

# 我国铌资源开发利用的现状及其可行性

张去非

(山东理工大学资源与环境工程学院 淄博 255049)

**摘 要** 本文针对国内外铌资源的开发利用现状及分选工艺概况, 论述我国铌资源开发利用的现状及其可行性, 阐明开发利用我国铌资源具有重要的意义。

**关键词** 铌资源 开发利用 现状 可行性

**中图分类号** TD982 **文献标识码** B **文章编号** 1004 - 4051 (2003) 06 - 0030 - 04

## PRESENT SITUATION AND FEASIBILITY ABOUT UTILIZATION OF NIOBIUM-BEARING RESOURCE IN CHINA

Zhang Qufei

(Resource and Environmental Engineering College,  
Shandong University of Science & Engineering Zibo 255049)

**Abstract:** In terms of the present situation of exploitation & utilization on niobium-bearing resource and its separating process at home and abroad, the current situation and feasibility of exploitation & utilization on niobium-bearing resource in China are expounded in the paper. The article elucidates the vital significance of exploiting and utilizing niobium-bearing resource in china.

**Key words:** Niobium-bearing resource; Exploitation & utilization, Present situation, Feasibility

### 1 前 言

铌是一种十分重要的金属, 广泛应用于冶金、航空航天、电子、光学、原子能以及超导材料等高新技术领域, 并在许多尖端科技领域中发挥着重要作用。

铌位于元素周期表第五周期, 第 VB 族, 第 41 号元素。在自然界不以自然金属和硫化物的状态存在。该元素于 1801 年首次发现, 到 20 世纪 50 年代才开始进行工业生产。铌属于稀有金属, 具有高熔点、耐腐蚀、导电性优良、热膨胀系数大等特点。

铌在钢铁工业方面主要用于制造各种合金钢、耐热合金、铌基合金和碳化铌等; 铌是钢的主要合金元素之一。在普通钢中加入 0.02%~0.05% 的微量金属铌, 便可以使钢的强度提高 20%~25%, 同时能够改善钢的机械和焊接性能, 并且可以提高钢的抗热性和抗腐蚀性, 降低钢的脆性, 由于铌钢具有这些优良的性能, 所以, 可以用于火箭发动机制造、宇宙飞行器热屏蔽、电子反应堆的结构材料和核燃料的包覆材料。

铌在低温超导领域和其它领域中, 也得到广泛的应用。在超导材料方面主要用于加速器和核磁共

振的制造; 高纯铌是生产电光学系统中激光控制晶体的主要材料, 也可以用于切削工具、喷气发动机的涡轮叶轮及火箭的喷涂层。

铌在电子工业方面主要用于制造介电材料、压电材料和电容器, 在玻璃工业方面主要用于镧硼酸盐玻璃原料, 此玻璃广泛用于制造照相机和透镜系统。

总之, 随着工业的不断发展和完善, 铌必将越来越受到人们的普遍关注和重视。

### 2 国外铌资源开发利用的现状

世界铌氧化物资源储量为 2500 万 t, 这些铌资源主要分布在巴西、中国、加拿大等国家。巴西铌资源储量为 1000 万 t, 居世界第一位。

巴西、加拿大等主要产铌国的铌矿石中铌品位高, 含铌矿物嵌布粒度粗, 且主要是高含铌的黄绿石。脉石矿物简单, 通过比较简单的选别工艺便可得到较高品位的铌精矿。

巴西的阿拉克萨矿是世界上最大和最富的铌资源基地, 原矿品位  $Nb_2O_5$  含量达到 2.5%~3.3%, 主要含铌矿物为嵌布粒度较粗的黄绿石, 可选性好, 边界品位控制在 2% 左右, 给矿品位为 3%,

中国矿业 2003 年第 12 卷第 6 期

采用选冶联合流程生产氧化铌和铌铁。整个工艺由选矿、浸出和铌冶炼三部分组成。原矿经过破碎、磨矿后给入磁选作业选出磁铁矿，磁选尾矿经过脱泥、浮选得到含  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  55%~60% 的铌精矿，得到的铌精矿再经过氯化焙烧、盐酸浸出、过滤、干燥等工艺获得含  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  59%~65% 的铌精矿，回收率达到 65% 左右。

加拿大魁北克省的圣 霍诺雷铌矿是一个碳酸盐铌矿床，原矿含铌 0.58%~0.66%。铌矿物主要是黄绿石、铌铁矿，铌矿物的嵌布粒度为 0.2mm 以下。脉石矿物主要是方解石、白云母、白云石、磷灰石、长石、磁铁矿和黄铁矿等。该矿是世界铌原料主要生产基地之一。该矿选矿厂日处理矿石能力 2085t，经过脱泥、碳酸盐浮选、再脱泥、磁选、黄绿石浮选、黄铁矿浮选、黄绿石精矿浸出脱磷和浸出渣浮硫等工艺流程，得到黄绿石最终精矿。精矿含  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  60%~62%，回收率 70% 左右。

加拿大圣 劳伦斯铌金属公司的奥卡选矿厂处理含铌 0.44% 的铌矿石。铌矿物主要为黄绿石，脉石矿物主要为方解石。原矿经过破碎、磨矿后进行硫化物浮选，浮选尾矿进行磁选，磁选尾矿经过水力旋流器脱泥后进行黄绿石浮选，浮选后获得含  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  2%、回收率为 90%~95% 的铌精矿。获得的铌精矿再经过三段正浮选和两段反浮选工艺，获得含  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  51%、回收率为 69% 的最终铌精矿。

### 3 我国铌资源开发利用的现状

我国铌资源也很丰富，储量居世界第二位，主要分布在包头的白云鄂博、广西的泰美、栗木、江西的宜春和新疆的可可托海等地，其中，白云鄂博铌资源储量最大，占我国铌资源储量的 95%，其远景储量达 660 万 t，工业储量为 157 万 t。

我国江西的宜春、广西的泰美、栗木等地，虽然原矿中铌、钽品位低，含  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  或  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  仅为 0.0083%~0.0314%，但由于其有用矿物嵌布粒度较粗，通过重选、电选、磁选等工艺流程处理即可获得含  $(\text{Nb}, \text{Ta})_2\text{O}_5$  为 2.515%~55.80% 的铌精矿。

我国江西省宜春市宜春钽铌矿是一个钠长石化——石英盐化——锂云母化花岗岩矿床，含有钽铌、锂、铷、铯等多种稀有金属。原矿中含  $(\text{TaNb})_2\text{O}_5$  0.03% ( $\text{Ta}:\text{Nb}=1.8:1$ )，钽铌矿物主要是富锰钽铌铁矿、结晶石、含钽锡石。脉石矿物主要为石英、长石、黄玉、磁铁矿、赤铁矿、钛铁矿、磷灰石等。富锰钽铌铁矿和含钽锡石的嵌布粒度为 0.3mm~0.1mm，细晶石粒度为 0.2mm~0.08mm。该矿山是我国目前钽铌、锂、玻璃、陶

我国铌资源开发利用的现状及其可行性

瓷工业的重要原料基地。

选矿厂规模为 1500t/d，原矿首先经过振动给矿筛洗，筛上产品 (+130mm) 经过三段破碎、一段磨矿、磁选、摇床重选后得到钽铌精矿及铁精矿；

虽然我国的这些南方选矿厂可以得到较高品位的钽、铌精矿，但因为其原矿铌品位低，且储量小，产量不高。而我国铌资源储量的 95% 分布在包头的白云鄂博铁矿，所以着重研究白云鄂博铁矿床铌资源的特点及分布概况对于研究我国铌资源的开发利用具有深远的现实意义。

白云鄂博矿床是我国大型铁、稀土、铌等多金属共生矿床，其中，五氧化二铌储量位居我国第一，世界第二，仅次于巴西。

白云鄂博矿床的铌资源具有以下特点：

(1) 储量大。五氧化二铌的远景储量 660 万 t，工业储量 157 万 t，其中主矿铁矿体内  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  为 58.7 万 t，东矿铁矿体内  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  为 29.5 万 t。

(2) 分布广。主、东矿铁矿体中含有铌，待开采的西矿铁矿体中也含有铌；主、东矿上盘、东部接触带、西矿白云岩中也含有铌，而且这部分围岩中铌含量较高。

(3) 含铌品位低。主、东矿铁矿体矿石中含  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  0.068%~0.14%，东部接触带 2 号矿体矿石中含  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  0.2%~0.25%。

(4) 各矿段铌矿物嵌布粒度普遍小于 20 $\mu\text{m}$ ，部分小于 3 $\mu\text{m}$ ；2 号矿体的铌矿物嵌布粒度相对较粗，一般均在 2 $\mu\text{m}$  以上。

(5) 铌的分散程度较高。约有 15% 的铌呈类质同象或极小的包裹体赋存于铁矿物、稀土矿物和含铌硅酸盐矿物中。

(6) 铌矿物种类多，且主要含铌矿物的物理化学性质不尽相同，可选性差异大，而铌矿物与其它矿物之间共生关系密切，可选性差异小，从而增加了选矿难度。

白云鄂博矿床中铌矿物共有 18 种，分别是铌铁金红石、铌铁矿、铌锰矿、黄绿石、易解石、钽易解石、铌易解石、铌钽易解石、富钽钽易解石、铌钙矿、褐钽铌矿、 $\beta$ -褐钽铌矿、褐钽铌矿、 $\beta$ -褐钽铌矿、钽褐钽铌矿、褐钽铌矿、 $\beta$ -褐钽铌矿、包头矿等。

自从 20 世纪 60 年代以来，国内许多高等院校和科研院所都对白云鄂博矿床铌资源的开发利用做了大量的研究工作，取得了一定的进展。

20 世纪 60 年代前期，首先进行主、东矿上下盘含铌围岩的小型试验研究。由于上下盘含铌围岩中主要铌矿物易解石结晶粒度粗，且与其它脉石矿

物共生关系简单,因而一般都采用重选法抛尾;60年代后期,对都拉哈拉东部接触带磁铁矿化白云岩和都拉哈拉白云岩型稀土、铌矿石进行小型试验研究工作,主要工艺为“重选——浮选”和“浮选——磁选”等。

20世纪70年代,对主、东矿中贫氧化矿石在回收铁、稀土的同时,也开展回收铌的工作,使铌矿物率先富集到铁精矿中,然后经过冶炼工艺后铌进入平炉炉渣中,炉渣作为铌铁生产的原料。

20世纪80年代初,根据含铌铁精矿中铌品位的高低,采用不同的回收利用铌资源的方法,即低铌铁精矿进入包钢主体钢铁生产工艺流程,高铌铁精矿直接采用当时的高炉—转炉—电炉—电炉工艺生产低级铌铁;20世纪80年代末,随着长沙矿冶研究院对主、东矿中贫氧化矿而设计的“弱磁-强磁-浮选”,综合回收铁、稀土试验研究的不断深入以及在包钢选矿厂的成功投产,从强磁中矿浮选稀土的尾矿中综合回收铌的研究工作成为可能。对该尾矿直接正浮选,工业分流试验获得含  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  0.82%的富铌铁精矿,全流程回收率为15.89%,富铌铁精矿中含铁42.52%。

根据包钢生产铌铁的“高炉——转炉——电炉——电炉”工艺长及成本高的缺点,20世纪80年代末,对东部接触带2号矿体含铌白云岩进行了选铌研究,其目的旨在生产高品位铌精矿,缩短铌铁生产流程,降低铌铁产品的成本。先后采用“重选-正浮选-磁选”工艺和“重选-磁选-正浮选”工艺,在原矿含  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  0.25%时,小型试验可获得含  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  15.81%、回收率54.27%的铌精矿。对该铌精矿采用一步电炉法或铝热还原法均可以得到合格的铌铁。其后,针对2号矿体含铌白云岩中的铌矿物以铌钙矿为主、且结晶粒度较粗等特点,采用“重选-反浮选-磁选和化学选矿(或正浮选)”工艺从含  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  0.28%的白云岩中获得含  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  15.87%、回收率24.00%的铌精矿。该工艺特点是用重选抛掉大部分密度小的碳酸盐矿物、硅酸盐矿物及磷灰石,反浮选进一步除去残留的白云石、方解石、磷灰石等易浮矿物,不仅大幅度降低了磷的含量,而且由于钙离子的减少为正浮选创造了条件。弱磁选除去磁铁矿后,铌品位得到较大富集。继续用酸处理或者用正浮选得到铌精矿。该工艺不仅工艺灵活,过程稳定,而且能够获得高质量的铌精矿。

20世纪80年代还对西矿含铌白云岩及选矿厂总尾矿进行了选铌研究。处理西矿含铌白云岩采用重选-强磁选-浮选-重液分离工艺,在原矿含  $\text{Nb}_2\text{O}_5$

0.297%的情况下,小型试验指标为:精矿产率0.461%,精矿含  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  25.21%,回收率39.47%;处理选矿厂总尾矿时先用细筛筛除大颗粒后再用正浮选工艺选铌矿物。在入选品位  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  0.137%的情况下,精矿产率2.4%,精矿含  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  1.15%,回收率21.15%。

20世纪90年代,包钢的“高炉——转炉——电炉——电炉”铌铁冶炼工艺虽然技术上可行,但因为工艺流程复杂、冗长、成本高、产量小而被迫停产,所以,尽快开发包头铌资源已势在必行。

1994年,包钢与长沙矿冶研究院共同合作在包钢矿山研究所试验厂做了以浮选稀土尾矿为原料的选铌工业分流试验。先将浮选稀土尾矿浓缩至浓度45%左右,添加水玻璃、氧化石蜡皂浮选萤石、稀土等易浮矿物(一粗一精),浮选泡沫抛尾。槽内产品浓缩至浓度43%~48%,添加氟硅酸铵、氧化石蜡皂浮选铁矿物(一粗二精),得到铁精矿。浮选铁的尾矿加水脱药至浓度25%左右,添加硫酸、羧甲基纤维素(CMC)、 $\text{C}_5\sim 9$ 羟肟酸经过三次精选后得到浮选铌精矿。浮选后得到的铌精矿经过强磁选,磁性产品为含铁较高的次铌精矿,非磁性产品为含铌较高的铌精矿。

稀土浮选尾矿含  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  0.187%, TFe 27.30%,经过铁浮选作业后,浮选铁精矿铁品位60.69%,铁回收率61.20%;经过铌浮选作业后,浮选铌精矿含  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  1.668%,含 TFe 43.56%,  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  回收率40.14%;得到的浮选铌精矿再经过强磁选后,铌精矿含  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  2.84%,铌回收率26.12%,铌次精矿含  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  0.916%, TFe 51.38%,铌回收率14.02%。

包钢矿山研究所也曾用捕收剂SDC浮选包钢选矿厂稀选车间选稀土后的尾矿,在给矿含  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  0.22%的前提下,经过浮选(一粗三精)得到铌精矿和铌次精矿两种产品。其中铌精矿含  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  3.12%,含 TFe 50.00%,铌回收率26.66%,铌次精矿含  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  0.63%, TFe 41.79%,铌回收率20.39%。

#### 4 我国铌资源开发利用的可行性

由于白云鄂博矿床铌资源储量占我国铌资源储量的95%,所以,白云鄂博矿床铌资源的开发利用对我国铌资源利用具有重大意义。而白云鄂博矿床铌资源的开发利用应该以选矿方法为主。只有采用多种选矿工艺联合流程,才可以从含铌较低的矿石中回收铌矿物。许多专家曾提出:开发白云鄂博东部接触带2号矿体铌资源是利用包头铌资源的捷径,从选矿流程中综合回收铌是利用包头铌资源的

重点。而我认为从包钢选矿厂处理中贫氧化矿系列的工艺流程中回收铌更切合实际,更具有可行性。原因是尽管东部接触带2号矿体中铌矿物嵌布粒度粗、矿物组成简单,并且通过“重选-反浮选-磁选-正浮选(或化学选矿)”工艺获得不同品位的铌精矿,但是2号矿体中铌氧化物储量仅为1.9万t,限制其大规模生产及工业化。如果从眼前利益出发,可以考虑其铌矿物的综合回收;如果从长远利益出发,还应从选矿流程中,特别是从处理中贫氧化矿系列的浮选稀土尾矿工艺流程中回收铌矿物,实现在选矿流程中获得铌精矿产物。这必将对白云鄂博铌资源的开发利用起到革命性作用。

根据以包钢“弱磁-强磁-浮选”流程的浮选稀土尾矿为原料做的工业分流试验来分析白云鄂博铌资源利用的可行性,具体如下:

#### (1) 铌精矿成本进一步下降

由于原料是浮选稀土尾矿,因而在利用“反浮选-浮铁-浮铌-强磁选”工艺流程及药剂制度时不需要原料再磨及其它特殊处理,流程简单,铌精矿成本较低。除了浮选铌矿物的药剂以外,其余用于浮选易浮矿物及铁矿物的药剂均便宜低廉,降低了浮选铌矿物的药剂消耗,从而进一步降低铌精矿成本。

(2) 有利于提高铁、稀土的回收率,具有一定的经济效益

浮选稀土的尾矿中铁品位仍然较高,一般在25%左右,在浮选铁矿物中,又可以提高铁金属回收率3%~4%,使中贫氧化矿选矿系列的铁精矿中铁金属回收率达到75%,使进一步提高铁金属回收率成为现实。另一方面,浮选稀土尾矿中还残留的稀土矿物随萤石等一起进入易浮泡沫产品,该产品含REO 15%左右,可以经过摇床选别富集稀土矿物至含REO 30%左右,然后再浮选得到REO 50%以上的稀土精矿,实现在回收铌矿物的同时还回收铁、稀土。

#### (3) 回收铌矿物工艺灵活、机动

浮选得到的铌精矿经过强磁选分选后,可根据冶炼要求灵活调整精矿品位,便于生产管理,适合于生产作业灵活、机动。

#### (4) 选铌浮选药剂问题得以解决

在进行铌浮选时,铌矿物的捕收剂至关重要。多年来,经过不断探索发现 $C_{5-9}$ 羟肟酸同时对铌铁矿、易解石、黄绿石、铌铁金红石等四种铌矿物具有较强的捕收性,对四种铌矿物的颗粒大小和连生状况具有较强的适应性。 $C_{5-9}$ 羟肟酸最佳pH值

为中性和弱酸性范围。pH值过低不利于其解离,pH值过高又容易分解。由于萤石、碳酸盐等脉石矿物在碱性介质中浮游性较好,而铌矿物在弱酸性介质中浮游性较好,因而,铌矿物浮选应该在弱酸性介质中进行,用硫酸和氟硅酸盐作为浮选矿浆的pH调整剂。

铌浮选原料中主要脉石矿物是硅酸盐矿物、萤石和碳酸盐矿物。这些矿物的抑制剂,如水玻璃、六偏磷酸钠、焦磷酸、磷酸氢钠、氢氟酸等,对铌矿物也有较强的抑制作用,分选选择性不高。羧甲基纤维素(CMC)虽然对铌矿物也有抑制作用,但对脉石矿物的抑制作用特别强烈,扩大了铌矿物与脉石矿物的浮游性差异,是铌浮选中选择性好的抑制剂。

## 5 结束语

白云鄂博矿床铌资源的开发利用对我国铌资源利用具有重大意义,可以扭转我国铌资源需求大量靠进口的局面,而主、东矿体铌资源储量占白云鄂博矿床可利用的铌资源的80%,且铌矿物嵌布粒度细、共生关系复杂,为此,主、东矿铌资源的开发利用成为包钢选矿的重点,也是我国从白云鄂博矿床中获取铌资源的主要途径。以包钢选矿厂强磁中矿浮选稀土后的尾矿为原料,采用“反浮选-浮铁-浮铌-强磁选”工艺进行的工业分流试验说明从包钢主流程中回收铌是完全可行的,况且在回收铌的同时还可兼顾回收铁和稀土,得到的铌精矿含 $Nb_2O_5$  2.84%,经过深加工后,如正浮选或化学选矿后,可得到含 $Nb_2O_5$  15%以上的铌精矿。从而,为我国的国民经济发展和经济建设提供必要的铌原料保障,推动我国铌资源的开发利用蓬勃向前发展。

#### 参考文献

- (1) 《选矿手册》编辑委员会.《选矿手册》第八卷第三分册[M].北京:冶金工业出版社,1990.
- (2) 任 喙.铌矿物的开发利用与展望[J].矿山,1995,(6): 35~39.
- (3) 《白云鄂博矿冶工艺学》编辑委员会.白云鄂博矿冶工艺学矿山卷[M].包头:包头钢铁公司,1994.
- (4) 吴占江.白云鄂博矿区铌矿特征述评[J].矿山,1995,(2): 1~4.
- (5) 王文梅.白云鄂博铌资源综合利用选矿新工艺[J].包钢科技,1997,(3): 116~120.
- (6) 宋常青.用捕收剂SDC浮选铌矿物的研究[J].矿山,1998,14(3): 21~24.

(收稿日期:2002年12月28日)

(作者简介) 张去非(1964—) 工学硕士  
山东理工大学资源与环境工程学院副教授