

# 白云鄂博矿床中究竟发现了多少种矿物

沈茂森<sup>1</sup>, 赵永岗<sup>2</sup>

- 包钢集团矿山研究院(有限责任公司), 内蒙古 包头 014010;
- 包钢集团矿业有限责任公司, 内蒙古 包头 014010)

**摘要:**以《白云鄂博矿冶工艺学》中白云鄂博矿区矿物种类一览表为基础,结合《白云鄂博矿物学》收集了有关白云鄂博矿物的研究成果及其他文献,对白云鄂博矿床中已发现的矿物种类进行了整理统计。结果表明,校正了明显的错误后,《白云鄂博矿冶工艺学》矿物种类一览表中的矿物是172种,增补了《白云鄂博矿物学》中未被录入的矿物后,矿物达到191种;加上此后新发现的矿物和新矿物,迄今为止,在白云鄂博矿床中共发现矿物209种。

**关键词:**白云鄂博;矿物;新矿物;种类;统计

中图分类号:P575

文献标识码:B

文章编号:1009-5438(2023)01-0006-04

## How Many Types of Minerals Are Found in Bayan Obo Ore Deposit

Shen Mao-sen<sup>1</sup>, Zhao Yong-gang<sup>2</sup>

- Baotou Steel Group Mine Institute (Co., Ltd.), Baotou 014010, Inner Mongolia Autonomous Region, China;

- Baotou Steel Group Mining Co., Ltd., Baotou 014010, Inner Mongolia Autonomous Region, China)

**Abstract:** The mineral species that have been found in Bayan Obo ore deposit are sorted and recorded based on the list of mineral species in Bayan Obo mining area in *Mining and Metallurgical Technology of Baiyuneboite* as well as the research achievements of minerals of Bayan Obo are collected combining with such documents as *Mineralogy of Bayan Obo*. The results showed that there were 172 types of minerals in the list of mineral species in *Mining and Metallurgical Technology of Baiyuneboite* after correct obvious errors, the minerals reached 191 types by supplementing the minerals that were not recorded in *Mineralogy of Bayan Obo*; a total of 209 types of minerals have been found in Bayan Obo ore deposit so far, together with the newly found minerals and new minerals.

**Key words:** Bayan Obo; minerals; new minerals; species; statistics

白云鄂博矿床是一座举世罕见的铁、铌、稀土等多种金属和白云石、萤石、磷灰石、重晶石等多种非金属矿产共生的大型复合矿床。白云鄂博矿床也是一座天然的矿物宝库,自发现以来,不断有新矿物被发现。其中蕴藏着71种元素、170多种矿物的说法

已经提了快三十年了,期间又不断有新矿物发现。那么,迄今为止,白云鄂博矿床中究竟发现了多少种矿物呢,为什么没有个准确的数字呢?这是关心白云鄂博矿床研究和利用的所有人员都非常关注的问题。

白云鄂博矿床中究竟蕴含了多少种矿物,从理论上说应该不难查证,但实际是难以做到的。且不说,开展这样一项工作要投入大量的人力物力是否必要,仅是要取到包括白云鄂博所有矿物的样品几乎就是不可能的;其次,已有的研究成果都是从利用某种或某几种元素出发,对所利用的元素研究较深,而对其他脉石矿物的研究一般较简略。当然,不可能也没必要对所有矿物都做系统的鉴定,因此,仅从部分检测数据推测的矿物名称,出现个别谬误在所难免,此外,还有新矿物的不断发现。所以说,白云鄂博矿床中究竟发现了多少种矿物只能是个大约的数据。

虽然难以准确知道白云鄂博矿床中究竟发现了多少种矿物,但是尽可能全面地研究统计白云鄂博矿床中的矿物仍是很有意义的。这项工作有利于加深人们对白云鄂博矿床成矿作用的了解,有利于企业对白云鄂博宝藏的开发及综合利用。

## 1 比较系统的白云鄂博矿床矿物研究

自1927年丁道衡发现白云鄂博矿床以来,国内外众多的研究机构和专家学者就开展了大量的研究工作,发表了丰富多彩的研究成果。在白云鄂博矿物研究方面,比较系统的矿物学文献有1963年中国科学院地质研究所的《白云鄂博矿物志》<sup>[1]</sup>、1966年地质部一〇五地质队的《白云鄂博铁矿稀有稀土元素综合评价报告》、1986年张培善、陶克捷的《白云鄂博矿物学》<sup>[2]</sup>及1995年包钢编辑的《白云鄂博矿冶工艺学》等。

1966年4月,地质部一〇五地质队提交的《白云鄂博铁矿稀有稀土元素综合评价报告》,第一次提出白云鄂博矿区发现有71种元素、114种矿物,其中26种元素可供综合利用<sup>[3]</sup>。包钢编辑的《白云鄂博矿冶工艺学》虽然未正式出版,但其影响非常大。曾经参加过白云鄂博矿床研究的国内外的研究机构和专家学者多藏有此书。过去很长一段时间,包钢的科研人员都是人手一册;直到现在,仍然是包钢科研人员重要的参考资料。大家熟知的“71种元素、170多种矿物”的说法即源于此书。《白云鄂博矿物学》是记录白云鄂博矿物学特征比较全面、比较系统的书籍。

本文就以《白云鄂博矿冶工艺学》统计的矿物种数为基础进行完善。该书在白云鄂博矿区矿物种类一览表中共列出173种矿物(表1各栏第1组矿物)。该表中未列磁黄铁矿这一白云鄂博常见矿物,但书中有对磁黄铁矿较为详细的描述,显然,这是制表时的录入疏漏,本文予以补录;含铁白云石不是独立矿物,应属白云石,故将碳酸盐矿物栏中的含铁白云石删掉;笔者查不到硅镁解石的资料,疑是某种矿物的误录,笔者用《白云鄂博矿物学》中描述过的粒硅镁石取代;钠闪石包括镁钠闪石和蓝闪石,不是一种矿物,表中的钠闪石应该是镁钠闪石;同样,易解石也是矿物族名称,不是单独矿物名称,予以删除。上述校正之后,实际上《白云鄂博矿冶工艺学》统计的矿物种数应是172种,其中 $\beta$ -褐钨铋矿、铌钨铋矿存疑。

经过上述校正梳理后,笔者又补充了《白云鄂博矿物学》中未被录入的矿物。在铁矿物栏增补假象磁铁矿1种矿物;在铌矿物栏增补铈褐钨铋矿、单斜铈褐钨铋矿、单斜钨褐钨铋矿、单斜褐钨铋矿、铈铌易解石、钨铌易解石、铈易解石7种矿物;稀土矿物栏增补镧石、磷稀土矿2种矿物;在锰矿物栏增补黑镁铁锰矿、菱锰矿2种矿物;在硅酸盐矿物栏增补铁铝榴石、钙铁辉石、针钠钙石(?)、氟镁钠闪石、镁钠铁闪石5种矿物;在硫化物矿物栏增补斑铜矿1种矿物;氧化物矿物栏增补铬铁尖晶石1种矿物;总计增补19种矿物(表1各栏第2组矿物)。

由于褐铁矿一般是含黏土等杂质的针铁矿,不是独立矿物,未予收录。由于只看到白云鄂博矿床存在黄钾铁矾的资料,而未查到黄钾铁矾的文献,故把原表中的黄钾铁矾改成了黄钠铁矾,而未同时收录。一般认为磷硅钙铈矿就是铈磷灰石,原表中已收录了铈磷灰石,故未收录磷硅钙铈矿。已有文献表明<sup>[4]</sup>,对钨氟碳钙铈矿、钨氟碳铈钡矿存在较大争议而未录入。

可见,《白云鄂博矿冶工艺学》矿物种类一览表中并没有把《白云鄂博矿物学》这一专门研究白云鄂博矿物的重要文献中的矿物收录完全。经笔者补录后,达到191种。也就是说,在编辑《白云鄂博矿冶工艺学》时,在白云鄂博矿床中已经发现了191种矿物。

表 1 白云鄂博矿区矿物种类一览表

矿物类型	矿物种类
铁矿物	第 1 组:磁铁矿、赤铁矿、磁赤铁矿、假象赤铁矿、镜铁矿、针铁矿、纤铁矿、菱铁矿、菱铁矿、菱铁矿、菱铁矿、铁白云石(12);第 2 组:假象磁铁矿(1)
铈矿物	第 1 组:铈铁金红石、铈铁矿、铈锰矿、烧绿石、铈钽烧绿石、铈易解石、铈易解石、铈钽易解石、富铈钽易解石、铈钙矿、褐铈铈矿、 $\beta$ -褐铈铈矿、褐铈铈矿、 $\beta$ -褐铈铈矿、铈褐铈铈矿、褐铈铈矿、 $\beta$ -褐铈铈矿(?)、铈铈铈矿(?)、包头矿(19);第 2 组:铈褐铈铈矿、单斜铈褐铈铈矿、单斜铈褐铈铈矿、单斜铈褐铈铈矿、铈铈易解石、铈铈易解石、铈铈易解石(7);第 3 组:长白石、白鸽矿(2)
稀土矿物	第 1 组:独居石、氟碳铈矿、氟碳铈钒矿、黄河矿、氟碳铈钒矿、中华铈矿、氟碳钙铈矿、氟碳钙铈矿、碳铈钠矿、大青山矿、褐帘石、硅铈铈矿、铈磷灰石、水磷铈矿、水磷铈矿、方铈石(16);第 2 组:镧石、磷稀土矿(2);第 3 组:丁道衡矿-(Ce)、磷铈矿、碳铈铈矿(3)
钪矿物	第 3 组:钪铈石、水磷钪石(2)
钛矿物	第 1 组:金红石、钛铁矿、钒钛钛石、钒钛钛石、榍石、白钛石(6);第 3 组:硅钒钛钛石(1)
钽矿物	第 1 组:钽石、铁钽石、钽钽石、方钽石(4);第 3 组:水磷钽钽石(1)
锰矿物	第 1 组:软锰矿、硬锰矿、水锰矿、铁菱锰矿(4);第 2 组:黑菱铁锰矿、菱锰矿(2);第 3 组:拉锰矿、红菱锰矿(2)
硅酸盐矿物	第 1 组:贵橄榄石、铁橄榄石、斜方辉石、普通辉石、透辉石、霓辉石、霓石、斜方角闪石、普通角闪石、透闪石、阳起石、蓝透闪石、钠钙镁闪石、镁亚铁钠闪石、亚铁钠闪石、镁钠闪石、黑云母、金云母、白云母、绢云母、微斜长石、正长石、条纹长石、钠长石、更长石、中长石、拉长石、钙铁榴石、钙铝榴石、镁铝榴石、硅镁石、斜硅镁石、方柱石、符山石、红柱石、硅线石、堇青石、绿帘石、绿泥石、斜黧帘石、滑石、蛇纹石、黑电气石、镁电气石、铁海泡石、铁山软木、多水高岭石、胶多水高岭石、铁多水高岭石、绿高岭石、蒙脱石、绿脱石、伊利石、沸石、粒硅镁石、黄玉、伊丁石(57);第 2 组:铁铝榴石、钙铁辉石、针钠钙石(?)、氟镁钠闪石、镁钠铁闪石(5);第 3 组:硅钒钒石、氟木下云母、氟铁金云母、杨主明云母(4)
碳酸盐矿物	第 1 组:方解石、镁方解石、白云石、菱镁矿、锰白云石、锰铁白云石、菱铈矿、钙菱铈矿、 $\beta$ -钙菱铈矿、碳铈钙石、铈方解石、铈方解石、毒重石、钒方解石、菱钒镁石、菱碱土矿、铈菱碱土矿(17);第 3 组:钒白云石(1)
硫酸盐矿物	第 1 组:重晶石、石膏、黄铁矿、水绿矾、明矾石、铜蓝(6)
硫化物矿物	第 1 组:黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、辉钼矿、白铁矿、黄铜矿、毒砂、脆硫锑铅矿、磁黄铁矿(9);第 2 组:斑铜矿(1);第 3 组:铁闪锌矿(1)
氧化物矿物	第 1 组:石英、玉髓、蛋白石、锡石、镁铁尖晶石、铬尖晶石、铝铬尖晶石、铝铁尖晶石、铁尖晶石、刚玉、方镁石、金绿宝石(12);第 2 组:铬铁尖晶石(1)
卤化物	第 1 组:萤石、氟镁石(2);第 3 组:张培善石(3)
其他	第 1 组:碳化硅、钨铅矿、石墨、自然金、自然铋、一水硬铝石、锆石、磷灰石(8)

注:1. 本表各栏矿物种类第 1 组为《白云鄂博矿冶工艺学》矿物种类一览表中的矿物;第 2 组为增补的《白云鄂博矿物学》中的矿物;第 3 组为其后发现和补漏的矿物,每组括号内数字为矿物种类数量统计。

2. 本表仅为统计矿物种数而列,不是按真正的矿物类型而列,故不重复排列。如独居石既是稀土矿物,又是磷酸盐矿物,仅列在稀土矿物中,磷酸盐矿物中不再重复列出。

## 2 白云鄂博矿床中的其他矿物

在白云鄂博矿物研究方面,不仅有比较系统的矿物学研究,在其他研究方面也多涉及到矿物方面的研究。新发现的矿物和新矿物的数量都在不断增加,尤其是发现新矿物受到研究者的高度重视。

在近年来的研究中,广东省资源综合利用研究所通过 SEM-EDS 在白云鄂博矿尾矿中发现了钪铈石。去年,包钢矿研院地质室人员再次在白云鄂

博矿中发现了钪铈石,并经 EPMA 确认。虽然没有进行系统地鉴定,但由于钪铈石组成简单,已有的工作亦可以肯定其存在。李梅在“白云鄂博尾矿资源选冶一体化清洁高效提取新技术及应用”研究中报道,首次在白云鄂博矿中发现了钪的独立矿物水磷钪石,肖仪武也有发现一粒水磷钪石的表述<sup>[5]</sup>。这样,在白云鄂博矿物大家庭中又增加了两种钪的独立矿物。

白云鄂博铁矿的技术人员向笔者提供了白云鄂

博主矿的一块褐铁矿标本,要求鉴定其表面的一层黑色矿物,经笔者鉴定,发现其为拉锰矿。笔者还从白云鄂博主矿的一种富含钛铁矿和氟碳钡稀土矿物的霓石岩中发现了钡白云石,从闪石型铁矿石中发现了铁闪锌矿及红钛锰矿。笔者的同事还从白云鄂博矿选矿流程样中发现了长白石(经 TIMA 和 EPMA 测定)。

毛骞等的文献表明白云鄂博矿床存在碳锶铈矿<sup>[6]</sup>;Campbell 等的文献表明白云鄂博东矿存在磷钇矿<sup>[7]</sup>,另外还发现漏录了早已发现的硅镁钡石<sup>[8-10]</sup>、硅钡铁钛石<sup>[11]</sup>、水磷钙钍石<sup>[12]</sup>。

白云鄂博矿床中的新矿物可谓一直处于发现中。《白云鄂博矿冶工艺学》印刷后,又有 6 种新矿物被发现,它们分别是氟木下云母、氟铁金云母、杨主明云母<sup>[13]</sup>、张培善石、丁道衡矿<sup>[4,14]</sup>和白鸽矿。其中白鸽矿是 2022 年 12 月国际矿物协会新矿物及矿物命名委员会(IMA CNMNC)批准的新矿物,它是一种铀、钍含量较高的铀矿物。这样,白云鄂博矿床中的矿物在上述基础上又增加了 18 种(表 1 各栏第 3 组矿物),总数已达 209 种。

### 3 几点说明

《白云鄂博矿物学》中还提到一些未知矿物,如碳质、未知高氯矿物、未知铈铀矿物等均未收录。但这些矿物肯定是存在的,希望矿物工作者应予以重视,迨确认后加以补录。

通常含 ×× 的某某矿物仍属某某矿物,本次不予收录,已收录的已删除。有些文献提到的矿物只是通过矿物粉末 XRD 检测或 MLA 检测时出现过,并未作进一步的查证工作,误报的可能很大,这样的矿物也不予收录,如黑稀金矿。那些组成和结构复杂的矿物如易解石、烧绿石、钠闪石等由于文献中不少矿物都没有提供结构式,再加上不同研究者所遵循的命名规则也不一定一致,无法判断其中是否有同矿异名现象,笔者只是根据名称的不同全部收录,其中谬误可能不少。

笔者还要谈一谈中华铈矿。中华铈矿是 1979 年夏季张培山在研究白云鄂博西矿钻孔岩心时发现的一种新矿物<sup>[15]</sup>,1981 年曾被国际矿物协会新矿物及矿物命名委员会(IMA CNMNC)批准为新矿物。后来据说因未保留原型矿物样品之故<sup>[16]</sup>,而最终未被确认。但令人费解的是,十五年后的 1996 年,IMA CNMNC 将与中华铈矿类似的矿物命名成

新矿物库克哈伦科矿(kukharenkoite - (Ce))。十五年来,国内外的矿物工作者早已熟知中华铈矿,而且国内外的矿物数据库也已收录了该矿。笔者认为 IMA CNMNC 的做法有违保护发现权的初衷,至于原型样品完全可以要求补交吗。所以,笔者强烈建议我国保留中华铈矿的名称,来捍卫中华铈矿真正的发现者张培善的发现权。这点自信,中国的矿物工作者必须要有。鉴于此,笔者整理的白云鄂博矿物种类一览表中坚决地保留了中华铈矿。笔者的建议得到了中国地质大学(北京)李国武教授的支持,他说在国际上仍然称 kukharenkoite - (Ce),但我国可以将它翻译成中华铈矿,这是允许的。李国武教授将向有关部门提出这一建议。

### 4 结束语

校正了明显的错误后,《白云鄂博矿冶工艺学》矿物种类一览表中的矿物应该是 172 种,增补了《白云鄂博矿物学》中未被录入的矿物后,矿物达到 191 种,加上此后新发现和补漏的矿物和新矿物,迄今为止,在白云鄂博矿床共发现矿物 209 种。

这一结论虽然是笔者尽自己最大努力做出的,但由于研究者或宣传者对新发现的已有矿物的宣传并不象发现新矿物那样高调,因此,对新发现的已有矿物的统计可能不够全面。此外,笔者的学识和涉猎也有限,由此造成的疏漏谬误在所难免,权当是抛砖引玉,希望更熟悉白云鄂博矿物的专家批评斧正,不断完善。

### 参 考 文 献

- [1] 中国科学院地质研究所. 白云鄂博矿物志[M]. 北京:科学出版社,1963.
- [2] 张培善,陶克捷. 白云鄂博矿物学[M]. 北京:科学出版社,1986.
- [3] 刘云,孙承志,程素萍. 白云鄂博铁铈稀土矿勘察及研究史[M]. 北京:地质出版社,2019.
- [4] 徐金沙,李国武,沈致富. 首次在白云鄂博铁矿发现的矿物种述评[J]. 地质学报,2012(5):842-848.
- [5] 肖仪武. 选矿工艺矿物学[M]. 北京:科学出版社,2020.
- [6] 毛骞,马玉光,王凯怡. 白云鄂博的碳锶铈矿[J]. 地质学报,2012,86(5):837-841.

优,烧结矿 SiO<sub>2</sub> 含量应控制在 5.15% 为最佳。

## 5 结论

(1)在控制烧结矿碱度 1.96 ~ 2.02 的条件下,随着烧结矿 SiO<sub>2</sub> 含量逐步增加至 5.15%,烧结矿转鼓强度及平均粒径均明显提高,当 SiO<sub>2</sub> 含量增加至 5.28% 以上达到 5.35% 时,烧结矿转鼓强度及平均粒径下降。

(2)在包钢烧结自产精矿高比例(40%左右)结构下,控制烧结矿碱度为 2.0 时,在保证烧结矿的品位的同时,通过控制烧结矿 SiO<sub>2</sub> 含量在 5.15%,烧结矿转鼓强度可以达到 79.5% 以上,平均粒径提高到 19 mm 以上,为大高炉实现增产降焦奠定了炉料基础。

(3)基于目前烧结原料配比条件下,烧结矿显微结构以磁铁矿与铁酸钙熔蚀交织结构为主,随着烧结矿 SiO<sub>2</sub> 含量的增加,板柱状铁酸钙增加,硅

酸二钙出现大面积富集。烧结矿中铁酸钙的含量在烧结矿 SiO<sub>2</sub> 含量为 5.15% 时达到最大值。

## 参 考 文 献

- [1] Xiao Z X, Chen L K, Yang Y D, et al. Effect of Coarse - Grain and Low - Grade Iron Ores on Sinter Properties[J]. ISIJ International, 2017, 57(5):795 - 804.
- [2] 胡鹏,饶家庭,付卫国,等. 高钛型钒钛烧结矿不同硅钙水平研究[J]. 烧结球团,2017,42(3):16 - 20.
- [3] 李和平,吴胜利,苏博. SiO<sub>2</sub> 含量对铁矿粉液相特性及固结强度的影响[J]. 烧结球团,2019,44(5):23 - 28.
- [4] 闫志武,张建良,张亚鹏,等. SiO<sub>2</sub> 对烧结矿冶金性能及微观结构的影响[J]. 工程科学学报,2016,38(7):913 - 919.
- .....
- (上接第9页)
- [7] L. S. Campbell, W. Compston, K. N. Sircombe, et al. Zircon from the East Orebody of the Bayan Obo Fe - Nb - REE Deposit, China, and SHRIMP Ages for Carbonatite - related Magmatism and REE Mineralization Events [J]. Contrib Mineral Petrol,2014,168:1041.
- [8] 龚国洪,裘愉卓,姚林波. 硅镁钡石的粉晶 X 射线衍射新数据[J]. 矿物岩石地球化学通报,2011,30(S1):275.
- [9] 龚国洪,裘愉卓,肖昕. 硅镁钡石的晶体结构[J]. 矿物岩石地球化学通报,2011,30(S1):276.
- [10] 裘愉卓,刘世荣,龚国洪,等. 硅镁钡石的重新定义[J]. 矿物岩石地球化学通报:2011,30(S1):303.
- [11] 张淑君,丁浩华,郭宗山,等. 硅钡铁钛石的新资料[J]. 地质评论,1982,28(3):250 - 257.
- [12] 刘铁庚,王冠鑫,巩积文. 水磷钙钛石在我国的发现及其研究[J]. 矿物学报,1987,7(2):177.
- [13] 张培善,王中刚. 白云鄂博发现三种云母族新矿物:杨主明云母、氟木下云母和氟铁金云母[J]. 矿物学报,2013,33(S1):282.
- [14] 徐金沙,杨光明,李国武,等. 新矿物丁道衡矿 - (Ce):珀硅钛铈矿的同质多相体和硅钛铈矿亚族 C(1)位上的钛类似矿物[J]. 矿物学报,2008,28(3):237 - 243.
- [15] 张培善,陶克捷,李方华. 中华铈矿 Ba<sub>2</sub>Ce(CO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>F:新发现的一种稀土矿物[J]. 矿物学报,1981,1(2):65 - 74.
- [16] Zaitsev A N, Yakovenchuk V N, Chao G Y, et al. Kukharenkoite - (Ce), Ba<sub>2</sub>Ce(CO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>F, a New Mineral from Kola Peninsula, Russian and Quebec, Canada[J]. Eur. J. Mineral,1996,8:1327 - 1336.