

文章编号: 1004-4051(2025)02-0438-11

DOI: 10.12075/j.issn.1004-4051.20242269

## 全球铯矿资源特点和开发利用研究

温鹏飞<sup>1,2,3</sup>, 朱清<sup>1,2</sup>, 邹谢华<sup>1,2</sup>, 王高尚<sup>1,3</sup>, 任军平<sup>1,4</sup>,  
张津伟<sup>5</sup>, 邢凯<sup>1,2,6</sup>

(1. 中国地质调查局国际矿业研究中心, 北京 100083; 2. 中国矿业报社, 北京 100083;  
3. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 4. 中国地质调查局天津地质调查中心,  
天津 300170; 5. 中矿资源集团股份有限公司, 北京 100086; 6. 中国地质大学(北京)  
地球科学与资源学院, 北京 100083)

**摘要:** 铯是国家科技、军事、工业等领域不可缺少的重要原材料之一, 在战略性新兴产业发展中发挥重要作用, 被美国、日本、加拿大等国列入关键矿产清单, 日益受到全球各国重视。随着全球战略性新兴产业的蓬勃发展, 铯资源的应用领域进一步拓展, 供应和需求将快速增长, 铯供应链竞争将日益加剧。为全面了解全球铯资源特点, 剖析铯资源开发利用态势, 为铯资源开发可持续发展提供基础性认识, 本文系统梳理了全球铯资源的分布概况及特征、典型铯矿床及地质特征、主要选冶技术、用途、供需形势和生产消费等情况, 分析了国内铯矿资源开发利用面临的突出问题, 并就保障中国铯资源供应安全提出建议。总体来看, 全球铯资源具有储量少、分布不均衡、产能高度集中和供需分离等特点, 伟晶岩型铯矿主要分布在澳大利亚、加拿大、纳米比亚和中国等国。中国铯矿资源相对稀缺, 具有矿床类型多、分布广、多为伴生矿床等特点, 开发利用难度较大。目前全球可规模化开采的铯榴石资源主要集中在加拿大坦科矿区、津巴布韦比基塔矿区及澳大利亚辛克莱矿区, 供应高度集中。全球铯生产商基本以销定产, 供需基本持平, 近年来产量呈现井喷式增长。发达国家是全球铯的主要消费国, 主要应用于高科技领域, 中国在铯的高端应用领域与发达国家仍有差距。中国铯资源几乎全部进口于加拿大和津巴布韦等国, 下游应用规模较小制约了上游矿产资源规模化开发, 国际地缘形势日趋复杂背景下, 面临较大供应风险。建议加强国内铯资源勘查开发, 扩大资源储量, 适度储备优质铯资源, 加强低品位铯矿开发利用研究, 支持企业参与国际矿业合作, 保障战略性新兴产业可持续发展。

**关键词:** 铯资源; 铯榴石; 关键矿产; 供需格局; 产业链

**中图分类号:** TD-9; F416.1 **文献标识码:** A

### Research on the characteristics and development utilization of global cesium mineral resources

WEN Pengfei<sup>1,2,3</sup>, ZHU Qing<sup>1,2</sup>, ZOU Xiehua<sup>1,2</sup>, WANG Gaoshang<sup>1,3</sup>, REN Junping<sup>1,4</sup>,  
ZHANG Jinwei<sup>5</sup>, XING Kai<sup>1,2,6</sup>

(1. International Mining Research Center, China Geological Survey, Beijing 100083, China; 2. China Mining News, Beijing 100083, China; 3. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037,

收稿日期: 2024-11-11 责任编辑: 聂虹

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“战略性矿产资源市场调查评价”资助(编号: DD20230567); 中国地质调查局地质调查项目“战略性矿产资源市场跟踪与矿业大数据分析”资助(编号: DD20211403); 中国地质调查局地质调查项目“全球矿业大数据挖掘集成与智能决策服务平台建设”资助(编号: DD20201118)

第一作者简介: 温鹏飞(1998—), 男, 汉族, 河南南阳人, 博士研究生在读, 助理研究员, 主要从事资源产业经济等方面的研究, E-mail: wenpengfei@mail.cgs.gov.cn。

通讯作者简介: 朱清(1983—), 男, 汉族, 湖北松滋人, 博士, 研究员, 主要从事资源产业经济等方面的研究, E-mail: zhuq@mail.cgs.gov.cn。

引用格式: 温鹏飞, 朱清, 邹谢华, 等. 全球铯矿资源特点和开发利用研究[J]. 中国矿业, 2025, 34(2): 438-448.

WEN Pengfei, ZHU Qing, ZOU Xiehua, et al. Research on the characteristics and development utilization of global cesium mineral resources[J]. China Mining Magazine, 2025, 34(2): 438-448.

China; 4. Tianjin Centre, China Geological Survey, Tianjin 300170, China; 5. Sinomine Resource Group Co., Ltd., Beijing 100086, China; 6. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences(Beijing), Beijing 100083, China)

**Abstract:** Cesium is one of the indispensable and important raw materials in the fields of national science and technology, military and industry, and plays an important role in the development of strategic emerging industries. It has been included in the list of key minerals by the United States, Japan, Canada and other countries, and is increasingly being emphasized by countries around the world. With the booming development of global strategic emerging industries, the application fields of cesium resources will be further expanded, the supply and demand will grow rapidly, and the competition in the cesium supply chain will intensify. In order to comprehensively understand the characteristics of global cesium resources, analyze the development and utilization situation of cesium resources, and provide a basic understanding of the sustainable development of cesium resources, this paper systematically combs through the distribution of global cesium resources, typical cesium deposits and their geological characteristics, main metallurgical technology, uses, supply and demand situation and production and consumption, analyzes the outstanding problems faced by the domestic cesium resources development and utilization and makes suggestions on guaranteeing the supply security of China's cesium resources. It also puts forward suggestions for securing the supply of cesium resources in China. In general, global cesium resources are characterized by small reserves, uneven distribution, highly concentrated production capacity, and separation of supply and demand, etc. Pegmatitic cesium mines are mainly distributed in Australia, Canada, Namibia and China. China's cesium ore resources are relatively scarce, characterized by many types of deposits, wide distribution, mostly associated deposits, etc., which makes it difficult to develop and utilize. At present, global pollucite resources that can be mined on a large scale are mainly concentrated in the Tanco Mine in Canada, the Bikita Mine in Zimbabwe and the Sinclair Mine in Australia, with a highly concentrated supply. Global cesium producers basically set production based on sales, supply and demand are basically flat, and production has shown explosive growth in recent years. Developed countries are the main consumers of cesium in the world, mainly used in high-tech fields, and there is still a gap between China and developed countries in the high-end application of cesium. Almost all of China's cesium resources are imported from Canada and Zimbabwe, and the small scale of downstream applications restricts the large-scale development of upstream mineral resources, and the international geopolitical situation is becoming more and more complicated, facing greater supply risks. It is recommended to strengthen the exploration and development of domestic cesium resources, expand the resource reserves, moderately reserve high-quality cesium resources, strengthen the research on the development and utilization of low-grade cesium mines, and support the enterprises to participate in the international mining cooperation, so as to guarantee the sustainable development of China's strategic emerging industries.

**Keywords:** cesium resource; pollucite; key mineral; supply and demand structure; industrial chain

## 0 引 言

铯(Cs)是一种非常柔软、延展性强的银金色金属,其莫氏硬度在所有的元素中最低(0.2),在地壳中的含量较低( $3 \times 10^{-6}$ ),属于稀有轻金属<sup>[1]</sup>。铯的光电性能优异、化学活性强,是红外技术的必须材料,是国家科技、军事、工业等领域不可缺少的重要原材料之一,也是我国八大稀有金属矿产之一,近十年来在电子器件、催化剂、特种玻璃、生物化学及医药等传统应用领域有较大的发展;在量子通信、原子钟、磁流体发电、热离子转化发电、离子推进发动机、激光能转换电能装置等高科技新兴领域的应用正快速

发展<sup>[2]</sup>。随着战略性新兴产业的蓬勃发展,铯日益受到全球各国的重视,已被美国列为关键矿种、日本列为战略性矿产、加拿大列为关键矿产。铯在国防军工、航空航天、油气等核心领域具有不可替代性,与我国提出的深空、深海、深地、深蓝“四深”战略具有高度的契合性,决定其在未来相关领域具有相当重要的战略地位<sup>[3]</sup>。2020年9月,国家发展和改革委员会等四部门联合印发了《关于扩大战略性新兴产业投资,培育壮大新增长点增长极的指导意见》,在加快新材料产业强弱项中提出了实施新材料创新发展行动计划、提升锂、铷、铯等特色资源在开采、冶

炼、深加工等环节的技术水平的要求,为推进铯铷开发利用产业化发展提供有力政策支持<sup>[4]</sup>。

对全球铯矿资源分布和资源保障已有一些研究。王云生等<sup>[2]</sup>对中国的铯资源提取技术与开发利用进行研究,认为国内铯铷固体矿资源与国外相比矿石品位偏低,无法单独经济开采,建议加强国内铯矿资源综合提取和技术攻关,拓宽铯产品应用领域。张晓伟等<sup>[5]</sup>通过对铯矿的综合利用技术进行分析,认为中国铯应用领域主要集中在传统工业领域中的催化剂、化学试剂等产业,高端应用领域与美国和日本等发达国家差距仍然较大。高芯蕊等<sup>[6]</sup>尝试使用部门需求预测法和投入产出法,对中国铯和铷的需求做出研判,认为国内铯和铷消费进入快速增长期,届时我国铯的市场规模也将有较大膨胀。还有学者从中国铯矿资源的分布、产业发展等角度进行了分析<sup>[7-8]</sup>。本文通过对全球铯矿资源的储量分布、生产消费现状、供需形势等进行梳理,分析研判中国铯资源的市场情况和资源形势,以期为保障中国铯资源产业可持续发展提供参考。

## 1 全球资源分布特征

### 1.1 全球铯资源赋存形式及分布特征

铯属于碱金属元素,一般作为伴生矿产产出,在自然界无单质状态,主要以盐形式极少地分布于陆地和海洋中,常与锂、铷、铈、钽及稀土等共生或伴生,在自然界中相对稀少。铯一般在花岗质熔体演化至晚期时高度富集,结晶过程经历了从岩浆阶段向岩浆-热液过渡阶段的演化,最后形成铯榴石、铯锰星叶石、铯硼锂矿等富铯矿物<sup>[7]</sup>。其中,铯榴石作为自然界中铯含量最高的矿物,氧化铯含量在 5%~32%,是提取铯的主要原料。铯榴石主要产于富锂的交代型花岗伟晶岩中,常与锂云母、叶钠长石、透锂长石、锂辉石及石英共生<sup>[5,9]</sup>。全球富含铯榴石的伟晶岩带主要分布在加拿大地盾温尼伯-尼皮贡湖成矿区、津巴布韦克拉通、纳米比亚卡里比布成矿带、西澳大利亚皮尔巴拉成矿带等<sup>[10]</sup>,智利和中国分布有含铯的卤水,德国、印度和中国分布有含铯的热泉<sup>[11]</sup>。

全球伟晶岩型铯矿主要分布在加拿大、津巴布韦和纳米比亚等国,资源集中度高。根据《世界矿产品概要 2020》数据,2020 年全球伟晶岩型铯矿储量( $\text{Cs}_2\text{O}$ )约 22 万 t,主要分布在加拿大(12 万 t,占比 55%)、津巴布韦(6 万 t,占比 28%)、纳米比亚(3 万 t,占比 14%)和澳大利亚(0.71 万 t,占比 3%)(图 1)<sup>[12]</sup>。根据美国地质调查局(USGS)2024 年数据,全球铯矿资源储量不足 20 万 t,主要集中在澳大利亚、加拿大、纳米比亚和中国,但尚无可靠的数据确定特定国

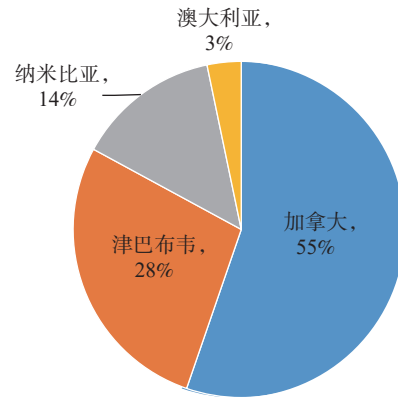


图 1 2020 年全球伟晶岩型铯矿资源储量

Fig. 1 Global pegmatitic cesium resource reserves in 2020

(资料来源:美国地质调查局(USGS))

家的最新铯储量<sup>[13]</sup>。

### 1.2 中国铯矿资源分布特征

中国铯矿资源相对稀缺,具有矿床类型多、分布广、多为伴生矿床、经济可行性较低等特点。中国的铯矿可划分为五种类型,即碱性花岗伟晶岩中的铯榴石矿床、风化沉积型铯铷矿、碱性花岗岩型铷钽矿床中伴生铯矿、含铯锂卤水和含铯硅质岩<sup>[9]</sup>,其中,碱性花岗伟晶岩或碱性伟晶岩型铯矿床主要分布在新疆阿尔泰地区、四川康定、金川和石渠;碱性花岗岩型铷钽伴生铯矿主要分布在湖南郴州和衡阳、江西宜春、江苏苏州<sup>[14]</sup>;碱性岩石风化沉积型铷钽伴生铯矿主要分布在广东北部地区;盐湖卤水型主要分布在西藏扎布耶茶卡盐湖、青海昆特依盐湖、茶卡盐湖、察尔汗盐湖、柯柯盐湖和大柴旦盐湖、小柴旦盐湖等,以及湖北江汉平原和四川自贡等地区地下卤水中<sup>[5]</sup>;含铯硅质岩主要分布在西南特提斯地区,以西藏日喀则地区广为发育<sup>[15]</sup>。

中国铯矿资源较缺乏,主要以锂云母的副矿物开采铯,开发成本较高,国内企业主要依赖进口国外高品质铯榴石。根据《2021 年全国矿产资源储量统计表》数据,我国铯矿( $\text{Cs}_2\text{O}$ )储量为 2.47 万 t,其中,2.39 万 t 分布在江西,其余分布在河南。铯资源量为 40.1 万 t,其中,江西宜春、石场和新疆阿尔泰可可托海两地区伟晶岩型(锂云母和铯榴石)铯矿资源量占全国 50% 以上。盐湖型(地下热水)铯资源主要分布在四川威远等地区,但品位较低、组成复杂,尚未单独进行工业化开采。中国目前可利用的铯矿产绝大部分赋存在难以提取的锂云母中,品位低,一般是处理锂云母提取锂后的尾矿中再次提取铯等伴生矿,开发利用难度大,开发利用企业主要依赖于进口国外高品质矿石。国内早期开发的新疆可可托海矿区,铯榴石精矿含  $\text{Cs}_2\text{O}$  18%~25%,是国内重要的铯铷产

地。自可可托海 3 号矿关闭以来, 国内还未见可供开采的独立铯榴石矿山报道。

### 1.3 全球典型铯矿床及地质特征

全球目前可规模化开采的铯榴石资源主要集中于三大矿区: 加拿大坦科 (Tanco) 矿区、津巴布韦比基塔 (Bikita) 矿区, 以及 2016 年新发现的澳大利亚辛克莱 (Sinclair) 矿区<sup>[16]</sup>。加拿大铯资源开发以铯榴石为主, 津巴布韦和纳米比亚主要以锂矿物的副矿物开采铯。此外, 近期在纳米比亚卡里比布 (Karibib) 伟晶岩带发现的锂矿项目, 含铯 302 ppm (折合 2 700 tCs<sub>2</sub>O), 锂为主要产品, 铯、钾和铷作为潜在的副产品。

1) 加拿大坦科矿床。在 1930 年被发现其锡和铍价值, 1954—1960 年期间开始开采锂、铯和铍, 1984 年锂产量为全球第二位, 仅次于比基塔伟晶岩矿床。坦科矿山为全球现有在产的唯一以铯榴石为主矿石的矿山, 也是世界上储量最大的铯榴石矿山, 氧化铯平均品位达 23.3%, 生产的铯榴石品位高, 具有较高的经济开采价值。坦科矿山保有未开采铯矿石资源量 11.64 万 t, 其中, 氧化铯含量约为 1.61 万 t; 铯尾矿矿石资源量约为 352.22 万 t, 其中, 氧化铯含量约为 2.6 万 t, 合计保有氧化铯资源量 4.21 万 t。矿区现有一座年产 400 t 铯盐精细化工产品的化工厂<sup>[8]</sup>。

坦科矿床是典型的伟晶岩矿床, 拥有世界上已知规模最大的铯榴石富集带。矿床位于加拿大曼尼托巴省温尼伯湖, 距离最近的城市温尼伯格约 180 km, 成矿金属主要为锂、铯和铍, 共伴生矿种为铷、铍、锡等<sup>[17]</sup>。坦科伟晶岩中铍钽铁矿 U-Pb 年龄为 2 640±7 Ma, 白云母和锂云母 Rb-Sr 等时线年龄分别为 2 576±17 Ma 和 2 583±4 Ma<sup>[18]</sup>。坦科伟晶岩主要沿断层侵位, 断层控制了伟晶岩脉的形状与位置。坦科伟晶岩脉产状平缓, 多为透镜状, 最长达 1 990 m, 宽度 1 060 m, 厚度 100 m<sup>[19]</sup>。伟晶岩脉内部分带性明显, 从外向内是边缘带、细粒钠长石带、下部中间带、上部中间带、中部中间带、石英带、铯榴石带和锂云母带<sup>[20]</sup>。含铯榴石的锂云母微斜长石钠长石伟晶岩主要分布在水平带的外围, 含铯榴石伟晶岩的围岩多为透辉石大理岩及变质辉长闪长岩<sup>[21]</sup>(图 2 和图 3)。

2) 津巴布韦比基塔矿床。发现于 1909 年, 先后开采钽铁矿、锡石、宝石, 以及铍、铯和锂, 现为世界级超大型的伟晶岩型锂矿床<sup>[22]</sup>。津巴布韦比基塔矿累计探获 Cs<sub>2</sub>O 金属资源量 2.4 万~3.6 万 t, Cs<sub>2</sub>O 平均品位为 24%, 但由于该矿开采历史较长, 现有开采矿坑中的铯榴石资源已基本消耗殆尽<sup>[20]</sup>。矿区内仍发育有多条未经验证的 LCT 型(锂-铯-铍型)伟晶岩体, 具备进一步扩大锂铯铍矿产资源储量的潜力。

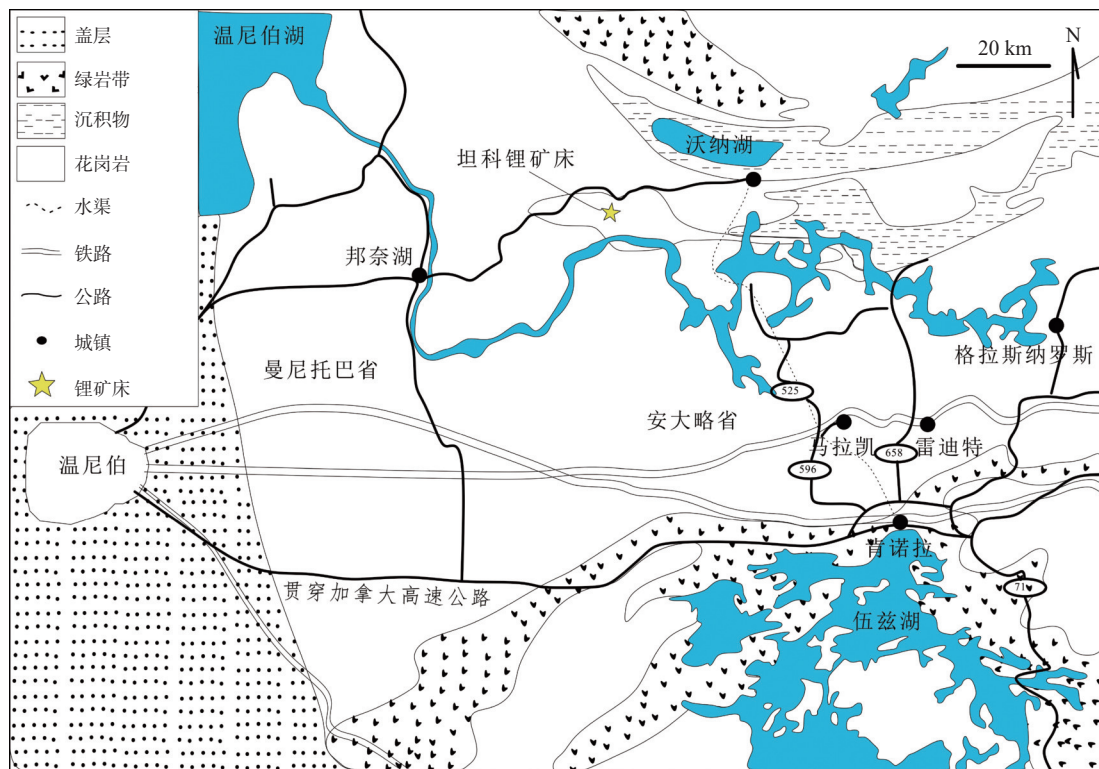


图 2 加拿大坦科矿床区域地质图

Fig. 2 Geological map of the Tanco deposit area in Canada

(资料来源: 文献 [17], 有修改)

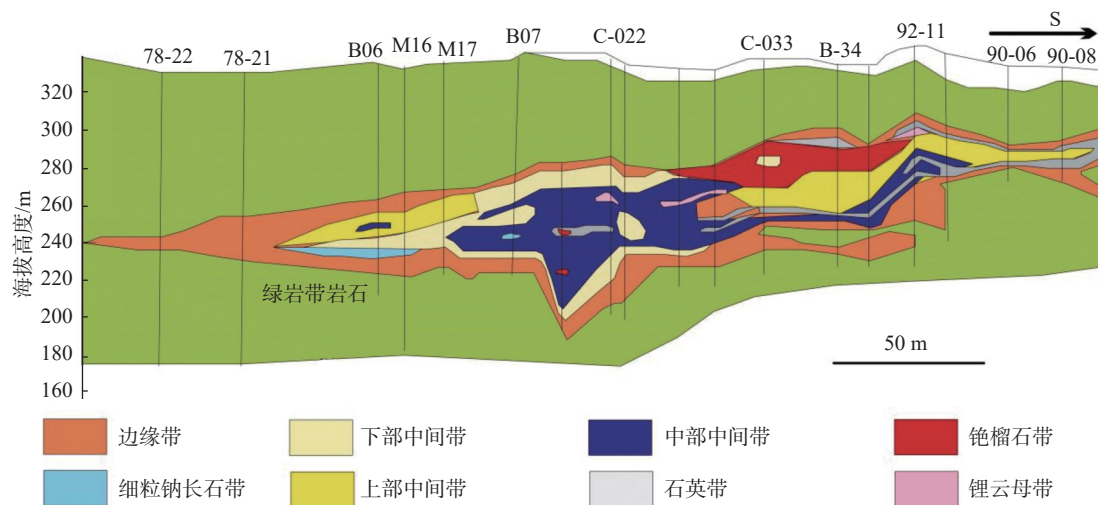


图3 加拿大坦科矿床矿化分带

Fig. 3 Mineralization zoning of the Tanco deposit in Canada

(资料来源:文献[20],有修改)

比基塔矿床位于津巴布韦马斯温戈省,距离首都哈拉雷 325 km,成矿金属主要为锂、铯和钽,共伴生矿种为铍、锡等,矿石类型为共生有铯榴石的透锂长石和锂辉石型矿石<sup>[19]</sup>。比基塔伟晶岩脉群形成于 2 700~2 600 Ma 的造山事件中,造山作用导致地层褶皱变形、变质和部分熔融,奇利曼齐花岗岩体侵位和后造山伸展作用诱发东西向戈诺断层和南北向波波特克断层发育,有利于比基塔伟晶岩脉群的伟晶岩熔体贯入。比基塔主要伟晶岩脉厚度达 30~40 m,呈 30°~45°向东倾斜,伟晶岩分带明显,边缘包括长石带和白云母带;中间带包括透锂长石带、锂辉石带、铯榴石带;内核则以含锂辉石为特征,包括透锂长石-铯榴石-锂辉石带和石英-锂云母-长石带<sup>[22]</sup>(图 4 和图 5)。

3) 澳大利亚辛克莱矿床。辛克莱矿山位于西澳诺斯曼北部 35 km 处,在 2016 年被先锋资源有限公司发现,是在澳大利亚发现的第一个铯榴石矿床<sup>[23]</sup>。澳大利亚辛克莱矿在一阶段的采探矿过程中,还未达到多金属矿床中铯榴石矿部分时,共探获矿石资源量 7 110 t,氧化铯品位 16.4%,保有 Cs<sub>2</sub>O 金属资源量 1 166 t,目前正在进行第二阶段的采探矿工作。

辛克莱矿位于西澳大利亚的太古宙伊尔干克拉通内,位于诺斯曼-威卢纳绿岩带的库尔加迪地区。与坦科矿床和比基塔矿床相同,辛克莱矿床成矿金属主要为铯和锂,共伴生矿种为钽、铷、锡等,其主体 LCT 伟晶岩脉分带明显,为一个以斜长石、白云母和石英为主和其他副矿物的粗粒伟晶岩壁带,以及一个由石英、钠长石、铯榴石、锂云母、锂辉石、透辉石、锂霞石、绿柱石和银辉石组成的内核带<sup>[16]</sup>(图 6)。

## 2 全球铯资源开发利用情况

### 2.1 主要选冶技术

当前铯资源的选冶主要分为矿石冶炼法、盐卤提取法和锂云母石灰法提锂母液萃取法。矿石冶炼法主要是将铯榴石、锂云母、铯硅华等粉碎,通过浮选法或反浮选法进行初步富集。盐卤提取法主要是将含铯的卤水或热泉通过离子交换法、溶液萃取法等方式分离提取铯<sup>[24]</sup>。原料为锂云母石灰法提锂母液经提钾后的富铷、铯混合碱通过 BAMPB 萃取剂及稀释剂萃取铯<sup>[11]</sup>。初步富集的铯资源通过酸法浸取(硫酸法、盐酸法、氯锡酸盐法)、碱分解法等冶炼提取,生产出铯的各种化合物。铯的化合物通过电解法、真空热还原法进一步生产金属铯<sup>[5]</sup>(图 7)。

### 2.2 主要用途

铯产品运用领域广泛,在传统领域中主要应用于催化剂、化学试剂、电解质、摄像管、高压汞灯、闪烁计数器、分析化学、生物工程、医药等,在新兴领域主要应用于原子钟、航空(离子推动发动机)、新能源(磁流体发电机)、导弹、宇宙飞船、热离子发电、太阳能电池、LED、激光器、光电探测器、特种玻璃、DNA 分离及信息产业等,其不可替代性和卓越性能已获得相关领域高度认可和规模化使用。

目前,主流铯产品有甲酸铯、硫酸铯、碳酸铯、硝酸铯、碘化铯、氯化铯等<sup>[9]</sup>,其中,甲酸铯是全球铯盐下游需求最大的产品,主要用作石油完井液,在高温下可保持添加剂性能,有效提高产油率和钻井效率、减小摩擦系数、降低卡钻风险、不易引起金属腐蚀、对环境扰动小<sup>[25]</sup>,使用过的甲酸铯盐水可回收处理后重复再利用。硫酸铯主要应用于催化剂行业,

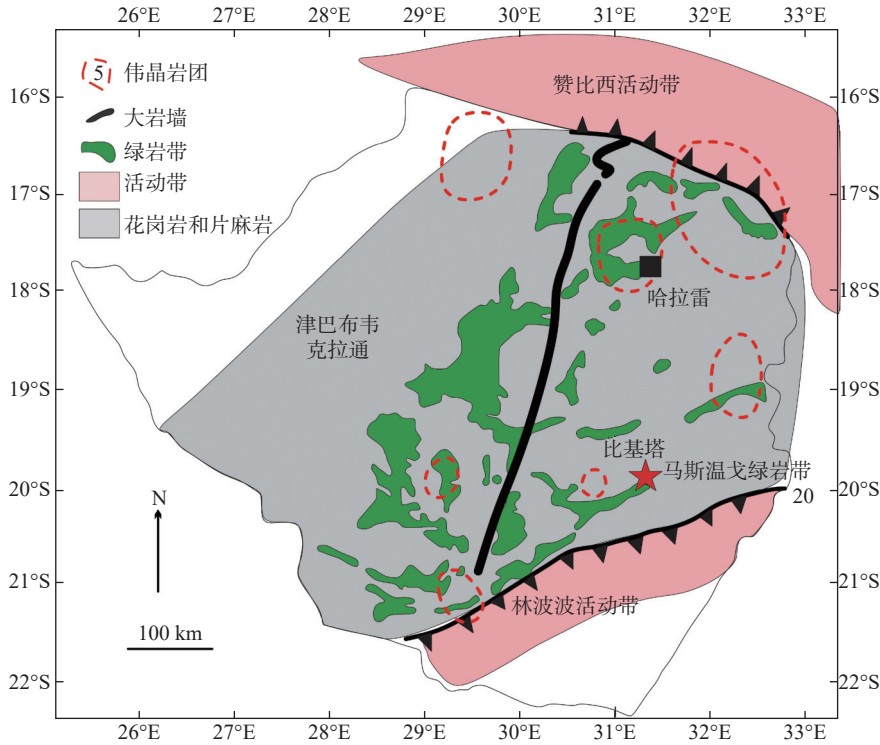


图 4 津巴布韦克拉通及比基塔伟晶岩矿田地地质示意图

Fig. 4 Geologic schematic of Zimbabwe's Craton and Bikita Pegmatite Fields

(资料来源: 文献 [20], 有修改)

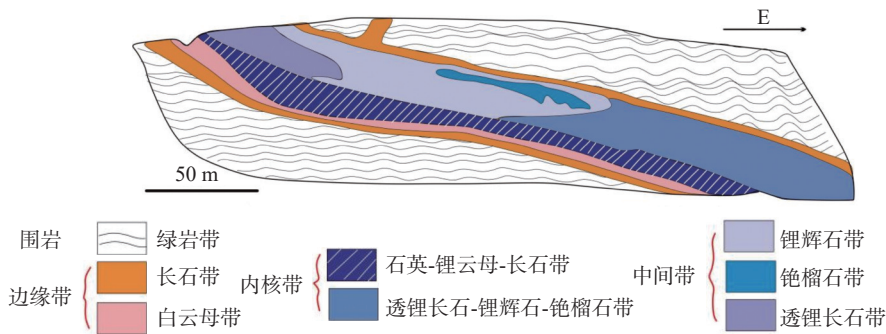


图 5 比基塔锂矿床伟晶岩脉成矿分带现象

Fig. 5 Pegmatite vein mineralization zoning phenomenon in the Bikita lithium deposit

(资料来源: 文献 [20], 有修改)

硫酸铯可与钒化合物反应生成氧化二氧化硫的催化剂, 在工业硫酸生产和汽车尾气中可显著降低  $\text{SO}_2$  尾气排放。碳酸铯易于保存, 由于铯的电离电位更低, 通常被用于磁流体发电机, 可显著提高发电装置热效率, 为高能武器和其他领域的应用提供了强大的动力支持。硝酸铯可作为着色剂和氧化剂用于烟火行业, 还可用作石油裂解闪烁计数器、X 射线荧光粉等。铯原子钟应用在 5G、工业互联网、智能驾驶等高级时敏型领域, 保障最精准的时间计量, 可达 30 万 a 不差一秒。铯在反应堆所产生的铯-131 和铯-137 可治疗癌症, 医药领域的消费具有广阔前景。铯作为

添加剂应用在钙钛矿电池薄膜中可大幅提高太阳能电池组件的储电效率、稳定性和耐低温性<sup>[26]</sup>(图 8)。

### 2.3 主要供应情况

全球铯产量近年来呈现井喷式增长, 未来市场前景广阔。全球铯生产商基本以销定产, 整体行业产销率较高, 供需基本持平。2000—2010 年期间, 全球铯产品年均产量最高时为 200 t 左右, 但多数时间铯化合物产量维持在 50~60 t。中国新疆有色金属研究所为国内铯盐主要生产方, 铯化合物年产量约 10 t, 铯金属产量不到 5 kg。2011 年以来, 随着国内大批企业如东鹏新材等开始关注铯盐产业并大量涌

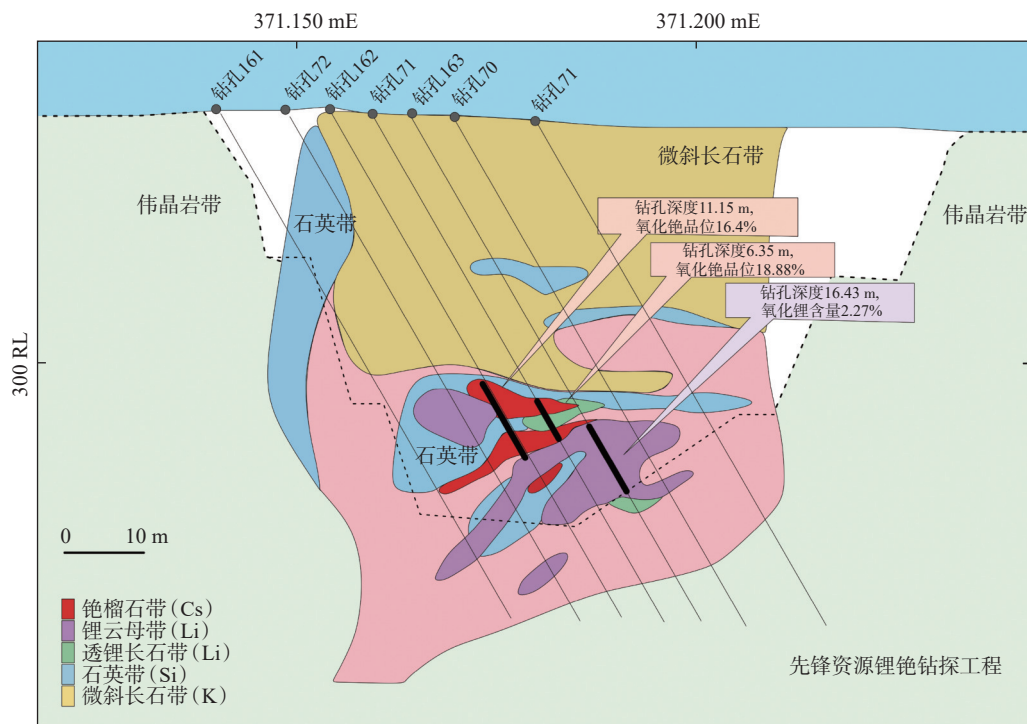


图 6 澳大利亚辛克莱伟晶岩型锂矿床的矿化分带

Fig. 6 Mineralization zoning in the Sinclair pegmatitic lithium deposit, Australia

(资料来源:文献[16],有修改)

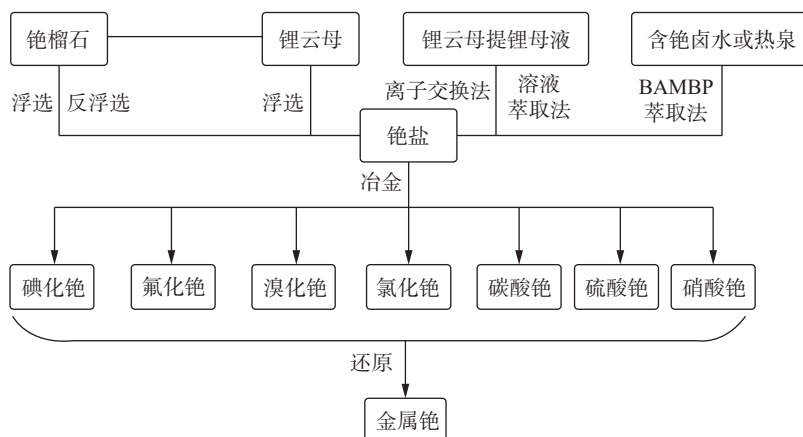


图 7 铯选冶制备流程

Fig. 7 Cesium beneficiation and metallurgical preparation process

(资料来源:文献[5],有修改)

入铯供应链,产量出现井喷式增长,扩大了10倍以上<sup>[27]</sup>。根据市场调研数据,2016年、2018年、2020年、2021年全球铯及其化合物产量分别为808.7t、1262.4t、1766.1t、2211.0t,呈现快速增长态势。

#### 2.4 主要生产企业

全球范围内可实现铯铷盐量产的公司主要有东鹏新材(2018年被中矿资源并购)和美国雅宝(图9)。其中,美国雅宝铯盐生产的原料来源是津巴布韦比基塔矿区,现有铯榴石资源已近枯竭,雅宝公司仅有库

存可以使用,已经放出明确信号表明退出铯铷市场<sup>[11]</sup>。2019年,中矿资源收购美国卡博特(Cabot)公司特殊流体事业部全部股权,获得其加拿大坦科矿区。2022年5月16日,中矿资源发布公告称,以1.8亿美元(约合人民币11.44亿元)收购非洲金属管理服务有限公司(AMMS)和南部非洲金属矿产有限公司(SAMM)持有的津巴布韦比基塔锂矿项目99.05%股权。

目前,中矿资源是全球铯铷盐精细化工领域的龙头企业,具备铯榴石开采、加工、精细化工产品的

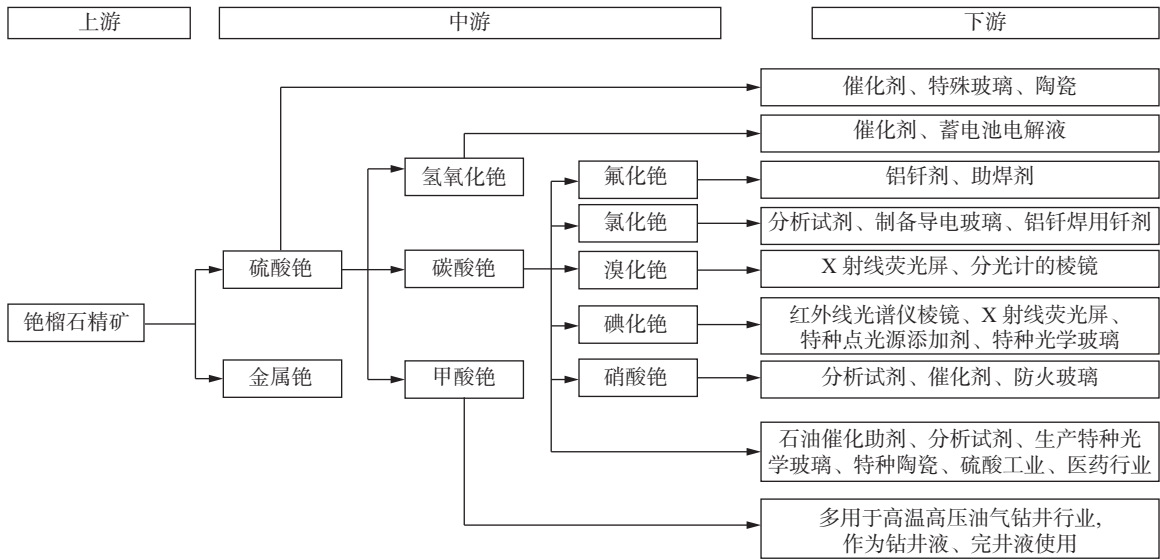


图 8 铯资源上中下游产业链  
Fig. 8 Cesium resources industry chain

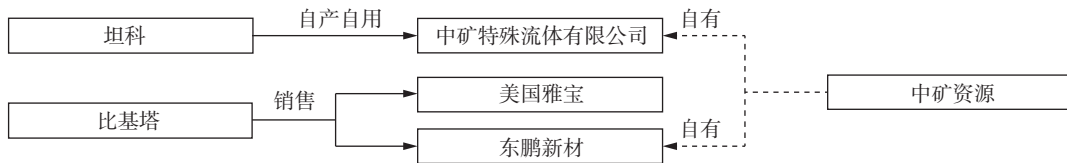


图 9 全球主要铯资源供应商及原料来源  
Fig. 9 Global major cesium resource suppliers and raw material sources

生产和提供产品技术服务的能力, 拥有世界主要高品质铯资源, 是全球甲酸铯重要的生产商和供应商, 占有绝对的市场份额<sup>[9]</sup>。目前中矿资源铯钾盐年产能分别为 1 361 t。2018—2022 年, 中矿资源铯钾盐产量分别为 414 t、642 t、778 t、993 t、794 t, 产能利用率分别为 30.4%、47.2%、57.2%、73.0%、58.3%<sup>[28]</sup> (图 10)。中矿资源生产的铯盐产品有碳酸铯、氢氧化铯、硫酸铯、硝酸铯、甲酸铯、氟铝酸铯、碘化铯等。

中国硫酸铯生产企业数量众多, 主要企业包括上海源叶生物科技、上海绩祥生物科技、上海麦克林生化科技、上海中锂实业、江西赣锋锂业集团、湖

北实兴化工、武汉卡诺斯科技、湖北特斯科化工、湖南金锦乐化学等, 多为中小型企业, 行业集中度较低。目前, 全球硫酸铯催化剂年产量约 300 t/a, 其中, 丹麦托普索 (Topsoe) 公司生产 100~150 t/a, 美国杜邦 (Dupont) 公司生产 100~150 t/a, 德国巴斯夫 (BASF) 公司生产 25~50 t/a。中国硫酸铯的研发仍处于初级阶段, 国内产量较少, 产量仅 5~10 t/a, 随着中国硫酸铯产量增加及对环保的要求愈发严格, 未来硫酸铯需求约为 300 t/a, 将会有很大部分需求依赖进口<sup>[29]</sup>。

### 2.5 主要消费国

2020 年全球铯盐总消费约 2 400 t, 传统、高科技、医药领域分别占比 78%、18%、4%。发达国家是全球铯的主要消费国, 美国铯消费大约 960 t, 是全球铯产品最大消费国, 已经形成完整健全的铯产业链, 中国、日本铯消费量分别为 800 t、300 t, 德国、加拿大在铯消费上占有一定份额。美国、日本等发达国家铯主要应用于国防军工和航天航空等高科技领域, 其消费量远超中国且逐年递增, 消费量占比高达 80%。中国铯资源主要应用于传统领域, 在高端应用领域与发达国家仍有一定差距<sup>[9]</sup>。随着铯化合物愈来愈多地应用于战略性新兴产业发展, 需求量会越来越大, 市场前景也更加广阔 (图 11)。

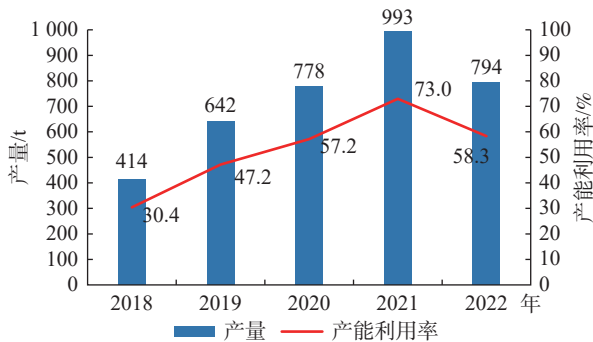


图 10 2018—2022 年中矿资源铯钾盐产量及产能利用率  
Fig. 10 Production and capacity utilization rate of cesium potassium salt in Sinomine Resource Group from 2018 to 2022

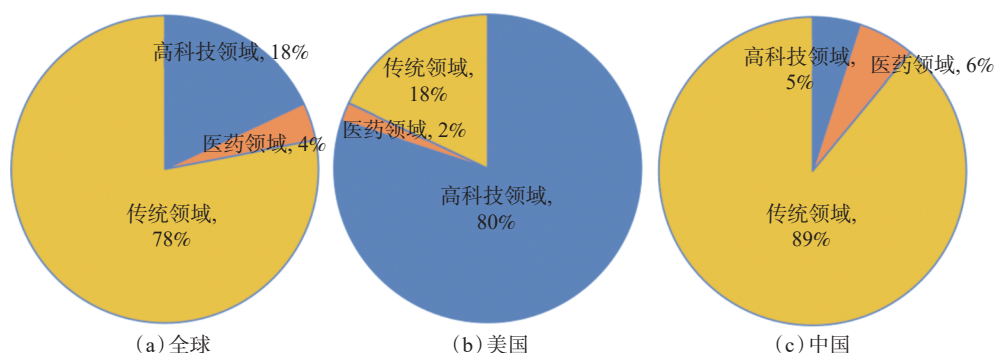


图 11 2020 年全球、美国和中国铯消费结构

Fig. 11 The consumption structure of cesium in the world, the United States, and China in 2020

(资料来源:文献[5],有修改)

1) 美国。美国对铯的消费量比较大,铯用量的 80% 用于铯原子钟、磁流体发电、热离子发电、离子火箭发动机等高科技领域,其余部分用于催化剂、电子器件、特种玻璃等传统领域。美国一直在努力开发高效能源转换装置,研究拓展铯在离子推进技术、磁流体发电、激光发电、热离子发电及离子云通信等领域的应用。

2) 日本。日本的铯应用注重传统领域,发展较快的是高端催化剂,特别是有机合成催化剂,铯化合物年消费量约 300 t。铯在催化剂领域的用量已占日本铯总消费量的 90%。例如,日本在甲基丙烯酸树脂生产中用硝酸铯作催化剂,在环氧乙烷生产中用硫酸铯作催化剂,在邻苯二甲酸酐氧化中用氯化铯作催化剂<sup>[30]</sup>。日本还大力拓展铯化合物在杂多酸生产催化剂和排气净化剂中的应用,取得了良好进展。

3) 中国。2020 年中国铯消费量近 800 t,主要消费于传统领域,占比 89%;高科技领域和医药领域的消费量分别为 40 t、48 t,合计占比 11%。国内学者以油气钻探、催化剂、医药、光电器件、原子钟、特种玻璃和能量转换等相关部门“十四五”产业发展规划为目标,对各部门铯需求量做出预测,2025 年中国铯(氧化铯)需求总量 968~1 064 t,市场规模将达到 37.5 亿~38.1 亿元,其中,高科技领域用铯需求将实现大幅增长<sup>[6]</sup>。

### 3 中国铯资源市场情况和安全保障建议

#### 3.1 中国铯资源市场情况

1) 中国铯资源相对稀缺且开发利用难度较大,每年需从国外大量进口铯榴石,几乎 100% 依赖进口。中国目前无铯榴石独立矿床,可利用的铯矿绝大部分赋存在难以提取的锂云母中,品位低,一般是处理锂云母提取锂后的尾矿中再次提取铯铷等伴生矿,开发利用难度大,成本较高。

2) 中国铯下游市场尚未打开,制约了资源规模

化开发。中国铯矿产应用广泛,包括工业领域催化剂、化学试剂、放射源、光学仪器等领域,但是各领域产品对铯用量少,例如单台原子钟对铯需求仅为克级,铯产业规模总体较小,矿产资源用量受限,难以拉动上游矿产资源开发。

3) 中国铯资源高度依赖进口,供应风险较大。中国铯矿进口及海外权益矿产主要来自加拿大、澳大利亚和津巴布韦,目前已出现美国公司只采购中资企业海外工厂生产铯盐,禁止采购国内生产铯盐的情况。当前,国际地缘形势日趋复杂,在大国博弈加剧的背景下,未来在原材料运回国,铯盐产品出口等贸易流通环节存在较大风险<sup>[31]</sup>。

#### 3.2 保障中国铯资源供应安全建议

1) 建议加强国内铯资源勘查开发力度,加强低品位铯矿开发利用研究。以花岗伟晶岩型、盐湖型铯矿为主攻矿床类型,优选川西、西昆仑、柴达木盆地和藏北高原等重要找矿远景区开展铯资源调查评价,扩大资源储量,提高国内保障程度。加强锂云母、盐湖卤水等低品位、难提取铯铷资源开发利用技术研究,开展铯资源高端利用、综合回收等应用研究,加强铯与其他稀有金属的综合利用能力,提高铯资源综合利用水平与利用效率。

2) 建议加强铯资源应用的基础研究,在稳固铯铷传统应用领域的同时,扩大铯资源在高新技术产业中的应用,努力拓展在航空(离子推动发电机)、新能源(磁流体发电机)、导弹、激光器、DNA 分享及信息产业等高科技领域应用,着重培育、促进、把握新的市场,扩大其应用领域,开发高附加值产品,提高铯产业市场规模,提升铯产业领域的国际竞争力。

3) 建议储备优质铯资源,支持企业参与国际矿业合作。加强铯产业链关键环节产品链及各环节产品的供应链研究,动态评估铯资源储备品种、规模和布局,建议建立与中国资源安全形势与经济发展相

适应的铯资源国家储备机制, 适度储备优质铯资源, 鼓励企业对铯产品开展商业储备。加强与津巴布韦、纳米比亚等铯资源丰富的国家合作与交流, 分散加拿大和澳大利亚供应风险, 鼓励中资企业与国外公司合作, 参与全球铷铯资源勘查开发合作, 布局铷铯产业链。同时, 要时刻警惕所在国政治、经济和安全风险, 做好风险应急预案, 保障资产和人员安全。

#### 4 结论

1) 全球铯资源成矿类型主要为伟晶岩型和盐湖卤水型, 富铯矿物主要赋存在伟晶岩型的铯榴石矿床, 全球保有矿石量稀少。其中, 伟晶岩型铯矿主要分布在加拿大、津巴布韦和纳米比亚等国, 资源集中度高; 智利、中国、印度、德国的盐湖卤水中也有部分铯资源分布。中国伟晶岩型铯资源主要分布在江西宜春、石场和新疆阿尔泰可可托海等地区, 盐湖型铯资源主要分布在四川威远地区。

2) 全球铯生产商基本以销定产, 整体行业产销率较高, 供需基本持平。2020年全球铯盐总消费约2400 t, 美国铯消费大约960 t, 集中在高科技领域; 中国铯消费近800 t, 主要集中在传统领域; 德国、日本、加拿大在铯消费上占有一定份额。发达国家主要应用铯盐于高科技领域, 中国主要应用于传统领域。

3) 中国铯资源相对稀缺且开发利用难度较大, 每年需从国外大量进口铯榴石, 高度依赖进口, 供应风险较大, 铯下游市场尚未打开, 制约了资源规模化开发。

#### 参考文献 (References):

- [ 1 ] 马世昌. 化学物质辞典[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1999.
- [ 2 ] 王云生, 郭娟, 刘喜方, 等. 中国铷铯资源、提取技术与开发利用研究[J]. *地球学报*, 2024, 45(5): 823-829.  
WANG Yunsheng, GUO Juan, LIU Xifang, et al. Research on rubidium and cesium resources, extraction technology, development, and utilization in China[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2024, 45(5): 823-829.
- [ 3 ] 孙映祥, 林博磊. 国内外铷资源开发利用研究及政策建议[J]. *中国矿业*, 2019, 28(11): 41-43.  
SUN Yingxiang, LIN Bolei. Research and policy suggestions on development and utilization of rubidium resources at home and abroad[J]. *China Mining Magazine*, 2019, 28(11): 41-43.
- [ 4 ] 梅燕雄, 裴荣富, 魏然, 等. 关键矿产与能源资源安全[J]. *中国矿业*, 2022, 31(11): 1-8.  
MEI Yanxiong, PEI Rongfu, WEI Ran, et al. Critical minerals and energy resources security[J]. *China Mining Magazine*, 2022, 31(11): 1-8.
- [ 5 ] 张晓伟, 辛天宇, 刘佳兴, 等. 全球铷矿资源现状及其综合利用技术分析[J]. *矿产保护与利用*, 2021, 41(5): 7-11.  
ZHANG Xiaowei, XIN Tianyu, LIU Jiaying, et al. Analysis on the current situation of global cesium resources and its comprehensive utilization technology[J]. *Conservation and Utilization of Mineral Resources*, 2021, 41(5): 7-11.
- [ 6 ] 高芯蕊, 贾宏翔, 李天骄, 等. 中国铷铯资源需求展望[J]. *地球学报*, 2023, 44(2): 279-285.  
GAO Xinrui, JIA Hongxiang, LI Tianjiao, et al. Perspective of rubidium and cesium resource demand in China[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2023, 44(2): 279-285.
- [ 7 ] 陈炳翰, 李鹏, 刘建楠. 中国铷矿成矿规律概要[J]. *中国地质*, 2024, 51(6): 1946-1959.  
CHEN Binghan, LI Peng, LIU Jiannan. Metallogenic regularity of cesium deposits in China[J]. *Geology in China*, 2024, 51(6): 1946-1959.
- [ 8 ] 张津伟. 中矿资源国际化战略演进及产业生态优化研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2019.
- [ 9 ] 董普, 肖荣阁. 铯盐应用及铯(碱金属)矿产资源评价[J]. *中国矿业*, 2005, 14(2): 30-34.  
DONG Pu, XIAO Rongge. Caesium application and caesium(alkali metals) resource evaluation[J]. *China Mining Magazine*, 2005, 14(2): 30-34.
- [ 10 ] 隰弯弯, 赵宇浩, 倪培, 等. 锂矿主要类型、特征、时空分布及找矿潜力分析[J]. *沉积与特提斯地质*, 2023, 43(1): 19-35.  
XI Wanwan, ZHAO Yuhao, NI Pei, et al. Main types, characteristics, distributions, and prospecting potential of lithium deposits[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 2023, 43(1): 19-35.
- [ 11 ] 中国有色金属工业协会专家委员会. 中国锂、铷、铯[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2013.
- [ 12 ] USGS. Mineral commodity summaries 2021: cesium[R]. 2022.
- [ 13 ] USGS. Mineral commodity summaries 2024: cesium[R]. 2024.
- [ 14 ] 赵元艺, 聂凤军, 侯增谦, 等. 西藏塔格架热泉型铷矿床地质特征及形成时代[J]. *矿床地质*, 2006, 25(3): 281-291.  
ZHAO Yuanyi, NIE Fengjun, HOU Zengqian, et al. Geological characteristics and formation age of hot spring cesium deposit in Targejia Area, Tibet[J]. *Mineral Deposits*, 2006, 25(3): 281-291.
- [ 15 ] 孙艳, 王瑞江, 亓锋, 等. 世界铷资源现状及我国铷开发利用建议[J]. *中国矿业*, 2013, 22(9): 11-13.  
SUN Yan, WANG Ruijiang, QI Feng, et al. The global status of rubidium resource and suggestions on its development and utilization in China[J]. *China Mining Magazine*, 2013, 22(9): 11-13.
- [ 16 ] CROOK D J, KERR S T, BOOTH J A, et al. The discovery and geology of Sinclair, Australia's first caesium deposit[J]. *ASEG Extended Abstracts*, 2019(1): 1-5.
- [ 17 ] PEARSE G H K, TAYLOR R P. A the Big Whopper rare metals pegmatite, separation rapids, Ontario[J]. *CIM Bulletin*, 2001(49): 50-54.
- [ 18 ] BAADSGAARD H, CERNY P. Geochronological studies in the Winnipeg River pegmatite populations, southeastern Manitoba[J]. *Southeastern Manitoba*, 1993, 18: 1-5.
- [ 19 ] 陈衍景, 薛莅治, 王孝磊, 等. 世界伟晶岩型锂矿床地质研究进展[J]. *地质学报*, 2021, 95(10): 2971-2995.  
CHEN Yanjing, XUE Lizhi, WANG Xiaolei, et al. Progress in geological study of pegmatite type lithium deposits in the world[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2021, 95(10): 2971-2995.
- [ 20 ] DITTRICH T, SEIFERT T, SCHULZ B, et al. Archean rare-metal pegmatites in Zimbabwe and Western Australia[M]. Cham Switzerland

- land: Springer International Publishing, 2019.
- [21] 陈西京. 某地艳榴石的形成条件及找矿标志[J]. 长安大学学报(自然科学版), 1981(2): 50-60.  
CHEN Xijing. Conditions for the formation of garnet and exploration markers in a certain area[J]. Journal of Chang'an University(Natural Science Edition), 1981(2): 50-60.
- [22] MARTIN H J. The Bikita tinfield[J]. Southern Rhodesia Geological Survey Bulletin, 1964(58): 114-131.
- [23] 王秋舒, 元春华, 许虹. 全球锂矿资源分布与潜力分析[J]. 中国矿业, 2015, 24(2): 10-17.  
WANG Qiushu, YUAN Chunhua, XU Hong. Analysis of the global lithium resource distribution and potential[J]. China Mining Magazine, 2015, 24(2): 10-17.
- [24] 王盼盼, 刘鲤君, 赵云. 卤水中铷、铯、硼、锂分离提取研究进展[J]. 化工管理, 2021(3): 45-49.  
WANG Panpan, LIU Lijun, ZHAO Yun. Research progress in the separation and extraction of rubidium, cesium, boron, and lithium in brine[J]. Chemical Enterprise Management, 2021(3): 45-49.
- [25] 徐同台, 赵忠举, 冯京海. 2005年国外钻井液新技术[J]. 钻井液与完井液, 2007, 24(1): 61-70.  
XU Tongtai, ZHAO Zhongju, FENG Jinghai. Development in drilling fluid technologies abroad in 2005[J]. Drilling Fluids & Completion Fluids, 2007, 24(1): 61-70.
- [26] 王爱丽, 汪舒蓉, 林红, 等. 钙钛矿太阳能电池的研究进展与关键挑战[J]. 硅酸盐学报, 2021, 49(7): 1306-1322.  
WANG Aili, WANG Shurong, LIN Hong, et al. Recent advances and critical challenges of perovskite solar cells[J]. Journal of the Chinese Ceramic Society, 2021, 49(7): 1306-1322.
- [27] 郭宁, 赵武壮, 任卫峰, 等. 铷铯行业开辟新纪元[J]. 中国有色金属, 2013(15): 44-45.  
GUO Ning, ZHAO Wuzhuang, REN Weifeng, et al. Rubidium cesium industry opens a new era[J]. China Nonferrous Metals, 2013(15): 44-45.
- [28] 中矿资源集团股份有限公司. 中矿资源集团股份有限公司2023年年度报告[R]. 2024.
- [29] CBC 铷铯研究院及数据中心. 2019—2025年铷铯产业链市场分析 with 战略预测研究[R]. 2019.
- [30] 白智辉, 莫子璇. 铯标准体系现状[J]. 中国金属通报, 2020(11): 118-119.  
BAI Zhihui, MO Zixuan. Current status of cesium standard system[J]. China Metal Bulletin, 2020(11): 118-119.
- [31] 陈志勇, 朱清, 邹谢华, 等. “双碳”背景下镍资源产业链发展趋势研究[J]. 中国矿业, 2024, 33(10): 54-63.  
CHEN Zhiyong, ZHU Qing, ZOU Xiehua, et al. Research on the development trend of nickel resource industry chain under the background of “dual carbon” [J]. China Mining Magazine, 2024, 33(10): 54-63.