

全球锗资源分布供需与产业链发展现状思考

张苏江, 张新智, 邓文兵

(中国地质调查局自然资源实物地质资料中心, 河北 廊坊 065201)

摘要: 这是一篇矿业工程领域的论文。锗已成为信息通讯、现代航空、现代军事与新能源等诸多高新技术领域不可或缺的战略性的稀有金属资源。世界锗资源较为匮乏且分布不均, 近 96% 的锗探明储量集中在美国、中国和俄罗斯等少数国家。作为中国最为重要的战略性优势矿产资源之一, 锗在全国 14 个省(区)均有分布, 矿床类型以煤层型和碳酸盐岩容矿型为主, 集中分布于大兴安岭、西南三江、川滇黔、长江中下游和南岭等 5 个成锗区(带)。本文通过分析国内外锗资源禀赋、分布与开发利用情况, 研判世界和中国锗产业链的消费形势与供需格局, 提出需加大国内重点锗成矿区(带)勘查、开展锗高端材料和应用技术研发, 加强锗产业结构优化升级、推动锗二次回收绿色健康良性循环发展等建议。

关键词: 矿业工程; 锗; 战略性矿产; 分布供需; 产业链

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2024.04.002

中图分类号: TD983 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532(2024)04-0011-10

引用格式: 张苏江, 张新智, 邓文兵. 全球锗资源分布供需与产业链发展现状思考[J]. 矿产综合利用, 2024, 45(4): 11-20.

ZHANG Sujang, ZHANG Xinzhi, DENG Wenbing. Distribution and supply of germanium resources in china and abroad and development status of antimony industry china[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2024, 45(4): 11-20.

锗(Ge)是化学元素周期表第 4 周期 IVA 族中呈明显非金属性质的稀有分散族元素, 同时也是一种拥有良好半导体材质(仅次于硅)质硬性脆的银灰色“三稀”金属^[1-4]。因具红外电磁光谱的部分透明性、玻璃锗氧四面体的扩展三维网络形成器、低色散度与高红外折射率等诸多优良的光电力性能^[4-5], 金属锗及其化合物常被列作信息通讯、生物科学、现代航空和新能源等重要行业的基础原材料, 广泛应用于聚酯催化剂(PET)、光纤通讯、高频超高频电子器件、太阳能光伏电池、红外光学、航空航天测控、核物理探测、生物医学等国防军工及民用领域^[1-2,6]。

当前, 伴随全球新一轮工业革命的到来与科技的不断突破, 锗越来越多地应用于各类高精尖技术产业, 并在世界范围内成为一种战略性新兴金属资源^[7-8]。例如, 日本出台的《稀有金属保障战略》, 从海外资源供给与国内储备、回收利用和替代材料开发等 4 个方面采取保障措施, 将锂、铍、锗、硼等 31 个矿种作为优选考虑的战略性矿产^[9-10]; 欧盟分别在 2011 年、2014 年、2017 年及 2020 年的矿产清单中, 均把锗列为海外供给风险较强及对经济发展至关重要的关键原材料, 美国的 2016 年和 2018 年关键矿产清单中金属锗也赫然在列^[11]; 联合国环保署的《未来持续技术

收稿日期: 2023-10-09

基金项目: 中国地质调查局科研项目“实物地质资料采集更新与数字化应用”(DD20230138)、“实物地质资料汇交监管与筛选接收”(DD20242504)

作者简介: 张苏江(1984-), 男, 高级工程师, 主要从事矿产勘查及全国实物地质资料汇交监管与筛选采集研究。

通信作者: 邓文兵(1991-), 男, 博士研究生, 主要从事实物地质资料管理和构造地质学研究。

用关键金属及其循环回收潜力报告》中，提出锗、铋、铟等 9 种“绿色稀有金属”^[9]；从供应风险强弱、不可替代难易、影响国际供需格局的国内优势矿种等多方面考虑，中国也重点提出稀土、锂、铍、锗、钴、石墨、高纯石英等 15 个战略性新兴产业重要矿种目录^[9]。

在这种背景下，国内锗资源开发与产业发展面临新的机遇和挑战^[8]。作为全球重要的资源储量与供应大国，中国锗储量与产量均居世界前列，随着全球主要国家新能源、信息技术等战略性新兴产业的蓬勃兴起，锗资源将会成为世界各国激烈争夺的对象^[11]。因此，从国内外锗资源禀赋、分布与开发利用现状出发，研判世界和中国锗产业链的消费形势与供需格局，分析全球锗产业未来发展趋势，对保障国内锗资源安全供应、实现中国锗资源从大国迈向强国具有重要意义^[11-12]。

1 国内外锗资源分布

1.1 锗资源主要特点

与铟镓铊镉镭等稀有分散元素一样，锗富集具有自身的矿产与矿物类型成矿专属性，其在洋壳中的丰度约为 $(1.4\sim1.5)\times10^{-6}$ ，陆壳中的丰度约为 $(1.4\sim1.6)\times10^{-6}$ ^[5]。锗具有亲硫、亲铁、亲石和亲有机质等多重地球化学性质，在地壳中含量约 1.5 μg/g，主要以化合物的形式呈分散状态赋存于闪锌矿、硫砷铜矿及银铅与铁矿中，或某

些特定的煤矿中，通常情况下独立富集成矿较难^[13]。目前，工业产锗主要从煤燃烧后的粉煤灰中进行回收利用，或是在处理铅锌铜银金铁等硫化矿时作为副产品回收^[13]。自然界中已发现的含锗矿物有 26 种，以灰锗矿 $[\text{Cu}_2(\text{Fe}, \text{Zn})\text{GeS}_4]$ 和锗石 (GeO_2) 最为常见，其锗的含量分别为 16.9% 与 10%；其次为硫锗铁铜矿 $[\text{Cu}_2(\text{Fe}, \text{Ge}, \text{Zn})(\text{S}, \text{As})]$ 含锗约 7.7%，硫银锗矿 $(\text{Ag}_8\text{GeS}_6)$ 含锗约 6.93%^[1,13]。

1.2 锗资源主要矿床类型

从世界范围来看，与锗相关的矿床类型主要有独立锗与伴生锗两大类（表 1）^[14-15]。其中，独立锗矿（矿床规模较大，锗含量 $\geq 20\%$ ；矿床中有独立锗矿物、富含锗的吸附体或类质同象矿物等载体矿物）可划分为 3 个亚类：①铜铅锌锗矿床，如纳米比亚楚梅布锗矿、玻利维亚中南部锗矿；②砷铜锗矿床，如刚果卡丹加锗矿、西南非特素木布锗矿；③锗煤矿床，如英国伊尔科什盆地锗矿，内蒙古乌兰图嘎锗矿与云南临沧锗矿等^[14-15]。伴生锗矿（依据矿床中锗元素的主要赋存形式）也可细分为 3 个亚类：①含锗的铜铅锌锡银硫化物矿床，如广东仁化凡口铅锌矿、云南曲靖会泽铅锌矿等；②含锗的铝土矿或沉积型铁矿床，如湖南长沙宁乡铁矿；③含锗的页岩、油页岩、石油、煤等有机岩矿床，如俄罗斯巴甫洛夫锗煤矿、内蒙古五牧场区次火山热变质锗煤矿等^[14-15]。

表 1 全球锗资源主要矿床类型与成矿地质特征 ^[14-15]				
Table 1 Main deposit types and mineralization geological characteristics of global germanium resources ^[14-15]				
矿床大类	矿床亚类	主要矿物	赋矿围岩	典型矿床
独立 锗矿床	铜铅锌锗矿床	硫银锗矿、白铁矿、 黄铜矿、闪锌矿、 方铅矿	泥质页岩、凝灰岩、 斑岩、流纹岩	纳米比亚楚梅布锗矿 玻利维亚中南部锗矿
	砷铜锗矿床	锗石、硫锗铁铜矿、斑 铜矿、黄铜矿、砷黝铜 矿、硫砷铜矿	元古代白云岩、 晶质灰岩	刚果卡丹加锗矿 西南非特素木布锗矿
	锗煤矿床	含锗凝胶化煤、亮煤	早白垩世、新第三纪煤、 碎屑岩、硅质岩、泥灰岩	英国伊尔科什盆地锗矿 内蒙古乌兰图嘎锗矿 云南临沧锗矿
伴生 锗矿床	含锗的铜铅锌锡银 硫化物矿床	含锗闪锌矿、方铅矿、 黄铁矿	上古生代碎屑岩- 碳酸盐岩石	广东仁化凡口铅锌矿 云南曲靖会泽铅锌矿
	含锗的铝土矿 /沉积型铁矿床	赤铁矿、绿泥石、含锗 赤铁矿	上古生代碎屑岩 或铝土质沉积岩	湖南长沙宁乡铁矿
	含锗的页岩、油页岩、 石油、煤等有机岩矿床	含锗复合腐殖酸盐 及锗有机化合物	中生代褐煤、瘦煤； 第三纪煤、碎屑岩、 泥质岩	俄罗斯巴甫洛夫锗煤矿 内蒙古五牧场区次火山热变质锗煤矿

从中国范围来看，国内锗多以煤或多金属矿床中的共伴生矿种形式产出，刘建楠等按矿床成

因可进一步划分为 5 种类型（表 2）^[16]：①煤层型（产于煤系沉积物中的锗矿），如云南临沧大寨

/韭菜坝煤锗矿、吉林营城煤锗矿、内蒙古胜利煤田乌兰图嘎与伊敏煤田五牧场煤锗矿等；②碳酸盐岩容矿型（回收工艺较为成熟且数量最多的锗矿），如会泽、富乐、毛坪、茂租铅锌矿等；③岩浆热液型（包括斑岩型、矽卡岩型和浅成低温热液型等与岩浆热液活动有关的富锗矿），如

南岭成矿带的英德铅锌矿、钦杭成矿带南段油麻坡钨钼矿和九瑞矿集区东侧城门山铜矿等；④火山岩型（可细分为海相与陆相两种火山岩型富锗矿），如滥泥坪铜矿、刘山岩铜锌矿、彩花沟钨铜硫铁矿等；⑤沉积型（磷或铝土矿），如贵州小山坝铝土矿、大水井铅锌磷矿等。

表 2 中国锗资源主要矿床类型与成矿地质特征^[16]
Table 2 Main types of germanium deposits and geological characteristics of mineralization in China^[16]

矿床成因	矿床特征	赋矿地层	岩体	成矿时代	典型矿床
煤层型	产于煤系沉积物中的锗矿	中新统帮卖组	-	新近纪	云南临沧大寨/韭菜坝煤锗矿
		下白垩统营城子组	-		吉林营城煤锗矿
		下白垩统白彦花组	-	早白垩世	内蒙古胜利煤田乌兰图嘎煤锗矿
		下白垩统大磨拐河组	-		伊敏煤田五牧场煤锗矿
碳酸盐岩容矿型	回收工艺较为成熟且数量最多的锗矿	下石炭统摆佐组	-	晚三叠世	会泽铅锌矿
		-	-	-	富乐、毛坪、茂租铅锌矿
岩浆热液型	含斑岩型、矽卡岩型和浅成低温热液型等与岩浆热液活动有关的富锗矿	中泥盆统东岗岭组	燕山三期花岗岩	晚侏罗世	南岭成矿带的英德铅锌矿
		下志留统大岗顶组	早白垩世白云母花岗岩	早白垩世	钦杭成矿带南段油麻坡钨钼矿
		中石炭统黄龙组	早白垩世花岗岩	早白垩世	九瑞矿集区东侧城门山铜硫铁矿
		下泥盆统阿尔波什麦布拉克组	花岗岩闪长斑岩	早泥盆世	新疆托克逊彩花沟钨铜硫铁矿
火山岩型	含海相与陆相两种火山岩型富锗矿	寒武系二朗坪群	-	寒武纪	桐柏刘山岩（大河）铜锌矿、滥泥坪铜矿
		刘山岩岩组	-		
		-	-	-	
沉积型	磷或铝土矿	下石炭统九架炉组	-	中晚石炭世	贵州修文小山坝铝土矿 大水井铅锌磷矿

1.3 全球锗资源分布

据中商产业研究院《2023 年中国锗产业链上中下游市场分析》统计，世界锗资源较为匮乏，目前全球已探明锗资源保有储量约为 8 600 t（含工业储量约为 4 400 t）^[16-17]。若以现阶段 200 t/a 的速度开发利用，43 年后世界锗资源存量即会耗尽^[16-17]。据美国地质调查局（USGS）数据，全球锗主要分布于欧洲、亚洲与北美洲，具有集中性与分带性特点^[6]。按锗储量排名依次为美国 3 870 t、中国 3 526 t、俄罗斯 860 t，分别占比 45%、41%与 10%，其余已知储量零星分散于德国、比利时与加拿大等国^[7,17]。尤其指出的是，锗常列作富锗煤矿与铅锌（银）矿的工业副产品，因此上述矿产的世界分布在一定程度上也可代表全球锗的资源分布^[1]。

1.4 中国锗资源分布

中国锗资源丰富且多以伴生形式产出，国内

系统评价过锗资源的矿区较少，难以代表全国锗资源真实状况^[18]。赵汀等对全国 35 处、分布于蒙吉苏闽豫鄂粤桂川黔滇陕甘青等 14 个省（区）的大中小型锗矿进行了统计分析^[18]。梳理结果显示^[8]，在查明锗资源储量的矿产地中，与煤伴生的锗矿 7 处，约占全国总储量的 42%；与铅锌伴生的锗矿至少 16 处，约占全国总储量的 29%；与铝土矿伴生的锗矿至少 1 处，约占全国总储量的 12.2%；与铜、铁及在煤层中与铀煤伴生的锗矿 5 处、1 处和 1 处，分别约占全国总储量的 4%、3%与 7.2%。

结合锗成矿地质作用和大地构造发展阶段，刘建楠等认为中国锗资源主要分布于以下 15 个成锗带（表 3）^[16]。其中，煤层型锗矿主要分布于松辽盆地与大兴安岭西侧新生代盆地群^[16]，包括海拉尔盆地（Ge1）、二连盆地（Ge2）、松辽盆地（Ge3）和临沧盆地（Ge15）等 4 个成锗带；碳酸盐岩容矿型锗矿分布范围较广，集中分布于扬子

陆块西缘的川滇黔地区（Ge12），零星分散于鄂尔多斯西南缘（Ge4）、上扬子东部（Ge7）、南岭中段北（Ge10）、环江（Ge13）和南岭中段-云开（Ge14）等 5 个成锗带；岩浆热液型锗矿分布在秦祁昆造山系中西段、华夏地块西缘与扬子板块北缘，包括秦岭-大别-兴海（Ge6）、长江中下游（Ge9）和南岭中段-云开（Ge14）等 3 个成锗带。火山岩型锗矿数量不多，主要分布于巴伦台（Ge5）、北秦岭（Ge8）、长江中下游（Ge9）和川滇黔（Ge12）等 4 个成锗带；沉积型锗矿目前仅有小山坝（Ge11）与川滇黔（Ge12）两个成锗带。

表 3 中国锗资源主要成矿区（带） ^[16]				
Table 3 Main metallogenic regions (zones) of germanium resources in China ^[16]				
成锗（区）带名称	编码	成因类型	成矿时代	典型矿床
海拉尔盆地	Ge1	煤层型	早白垩世	伊敏煤田五牧场煤锗矿
二连盆地	Ge2			胜利煤田乌兰图嘎煤锗矿
松辽盆地	Ge3			营城煤锗矿
鄂尔多斯西缘	Ge4	火山岩型	-	乌兰代塔铅锌矿
巴伦台	Ge5		早泥盆世	托克逊彩花沟钨铜硫铁矿
秦岭-大别-兴海	Ge6		晚三叠世	铜峪沟多金属矿
上扬子东部	Ge7	碳酸盐岩容矿型	寒武纪（？）	楠木树锌矿
北秦岭	Ge8	岩浆热液型	晚三叠世	刘山岩
长江中下游	Ge9	火山岩型、岩浆热液型	晚侏罗-早白垩世侏罗纪（？）	城门山、南山头、东山头
南岭中段北	Ge10	碳酸盐岩容矿型	晚侏罗世	茶陵陇上
小山坝	Ge11	沉积型	石炭纪	小山坝铝土矿
川滇黔	Ge12	碳酸盐岩容矿型、火山岩型	晚三叠世—早侏罗世	会泽铅锌矿
环江	Ge13	碳酸盐岩容矿型	-	广西环江北山
南岭中段-云开	Ge14	碳酸盐岩容矿型、岩浆热液型	早白垩世	广东仁化凡口铅锌矿
临沧盆地	Ge15	煤层型	始新世	临沧煤锗矿

1.5 全球主要锗企业

目前，国内外锗矿主要生产企业、全球较为重要的锗资源供应商主要有美国 ATX 与 II-VI Inc、比利时 Umicore、德国 Photonic Sense、俄罗斯 JSC Germanium，以及中国云南锗业、驰宏锌锗、四环锌锗、罗平锌电、通力锗业、南京锗厂、蒙东锗业及中金岭南等^[17,19-20]。

其中，境外^[17,19-20]美国 ATX 主要从事锗单晶片、砷化镓、磷化铟等半导体材料的加工，锗年产量达 4 t/a；比利时 Umicore 高端技术成熟，锗年产量达 55 t/a，在深加工尤其是太阳能衬底材料领域具绝对优势，全球市场份额约占 80%~90%；德国 Photonic Sense 锗年产量达 16 t/a，是最高品质锗红外光学镜片的世界级制造厂商。国内^[17,19-20]云南锗业主要生产区熔锗锭、太阳能锗衬底片、红外级锗单晶、光纤级 GeCl₄ 等锗产品，年产量达 70 t/a，约占世界总产量的 24%，为中国下游锗产品最重要深加工基地与全球最大拥有全产业链锗产品生产企业；四环锌锗年产量达 40 t/a，排行

世界第 2；驰宏锌锗目前拥有原生锗产能 60 t，全球市场份额约占中国的 1/2 与世界的 1/3，2022 年锗产品生产含锗 55.86 t；中锗科技锗行业链条最为完整，是中国锗铟镓等稀散金属领域的领军企业，年产量达 30 t/a，排行世界第 5；罗平锌电是国内锌冶炼行业内唯一一家集矿电冶炼为一体的上市企业，锗精矿年产量达 8 t/a。

2 锗资源供需分析

2.1 锗的产量分析

伴随锗应用领域的不断拓展，世界锗资源产量显著提高。据美国地质调查局（USGS）数据（表 4）^[21]，2004—2021 年全球锗产量由 87 t 波动上升至 140 t，涨幅为 60.92%。2004—2007 年，世界锗产量为 87~99 t/a，约以 4 t/a 的速度稳定增长；2008 年锗产量大幅增长至 139.6 t，增幅达 40.16%^[21]；受全球金融危机影响，2008—2011 年世界锗产量大幅锐减并迅速回落至 118 t/a；随着全球经济复苏回暖，2012—2017 年世界锗年产量

达 125 t/a 以上^[20-21]；受生产国环保政策、资源保护措施和世界整体行业市场环境等诸多因素影响，全球锗产量由 2018 年 120 t 逐渐回暖至 2021 年的 140 t^[20-21]。从 2008—2021 年世界锗产量为 118~165 t，14 年间全球锗产量增加了约 2.87%；且自 2008 年开始，世界锗生产主要集中于美中俄

三国（三国产量之和约占全球总产量的 3/4 左右）^[11]；其中，中国作为全球锗最大生产国，其锗年产量为 75~120 t，约占世界总产量的 62.5%~72.73%，14 年间贡献了全球 68.53% 的锗^[11]。加拿大与其他国家共占世界总产量的 26.48%，年产量维持在 37 t 左右^[11]。

表 4 世界主要国家金属锗年产量（2004—2023 年）^[21]

Table 4 Annual production of germanium metal in major world countries (2004-2023)

名称	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
美国	4.4	4.5	4.5	4.6	4.6	4.6	3	3	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
中国	-	-	-	-	100	80	80	80	90	110	120	120	110	88	75	85	86	95	-
俄罗斯	-	-	-	-	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6	6	6	5	5	-
其他	82.6	85.5	85.5	95	30	30	30	30	30	40	40	40	41	40	35	40	40	40	-
全球	87	90	90	99.6	139.6	119.6	118	118	128	155*	165*	165*	155*	134*	120*	130*	130*	140*	-

注：数据来自美国地质调查局（USGS）2005-2023年发布的《Mineral Commodity Summaries》；其中“—”表示无数据；“*”表示除美国外全球金属锗总产量。

2.2 中国锗进出口分析

从进出口贸易来看，中国是世界最重要的锗产品出口国之一，但与境外发达国家和地区相比，国内高附加值深加工产品技术环节薄弱，因内需相对有限导致出口多以初加工产品工艺为主^[2]。

与此同时，为保证锗的供需均衡与产业有序健康发展，还需向荷兰、比利时和加拿大等国家进口锻轧锗（锻轧的锗及其制品）与未锻轧锗（未经段轧的锗、锗废料、锗粉末）等锗产品^[2]。2015—2023 年中国锗产品进、出口情况分别见表 5、6。

表 5 2015—2023 年中国锗产品进口情况^[22]

Table 5 China's germanium production, export and import situation from 2015 to 2023

年份	28 256 000		81 129 210		81 129 910	
	锗的氧化物及二氧化锗		未经段轧的锗、锗废料、锗粉末		锻轧的锗及其制品	
	进口量/kg	进口金额/美元	进口量/kg	进口金额/美元	进口量/kg	进口金额/美元
2015年	1 210 897	21 338 461	3 625	4 139 475	1 093	4 123 005
2016年	1 435 905	24 087 729	2 721	2 525 284	577	4 062 953
2017年	2 434 408	21 732 721	1 304	888 426	2 370	5 179 021
2018年	1 368 653	24 802 365	7 342	7 238 822	1 133	3 563 339
2019年	706 353	16 220 493	4 988	2 881 259	897	1 938 307
2020年	700 441	20 000 001	25 294	14 628 187	1 371	1 863 843
2021年	660 723	18 244 466	8 941	6 927 352	211	1 289 223
2022年	770 428	16 475 592	8 091	8 985 510	893	1 443 891
2023年1—7月	190 152	2 662 142	8 798	9 605 740	988	2 115 368

根据海关总署数据^[22]，在锗的氧化物及二氧化锗方面，2021 年中国主要从日本、美国、澳大利亚、法国、葡萄牙、加拿大、韩国与德国等 8 个国家进口锗产品，其中从日本进口数量 290 540 kg，进口金额 62 422 000 美元；从加拿大进口数量 11 000 kg，进口金额 5 775 000 美元。在相关锗产品方面（锗的氧化物、锻轧锗与未锻轧锗），2022 年中国出口数量 19 315 316 kg，出口金额 223 091 365 美元^[22-23]。从出口地分布情况来看^[22-23]，国内相关锗产品主要出口至日本（出口量 5 964 092 kg，占比 30.88%）、法国（出口量

2 777 361 kg，占比 14.38%）、德国（出口量 2 564 029 kg，占比 13.27%）、韩国（出口量 1 713 517 kg，占比 8.87%）、意大利（出口量 1 532 725 kg，占比 7.94%）、美国（出口量 1 214 656 kg，占比 6.29%）等国家。在锻轧锗与未锻轧锗产品方面，2023 年中国锗产品继续保持净出口状态，出口数量较去年同期大幅增长^[24]。2023 年 1~7 月^[22,24]，国内锗产品出口^[22,24]总计 36 621 kg，较 2022 年同期 21 961 kg，同比上涨 66.75%；出口锗产品总金额 41 669 373 美元，较 2022 年同期 28 584 934 美元，同比上涨 45.77%。

其中出口锻轧锗 36 450 kg，未锻轧锗 171 kg^[22,24]。国内^[22,24]共进口锗产品 9 786 kg，较去年同期 3 274 kg，同比上涨 198.90%；进口锗产品总金额 11 721 108 美元，较去年同期 3 339 292 美元，同比上涨 251.00%。其中进口锻轧锗 988 kg，进口未锻轧锗 8 798 kg。从上述数据可以看出，地缘政治

与国防安全形势叠加中国 8 月禁“锗”令使得世界各国对相关战略原材料尤其是红外锗的重视关注程度明显提升^[25]。全球锗价 2023 年 1~7 月虽持续增长，但享有军民两用美誉的锗在国内外市场一直较为活跃，预计该状态将一直持续到 2024 年上半年^[24]。

表 6 2015—2023 年中国锗产品出口情况^[22]
Table 6 China's germanium production and export situation from 2015 to 2023

名称	28 256 000		81 129 210		81 129 910	
	锗的氧化物及二氧化锗		未经段轧的锗、锗废料、锗粉末		锻轧的锗及其制品	
	出口量/kg	出口金额/美元	出口量/kg	出口金额/美元	出口量/kg	出口金额/美元
2015年	14 382 805	76 464 084	51	78 410	10 819	16 722 216
2016年	13 437 709	61 573 779	47	47 292	16 028	15 520 119
2017年	14 416 711	82 681 581	0	774	21 120	21 782 855
2018年	16 202 246	123 073 750	16	57 929	20 321	27 053 102
2019年	15 868 936	113 948 458	31	70 410	22 844	23 930 595
2020年	17 629 829	108 649 486	16	31 797	28 974	26 234 049
2021年	21 914 118	142 237 222	112	117 656	42 218	46 685 214
2022年	19 271 639	169 151 193	1 012	1 218 668	42 665	52 721 504
2023年1—7月	9 655 061	81 555 411	171	264 566	36 450	41 404 807

3 锗产业链分析

3.1 锗生产链条

伴随现代航空、新能源、光纤通讯、生物医学等领域技术的不断突破，5G 技术的不断成熟和下游终端消费的不断增长，以及广阔的市场与行业前景，锗在军工国防和民生领域的重要性日趋增长^[4]。其中，二氧化锗（GeO₂）是生产聚对苯二甲酸乙二醇酯（PET）的催化剂，由其制备的各式容器，安全无毒、耐热耐压、透明质轻气密性好且不易开裂^[25]；地面太阳能光伏电池与航空航天领域，主要将锗作为提高 GaAs/Ge 太阳能电池光电转换效率的衬底材料^[19]；光导纤维领域，主要是将 GeCl₄ 掺杂于单模石英光纤纤心中，通过减少中继站降低光损耗与提高纤心折射率，从而实现掺锗光纤全反射并扩大高速信息传输距离^[25]；红外光学领域，可将锗用于制作透镜、棱镜、窗口与滤光片等红外光学材料，大量应用于导弹、卫星与坦克等武器的制导、红外热成像等军工设备，以及医疗保健、刑事侦察、安防与资源勘探等民用活动^[19]。

根据图 1^[26-27]，锗主要以褐煤锗矿、铅锌冶炼副产品、锗锭和锗单晶废料等途径进入供应链，其产业链可划分为 4 个阶段。其中^[26-27]，第 1 阶段为原材料与初级产业，原材料是指含锗煤矿、含锗锌铅等硫化矿矿渣和含锗废料等；初级产业是

指将原材料通过精选方式加工成高级别锗矿石；第 2 阶段为提纯与深加工产业，提纯是指将锗精矿通过氯化蒸馏、复蒸、精蒸、水解、氢还原等方式提纯加工为高纯 GeCl₄、高纯 GeO₂、区熔锗等锗化合物；深加工中的高纯锗与锗单晶生产工艺为锗产业链的关键部分，其中锗单晶主要由高纯锗经 VGF 法或直拉法生产而成；第 3 阶段为元部件产业，是指将含锗金属或化合物生产为锗衬底片、红外光学镜头、有机锗、PET 催化剂、光纤预制棒等应用产品；第 4 阶段为终端应用，是指锗最终在太阳能电池、红外成像仪、光纤通讯材料等领域的应用。

3.2 锗消费结构

锗自 1886 年被德国化学家克莱门斯·温克勒发现以来便广受人们关注，其应用由上世纪 50 年代的半导体行业，拓展到如今的信息通讯、航空航天、现代军事及新能源等高精尖新技术方面^[4,11]。2019 年，全球锗消费量同比上涨 2.47%，约 135.723 t，主要集中于红外光学（36%）、光纤（34%）、太阳能电池（17%）和催化剂（4%）等消费领域^[4,11]。其中，中国锗消费量同比增幅 4.3%，占世界锗总消费量的 57.5%（约 78 t）^[4]。国内锗消费结构与全球锗基本一致，在催化剂等方面消费较少而多集中于红外与光纤领域，两者之和约占全国锗总消费量的 9/10^[2]。

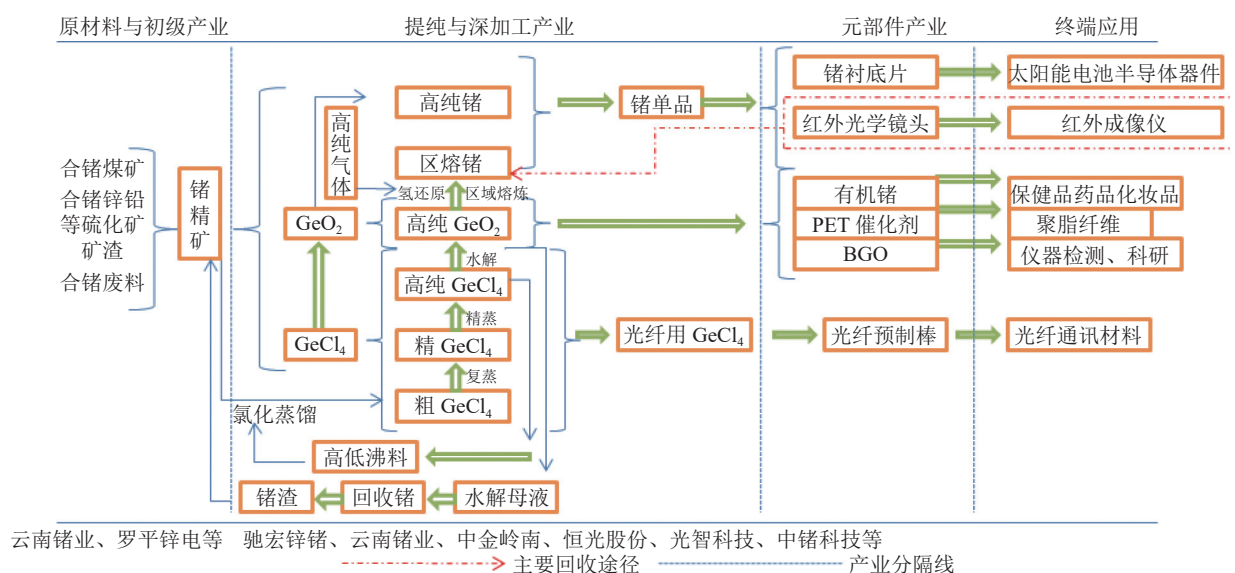


图1 锗产业链结构^[26-27]

Fig.1 Structure of the germanium industry chain^[26-27]

3.3 锗产业未来趋势分析

锗在光纤通信、红外光学、太阳能电池等新兴产业广泛应用且初具规模^[1]。从终端应用与产业变革来看，未来锗在战略信息产业（芯片、太阳能电池、滤光器、传感器等民用产品制造）和国防军工领域（红外雷达、放射线检测仪、核反应能谱仪、热成像仪、透镜等军需产品生产）极具重要应用潜力^[1]。其中^[1]，随民用航空航天（卫星）的逐步兴起，太阳能电池用锗需求与消费将会保持平稳增长；随地缘政治影响大国博弈加剧及国防信息化的更高建设要求，夜视仪、探测仪、红外热像仪和雷达等军用红外用锗需求和消费则会大幅提升。与此同时，拥有网络和芯片两大基石、作为核心竞争技术的 ICT（信息与通信技术）将会成为未来人类最大的经济产出产业，伴随通信网络的全球铺设、无人驾驶和 5G 通讯技术的广泛应用，以宏基站、小基站等为代表的新一波“基础设施建设”将会催生 5G 承载网对光纤用锗的大量需求^[4,11-12]。

根据锗消费趋势预测，未来锗需求快速增长已成定局^[5,11]。全球锗需求年均增长约 6.6%，陈星全等、任辉等预计 2025 年、2030 年与 2035 年的需求量分别为 198.5、258.1 和 308.6 t（其中太阳能锗产品需求为 28.9、34.8、42.0 t；红外锗产品需求为 73.4、95.5、114.5 t；光纤锗产品需求为 90.8、122.5、147.0 t），中国锗需求分别为 130、155 和 180 t^[5,11]。当前世界锗产品供需基本保持平

衡，但随全球锗需求的增长预测自 2025 年起世界锗缺口逐步凸显且刺激锗价格不断抬升，同时进一步促进回收锗产业的发展^[5,11]。基于供求平衡模型，陈星全等、任辉等预测 2025 年、2030 年与 2035 年的全球回收锗产量分别为 43.5、88.1、138.6 t；受资源禀赋环保出口政策等诸多因素制约，中国锗产量虽增幅有限但伴随锗回收技术工艺与企业成熟度的不断完善，国内回收锗行业将进一步壮大，预测 2025 年、2030 年、2035 年的中国回收锗产量分别为 20、45、60 t^[5,11]。

4 思考与建议

（1）紧跟新一轮找矿突破战略行动，加强锗时空分布、构造演化和成矿理论的研究，围绕滇蒙川粤四大生产基地与晋陕新黔产煤大省，以及临沧盆地、川滇黔地区、长江中下游等锗重点成矿区（带），进一步加大国家公益地勘基金与社会商业资本的勘查投入力度，落实资源储量提升国内锗资源安全供给保障能力^[5,28]。同时，在重要找矿靶区的基础上开展全国锗资源调查评价，力争形成一批新的锗资源勘查储备地^[5,28]。

（2）借助国家对镓锗相关物项实施出口管制的契机，从资源合理利用、境外合作、科技创新与产业结构调整等 3 个方面因素综合考虑，助推国内锗相关企业转型升级高质量发展，实现全球锗产销主动权的牢牢把握^[25]。一是通过资源二次回收率的提高与综合应用技术的研发，注重节能

减排降低资源损耗,促进锗资源的循环开发和可持续利用^[25];二是依托“一带一路”倡议和金砖国家合作机制,主动加强与沿线国家的交流沟通,积极引入先进技术经验推动产业研发创新,促进实现国内外锗资源的优化配置、共享应用和互利双赢^[25,28];三是通过诸如锗材料“晶格结构、电性能、纯度、制备工艺”等方面的科技升级与创新,研发更高附加值的深加工产品,除可提高企业话语权与核心竞争力、满足境内国际“两个市场”不同领域行业需求外,其新催生的“产业-价值-创新”链,还将引领带动国内相关产业的协同发展和创新升级^[25]。

(3) 资源的二次回收是保障供给安全、有效、可持续的发展途径^[29]。作为全球锗未来供给的重要来源之一,当前中国锗二次回收产业正处于快速发展阶段,但盈利与竞争能力因成本技术的制约整体偏弱^[11,29]。因此,国家应从政策措施上扶持鼓励锗企开展二次回收(例如:加大锗回收利用技术研发力度的相关政策;国家定向收储金属锗、褐煤与铅锌矿中伴生金属锗资源税、当前经济技术水平下暂不能回收的锗资源尾矿渣需妥善存储等措施),同时引导社会商业资本进入,共同推动全国锗二次回收行业绿色低碳、环保健康、良性循环发展^[11,29]。

参考文献:

- [1] 钞晓光,李依帆,张云峰,等.煤中锗的资源分布及其提取工艺研究进展[J].矿产综合利用,2020(4):21-25.
- CHAO X G, LI Y F, ZHANG Y F, et al. Research progress on resource distribution and extraction technology of germanium in coal[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2020(4):21-25.
- [2] 观研报告网.我国锗行业现状分析(资源分布集中、总储量超 2000 吨、产品以出口为主)[EB/OL]. <https://www.chinabaogao.com/market/202308/646823.html>.
- Guanyan Report Network. Analysis of the current situation of China's germanium industry (with concentrated resource distribution, total reserves exceeding 2000 tons, and products mainly exported) [EB/OL]. <https://www.chinabaogao.com/market/202308/646823.html>.
- [3] 舒雪清. (市场分析) 2023 年中国锗行业市场发展情况一览[EB/OL]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1771192989054163011&wfr=spider&for=pc>.
- SHU X Q. Market Analysis "Overview of the market development of China's germanium industry in 2023"[EB/OL]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1771192989054163011&wfr=spider&for=pc>.
- [4] 林博磊,郭娟,徐桂芬.新形势下锗的应用前景及开发利用建议[J].国土资源情报,2020(10):61-66.
- LIN B L, GUO J, XU G F. Application prospect and development suggestions of germanium in the new situation[J]. Natural Resources Information, 2020(10):61-66.
- [5] 任辉,林中湘,白维灿,等.我国锗矿资源供应现状及可持续发展对策建议[J].中国煤炭地质,2023,35(5):1-5.
- REN H, LIN Z X, BAI W C, et al. Current situation of germanium mineral resource supply and suggestions for sustainable development in China[J]. Coal Geology of China, 2023, 35(5):1-5.
- [6] 叶霖,韦晨,胡宇思.锗的地球化学及资源储备展望[J].矿床地质,2019,38(4):711-728.
- YE L, WEI C, HU Y S. Geochemistry of germanium and its resources reserves[J]. Mineral Deposits, 2019, 38(4):711-728.
- [7] 李芳琴,李建武,代涛,等.锗资源供需形势及回收再利用前景研究[J].中国矿业,2019,28(7):70-74.
- LI F Q, LI J W, DAI T, et al. Study on supply and demand situation and secondary recovery and utilization of germanium resources[J]. China Mining Magazine, 2019, 28(7):70-74.
- [8] 马哲,李建武,安彤.中国石墨产业发展的机遇、问题与建议[J].矿产保护与利用,2018(5):1-13.
- MA Z, LI J W, AN T. Analysis of China's graphite industry: opportunities, issues and suggestions[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2018(5):1-13.
- [9] 国土资源部中国地质调查局.中国地质调查百项成果(上册)[M].北京:地质出版社,2016.
- China Geological Survey. 100 Results of China geological survey (Volume 1) [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2016.
- [10] 曹庭语.日本稀有金属保障战略[J].国土资源情报,2011(4):42-46.
- CAO T Y. Japan's rare metal protection strategy[J]. Natural Resources Information, 2011(4):42-46.
- [11] 陈星全,屈金芝,张艳松,等.2021-2035 年世界锗矿产品供需形势分析[J].中国矿业,2021,30(3):37-42.
- CHEN X Q, QU J Z, ZHANG Y S, et al. Analysis of the global germanium resource supply and demand situation from 2021 to 2035[J]. China Mining Magazine, 2021, 30(3):37-42.
- [12] 武秋杰,吕振福,曹进成,等.国内外镓资源分布供需及镓产业链发展现状研究[J].矿产综合利用,2021(5):38-44.
- WU Q J, LYU Z F, CAO J C, et al. Study on distribution and supply of gallium resources domestically and abroad and the present situation of the industry chain of gallium[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2021(5):38-44.
- [13] 温汉捷,朱传威,杜胜江,等.中国镓锗铊镉资源[J].科学通报,2020,65(33):3688-3699.
- WEN H J, ZHU C W, DU S J, et al. Gallium (Ga), germanium (Ge), thallium (Tl) and cadmium (Cd) resources in China[J]. Chin Sci Bull, 2020, 65(33):3688-3699.
- [14] 章明,顾雪祥,付绍洪,等.锗的地球化学性质与锗矿床[J].矿物岩石地球化学通报,2003,22(1):82-87.
- ZHANG M, GU X X, FU S H, et al. A review of disperse element germanium[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2003, 22(1):82-87.
- [15] 邵厥年,陶维屏,张义勋,等.矿产资源工业要求手册

(2014年修订本)[M]. 北京:地质出版社, 2014.

SHAO J N, TAO W P, ZHANG Y X, et al. Mineral resources industry requirements manual (2014 Revision)[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2014.

[16] 刘建楠, 丁建华, 陈炳翰, 等. 中国锗矿成矿规律概要[J]. 矿床地质, 2023, 42(2): 267-286.

LIU J N, DING J H, CHEN B H, et al. Metallogenic regularity of germanium in China[J]. Mineral Deposits, 42(2): 267-286.

[17] 中商产业研究院. 2023年中国锗产业链上中下游市场分析(附产业链全景图)[EB/OL]. <https://c.m.163.com/news/a/I9HU454F05198SOQ.html>.

China Commercial Industry Research Institute. Analysis of the upstream, middle and downstream markets of China's germanium industry chain in 2023(Attached with a Panorama of the Industry Chain)[EB/OL]. <https://c.m.163.com/news/a/I9HU454F05198SOQ.html>.

[18] 赵汀, 王登红, 刘超, 等. 中国锗矿成矿规律与开发利用现状[J]. 地质学报, 2019, 93(6):1245-1251.

ZHAO T, WANG D H, LIU C, et al. Metallogenic and utilization status of Ge deposit in China[J]. Acta Geologica Sinica, 2019, 93(6):1245-1251.

[19] 金属百科. 锗资源储量分布及精锗产量情况[EB/OL]. <http://baike.asianmetal.cn/metal/ge/resources&production.shtml>.

Metal Encyclopedia. Distribution of germanium resource reserves and production of refined germanium[EB/OL]. <http://baike.asianmetal.cn/metal/ge/resources&production.shtml>.

[20] 中商情报网. 2023年中国锗行业市场前景及投资研究报告(简版)[EB/OL]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=177111828410875778&wfr=spider&for=pc>.

China Business Intelligence Network. 2023 China germanium industry market prospects and investment research report (Simplified Edition) [EB/OL]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=177111828410875778&wfr=spider&for=pc>.

[21] USGS. Mineral Commodity Summaries, germanium (2005-2023)[EB/OL]. (2023-01-01)[2023-09-29]. <https://www.usgs.gov/centers/national-minerals-information-center/mineral-commodity-summaries>.

[22] 中华人民共和国海关总署. 海关统计数据在线查询平台 2015—2023[EB/OL]. [2023-09-29]. <http://stats.customs.gov.cn/>

General Administration of Customs of the People's Republic of China. Customs statistical data online query platform 2015—2023[EB/OL]. [2023-09-29]. <http://stats.customs.gov.cn/>

[23] 中商情报网. 2022年中国锗相关商品进出口情况分析(图)[EB/OL]. <https://www.askci.com/news/chanye/20230712/175743268915586382434708.shtml>.

China Business Intelligence Network. Analysis of China's import and export of germanium related commodities in 2022 (Fig)[EB/OL]. <https://www.askci.com/news/chanye/20230712/175743268915586382434708.shtml>.

[24] 李伊兰. 安泰科 2023 年 3—4 月锗市场回顾与后市展望(双月评)[EB/OL]. <http://www.chinaindium.org/uploadfile/2023/0505/20230505020819316.pdf>.

LI Y L. Antaiko's germanium market review and future prospects for March April 2023(Bimonthly Review)[EB/OL]. <http://www.chinaindium.org/uploadfile/2023/0505/20230505020819316.pdf>.

[25] 麦尔科技游. 平地一声雷!锗和锗出口管控, 中国把主动权牢牢抓在手里![EB/OL]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1770768922399125356&wfr=spider&for=pc>.

Meier Technology Tour. A thunder on the flat ground! China firmly holds the initiative in controlling the export of germanium and germanium![EB/OL]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1770768922399125356&wfr=spider&for=pc>.

[26] 武秋杰, 吕振福, 曹进成. 全球锑资源分布供需及产业链发展现状[J]. 矿产综合利用, 2022(5):77-82.

WU Q J, LYU Z F, CAO J C. Distribution and supply of antimony resources in China and abroad and development status of antimony industry Chain[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2022(5):77-82.

[27] 陆挺, 刘璇, 张艳飞, 等. 基于产业链分析的中国锑锗镓产业发展战略研究[J]. 资源科学, 2015, 37(5):1008-1017.

LU T, LIU X, ZHANG Y F, et al. Development strategies for the Chinese indium, germanium and gallium industry based industry chain analysis[J]. Resources Science, 2015, 37(5):1008-1017.

[28] 张苏江, 王楠, 崔立伟, 等. 国内外石墨资源供需形势分析[J]. 无机盐工业, 2021(7):1-11.

ZHANG S J, WAN N, CUI L W, et al. Analysis of supply and demand situation of graphite resources at home and abroad[J]. Inorganic Chemicals Industry, 2021(7):1-11.

[29] 黄健柏, 孙芳, 宋益. 清洁能源技术关键金属供应风险评估[J]. 资源科学, 2020, 42(8):1477-1488.

HUANG J B, SUN F, SONG Y. Supply risk assessment of critical metals in clean energy technology[J]. Resources Science, 2020, 42(8):1477-1488.

Distribution and Supply of Germanium Resources in China and Abroad and Development Status of Antimony Industry China

ZHANG Sujiang, ZHANG Xinzhi, DENG Wenbing

(Cores and Samples Centre of Natural Resources, China Geological Survey,
Langfang 065201, Hebei, China)

Abstract: This is an article in the field of mineral engineering. Germanium ore is an indispensable strategic rare metal resource in the fields of information and communication, modern aviation, military, new energy

and many other high-tech fields. The world's germanium resources are relatively scarce and unevenly distributed, with nearly 96% of proven germanium reserves concentrated in a few countries such as the United States, China, and Russia. As one of the most important strategic advantageous mineral resources in China, germanium is distributed in 14 provinces (regions) throughout the country. The deposit types are mainly coal seam and carbonate hosted type, and are concentrated in five germanium forming regions (belts), including the Great Xing'an Mountains, the Three Rivers in Southwest China, Sichuan, Yunnan and Guizhou, the middle and lower reaches of the Yangtze River, and the Nanling Mountain. By analyzing the endowment, distribution, and development and utilization of germanium resources at home and abroad, and assessing the consumption situation and supply and demand pattern of the world and China's germanium industry chain, it is proposed to increase the exploration of key germanium mineralization areas (belts) in China, carry out research and development of high-end germanium materials and application technologies, strengthen the optimization and upgrading of the germanium industry structure, and promote the green, healthy, and virtuous cycle development of germanium secondary recycling.

Keywords: Mineral engineering; Germanium; Strategic minerals; Distribution and supply; Industry chain

////////////////////////////////////
(上接第 10 页)

New Progress in Exploration and Development of Global Li-Be-Nb-Ta Resources

WU Xishun¹, WANG Denghong², CHENG Aiyong³, MIAO Miao^{4,5}, YANG Tiantian⁶, YAO Xiang⁷
(1.National Geological Documentation Center, China Geological Survey (China Geological Library), Beijing 100083, China; 2.Key Laboratory of Mineralization and Resource Evaluation, Ministry of Natural Resources, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 3.Qinghai Provincial Key Laboratory of Geology and Environment of Salt Lakes, Qinghai Institute of Salt Lakes, Chinese Academy of Sciences, Xining 810008, Qinghai, China; 4.School of Earth Science and Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China; 5.Oil and Gas Resources Survey Center of China Geological Survey, Beijing 100083, China; 6.Beijing Electronic Technology Vocational College, Beijing 100176, China; 7.Guangzhou Marine Geological Survey, CGS, Guangzhou 510075, Guangdong, China)

Abstract: This is an article in the field of mining engineering. Li-Be-Nb-Ta are not only the important highly-demanded rare metals, but also key minerals in emerging strategic industries. They have both commonality and individuality in mineralization mechanism and R&D with new progress. This article aims to comprehensively and accurately measure and evaluate the global resource and reserve data of Li-Be-Nb-Ta, and timely reflect new developments in exploration and development and technological progress. The multi-cycle metallogenic theory of granite pegmatite has made important breakthrough in exploration, the technical output of lithium deposits in South American salt lakes is approaching, the potential for lithium extraction and storage increase in clay rocks and geothermal brines is increasing, the alkaline-peralkaline volcanic intrusive pegmatite type Nb-Ta mineralization has been highlighted in the Americas and the Qinghai-Xizang region, and the exploration of Li-Be deposits in mainland China has made important breakthroughs. The construction of the resource base for Nb-Ta-REE in northwest Hubei can learn from the progress and experience of enterprise level exploration and testing such as Avalon Rare Metals Company in North America. Based on the analysis of 1396 lithium beryllium niobium tantalum deposits and typical cases in the world, this article proposes that multi stage thermal events and multi cycle magmatic differentiation and melting may be the key conditions for large to super large deposits.

Keywords: Mining engineering; Li-Be-Nb-Ta; Metallogenic theory; Exploration and development; Global thermal events; Giant deposits