

中国地质科学院

# 矿床地质研究所所刊

1983年 第3号

(总第9号)

地质出版社



中国地质科学院

# 矿床地质研究所刊

1983年 第3号

(总第9号)

地质出版社

中国地质科学院

# 矿床地质研究所刊

第 3 卷 第 3 期

(总第 9 号)

中国地质科学院  
矿床地质研究所刊

1983年 第3号

(总第9号)

中国地质科学院矿床地质研究所编辑

(北京阜外百万庄)

责任编辑: 张肇新

地质出版社出版

(北京西四)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

\*

开本:  $787 \times 1092^{1/16}$  印张:  $5^{3/8}$  字数: 107,000

1983年6月北京第一版·1983年6月北京第一次印刷

印数1—2,251·国内定价: 1.00元

统一书号: 15038·新958

目 录

# 大顶锡铁矿的地球化学问题

专 辑 3

王 书 风

(1) 大顶锡铁矿的地球化学问题 (一)

王书风 (二)

大顶锡铁矿的地球化学问题 (三)

王书风 (四)

大顶锡铁矿的地球化学问题 (五)

王书风 (六)

大顶锡铁矿的地球化学问题 (七)

王书风 (八)

大顶锡铁矿的地球化学问题 (九)

王书风 (十)

大顶锡铁矿的地球化学问题 (十一)

王书风 (十二)

大顶锡铁矿的地球化学问题 (十三)

王书风 (十四)

大顶锡铁矿的地球化学问题 (十五)

王书风 (十六)

大顶锡铁矿的地球化学问题 (十七)

王书风 (十八)

大顶锡铁矿的地球化学问题 (十九)

王书风 (二十)

大顶锡铁矿的地球化学问题 (二十一)

王书风 (二十二)

大顶锡铁矿的地球化学问题 (二十三)

王书风 (二十四)

大顶锡铁矿的地球化学问题 (二十五)

王书风 (二十六)

大顶锡铁矿的地球化学问题 (二十七)

王书风 (二十八)

大顶锡铁矿的地球化学问题 (二十九)

王书风 (三十)

大顶锡铁矿的地球化学问题 (三十一)

王书风 (三十二)

大顶锡铁矿的地球化学问题 (三十三)

王书风 (三十四)

大顶锡铁矿的地球化学问题 (三十五)

王书风 (三十六)

大顶锡铁矿的地球化学问题 (三十七)

王书风 (三十八)

大顶锡铁矿的地球化学问题 (三十九)

王书风 (四十)

大顶锡铁矿的地球化学问题 (四十一)

王书风 (四十二)

大顶锡铁矿的地球化学问题 (四十三)

王书风 (四十四)

大顶锡铁矿的地球化学问题 (四十五)

王书风 (四十六)

大顶锡铁矿的地球化学问题 (四十七)

王书风 (四十八)

大顶锡铁矿的地球化学问题 (四十九)

王书风 (五十)

大顶锡铁矿的地球化学问题 (五十一)

王书风 (五十二)

大顶锡铁矿的地球化学问题 (五十三)

王书风 (五十四)

大顶锡铁矿的地球化学问题 (五十五)

王书风 (五十六)

大顶锡铁矿的地球化学问题 (五十七)

王书风 (五十八)

大顶锡铁矿的地球化学问题 (五十九)

王书风 (六十)

大顶锡铁矿的地球化学问题 (六十一)

王书风 (六十二)

大顶锡铁矿的地球化学问题 (六十三)

王书风 (六十四)

大顶锡铁矿的地球化学问题 (六十五)

王书风 (六十六)

大顶锡铁矿的地球化学问题 (六十七)

王书风 (六十八)

大顶锡铁矿的地球化学问题 (六十九)

王书风 (七十)

大顶锡铁矿的地球化学问题 (七十一)

王书风 (七十二)

大顶锡铁矿的地球化学问题 (七十三)

王书风 (七十四)

大顶锡铁矿的地球化学问题 (七十五)

王书风 (七十六)

大顶锡铁矿的地球化学问题 (七十七)

王书风 (七十八)

大顶锡铁矿的地球化学问题 (七十九)

王书风 (八十)

大顶锡铁矿的地球化学问题 (八十一)

王书风 (八十二)

大顶锡铁矿的地球化学问题 (八十三)

王书风 (八十四)

大顶锡铁矿的地球化学问题 (八十五)

王书风 (八十六)

大顶锡铁矿的地球化学问题 (八十七)

王书风 (八十八)

大顶锡铁矿的地球化学问题 (八十九)

王书风 (九十)

大顶锡铁矿的地球化学问题 (九十一)

王书风 (九十二)

大顶锡铁矿的地球化学问题 (九十三)

王书风 (九十四)

大顶锡铁矿的地球化学问题 (九十五)

王书风 (九十六)

大顶锡铁矿的地球化学问题 (九十七)

王书风 (九十八)

大顶锡铁矿的地球化学问题 (九十九)

王书风 (一百)

## 序 言

大顶锡铁矿的地质现象非常复杂,研究程度还不很高。1978年,我写过两篇研究报告表达了对该矿床的部分看法。一篇题为《大顶锡铁矿及与之有关的矽卡岩》,另一篇叫做《锡在大顶锡铁矿中的存在形式》。前者概述了矿石和镁矽卡岩的基本特征;后者介绍了锡在矿石中除呈独立矿物锡石和硼钙锡矿外,还以类质同象方式寓于磁铁矿、富铁硼镁铁矿、辉石、符山石、石榴石和阳起石等的格架里。为了避免过多的重复,本文的内容应另有偏重,命题为《大顶锡铁矿的地球化学问题》,意在対镁矽卡岩期后交代产物的地球化学反应及物理化学作出分析。

为了与论题的重心相呼应,本文在矿物资料的取材上,不打算对光性特征多花功夫,而着重于其形成方式、存在状态及转化关系。尽可能地把所面临的种种矿物当作一个一个的地质体,视为地质过程演化的产物,使之成为蕴有形成条件的信息源泉。

矿物是化学元素在自然界中的一种存在形式,它形成于特定的地质环境及地球化学反应过程,又将随变化了的条件而改变自己的存在形式。有用矿物的堆积,不是一举达到工业规模,而是经历了较长的发展过程。这个历程基本是连续的,但又可相对地分成若干作用阶段。矿物、岩石及矿石的形成,在本质上是化学问题。化学领域中行之有效的科学方法,对于表达矿物、岩石及矿石的形成条件、存在状态同样是有有效的。

目前,人们在研究矿物、岩石、矿床、地球化学的实践中,经常使用三种互补的方法:观察描述,理论分析,实验合成。观察描述的方法与这些学科同时产生,每个地质工作者都能运用自如,成为获取地质资料的重要途径。理论分析的方法大体随数理化定理、定律的渗入而兴起,如今越来越多地受到研究人员的重视,成为理解地质现象的重要钥匙。实验合成的方法则是前两者合乎逻辑的延伸,正在许多研究机构相继建立,可望成为验证地质理论的重要手段。本人在实际工作中,主要交互地使用前两种方法。

从地球化学的角度讲,岩石的蚀变都是交代反应。地壳化学中的交代反应与化学领域中的置换反应不同,是在特定体积条件下发生的。若交代过程没有在岩石中造成空洞,则一定体积的被交代矿物只能代之以同体积的新生成矿物。这就是林格仑所说的“交代过程的体积守恒定律”。关于这一点,在本文的叙述中受到了充分的注意。

交代地质体的形成过程,有点类似于生命现象中的新陈代谢。当某地质体在体系强度参数变化的过程中变得不稳定的时候,总会孕育着一种新地质体的萌芽。一旦新地质体形成以后,又往往保留一些初始地质体的残骸。因此,交代地质体形成的过程,就是初始地质体逐渐消失,新地质体逐渐形成的过程。

为了揭示镁矽卡岩期后交代作用的特征,必须在确认一套被交代矿物和取而代之的新生成矿物后,在遵循交代过程体积守恒定律的前提下,参考这两类矿物的比重及摩尔数量,写出一套与之对应的交代反应。由于在交代反应方程式中,不仅写有被交代的矿物和新生成的矿物,同时还显示出被交代矿物消失时实际释放出来的组份和形成新矿物时从溶液

中吸取的组份,因此,就可从这一套交代反应方程中看出有关组份的来踪去影,就可判断与特定交代过程相对应的体系,对哪些组份是相对封闭的,对哪些组份是相对开放的。

本文对镁矽卡岩期后蚀变产物进行理论分析时,主要遵循的是吉布斯相律,借以表达的手段是相律的施赖恩马克斯图示法。施赖恩马克斯方法之移植到地质学,始于格鲁宾曼及其学生尼格里。他们用之研究的对象是变质岩和岩浆岩,应用的范围限于  $n+2$  相体系( $n$  代表惰性组份的数目)。尔后,柯尔任斯基把它推广于研究交代岩,范围扩大到  $n+3$  相复合体系,并创立了复合体系状态图的理论基础。这个历史过程表明,热力学原理在地质学中的应用已经有了一段良好的开端。可以预料,前景是极其广阔的。因为热力学的科学方法,主要是根据从自然界直接经验到的基本规律对事物进行演绎推理,它所需要的数据不多,得到的结论却又最普遍、最可靠。

本文对镁矽卡岩期后蚀变与矿化过程所作的分析,就是在上述认识的基础上从实际资料中作出的一种引伸。

## 目 录

### 序 言

- 一、矿田的区域地质背景..... (1)
  - (一) 上三叠统的岩性特征
  - (二) 上三叠统的构造形态
  - (三) 石背花岗岩体简况
  - (四) 接触变质现象
- 二、矿床地质特征..... (4)
  - (一) 上三叠统碳酸盐岩的基本特征
  - (二) 石背花岗岩的岩性特征
  - (三) 接触封闭构造
  - (四) 交代岩概述
- 三、交代岩的矿物成分..... (10)
  - (一) 矿物在交代作用过程中的地球化学行为
  - (二) 主要矿物描述
  - (三) 矿物形成的阶段性
  - (四) 呆性矿物的主要特征
  - (五) 矿物组合在蚀变过程中的平衡性
- 四、镁矽卡岩期后蚀变的理论分析..... (32)
  - (一) 引言
  - (二) 镁矽卡岩的氟硼质蚀变
  - (三) 镁矽卡岩的钙质交代作用
  - (四) 矽卡岩的酸性淋滤现象
- 五、矿化的化学机理..... (56)
  - (一) 概述
  - (二) 矿石矿物的基本特征
  - (三) 矿石建造分析
  - (四) 矿石形成的化学机理
- 六、结论..... (66)

## 一、矿田的区域地质背景

大顶锡铁矿位于南岭地区边缘,包括矿山头、深坑、铁帽顶、上泥竹塘、下泥竹塘五个地段。它们彼此间相距几百米到千米以上,每一个地段实际上都是独立矿床,可以把它们合在一起,统称为大顶矿田。

大顶矿田分布在华南褶皱系东江燕山冒地槽褶皱带的北沿<sup>[1]</sup>。区域内出露的地层有泥盆系、石炭系、二叠系、三叠系、侏罗系、白垩系及第四系等。基底构造线近东西向,盖层构造线主要呈北北东向。所见到的火成岩以花岗岩(即石背花岗岩体)为主,其次为各种成分的火山集块岩、火山角砾岩、凝灰岩以及一定数量的中性脉岩和基性脉岩。该矿田五个地段就分布在石背花岗岩体的东南沿和西南沿。

下面依次将上三叠统的岩性特征及构造地质形态、花岗岩的岩体地质及上三叠统沉积岩所受的接触变质现象概述如下。

### (一) 上三叠统的岩性特征

大顶锡铁矿石赋存在上三叠统大顶段白云岩所在的位置上。这套岩层过去被称为下蓝塘群。近几年,经广东省地质局区域地质测量大队和广东省冶金地质勘探公司938队的深入研究,定为上三叠统。它的厚度在大顶附近约1600米,主要由石英砂岩、石英粉砂岩及粘土岩组成。在不同地段,还分别夹有碳酸盐岩、煤层及铁层。根据所含化石及岩性上的不同,可分为三段:即大往段、蕉园段、大顶段。

**大往段** 是一套海退期沉积物,厚约250米,主要由伊利石高岭石粘土岩、页岩夹中细粒石英砂岩组成。层理清楚,其中保存着丰富的瓣鳃类、菊石类动物化石,还见有大量真蕨类、裸子类植物化石。该段的中下部有一些薄层铁矿,单层厚0.1至0.76米,总厚3至4米,含铁量可达45%。

**蕉园段** 是一套海浸期沉积物,厚约850米,主要为粘土岩夹石英砂岩。岩层面上有时可见到交错层理和微波状层理。底部为含炭石英长石粉砂质伊利石高岭石粘土岩、粉砂岩,含铁2.6—5.5%。中部为石英粉砂质伊利石高岭石粘土岩和伊利石高岭石石英粉砂岩,局部含煤岩和可采煤层,一般含铁4.5—5.7%。上部主要由石英粉砂质粘土岩和高岭石伊利石石英粉砂岩组成,含铁量为4.9—8.6%。整个蕉园段仅仅在上部保存瓣鳃类和菊石类的残骸,中部和下部只有真蕨类和裸子类植物化石。本段碎屑岩中的石英砂,粒度很小,多呈棱角状或次棱角状,颇似石英晶屑。

**大顶段** 是一套海进期沉积物,厚约500米。其底部为细粒石英砂岩与泥质石英砂岩互层,夹有薄层伊利石高岭石粘土岩。中部由厚层状石英砂岩夹薄层石英粉砂岩、石英粉砂质粘土岩组成。上部主要为石英粉砂质高岭石伊利石粘土岩与石英粉砂岩互层,局部地段夹较厚的白云岩、钙质白云岩、白云质灰岩、灰岩及泥灰岩。这些碳酸盐岩夹层,多数被镁砂卡岩交代。关于碳酸盐岩的厚度及其沿走向的伸展程度,实难测到可靠数据。若根

据镁矽卡岩体的规模估算,厚度可达一百多米,长度则在千米左右。从镁矽卡岩体的规模推知,它主要为白云岩。

此外,在整个上三叠统内,存在若干酸性、中性及基性岩的似脉状地质体。这类地质体,有人认为是喷出岩,有人则把它当作脉岩。

大往段和园蕉段,由于发现大量动植物化石,层位确属上三叠统。至于大顶段,因未见到任何化石,也没有发现孢粉,但顾及到它与上覆的蕉园段之间并无沉积间断,暂将其列在上三叠统内。当然,也有人认为大顶段可能是二叠系、石炭系或泥盆系的一部分。

## (二) 上三叠统的构造形态

从总体上看,上三叠统基本上呈穹窿构造。该穹窿的主轴走向 $NW310^\circ$ ,向南东东倾没。在此穹窿构造的背景上,发育着若干次级低序次褶曲(见图1)。这些褶曲归结起来,分为北东向和北西向两组。北东向主要有五罗顶向斜、茅岭背斜、鹿湖嶂向斜、蕉园背斜;北西向主要有铁帽顶背斜和石背北向斜。在所有这些褶曲中,向斜相对开阔一些,背斜相对紧闭一点。



图1 大顶矿田地质图(根据938队资料改编)

- 1—泥质粉砂岩与石英砂岩互层; 2—石英砂岩; 3—白云岩和钙质白云岩; 4—砂岩与粘土岩互层; 5—页岩夹粉砂岩; 6—粘土岩和粉砂岩; 7—矽卡岩和矿石; 8—粗粒斑状黑云母花岗岩; 9—中粒斑状黑云母花岗岩; 10—细粒斑状黑云母花岗岩; 11—岩石采样点; 12—断层

## (三) 石背花岗岩体简况

该岩体出露面积20多平方公里,呈岩株状,四周的岩层全属上三叠统,岩层的层面一般从岩体向外倾,形成穹窿状构造,岩体处在穹窿的正中。岩体与上三叠统源于同一构造

岩浆活动中, 据此推测它们之间为侵入接触关系。

石背岩体属花岗岩类, 主要造岩矿物为斜长石、钾长石、石英、黑云母, 还有锆石、磷灰石、金红石、钛铁矿、磁铁矿等。由于造岩矿物在粒度上存在明显差别, 过去被人分为粗粒斑状黑云母花岗岩、中粒斑状黑云母花岗岩、细粒斑状黑云母花岗岩。与此相应划分为中心相、过渡相、边缘相。严格地说, 由于该岩体多被浮土覆盖, 露头不多, 这三种粒度不同的岩石是否真为岩相的变化, 根据并不充分。

关于该岩体的形成时代, 过去认为是燕山期。从现在占有的同位素年龄资料(见表1和表2)来看, 可能为印支期。据以测定同位素年龄的样品是黑云母, 其化学成分见表4。

铷锶法同位素年龄值

表 1

| 样 号 | 样品名称  | Rb <sup>87</sup><br>(ppm) | Sr <sup>81</sup><br>(ppm) | 年 龄 值<br>(百万年) | 附 注                                                 |
|-----|-------|---------------------------|---------------------------|----------------|-----------------------------------------------------|
| 硅60 | 黑 云 母 | 387                       | 1.30                      | 225            | 采用常数                                                |
| 硅61 | 黑 云 母 | 285                       | 0.91                      | 230            | $\lambda_{87} = 1.39 \times 10^{-11} \text{年}^{-1}$ |

测定者 中国地质科学院原地质矿产研究所 采样位置见图1

钾氩法同位素年龄值

表 2

| 样 号 | 样品名称  | K <sup>40</sup> % | Ar <sup>40</sup> % | $\frac{\text{Ar}^{40}}{\text{K}^{40}}$ | 年 龄 值<br>(百万年) | 大 气 氩 |
|-----|-------|-------------------|--------------------|----------------------------------------|----------------|-------|
| 石13 | 黑 云 母 | 6.24              | 0.0946             | 0.0124                                 | 201            | 3.3%  |
| 石14 | 黑 云 母 | 6.08              | 0.1255             | 0.0169                                 | 269            | 6.6%  |

测定者 冶金部桂林冶金地质研究所 采样位置见图1

#### (四) 接 触 变 质 现 象

石背岩体四周的上三叠统沉积岩, 在与岩体相接触的一定范围内发生了明显的接触变质作用, 使石英砂岩变质为石英岩; 伊利石高岭石石英砂岩、石英粉砂质伊利石高岭石粘土岩, 相应地变质为石英长石质角岩、泥质角岩。泥质角岩中的主要矿物组合为: 钠长石+黑云母+白云母+石英、红柱石+黑云母+白云母+石英。从泥质角岩的矿物组合推知, 石背岩体四周的接触变质岩主要属于低温变质相。

## 二、矿床地质特征

大顶锡铁与接触带有关。接触带的一侧为上三叠统碳酸盐岩，另一侧为石背花岗岩。矿体成群地沿碳酸盐岩与花岗岩的接触带分布，但它的直接围岩不是这两种岩石，而是由镁砂卡岩改造而成的交代杂岩。这样一些既存事实说明：上三叠统碳酸盐岩和石背花岗岩都与矿有关；碳酸盐岩与花岗岩之间的接触带是占支配地位的控矿构造；矿石形成与以镁砂卡岩化为先导的一系列交代作用相关联。为了更好地理解上述事实，现对诸地质因素本身作适当的说明。

### (一) 上三叠统碳酸盐岩的基本特征

上三叠统岩层主要由石英砂岩、石英粉砂岩及粘土岩组成。在该地层的下部，存在不同规模的碳酸盐岩夹层。但是，这种碳酸盐岩夹层并不连续，只是一些凸透镜体而已。这些碳酸盐岩外表深灰色，致密坚硬，加之规模不大，在野外调查及岩心观察中不易引人注意。它们多为薄层状、细粒化学岩结构，几乎全由碳酸盐矿物组成。经染色确定，以白云石占绝对优势，只是在少数场合下，才出现数量不同的方解石。根据不完全的岩石化学资料（表3）统计，这套碳酸盐的化学成分为： $\text{CO}_2$  28.6—44.40%，平均 38.6%； $\text{CaO}$  30.53—55.17%，平均 39.2%； $\text{MgO}$  0.43—20.81%，平均 13.46%； $\text{FeO}$  0.24—7.52%，平均 1.56%； $\text{SiO}_2$  0.40—4.63%，平均 2.13%； $\text{Al}_2\text{O}_3$  0.64—2.85%，平均 0.79%。从目前

碳酸盐岩（灰岩—白云岩）的化学成分（%）

表 3

| 标本编号<br>组份              | 291                | 292    | 293    | 576    | 578    | 579    | 403—1           | 614—1 | 614—2 | 20311—2 |
|-------------------------|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------------|-------|-------|---------|
| $\text{SiO}_2$          | 0.40               | 4.63   | —      | —      | —      | —      | 3.00            | 1.40  | 1.24  | 2.08    |
| $\text{CO}_2$           | 43.00              | 38.50  | 34.80  | 42.10  | 44.40  | 28.60  | —               | —     | —     | —       |
| $\text{B}_2\text{O}_3$  | —                  | —      | 0.004  | 0.005  | 0.003  | 0.009  | —               | —     | —     | —       |
| $\text{Al}_2\text{O}_3$ | 0.04               | 2.85   | —      | —      | —      | —      | 0.61            | 0.31  | 0.41  | 0.51    |
| $\text{Fe}_2\text{O}_3$ | 0.07               | 0.61   | —      | —      | —      | —      | 0.39            | 0.39  | 0.06  | 1.36    |
| $\text{FeO}$            | —                  | —      | 0.51   | 2.87   | 0.51   | 0.38   | 0.24            | 0.24  | 0.24  | 7.52    |
| $\text{MnO}$            | —                  | —      | 0.08   | 0.04   | 0.06   | 0.05   | —               | —     | —     | —       |
| $\text{MgO}$            | 0.43               | 4.12   | 16.74  | 8.70   | 20.81  | 19.98  | 19.42           | 7.96  | 19.73 | 16.77   |
| $\text{CaO}$            | 55.17              | 47.34  | 30.53  | 42.74  | 30.84  | 36.98  | 33.09           | 43.62 | 34.07 | 37.96   |
| $\text{H}_2\text{O}^+$  | 0.55               | 2.20   | —      | —      | —      | —      | —               | —     | —     | —       |
| 总和                      | 99.55              | 100.25 | 82.664 | 96.815 | 96.623 | 85.999 | 56.66           | 53.92 | 55.76 | 66.20   |
| 分析者                     | 中国地质科学院原地质矿产研究所史世云 |        |        |        |        |        | 广东省冶金地质勘探公司938队 |       |       |         |

注解：表中的多数样号，分析项目虽然不全，但经显微镜观察确定，这些岩石基本上不含或少含泥质物，属纯度很高的沉积碳酸盐岩石。

积累起来的这些岩石化学资料及镁矽卡岩的存在判断,该碳酸盐岩夹层似应以白云岩和钙质白云岩为主,白云质灰岩、灰岩及泥灰岩次之。也许还会存在菱铁矿岩。

关于碳酸岩中碳元素的来源问题,现在拥有的稳定同位素数据是: $\delta C^{13} = -5.2 - +1.4\%$ ,  $C^{12}/C^{13} = 88.522 - 89.125$  (测定者:四川省石油管理局地质综合研究大队)。据此推测,碳元素不大可能是源于地幔。

该碳酸盐岩与矿石形成的关联性表现为,矿石几乎全处在碳酸盐岩所在的位置上。后者在大顶段岩层中的分布状况决定着矿石的分布范围。从这个意义上讲,该碳酸盐岩的存在是锡铁矿形成的重要地质条件之一。用上述方式表达的这种关联性,虽然不能直接说明碳酸盐岩提供了矿质来源,但也不能排除这样的可能性。

## (二) 石背花岗岩的岩性特征

该花岗岩的矿物成分比较均一,主要由钾长石(35—40%)、斜长石(25—30%)、石英(25—30%)、黑云母(5%)组成。此外,还含锆石、磷灰石、榍石、钛铁矿、金红石、磁铁矿等副矿物。

**黑云母** 多为不规则鳞片状,体内常杂有磷灰石、榍石、磁铁矿等颗粒,使之呈现筛孔状构造。一些黑云母的解理缝里,往往存在长石和石英的贯入物。从3个样品的化学分析数据(表4)得知,该黑云母含FeO在20%以上,可视为富铁黑云母。最近十多年来,许多国外学者提出,可利用黑云母的含铁率、含铝率及氧化系数<sup>①</sup>等方面的资料,推知花岗岩浆结晶过程的某些物理化学条件,例如结晶的温度,  $K_2O$  的活度,氧的逸度等。现将有关数据列于表4中,供岩石学家们参考。

**斜长石** 自形程度较好,有的个体粗大,略具环带构造,其成分大体为An8—15。几乎所有颗粒都有程度不同的泥化现象,泥化部分与洁净部分并存,二者的双晶纹都连贯一致。

**钾长石** 多为他形晶,它的内部结构比较复杂。有的为卡氏双晶,有的呈现微格子双晶,钠长石条纹嵌晶也相当普遍,因而可把这三种情况不同的钾长石相应地称为正长石、微斜长石、条纹长石。钠长石条纹嵌晶一般很狭窄,密度很小,嵌晶主要为平行状,树枝状次之。据此推之,该钠长石条纹嵌晶可能以分解成因占优势。

**石英** 多为他形晶,按粒度特征可分为两个世代。早期石英粒径较大,有的局部被钾长石包裹。晚期石英粒径很小,呈蠕状、弓状出现在其它矿物中。

该花岗岩在化学成分上的突出特点是富含  $SiO_2$  (见表5)。如果把它的化学成分与我国花岗岩类的平均成分<sup>[2]</sup>进行比较,可以看出它的  $K_2O$  含量偏高,  $CaO$ 、 $MgO$ 、 $Al_2O_3$  的

$$\textcircled{1} \text{ 总含铁率 } f^0 = \frac{FeO + Fe_2O_3}{FeO + MgO + Fe_2O_3} \times 100\%$$

$$\text{标准含铁率 } f' = \frac{FeO}{FeO + MgO} \times 100\%$$

$$\text{氧化系数 } f^e = \frac{FeO}{FeO + Fe_2O_3} \times 100\%$$

$$\text{含铝率 } al = \frac{Al_2O_3}{FeO + MgO + Fe_2O_3 + Al_2O_3} \times 100\%$$

石背花岗岩黑云母的化学成分

表 4

| 组 份                            | 硅60                 |         | 硅61                 |         | 石13                 |         |
|--------------------------------|---------------------|---------|---------------------|---------|---------------------|---------|
|                                | 重量 %                | 原子数     | 重量 %                | 原子数     | 重量 %                | 原子数     |
| SiO <sub>2</sub>               | 34.43               | 0.5730  | 34.76               | 0.5781  | 34.70               | 0.5775  |
| TiO <sub>2</sub>               | 3.35                | 0.0419  | 3.78                | 0.0473  | 3.42                | 0.0428  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 12.70               | 0.2492  | 12.40               | 0.2432  | 12.44               | 0.2441  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 8.83                | 0.1106  | 6.12                | 0.0766  | 6.50                | 0.0814  |
| FeO                            | 20.15               | 0.2804  | 20.50               | 0.2853  | 21.80               | 0.3034  |
| MnO                            | 0.13                | 0.0018  | 0.22                | 0.0031  | 0.44                | 0.0062  |
| MgO                            | 4.08                | 0.1012  | 6.42                | 0.1592  | 5.91                | 0.1446  |
| CaO                            | 1.98                | 0.0353  | 2.73                | 0.0487  | 0.90                | 0.0160  |
| Na <sub>2</sub> O              | 0.21                | 0.0068  | 0.18                | 0.0058  | 0.24                | 0.0077  |
| K <sub>2</sub> O               | 7.49                | 0.1590  | 7.68                | 0.1630  | 8.08                | 0.1715  |
| Li <sub>2</sub> O              | 0.23                | 0.0154  | 0.17                | 0.0114  | —                   | —       |
| Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 0.05                | 0.0004  | 0.03                | 0.0002  | —                   | —       |
| ZrO <sub>2</sub>               | 0.22                | 0.0026  | 0.10                | 0.0012  | —                   | —       |
| H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>  | 3.22                | 0.3686  | 2.63                | 0.2920  | 4.52                | 0.5018  |
| H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>  | 0.95                | 0.1600  | 0.38                | 0.0422  | —                   | —       |
| F                              | 1.28                | 0.0674  | 1.48                | 0.0779  | 1.42                | 0.0747  |
| Cl                             | —                   | —       | —                   | —       | 0.54                | 0.0152  |
| 总 和                            | 99.40               |         | 99.56               |         | 100.91              |         |
| O = F <sub>2</sub>             | 0.54                |         | 0.62                |         | 0.58                |         |
| O = Cl <sub>2</sub>            | —                   |         | —                   |         | 0.12                |         |
| 总 和                            | 98.96               |         | 98.94               |         | 100.32              |         |
|                                | f <sup>o</sup> = 78 | f' = 73 | f <sup>o</sup> = 67 | f' = 64 | f <sup>o</sup> = 70 | f' = 68 |
|                                | f <sup>e</sup> = 14 | al = 22 | f <sup>e</sup> = 11 | al = 20 | f <sup>e</sup> = 12 | al = 20 |
| 分 析 者                          | 中国地质科学院原地质矿产研究所吴曼君  |         |                     |         | 冶金部桂林地质研究所          |         |

结晶化学式:

硅60: (K<sub>0.81</sub>Na<sub>0.04</sub>Ca<sub>0.18</sub>)<sub>1.03</sub> (Mg<sub>0.52</sub>Fe<sub>1.43</sub>Mn<sub>0.01</sub>Fe<sup>3+</sup><sub>0.56</sub>Ti<sub>0.21</sub>Zr<sub>0.01</sub>Al<sub>0.18</sub>Li<sub>0.08</sub>)<sub>3.00</sub> (Si<sub>2.91</sub>Al<sub>1.09</sub>)<sub>4.00</sub>O<sub>10</sub>(O<sub>1.22</sub>F<sub>0.34</sub>OH<sub>0.44</sub>)<sub>2.00</sub>

硅61: (K<sub>0.80</sub>Na<sub>0.03</sub>Ca<sub>0.24</sub>)<sub>1.07</sub> (Mg<sub>0.79</sub>Fe<sub>1.42</sub>Mn<sub>0.02</sub>Fe<sup>3+</sup><sub>0.38</sub>Ti<sub>0.21</sub>Li<sub>0.06</sub>Al<sub>0.09</sub>)<sub>3.00</sub> (Si<sub>2.88</sub>Al<sub>1.12</sub>)<sub>4.00</sub>O<sub>12</sub>(O<sub>1.09</sub>F<sub>0.38</sub>OH<sub>0.53</sub>)<sub>2.00</sub>

石13: (K<sub>0.86</sub>Na<sub>0.04</sub>Ca<sub>0.08</sub>)<sub>0.98</sub> (Mg<sub>0.73</sub>Fe<sub>1.52</sub>Mn<sub>0.03</sub>Fe<sup>3+</sup><sub>0.41</sub>Ti<sub>0.21</sub>Al<sub>0.16</sub>)<sub>3.00</sub> (Si<sub>2.88</sub>Al<sub>1.12</sub>)<sub>4.00</sub>O<sub>10</sub>(O<sub>0.87</sub>F<sub>0.37</sub>Cl<sub>0.08</sub>OH<sub>0.68</sub>)<sub>2.00</sub>

含量则稍稍偏低。

根据岩石化学资料换算求得的标准矿物分子如表 5 所示, 石英、钠长石、钾长石三者的相对含量关系如图 2 所示。

由图 2 可知, 它们在 Q-Ab-Or 三元体系图中的投影基本上集中在共结区附近, 可以认为是岩浆演化较为彻底的一种表现。

值得指出的是, 在白云岩接触带附近的一定范围内, 该花岗岩的岩性发生了明显的变化。石英和斜长石的含量从内向外减少, 正长石逐渐增多, 黑云母消失, 依次出现角闪石、辉石, 以致使黑云母花岗岩递次转化为石英角闪石正长岩, 辉石正长岩。与此相对应, 岩石的化学成分变得更加富含 K<sub>2</sub>O。花岗岩在白云岩接触带附近所出现的这种岩性变化, 在

石背花岗岩的化学成分 (%)

表 5

| 顺序号<br>组分<br>编号                      | 1     | 2      | 3      | 4     | 5     | 6     | 7     | 8      | 9      | 10     | 11    | 平均成分  |
|--------------------------------------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|
|                                      | 硅60   | 硅61    | 硅28    | 硅39   | 硅57   | 硅35   | 硅51   | 016223 | 016225 | 016231 | 6253  |       |
| SiO <sub>2</sub>                     | 74.26 | 71.56  | 74.23  | 73.05 | 73.78 | 75.95 | 75.80 | 72.26  | 75.15  | 73.63  | 75.23 | 74.08 |
| TiO <sub>2</sub>                     | 0.20  | 0.41   | 0.28   | 0.26  | 0.15  | 0.11  | 0.09  | 0.20   | 0.08   | 0.12   | 0.15  | 0.19  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>       | 12.26 | 13.05  | 12.56  | 12.89 | 11.85 | 11.72 | 11.85 | 12.97  | 11.81  | 11.59  | 12.40 | 12.27 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>       | 0.61  | 0.61   | 1.46   | 1.06  | 2.43  | 0.85  | 1.88  | 0.82   | 0.90   | 0.50   | 0.39  | 1.05  |
| FeO                                  | 1.77  | 2.67   | 1.80   | 1.90  | 1.48  | 1.26  | 0.46  | 2.85   | 1.70   | 1.13   | 1.82  | 1.71  |
| MnO                                  | 0.04  | 0.07   | 0.11   | 0.15  | 0.28  | 0.10  | 0.16  | 0.05   | 0.04   | 0.04   | 0.14  | 0.11  |
| MgO                                  | 0.27  | 0.51   | 0.32   | 0.40  | 0.28  | 0.08  | 0.14  | 0.62   | 0.13   | 0.37   | 0.11  | 0.33  |
| CaO                                  | 1.13  | 1.73   | 1.47   | 1.25  | 0.79  | 0.68  | 0.62  | 1.29   | 1.40   | 2.88   | 0.48  | 1.25  |
| Na <sub>2</sub> O                    | 3.54  | 3.50   | 3.25   | 3.28  | 3.32  | 3.10  | 2.88  | 3.04   | 2.56   | 1.48   | 3.24  | 3.01  |
| K <sub>2</sub> O                     | 4.89  | 4.84   | 4.70   | 4.81  | 4.84  | 4.95  | 5.07  | 3.94   | 4.36   | 6.26   | 4.33  | 4.82  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>        | 0.12  | 0.10   | —      | —     | —     | —     | —     | —      | —      | —      | —     | 0.11  |
| H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>        | 0.53  | 1.41   | 0.11   | 0.09  | 0.06  | 0.06  | 0.24  | 1.54   | 1.69   | 1.69   | 0.45  | 0.72  |
| 总 和                                  | 99.62 | 100.46 | 100.29 | 99.14 | 99.26 | 98.86 | 99.19 | 99.58  | 99.82  | 99.82  | 98.74 | 99.75 |
| K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O | 8.43  | 8.34   | 7.95   | 8.09  | 8.16  | 8.05  | 7.95  | 6.98   | 6.92   | 7.74   | 7.57  | 7.83  |
| K/Na                                 | 0.91  | 0.91   | 0.97   | 0.97  | 0.96  | 1.05  | 1.19  | 0.85   | 1.11   | 2.77   | 0.83  | 1.05  |
| Fe <sup>3+</sup> /Fe <sup>2+</sup>   | 0.31  | 0.24   | 0.73   | 0.50  | 1.47  | 0.61  | 0.90  | 0.26   | 0.48   | 0.40   | 0.19  | 0.29  |
| Q                                    | 33.12 | 30.47  | 35.49  | 33.92 | 35.09 | 37.65 | 39.45 | 42.01  | 43.84  | 39.85  | 39.92 |       |
| Or                                   | 31.85 | 33.13  | 31.46  | 32.41 | 31.78 | 31.89 | 31.84 | 23.29  | 29.01  | 44.25  | 27.51 |       |
| Ab                                   | 35.03 | 36.40  | 33.05  | 33.67 | 33.13 | 30.46 | 28.71 | 34.70  | 27.15  | 15.90  | 32.57 |       |

分析者：中国地质科学院原地矿所

广东省冶金地质勘探公司932队

广东省冶金地质勘探公司938队

国外的某些文献<sup>[16]</sup>中，被称之为碱性增高边。它和镁矽卡岩一起，同是白云岩层岩浆交代前锋上特有的地质产物。

根据现有资料分析，大顶锡铁矿与石背花岗岩关系非常密切，矿体在空间上不能脱离岩体而独立存在，它们两者总是保持若即若离的关系。锡铁矿与花岗岩的紧密共存，是本矿床的一个重要地质条件。

(三) 接触封闭构造

以往，人们在内生金属矿的矿石及矿床构造研究方面，偏重于注意褶皱及断裂构造与成矿的关系，很少从封闭构造的角度分析成矿的构造因素。五十年代后期，北京地质学院冯景兰教授首次提出封闭构造(也叫成矿封闭)的概念，认为封闭构造对内生金属矿床的形成具有十分重要的作用。

所谓成矿封闭，就是指能汇集造矿溶液，阻止溶液散失，促使造矿组份停聚富集的诸

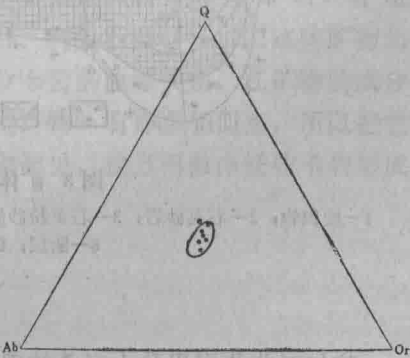


图 2 石背花岗岩的矿物成分在 Q—Ab—Or 体系中的位置

地质条件的总和。冯景兰教授指导的研究生,根据这一思想,对寿王坟铜矿,南赵庄铅锌矿作过研究,得出了一些有益的结论<sup>①</sup>。看来,成矿封闭对大顶锡铁矿的形成与分布也有明显的重要作用。

在大顶矿田范围内,对锡铁矿起控制作用的构造因素,主要是石背花岗岩与上三叠统碳酸盐岩的接触带。接触带对矿液有相对的封闭作用。如:矿体在平面上总是出现于接触带的凹入地段(见图1),在剖面上多分布在接触带的缓倾斜处(图3)。

兼具这两方面特征的接触面,较之于它的其余部位对矿液具有较好的封闭性,它可以把沿接触面及其两侧微裂隙渗流的矿液相对汇聚富集起来。正是这种具相对封闭性的空间,从总体上决定了矿质沉淀的场所,控制着矿体的分布特征。

提出接触封闭构造,并不否定褶曲及断裂在成矿全过程中的作用。后两种构造形态,对矿石形成也是很重要的。

矿田及矿床范围内的断裂构造相当发育。由于目前研究得很差,知之不多。至于成矿前及成矿后的断裂构造各有几期,分为几组,各自的力学性质,各家说法不一,争论较多。

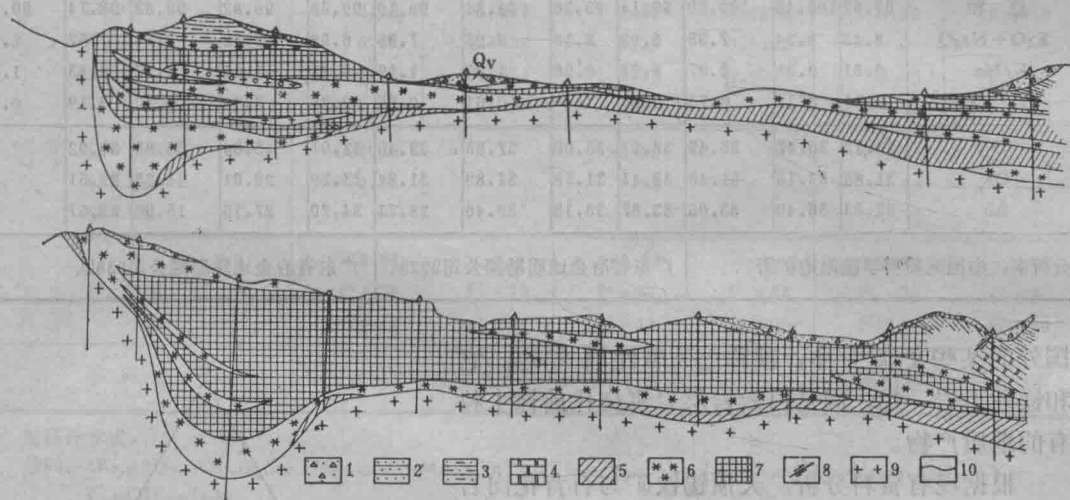


图3 矿体地质剖面(根据938队资料改编)

1—坡积物; 2—石英砂岩; 3—石英粉砂质粘土岩; 4—水镁石大理岩; 5—角岩; 6—矽卡岩; 7—磁铁矿矿石;  
8—断层; 9—斑状黑云母花岗岩; 10—地质界线

#### (四) 交代岩概述

矿与石背花岗岩及上三叠统碳酸盐岩的关系都很密切,但并不直接赋存在这两种岩石里,它的直接围岩是由镁矽卡岩改造而成的交代杂岩。这里所说的交代杂岩,是指不同的交代作用阶段产生的交代岩的总和,主要包括镁矽卡岩,镁矽卡岩的氟硼质蚀变岩,由镁矽卡岩改造形成的钙矽卡岩。

镁矽卡岩在本矿田是形成最早的交代岩,它的主要矿物有镁橄榄石、镁尖晶石、深绿

① 王书凤1963年的资料,张家骥1965年的资料

辉石。由这些矿物组成的岩石,从后带到前带,依次为镁尖晶石辉石矽卡岩、镁尖晶石辉石镁橄榄石矽卡岩、镁尖晶石镁橄榄石矽卡岩。镁矽卡岩的后带紧邻花岗岩的碱性增高边,前带往往与斑花大理岩(镁橄榄石斑花大理岩和方解石斑花大理岩)相连。为了给以后各章的叙述奠定基础,现按矿物共生组合的形式表示镁矽卡岩矿物的空间分布,顺序为:花岗岩的碱性增高边→镁尖晶石+深绿辉石±磁铁矿→镁尖晶石+深绿辉石+镁橄榄石±方解石→镁尖晶石+镁橄榄石+方解石→镁橄榄石+方解石→方镁石+方解石→白云石大理岩。

镁矽卡岩形成以后,经历了类型不同、强度各异的后期蚀变,使本身失去了原来面貌,根据矿物组合的规律性递变可把主要蚀变产物归结为两大类:镁矽卡岩的氟硼质蚀变岩,由镁矽卡岩形成的钙矽卡岩(或镁矽卡岩的钙质交代岩)。

镁矽卡岩的氟硼质蚀变岩,主要分布在镁矽卡岩交代柱前带的某些有利部位。它的代表性矿物为硅镁石类、蛇纹石类、金云母、小藤石、硼镁石、硼镁铁矿、氟硼镁石、电气石、磁铁矿等。以这些矿物为主体岩石,统称为镁矽卡岩的氟硼质蚀变岩。

由镁矽卡岩形成的钙矽卡岩呈不规则状出现在镁矽卡岩的有利部位。与之对应的钙矽卡岩化是普遍的、强烈的、不均一的。说它普遍,是因为在镁矽卡岩的各个岩带,都能见到钙镁铁质的硅酸盐、铝硅酸盐及碳硼硅酸盐类矿物堆积体。说它强烈,指的是在镁矽卡岩体的某些部位,几乎很难找到较大的镁矽卡岩残体。说它不均一,是由于钙矽卡岩化改造的产物,并非遍及镁矽卡岩的所有部位。由镁矽卡岩改造形成的钙矽卡岩,有的沿镁矽卡岩两相邻岩带分布,有的局限在镁矽卡岩的某些有利地段。例如,钙镁橄榄石矽卡岩处在镁尖晶石辉石矽卡岩及镁尖晶石辉石镁橄榄石矽卡岩的裂隙附近,有的分布在镁尖晶石镁橄榄石矽卡岩与斑花大理岩的界面两侧。碳硼硅钙镁石矽卡岩形成在小藤石大理石与镁尖晶石镁橄榄石矽卡岩界面附近。

由镁矽卡岩形成的钙矽卡岩,有一套特征性矿物,主要为透辉石(次透辉石)-普通辉石、符山石、钙镁橄榄石、碳硼硅钙镁石、钙铝黄长石、钙铝石榴石等。以这些矿物为主体的岩石,本来不应冠之以矽卡岩,但考虑到它与镁矽卡岩的血缘关系,在矿物的成分上又和普通钙矽卡岩(即由灰岩与铝硅酸盐岩接触反应的产物)有许多相似点,所以把它们与矽卡岩这个名词联在一起,又似乎是可取的。为区别起见,权且叫做由镁矽卡岩形成的钙矽卡岩。

### 三、交代岩的矿物成分

从自然哲学的观点来看,矿物只不过是化学元素的存在形式,是元素在地壳化学环境中经历过的一个里程。也就是说,矿物在地壳中都是历史的产物,都有一个形成及演化问题。某些特定的元素,在特定的地质环境及物理化学条件下,呈特定的矿物形式存在,或者产生一组特定的矿物。所形成的矿物或矿物组合,在体系的状态参数朝着某个方向继续变化的情况下,必将改变自己原有的存在形式,转化成另外的矿物及矿物组合。

交代地质体的形成过程,有点类似于新陈代谢。当某地质体在体系变化着的强度参数支配下变得不稳定的时候,总会孕育着另一种新地质体的萌芽。一旦新地质体形成以后,又往往保留一些被交代地质体的残骸。因此,交代地质体的形成过程,就是被交代地质体逐渐消失,交代地质体逐渐形成的过程。

鉴于这种指导思想,对交代岩矿物的叙述,一般不着重于罗列它的物理性质及其识别标志,而是把它视为一个地质体。尽可能地介绍出它们的来历,与共存矿物的相互关系,在尔后地质作用过程中的行为,以便从中导出与所述矿物或矿物组合形成相对应的地球化学反应。

#### (一) 矿物在交代作用过程中的地球化学行为

在研究本矿区及其它内生矿床的矿石及蚀变岩石时,经常碰到这样的情况:早先形成的矿物在尔后的地球化学反应过程中,有的改变原先的存在形态,被另一种矿物交代;有的不参加特定的反应,仍保持其固有的结晶格架。从物理化学的角度讲,后面这一类矿物就是呆性的,习惯上称之为呆性矿物(indifferent mineral)。

呆性矿物是呆性相(indifferent phase)在矿物学领域里的对应词。呆性相作为一个科学术语是来源于化学界。它的首次出现,大概是在荷兰物理化学家施赖恩马克思的系列论文《零变、单变及双变平衡》中<sup>[1]</sup>,是这位学者在用P—T图表达吉布斯相律的过程中提出来的。随后,瑞士岩石学家尼格里把它引进地质学领域,并对之作过进一步研究。呆性矿物这个术语,不论在对矿物组合进行物理化学分析,还是在观察岩石蚀变现象,揭示交代反应发生的条件时,都是一个活跃的极为有用的概念。关于这一点,将会在单个矿物描述及其它章节的叙述中得到反映。

#### (二) 主要矿物描述

前已指出,大顶地区白云岩接触带的交代岩,主要有镁矽卡岩、钙矽卡岩的氟硼质蚀变岩,由镁矽卡岩改造而成的钙矽卡岩。由于这三种交代岩交织地处在同一空间,矿物成分显得非常复杂。已确定名称的有镁橄榄石、镁尖晶石、深绿辉石、粒硅镁石、硅镁石、斜硅镁石、金云母、韭角闪石、叶蛇纹石、纤维蛇纹石、胶蛇纹石、滑石、石棉、方镁石、水镁石、氟镁石、小藤石、遂安石、硼镁铁矿、硼镁石、氟硼镁石、电气石、斧石、硅硼