

# 白云鄂博矿物岩石研究的新进展\*

张培善 陶克捷 杨主明

(中国科学院地质研究所, 北京 100029)

**主题词:** 白云鄂博; 矿物学; 岩石学; 火成碳酸岩; 霓长岩化作用

**提 要:** 本文论述了近年来白云鄂博矿区在矿物学、岩石学、地球化学和矿床成因研究方面的进展。在矿物学研究方面, 除以往研究过的一百多种矿物外, 八十年代中期以后, 又相继发现并研究了含铈锐钛矿、含铈钙钛矿、锶铁钛石、水磷钙钛石、白云鄂博矿、未命名氟碳酸盐新种矿物、珀硅钛铈铁矿、硅钡镁石、带云母等矿物; 发现了矿物间的共生和交代关系。在岩石学研究方面, 找到了霓长岩, 发现了霓长岩化作用, 确定了火成碳酸岩岩石的存在。在地球化学和矿床成因方面, 提出了稀土稀有金属矿化与火成碳酸岩岩浆活动有成因联系的见解。

白云鄂博矿物岩石的研究, 在前人研究工作的基础上, 近年来取得许多成果, 在研究深度和广度方面都有新的进展。本文叙述的是自1986年《白云鄂博矿物学》一书出版问世以后的最新研究成果<sup>[1,2,3]</sup>。

## 一、关于岩石学研究的进展

关于岩石学研究有几个方面进展较大, 其一是白云鄂博矿区火成碳酸岩的发现与研究, 其二是霓长岩和霓长岩化现象的确定与研究, 其三是成矿时代与矿物世代的再研究, 其四则是关于成矿物质来源的研究探讨<sup>[4]</sup>。关于其一, 是内蒙冶金地质队1979年首先在宽沟背斜中找到火成碳酸岩岩脉。而后中国科学院地质研究所、包头钢铁公司、英国莱斯特大学地质系、英国自然史博物馆和西德弗莱堡大学矿物岩石所共同合作研究其一和其二的内容。其三方面的研究工作主要由冶金部天津地质研究院与美国地质调查局合作进行。

关于白云鄂博火成碳酸岩的产地和产状目前发现并确认者有三处: (1) 矿区东北部二道洼群变质岩体中, 火成碳酸岩呈岩墙状, 有多条分布, 岩墙近于直立, 宽1-2m, 长数米至十余米不等, 依走向不同分为两组: 近于NE-SW和NW-SE, 交汇处岩体变大。靠近片麻岩母岩处, 有霓长岩及霓长岩化现象, 并有块体石英脉的出现。(2) 矿区东北部都拉哈拉西北山麓中, 走向NE-SW, 倾角近于直立, 岩墙断续延伸约200m, 宽1-3m, 岩墙边部有霓长岩化现象。(3) 东矿东北角约1km处的H1地层中的石英岩层中, 岩墙走向NW-SE, 岩墙直立, 延伸十余米, 宽1m左右。

白云鄂博火成碳酸岩岩墙成群地侵入于宽沟断层及其附近, 具有标准火成碳酸岩的地球化学特征。岩墙边部有富含钠闪石的霓长岩晕边。阴极射线发光分析、X光荧光光谱、电子探针数据都显示其为正常的方解石质火成碳酸岩。

\* 国家自然科学基金资助项目。

对白云鄂博火成碳酸岩岩石进行的个别元素分析结果(表1)显示其与西德凯塞斯图火成碳酸岩体相近,但矿物组成较复杂。同时表明,白云鄂博的火成碳酸岩岩石与宽沟南面大面积的白云岩岩石明显不同。

表1 碳酸盐岩石化学成分比较

Table 1. Chemical composition of carbonate rocks

	白云鄂博火成碳酸岩岩墙	凯塞斯图火成碳酸岩岩体	宽沟南大片白云岩(11个样品平均)
SiO <sub>2</sub>		1.72	1.60
TiO <sub>2</sub>		0.08	0.09
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		0.31	0.21
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.82	4.20*	4.23
FeO			3.72
MgO	1.37	2.62	14.31
MnO	3.12	0.51	1.09
CaO	38.69	47.36	27.64
Na <sub>2</sub> O		0.07	0.13
K <sub>2</sub> O		0.04	0.06
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		3.11	0.23
CO <sub>2</sub>	31.20	37.00**	40.40
S			0.08
F			0.35
资料来源	本文	据Keller, 1990	据曾玖吾, 1979

\*全铁 \*\*烧失量

白云鄂博火成碳酸岩的矿物组成为:含铈和锰的方解石、镁钠闪石、磷灰石、烧绿石、钾长石和黑云母。古老的变质岩和混合岩已霓长岩化,成为镁钠闪石和钠长石的岩石。靠近火成碳酸岩岩墙处,出现含有锆铁钛矿和锆石的富钾长石岩带。

白云鄂博火成碳酸岩的<sup>87</sup>Sr和<sup>86</sup>Sr同位素比值为0.7064,霓长岩的<sup>87</sup>Sr和<sup>86</sup>Sr同位素比值为0.7118。

霓长岩和霓长岩化现象的确定是白云鄂博岩石学研究的一大进展。典型霓长岩为含碱性长石和碱性闪石的岩石。此外,尚有含量不定的霓辉石。所谓霓长岩化是花岗质岩石即片麻岩或花岗片麻岩或混合岩转变成成为霓长岩的作用。白云鄂博的霓长岩,往往发育在火成碳酸岩岩墙的边部。在白云鄂博的霓长岩中,原生的长石多已转变成成为钾长石,此外,尚有钠长石、钠闪石、霓石和少量金云母。

所谓白云鄂博群是一套元古代的沉积变质岩系。自下而上为H1到H9,是一套硅质、泥质和碳酸盐质岩相变化大的浅海相地槽型巨厚岩层,以不整合接触覆盖于太古代的二道洼群变质岩层之上,后来遭受吕梁运动区域变质,变质为石英岩、板岩和白云岩,变质程度不深,相当于千枚岩相或绿片岩相。

白云鄂博大面积分布的H8为沉积变质白云岩层,在其主要矿物的白云石中,含有锰、铈、稀土和铁。除白云石外,白云岩中的矿物有:磷灰石、独居石、铈钙矿、萤石、氟碳铈矿、带云母等。有意义的是白云岩中的磷灰石-独居石组合,类似于火成碳酸岩岩墙边部的同样矿物组合。

矿区内H9为富钾板岩,由微晶钾微斜长石组成。H8白云岩和H9板岩很可能与火成碳酸岩岩浆活动的凝灰岩有关。

赵景德博士等认为白云鄂博矿床是后成热液交代成因,对矿物世代做了深入细致研究,认为从晚元古代到加里东可能有五期成矿作用,并认为白云鄂博矿床是加里东期成矿<sup>[5]</sup>。

涂光炽教授等认为白云鄂博的稀土来自海水中的化学沉淀<sup>[6]</sup>。Philpotts等根据对同位素的研究,支持白云鄂博矿床的幔源成因说<sup>[7]</sup>。Nakai等根据对La-Ba年龄和锶同位素的研究,认为白云鄂博矿床有复杂的历史和成因,而成矿溶液则来自地幔<sup>[8]</sup>。

## 二、关于矿物学研究的进展

随着研究工作的深入和矿物学研究中的高倍显微技术、电子探针、带能谱的扫描电镜等先进工具的应用,发现多种矿物晶体的自身分带现象明显,矿物和矿物之间的相互交代现象也非常普遍,这些现象都说明成矿的多次性和成矿溶液、成矿环境的波动性。

如环带的磷灰石,内带的 $\text{Ce}_2\text{O}_3$ 和 $\text{Nd}_2\text{O}_3$ 分别为1.70%和1.69%(重量),而外带的 $\text{Ce}_2\text{O}_3$ 和 $\text{Nd}_2\text{O}_3$ 则分别为3.10%和2.83%(重量)。再如环带的锆石, $\text{SiO}_2$ 和 $\text{ZrO}_2$ 从内部向边部降低,而 $\text{HfO}_2$ 则从晶体内部到晶体边部呈波动式变化(照片1)。先生成的锆石,受后来的铌钙矿交代,而呈现出犬牙交错的图象(照片2)。先生成的烧绿石,经受后来矿液的交代,出现了复杂的蚀变。

体衍交生(三维规则连生)是稀土氟碳酸盐类矿物的特有现象,而白云鄂博的两个矿物系列的复合体衍交生现象的发现与研究,更具特有意义。钡系列的矿物种类,白云鄂博最为齐全。钙系列的矿物多型,近来又有新的发现。

白云鄂博系统矿物学的研究,有较多新的发现,现按照系统矿物分类,依次叙述于后:在自然元素类矿物中有自然金和自然铋。

**自然金(Native Gold) Au**,颗粒细小,肉眼难见,产于北矿附近的白云鄂博群中的石英岩层(H4等)中,金的出现与矽化作用有关,自然金与黄铁矿等硫化物矿物共生。

**自然铋(Native Bismuth) Bi**,产于白云鄂博矿区东南部的海西期花岗岩体中,是在采掘块体石料时发现的,呈脉状产出,集合体呈块状,矿物为银白色金属光泽,硬度2—2.5,比重9.8。

关于氟化物类矿物有萤石。

**萤石(Fluorite)  $\text{CaF}_2$** ,白云鄂博矿区的萤石中,一般都含有稀土矿物的微小包裹体,约微米级大小。但深紫色(紫黑色)萤石的阴极射线发光为深蓝色,光谱中含Sm、Eu、Dy等稀土元素,高倍显微图象中未发现任何微小包裹体,表明此类稀土元素已进入这种萤石的晶格之中。

关于氧化物类矿物有:含铌锐钛矿、锆铁钛矿、钙钛矿和铌钙钛矿。

**含铌锐钛矿(Niobian Anatase)  $(\text{Ti}_{0.44}\text{Nb}_{0.51}\text{Fe}_{0.25})\text{O}_2$** ,四方晶系,产于白云鄂博主矿上盘钠化矿石中,共生矿物为钠辉石、钠闪石、铌易解石等<sup>[9]</sup>。

**锆铁钛矿(Crichtonite)  $(\text{Sr}, \text{La}, \text{Ce}, \text{Y})(\text{Ti}, \text{Fe}^{3+}, \text{Mn})_{21}\text{O}_{38}$** ,三方晶系,属锆铁钛矿-镧铈钛铁矿族(Crichtonite-Davidite Group),产于矿区东北部太古代变质岩层中的火成碳酸岩岩墙之中,与磷灰石、独居石等矿物共生。

**钙钛矿(Perovskite)**  $\text{CaTiO}_3$ , 产于西矿白云岩中。

**铌钙钛矿(Niobian Perovskite)**  $(\text{Ca}, \text{Ce}, \text{Na})(\text{Ti}, \text{Nb})\text{O}_3$ , 则见于东矿钠辉石型矿石中, 与珀硅钛铌铁矿紧密交错共生。铌钙钛矿与珀硅钛铌铁矿似呈高温混熔低温分凝的共生关系。

关于磷酸盐类矿物有水磷钙钍石。

**水磷钙钍石(Brockite)**  $(\text{Ca}, \text{Th}, \text{Ce})\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , 六方晶系, 属水磷铈石族(Rhabdophane Group), 产于矿区H4石英岩层中的热液成因的细脉中。矿物黑色, 不透明, 沥青光泽, 贝壳状断口, 具放射性, 光性均质。矿物化学式为:  $(\text{Ca}_{0.53}\text{Th}_{0.48})(\text{P}_{0.66}\text{S}_{0.12})\text{O}_4 \cdot 0.8\text{H}_2\text{O}$ , 矿物化学组成中尚含有少量碳。共生矿物有: 透辉石、磷灰石、金红石、重晶石、赤铁矿、黄铁矿等<sup>[10]</sup>。

关于稀土氟碳酸盐类矿物有白云鄂博矿和另一申请中的未命名新矿物。

**白云鄂博矿(Beiyunoboite—(Ce))**  $\text{NaBaCe}_2(\text{CO}_3)_4\text{F}$ 或 $\text{Na}(\text{Ba}, \text{Ca})(\text{Ce}, \text{La}, \text{Nd})(\text{CO}_3)_4\text{F}$ , 六方晶系, 淡黄色, 玻璃-油脂光泽, 呈浸染状产出于西矿白云岩中或东矿钠辉石型矿石中。产于西矿的矿物共生组合是: 钠辉石、钠闪石、金云母、磷灰石、钡铁钛石、氟碳铈矿、易解石等。<sup>[11]</sup>

碱土与稀土构成的氟碳酸盐系列矿物中的多种新矿物为白云鄂博所特有。除黄河矿、氟碳钡铈矿、中华铈矿、白云鄂博矿等新矿物之外, 近来, 沈今川和宓锦校发现另一未命名新矿物, 未命名新矿物的化学式为:  $(\text{Ca}_{0.5}, \square_{0.5})\text{BaCe}_2(\text{CO}_3)_4\text{F}$ , 片状或不规则粒状, 颗粒大小为毫米级, 淡黄色, (0001)解理完全, 与萤石、磁铁矿、氟碳铈钡矿等矿物共生<sup>[12,13]</sup>。

**氟碳铈矿**是白云鄂博的主要稀土矿物之一, 化学成分中的稀土全部富铈。近来又找到富镧的氟碳铈矿, 即氟碳镧矿Bastnaesite-(La)。

关于硅酸盐类矿物有: 珀硅钛铌铁矿、硅钡镁石、带云母。

**珀硅钛铌铁矿(Perrierite)**与**硅钛铌铁矿(Chevkinite)**为同质二型矿物, 同为单斜晶系, 但斜的程度不同, 因而结构各异。前者经电子探针分析换算后, 矿物化学式近于 $(\text{Ca}, \text{Ce}, \text{Th})_4(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_2(\text{Ti}, \text{Fe}^{3+})_3\text{Si}_4\text{O}_{22}$ , 后者经化学分析换算后近于 $(\text{Ca}, \text{Ce}, \text{Th})_4(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg})_2(\text{Ti}, \text{Fe}^{3+})_3\text{Si}_4\text{O}_{22}$ 。

该二矿物虽同时出现于白云鄂博地区, 但产出的地理位置和形成的地质条件迥然不同。珀硅钛铌铁矿见于东矿钠辉石型矿石中, 是晚期的热液脉矿物, 共生矿物有: 钠辉石、萤石、重晶石等, 尤为奇特的是: 珀硅钛铌铁矿与铌钙钛矿紧密共生, 交错共生, 珀硅钛铌铁矿为褐黑色, 油脂-金刚光泽。至于硅钛铌铁矿, 则产于矿区东部花岗岩与白云岩的接触带上, 晶体呈板状, 黑色, 油脂光泽, 结晶完好, 是白云鄂博矿区中晶体比较完整的矿物。

**硅钡钪石(Magbasite)**  $\text{KBa}(\text{Al}, \text{Sc})\text{Fe}^{2+}\text{Mg}_5\text{Si}_6\text{O}_{20}\text{F}_2$ , 发现于白云岩内的热液脉中, 针状, 发状, 无色或淡紫色, 玻璃光泽, 与萤石、重晶石、氟碳钙铈矿等矿物共生。矿物化学组成中的特点是含一定量的钪,  $\text{Sc}_2\text{O}_3$ 约占2% (重量)。

**带云母(Taeniolite)**  $\text{KLiMg}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}\text{F}_2$ , 单斜晶系, 属云母族。产于主矿下盘H3白云岩中, 与萤石共生, 明显的热液成因。

## 结 束 语

白云鄂博矿物学岩石学研究已经取得许多进展,随着研究工作的深入和测试手段的改进,尚有许多矿物岩石问题和未知矿物等待研究,白云鄂博是矿物学家和岩石学家的重要研究基地。

白云鄂博矿床具有复杂的地质历史和成因,它的大地构造位置,构造岩浆活动及地质条件的发展演化控制着它的成因。反映在岩石矿物方面,出现了火成碳酸岩、霓长岩化作用、钠氟热液交代作用,形成了罕见的矿物和奇特的矿物组合。深入研究这些岩石、矿石、矿物和矿物共生组合,必将追索出白云鄂博矿床的真实成因。

## 参 考 文 献

- [1] 张培善、陶克捷,1986,白云鄂博矿物学。科学出版社。
- [2] 中国科学院地球化学研究所,1988,白云鄂博矿床地球化学。科学出版社。
- [3] 白 鸽、袁忠信,1985,内蒙白云鄂博海相火山沉积碳酸岩。中国地质科学院矿床地质研究所所刊,第1号,107—140。
- [4] Le Bas, M. J., Keller G., Tao Kejie, Wall F., Williams C. T. and Zhang Feishan, 1990. Carbonatite dykes at Bayan-Obo, Inner Mongolia, China. (abs.) The 15th General Meeting of IMA, Vol. 2, 940-941.
- [5] Chao E. C. T., Minkin J. A., Back J. M. and Ren Yingchen, 1990. Field and petrographic textural evidence for the epigenetic hydrothermal metasomatic origin of the Bayan-Obo rare-earth ore deposit of Inner Mongolia, China. (abs.) The 15th General Meeting of IMA, Vol. 2, 930-931.
- [6] Tu G. Z., Zhao Z. H. and Qiu Y. Z., 1985. Evolution of precambrian REE mineralization: Precambrian Research, Vol. 27, 131-151.
- [7] Philpotts J. A., Tatsumoto, M., Hearn P. P. and Fan, P. F., 1988. On the petrography, chemistry, age and origin of the Bayan-Obo rare-earth iron deposit and resulting insight on the mid-proterozoic earth. (abs.); Am. Geophys. Union Trans. Vol. 69, p. 517.
- [8] Nakai, S., Masuda, A., Shimizu, H. and Qi Lu, 1989. La-Ba dating and Nd and Sr isotope studies on the Bayan-Obo rare earth element ore deposit, Inner Mongolia, China. Economic Geology, Vol. 84, 2296-2299.
- [9] 黄婉康、郑巧荣、倪集众、王冠鑫, 1988, 新变种矿物——铈铁锐钛矿及其共生矿物铈易解石。矿物学报, 第8卷, 第1期, 13—18。
- [10] 刘铁庚、王冠鑫, 1987, 含硫水磷钼石——水磷钙钼石新变种的发现。矿物岩石地球化学通讯, 第3期, 第155页。
- [11] 傅平秋、苏贤泽, 1987, 新矿物——白云鄂博矿。矿物学报, 第7卷, 第4期, 289—297。
- [12] Shen Jinchuan and Mi Jinxiao, 1990, New data on cordylite. (abs.); The 15th General Meeting of IMA, Vol. 1, 336-337.
- [13] Shen Jinchuan and Mi Jinxiao, 1990, The crystal structure of  $(Ca_{0.5}, \square_{0.5})BaCe_2(CO_3)_4F$ , (abs.); The 15th General Meeting of IMA, Vol. 1, 339-340.

## **New Advances in the Mineralogical and Petrological Study of the Bayan Obo Ore Deposit**

Zhang Peishan, Tao Kejie, Yany Zuming

(Institute of Geology, Academia Sinica, Beijing)

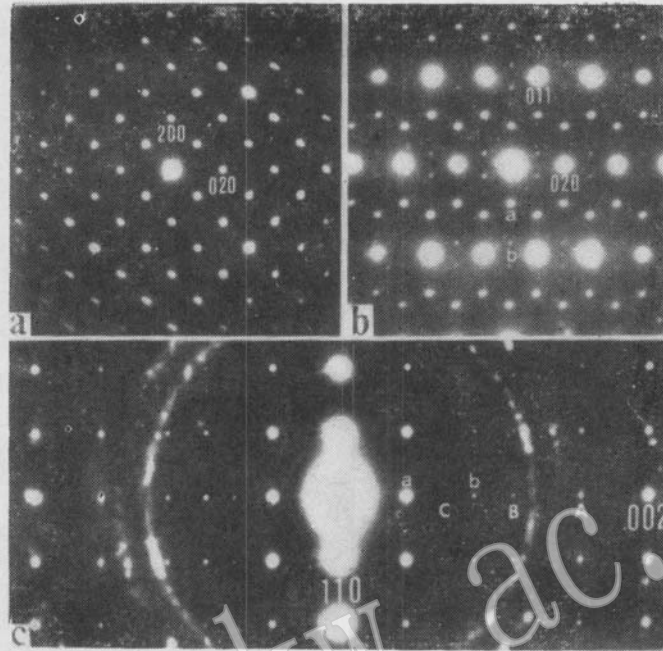
**Key words:** Bayan Obo; mineralogy; petrology; intrusive carbonatite; fenitization

### **Abstract**

This paper deals with the new advances made in recent years in the study of mineralogy, petrology, geochemistry and metallogenesis of the Bayan Obo ore deposit. In mineralogy, besides the previously-studied more than one hundred minerals, a lot of other minerals have been found and studied in succession, which include niobanatase, niobian perovskite, crichtonite, brockite, beiyunoboite, unnamed new species of fluorocarbonate, perrierite, magbasite and taeniolite. New relations of minerals, mineral paragenesis and replacement have also been found. In petrology, fenite and fenitization have been identified, and the existence of igneous carbonatite has been confirmed. In geochemistry and ore deposit genesis, the idea is put forward that REE and RE mineralizations are genetically related to carbonatite magmatic activity. This idea, however, remains to be verified through further thorough investigation and various means of exploration. The results of our recent work have deepened the study of mineralogy, petrology, geochemistry and metallogeny of the Bayan Obo deposit.



施倪承等：具一维无公度调制的安康矿的晶体结构测定



照片1 安康矿的电子衍射图

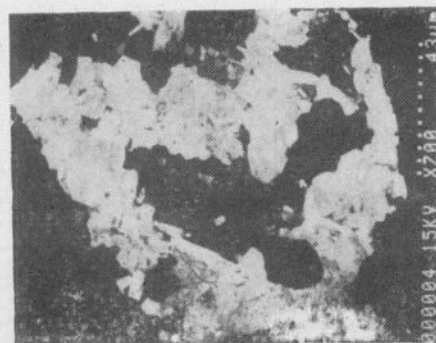
(中国科学院物理研究所 吴晓京摄)

(a) 沿 $[001]$ 带轴；(b) 沿 $[100]$ 带轴；(c) 沿 $[110]$ 带轴

张培善等：白云鄂博矿物岩石研究的新进展\*



照片1 白云鄂博H8白云岩中的环带状锆石，各环带中的硅、锆、铪的含量有不同变化。



照片2 白云鄂博H8白云岩中的锆石(亮灰)为铌钙矿(亮白)所交代的图象。整个大颗粒具锆石的原来轮廓。