $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}(\text{‰})$ ① |
|-----|--------|-------------------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------------------------|
| 云-1 | 边缘带    | -44.7                                           |                                 |                                                        |
| 云-2 | 细粒带    | -46.2                                           |                                 |                                                        |
| 云-3 | 中粒带    | -59.4                                           | 11.6                            | 6.3                                                    |
| 云-4 | 粗粒带    | -56.8                                           |                                 |                                                        |
| 云-5 | 交代带    | -30.3                                           |                                 |                                                        |
| 云-6 | 文象带浸染状 | -48.9                                           |                                 |                                                        |
| 云-7 | 文象带窝状  | -58.3                                           | 11.5                            | 6.2                                                    |
| 云-8 | 文象带裂隙状 | -47.0                                           | 12.2                            | 6.9                                                    |

① 据  $1000\ln\alpha_{\text{白云母-水}} = 2.38 \times 10^6 T^{-2} - 2.89$  (O'Neill and Taloy, 1969)，因白云母为交代成因，采用交代带的石英测温数据进行计算

## 四、讨论

### 1. 氧同位素

测定的9个石英样品，是沿矿脉垂直方向的不同中段(石-1—石-5)和水平方向的结构分带(石-6—石-9)系统取样， $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 的平均值为13.8‰，除了石-5样品值较小(12‰)外，其余8个样品值都非常接近，为 $14 \pm 0.4\text{‰}$ 。测定的3个白云母样品的 $\delta^{18}\text{O}$ 值为11.5—12.2‰，平均值为11.9‰。石英和白云母两者的 $\delta^{18}\text{O}$ 平均值为12.9‰，此值可基本代表伟晶岩的氧同位素值。

从表1可以看出，无论在矿脉水平方向或是垂直方向其值变化都不大。表明矿物的同位素值无垂直或水平分带现象。这些数值与北美和北欧一些伟晶岩中石英的氧同位素测定数值(8.2—11.2‰)对比明显偏高<sup>[6]</sup>，而与本区的围岩——区域深变质杂岩的氧同位素测定数值(8个砂线榴石正长片麻岩、2个浅粒岩和一个石榴长英片麻岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 平均值为13.1‰)颇为一致<sup>①</sup>。这说明该区伟晶岩导源于该区的深变质岩系，即由区域变质岩在高温高压条件下经过重熔形成含有高挥发份的伟晶岩浆，而后沿有利的构造裂隙贯入而成。

① 崔文元、郑淑惠、王时麒、陈成业，1983，中国北部太古代区域变质杂岩氧同位素的研究，北京国际前寒武纪地壳演化讨论会论文(正印刷中)

## 2. 氢同位素

采用真空爆裂法, 收集石英气液包裹体中的水进行氢同位素的测定, 测定的 7 个样品的  $\delta D_{H_2O}$  值变化范围为  $-32$ — $-73.4\%$ , 平均值为  $-59.1\%$ 。另外, 对 8 个含水矿物白云母样品进行了氢同位素测定, 其变化范围为  $-30.3$ — $-59.4\%$ , 平均值为  $-48.9\%$ 。两者的总平均值为  $-54\%$ 。这与国外的一些测定数值 ( $-35$ — $-80\%$ , 主要集中于  $-50 \pm 5\%$ ) 基本一致。

根据石英的  $\delta^{18}O$  值和爆破法所测得的形成温度, 利用石英-水分馏方程式 (Alan, Matthews, 1979) 计算出与石英呈平衡的矿液的  $\delta^{18}O_{H_2O}$  值<sup>[7]</sup>, 9 个  $\delta^{18}O_{H_2O}$  值变化于  $1.2$ — $8.9\%$  之间, 平均值为  $6.1\%$ 。利用白云母-水分馏方程式 (O'Neil and Taylor, 1969) 计算出与白云母呈平衡的矿液的  $\delta^{18}O_{H_2O}$  值<sup>[8]</sup>, 3 个  $\delta^{18}O_{H_2O}$  值变化于  $6.2$ — $6.9\%$  之间, 平均值为  $6.5\%$ 。将该区的  $\delta^{18}O_{H_2O}$  组成, 结合  $\delta D_{H_2O}$ , 综合编制成图 1。

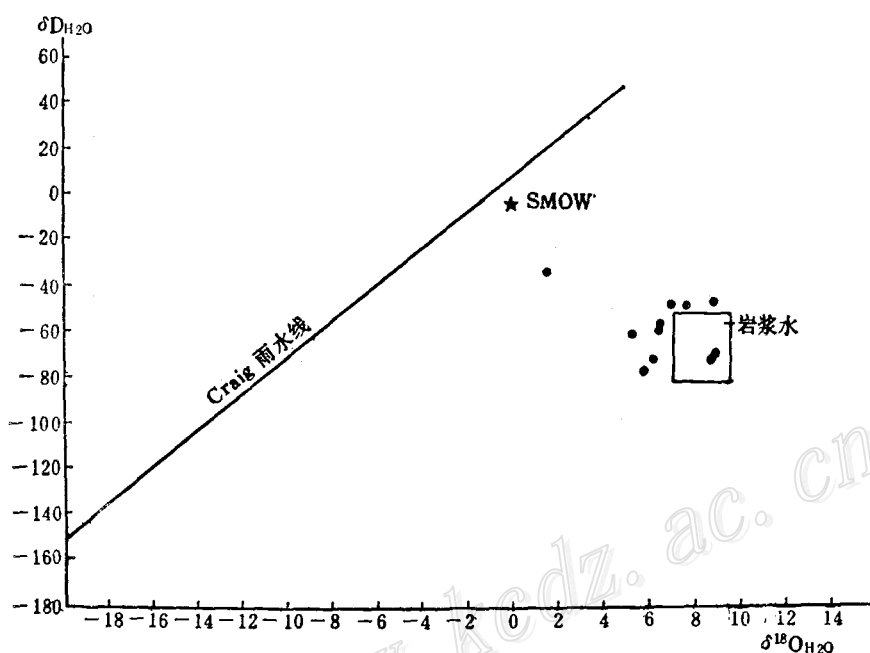


图 1 石英的  $\delta D_{H_2O}$ — $\delta^{18}O_{H_2O}$  图

Fig. 1.  $\delta D_{H_2O}$  versus  $\delta^{18}O_{H_2O}$  diagram of quartz.

从图 1 中可以看出, 有 2 个点落在一般岩浆水 ( $\delta^{18}O$  由  $7.0$ — $9.5\%$ ,  $\delta D$  由  $-50$ — $-80\%$ , Taylor) 的范围内, 有 7 个点落在岩浆水附近, 有一个点远离岩浆水而明显偏向雨水线。这显示了成矿溶液来源的复杂性, 说明成矿溶液主要来自岩浆水, 但有部分雨水的混合。

关于伟晶岩的生成模式国外有两种说法<sup>[5][6]</sup>。一种认为伟晶岩生成的主岩浆阶段或主热液阶段有大量大气水流到伟晶岩中, 为开放系统; 另一种认为在伟晶岩形成过程中, 其自身系统中水压  $P_{H_2O}$  随时间而增加, 特别是在伟晶岩快要结束时,  $P_{H_2O}$  在伟晶岩内部可能比外部大, 尤其是侵位到近地表的岩脉中, 因此地表水不能流进伟晶岩中, 为封闭体系。我们这些测定数据表明与该两种说法都不符。在伟晶岩形成过程中既不是有大量地表水的加入, 也不是一点地表水都未渗进, 而是以岩浆水为主, 有部分雨水的加入, 即伟晶岩形成的主要阶段保持为封闭系统, 而晚期转为开放系统。这与该区伟晶岩普遍发育交代作用和围岩蚀变

的地质事实也是一致的。

### 3. 碳同位素

主要是通过对石英包裹体中的微量  $\text{CO}_2$  进行测定,共测定了4个样品,得出了两组明显不同的数据。有三个样品的  $\delta^{13}\text{C}$  值变化范围为 $-4.5\text{‰}$ — $-6.8\text{‰}$ ,平均值为 $-5.5\text{‰}$ ;有一个样品的  $\delta^{13}\text{C}$  值很小,为 $-19.6\text{‰}$ (为两次测定的平均值)。这与近年来国外对火成岩包裹体中  $\delta^{13}\text{C}$  测定的两组集中数值(一组为 $-5\text{‰}$ 左右;另一组为 $-15\text{‰}$ — $-25\text{‰}$ )颇为一致<sup>[4]</sup>。

对于该区伟晶岩存在的这两种绝然不同的碳同位素组成,结合区域地质背景分析,我们认为可能是由于两种不同的来源所造成的。重碳可能是伟晶岩浆从深部上升带上的原始碳;轻碳可能是伟晶岩在地壳较浅部形成时从围岩中混进来的有机碳。该区地层的原岩为一套高铝质沉积岩系,在底部含有多层石墨,据前人工作认为是有机质变质而成。显然这种有机碳在伟晶岩形成过程中有可能混入。

## 五、结 论

1. 该区伟晶岩石英和白云母的氧同位素总平均值为 $12.9\text{‰}$ ,比国外文献报导的一些伟晶岩测定数值偏高,但与该区变质岩系的平均氧同位素值( $13.1\text{‰}$ )一致。从而推断该区伟晶岩可能是由周围区域变质岩系在地壳深部经过重熔作用形成伟晶岩浆,而后上升贯入到适宜的构造裂隙中而成。

2. 氢同位素总平均值为 $-54\text{‰}$ ,与国外一些测定数据基本一致。

3. 碳同位素的两组数值( $-5.5\text{‰}$ 和 $-19.6\text{‰}$ )与一般火成岩包裹体中的碳同位素组成一致。结合区域地质背景判断,重碳可能是来自地壳深部的原生碳,轻碳可能是从围岩中混进来的有机碳。

4. 从碳、氢、氧稳定同位素组成综合分析,该区伟晶岩在形成过程中的主期阶段保持岩浆熔体-溶液自身的封闭体系,而在晚期转为开放体系,有部分地表水的加入和围岩中有有机碳的混入。

## 参 考 文 献

- [1] 李璞 1964 集宁地区变质岩系的划分及其变质相的探讨 中国地质学会三十二届年会论文选集 地质出版社
- [2] 万朴 1980 内蒙土贵乌拉地区的变质作用及伟晶岩的成因 长春地质学院院报 第2期
- [3] 崔文元 1982 卓资—阳高一带麻粒岩相岩石的原岩恢复及其地球化学特征 矿物岩石 第4期
- [4] 陈锦石等 1983 碳同位素地质学概论 地质出版社
- [5] Taylor, B. E. and Friedrichsen, H., 1978, Stable isotope Studies of granitic pegmatites. "Short Papers of the 4th IGCIG", pp. 422-423.
- [6] Jahns, R. H. and Burnham, C. W., 1969, Experimental Studies of pegmatite genesis-IA model for the derivation and crystallization of granitic pegmatites. Economic Geology, Vol. 64, pp. 843-864.
- [7] Matthews, A., 1979, Oxygen isotope equilibration systematics between quartz and water. The American Mineralogist, Vol. 64, Nos. 1 and 2, pp. 232-241.
- [8] Friedman, I. and O'Neil, J. R., 1977, Data of Geochemistry, Sixth edition.

## HYDROGEN, OXYGEN AND CARBON ISOTOPE STUDIES ON THE GENESIS OF THE TIANPISHAN PEGMATITE IN INNER MONGOLIA

Wang Shiqi, Zheng Shuhui, Zheng Sicheng and Chen Chengjie

(*Department of Geology, Peking University, Beijing, China*)

### Abstract

The Tianpishan ore district located in central Inner Mongolia is one of the well-known muscovite mines in China. The hydrogen, oxygen and carbon isotope compositions of fluid inclusions and minerals from the pegmatite are studied in this paper to approach its genesis.

$\delta^{18}\text{O}$  values of quartz minerals from the pegmatite range from 12‰ to 14.4‰, with the average being 13.8‰, while  $\delta^{18}\text{O}$  values of muscovite minerals are within the limits of 11.5‰ to 12.2‰, averaging 11.9‰. These values are somewhat higher than the oxygen isotope values of pegmatites reported in foreign literature, but are consistent with those of the wall rocks in this ore district, suggesting that the material of the pegmatite might have come from the metamorphic rocks of this area.

$\delta\text{D}$  values of muscovite are in the range of -30.3‰—-59.4‰, averaging -48.9‰, and  $\delta\text{D}$  values of waters in fluid inclusions of quartz extend from -32‰—-73.4‰, averagely -59.1‰, quite in conformity with the values reported abroad. The  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}-\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$  range implies that the waters in pegmatite of this area were predominantly from magmatic water and partly from the surface water.

Two groups of  $\delta^{13}\text{C}$  values are recognized for  $\text{CO}_2$  in fluid inclusions of quartz, i. e., -5.5‰ and -19.6‰. This indicates that the heavy carbon might have derived from the primary carbon in the depth of the crust and the light carbon from the organic carbon in the wall rocks.