

doi:10.3969/j.issn.2097-0013.2024.03.004

国际铌钽供需资源形势分析及对国内铌钽矿业发展的启示

甘正勤¹, 杨潇¹, 石威¹, 王鼎¹, 李晓东¹, 苏虎虎¹, 李太升^{2*}

GAN Zheng-Qin¹, YANG Xiao¹, SHI Wei¹, WANG Ding¹, LI Xiao-Dong¹, SU Hu-Hu¹, LI Tai-Sheng^{2*}

1. 湖北省地质局冶金地质勘探大队, 湖北十堰 442000; 2. 湖北省地质局第八地质大队, 湖北襄阳 430040

1. Yejin Geological Team of Hubei Geological Bureau, Shiyan 442000, Hubei, China; 2. Eighth Geological Brigade of Hubei Geological Bureau, Xiangyang 441000, Hubei, China

摘要: 铌和钽是高科技产业中不可或缺的稀有金属, 但中国铌钽资源形势不容乐观。全球钽资源主要分布在澳大利亚和巴西, 而铌资源则主要集中在巴西。在铌钽资源出口方面, 刚果(金)、卢旺达和尼日利亚三国在钽资源供应中占据重要地位, 供应量占全球的三分之二; 而全球铌供应主要依赖巴西。在铌钽资源消费方面, 美国在航空航天领域的钽消费占全球钽消费的近40%, 中国因其庞大的粗钢产量成为全球铌消费的领跑者。在供需关系中, 中国对铌和钽的资源对外依存度分别约为99%和93%。铌钽作为中国未来高质量发展的重要工业原料, 用途多样、前景广阔。中国的科技发展对铌钽市场的稳定供应提出了更高要求, 需要多方面促进产业链发展。因此, 需加强地质勘查、制定科学的开发利用方案、推动产业链升级、加强二次资源回收技术攻关、构建战略储备体系等措施。这些措施将提高资源开发利用效率、稳定市场供应、促进产业升级, 实现铌钽产业的可持续发展。

关键词: 铌; 钽; 国际资源形势; 全球供需格局; 国内资源形势

中图分类号: F416.1; P966

文献标识码: A

文章编号: 2097-0013(2024)-03-0481-10

Gan Z Q, Yang X, Shi W, Wang D, Li X D, Su H H and Li T S. 2024. Analysis of the International Supply and Demand Situation of Niobium and Tantalum Resources and Its Implications for the Development of Domestic Niobium and Tantalum Mining. *South China Geology*, 40(3): 481-490.

Abstract: Niobium and tantalum are indispensable rare metals in the global high-tech industry, yet the resource situation for niobium and tantalum in China is not optimistic. Globally, tantalum resources are primarily distributed in Australia and Brazil, while niobium resources are mainly concentrated in Brazil. Regarding niobium and tantalum exports, the Democratic Republic of Congo, Rwanda, and Nigeria play crucial roles in tantalum supply, contributing about two-thirds of the global supply; meanwhile, the global supply of niobium relies heavily on Brazil. Regarding consumption, the United States consumes nearly 40% of the worldwide tantalum in the aerospace sector, whereas China, due to its large crude steel production, leads in global niobium consumption. In terms of supply-demand relationships, China's external dependency on niobium and tantalum resources is approximately 99% and 93%, respectively. As critical industrial raw

收稿日期: 2024-06-17; 修回日期: 2024-07-15

基金项目: 湖北省地质局矿产地质项目(KCDZ2024-16)

第一作者: 甘正勤(1995—), 男, 工程师, 博士, 主要从事沉积物物源分析、古特提斯洋演化、历史大地构造演化研究等工作, E-mail: Ganwdag@163.com

通讯作者: 李太升(1969—), 男, 高级工程师, 主要从事固体矿产勘查, 海外矿产勘查, E-mail: 362927549@qq.com

materials for China's future high-quality development, niobium and tantalum have diverse applications and broad prospects. The development of science and technology in China poses higher demands for the stable supply of the niobium-tantalum market, necessitating multifaceted promotion of the industrial chain development. Therefore, it is essential to strengthen geological exploration, formulate scientific development and utilization plans, promote industrial chain upgrades, enhance secondary resource recycling technology, and establish strategic reserve systems. These measures will improve resource development and utilization efficiency, stabilize market supply, promote industrial upgrading, and achieve sustainable development of the niobium and tantalum industry.

Key words: Niobium; Tantalum; international resource situation; global supply and demand pattern; domestic resource situation

铌和钽是元素周期表中第VB族的过渡元素,原子序数分别为41和73,二者化学和物理性质非常相似,被称为“地球化学双胞胎”(谭东波等, 2018; 宋颜等, 2023)。铌和钽单质均为灰白色,具有良好的延展性,密度分别为 8.58 g/cm^3 、 16.68 g/cm^3 ,熔点高达 $2468\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $2996\text{ }^\circ\text{C}$,在常温及高温环境下具有稳定性。二者均为良好的电导体,并具有抗腐蚀性。其中,钽具有更好的延展性、韧性、极高的抗腐蚀性,在常温下,对碱溶液、氯气、溴水、稀硫酸及许多其他药剂均不起作用,对盐酸、浓硝酸及王水均不发生反应,仅在氢氟酸和热浓硫酸作用下发生反应(张印和陈卫衡, 2011; 潘钢和易建春, 2012)。在大多数自然氧化还原条件下,铌和钽多表现为+5价态,在大多数地质流体中不溶解,仅被氧离子、氢氧根离子和氟离子等强配体络合。然而,这些元素在硅酸盐熔融物中以重量百分比级别可溶解,特别是碱性熔融物,并且在碳酸岩熔融物中溶解度更高(Linnen and Cuney, 2005)。

铌和钽因其高熔点和化学稳定性,在高温及抗腐蚀性环境中应用广泛,涉及超导材料、电子器件和化学设备制造等多个领域。铌主要用于合金添加剂、超导材料和电子工业等三大领域(张银, 2019)。合金添加剂是铌的主要消费领域,约占铌消费总量的92%。作为钢的添加剂,铌可显著提高钢铁的韧性、强度和抗腐蚀性能,降低脆性,改善焊接性能。含铌钢广泛用于建筑、汽车制造及大型水电站等。铌锡(Nb_3Sn)合金主要用于超导材料,应用于磁悬浮列车、核磁共振系统、航空航

天及核能领域。铌在电子工业中也有一定应用(约占5%)(张银, 2019; 欧强, 2020)。钽主要用于电子器件、耐腐蚀材料、医疗设备和超合金等领域。钽在电子行业中的消费量超过一半,主要用于制作钽粉末和线材(董延涛等, 2024)。钽金属在存储和释放能量这方面具有特殊的能力,是制造高性能电容器的关键材料,因此被广泛应用于通信、数据存储等领域。钽在化学工业中也具有重要价值,常用于制造化工反应器、热交换器、管道及其他化工设备的关键部件。此外,钽还用作增强超合金的强度,用于制造耐高温的航空和航天引擎部件。

稀有金属材料在现代材料科学中扮演着至关重要的角色,尤其是在国防、航空航天、核工业以及超硬材料等领域有着广泛应用的铌(Niobium)和钽(Tantalum)。2018年至2022年间,美国政府和地质调查局将铌和钽列入《关键矿产目录》和《对美国安全至关重要的50种关键矿物目录》(自然资源部, 2019; 中国地质调查局, 2022)。根据《全球矿业发展报告》(自然资源部中国地质调查局国际矿业研究中心, 2023),英国、加拿大、澳大利亚等国也将铌钽视为关键和战略性矿产。中国在《全国矿产资源规划(2016—2020年)》(中华人民共和国国家发展和改革委员会, 2017)中将铌钽定义为新兴战略性矿产,突显其战略重要性。根据“十四五”战略性矿产国内找矿行动实施方案(自然资源部办公厅, 2023),铌钽被归类为紧缺金属矿产。然而,中国对铌钽资源的外部依存度较高,因此加强对国内外铌钽资源形势的理解显得

尤为重要(左更, 2023a, 2023b)。本文通过分析国内外铌钽资源的禀赋情况、国际贸易形式、中国的资源消耗和供需关系、世界铌钽资源的价格及走势等, 揭示铌钽产业面临的挑战和发展趋势。在此基础上, 提出了相应对策建议, 旨在提高资源开发利用效率、稳定市场供应、促进产业升级, 为铌钽产业的可持续发展提供了重要参考和指导。

1 铌钽矿资源形式及特征

1.1 主要铌钽矿床及含铌钽的矿物矿种

铌和钽在自然界中常以共生、伴生矿物的形式存在, 它们不会以自由金属的形式产出, 而易与铀、钍、钽、稀土、钛、锆和钨等元素发生类质同像作用, 含铌钽的矿物达到 44 种, 难以分类(艾永亮和范光, 2015; 王西荣等, 2016; 邢晓琳, 2016; 曹飞等, 2019; 祝明明等, 2021), 其中最主要的是铌铁矿族矿物与烧绿石族矿物。

铌钽矿床根据成矿地质条件可分为内生矿床和外生矿床两大类。内生矿床与火成岩有关, 并可根据相关的火成岩进一步分类, 包括碳酸岩型(铌成矿为主)、含锂-铌-钽(LCT)伟晶岩型(钽成矿为主)、稀有金属花岗岩型和碱性岩型(铌成矿为主)矿床。外生矿床多为内生矿床经过风化和沉积等外生作用发生二次富集的风化壳型和残坡积、冲积砂矿型, 一般这种二次富集的铌钽矿床品位高, 在钽钽生产中占有重要地位, 目前开采的钽矿以次生矿床和风化矿床为主(李健康等, 2019; 姚春彦等, 2021)。

碳酸岩型矿床: 与碳酸岩岩浆活动密切相关, 以铌矿化为主, 钽含量较低。含铌钽矿物主要以烧绿石族矿物和钙钛矿为主。该类矿床以巴西的 Araxá 矿床、加拿大的 Saint-Honoré 矿床、南非的 Phalaborwa 矿床及俄罗斯的 Kovdor 矿床为典型。迄今为止, 世界上已开采或具有开采潜力的钽矿多数与碳酸岩有关(陈唯, 2015; 李健康等, 2019)。

伟晶岩型矿床: 与伟晶岩和花岗岩岩体相关联, 是钽矿的重要成矿类型, 矿化主要集中在伟晶岩的中间带和钠长石带内, 铌和钽常以铌铁矿族矿物

的形式存在, 该类矿床以澳大利亚的 Greenbushes 钽矿床为代表。

稀有金属花岗岩型矿床: 与花岗岩岩体关系密切, 铌钽储量大, 但品位相对较低。铌钽主要以铌铁矿族矿物存在, 以中国宜春 414 矿床为典型。

碱性岩型矿床: 与碱性岩的侵入有关, 矿化的过碱性花岗岩中通常含有富铌的烧绿石和钨铁矿, 该类矿床以巴西中部的 Araguaia 矿床为典型。

其他类型矿床: 风化型矿床形成于热带气候条件下, 铌钽矿物具有较强的抗风化能力, 而且密度较大, 易于形成滩矿和冲积矿, 多见于非洲大陆, 如刚果(金)、卢旺达等国。许多锡矿床也含有铌和钽, 特别是在东南亚地区, 锡矿炉渣的再提炼也是钽的另一重要来源。

1.2 全球铌钽资源分布特征及产量

铌在上地壳及地壳中的含量相对较低, 估计丰度分别为 12×10^{-6} 、 8×10^{-6} (Rudnick and Gao S, 2003)。全球铌钽资源分布高度集中, 据统计, 2023 年全球铌钽储量约为 16.96 Mt, 储量排名前五位的国家依次为巴西 (12.66 Mt, 74.6%)、加拿大 (2.13 Mt, 12.5%)、中国 (1.00 Mt, 5.9%)、俄罗斯 (0.69 Mt, 4.1%) 和美国 (0.30 Mt, 1.8%), 其中, 巴西和加拿大两国的铌钽储量占全球铌钽储量的 87.1% (图 1)。

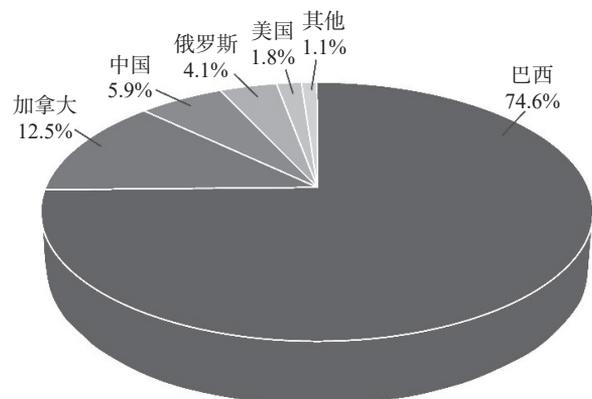


图 1 2023 年全球铌钽资源储量分布情况图

Fig. 1 Global distribution of niobium resources in 2023
数据来自 United States Geological Survey (2024)

巴西的铌钽资源储量在全球资源量中占据重要位置, 其铌钽资源主要赋存于其东南部的 Araxá 和 Catalão 的碳酸岩型矿床之中, 而北部的 Morro

dos Seis Lagos 矿是目前全世界已查明资源量最大的碳酸岩型铌矿床。Araxá矿床含有矿石资源量约 0.81 Gt, 铌氧化物(Nb_2O_5)资源量约 18.58 Mt, 铌氧化物平均品位 2.3wt.%; Catalão 矿床位于 Araxá北北西约 200 km 处, 铌氧化物资源量约为 58.00 Mt, 品位 1.1wt.%; 而 Morro dos Seis Lagos 矿床含有矿石资源量 2.9 Gt, 铌氧化物资源量 82.65 Mt, 品位约 2.85wt.% (Pell, 1996; Linnen et al., 2014; 邓攀等, 2019)。排名第二位的加拿大亦据有一席之地, 铌资源主要赋存于魁北克省的 Niobec 矿床之中, 其铌氧化物资源量 12.20 Mt, 平均品位为 0.66% (Pell, 1996)。从资源量看, 刚果(金)、马拉维、澳大利亚、蒙古、沙特阿拉伯、纳米比亚、芬兰等国家也不同程度分布有铌资源。刚果(金)的 Lueshe 碳酸岩型矿床是巴西以外的大型铌矿床之一, 铌矿石资源量达 0.12 Gt (Linnen et al., 2014)。

自 1994 年以来, 全球铌金属产量呈现了显著

增长的趋势, 从 15.2 kt (1994 年) 增长到 74.10 (2019 年), 再增长到 83.32 kt (2023 年), 增长了约 5 倍。全球铌矿生产高度集中, 主要产量集中在巴西和加拿大。其他一些国家如刚果(金)、俄罗斯和卢旺达也有一定的铌产量。巴西的铌产量近几年保持了稳定增长, 从 65 kt (2019 年) 增长至 75 kt (2023 年), 在全球占比中占据重要地位, 占比超过 90% (2023 年)。加拿大的铌产量在近几年中保持在 7 kt 左右, 2019 年为 7.60 kt, 2023 年为 7.0 kt, 约占 2023 年全球总产量的 8%。2023 年, 以刚果(金) 0.54 kt、俄罗斯 0.44 kt 和卢旺达 0.19 kt 为代表的其他铌资源生产国的产量相对较小, 但仍然对全球铌市场做出了一定的贡献(表 1)。

钽在上地壳及地壳中的含量同样较低, 估计丰度分别为 0.9×10^{-6} 、 0.7×10^{-6} , 常与铌共生形成共生矿 (Rudnick and Gao S, 2003)。据统计, 地壳中的钽金属资源量不足 300 kt (Wei X et al., 2023)。

表 1 2019—2023 年全球主要国家铌、钽金属产量

Table 1 Global production of niobium and tantalum metals by major countries, 2019—2023

国家	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年
铌(单位: kt)					
巴西	65.00	71.00	66.00	71.00	75.00
加拿大	7.60	6.20	7.40	6.50	7.00
刚果(金)				0.60	0.54
俄罗斯				0.45	0.44
卢旺达				0.21	0.19
其它国家	1.50	1.00	1.40	0.19	0.15
合计	74.10	78.20	74.80	78.95	83.32
钽(单位: t)					
刚果(金)	740	670	700	860	980
卢旺达	370	270	270	350	520
巴西	250	370	470	370	360
尼日利亚	210	160	260	110	110
中国	100	70	76	78	79
澳大利亚	20	30	62	57	43
布隆迪	32	30	32	39	36
俄罗斯	38	26	39	39	20
乌干达			40	38	
莫桑比克			43	34	
埃塞俄比亚	40	60	52	24	
其它国家	39	35	7	1	260
合计	1839	1721	2051	2000	2408

产量数据来自 United States Geological Survey (2020, 2021, 2022, 2023, 2024)

全球钽矿资源分布同样高度集中,截至2023年3月,全球钽储量151.1 kt,储量排名前五的国家依次为澳大利亚(81.5 kt, 53.9%)、巴西(56.9 kt, 37.6%)、津巴布韦(5.1 kt, 3.4%)、马拉维(4.8 kt, 3.2%)和加拿大(2.3 kt, 1.5%),其中,澳大利亚和巴西的钽储量合计达91.5%(图2)。

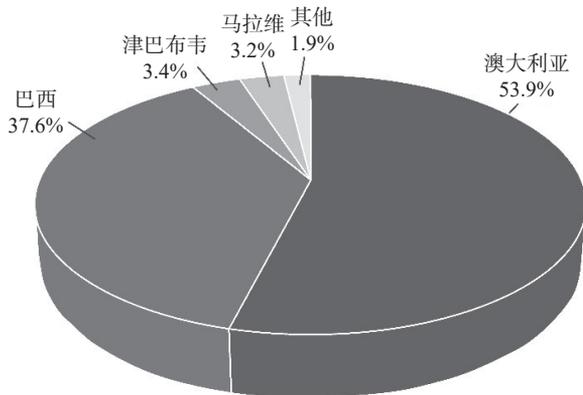


图2 2023年全球钽资源储量分布情况图

Fig. 2 Global distribution of tantalum resources in 2023

数据来自 United States Geological Survey (2024)

澳大利亚的钽资源主要赋存于西澳大利亚州 Greenbushes 和 Wodgina 矿区的花岗岩和伟晶岩型矿床之中,前者钽氧化物(Ta_2O_5)推断资源量达135.1 Mt,品位0.022wt.%;后者钽氧化物资源量63.5 kt,品位0.037wt.%.除此之外,纳米比亚、埃塞俄比亚、阿富汗、刚果(金)、埃及、芬兰、加蓬、加纳和格陵兰岛等国家或地区也不同程度分布有钽资源。

在2023年,全球钽金属的生产量约为2408 t,主要集中在刚果(金)、卢旺达、巴西和尼日利亚等国家,这四国的钽金属产量合计约为1970 t,占全球比例的82%。其中,非洲三国的产量合计占据了全球的67%。尽管澳大利亚拥有丰富的钽矿资源,但自2007年全球最大的钽矿供应商——澳大利亚的瓜利亚家族(Sons of Gwalia)有限公司破产后,钽矿的主产地逐渐转移到了刚果(金)和卢旺达等非洲国家(邓攀等,2019)。

1.3 中国铌钽资源分布特征

与世界上铌钽资源丰富的澳大利亚和巴西等国相比,中国的铌和钽矿资源存在着品位低、共生矿物复杂、选冶困难等诸多挑战,开发利用难度较高(左更,2023a,2023b)。中国的铌和钽资源主要

分布在江西、福建、内蒙古、新疆、广东、四川、湖北等省区。其中,江西、福建、四川、新疆和广东等省区以花岗岩型与伟晶岩型矿床为主,内蒙古的白云鄂博以碳酸岩型矿床和花岗伟晶岩型矿床为主,湖北是以碳酸岩型矿床和碱性岩型矿床为主(肖朝阳,2003;高海州,2009a,2009b;邱啸飞等,2017;李志丹等,2019)。

中国铌资源丰富,但铌氧化物的品位通常仅为 $83 \times 10^{-6} \sim 437 \times 10^{-6}$,与国外铌矿石相比明显偏低。据相关数据计算,中国铌资源储量(以铌氧化物计)约为9.27 Mt,分布在内蒙古、湖北、福建、新疆等省区,集中于内蒙古与湖北,其中内蒙古占72.1%,湖北占24%。中国最大的含铌矿床是内蒙古白云鄂博矿床,铌氧化物已探明储量6.60 Mt,占全国铌储量约70%(高海州,2009a,2009b;王汝成等,2020;田野和文俊,2022)。而其中具有内蕴经济价值的铌金属量仅为1.40 Mt左右,可采储量更为有限,仅为300 kt左右,占全球总量不足2%(陈甲斌等,2022;左更,2023a,2023b)。

相对于铌,中国的钽资源更加缺乏,具有经济开采价值的钽矿产资源不多,可采储量更是有限。中国钽资源主要分布在江西、内蒙古和广东这三个省区,储量分别占全国的25.8%、24.2%和22.6%,合计储量占全国的近73%(邓攀等,2019)。根据有关资料推算,目前中国查明的钽资源量(以钽氧化物含量计,含探明、控制、推断类型资源量)为50 kt左右,相应的钽金属资源量不足41 kt。江西省的宜春钽铌矿是中国极少数可供工业用途开发钽的矿床之一,该矿区查明的钽资源量仅为14 kt左右,但已占到全国钽矿资源总量的28%以上(左更,2023a,2023b)。

总体来说,中国的铌钽矿资源量和储量比较可观,但大多数属于贫矿,绝大部分资源的品位没有超过0.2%(邓攀等,2019)。中国的铌钽矿资源大多为共生矿,矿物粒度细、选冶难度大、回收率低,开采成本较高,产量无法满足国内铌钽产业下游冶炼、加工市场的巨大需求(黎洁等,2021)。我国近年来开展了大量的铌矿选冶试验,获得了一些新的选冶方法与认识,但是距离矿山开发利用仍有一段距离(刘爽等,2014;王鑫等,2020;张

琦等, 2020; 陈志东, 2021)。

2 铌钽资源的供需关系及价格分析

2.1 国际贸易形式

铌铁是国际铌矿资源贸易中的主要商品之一。在过去的 20 年里, 全球铌铁贸易量呈现明显的增长趋势。以进口量统计, 全球铌铁总进口量

从 36 kt (2000 年) 上升至 88 kt (2023 年)。目前, 巴西、加拿大、马来西亚、美国、荷兰是全球前五大铌铁出口国, 2023 年铌铁出口量在全球占比分别为 81%、9%、3%、2% 和 1%, 合计出口量占比 97%。中国、美国、日本、德国、印度是全球前五大铌铁进口国, 2023 年铌铁进口量在全球占比分别为 44%、12%、7%、7%、6%, 合计进口量占比 76% (表 2)。

表 2 2022—2023 年全球铌铁进出口情况一览表

Table 2 Overview of global niobium iron import and export situation, 2022—2023

排名	出口					排名	进口				
	2022年		2023年				2022年		2023年		
	出口国	出口量(kt)	出口国	出口量(kt)	占比		进口国	进口量(kt)	进口国	进口量(kt)	占比
1	巴西	82.44	巴西	86.28	81%	1	中国	33.39	中国	39.12	44%
2	加拿大	9.63	加拿大	9.53	9%	2	美国	10.07	美国	10.21	12%
3	新加坡	8.57	马来西亚	3.01	3%	3	新加坡	8.30	日本	5.98	7%
4	美国	1.84	美国	2.59	2%	4	韩国	6.87	德国	5.79	7%
5	荷兰	1.24	荷兰	1.35	1%	5	德国	6.03	印度	2.99	6%
6	中国	1.15	土耳其	0.67	1%	6	日本	6.00	马来西亚	2.46	3%
7	德国	0.64	中国	0.59	1%	7	印度	4.99	意大利	2.39	3%
8	斯洛伐克	0.46	法国	0.49	0%	8	意大利	2.50	比利时	2.25	3%
	其它	1.76	其它	1.76	2%		其它	20.10	其它	14.73	17%
合计		107.73		106.28	100%			98.25		88.07	100%

数据来自 United States Geological Survey (2024)

中国是全球铌铁第一进口大国, 铌铁进口量从 1.24 kt (2000 年) 增长至 39.12 kt (2023 年), 进口的铌主要用于粗钢的加工, 中国粗钢产量占全球一半以上, 因此成为全球最大的铌消费国。

近 20 年来, 全球铌制品及其废碎料贸易整体呈下降趋势, 进口量从 5.62 kt (2000 年) 下降至 2.20 kt (2023 年)。目前, 中国、美国、日本、哈萨克斯坦和英国是全球前五大铌制品及其废碎料出口国, 分别占全球出口总量的 30%、26%、12%、9% 和 5%, 合计出口量占比 77%。而美国、中国、德国、英国和日本是全球前五大铌制品及其废碎料进口国, 全球进口量占比分别为 44%、12%、7%、7% 和 6%, 合计占比 76%。中国和美国既是全球铌制品及其废碎料的重要出口国, 又是主要的进口国 (表 3)。

铌在高端电容领域有大量应用, 而美国在航空航天领域处于全球领先地位, 这导致全球铌的

消费主要集中在美国。2007 年至 2022 年, 美国每年平均进口的铌矿及铌产品折合铌金属量约为 1.35 kt, 2023 年有所下降, 进口量仅为 0.977 kt, 但仍处于高位。尽管美国进口的铌金属量占全球铌产量的 2/3 以上, 但同期美国国内的平均年表观消费量仅约为 750 t, 约占全球铌产量的 38% (邢佳韵等, 2023)。

2.2 中国的铌钽资源消耗及供需关系分析

中国的铌和钽资源消耗量近年来呈现逐步增长的趋势。前已述及, 铌在钢铁工业中的应用对于增加钢材的韧性和强度至关重要。随着中国钢铁工业的迅猛发展和经济转型对优质钢材需求的增加, 中国对铌的需求量逐年增加。根据数据预测, 从 2018 年至 2025 年, 中国的铌资源消费量将从 20.2 kt 增长至 29.7 kt, 年平均增速为 6.72%, 高于全球平均水平, 反映了中国在该领域内需求的快速扩张 (欧强, 2020)。然而, 中国的铌资源开发

表3 2022—2023年全球钽制品及其废碎料进出口情况一览表

Table 3 Overview of global tantalum products and scrap import and export situation, 2022—2023

排名	2022年			2023年			排名	2022年			2023年		
	出口国	出口量(t)	占比	出口国	出口量(t)	占比		进口国	进口量(t)	占比	进口国	进口量(t)	占比
1	美国	813		中国	504	30%	1	美国	1495	美国	977	44%	
2	西班牙	679		美国	428	26%	2	中国	379	中国	256	12%	
3	中国	639		日本	203	12%	3	德国	281	德国	162	7%	
4	泰国	268		哈萨克斯坦	149	9%	4	萨尔瓦多	269	英国	150	7%	
5	日本	245		英国	79	5%	5	英国	179	日本	123	6%	
6	印度尼西亚	182		瑞士	68	4%	6	日本	125	哈萨克斯坦	99	5%	
7	哈萨克斯坦	171		加拿大	45	3%	7	哈萨克斯坦	123	加拿大	93	4%	
8	韩国	154		西班牙	21	1%	8	捷克	100	捷克	47	2%	
	其它	892		其它	164	10%		其它	902	其它	293	13%	
合计		4043			1659	100%			3853		2199	100%	

数据来源于United States Geological Survey (2024)

相对较少, 铌生产主要依赖于进口。根据中国海关总署的统计数据, 2022年, 中国进口钽及相关金属折合钽金属量 42.31 kt, 净进口量为 40.79 kt, 主要来自巴西和加拿大(左更, 2023a, 2023b)。2015年至2022年, 中国钽的对外依存度始终高于99%。尽管中国拥有自己的钽资源, 但在短期内难以改变对进口的高度依赖。张银(2019)对2030年之前的中国钽资源需求进行预测, 预测显示, 在2020~2030年间, 中国钽资源需求量将保持稳定快速增长, 未来钢铁行业仍然是中国钽资源消费的主要产业, 到2025年, 将达到22~30 kt; 到2030年, 预计将达到27~39 kt左右。这对国内钽钽行业的发展提出了更高的要求。

近年来, 随着中国航空航天技术的进步, 国内对钽的消费量逐年增加。然而, 2022年中国钽矿产量仅约为75 t, 仅占全球总量的3.6%。钽相关产品及原料进口量为8.65 kt, 出口量为805.9 t, 经计算折合钽金属量净进口量约为152 t。2015至2022年, 中国年均净进口各种钽资源折合钽金属量约233 t, 年均表观消费量为308 t, 净进口量约占全球总产量的13%, 年均表观消费量约占全球产量的17%。从对外依存度的角度看, 如果按净进出口口径计算, 2022年中国钽的对外依存度超过80%, 但如果仅考虑资源的进口, 2022年中国钽资源的对外依存度则接近93%(左更, 2023a, 2023b)。

中国的钽产业已基本形成了比较完整的工业体系和产品体系, 在钽产业链的中游具有一定优

势, 湿法产品和火法产品的生产占据了全球市场的绝大部分份额。然而, 钽电容、钽靶、医疗器械等高附加值产品则主要由发达国家生产。王修等(2022)通过回归分析预测方程对中国钽资源的需求量开展了预测, 结果显示: 至2025年, 基准情景、低增长情景和高增长情景预测需求量分别为869 t、938 t和1085 t; 2035年分别为823 t、1024 t和1529 t。由此可见, 未来中国钽资源需求依旧保持强劲。

2.3 世界钽钽资源的价格及走势

全球钽和钽资源的价格和市场走势受到多种因素的影响, 包括市场需求、地缘政治因素以及行业集中度等, 整体呈现出显著的波动性(曹飞等, 2019; 董延涛等, 2024)。

2.3.1 寡头垄断

全球钽和钽资源市场由少数几家主要企业主导, 呈现出寡头垄断的局面。全球钽矿行业呈现出较高的集中度, 主要由巴西矿冶公司(Companhia Brasileira de Metalurgiae Mineracao, 简称CBMM)、中国洛阳栾川钼业集团股份有限公司和加拿大马格瑞斯资源公司(Magris Resources)等少数几家企业控制, 这三家主要企业市场占有率合计约为95%, 其中CBMM占据了绝大部分份额, 达到了75%左右(曹飞等, 2019; 欧强, 2020)。钽行业与之相似, 全球钽生产加工企业主要有美国的卡博特公司(Cabot)、德国的世泰科公司(H. C. Starck), 以及中国的宁夏东方钽业股份有限公

司等。据不完全统计,这些企业生产的钽材料中,电容级钽粉的市场份额超过了80%。中国的宁夏东方钽业股份有限公司是中国钽行业的龙头企业,其金属钽产量占国内市场份额约为60%。这些企业对钽钼市场供应和价格制定有重要的影响。

2.3.2 钽钼价格及市场结构

钽价格受到供需情况和市场结构的双重影响。由于钽没有在金属交易所挂牌交易,也没有期货价格,因此钽的价格由生产商和买家之间的直接协商确定(曹飞等, 2019)。这通常通过长期合同进行,一般每年、每两年或每个季度调整一次价格(欧强, 2020)。钽铁市场由少数几个主要生产商控制,形成了寡头市场结构,价格主要由这些市场领导者决定,大多数钽铁是通过长期合同销售的,而现货销售只占很小的比例,大约仅5%。近年来,钽氧化物(Nb_2O_5)的价格大约在56~65美元/kg之间,具体价格取决于其纯度水平,而其价格波动主要受钢铁行业的需求量直接影响。

钽精矿的交易通常通过经销商网络进行,也可以通过生产者和消费者之间签订的合同购买和销售,通常通过长期合同交易,或在矿工、交易商和生产商之间保密交易进行(Wei X et al., 2023)。在这种交易中,价格由买卖双方直接进行谈判决定,因此钽的价格波动性较强。目前,钽氧化物(Ta_2O_5)的价格大约在244~327美元/kg之间,而高纯度钽锭的价格则可能达到3500美元/kg。

2.3.3 需求量大规模增加

随着全球人口增长和对汽车、手机、电脑等高科技产品需求的增加,未来钽和钼的消费将持续增加。从新能源产业角度来看,随着新能源企业等行业的跨越式发展,钽资源在正极材料、负极材料和电解液等锂电池产业链中得到广泛应用。而5G、云计算和高速计算产业的发展将推动钽电容的需求不断增长(左更, 2023a, 2023b; 董延涛等, 2024)。

2.3.4 开采量稳定增加

而从开采量上看,全球的钽钼资源开采量稳定上升。2022年,巴西矿冶公司开始了新一轮扩产,计划投资70亿美元扩大产能,预计5年后,钽

矿产能将从150 kt/a增加至210 kt/a。而澳大利亚等主要锂矿生产国开始积极回收锂矿中的钽资源,随着澳大利亚锂矿开采的大规模增长,从中国回收的钽资源逐渐成为一个重要的供应途径。2022年,澳大利亚开采的钽金属量约为57 t,占全球总产量的2.85%。非洲的刚果(金)、卢旺达、尼日利亚等国家主要以手工开采残积风化型钽矿为主。全球近年来基本没有发现新的大型高品位钽矿资源,钽铁生产能力总体过剩。未来可能会有个别新钽矿企业投入生产,但其市场份额较小,不太可能对钽市场格局产生较大影响(王修等, 2022; 董延涛等, 2024)。

综上所述,随着新能源新技术的发展,未来一段时间内,钽钼资源需求量将大幅增加,而钽钼资源的产量仅能保持稳步增长,总体上将处于并将长期处于供不应求的阶段,因此钽钼资源价格将处于上升态势。

3 中国钽钼矿业存在的主要问题及对策建议

3.1 主要问题

(1)国内资源禀赋条件差。中国钽钼矿资源量和储量都比较大,但大多数属于贫矿,绝大部分资源的品位没有超过0.2%(邓攀等, 2019)。中国的钽矿资源多为伴生矿,矿物粒度细、选冶难度大、回收率低,开采成本较高,产量无法满足国内钽钼产业下游冶炼、加工市场的巨大需求。江西宜春钽钼矿是中国目前唯一的在产钽钼矿山(董延涛等, 2024)。

(2)高度依赖国际市场。中国钽矿开采量小,但需求量大,严重依赖进口,是全球最大进口国,近年来中国钽的对外依存度始终高于99%。而中国钽钼资源的对外依存度则高达93%(左更, 2023a, 2023b)。

(3)产业发展水平不高。中国钽钼产业从20世纪50年代开始起步发展,目前基本形成了比较完整的钽钼工业体系和产品体系,成为世界钽钼材料生产和消费大国。在全球钽钼产业分工格局中,中国企业的优势集中在产业链的中游,湿

法产品占全球市场的70%以上,火法产品占全球市场的一半以上,中游钽粉、钽丝等产品的生产企业主要以美国GAM、日本JX日矿和中国东方钽业为主。铌钽产业下游的钽电容、钽靶、医疗器械等高附加值产品主要由美国、德国、日本等发达国家垄断。多年来中国在钽矿、钽电容等相对高端的产品方面处于净进口状态,而在钽粉或未锻轧钽等相对低端的产品方面则保持着大量出口(董延涛等,2024)。

3.2 对策建议

(1)加强地质勘查投入,寻找高品质资源,提高铌钽资源储备:通过新一轮找矿突破战略行动,增加对国内铌钽资源的地质勘查投入,评价资源潜力,努力寻找高品质的铌钽矿资源,夯实资源基础,增强资源安全自我保障能力(田野和文俊,2022)。

(2)加强选冶技术攻关,科学制定开发利用方案,提高资源利用效率:针对铌钽矿品位低、成分复杂的特点,开展针对性的资源开发利用研究,制定科学的开发利用方案,优化开采矿山的选冶联合工艺,力争在选冶分离技术上获得跨越式突破,实现铌钽资源的高效回收利用,提高开发利用的质量和效率(刘爽等,2014;王鑫等,2020;张琦等,2020;陈志东,2021)。

(3)推动产业链升级,提高产品附加值:集中攻关关键技术装备,推动铌钽产业链由初级简单加工向高端制造迈进,提高产品的附加值和科技含量,实现产业的升级(左更,2023a,2023b)。

(4)加强二次资源回收利用技术攻关:对铌钽二次资源,如废料和报废的元器件,加强政策供给,支持技术攻关,促进企业开展二次资源回收利用,推动产业化发展(曾现来等,2024)。

(5)构建战略储备体系,稳定市场供应:加快建设产能、产品、产地“三位一体”的战略储备体系,建立实力雄厚的铌钽原材料“蓄水池”,稳定市场供应,增强国内对国际资源博弈的应对能力。

参考文献:

艾永亮,范光.2015.世界主要烧绿石资源及选矿技术特点[J].中国矿业,24(4):130-133+143.

曹飞,杨卉,张亮,王威.2019.全球铌钽矿产资源开发利用现状及趋势[J].矿产保护与利用,39(5):56-67+89.

陈甲斌,霍文敏,冯丹丹,苏轶娜,胡德文.2022.我国矿产品供给形势分析——基于2021年基本态势[J].中国国土资源经济,35(5):42-48.

陈唯.2015.碳酸岩铌矿床成矿作用[J].矿物学报,35(S1):276.

陈志东.2021.铌钽矿冶炼废渣的资源化利用[J].有色金属(冶炼部分),(11):122-127.

邓攀,陈玉明,叶锦华,张伟波.2019.全球铌钽资源分布概况及产业发展形势分析[J].中国矿业,28(4):63-68.

董延涛,李天骄,陈秀法.2024.全球铌钽资源开发利用格局及对策建议[J/OL].自然资源情报. <https://link.cnki.net/urlid/10.1798.N.20240513.1644.002>.

高海州.2009a.白云鄂博矿区稀土稀有矿产资源综合评述(一)[J].包钢科技,35(5):1-6.

高海州.2009b.白云鄂博矿区稀土稀有矿产资源综合评述(二)[J].包钢科技,35(6):1-5.

李健康,李鹏,王登红,李兴杰.2019.中国铌钽矿成矿规律[J].科学通报,64(15):1545-1566.

黎洁,谢贤,吕晋芳,康博文,李博琦,朱辉.2021.铌钽资源概述及选矿技术研究进展[J].金属矿山,(2):120-126.

李志丹,李效广,崔玉荣,李国占,张佳,郭虎,刘文刚,张超,俞初安,谢瑜,王佳营.2019.内蒙古赵井沟铌钽矿床燕山期成矿:来自LA-MC-ICP-MS独居石、锆石U-Pb和黑云母⁴⁰Ar-³⁹Ar年龄的证据[J].地球科学,44(1):234-247.

刘爽,林璠,鲁力,黄鹏,康健,李建.2014.湖北省某矿区含铌矿石选矿试验研究[J].矿产综合利用,(6):35-38.

欧强.2020.中国铌资源需求趋势分析及供应风险研究[D].中国地质大学(北京)硕士学位论文.

潘钢,易建春.2012.恒温电热板湿法消解-ICP-AES对地质样品中铌和钽的连续测定[J].光谱实验室,29(3):1597-1600.

邱啸飞,蔡应雄,江拓,卢山松,彭练红,赵小明,彭三国,朱江.2017.庙坪铌-稀土矿床的热液蚀变作用:来自碳酸岩碳-氧同位素的制约[J].华南地质与矿产,33(3):275-281.

宋颜,董少春,胡欢,王汝成.2023.基于大数据的铌钽矿物全球时空分布特征分析[J].地学前缘,30(5):197-204.

田野,文俊.2022.我国铌钽矿资源特征、勘查开发现状及展望[J].四川地质学报,42(S2):18-22.

谭东波,李东永,肖益林.2018.“孪生元素”铌-钽的地球化学

- 特性和研究进展[J]. 地球科学,43(1):317-332.
- 王汝成,车旭东,郭斌,谢磊.2020.中国铌钽锆铅资源[J]. 科学通报,65(33):3763-3777.
- 王西荣,李绍侠,王哲,余建军,秦月琴,吴海东.2016.莫桑比克穆塔拉地区铌钽矿地质特征及找矿方向的探讨[J]. 资源环境与工程,30(1):55-59+65.
- 王修,李天骄,王安建,刘冲昊,范凤岩.2022.基于主要工业产品产量的我国钽资源需求预测[J]. 矿业研究与开发,42(6):191-196.
- 王鑫,何东升,刘爽,林璠,翟月月.2020.铌钽矿选矿研究进展[J]. 现代矿业,36(4):98-101.
- 肖朝阳.2003.平江湖珩伟晶岩型铌钽矿床地质特征及成因[J]. 华南地质与矿产,(2):63-67.
- 邢佳韵,陈其慎,龙涛,任鑫,崔博京,王良晨.2023.发达国家战略性矿产安全保障举措及启示[J]. 自然资源情报,(1):28-36.
- 邢晓琳.2016.烧绿石超族矿物化学成分变化研究——以烧绿石族、细晶石族矿物为例[D]. 中国地质大学(北京)硕士学位论文.
- 姚春彦,王天刚,倪培,姚仲友,郭维民,朱意萍,王威.2021.铌钽矿床类型、特征与研究进展[J]. 中国地质,48(6):1748-1758.
- 曾现来,Moisés Gómez,Mahmoud Bakry,耿涌,李金惠.2024.“城市矿产”资源产生及其供给潜力:以金属铌为例[J]. 中国科学:地球科学,54(8):2625-2632.
- 张琦,李智力,刘爽,李健,黄鹏,何东升.2020.某低品位铌钽矿磁选试验研究[J]. 有色矿冶,36(6):22-26+40.
- 张银.2019.中国铌资源需求预测及供应安全战略研究[D]. 中国地质大学(北京)硕士学位论文.
- 张印,陈卫衡.2011.多孔钽棒置入治疗股骨头坏死的应用现状及展望[J]. 中国矫形外科杂志,19(16):1346-1348.
- 中国地质调查局.2022.美国政府公布新版50种关键矿产目录[EB/OL].http://www.zhzx.cgs.gov.cn/xxfw02/dxkp/202204/t20220415_697353.html.
- 中华人民共和国国家发展和改革委员会.2017.全国矿产资源规划(2016—2020年)[EB/OL]. https://www.ndrc.gov.cn/fggz/fzzlgh/gjjzxgh/201705/t20170511_1196755.html.
- 祝明明,邹建林,王闯,冯超,付宏林,赵鹏,陈阳,徐海军.2021.幕阜山地区断峰山铌钽矿的矿物学、年代学和赋存状态[J]. 地质科技通报,40(6):55-69.
- 自然资源部.2019.从战略高度谋划对策保障供应——世界主要国家对关键矿产的管理策略[EB/OL]. https://www.cgs.gov.cn/ddztt/jqthd/ddy/jyxc/201904/t20190401_478092.html.
- 自然资源部办公厅.2023.新一轮找矿突破战略行动“十四五”总体任务书[A].
- 自然资源部中国地质调查局国际矿业研究中心.2023.全球矿业发展报告[M]. 北京:地质出版社.
- 左更.2023a.我国稀缺性战略金属资源保供稳供问题的思考——以钽、铌、铬、钴为例[J]. 中国国土资源经济,36(9):4-13+23.
- 左更.2023b.中国钽铌市场发展现状及未来展望[J]. 冶金经济与管理,(5):4-7.
- Linnen R L, Cuney M. 2005. Granite-related rare-element deposits and experimental onstraints on Ta-Nb-W-Sn-Zr-Hf mineralization. In book: Linnen R L, Samson I M. 2005. Rare element geochemistry and mineral deposits[M]. Geological Association of Canada Short Course Notes.
- Linnen R, Trueman D L, Burt R. 2014. Chapter: 15, Tantalum and niobium. //Gunn G. 2014. Critical Metals Handbook[M]. England: British Geological Survey.
- Pell J. 1996. Chapter: 13, Mineral deposits associated with carbonatites and related alkaline igneous rocks. //Mitchell R H. 1996. Undersaturated alkaline rocks: mineralogy, petrogenesis and economic potential[M]. Canada: Mineralogical Association of Canada.
- Rudnick R, Gao S. 2003. Chapter: 4, Composition of the continental crust. //Holland H D, Turekian K K. 2003. Treatise on Geochemistry (Second Edition)[M]. Netherlands: Elsevier.
- United States Geological Survey. 2020. Mineral commodity summaries 2020[R].
- United States Geological Survey. 2021. Mineral commodity summaries 2021[R].
- United States Geological Survey. 2022. Mineral commodity summaries 2022[R].
- United States Geological Survey. 2023. Mineral commodity summaries 2023[R].
- United States Geological Survey. 2024. Mineral commodity summaries 2024[R].
- Wei X, Xia L G, Liu Z H, Zhang L R, Li Q H. 2023. A review of tantalum resources and its production[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 33(10): 3132-3156.