

文章编号: 1004-4051(2025)07-0324-11

DOI: 10.12075/j.issn.1004-4051.20250729

全球萤石资源分布格局与中国产业发展挑战及 优化策略研究

杜春彦, 苑 帅, 尉雪菲

(河南省国土空间调查规划院, 河南 郑州 450016)

摘 要: 萤石作为战略性非金属矿产, 其资源分布与行业发展对全球工业转型和能源革命具有关键作用。本文旨在系统分析全球及中国萤石资源的分布特征、开发利用现状及行业趋势, 揭示中国面临的储采比失衡、需求结构转型及技术依赖等问题, 为优化资源配置、提升产业竞争力提供科学依据。通过整合全球及中国萤石资源储量、产量、消费结构、进出口贸易等数据, 从资源禀赋、产业链结构、市场供需及技术瓶颈多维度进行解析。研究认为: ①全球萤石资源高度集中, 墨西哥、中国、南非和蒙古国四国合计占全球储量 75%。中国储量居全球第二位, 但储采比严重失衡, 远低于全球均值, 资源保障压力显著。②中国萤石消费结构加速转型, 新能源领域需求激增, 而传统冶金领域需求持续萎缩。③中国氟化工产业大而不强, 高端产品依赖进口, 八大跨国企业垄断全球 80% 有机氟材料产能, 技术壁垒亟待突破。④中国贸易格局发生根本性转变, 2023 年净进口量达 63.95 万 t, 低品位萤石进口占比 85.77%, 凸显加工贸易模式对原材料的依赖。研究结论指出, 中国需通过多渠道增储、资源整合、技术创新和国际合作提升竞争力。建议加强共伴生资源综合利用、推动绿色低碳技术研发、优化储采比结构, 并深化“一带一路”合作以保障战略性新兴产业需求。未来应聚焦高端氟材料研发, 打破技术垄断, 构建全产业链协同机制, 推动萤石行业向精细化、低碳化转型。

关键词: 萤石资源; 储采比; 开发利用; 氟化工; 行业发展

中图分类号: TD-9 **文献标识码:** A

Distribution pattern of global fluorite resources and the challenges and optimization strategies of China's industrial development

DU Chunyan, YUAN Shuai, WEI Xuefei

(Henan Academy of Land Spatial Survey and Planning, Zhengzhou 450016, China)

Abstract: As a strategic non-metallic mineral, fluorite plays a critical role in global industrial transformation and energy revolution. This paper systematically analyzes the distribution characteristics, utilization, and industrial development status of fluorite resources globally and in China, aiming to address challenges such as imbalanced reserve-production ratios, structural demand shifts, and technological dependencies, thereby providing scientific insights for optimizing resource allocation and enhancing industrial competitiveness. By integrating data on fluorite reserves, production, consumption

收稿日期: 2025-04-14 责任编辑: 刘硕

基金项目: 河南省自然资源厅省财政地质勘查项目“河南省部分战略性矿产共伴生、低品位资源再评价及战略性矿产出让区块调查评价”资助(编号: 豫自然资函[2024]402号); 河南省自然资源厅事业发展项目“河南省矿业经济分析与监测”资助

第一作者简介: 杜春彦(1972—), 女, 汉族, 河南方城人, 硕士, 正高级工程师, 主要从事地质矿产、矿业经济等方面的研究, E-mail: chunyan1991@163.com.

引用格式: 杜春彦, 苑帅, 尉雪菲. 全球萤石资源分布格局与中国产业发展挑战及优化策略研究[J]. 中国矿业, 2025, 34(7): 324-334.

DU Chunyan, YUAN Shuai, WEI Xuefei. Distribution pattern of global fluorite resources and the challenges and optimization strategies of China's industrial development[J]. China Mining Magazine, 2025, 34(7): 324-334.

patterns, and import-export trade from both global and Chinese perspectives, a multidimensional analysis is conducted focusing on resource endowment, industrial chain structure, market dynamics, and technological bottlenecks. The study holds the following views: ① global fluorite resources are highly concentrated, with Mexico, China, South Africa, and Mongolia collectively accounting for 75% of global reserves. Despite ranking second in reserves, China faces severe reserve-production ratio imbalances, posing substantial resource security risks. ② China's fluorite consumption structure is undergoing rapid transformation, with surging demand in emerging sectors, while traditional metallurgical applications continue to decline. ③ China's fluorochemical industry, though large in scale, remains weak in high-end product capabilities, heavily reliant on imports. Eight multinational corporations dominate 80% of global organic fluorine material production, highlighting urgent needs for technological breakthroughs. ④ China's trade pattern has fundamentally shifted, with 2023 net imports reaching 639 500 tons. Low-grade fluorite imports reflect overdependence on processing trade models. The study concludes that China must enhance competitiveness through multi-channel resource expansion, resource integration, technological innovation, and international cooperation. Recommendations include strengthening comprehensive utilization of co-associated resources, advancing green and low-carbon technologies, optimizing reserve-production ratios, and deepening the Belt and Road initiatives to secure strategic emerging industry demands. Future efforts should prioritize R&D in high-end fluor materials, dismantle technological monopolies, establish a collaborative full-industry-chain mechanism, and drive the fluorite industry toward refinement and low-carbon transformation.

Keywords: fluorite resource; reserve-production ratio; development and utilization; fluorochemical industry; industrial development

0 引言

萤石作为一种重要的战略性非金属矿产资源,在国民经济和现代工业发展中扮演着不可或缺的角色^[1]。随着科技进步和产业升级,萤石的应用领域不断拓展,其资源价值和战略地位日益提升。本文旨在全面分析全球萤石资源的分布及利用状况,深入研究行业发展现状,为相关企业和政策制定者提供参考依据。研究采用文献分析、数据统计和比较研究等方法,系统梳理了全球萤石资源的分布、开发、进出口及产业情况,并对未来发展趋势进行了展望。

近年来,萤石资源因其在战略性新兴产业中的关键地位受到学界广泛关注,相关研究围绕矿床成因、资源战略和产业发展展开多维度探讨。在矿床成因研究方面,张建芳等^[2]系统梳理了全球萤石矿床分布特征与成因类型,指出通过流体包裹体组合分析、H-O-Sr-Ca-Nd同位素示踪、原位稀土元素检测等技术的应用,显著提升了成矿流体来源解析和成矿过程精细化刻画能力,为找矿突破提供理论支撑。资源战略研究揭示了中国萤石产业的严峻形势:商朋强等^[3]指出全球90.9%的产量集中于中国、墨西哥、蒙古国、南非等国家;徐鼎等^[4]研究提出中国虽储量丰富但储产比低于全球均值;刘秋颖^[5]提出目前中国已成为萤石净进口国,对外依存度攀升;刘丙秋^[6]指出“双碳”目标加速了新能源、新材料领域对萤石需求的增长;戴开明等^[7]、赵鹏等^[8]提出供应端受制

于勘查程度低、难选矿占比高及优势资源垄断等问题。多数学者强调伴生资源开发的重要性,高永璋^[9]、张丹仙等^[10]建议重新评估磷矿伴生氟资源并提升综合利用率。产业发展对策形成共识:湛景震等^[11]提出资源管理层面需建立国家数据库、实施战略储备;技术创新方面应推进清洁高效利用技术和精深加工装备研发;李敬等^[12-13]在市场布局上主张国内资源整合与“一带一路”国际合作。特别值得注意的是,研究普遍倡导构建“勘查-开发-应用”全产业链协同机制,通过数字化升级和绿色矿山建设推动产业向精细化、低碳化转型,以应对国际贸易格局变动和全球产业链重构带来的挑战。这些研究成果为保障中国萤石资源安全、提升产业国际竞争力提供了系统性解决方案。

1 萤石资源分布

1.1 全球萤石资源分布

全球萤石矿产资源分布广泛,世界各大洲40多个国家均有发现,但分布呈现极度不均匀特征^[14],主要分布在环太平洋区域的墨西哥、中国、蒙古国及非洲南部的南非等国家和地区,西班牙、伊朗、越南等国家也发现具有工业价值的萤石矿床^[8]。2014—2023年全球萤石资源储量见表1。由表1可知,2014年全球查明萤石资源储量约2.4亿t,随着勘查工作的推进,全球萤石储量持续上升,2020年增长至3.2亿t,达到历史新高。根据美国地质调查局(USGS)Mineral

Commodity Summaries 2024 公布的数据, 2023 年世界探明的萤石储量约 2.8 亿 t(CaF₂), 与 2022 年相比增加了 2 000 万 t。全球萤石资源储量排名前四位的国

家依次为墨西哥 6 800 万 t(24.29%)、中国 6 700 万 t(23.93%)、南非 4 100 万 t(14.64%)、蒙古国 3 400 万 t(12.14%), 合计占全球储量的 74.99%。

表 1 2014—2023 年全球萤石资源储量

Table 1 Global reserves of fluorite resources from 2014 to 2023

| 年份 | 墨西哥 | 中国 | 南非 | 蒙古国 | 西班牙 | 伊朗 | 越南 | 美国 | 肯尼亚 | 泰国 | 英国 | 其他国家 | 全球 |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|--------|
| 2014 | 3 200 | 2 400 | 4 100 | 2 200 | 600 | — | — | 400 | 500 | — | — | 3 000 | 24 000 |
| 2015 | 3 200 | 2 400 | 4 100 | 2 200 | 600 | 340 | — | 400 | 500 | — | — | 3 000 | 25 000 |
| 2016 | 3 200 | 4 000 | 4 100 | 2 200 | 600 | 340 | — | 400 | 500 | — | — | 4 600 | 26 000 |
| 2017 | 3 200 | 4 100 | 4 100 | 2 200 | 600 | 340 | 500 | 400 | 500 | — | 400 | 4 700 | 27 000 |
| 2018 | 6 800 | 4 200 | 4 100 | 2 200 | 600 | 340 | 500 | 400 | — | 360 | 400 | 4 800 | 31 000 |
| 2019 | 6 800 | 4 200 | 4 100 | 2 200 | 1 000 | 340 | 500 | 400 | — | 360 | 400 | 5 200 | 31 000 |
| 2020 | 6 800 | 4 200 | 4 100 | 2 200 | 1 000 | 340 | 500 | 400 | — | — | — | 5 200 | 32 000 |
| 2021 | 6 800 | 4 200 | 4 100 | 2 200 | 1 000 | 340 | 500 | 400 | — | — | — | 5 200 | 32 000 |
| 2022 | 6 800 | 4 900 | 4 100 | 2 200 | 1 000 | 340 | 500 | 400 | — | — | — | 5 900 | 26 000 |
| 2023 | 6 800 | 6 700 | 4 100 | 3 400 | 1 500 | 450 | 340 | — | — | — | — | 8 200 | 28 000 |

单位: 万t

1.2 全球萤石典型矿床特征

墨西哥作为全球重要萤石资源国, 拥有世界级高品位矿床——墨西哥化学公司所属的拉奎瓦(Las Cuevas)萤石矿。该矿床以平均品位 84% 的优质萤石著称, 已探明资源储量超过 5 000 万 t(部分文献显示达 6 400 万 t), 是目前全球规模最大的单一型高品位萤石矿床, 但其矿石含砷量达 300 ppm 的特性限制了应用范围。北美地区近年来加大开发力度, 加拿大圣劳伦斯矿床探明资源量 910 万 t(CaF₂ 42%), 推测资源 95 万 t(31%), 不列颠哥伦比亚省利亚德(Liard)矿床浅部资源量 320 万 t(32%), 深部延伸潜力巨大; 美国阿拉斯加 Lostriuer 矿床为锡钨铍萤石共生矿(440 万 t, 16.3%), 肯塔基州克朗代克 II 矿床探明资源逾 400 万 t。南非 Doornhoek 项目探获 7 130 万 t 低品位萤石资源(平均 14%), 虽然储量规模居世界前列, 但受限于经济性尚未开发。亚洲区域以中国周边国家资源富集为特征: 蒙古国估算资源量超亿吨, 但勘查程度较低, 主要开发主体为中俄企业; 俄罗斯远东滨海地区分布两处超大型矿床; 越南泡山(Nui Phao)钨-萤石多金属矿伴生萤石资源 500 万 t, 具备综合开发价值。

全球萤石资源呈现显著的地质差异性: 北美矿床多中低品位伴生矿(16%~42%), 亚洲以共生型矿床为主, 墨西哥则保有罕见的高品位单一矿床。开发潜力方面, 蒙古国、加拿大深部资源勘探空间较大, 南非超大型低品位矿床尚待技术进步激活开发价值。当前全球萤石开发呈现“高品位优先开发, 伴生资源

梯度利用”的格局, 含砷等有害元素超标问题仍是制约优质资源利用的关键技术瓶颈。

1.3 中国萤石资源分布

中国萤石矿床一般分为单一萤石矿床和共生、伴生萤石矿床两类^[14]。单一萤石矿是中国目前主要开发利用的萤石矿, 也是世界优质萤石矿的主要原料, 其规模相对较小, 矿石质量较优^[15]。伴生萤石矿则具有量大质次、开发利用难的特点^[16]。

根据自然资源部历年公布的《中国矿产资源报告》统计, 2010 年以来, 中国萤石资源总量呈稳中有进的态势, 从 2010 年的 1.80 亿 t 增加到 2020 年的 3.21 亿 t(图 1), 其中, 2017 年以后呈现出快速增长的势头。

根据统计, 2023 年中国萤石储量 9 955.06 万 t(萤石或 CaF₂), 分布在 23 个省份。中国萤石资源分布相对集中, 储量排名前七位的省份依次为内蒙古

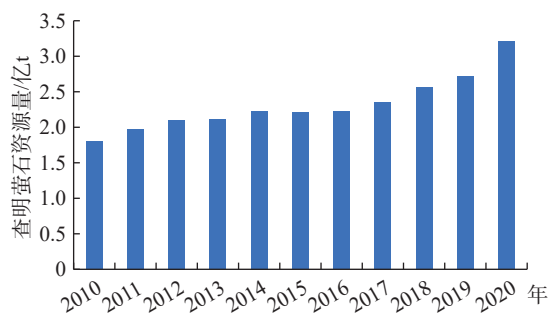


图 1 2010—2020 年中国萤石资源量增长趋势
Fig. 1 Growth trend of fluorite resources in China from 2010 to 2020

(注: 2021 年后数据未公布)

(2 453.45 万 t, 24.65%)、江西(1 606.99 万 t, 16.14%)、新疆(1 047.32 万 t, 10.52%)、浙江(984.34 万 t, 9.89%)、湖南(872.45 万 t, 8.76%)、河南(768.27 万 t, 7.72%)、福建(692.09 万 t, 6.95%), 合计占全国萤石储量总量的 84.63%(图 2)。

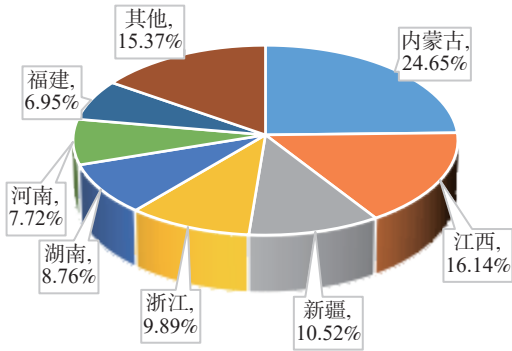


图 2 2023 年中国萤石储量分布
Fig. 2 Distribution of fluorite reserves in China in 2023

根据中国矿业联合会统计,截至 2023 年底,中国保有萤石资源量约 3.86 亿 t,其中,伴生矿 2.40 亿 t,占 62.13%,单一矿 1.46 亿 t,占 37.87%^[17]。单一型萤石资源分布不平衡,以华东四省(浙江、江西、福建、安徽)和内蒙古、新疆等地为主,占单一型矿床的 75%。伴生型萤石矿主要集中在湖南、云南、内蒙古、四川等地,以有色金属伴生萤石矿、铁-稀土伴生萤石矿、铁伴生萤石矿、稀土伴生萤石矿等类型为主,萤石矿规模与主矿种规模呈正比,资源量较大。萤石资源总量以内蒙古为首,达 1.8 亿 t,占 46.69%,已接近全国的一半;湖南次之,为 8 700 余万 t。单一型萤石矿以内蒙古为首,江西与浙江资源量相近。

2 中国萤石勘查开发利用情况

2.1 萤石探矿权情况

根据统计,截至 2023 年 12 月,中国萤石探矿权有 294 宗。294 宗探矿权中,江西 109 宗,居全国首位;其他依次为浙江 59 宗,内蒙古 47 宗,福建 30 宗,河南 11 宗,安徽、贵州各 7 宗,甘肃、河北、新疆各 5 宗,湖南、广东、四川各 2 宗,广西、海南、黑龙江各 1 宗(图 3)。

2.2 萤石资源开发利用情况

2.2.1 萤石采矿权情况

2019—2023 年间,受各地矿山规模准入政策的实施,以及萤石需求量上行影响,采矿权数量由 2019 年的 802 座减少到 2023 年的 744 座;生产矿山在 2021 年、2022 年有所增长,在 2023 年又回落至与 2019 年相同的水平。萤石矿山的核定规模和矿石产量在五年间有了大幅增长,生产矿山核定规模由 2019 年的 564.3 万 t 提升至 2023 年的 1 059.45 万 t,矿

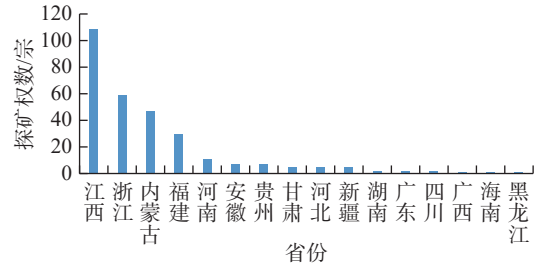


图 3 2023 年中国萤石探矿权情况
Fig. 3 Fluorite exploration rights in China in 2023

石产量由 2019 年的 331.33 万 t 提升至 2023 年的 618.88 万 t(图 4)。

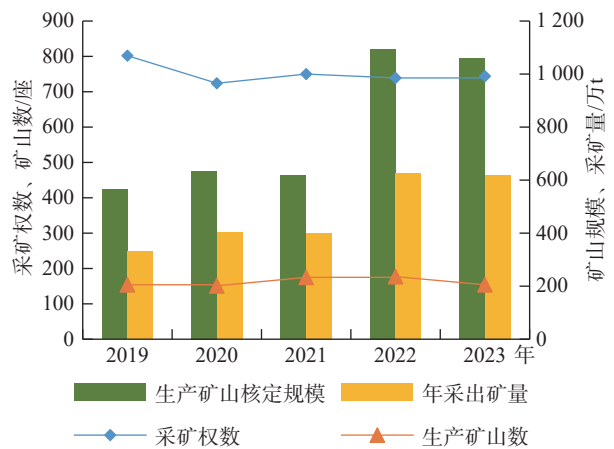


图 4 2019—2023 年中国萤石采矿权情况
Fig. 4 Fluorite mining rights in China from 2019 to 2023

截至 2023 年底,中国萤石在产矿山 154 座(大型矿山 24 座),开工率 20.70%,在产矿山萤石矿核定产能 1 059.45 万 t,采出萤石矿 618.88 万 t,在产矿山产能利用率 58.42%,其中,大型矿山采出矿石 330.31 万 t,集约化程度为 53.37%。

2023 年各省份萤石矿山产量如图 5 所示。由图 5 可知,2023 年,中国单一萤石矿主产省份有浙江(184.50 万 t, 29.81%)、江西(112.92 万 t, 18.25%)、湖南(100.05 万 t, 16.17%)、内蒙古(62.99 万 t, 10.17%)、

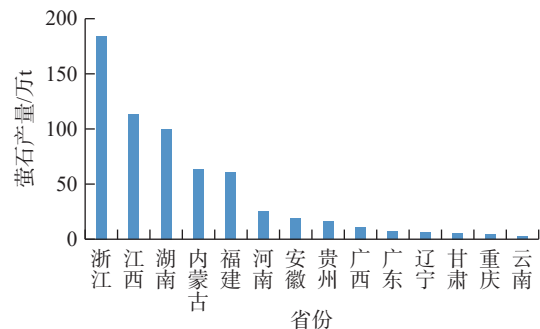


图 5 2023 年中国各省份萤石矿山产量
Fig. 5 Production of fluorite mines in various provinces in China in 2023

福建(60.59万t, 9.79%)。上述五省区萤石矿采出矿石量合计521.05万t, 占全国年度萤石矿总采出矿石量的84.19%。总体而言, 中国萤石主产地依旧集中于江西上饶、浙江衢州、浙江丽水、江西赣州、河北承德、福建南平、浙江金华、内蒙古乌兰察布、内蒙古锡林郭勒盟、河南洛阳等地。

中国伴生型萤石企业十余家, 其中八家有明确的萤石产量。伴生矿中萤石的利用在2022年及以前主要集中在湖南, 年产接近60万t, 2023年有所回落, 也达到了51万t。内蒙古铁矿、稀土矿中的伴生萤石矿异军突起, 2023年产量突破了50万t, 已与湖南基本持平。四川、云南、重庆和贵州等四省市也有部分产出。伴生萤石矿山以铁稀土萤石、钨萤石、稀土萤石、铅锌萤石等共生矿床的利用为主, 主要有内蒙古包头市白云鄂博铁矿, 湖南省章弘源化工有限责任公司界牌岭多金属矿山, 湖南柿竹园有色金属有限责任公司柿竹园钨锡钼多金属矿及其关联企业湖南有色郴州氟化学公司, 四川江铜稀土有限责任公司冕宁县牦牛坪稀土矿等。

2.2.2 萤石开发利用水平及固废综合利用情况

2023年, 中国单一型萤石矿消耗储量699.94万t, 平均开采回采率88.42%; 萤石矿入选矿石量508.51万t, 平均选矿回收率85.09%。截至2023年底, 中国萤石矿尾矿库39座, 累计堆存尾矿1362.70万t, 当年产生尾矿256.26万t, 利用尾矿203.70万t, 平均尾矿利用率79.49%; 萤石矿废石堆123个, 累计产生废石4838.90万t, 当年产生废石676.88万t, 当年利用废石349.08万t, 废石利用率51.57%。

3 萤石产量

3.1 全球萤石产量

根据USGS数据, 近十年来全球萤石产量呈现

波动式增长特征, 年均复合增长率达3.2%。中国始终占据主导地位, 产量由2014年的380.0万t增至2023年的570.0万t, 贡献全球总产量的64.8%, 在2020年突破540.0万t后形成产量平台期。墨西哥作为传统生产大国, 产量在91.5万~123.0万t区间震荡, 2023年保持100.0万t规模, 占全球总量的11.4%。蒙古国成为最显著增长极, 产量从37.5万t激增至93.0万t, 2023年同比增幅达118.8%, 跃居全球第三大生产国。南非、越南等新兴产区持续发力, 南非产量由28.5万t攀升至41.0万t, 越南则从零起步稳定在17.0万~23.9万t区间。值得注意的是, 全球生产格局呈现集中化趋势, 前三大生产国(中国、墨西哥、蒙古国)产量占比从2014年的82.7%提升至2023年的86.6%, 而其他国家产量从57.4万t缩减至17.0万t(表2)。这种结构性变化反映出全球萤石资源开发向资源禀赋优越区域集聚的特征, 同时印证了主要经济体加强战略性矿产资源控制的政策导向。

近年来, 国外萤石供应主要矿山有墨西哥Las Cuevas(拉斯库瓦斯)、加拿大St. Lawrence(圣劳伦斯)、南非Nokeng(诺坑)、越南Nui Phao、摩洛哥Taourirt(陶里尔特)及蒙古国的一批矿山。此外, 巴基斯坦、缅甸、泰国、尼日利亚、赞比亚等国为近年来新的萤石供应产地。

3.2 储采比与资源保障

随着中国新一轮找矿突破战略行动的实施, 中国萤石储量规模近些年来快速增长, 目前位居全球前列, 但是随着高强度开发, 中国萤石资源的保障程度离全球平均水平和主要萤石储量国仍有较大差距。中国单一型萤石矿床2023年消耗储量699.94万t, 截至2023年底, 中国萤石保有储量9955.06万t, 储采比为14.22; 根据Mineral Commodity Summaries 2024数

表2 2014—2023年全球萤石产量

Table 2 Global fluorite production from 2014 to 2023

| 年份 | 中国 | 墨西哥 | 蒙古国 | 南非 | 越南 | 西班牙 | 伊朗 | 德国 | 巴基斯坦 | 其他国家 | 全球 |
|------|-------|-------|------|------|------|------|------|-----|------|------|-----|
| 2014 | 380.0 | 111.0 | 37.5 | 28.5 | 0 | 9.8 | 9.0 | 6.0 | 0 | 57.4 | 639 |
| 2015 | 440.0 | 103.0 | 23.1 | 13.5 | 16.8 | 9.8 | 8.0 | 4.0 | 0 | 49.2 | 667 |
| 2016 | 380.0 | 98.8 | 20.2 | 16.5 | 17.5 | 13.0 | 4.0 | 5.0 | 0 | 37.8 | 593 |
| 2017 | 350.0 | 102.0 | 22.0 | 25.7 | 23.6 | 14.2 | 7.0 | 5.5 | 0 | 18.5 | 568 |
| 2018 | 400.0 | 108.0 | 60.5 | 24.2 | 23.9 | 14.5 | 7.0 | 4.5 | 0 | 29.4 | 672 |
| 2019 | 430.0 | 123.0 | 71.8 | 21.0 | 23.8 | 13.9 | 5.5 | 5.0 | 10.0 | 41.6 | 746 |
| 2020 | 540.0 | 91.5 | 68.5 | 33.0 | 22.0 | 13.1 | 5.6 | 8.0 | 5.5 | 36.9 | 824 |
| 2021 | 570.0 | 100.0 | 65.0 | 40.3 | 21.5 | 15.5 | 5.0 | 6.5 | 6.5 | 37.7 | 868 |
| 2022 | 570.0 | 100.0 | 42.5 | 40.6 | 21.8 | 15.3 | 11.6 | 6.0 | 5.2 | 19.0 | 832 |
| 2023 | 570.0 | 100.0 | 93.0 | 41.0 | 17.0 | 15.0 | 12.0 | 6.0 | 5.2 | 17.0 | 880 |

资料来源: USGS。

据,中国萤石储量 6 700 万 t,年产量 570 万 t,储采比仅 11.75;如果按目前生产矿山核定产能满负荷生产,中国萤石储采比 9.40,低于全球 31.82 的平均水平,更远低于墨西哥的 68.00 和南非的 100.00(表 3)。

表 3 2014—2023 年全球及主要国家萤石资源储采比

Table 3 Global and major countries' fluorite resource reserve production ratio from 2014 to 2023

| 年份 | 储采比(储量/产量) | | | | | | | | |
|------|------------|-------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
| | 中国 | 墨西哥 | 蒙古国 | 南非 | 越南 | 西班牙 | 伊朗 | 其他国家 | 全球 |
| 2014 | 6.32 | 28.83 | 58.67 | 143.86 | — | 61.22 | — | 52.26 | 37.56 |
| 2015 | 5.45 | 31.07 | 95.24 | 303.70 | — | 61.22 | 42.50 | 60.98 | 37.48 |
| 2016 | 10.53 | 32.39 | 108.91 | 248.48 | — | 46.15 | 85.00 | 121.69 | 43.84 |
| 2017 | 11.71 | 31.37 | 100.00 | 159.53 | 21.19 | 42.25 | 48.57 | 254.05 | 47.54 |
| 2018 | 10.50 | 62.96 | 36.36 | 169.42 | 20.92 | 41.38 | 48.57 | 163.27 | 46.13 |
| 2019 | 9.77 | 55.28 | 30.64 | 195.24 | 21.01 | 71.94 | 61.82 | 125.00 | 41.55 |
| 2020 | 7.78 | 74.32 | 32.12 | 124.24 | 22.73 | 76.34 | 60.71 | 140.92 | 38.83 |
| 2021 | 7.37 | 68.00 | 33.85 | 101.74 | 23.26 | 64.52 | 68.00 | 137.93 | 36.87 |
| 2022 | 8.60 | 68.00 | 51.76 | 100.99 | 22.94 | 65.36 | 29.31 | 310.53 | 31.25 |
| 2023 | 11.75 | 68.00 | 36.56 | 100.00 | 20.00 | 100.00 | 37.50 | 482.35 | 31.82 |

4 进出口情况

4.1 进出口数量

作为全球萤石供应链的重要参与者,中国贸易格局呈现显著转变。中国萤石出口量在 2000 年前保持主导地位。进入 21 世纪后,出口规模呈现震荡下行态势:2009 年受全球金融危机冲击,出口量跌至 26.94 万 t 历史低点;2012 年后基本维持在 30 万~50 万 t 区间。2018 年历史性实现净进口逆转,当年中国首次实现萤石净进口,标志着从传统出口国向消费国的战略转型。特别是 2023 年,进口总量达 101.71 万 t,出口总量为 37.76 万 t,净进口量突破 63.95 万 t,创历史新高(图 6)。

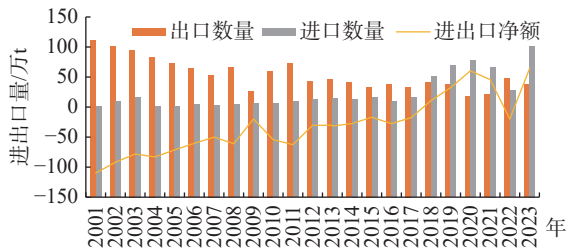


图 6 2001—2023 年中国萤石进出口量

Fig. 6 Import and export volume of fluorite in China from 2001 to 2023

4.2 进出口产品结构

贸易数据揭示显著的品质分化特征:中国的低品位萤石($\text{CaF}_2 \leq 97\%$)占进出口主导地位,2023 年占比达 85.77%。其中,进口量(100.09 万 t)是出口量(19.54 万 t)的 5.12 倍,但进口均价(149.23 美元/t)仅为出口均价(408.65 美元/t)的 36.52%,印证“进口原矿-出口精矿”的加工贸易模式。高纯度萤石($\text{CaF}_2 >$

97%)则保持顺差优势,2023 年出口量 18.45 万 t 是进口量 1.63 万 t 的 11.32 倍,出口均价(463.81 美元/t)显著高于进口均价(396.34 美元/t)。两类产品进出口总额达 3.19 亿美元,构建起差异化贸易体系,具体数据见表 4。

世界萤石消费市场呈现显著地域集中性,中国、美国、日本、西欧及俄罗斯构成主要消费主体,其中,中国占据全球消费总量约 60% 的核心地位。从供应链结构看,全球萤石资源分布与消费市场存在显著空间错配,除中国、墨西哥兼具资源供给能力外,美国、欧盟工业国(含德国、意大利、法国、英国)及日本等主要经济体均高度依赖进口渠道。具体而言,美国作为第二大消费国,其进口网络覆盖墨西哥、越南、南非及中国等多源供应体系;欧盟国家则形成以墨西哥、南非、纳米比亚为传统来源,并向肯尼亚、摩洛哥、蒙古国等新兴供应地拓展的多元化采购格局,同时辅以中国、印度的氟化工初级产品补充。这种供需地理分离现象凸显了萤石作为战略矿产的全球资源配置复杂性。

5 萤石行业分析

5.1 萤石产业链分析

萤石作为工业重要矿物原料,被广泛应用于冶金工业、光学工业、建材工业、化学工业,甚至医学领域^[18]。萤石按氟化钙含量和用途可分为三类:化工或酸级萤石(CaF_2 含量超过 97%,俗称萤石精矿)、冶金级萤石(CaF_2 含量 75%~95%,俗称萤石块矿)和陶瓷级萤石(CaF_2 含量 85%~95%,俗称萤石矿粉)。

萤石产业链如图 7 所示^[19-20]。由图 7 可知,在具体应用方面,化工或酸级萤石主要用于氟化工产业,

表4 2016—2023年中国萤石进出口情况

Table 4 Import and export of fluorite in China from 2016 to 2023

| 年份 | 低品位萤石 (CaF ₂ ≤97%) | | | | | |
|------|-------------------------------|-----------|-----------|--------|-----------|-----------|
| | 进口 | | | 出口 | | |
| | 数量/万 t | 金额/万美元 | 单价/(美元/t) | 数量/万 t | 金额/万美元 | 单价/(美元/t) |
| 2016 | 7.51 | 1 017.96 | 135.62 | 17.38 | 4 004.25 | 230.33 |
| 2017 | 14.02 | 2 055.26 | 146.57 | 18.41 | 4 232.35 | 229.94 |
| 2018 | 41.98 | 6 781.69 | 161.56 | 20.21 | 5 809.08 | 287.44 |
| 2019 | 56.75 | 8 743.90 | 154.09 | 18.35 | 5 353.43 | 291.68 |
| 2020 | 60.77 | 7 909.60 | 130.16 | 10.52 | 3 463.46 | 320.36 |
| 2021 | 55.20 | 7 788.89 | 141.11 | 16.21 | 6 715.43 | 414.31 |
| 2022 | 25.66 | 5 013.20 | 195.40 | 24.22 | 10 242.50 | 423.00 |
| 2023 | 100.09 | 14 643.30 | 149.23 | 19.54 | 8 045.68 | 408.65 |

| 年份 | 高纯度萤石 (CaF ₂ >97%) | | | | | |
|------|-------------------------------|----------|-----------|--------|-----------|-----------|
| | 进口 | | | 出口 | | |
| | 数量/万 t | 金额/万美元 | 单价/(美元/t) | 数量/万 t | 金额/万美元 | 单价/(美元/t) |
| 2016 | 2.36 | 534.54 | 226.29 | 20.09 | 4 821.98 | 240.05 |
| 2017 | 2.21 | 538.56 | 244.02 | 15.28 | 4 074.69 | 266.64 |
| 2018 | 9.10 | 2 529.31 | 278.10 | 20.19 | 8 038.06 | 398.03 |
| 2019 | 13.01 | 3 841.75 | 295.20 | 19.06 | 7 807.72 | 409.65 |
| 2020 | 17.06 | 4 672.96 | 273.86 | 7.07 | 2 989.09 | 422.77 |
| 2021 | 11.61 | 3 248.93 | 279.92 | 4.74 | 2 043.10 | 431.42 |
| 2022 | 2.21 | 680.80 | 308.30 | 23.57 | 10 985.20 | 466.10 |
| 2023 | 1.63 | 646.04 | 396.34 | 18.45 | 8 603.85 | 463.81 |

萤石矿中的氟元素难以直接提取,须将萤石原矿加工为粉状并提炼为高纯度酸级萤石精粉,随后与工业硫酸反应生产出化学活性极高的无水氢氟酸(AHF)^[20],再以氢氟酸合成各种氟碳化合物和含氟精细化学品,以及提取高纯电子级氢氟酸,供下游氟化工行业使用。冶金级萤石主要作为钢铁冶炼和部分有色金属冶炼的助溶剂、排渣剂等。萤石在高温下可稀释高炉渣,增强其流动性,促进硫、磷杂质进入炉渣,从而实现脱硫、脱磷,提升钢铝产品的质量和金属的加工性能。陶瓷级萤石则作为助熔原料和主要配料,应用于陶瓷、玻璃、水泥的生产过程。萤石自身具备低色散、低折射率,以及对紫外线和红外线滤光性高等特性,基于这些优势,它常被用于制作棱镜、高质量的光学元件。不仅如此,天然萤石块矿还能够加工制作成标本、工艺品,甚至能作为饰面石材使用。

5.2 萤石消费结构

5.2.1 全球萤石消费结构

目前,全球萤石消费以冶金炼钢和氟化工行业为主要消费领域,冶金消耗40%,氢氟酸消耗36%,建材、玻璃、陶瓷等消耗21%,其他消费领域消耗3%,消费结构如图8所示。

全球氟化工产业格局呈现显著寡头垄断特征。行业核心产能高度集中于美国、日本、欧盟三大经济体的八家跨国企业集团,包括杜邦(美国)、苏威苏莱克斯(比利时、法国)、大金工业(日本)、3M公司(美国)、旭硝子(日本)、阿科玛(法国)、易诺斯(德国)及霍尼韦尔(美国)^[22]。这些企业通过数十年的战略并购与产业整合,构建起贯穿氟化工全产业链的业务版图。上述八家企业合计掌控全球80%的有机氟材料产能和70%的气态氟化学品产能,其竞争优势体现在:一是依托发达国家成熟的化工产业基础,构建技术壁垒;二是通过全球化采购体系,实现萤石等战略原料的稳定供应;三是凭借专利布局形成市场准入壁垒,维持超额利润。这种寡头竞争格局导致新兴企业难以突破关键技术封锁,全球氟化工市场集中度呈现持续强化态势。

5.2.2 中国萤石消费结构

中国萤石资源的核心应用领域集中在氟化工和炼铝工业产业,两大领域合计占据总消费量的80%(占比分别达到56%和24%),具体消费结构如图9所示。在宏观经济调控政策持续发力的背景下,制冷设备制造、金属冶炼及建筑材料等传统产业对萤石的需求呈现企稳回升态势。值得注意的是,以高纯电子化学品、含氟新能源材料和特种聚合物为代

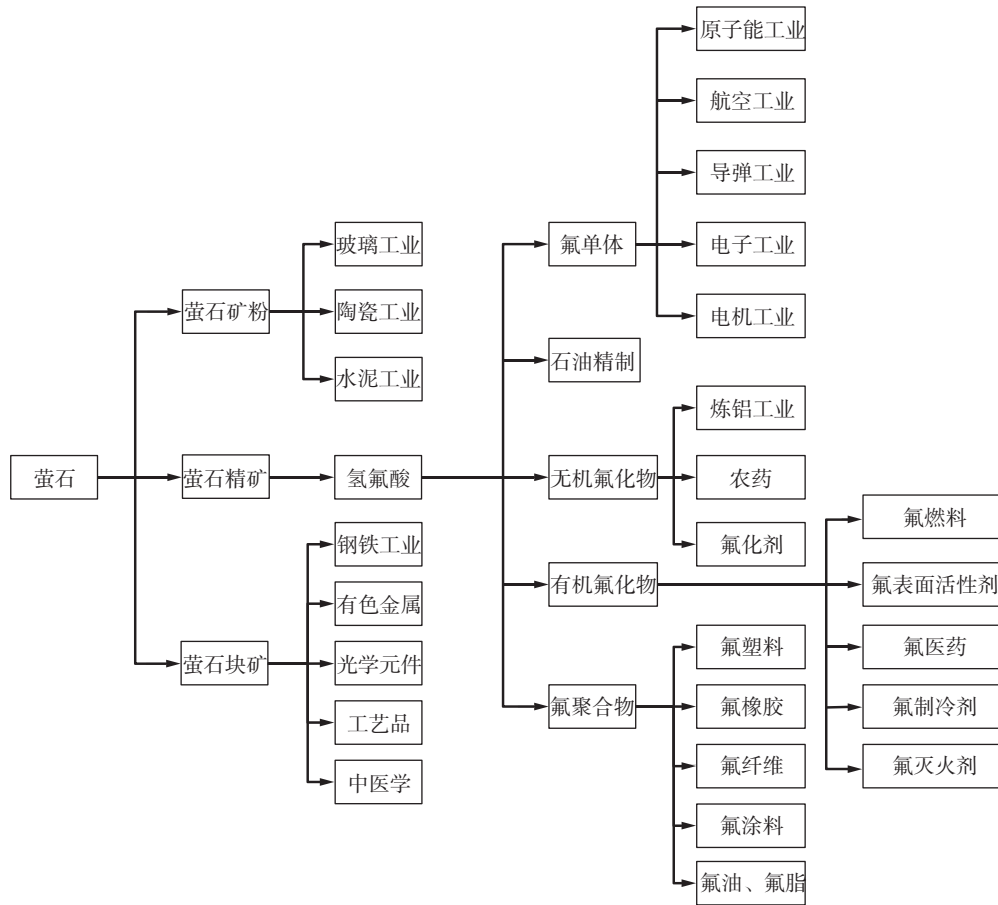


图 7 萤石产业链

Fig. 7 Industry chain of fluorite

表的新兴产业异军突起,其年均复合增长率显著高于传统领域,这些战略性新兴产业的蓬勃发展预计将形成持续的增量需求空间,为萤石产业链开辟全新增长极。

作为重要的非金属矿物原料,萤石(主要成分为氟化钙)因其独特的氟元素赋存特性,在现代化工体系中占据关键地位。本文研究表明,全球萤石消费结构已发生显著转型:传统冶金领域需求持续收缩,氟化工产业链已成为核心应用方向。2023 年行业数据显示,氢氟酸生产环节的酸级萤石消耗量已突破

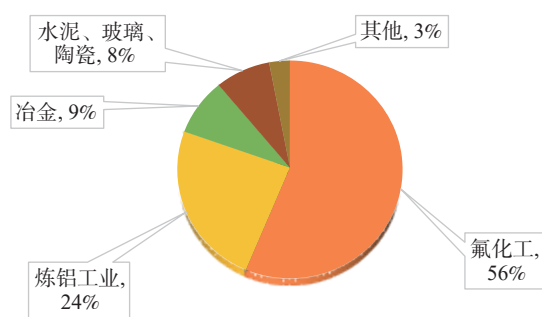


图 9 2023 年中国萤石消费结构

Fig. 9 Consumption structure of fluorite in China in 2023

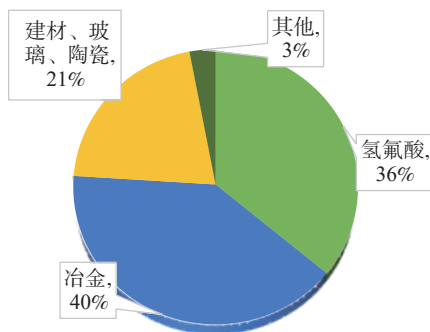


图 8 全球萤石消费结构

Fig. 8 Global consumption structure of fluorite

600 万 t, 占全球总消费量的 58.3%, 主要用于合成氟碳化合物、含氟精细化学品及制备高纯电子级氢氟酸等高端产品。在传统应用领域, 钢铁冶炼行业的萤石年消耗量已缩减至 150 万 t, 主要归因于新型助熔剂替代技术的普及。铝冶炼行业虽因电解工艺改进导致整体需求下降, 但氟化铝生产仍保持稳定, 年消耗量维持在 110 万 t 以上。值得注意的是, 低品位萤石在水泥、玻璃、陶瓷等传统行业的年消耗量已降至 100 万 t 以下, 其经济价值与产业关注度显著降低。新兴领域展现出强劲增长态势, 新能源产业对

萤石的消耗量呈现指数级增长。根据2023年统计数据,光伏组件制造、锂电材料制备等环节的萤石年消耗量已达100万t,基于当前技术迭代速度预测,至2030年该数值将突破500万t,年均复合增长率达29.7%。这种结构性转变反映出全球能源转型对基础原材料的深层次影响,同时也对萤石提纯技术提出更高要求,特别是电子级($\geq 99.99\%$)产品的制备工艺已成为行业技术攻关重点。

5.3 行业发展趋势分析

5.3.1 全球萤石行业发展趋势

近年来全球经济增速放缓叠加逆全球化冲击,传统工业(冶金、化工、建材)对萤石需求显著收缩,欧洲、北美及日本市场氢氟酸及氟碳化合物消费量持续下滑。与此同时,全球供应端受产能扰动影响加剧:墨西哥Koura等头部企业因安全问题停产,加拿大主要生产产能受限,美英等发达国家开采能力不足,导致萤石供应趋紧,蒙古国等新兴资源国成为关键补充。国际环保法规趋严推动行业技术迭代,《蒙特利尔议定书》修正案加速了低全球变暖潜能值制冷剂(如第四代HFOs)研发与应用,发达国家凭借高端氟材料(电子气体、含氟精细化学品)的专利壁垒维持垄断地位,发展中国家承接中低端产能转移但仍面临技术突破压力。

随着新能源领域市场渗透率不断增加、制冷剂市场第四代产品逐步换代、新型助熔剂替代技术普及和绿色生产转型等影响,根据下游各行业近年来复合增长率来预测,2030年全球萤石总需求预计达1 585万~1 765万t,其中,制造氢氟酸需求1 265万~1 380万t,钢铁和铝冶炼需求180万~225万t,其他领域(包括水泥、陶瓷、玻璃、光学材料等)需求140万~160万t;2035年全球萤石总需求将突破2 000万t,其中,制造氢氟酸需求1 610万~1 725万t,钢铁和铝冶炼需求180万~225万t,其他领域需求180万~190万t。

5.3.2 中国萤石行业发展趋势分析

中国加大工业转型步伐,通过汽车、电子、轻工、环保、航空航天、新能源及氟化工产业扩张拉动内需,氢氟酸价格攀升对萤石市场形成支撑。第三代制冷剂供需缺口扩大叠加新兴领域(六氟磷酸锂、光伏、半导体)需求增长,长期驱动氟化工产业链景气上行。尽管中国氢氟酸产能居全球首位,但高端产品(如电子级氢氟酸)仍依赖进口,核心技术(低GWP制冷剂、含氟聚合物)亟待突破。未来产业将向深加工延伸,聚焦电子化学品、氟碳涂料等高附加值领域,同时依托“双碳”政策推动绿色技术研发,

加速氟聚合物(过滤膜、燃料电池组件)在环保、航天等场景的规模化应用,进一步释放酸级萤石需求潜力。

中国作为全球最大萤石消费国,2030年萤石资源总需求量预计达到1 074万~1 221万t,其中,制造氢氟酸需求874万~966万t,钢铁和铝冶炼需求量120万~155万t,其他领域需求80万~100万t;2035年萤石总需求量1 360万~1 520万t,其中,氢氟酸需求1 150万~1 265万t,钢铁和铝冶炼需求量120万~145万t,其他领域需求90万~110万t。

6 中国萤石行业现状

1)中国的萤石资源占据优势地位。2023年,全球萤石储量2.8亿t,中国拥有6 700万t,储量居全球第二位;全球萤石产量880万t,中国产量为570万t,占全球产量的65%;中国萤石消费量占全球的60%左右。中国在萤石行业具有资源优势、供应优势和消费优势,在全球萤石行业具有绝对影响力。

2)中国萤石资源储采比严重失衡。2023年中国萤石储采比仅为11.75(全球均值31.82)。高强度开采下,满负荷生产将使储采比降至9.40。单一型资源保障不足短期无解,且新增矿产地偏远难开发,资源紧缺将长期持续。资源压力直接引发供应模式转变:2018年中国首次出现萤石净进口,标志着从出口国向消费国转型。2023年净进口量达63.95万t(进口101.71万t,出口37.76万t),创历史新高,凸显保障缺口持续扩大。

3)中国萤石矿山开工率低,且规模小而散。2023年,全国744宗萤石采矿权中在产矿山仅有154座,开工率仅为20.70%;在产矿山萤石矿核定产能1 059.45万t,采出萤石矿618.88万t,在产矿山产能利用率58.41%;且在在产154座矿山中,大型矿山仅有24座,大型矿山数占比仅为15.58%,矿山整体规模小而散。

4)萤石的消费结构发生变革。随着中国加快工业转型升级,萤石在新能源中的应用日趋重要,战略性新兴产业对高性能氟聚合物、新型制冷剂、含氟精细化工品的需求也将持续增加,与此同时,冶炼和传统建材行业中萤石替代技术不断攻关,萤石的消费结构将发生巨大变革。

5)中国萤石行业面临迫切的技术创新。随着长期资源开采和环保安全压力的增加,中国萤石低品位矿多、伴生矿多、开发利用成本高的局面将长期存在,而且随着蒙古国高磷萤石、墨西哥高砷萤石、南非高铁萤石等进口矿石增加,迫切需要在资源开采、预处理、选矿、综合利用方面加强技术创新,提

高资源利用效率和经济效益。下游高端产品,如电子级氢氟酸、导体级含氟聚合物、高性能氟橡胶、高纯度含氟电子特气等国产自给率较低,部分核心技术仍受制于国外企业。

7 中国萤石产业发展建议

1) 多渠道增储。国家层面应在新一轮找矿突破战略行动中加大萤石资源的勘查力度,增加勘查投入,不仅提升已有矿产地资源储量级别,还要寻找新的矿产地;企业应加强自身资源成矿规律的研究,鼓励在矿山深部和周边进行找矿,提升矿产资源勘查程度,延长矿山服务年限;深化“一带一路”合作,聚焦蒙古国、墨西哥、缅甸、越南、南非等萤石资源富集区,精准布局海外项目,鼓励有能力的企业走向国外拿矿,积极参与开发境外萤石资源。

2) 提高规模化水平。调整矿山规模结构,加快推进萤石矿业权整合勘查开采和小型矿山改造升级,提高大中型矿山占比,优化资源配置,实现萤石资源整合开发,加强绿色矿山建设。同时限制单一型萤石矿山的产能,提高新建矿山最低开采规模和最低设计服务年限,大幅提升矿山生产、生态修复、安全保障能力,以规模化水平摊销建设生产成本。

3) 加强资源综合利用水平。在矿山采矿环节鼓励采取充填方式,提升矿山开采回采率,加大废石尾矿消耗;在选矿环节增加矿石重选、光电等预处理,改进萤石选矿技术,研发高效的浮选药剂、工艺流程和设备,提高萤石的选矿回收率;针对稀土、铁、有色金属、方解石、重晶石、石英等矿产中伴生萤石资源,加大综合利用技术攻关,提升伴生萤石的综合利用率。构建萤石资源回收体系,对钢铁、电解铝等行业的含氟废渣进行氟元素提取,回收废弃电子产品中含氟部件,加强工业含氟废弃物的循环利用。研发磷肥生产过程中的含氟废气的回收,加强磷肥副产品氟硅酸为原料生产电子级氢氟酸工艺的推广。

4) 推动下游产业拓展。重点围绕新能源、电子信息 and 高端制造需求,加速开发电子级氢氟酸、含氟聚合物等高端产品。加强核心技术攻关,突破全氟聚醚润滑剂、含氟液晶单体、氟碳涂层、医药中间体等关键技术。通过构建自主创新体系,逐步打破国外在含氟膜材料、电子特气等领域的技术垄断,形成覆盖原料到终端应用的完整产业链,提升萤石产业国际竞争力。

参考文献(References):

[1] 唐远,朱奥妮,陈琲琲,等.我国战略性非金属矿产分离技术发展[J].化工矿物与加工,2022,51(11):19-31,37.

TANG Yuan, ZHU Aoni, CHEN Beibei, et al. Research and development of technologies for separating strategic non-metallic minerals in China[J]. *Industrial Minerals & Processing*, 2022, 51(11): 19-31, 37.

[2] 张建芳,陈浩然,伍江涵,等.萤石矿床成因研究方法与发展趋势[J].西北地质,2024,57(4):97-112.

ZHANG Jianfang, CHEN Haoran, WU Jianghan, et al. Review on the progress of genetic research methods of fluorite deposits[J]. *Northwestern Geology*, 2024, 57(4): 97-112

[3] 商朋强,焦森,屈云燕,等.世界萤石资源供需形势分析及对策建议[J].国土资源情报,2020(10):104-109.

SHANG Pengqiang, JIAO Sen, QU Yunyan, et al. Analysis of supply-demand situation of fluorite resources in the world and countermeasures[J]. *Natural Resources Information*, 2020(10): 104-109.

[4] 徐鼎,吕晶,刘倩,等.中国萤石资源进出口贸易现状特征分析及建议[J].现代矿业,2019,35(10):12-15.

XU Ding, LYU Jing, LIU Qian, et al. Analysis of current characteristics and suggestions for China's fluorite resource import-export trade[J]. *Modern Mining*, 2019, 35(10): 12-15.

[5] 刘秋颖.中国萤石资源供需形势分析及对策建议[J].矿产勘查,2024,14(10):1798-1804.

LIU Qiuying. Analysis of supply-demand situation of fluorite resources in China and suggestions[J]. *Mineral Exploration*, 2024, 14(10): 1798-1804.

[6] 刘丙秋.碳达峰、碳中和进程中萤石行业发展趋势研究[J].化工矿产地质,2024,46(1):1-6.

LIU Bingqiu. Research on the development trend of fluorite industry in the process of carbon emissions peak and carbon neutralization[J]. *Geology of Chemical Minerals*, 2024, 46(1): 1-6.

[7] 戴开明,车长波,王福良.萤石资源勘查开发利用管理的建议[J].中国矿业,2021,30(9):32-35.

DAI Kaiming, CHE Changbo, WANG Fuliang. Suggestions on exploration, development and utilization management of fluorite resources[J]. *China Mining Magazine*, 2021, 30(9): 32-35.

[8] 赵鹏,郑厚义,张新,等.中国萤石产业资源现状及发展建议[J].化工矿产地质,2020,42(2):178-183.

ZHAO Peng, ZHENG Houyi, ZHANG Xin, et al. Resource actualities and demand countermeasures of fluorite in China[J]. *Geology of Chemical Minerals*, 2020, 42(2): 178-183.

[9] 高永璋.基于我国战略性矿产萤石及磷矿的氟资源供应形势研究及建议[J].中国矿业,2024,33(10):44-53.

GAO Yongzhang. Research and suggestions on the supply situation of fluorine resources based on China's strategic mineral resources of fluorite and phosphate rock[J]. *China Mining Magazine*, 2024, 33(10): 44-53.

[10] 张丹仙,亢建华,黄红军,等.萤石资源开发利用现状与战略意义[J].过程工程学报,2024,23(1):1-14.

ZHANG Danxian, KANG Jianhua, HUANG Hongjun, et al. Exploitation and utilization of fluorite and its strategic significance[J]. *The Chinese Journal of Process Engineering*, 2024, 23(1): 1-14.

[11] 湛景震,高志勇,范才兵,等.我国萤石资源利用现状和战略规划分析[J].矿业研究与开发,2024,44(5):251-259.

ZHAN Jingzhen, GAO Zhiyong, FAN Caibing, et al. Utilization status and strategic planning of fluorite resources in China[J]. *Mining*

- Research and Development, 2024, 44(5): 251-259.
- [12] 李敬, 高永璋, 张浩. 中国萤石资源现状及可持续发展对策[J]. 中国矿业, 2017, 26(10): 7-14.
LI Jing, GAO Yongzhang, ZHANG Hao. Fluorite resource status and its sustainable development countermeasures in China[J]. China Mining Magazine, 2017, 26(10): 7-14.
- [13] 李敬, 张寿庭, 商朋强, 等. 萤石资源现状及战略性价值分析[J]. 矿产保护与利用, 2019, 39(6): 62-68.
LI Jing, ZHANG Shouting, SHANG Pengqiang, et al. Present situation and analysis of strategic value of fluorite resource[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2019, 39(6): 62-68.
- [14] 刘道荣, 商朋强. 中国萤石矿床分类及稀土元素地球化学特征[J]. 地质与勘探, 2024, 59(2): 211-222.
LIU Daorong, SHANG Pengqiang. Classification and REE geochemical characteristics of fluorite deposits in China[J]. Geology and Exploration, 2024, 59(2): 211-222.
- [15] 林嘉威. 难选萤石浮选工艺及机理研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古科技大学, 2021.
- [16] 余新阳, 王强强, 王浩林, 等. 某铅锌尾矿中复杂难选伴生萤石选矿试验研究[J]. 非金属矿, 2016, 39(4): 71-73.
YU Xinyang, WANG Qiangqiang, WANG Haolin, et al. Research on the mineral processing experiments of the refractory associated fluorite of some lead and zinc tailing[J]. Non-Metallic Mines, 2016, 39(4): 71-73.
- [17] 中国矿业联合会. 中国萤石行业报告(2024年)[R]. 2024.
- [18] 许海, 刘海涛, 贾元琴, 等. 关于中国萤石矿产业发展的思考[J]. 四川有色金属, 2021(3): 2-5, 51.
XU Hai, LIU Haitao, JIA Yuanqin, et al. Reflection on the development of fluorite industry in China[J]. Sichuan Nonferrous Metals, 2021(3): 2-5, 51.
- [19] 中国无机盐工业协会, 中国石油和化学工业联合会新材料专业委员会. 中国新能源材料产业发展报告 2023[R]. 2024.
- [20] 中国无机盐工业协会. 中国无机盐工业年鉴 2022[R]. 2022.
- [21] 李龙伍, 王洪奎, 安东, 等. 稀土回收萤石代替制酸级萤石在氟化氢生产中的运用[J]. 化工管理, 2021(30): 9-10.
LI Longwu, WANG Hongkui, AN Dong, et al. Successful application of rare earth recovery fluorite in hydrogen fluoride production[J]. Chemical Enterprise Management, 2021(30): 9-10.
- [22] 赵立群. 国外氟材料发展现状及趋势分析[J]. 化学工业, 2021, 39(4): 22-27.
ZHAO Liqun. Analysis on the development status and trend of fluorine materials abroad[J]. Chemical Industry, 2021, 39(4): 22-27.