

# 内蒙古白云鄂博白云石碳酸岩的地质特征及其成因探讨

周振玲 李功元 宋同云 刘宇光

(内蒙古地质局地质研究队) (内蒙古地质局实验室)

内蒙古白云鄂博铁矿及其围岩——白云岩以富含稀土和铈而著称于世。许多学者认为该白云岩是沉积岩,并将孕育其中的稀土、铈、铁等矿产,归因于“高温热液”<sup>1)</sup>或“沉积变质-热液交代”<sup>2)</sup>作用所致<sup>(1)</sup>。虽曾有人对白云岩提出“岩浆碳酸岩”的异议,因无专文论述,尚未引起重视。作者结合前人资料对本区白云岩的成因进行了研究,查明本区白云岩实属岩浆成因之白云石碳酸岩。现对本区白云石碳酸岩的地质特征作一简介,并对其成因进行探讨。

## 一、碳酸岩体的地质特征

本区位于天山-阴山纬向构造带中段,白云鄂博复背斜构造带中。

元古代,本区接受了一套类复理式建造的浅海砂岩、页岩和灰岩沉积。元古代末期的构造运动形成了近东西向的紧密褶皱和大量逆冲断层,并伴有超基性

岩、辉长岩、碱性辉绿岩、碱性正长岩和碳酸岩的侵入。

碳酸岩体沿本区东西向断裂带侵入于白云鄂博群和早期生成的基性岩体中,碳酸岩体长18公里,平均宽400余米(图1)。由南、北两带组成,中间有板岩和石英岩、变质石英砂岩相隔。北带东段尖灭部位由左行雁列式小岩体组成。南带东段被花岗岩穿切捕虏。岩体走向北东80°左右。北带岩体向南倾,倾角60—70°;南带岩体向北倾,倾角70°左右。

碳酸岩体穿切不同层位的岩层(图2)。岩体北界和南界均有南西向的岩枝发育(图1、2),岩枝与岩体边界的夹角15—30°,显示控制岩体的构造为压扭性断裂。

在岩体的内接触带,具有变质石英砂岩、板岩、闪长岩和辉长岩捕虏体,大者长200余米,小仅数平方厘米之团块。捕虏体长轴方向一般与岩体边界一致。捕虏体的边部甚至整个捕虏体被碳酸盐矿物(白

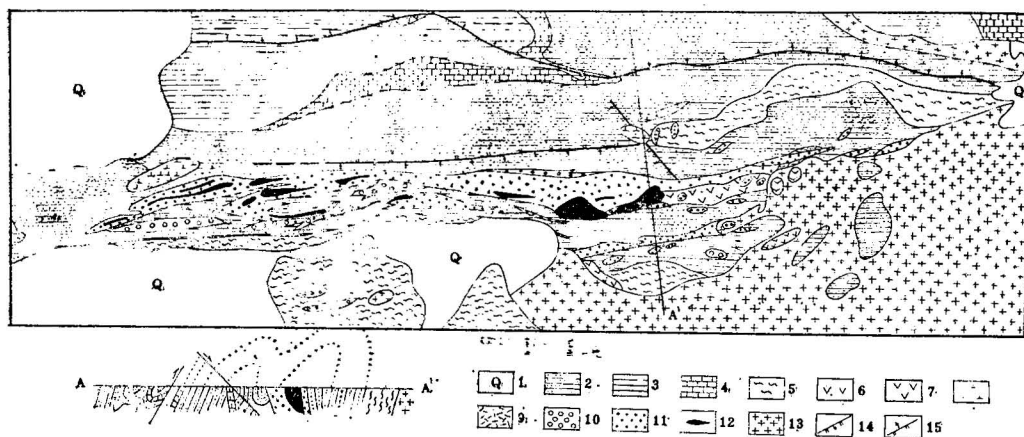


图1 本区区域地质略图

1—第四系; 2—变质砂岩、石英岩夹板岩及薄层灰岩; 3—板岩夹变质砂岩; 4—灰岩; 5—混合岩; 6—超基性岩; 7—辉长岩、碱性辉绿岩; 8—闪长岩; 9—碱性正长岩; 10—中粗粒白云石碳酸岩; 11—细粒白云石碳酸岩; 12—铁矿; 13—花岗岩; 14—正断层; 15—逆断层

1) 李毓英, 1959, 白云鄂博铁矿地质与勘探. 地质出版社。

2) 中国科学院地质研究所、贵阳地球化学研究所, 1974, 内蒙古白云鄂博矿床的物质成分地球化学及成矿规律的研究。

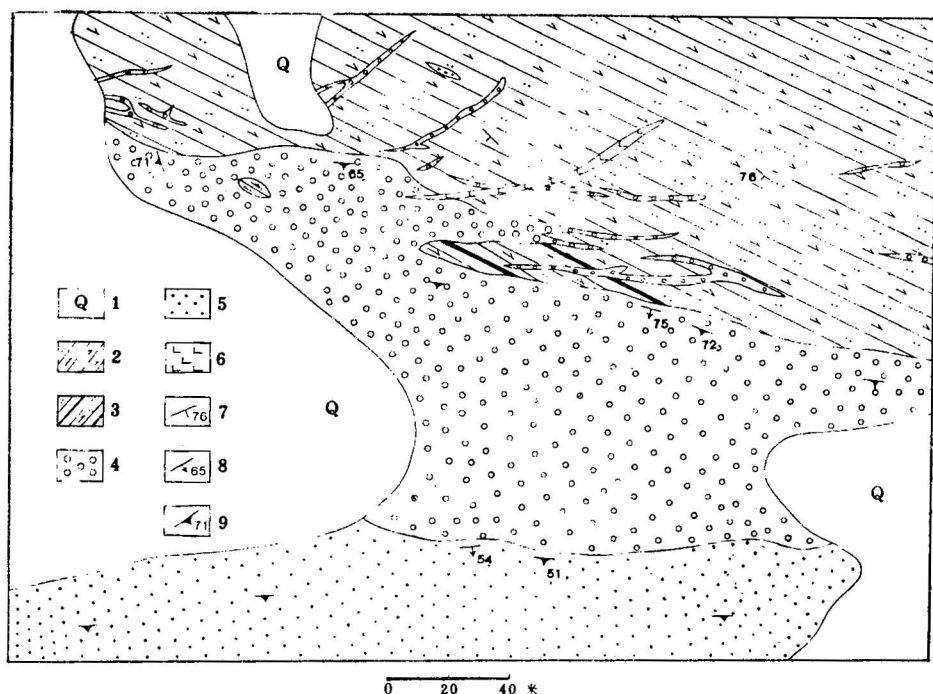


图 2 西白云石山附近地质图

1—第四系；2—蚀变的变质石英砂岩；3—蚀变的变质石英砂岩夹黑云母化板岩；4—中粗粒白云石碳酸岩；5—细粒白云石碳酸岩；6—煌斑岩；7—地层产状；8—岩体、岩脉产状；9—流面构造

云石) 强烈交代(照片 1)。

由于碳酸岩浆侵入过程中受南北向压应力作用，而沿东西向断裂带流动，使板状白云石、柱状磷灰石、铁质析离体和围岩捕虏体均呈定向平行排列；微细粒稀土矿物、磁铁矿等聚集成条纹状定向排列，构成了流线、流面构造。流线方向一般与岩体边界一致。流线遇到捕虏体和析离时，均绕其边界而过(照片 2)。

本区碳酸岩体是两次岩浆活动的产物。早期碳酸岩钙镁比值为 1.88，晚期碳酸岩钙镁比值为 1.91，均属白云石碳酸岩。晚期碳酸岩穿切早期碳酸岩的现象十分普遍，边部有大量早期碳酸岩捕虏体。镜下常见晚期细粒碳酸岩中有呈交代残余的早期中粒碳酸岩。

碳酸岩体局部具冷凝边，宽 5—10 厘米，边部为中细粒结构，向内渐变为中粗粒结构。

围岩中有与两次岩浆活动相应的两期碳酸岩脉，早期为中粗粒白云石碳酸岩脉；晚期为细粒白云石碳酸岩脉。区内碳酸岩脉达数百条之多，多呈脉状、透镜状及不规则状。控制岩脉之构造，多为不同方向的压扭和张扭性断裂，脉岩之矿物组合、结构、构造和矿化特征均与主侵入碳酸岩体相同。

## 二、碳酸岩的一般特征

(一) 本区碳酸岩组成矿物种类繁多，按成因可分为以下几类：

原生矿物：有白云石、铁白云石、方解石、磷灰石、磁铁矿、铈铁矿、金云母、独居石、氟碳铈矿、锆石等矿物。白云石和铁白云石为主要造岩矿物，其它为次要矿物和副矿物。

交代蚀变矿物：主要有萤石、钠质闪石、钠质辉石、重晶石、黑云母、赤铁矿、独居石、氟碳铈矿、氟碳钽铈矿、烧绿石、易解石，其次有磷灰石、黄铜矿、黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、菱铁矿、微斜长石、石英，其含量与交代蚀变强度有关。

表生矿物：有褐铁矿、赤铁矿、铜石、高岭石等。

岩体主要造岩矿物和蚀变矿物特征简述如下：

白云石：其含量在 65—80% 之间，为粒状和沿(0001)面发育的板状晶体，板状白云石呈定向排列(照片 3)。Ne=1.500±; No=1.680±0.002。X 射线粉晶分析数据见表 1。矿物中含有少量 Fe、Mn、Sr、Ba、Pb、Zn 等元素。

表 1 白云石X射线粉晶数据表\*

|   |       |      |       |      |      |       |       |       |      |
|---|-------|------|-------|------|------|-------|-------|-------|------|
| I | 2     | 4    | 10    | 2    | 2    | 4     | 5     | 4     | 1    |
| d | 3.60  | 3.10 | 2.80  | 2.60 | 2.45 | 2.35  | 2.15  | 1.97  | 1.80 |
| I | 6     | 6    | 3     | 3    | 1    | 3     | 3     | 1     | 1    |
| d | 1.77  | 1.76 | 1.52  | 1.42 | 1.41 | 1.37  | 1.32  | 1.28  | 1.26 |
| I | 3     | 1    | 3     | 4    | 2    | 2     | 5     | 5     |      |
| d | 1.245 | 1.19 | 1.113 | 1.10 | 1.09 | 1.065 | 1.055 | 0.998 |      |

测定单位，中国科学院地质研究所

铁白云石：分布较广，含量在 5 % 左右。晚期碳酸岩中粒度达 1—2 毫米，早期碳酸岩中粒度 达 5—7 毫米。 $N_e=1.543\pm0.003$ ； $N_o=1.730\pm0.003$ 。X 射线粉晶数据见表 2。

表 2 铁白云石X射线粉晶数据表\*

|       |      |      |      |      |       |       |      |      |
|-------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|
| I     | 2    | 4    | 10   | 1    | 1     | 4     | 5    | 3    |
| d (Å) | 3.58 | 3.10 | 2.78 | 2.60 | 2.45  | 2.35  | 2.13 | 1.96 |
| I     | 1    | 6    | 6    | 3    | 3     | 1     | 2    | 1    |
| d (Å) | 1.76 | 1.76 | 1.75 | 1.52 | 1.44  | 1.38  | 1.36 | 1.25 |
| I     | 3    | 1    | 4    | 1    | 5     | 5     |      |      |
| d (Å) | 1.22 | 1.11 | 1.10 | 1.04 | 1.005 | 0.995 |      |      |

测定单位：中国科学院地质研究所

磷灰石：早期碳酸岩中多为长柱状晶体，柱长 1—2.5毫米，定向排列，嵌于白云石粒间或包于白云石中，平均含量 8—10%，局部富集可达 20% 左右。晚期碳酸岩中磷灰石的粒度很细，一般为 0.2 毫米左右。平均含量 2 % 左右。 $N_o=1.634-1.642$ ； $N_e=1.628-1.630$ 。根据化学分析值钡和稀土含量，本区磷灰石可分为：氟磷灰石 ( $TR_2O_30.48-4.36\%$ )，钡稀土磷灰石 ( $BaO>5\%$ ； $TR_2O_3>5\%$ )，稀土磷灰石 ( $TR_2O_35.99-9.68\%$ )。

稀土矿物：本区碳酸岩中稀土矿物丰富 (表 3)，其含量在 1—10%，分布极不均匀，晚期碳酸岩中含量较高。稀土矿物中以氟碳铈矿、独居石分布最广，并具工业意义。

表 3 本区主要稀土矿物一览表

| 氟碳酸盐类                                    | 硅酸盐类                    | 钛铈铈酸盐类                                                  | 磷酸盐类 |
|------------------------------------------|-------------------------|---------------------------------------------------------|------|
| 氟碳铈矿<br>氟碳钙铈矿<br>氟碳铈钍矿<br>黄 河 矿<br>氟碳钽铈矿 | 褐帘石<br>硅 钛 铈 矿<br>磷硅钙铈矿 | 易解石<br>铈易解石<br>钛易解石<br>褐铈铈矿<br>$\beta$ -褐铈铈矿<br>铈 钛 铈 矿 | 独居石  |

独居石：粒径 0.05—0.1 毫米，散布于白云石粒间，局部与氟碳铈矿等构成稀土矿物条纹、条带。常与磁铁矿、磷灰石相伴。(+)  $2V=5^{\circ}-20^{\circ}$ ， $N_p=1.779\pm$ ， $N_m=1.779-1.786$ ； $N_g=1.823-1.837$ 。本区白云石碳酸岩中独居石根据 7 个样品分析，其中稀土元素平均配分如下：La 30.48%；Ce 51.00%；Pr 4.61%；Nd 12.17%；Sm 0.82%；Eu 0.26%；Gd 0.46%；Dy 0.06%。上述含量显示钐含量低而铈含量高，钐与铈的比值 Ce/Sm:60.97，与国外某些产地 (美国芒廷帕斯、苏联乌拉尔) 的独居石相似。

氟碳铈矿：粒径 0.05—0.5 毫米。多与独居石、磁铁矿、赤铁矿、萤石、磷灰石共生。

薄片中为无色—淡绿黄色的弱多色性， $N_e=1.798-1.812$ ； $N_o=1.712-1.723$ 。

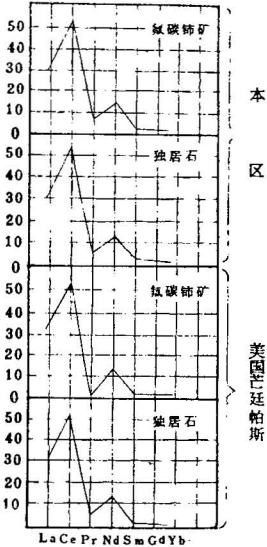


图 3 本区主要稀土矿与美国芒廷帕斯相应矿物的稀土元素配分曲线

\* 张培善、洪文兴，1963，白云鄂博矿物志。科学出版社。

本区的主要稀土矿物(独居石和氟碳铈矿)的稀土元素比值相似,并与美国芒廷帕斯碳酸岩中的同类稀土矿物、稀土元素配分曲线相似(图3)<sup>(2)</sup>,均属富铈族稀土强选择性铈矿物和选择性铈矿物<sup>(1)</sup>。

其它矿物含量极少且分布不普遍,故不赘述。

(二) 本区早晚两期白云石碳酸岩的化学成分除

某些组分外,一般变化较稳定(表4、5)其特点如下:

1. 本区碳酸岩铁含量较高。晚期碳酸岩中铁大量聚集而形成具工业价值的大型铁矿床。

2.  $\text{TR}_2\text{O}_3$ 含量高。晚期碳酸岩 $\text{TR}_2\text{O}_3$ 含量比早期碳酸岩高达10倍,稀土元素除加入磷灰石、黄绿石、

表 4 碳酸岩化学成分对比表

| 项 目                                  | 本 区           |        |               |        |        | 东                    |       | 非           |       | 沉 积   |
|--------------------------------------|---------------|--------|---------------|--------|--------|----------------------|-------|-------------|-------|-------|
|                                      | 早期碳酸岩         |        | 晚期碳酸岩         |        | 平 均    | 方解石碳酸岩               | 平均    | 白云石碳酸岩      | 平均    | 白云岩   |
|                                      | 中粗粒白云石碳酸岩%(4) | 平 均 %  | 细粒白云石碳酸岩%(4)  | 平 均 %  | %      | %(17)                | %     | %(4)        | %     | %(4)  |
| SiO <sub>2</sub>                     | 0.29—2.71     | 0.33   | 0.36—0.41     | 0.39   | 0.47   | 0.31—4.29            | 1.30  | 痕迹—0.27     | 0.18  | 0.44  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>       | 0.612—0.072   | 0.042  | 0.019—0.198   | 0.083  | 0.044  | 0.37—1.69            | 0.76  | 痕迹—0.90     | 0.71  | 0.17  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + FeO | 3.04—6.43     | 4.72   | 7.41—14.66    | 11.19  | 7.95   | 1.11—7.68            | 4.33  | 1.68—3.35   | 2.09  | 0.79  |
| TiO <sub>2</sub>                     | 0.012—0.058   | 0.024  | 0.039—0.292   | 0.120  | 0.072  | 未 发 现                | 未发现   | 未 发 现       | 未发现   | 微量    |
| CaO                                  | 30.34—31.75   | 31.34  | 26.09—28.44   | 27.17  | 29.25  | 40.50—53.60          | 47.91 | 30.28—31.80 | 30.69 | 30.17 |
| MgO                                  | 15.51—17.26   | 16.58  | 12.98—17.18   | 14.16  | 15.37  | 0.31—5.40            | 1.60  | 18.80—21.07 | 19.61 | 21.37 |
| MnO                                  | 0.44—0.617    | 0.559  | 0.37—1.74     | 1.074  | 0.82   | 0.33—0.93            | 0.47  | 0.62—0.96   | 0.81  | 0.17  |
| K <sub>2</sub> O                     | 0.05—0.11     | 0.065  | 0.11—0.020    | 0.13   | 0.098  | 0.01—0.60            | 0.09  | 0.05—0.15   | 0.08  | 未发现   |
| Na <sub>2</sub> O                    | 0.11—0.16     | 0.12   | 0.14—0.24     | 0.18   | 0.15   |                      |       |             |       | 痕迹    |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>        | 0.23—3.13     | 1.64   | 0.26—0.52     | 0.39   | 1.05   | 0.02—7.78            | 2.97  | 0.01—1.00   | 0.68  | 0.014 |
| TR <sub>2</sub> O <sub>5</sub>       | 0.061—0.26    | 0.142  | 1.82—3.94     | 2.41   | 1.31   | 0.02—? (欧洲、非洲等地)     |       |             |       | 未发现   |
| Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>       | 0.37—0.128    | 0.066  | 0.018—0.200   | 0.081  | 0.074  | 0.001—0.9 (欧洲、非洲等地)  |       |             |       | 未发现   |
| Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>       | 0.0001—0.0034 | 0.0014 | 0.0001—0.0044 | 0.0023 | 0.0018 | 0.001—0.02 (欧洲、非洲等地) |       |             |       |       |
| F                                    | 0.061—0.239   | 0.144  | 0.118—2.017   | 1.101  | 0.623  | 0.02—0.24 (欧洲、非洲等地)  |       |             |       |       |
| H <sub>2</sub> O                     | 0.24—0.60     | 0.46   | 0.21—0.92     | 0.67   | 0.565  | 0.16—1.20            | 0.64  | 0.11—0.31   | 0.23  |       |
| CO <sub>2</sub>                      | 38.48—42.55   | 40.51  | 35.40—38.94   | 37.29  | 38.9   | 28.72—42.66          | 37.99 | 43.40—45.72 | 45.11 |       |
| 灼 减                                  | 41.55—43.59   | 42.47  | 36.47—42.51   | 38.79  | 40.63  |                      |       |             |       | 46.95 |

注: (4) (17) 样品数; 本区样品由内蒙古地质局实验室分析; 东非资料引自 A. N. 金兹堡《稀有元素矿产地质》第一辑; 沉积白云岩分析值引自《内蒙古固阳拉草山白云岩地质勘探报告》。

表 5 白云石碳酸岩微量元素平均值

| 含<br>量<br>元<br>素<br>%<br>岩<br>石 | Ba   | Be      | P   | Pb    | Sr   | Zr    | Nb   | Ti   | Ce  | La   | Y     | Yb     | V     | Co     | Ni     | Cr   | 样<br>品<br>数 |
|---------------------------------|------|---------|-----|-------|------|-------|------|------|-----|------|-------|--------|-------|--------|--------|------|-------------|
| 细粒白云<br>石碳酸岩                    | 0.7  | <0.0001 | 0.2 | 0.04  | 0.08 | <0.01 | 0.02 | 0.05 | 1.2 | 0.6  | 0.02  | <0.001 | 0.000 | 0.000  | 0.000  | 0.00 | (3)         |
| 中粗粒白云<br>石碳酸岩                   | 0.12 | <0.0001 | 1   | 0.007 | 0.15 | <0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.1 | 0.02 | <0.01 | 0.000  | 0.000 | <0.001 | <0.001 | 0.00 | (32)        |

测定单位: 内蒙古地质局实验室

易解石等矿物外, 主要以独立矿物形式存在。稀土元素在本区主要稀土矿物独居石、氟碳铈矿中的配分比值相同(图3)。

3.  $\text{TiO}_2$  与  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  含量较高。晚期碳酸岩中  $\text{TiO}_2$  的含量比早期碳酸岩高4—5倍, 所以晚期碳酸岩发育有较多的含钛的矿物。铌以独立矿物存在。

4. 钽和氟含量较高。钽的含量晚期碳酸岩比早期的高3—5倍, 主要以重晶石和氟碳酸盐矿物形式存在。碳酸岩中氟的含量晚期又比早期的高达10倍。至使前者萤石和氟碳酸盐矿物特别发育, 并产生了以氟为主的后期自交代作用。

5. 早期碳酸岩  $\text{P}_2\text{O}_5$  的含量比晚期的高4倍。早期碳酸岩中的磷除构成稀土磷酸盐外, 主要是以磷灰石产出, 局部含量较高, 构成了具工业价值的磷灰石矿床。

6.  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  和  $\text{Na}_2\text{O}$  含量很低, 主要是在后期自交代阶段存在于钠质闪石、钠质辉石、钠长石、黑云母和石英中。

早期碳酸岩主要为自形中粗粒等粒结构; 白云石呈规则之多边形, 粒径介于2—7公厘(照片4)。晚期碳酸岩主要为自形细粒等粒结构; 白云石自形晶粒径介于0.2—0.5公厘。中粗粒白云石碳酸岩中, 局部可见粒径1厘米左右的白云石半自形斑晶, 而呈似斑状结构。富含磷灰石的碳酸岩中, 磷灰石柱状晶体呈近于平行的流状排列, 而呈现似粗面结构(照片5)。

其次还发育有蚕蚀状和残斑状等交代结构。

本区碳酸岩除块状构造外, 在晚期碳酸岩中, 由于磷灰石、稀土矿物、萤石、铁质矿物聚集成条带, 条纹而构成条带状或条纹状构造。铁矿物边部的碳酸岩中, 磁铁矿、钠质闪石、萤石、云母等呈团块和不规则条带聚集而形成斑杂状构造。碳酸岩中之板状白云石、柱状磷灰石、铁析析离体、围岩捕虏体以及磷灰石与稀土矿物聚集成的条纹, 定向平行排列构成流线、流面构造, 常发育于晚期碳酸岩和早期碳酸岩的边部。

### 三、碳酸岩的自交代作用

本区碳酸岩浆作用的晚期, 富含稀土、稀有金属挥发分, 对早先晶出的矿物进行交代而产生新的矿物组合, 岩石显示了明显的自交代特点, 尤以晚期碳酸岩自交代作用显著。其中包括: 钾交代作用(黑云母呈微细条带或放射状集合体交代白云石); 钠交代作用(强烈时生成钠质闪石岩、霓石岩和钠长石脉); 钙交代作用(强烈时白云石碳酸岩改造成细粒方解石碳酸岩); 磷交代作用(局部形成了不规则团块状和浸染状

细粒磷灰石集合体, 以及稀土-磷灰石脉); 钽交代作用(表现为重晶石化); 氟交代作用(生成了大量浸染状以及规模不一的团块状脉状萤石); 以及硅交代作用(石英细脉和微粒石英沿裂隙和白云石粒间交代, 铁矿物强烈硅化生成高硅铁矿物)。

上述交代作用, 在时间上有先后之别, 同一交代作用又多次发生, 因此碳酸岩的某些地段几种交代作用往往同时出现, 使碳酸岩强烈蚀变, 以致局部形成交代成因的单矿物岩石。因交代作用常伴有大量稀土、稀有矿物的生成, 交代蚀变强烈的岩石、稀土和铌含量普遍增高。

### 四、碳酸岩的围岩蚀变

本区碳酸岩体和岩脉之围岩, 均有宽度不同的蚀变晕圈, 碳酸岩的围岩主要有板岩、变质砂岩、碱性辉绿岩。其蚀变特征如下:

#### (一) 板岩的蚀变特征

碳酸岩体在许多地段都与板岩接触, 形成宽达300余米的蚀变带, 并由岩体边部向外蚀变依次可分为: 黑云母(岩)化带; 钾长石化板岩带。

黑云母(岩)化带: 宽几厘米到20余米。岩石可全部由黑云母组成, 黑云母鳞片多平行接受面定向排列, 片度随远离接触带而渐变小。

钾长石化板岩带: 发育于黑云母(岩)化带之外侧, 带宽十几米到几百米, 此带中发育有许多规模不等的交代钾长石脉和团块, 并逐渐过渡到隐晶状的钾长石化板岩。由于强烈的钾交代作用, 板岩中  $\text{K}_2\text{O}$  的含量很高。

表(6)表明从碳酸岩体边界逐渐向围岩、板岩蚀变带化学成分的变化。

#### (二) 变质石英砂岩的蚀变特征

碳酸岩体与变质砂岩广泛接触, 生成了宽100米至500米的蚀变带, 由岩体边界向外, 可分为:

角闪霓长岩化带<sup>(3)</sup>: 带宽一般几厘米至2米。钠质闪石替代了全部霓石, 岩石由含量相等的钠质闪石和微斜长石组成, 钠质闪石主要为含镁的钠铁闪石( $N_g = 1.654-1.670$ ;  $N_p = 1.642-1.660$ ,  $C/N_p = 30^\circ-35^\circ$ )。此带岩石风化后常呈蓝绿色。

蚀变的变质石英砂岩带: 发育于角闪霓长岩化带之外侧, 最宽可达500余米。主要有钠质闪石化、微斜长石化、霓石化、硅化、其次有独居石化、磷灰石化, 沿裂隙发育有钠闪石-霓石细脉。表7表明蚀变

带化学成分的改变。

黑云母(岩)化带:带宽5—100余米,彻底蚀变而成黑云母岩。带内发育有碳酸岩脉,钠辉石脉等。

### (三) 碱性辉绿岩的蚀变特征

岩体东段与碱性辉绿岩接触,形成宽达400余米的蚀变带。蚀变带依次可分为:

蚀变的碱性辉绿岩带:位于黑云母岩带外侧,带宽约400余米,主要由黑云母、透闪石、细粒钾长石组成,其次有透辉石、方解石、磁铁矿、独居石、黄

表 6 碳酸岩与板岩蚀变带化学成分对比表

| 岩 石      | 含<br>量<br>%<br>分<br>组<br>样<br>号 | SiO <sub>2</sub> | TiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO  | CaO   | MgO   | K <sub>2</sub> O | Na <sub>2</sub> O | TR <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | SO <sub>3</sub> | F     | 灼碱    | 备注                    |
|----------|---------------------------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-------|-------|------------------|-------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------|-------|-------|-----------------------|
| 细粒白云石碳酸岩 | P VI-15                         | 8.43             | 0.01             | 0.09                           | 2.07                           | 0.16 | 30.20 | 10.74 | 0.34             | 0.96              | 1.735                          | 0.008                          | 0.0023                         | 0.05            | 1.016 | 41.99 | 由<br>岩<br>体<br>向<br>外 |
| 黑云母岩     | P VI-11                         | 27.74            | 0.18             | 7.55                           | 3.88                           | 0.77 | 22.64 | 6.96  | 6.20             | 0.43              | 1.42                           | 0.041                          | 0.0044                         | 0.07            | 0.895 | 19.66 |                       |
| 蚀变板岩     | P VI-5                          | 50.74            | 0.11             | 11.12                          | 15.68                          | 0.35 | 0.79  | 2.57  | 9.05             | 1.63              | 0.122                          | 0.000                          | 0.0053                         | 0.83            | 0.352 | 3.34  |                       |
| 蚀变板岩     | P VI-1                          | 55.06            | 0.32             | 15.77                          | 13.92                          | 0.95 | 1.27  | 4.20  | 1.02             | 0.81              | 0.112                          | 0.01                           | 0.0025                         | 0.17            | 0.539 | 3.90  |                       |

分析单位: 内蒙古地质实验室

表 7 碳酸岩与变质石英砂岩(蚀变带)化学成分对比表

| 岩 石         | 含<br>量<br>%<br>分<br>组<br>样<br>号 | SiO <sub>2</sub> | TiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO  | CaO   | MgO   | K <sub>2</sub> O | Na <sub>2</sub> O | TR <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | T <sub>2</sub> RO <sub>5</sub> | SO <sub>3</sub> | F     | 灼碱    | 备注                    |
|-------------|---------------------------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-------|-------|------------------|-------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------|-------|-------|-----------------------|
| 粗粒白云石碳酸岩    | P VII-1                         | 0.54             | 0.01             | 0.05                           | 3.53                           | 2.24 | 30.95 | 17.80 | 0.14             | 0.27              | 0.118                          | 0.039                          | 0.0044                         | 0.01            | 0.236 | 42.94 | 由<br>岩<br>体<br>向<br>外 |
| 闪石化粗粒白云石碳酸岩 | P VII-2                         | 13.44            | 0.01             | 0.09                           | 6.05                           | 0.14 | 37.76 | 5.68  | 0.22             | 0.68              | 0.049                          | 0.027                          | 0.0020                         | 0.02            | 0.202 | 34.23 |                       |
| 蚀变的变质石英砂岩   | P VII-4                         | 82.65            | 0.19             | 3.78                           | 3.19                           | 0.92 | 1.96  | 1.24  | 0.80             | 2.44              | 0.018                          | 0.008                          | 0.004                          | 0.06            | 0.131 | 1.98  |                       |
| 蚀变的变质石英砂岩   | P VII-5                         | 88.00            | 0.13             | 3.99                           | 1.84                           | 0.67 | 0.63  | 0.68  | 0.80             | 1.73              | 0.007                          | 0.003                          | 0.0008                         | 0.05            | 0.086 | 0.66  |                       |

分析单位: 内蒙古地质局实验室

表 8 碳酸岩与碱性辉绿岩蚀变带化学成分对比表

| 岩 石      | 含<br>量<br>%<br>分<br>组<br>样<br>号 | SiO <sub>2</sub> | TiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO  | CaO   | MgO   | K <sub>2</sub> O | Na <sub>2</sub> O | TR <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | SO <sub>3</sub> | F     | 灼碱                          | 备注                    |
|----------|---------------------------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-------|-------|------------------|-------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------|-------|-----------------------------|-----------------------|
| 细粒白云石碳酸岩 | P II-3                          | 2.70             | 0.06             | 0.08                           | 7.70                           | 2.50 | 29.64 | 14.83 | 0.11             | 0.21              | 1.76                           | 0.066                          | 0.0044                         | 0.03            | 0.788 | 38.94                       | 由<br>岩<br>体<br>向<br>外 |
| 细粒白云石碳酸岩 | P II-4                          | 9.36             | 4.06             | 2.39                           | 10.03                          | 3.07 | 29.64 | 8.14  | 2.00             | 0.21              | 1.17                           | 0.200                          | 0.0042                         | 0.01            | 2.395 | (CO <sub>2</sub> )<br>24.38 |                       |
| 黑云母岩     | P II-6                          | 36.87            | 1.62             | 10.74                          | 13.58                          | 6.32 | 1.88  | 13.98 | 6.50             | 1.69              | 1.18                           | 0.022                          | 0.0038                         | 0.13            | 2.061 | 3.36                        |                       |
| 黑云母岩     | P II-8                          | 37.34            | 1.57             | 10.85                          | 20.10                          | 4.35 | 0.63  | 13.31 | 5.73             | 1.37              | 0.062                          | 0.024                          | 0.0038                         | 0.15            | 1.153 | 4.63                        |                       |
| 蚀变碱性辉绿岩  | P II-14                         | 46.82            | 2.08             | 11.88                          | 13.89                          | 8.11 | 6.74  | 5.79  | 0.88             | 1.47              | 0.052                          | 0.006                          | 0.0037                         | 0.03            | 0.443 | 1.66                        |                       |

分析单位: 内蒙古地质局实验室

绿石、萤石等。蚀变矿物多呈带状，镶嵌状聚集。表 8 表明岩石的化学成分由岩体向围岩的变化。

综上所述本区岩石蚀变特征：

1. 碳酸岩体的各种围岩都遭受性质和程度不同的蚀变。而碳酸盐化、铁矿化、萤石化、磷灰石化、稀土矿化和铌矿化等在各类围岩的各种不同的变质带中均有程度不同的发育。

2. 蚀变围岩具分带现象，内带为完全交代岩石，外带为交代蚀变岩石。蚀变强度随远离岩体而逐渐减弱。

3. 不同岩性围岩的蚀变特征虽有不同，但蚀变过程带入的组分却相同，均为 K、Na、Mg、Ca、Fe、TR、Nb、P、F、CO<sub>2</sub>、SO<sub>3</sub> 和 H<sub>2</sub>O 等，这些组分为本区碳酸岩体所特有。带出的组分为 SiO<sub>2</sub> 和 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>。

## 五、碳酸岩的成因探讨

本区白云石碳酸岩，多年来人们大都认为它是沉积白云岩，但从上述地质特征的简述中可看出：

1. 本区碳酸岩产出受构造控制，而不受层位控制。与围岩呈侵入接触，并有岩枝插入其中。围岩中不同形态、不同产状的碳酸岩脉的岩性及矿化特点均与岩体一致。

2. 碳酸岩体中具围岩捕虏体，晚期碳酸岩中又具早期碳酸岩的捕虏体。

3. 岩体中流动构造发育。局部地段还发育有不太宽的冷凝边。

4. 碳酸岩的矿物组合、化学成分、稀土元素的配分特征及结构构造特征与国外内生成因的碳酸岩相似<sup>〔4〕〔5〕</sup>。

5. 碳酸岩的自交代作用发育，自交代作用使稀土和稀有金属进一步得到了富集。

6. 岩体和岩脉的围岩，均发生了程度不同的蚀变，蚀变强度随远离岩体边界向围岩逐渐减弱。不同

围岩和不同特征的蚀变过程带入带出组分却相同，带出组分为碳酸岩体所特有。

因此，可认为本区白云石碳酸岩无疑是岩浆成因的碳酸岩。从表 9 可看出本区碱性正长岩、碱性辉绿岩中 TR、Nb、Fe、Ti 等元素含量较高，与碳酸岩有很好的-致性。岩浆岩在地球化学上的一致性，反映其成因上具亲缘关系，是同源岩浆的产物。本区碳酸岩是偏碱性基性岩浆，深部分异晚期阶段形成的碳酸岩浆，多次活动所形成。而稀土、铌、磷灰石和铁等矿产，是碳酸岩浆分异过程的产物。

## 六、结 语

1. 本区白云石碳酸岩产于天山-阴山纬向构造带中段，白云鄂博复背斜轴部，东西向与北西向断裂的复合部位。是元古代岩浆活动的产物。

2. 本区碳酸岩虽与偏碱性的基性岩、碱性正长岩有密切的成因关系，但不象国外碳酸岩呈岩核、岩墙、岩脉产于超基性-碱性杂岩中，而是呈独立的侵入体产出。是多次岩浆活动的产物，常伴有相应的脉状碳酸岩体。围岩具明显的蚀变晕圈。

3. 本区白云石碳酸岩富含铁、磷、稀土和铌等稀有金属和挥发分。随着岩浆的演化，致使晚期碳酸岩更加富含这些成分，而形成富含铁、氟、稀土和铌等稀有金属的综合性矿床。铁矿呈熔离矿床，而碳酸岩岩体南、北两带的深部交汇部位是铁矿成矿的有利地段，因此本区深部找铁矿是非常有远景的。早期碳酸岩则为富含磷灰石、铌和稀土的综合性矿床。

4. 围岩蚀变可使某些有益组分聚集，形成有用矿产。如蚀变板岩的某些地段 K<sub>2</sub>O 含量达 7—13%，黑云母（岩）化带，钾长石化板岩和蚀变碱性辉绿岩，具有广泛的稀土和铌矿化，特别是岩体南、北带所夹蚀变的板岩、变质石英岩和碱性辉绿岩，局部可构成具工业价值的钾、稀土、铌的综合性矿床。

表 9 碱性辉绿岩、碱性正长岩、白云石碳酸岩化学成分对比表

| 含<br>量<br>%<br>分<br>组<br>石 | SiO <sub>2</sub> | TiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO   | CaO   | MgO  | MnO   | K <sub>2</sub> O | Na <sub>2</sub> O | Tr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | TR <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | F     | 灼减     | 备注 |
|----------------------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|-------|------|-------|------------------|-------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------|--------|----|
| 碱性辉绿岩                      | 46.82            | 2.08             | 11.88                          | 13.89                          | 8.11  | 6.74  | 5.79 | —     | 0.88             | 1.47              | 0.0052                         | 0.006                          | 0.0037                         | —                             | 0.443 | 1.66   |    |
| 碱性正长岩                      | 56.01            | 0.628            | 11.45                          | 10.48                          | 0.80  | 0.89  | 1.30 | 0.125 | 7.35             | 3.09              | 0.051                          | 0.021                          | 0.00                           | 0.14                          | 0.009 | 8.42   |    |
| 白云石碳酸岩                     | 0.656            | 0.072            | 0.062                          | 7.95                           | 29.25 | 15.37 | 0.82 | 0.098 | 0.15             | 1.31              | 0.074                          | 0.0018                         | 1.05                           | 0.623                         | 40.63 | 8 个样平均 |    |

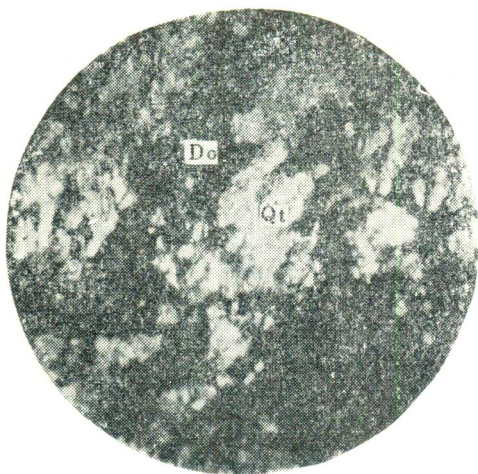
分析单位：内蒙古地质局实验室

(下转 42 页)

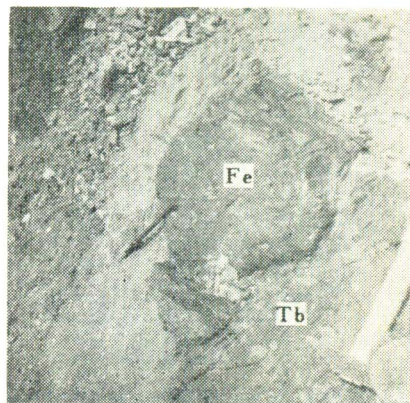
(上接第41页)

### 参 考 文 献

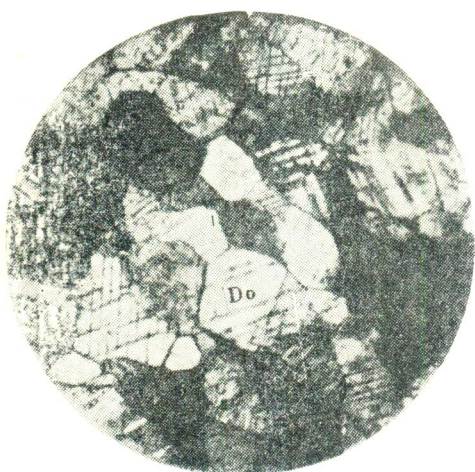
- [1] 金兹堡, A. И. 主编, 1965, 稀有元素矿床地质。第三辑, 稀土元素及其矿床。
- [2] 金兹堡, A. И. 主编, 1959, 稀有元素矿床地质。第一辑, 稀有金属碳酸岩。
- [3] Heinrich, E. Wm., 1966, The Geology of Carbonatites. Rand Mc Nally 4, Company Chicago. pp. 68—69.
- [4] 日阿宾, A. Г., 1970, 碳酸岩的原生结构—构造标志及其变质演化。
- [5] 盖杜科娃, B. C. 等, 1965, 稀有元素矿床地质。第十七辑, 稀有金属碳酸岩的地质构造与矿物—地球化学特点。



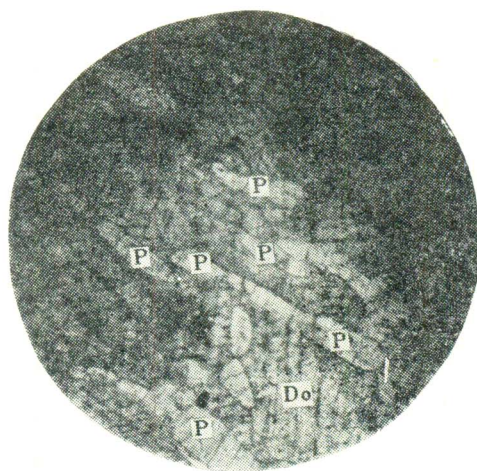
1



2



3



4



5

1. 变质石英砂岩被白云石强烈交代 (Qt 石英; Do 白云石)。正交偏光  $\times 10$ 。

2. 铁质析离体边部的流动构造 (Fe 铁质析离体; Tb 碳酸岩)。

3. 碳酸盐中板状白云石晶体 (Do 白云石)。正交偏光  $6 \times 8$ 。

4. 碳酸岩自形中粒结构 (Do 白云石)。正交偏光  $10 \times 4$ 。

5. 碳酸岩之似粗面结构 (Do 白云石; P 磷灰石)。正交偏光  $10 \times 4$ 。