

全球锗资源分布、供需及消费趋势研究*

马奎¹, 洛桑才仁², 陈超¹, 张万益⁴, 王丰翔^{3,5}

(1. 河北地质大学区域地质与成矿作用重点实验室, 河北 石家庄 050031; 2. 玉树藏族自治州自然资源局, 青海 玉树 815000; 3. 内蒙古自治区岩浆活动成矿与找矿重点实验室, 内蒙古自治区地质调查院, 内蒙古 呼和浩特 010020; 4. 中国地质调查局发展研究中心, 北京 100037; 5. 中国地质科学院矿产资源研究所 自然资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037)

摘要: 锗作为一种稀散金属, 是重要的战略储备资源, 对军事和民用领域发展起非常重要的作用, 近几年全球锗需求量与日俱增, 成为重要的关键性矿产。系统地分析了全球锗资源分布特征、资源供需情况, 总结了我国锗资源现状和供需特点并对我国锗消费趋势进行了预测, 针对我国锗资源开采利用过程中出现的问题提出了对策与建议。研究表明, 全球锗资源储量少, 分布却较集中, 主要分布在中国、美国、俄罗斯等国家, 我国作为锗资源储量和消费大国, 建立了相对完善的产业链。一方面, 我国是粗锗出口大国, 另一方面, 我国高端锗产品却严重依赖进口。在当前贸易保护和单边主义环境下, 我国应建立战略储备资源制度, 有效保护锗资源, 与此同时, 我国应加快锗产业链的产业升级, 加快高端锗产品的研发。因此, 提高提锗工艺研究、增强资源战略储备、加强国内外企业合作势在必行。

关键词: 锗资源; 趋势研究; 战略储备资源; 全球

中图分类号: P618.75 文献标识码: A 文章编号: 1001-0076(2019)05-0016-10

DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2019.05.003

Global Germanium Resource Distribution, Supply and Demand and Consumption Trends

MA Kui¹, LUO Sangcairen², CHEN Chao¹, ZHANG Wanyi⁴, WANG Fengxiang^{3,5}

(1. Key Laboratory of Regional Geology and Mineralization, HeBei GEO University, Shijiazhuang 050031, Hebei, China; 2. Yushu Tibetan Autonomous Prefecture of Natural Resources Bureau, Yushu 815000, Qinghai, China; 3. Inner Mongolia Key Laboratory of Magmatic Mineralization and Ore - Prospecting, Geological Survey Institute of Inner Mongolia, Hohhot 010020, Inner Mongolia, China; 4. Development Research Center of China Geological Survey, Beijing 100037, China; 5. Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China)

Abstract: As a kind of rare metal, germanium (Ge) is an important strategic reserve resource and plays a very important role in the development of military and civil fields. In recent years, its demand is increasing and becomes a key mineral. This paper systematically analyzes the distribution, supply and demand of Ge in the world, summarizes the status of Ge and the same matters in China. While we forecast the consumption trend of Ge in China, and put forward some suggestions for the possible problems in the process of exploitation and utilization of germanium resources in China. The research shows that we have small reserves of Ge in the world, but mainly in China, the US, Russia and other countries, focus on distribution. As a big country of Ge reserves and consumption, China has established a relatively perfect industrial chain. On the one hand, China has a big ex-

* 收稿日期: 2019-07-03

基金项目: 中国地质调查局项目“国家地质调查成果集成与规划”(DD20190464)、“境外大型矿产资源基地及资源潜力评价”(DD20190437)和河北地质大学博士科研启动基金(BQ2018032)

作者简介: 马奎(1995-), 男, 硕士研究生, 矿物学、岩石学、矿床学专业。研究方向为岩浆作用与成矿效应。E-mail: makui196@163.com。

通信作者: 王丰翔(1984-), 男, 助理研究员, 矿产勘查专业, 从事大型-超大型矿床研究。E-mail: wfx0316@163.com。

port, on the other hand, our high-end Ge products are heavily dependent on imports. We should establish a strategic reserve resource system to protect germanium resources amid the environment of trade protection and unilateralism. At the same time, we should speed up the industrial upgrading of the chain and the development of high-end product. Therefore, action must be taken to improve the study on extraction process of Germanium, strengthen the strategic reserve of resources and enhance the cooperation between domestic and foreign enterprises.

Key words: germanium resources; trend research; strategic reserve resources; global

锗属于元素周期表 IVA 族稀有分散元素,熔点和沸点分别为 937.4 °C 和 2 830 °C,硬度为 6.0 ~ 6.5,密度为 5.35 g/cm³,具有亲石、亲铁、亲硫、亲有机质等性质^[1,2]。锗具有高红外折射率、色散率低等光学性质和优良的力学性能,常被应用于红外光学、光纤光纤、太阳能电池、聚合催化剂及医药等高新技术领域^[3]。英国和美国分别于 2015 年和 2018 年将锗列为关键矿产目录,欧盟于 2017 年将其列入 61 种关键原材料目录,被视为战略性矿产资源。显然,随着我国战略新兴产业和新能源产业的发展,锗将作为重要的矿产资源支撑信息通讯、生物科学、现代航空、现代军事以及高新能源等领域。锗元素在自然界常以化合物的形式存在,活性强且较分散,难以富集成独立矿床,只能以 Ge²⁺ 和 Ge⁴⁺ 形式呈分散状态赋存于其他元素组成的矿物中(闪锌矿、硫砷铜矿、银矿物、方铅矿、黄铁矿以及煤)^[4]。因此,全球锗的生产严重依赖 Pb-Zn 矿和煤矿的开采。目前已发现的含锗矿物有 26 种,以灰锗矿 [Cu₂(Fe, Zn)GeS₄] 和锗石 (GeO₂) 最为常见,其次为硫锗铁铜矿 [Cu₂(Fe, Ge, Zn)(S, As)] 和硫银锗矿 (Ag₈GeS₆)。

我国锗资源储量居世界第二,产量占全球的 73%。本文从世界和中国锗矿资源禀赋和开发利用现状出发,研判全球锗产业链的消费形势和供需格局,深入分析世界和我国锗矿资源的未来发展趋势,提出保障我国锗资源安全供应的合理化建议,以期实现锗资源的储量保障和合理配置。

1 全球锗资源分布特征

1.1 资源储量分布

锗作为分散元素,在地壳中丰度 7×10^{-6} 。据最新数据显示,全球已经探明锗资源的储量 8 600 t,主要分布在亚洲、欧洲和北美,涉及国家有美国、中国和俄罗斯。其中,美国锗资源储量 3 870 t,占全球储量

的 45%,居于首位;中国次之,储量 3 500 t,占全球储量的 41%;俄罗斯 860 t,占全球储量的 10%^[5](图 1)。需要指出的是,锗通常作为 Pb + Zn ± Ag 矿床和富锗煤矿的副产品,因此 Pb + Zn ± Ag 矿和富锗煤矿的分布在一定程度上也可代表锗资源分布。

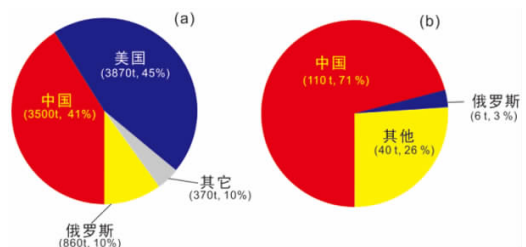


图 1 全球锗资源分布特征:(a)世界主要锗资源分布国家;(b)世界主要锗产品生产国家

Fig. 1 Distribution characteristics of global germanium resources; (a) major germanium resource countries in the world; (b) major germanium product producing countries in the world



图 2 全球主要含锗铅锌矿和煤矿分布图 (该图基于国家测绘地理信息局标准地图服务网站下载的审图号为 GS(2016)2945 号的标准地图制作,矿床数据主要源自 USDI and USGS,2017)

Fig. 2 Distribution maps of major germanium-bearing lead-zinc deposits and coal mines in the world (Modified from Wang et al., 2017, Pei and Xiong, 1999; the date of deposits from USDI and USGS,2017).

从全球范围来看,赋锗矿床的类型有 VMS、SEDEX、MVT 硫化物矿床和基普什型矿床 (Kipushi-type deposits)^[2,6,7](表 1)。美国锗资源主要分布在美国的阿拉斯加 (Alaska) 和田纳西州 (Tennes-

see),成因上与硫化物矿床密切相关,代表性矿床有红狗(Red Dog) Pb + Zn 矿床、哥顿维尔(Gordonsville)矿床^[8]。中国锗矿主要分布于内蒙古、云南、广东、吉林、山西、四川、广西和贵州,成因较为复杂,既有产出在硫化物矿床中,又有赋存在褐煤矿床中的锗矿床,典型矿床有广东凡口 Pb + Zn 矿床、云南

会泽 Pb + Zn 矿床、云南临沧褐煤^[9](表1)。此外,非洲和欧洲也产出有锗矿床,主要为富锗的基普什型(Kipushi - type)矿床和类MVT型(或SEDEX型) Ag + Pb + Zb 矿床,代表性矿床有刚果的基普什(Kipushi)矿床、赞比亚的卡布为(Kabwe)矿床、爱尔兰的利新银矿床等^[2](图2)。

表1 全球富锗矿床类型及典型矿床
Table 1 germanium - rich deposits types and typical deposits in the world

矿床类型	主要特征	主要金属元素	典型矿床
VMS 矿床	矿化特征:层状 Pb + Zn + Cu 硫化物; 镁铁质 - 长英质火山岩成矿热液:由岩浆热液及挥发物	Cu - Zn - Pb - Au - Ag; Be, Bi, Cd, Co, Cr, Ga, Ge, Hg, In, Mn, Mo, Ni, Se, Sn, Te	
SEDEX 矿床	矿化特征:细层状硫化物;赋矿围岩:碳质、黄铁矿页岩和粉砂岩,成矿热液:海底热液形成,无直接的火成岩组合	Zn - Pb - Ag; As, Bi, Cd, Co, Cu, Ga, Ge, Hg, In, Mn, Ni, Sb, Se, Sn,	红狗(Red Dog) Pb - Zn、凡口 Pb - Zn 矿床
MVT 型 Pb - Zn 矿床	层控硫化 Pb - Zn 矿化层沿断层、渗透带和开阔空间充填溶蚀角砾岩和灰岩;与火成岩活动无关	Zn - Pb; Cu, Ni; Co	哥顿(Gordonsville)矿床、会泽 Pb - Zn 矿床
基普什型矿床(Kipushi - type deposits)	层控 Zn - Pb - Cu 矿化产于塌陷角砾岩、断裂有关的不规则管状体和平行于层理的透镜体中。		
与火成岩活动的关系尚不清楚	Zn - Pb - Cu; Ag, As, Bi, Cd, Co, Ga, Ge, Mo, Re, Sb, Sn, W	基普什(Kipushi)、卡布为(Kabwe)矿床	

注:资料来源于 USGS,2017。

1.2 主要矿业企业

1.2.1 国际锗资源供应企业

全球锗资源稀缺,主要分布在美国、中国和俄罗斯。因此,全球致力于锗矿生产的矿业企业也不多。境外具有规模的矿业企业主要有美国的 ATX 半导体公司、德国的 Photonic Sense 公司以及比利时优美科公司(Umicore)(表2)。其中,优美科公司锗年产量达 55 t/a,拥有众多子公司,且高端技术成熟,在锗的深加工领域表现突出,尤其是在全球太阳能电池衬底材料领域具备绝对优势,市场份额占 80% ~ 90%;美国的 ATX 半导体公司锗年产量达 4 t/a,主要从事砷化镓、锗单晶片、磷化铟等半导体材料的加工;德国的 Photonic Sense 公司锗产量达 16 t/a,拥有世界上最大的晶体生长炉,是生产最高品质的锗红外光学镜片的世界级厂商^[10]。

1.2.2 中国锗资源供应企业

我国是世界锗矿主要生产国,年产量占全球总产量的 71%。我国锗矿生产基地主要集中在云南、

江苏、内蒙古,主要生产企业有云南锗业、四环锌锗、中储科技、通力锗业、驰宏锌锗、韶关冶炼厂等。其中,云南是我国最主要的锗产品生产基地,年产量占全国总产量的 50%(表2)。

云南锗业是亚洲乃至世界最大的锗产品生产企业,也是我国最重要锗下游产品的加工基地,年产量达 70 t/a,占我国锗年产量的 34%,占全球产量的 24%,主要生产区熔锗锭、光纤级四氯化锗、红外光学级锗单晶和太阳能衬底片。四环锌锗年产量达 40 t/a,位于全球第二;中储科技锗行业链条最为完整,是我国锗行业的龙头企业,年产量达 30 t/a,位于全球第五^[9,11]。上述企业锗原料基本来自于自产,以生产区熔锗锭和二氧化锗为主(表2)。

需要指出的是,我国生产锗产品矿山企业众多,产能也位居全球前列,但我国锗资源的深加工领域技术相对薄弱、中下游产品的市场竞争力与欧美、日本等国亦逊色不少。因此,只有综合考虑产量、技术、产品结构等因素,提升整体竞争力,才能在锗行业下游市场稳步发展^[12]。

表2 世界和中国主要锗产品生产企业

Table 2 Major germanium production enterprises in the world and China

国家/地区	矿业公司	原料源	锗产品	锗产能/(t·a ⁻¹)
全球锗产品生产企业				
比利时	优美科 Umicore	外购	四氯化锗、二氧化锗、区熔锗锭	55
德国	Photonic sence	外购	二氧化锗、区熔锗锭	40
美国	挨格尔皮尔 Nigel Pitcher	自产、外购	高纯二氧化锗、区熔锗锭	30
德国	普雷乌隆格	外购	高纯二氧化锗、区熔锗锭	25
美国	凯威克彼业	外购	高纯二氧化锗、区熔锗锭	10
德国	奥托维·米林	外购	红外光学锗单晶	10
中国锗产品生产商				
云南	云南锗业	自产、外购	区熔锗锭、光纤级四氯化锗、 红外光学级锗单晶、太阳能衬底片	70
四川	四环锌锗	外购	高纯二氧化锗	40
南京	中储科技	外购	高纯二氧化锗、锗锭、光纤级四氯化锗、 红外光学级锗单晶、光伏级锗单晶	30
内蒙古	通力锗业	自产	高纯二氧化锗、区熔锗锭	15
云南	驰宏锌锗	自产	高纯二氧化锗、区熔锗锭	30
广东	韶关冶炼厂	自产	粗二氧化锗	10
上海	隆泰铜业	外购	高纯二氧化锗、锗锭	10

注:数据来源自中国产业信息,2018。

2 全球锗资源供需情况

2.1 主要生产与出口国

锗生产国以中国、美国、俄罗斯和加拿大为主^[11,13]。美国虽然是全球最大的锗资源储量国,但锗资源主要以与Pb+Zn矿伴生为主,锗的产量受制于Pb+Zn矿的产量,增长潜能较低。自1984年以来,美国就将锗作为国防储备资源进行保护,尤其是近几年已基本不再进行锗的开采^[13]。中国是全球最大的锗产出国,其年产量约占全球锗产量的71%。

据USGS(2016/2019)数据,2014—2017年,受中国环保政策和资源保护措施的影响,中国锗年产量下降,全球年产量从165 t下降到106 t。但到了2018年,随着全球锗需求量的增加,中国年产量有所回暖,达到了75 t,全球年产量则上升到120 t,预计今后维持到110 t。俄罗斯年产量由5 t上升至6 t,但预计其未来几年变动幅度不大,占全球产量的3%左右;加拿大与其他国家共占全球产量的26%,年产量维持在40 t左右^[2,14,15](图1b,表3)。近几年全球锗产量虽下滑严重,但受到锗在军工和民用领域突出的表现和市场需求的影响,其产量将会得到一定程度的增加,为了维持全球锗的供需平衡,预计其产量将维持在120 t(图3)。

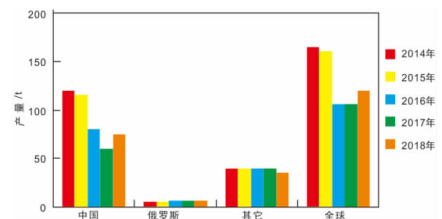


图3 2014/2018年全球及主要国家锗生产统计
Fig. 3 Statistics of germanium production in the world and major countries, 2014/2018

表3 2014—2018年全球锗产量状况 /kg
Table 3 Global germanium production (kg) in 2014—2018

国家	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年
美国	—	—	—	—	—
中国	120 000	115 000	80 000	60 000	75 000
俄罗斯	5 000	5 000	6 000	6 000	6 000
其它	40 000	40 000	40 000	40 000	35 000
全球	165 000	160 000	106 000	106 000	120 000

注:数据来源自USGS.,2019。

中国锗资源储量占全球41%,年产量占全球71%,可开采利用锗较为充足,每年都有大量的锗出口到美国、德国、加拿大等国家,是全球最主要的锗出口国,长期供应着全球70%以上的市场需求。虽然近几年锗作为稀缺战略储备资源得到保护,锗出口量大幅减少,但仍保有每年约50 t左右的出口量^[13,16]。

2.2 主要消费与进口国

锗自发现以来便广受关注,从最开始被应用于半导体行业,到被大量应用于电子行业,再到红外光学等领域初露锋芒,经历了不同的发展阶段^[9]。尤其是近几年以来,随着科学技术的进步,各国对锗的应用研究越来越广。目前,锗的研究大多都集中在信息通讯、现代航空、现代军事以及高新能源等高新技术方面,全球锗的消费主要集中在光纤(30%)、红外光学(20%)、聚对苯二甲酸乙二醇酯(20%)以及太阳能发电(15%)等领域^[3](图4a)。

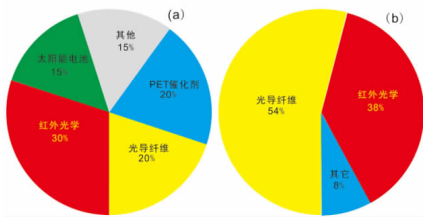


图4 全球锗消费结构:(a)世界锗消费结构;
(b)中国锗消费结构

Fig. 4 Global germanium consumption structure:
(a) World germanium consumption structure;
(b) China germanium consumption structure.

锗无论是在军工方面还是在民用方面都有着重要作用,锗的消费量也从侧面凸显了一个国家军事实力和经济的发展速度。目前,全球锗的消费以中国、美国、日本三个国家为主,三国总的消费量约占全球的80%以上^[17,18]。

近几年来,中国发展迅速,锗的消费与日俱增。据 ATK 和 USGS 数据显示,2017 年全球锗消费约 120 t,中国消费约 59 t,2018 年全球锗消费 132 t,中国消费约 75 t,其消费量约占全球消费 50%,是全球第一锗消费大国^[16](表4)。中国锗消费在 PET 催化剂和太阳能等方面消费较少,主要集中在红外和光纤方面,两者之和占全国整体消费的 90%(图4b)。

表4 2017年/2019年中国与全球锗消费状况/kg
Table 4 Consumption (kg) of germanium in China and globally from 2017 to 2019

国家	2017年	2018年	2019年*
全球	120 160	132 449	135 723
中国	59 650	75 050	81 230

注:数据来源自安泰科,2018,“*”为估计值。

美国锗资源储量世界第一,但锗已作为战略储备资源被保护起来基本不开发,美国的锗资源大多与 Pb + Zn 矿伴生在一起,锗主要通过开采 Pb + Zn

矿时作为废料被回收,其产量受制于 Pb + Zn 矿的开采,尤其是 2013 年以后,美国几乎不再对锗进行开采,锗的消费主要依靠进口来满足发展所需,是全球锗消费和进口大国(表5)。据美国地质调查局数据,美国锗消费领域以光纤系统、红外光学和太阳能电池为主,三者占美国锗消费的 90% 左右,锗的进口主要来自中国(58%)、比利时(26%)、德国(7%)、俄罗斯(6%)四国,其他国家仅占总进口量的 3%^[15](图5,表6)。

表5 2014—2018年美国锗进口及消费量 /kg

Table 5 germanium imports and consumption in the United States in 2014—2018

进口类型	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年*
锗金属	23 700	20 100	11 000	11 100	8 000
二氧化锗	12 500	14 300	15 200	12 000	13 000
进口总量	36 200	34 400	26 200	23 100	21 000
消费量	32 000	34 000	30 000	30 000	27 000

注:数据来源于 USGS., 2018, 其中“*”为估计值。

表6 2012—2016年美国从各国锗金属进口量/kg

Table 6 germanium imports from various countries by the United States in 2012—2016

国家	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年
中国	23 667	23 163	13 118	12 667	6 232
比利时	6 494	5 537	7 614	5 597	2 338
俄罗斯	3 493	2 323	1 281	592	1 129
德国	530	341	1 181	1 301	896
其它	3 276	2 656	523	71	149
总进口量	37 460	34 020	23 717	20 228	10 744

注:数据来源于 USGS., 2017, 其中“-”代表无数据。

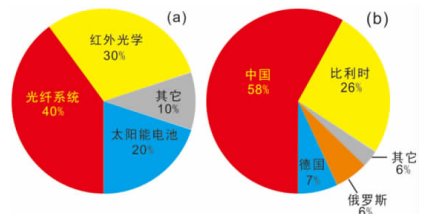


图5 美国锗消费及进口情况:(a)美国锗消费结构;
(b)美国锗进口来源情况

Fig. 5 American germanium consumption and import situation:(a) American germanium consumption structure;
(b) American germanium import source situation.

日本具有相对发达的工业和先进的科学技术,但其锗资源匮乏,主要依靠进口 GeO_2 和锗金属,并对其进行进一步生产、制造和加工成具有高附加值的产品来满足国内需求以及通过出口来加快经济发

展,是全球主要的锗消费国家之一。日本锗消费领域主要集中在 PET 树脂催化剂、光纤和医疗保健方面,其中 PET 树脂催化剂用锗最多,占全国的 80% 左右^[9]。

全球在光纤、红外、太阳能和催化剂等领域发展迅速,锗需求与日俱增,但就目前来看,全球锗的供应足以满足全球锗消费,除 2017 年锗出现供应不足外,其他年份预计均出现供过于求现象^[16](表 7)。

表 7 2017—2019 全球锗供需情况 /kg
Table 7 Global germanium Supply and Demand in 2017—2019 (kg)

年份	2017	2018	2019
全球产量	117 328	135 400	141 500
全球消费量	120 160	132 449	135 723
供应过剩量	-2 382	2 951	5 787

注:数据来源于安泰科,2018。

3 我国锗资源分布特征

我国锗资源储量丰富且分布较为广泛,已探明储量约 3 500 t,占全球储量的 41%,是锗资源储量第二大国。目前国内已知锗矿产地有 35 处,遍布内蒙古、云南、广东、吉林、山西、四川、广西和贵州等 12 个省份,其中内蒙古和云南储量最多,分别占全国的 46% 和 34%^[13]。内蒙古锗储量全国第一,但其品位较低,矿床经济价值低,云南矿床便于开采^[11](表 8)。

表 8 中国锗资源分布情况
Table 8 Distribution of Ge rmanium resources in China

省份	主要矿区	含锗资源类型	储量/t
云南	会泽矿区	Pb + Zn 矿	500 ~ 600
	临沧帮卖(大寨和小寨)	褐煤	1 620
	腊东(白塔)矿区	褐煤	132
	沧源芒回矿区	褐煤	257.5
	潞西等噶矿区	褐煤	67
内蒙古	胜利煤矿	褐煤	1 919
	伊敏煤矿	褐煤	约 4 000
广东	广东凡口	Pb + Zn 矿	

注:数据来源于中国产业信息,2018。

我国锗主要来源于 Pb + Zn 矿和含锗褐煤的开采,而云南作为我国锗资源储量大省,拥有丰富的 Pb + Zn 矿和富锗煤矿,典型 Pb + Zn 矿床会泽 Pb +

Zn 矿床,该矿床含有富锗方铅矿、黄铁矿和闪锌矿等多种矿物,Pb + Zn 品位较高,锗储量可达 500 ~ 600 t,是我国主要的 Pb + Zn 锗生产基地之一^[19]。云南富锗煤矿比 Pb + Zn 矿更丰富,目前在滇西褐煤中发现的具有工业价值的矿区有 4 个:帮卖矿区(1 600 t)、腊东矿区(132 t)、芒回矿区(257 t)和等噶矿区(67 t)。除芒回矿未进行开采外,其余矿区皆在开采中。其中,噶矿区开采时间最长,开采史近 40 年,是危机矿山之一^[20](表 9)。

表 9 滇西地区主要含锗褐煤矿区的锗储量及利用情况
Table 9 Germanium reserves and utilization in main germanium - bearing lignite mining areas in Western Yunnan

名称	锗储量/t	利用情况	备注
帮卖(大寨和小寨)	1 620	开采中	
腊东(白塔)矿区	132	不分开采	
芒回矿区	257.7	未开采	
等噶矿区	67	近乎枯竭	现已开采 40 余年

注:数据来源于邹艳梅,王少龙等,2006。

内蒙古优质锗资源主要赋存在煤矿中,含锗褐煤有胜利煤田和伊敏煤田,其中胜利煤田经历了两次大范围勘查,预计含锗储量 1 919 t,是内蒙古最主要的富锗褐煤;对于伊敏煤田的勘探工作很少,除早期进行勘探发现锗含量异常外,没有再进行过细致的勘探和开采,预计其锗资源量超过 4 000 t^[11,20,21]。

4 我国锗资源消费现状与趋势

4.1 我国锗主要进口来源

我国是锗储量和产量大国,锗对外依存度较低,但作为全球最大的锗出口国,主要向西方发达国家出口大量的初级锗产品,为保证国内锗的供需平衡,我国在自我消费和出口锗产品的同时,需从比利时、加拿大、荷兰等国家进口一定量的未经段轧的锗、锗废料和锗粉末,而且我国对于红外和光纤领域使用的高端锗产品的制作技术不成熟,高端锗产品如锗单晶和光纤用四氯化锗等基本依赖进口^[22,23]。纵观近几年进口情况,2016 年进口 3 t 多,2017 年进口 5 t 多,2018 年达到了 9 t,进口量呈递增趋势,随着我国在红外、光纤、太阳能电池等领域迅猛发展,锗需求量将不断增加,如 2018 年出现进口量超过 5 t 的情况仍会出现^[16](表 10)。

表 10 2016—2018 年中国各类锗产品进口状况 /kg

Table 10 Imports of germanium products in China from 2016 to 2018

进口类型	2016 年	2017 年	2018 年
未经段轧的锗、锗废料、锗粉末	2 757	1 304	7 342
高端锗产品进口量	541	2 370	1 133
二氧化锗和锗金属进口量	0	1 909	1 000
进口总量	3 298	5 583	12 262

注:数据来源于安泰科,2018。

4.2 我国主要消费领域

我国锗产业链相对来说比较完善,主要包括三个部分:第一部分是上游的资源提炼,第二部分是中游的提纯和深加工,第三部分是下游的红外和光纤等高端产品的生产^[22](图6)。锗产业链的三个部分具有不同的技术难度且各有优缺点,从我国目前的技术上来看,上游资源的提炼难度最低,但受环保压力大;中游的深加工环节技术难度最大,核心技术掌握在少数国家手中,但也是利润较为丰富的部分;下游涉及领域很广,技术进步较快,但保持高盈利较难,行业波动大。

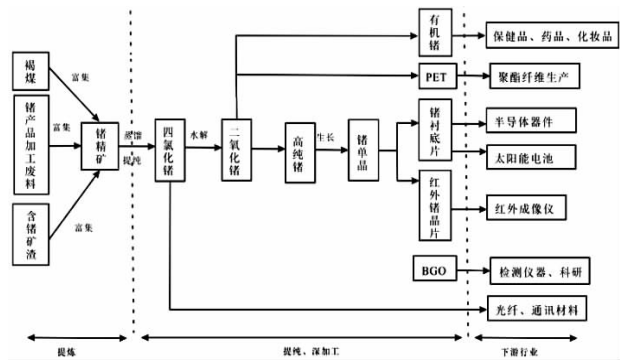


图 6 锗生产产业链

Fig. 6 Germanium production industry chain

从锗产业链上来看,锗产业的核心竞争主要在中下游的深加工和应用方面,全球锗的消费主要集中在下游的红外、光纤、太阳能电池、PET 催化剂和医疗保健等高新领域^[12]。我国锗消费与全球大致一样,消费以下游应用为主,在太阳能和 PET 催化剂消费较少,主要消耗 GeCl_4 、高纯锗和锗单晶用于红外和光纤等领域,分别占我国锗消费的 38% 和 54%。从近两年的数据来看,2017 年我国锗消费量 5.9 t,2018 年锗消费量达 7.5 t,锗年消费增长率可达 20%,受红外和光纤行业发展迅速的影响,这种增长态势将持续下去,但不会打破我国供需平衡,预计 2019 年锗消费量将达 8.1 t^[16](表 11)。

表 11 2017—2019 年中国锗供需平衡 /kg

Table 11 Balance of germanium supply and demand in China, 2017—2019

年份	2017 年	2018 年	2019 年
产量	79 100	94 900	100 000
消费量	59 650	75 050	81 230
供需平衡	804	6 588	3 770

注:数据来源于安泰科,2018。

4.3 我国主要应用领域和消费趋势

全球对锗的应用研究发展迅速,消费主要集中在光纤通讯、红外光学、太阳能电池、化学催化剂、生物医学等高精尖领域。近几年,我国锗消费则主要以光纤通讯和红外光学为主,太阳能电池用锗也不断增加,这三个方面将成为我国锗消费的主要趋势。

(1) 锗具有红外折射率高、红外透过波段范围宽、吸收系数小、色散率低、易加工和耐腐蚀等特点,非常适合制作成锗单晶用于红外光学镜头和红外光学窗口^[3]。红外镜头在军事和民用领域应用都非常广泛,是我国军事和经济发展必不可少的一部分。

在军事方面,红外锗镜头常应用于军事车辆、舰艇、飞机等高端武器和红外枪瞄镜头、头盔红外镜头、手持红外镜头等单兵红外装备上^[3]。在军队建设上,我国不再追求数量规模,注重的是武器装备跨越式发展,谋求的是将先进的科学技术和科技产品与军队建设相结合。锗制作的红外镜头,对于提升我国军事设备和单兵作战装备具有非常重要的作用。根据我国发布的《中国武装力量的多样化运用》国防白皮书公布,我国陆军机动作战部队大约 85 万人,每个班大约 9~12 人,预计未来每班装备 2 台红外夜视仪,每台大约消耗锗 0.3 kg,而目前我国陆军配备大约 2 万台红外夜视仪,远远不及预期,随着我国军事建设越来越完善,红外用锗将会大大提升,到 2020 年单兵红外夜视仪用锗将会达到 12.1 t,红外装备将会成为刺激锗消费的主要因素^[23]。

在民用方面,锗主要应用与预防检测、消防、汽车夜视和环境监测等多个领域,其中汽车领域尤其是无人驾驶汽车的发展最为迅速,锗主要消费于车载红外夜像仪。据中国有色金属协会和 Maxtech International 数据,每套车载夜视设备消耗锗金属约 0.03 kg,而到 2020 年我国汽车产量预计将达 3 256 万量,车载夜视仪红外镜头用锗可达 32.6 t,车载夜视仪和无人驾驶汽车的开发将会提升红外光学领域锗的需求量^[3,23]。

我国军事和民用领域发展迅速,对红外光学锗镜片需求量将会不断增加,锗在红外光学领域拥有巨大发展前景,红外光学用锗将会成为我国锗消费的一大趋势。

(2) 锗在光纤领域具有非常重要的作用,掺锗光纤具有容量大、光损小、色散低、传输距离长且不受环境干扰等优良特性, GeCl_4 作为制作光纤预制棒的重要掺杂剂,能够提高纤芯折射率,使传输光向更长的波长区扩展,极大地提高了光纤传输效率,减少了能耗,光纤领域的发展离不开锗^[3]。

我国光纤自 1977 年得到初步实践,到现在遍布全国,历经 40 多年,促进了国民经济的发展,提高了社会信息化水平,为我国的移动通信做出了突出贡献^[24]。近年来我国光纤领域发展迅速,一方面受国家政策的影响,另一方面则得益于 5G 移动通讯的应用与需求。国家政策方面,我国提出了“宽带中国战略”,制定了固定宽带接入户到 2020 年达 4 亿户的目标。截至到 2018 年 12 月底,我国宽带接入户达 4.07 亿户,光纤接入用户达 3.68 亿户,已提前完成 2020 年目标,但在网络接入速率方面却远远不足,在 100 Mbps 以上的用户只占固定宽带用户总数的 70.3%,而光纤的部署对于提升接入速率起重要作用。因此,在“宽带中国战略”的影响下,预计国家对掺锗光纤的需求将会大大提升,锗的消费也会进一步增加。在 5G 移动通讯的应用与需求方面,5G 作为第五代移动通讯网络,相对于 4G 来说,其对流量密度、连接密度、时延、速率等各方面都提出了更高的要求,因此需要更多的基站来提升覆盖密度,以达到更好的传输效果,而连接各个基站的桥梁便是光纤^[25]。据 FTTH council 预测,5G 基站所需光纤数量将是 4G 的 16 倍以上,而 5G 的发展取决于光纤的发展,尤其是光纤的特性方面将会对 5G 的发展起决定性作用, GeCl_4 作为光纤制备的重要材料,能够很好地提升光纤的传输速率和效率,5G 移动通讯的发展将会极大提升锗的消费量^[23]。

(3) 在太阳能电池方面,锗常用于制作成锗衬底砷化镓太阳能电池,这类电池具有高效率、高电压、耐高温性好等特点,其能量转化率达 50%,远远超过了传统的多晶硅(17%~19%)和薄膜电池(6%~13%),被广泛地应用于空间光伏和地面光伏领域。

在空间光伏领域,其用锗相对稳定,平均每颗卫

星需要 2 锗单晶片,每片大约消耗金属锗 8 g。我国每年向太空发射大概 20 颗卫星,照此下去,预计到 2020 年空间太阳能用锗将达到 6.4 t^[23]。

在地面光伏领域,作为可利用清洁能源,我国光伏建设发展迅速。据中国有色金属协会铟铋锗分会,今年第一季度,我国新增光伏装机 5.2 GW,与 2018 年同一期相比虽有所下降,但却比风能发电和生物质发电装机量多,光伏仍然是我国可再生能源利用的先锋^[26]。我国在自我消费的同时,还要向海外出口大量的光伏电池片,这也进一步增加了太阳能电池方面锗的消费量。

锗在 PET 催化剂、医疗保健等诸多方面应用也非常广泛,但我国研究相对较少,随着我国对锗研究的进一步深入和科学技术的进步,相信这些领域也会成为我国锗消费的主要趋势。

5 结论与思考

5.1 主要结论

通过对锗的性质、应用、资源分布特点进行研究以及对全球消费总趋势进行预测,得出以下结论:

(1) 锗作为稀有分散元素,自身难以富集成矿,属于稀缺资源。由于其良好的物化性能,对军工和民用领域的发展起明显促进作用,被多国厘定关键矿产或战略性矿产资源。因此,锗资源稀缺战略性金属资源的地位应被国家监管部门重视。

(2) 全球锗资源总量贫乏,但分布较为集中,主要分布在中国、美国、俄罗斯等国家。其中,美国储量第一,却将其作为战略资源保护起来,限制开采;尽管我国储量第二,却供给着全球 > 70% 消费量,锗资源已过度开采。随着我国高端制造和战略性新兴产业的高速发展,我国未来锗消费量巨大。因此,合理开采锗资源和限制出口,应成为我国资源政策的“底色”。

(3) 就锗产品的种类而言,我国低端锗制品产能比重大,然而高端锗产品种类远不能满足我国航空、医疗等高端产品的研发及生产上,仍需进口高端锗制品。因此,加大科研开发力度,推动我国锗产业结构调整,仍是我们努力之方向。

(4) 消费趋势从军用一枝独秀,呈现出军民两用的可喜转变。锗在信息通讯、现代航空、现代军事以及高新能源等高新技术方面都得到了较好的应

用,红外光学、光纤、太阳能电池和 PETG 消费量巨大,锆需求量与日俱增。近几年全球锆的消费仍会围绕这些领域,但随着对有机锆及锆在医疗保健方面的研究越来越深入,其消费趋势将会有所转变。

5.2 思考

锆是一种非常重要的稀缺资源,在红外、光纤、PET 催化剂、太阳能电池和医疗保健等诸多领域应用非常广泛,是我国军事和民用行业发展必不可少的一部分,对我国军事建设和国民经济发展具有非常重要的意义,但是全球锆资源储量却很稀少,我国每年出口大量的锆产品到海外,容易使我国出现因开采过量而导致资源浪费、出口为主而导致储备不足和国内供需失衡的问题。另一方面,我国高端技术不成熟,在以低价出口大量初级锆产品的同时,还要花高价钱进口我国发展所必需的高端锆产品,而导致出现资金外流的情况。因此,根据国家可持续发展战略,针对这些问题,提出以下建议:

(1)加强提锆工艺研究,减少资源浪费。锆主要作为 Pb + Zn 矿的伴生矿物存在或者赋存于煤矿中,我国主要是从含锆煤矿中提取锆。目前我国从煤中提取锆的主要过程先是对煤炭进行燃烧,使锆进入到烟尘中,再通过湿法工艺,提取烟尘中的锆^[20]。这种方法虽然简单,但锆的提取率较低且资源浪费严重,尤其是在当前全球锆资源需求量大,某些矿产公司为追求眼前利益,为了提取锆而大量开采含锆煤矿进行燃烧,这导致燃烧热量浪费的同时也对环境进行了破坏。由此可见,加强提锆工艺的研究以及开采监管变得异常重要。在提锆工艺研究方面,我们应开展从煤中提锆的综合研究工作,在研发新的提锆工艺达到提高锆的提取率的同时,还要做到对环境的保护,实现可持续发展。在加强开采监管方面,应对含锆煤矿的开采制定统一的规划及相关的开采制度,对于违反开采制度的矿产企业进行相应的惩罚。

(2)限制海外出口,加强国内储备。美国是锆储量第一的国家,自 2013 年以后基本不在开采本国锆资源,主要通过进口来满足自身所需。相比之下,我国对于锆的保护意识还不足,每年都要向海外出口大量的锆产品。为了国家长远的发展,建议出口方面应在不违反 WTO 的情况下针对各个国家的发展状况制定相应的出口额度,在保证我国正常发展

的同时再出口一定的锆产品。在国内储备方面应入库含锆实物、增加锆资源储量,保证锆储量能够满足日后我国发展所需锆的需求量。

(3)加强国内、外企业合作,提升高端技术水平。我国锆产业链相对完善,但对于产业链中游高端锆产品的生产技术还不太成熟,而锆产业的核心仍处于中下游的深加工和应用方面,这使得我国主要以初级锆产业为主,对于盈利最高的中下游产业没有足够的掌控力。因此,国内各矿产企业应加强交流合作,加大核心技术研究程度,与此同时,还应加强与掌握核心技术的外国企业的交流,通过寻求两者之间的共同利益,取长补短,实现合作共赢,为我国能够在锆产业链的中下游领域占有一席之地而努力。

致谢

在数据收集和图件绘制过程中,得到张伟波博士和郭襄博士的帮助,在此表示感谢;尤其感谢吴建设教授级高工提出的建设性建议和对文章的修改。

参考文献:

- [1] CBC 金属网. 有色金属 - 锆之篇[EB/OL]. [2019 - 06 - 02]. <http://www.cbcie.com/14856/16260155.html>.
- [2] USDI and USGS. Critical mineral resources of the united states - economic and environmental geology and prospects for future supply. [R]2017.
- [3] 张小东,赵飞燕. 金属锆在高新技术领域中的应用[J]. 煤炭与化工,2018,41(2):32 - 34,37.
- [4] 章明,顾雪祥,付绍洪,等. 锆的地球化学性质与锆矿床[J]. 矿物岩石化学通报,2003,22(1):82 - 87.
- [5] 中国产业信息. 2018 年中国锆产量、需求量及价格走势分析[EB/OL]. [2019 - 06 - 11]. <http://www.chyxx.com/industry/201803/616917.html>.
- [6] HoLL R, KLING M, SCHROLL E. Metallogenesis of germanium - areview[J]. Ore geology reviews,2007,30(3 - 4):145 - 180.
- [7] HU Ruizhong, QI Huawen, ZHOU Meifu, et al. Geological and geochemical constraint on the origin of the giant lincang coal seam - hosted germanium deposit, Yunnan, SW China: a review [J]. Ore geology Review, 2009, 36(1 - 3): 221 - 234.
- [8] JOHNSON C A, DUMOULIN J A, BURRUSS R A, et al. Depositional conditions for the kuna formation, red dog zn - pb sg barite district, Alaska, inferred from isotopic and chemical proxies[J]. Economic geology, 2015, 110(5): 1143 - 1156.
- [9] 李向娜,黄翀,李颖. 全球锆资源供需格局分析[J]. 中国矿业,2016,25(S1):13 - 17,21.
- [10] 宣宁. 锆:新材料之娇子[J]. 中国金属通报,2010(30):14 - 19.
- [11] 中国产业信息. 2018 年中国锆产业发展现状及发展前景分析[EB/OL]. [2019 - 05 - 02]. <http://www.chyxx.com/industry/>

stry/201804/633815.html.

- [12] 2017 年全球锗矿资源状况分析[J]. 新疆有色金属, 2017, 40(6):87,96,98.
- [13] 张苏江,季根源,王楠等. 中国锗矿资源现状及其可持续发展对策研究[J]. 矿产保护与利用, 2017(2):6-12.
- [14] Roderick G. Eggert. Nonferrous metal prices in the united states through 1998[J]. Resources Policy, 1990, 16(4):314-315.
- [15] USDI and USGS. <http://www.usgs.gov/centers/nmic/titanium-statistics-and-information>.
- [16] 刘麦. 2018 年锗市场分析报告[R]. 安泰科, 2019.
- [17] 陈其慎,于汶加,张艳飞等. 点石:未来 20 年全球矿产资源产业发展研究[M]. 北京:科学出版社, 2016.
- [18] 胡永达,冯君从,张福良,徐爱华,杜秩伦等. 主要有色金属矿产供需及开发趋势分析[M]. 北京:地质出版社, 2016.
- [19] 叶霖,李珍立,胡宇思等. 云南会泽铅锌矿床中锗的分布与富集规律[C]//2017 中国地球科学联合学术年会论文集(五十)—专题 104:深部矿产资源评价理论方法、专题 105:中国“三稀”矿产资源分布与成因, 2017-10. 北京:

中国和平音像电子出版社, 2017:43.

- [20] 徐冬,陈毅伟,郭桦,等. 煤中锗的资源分布及煤伴锗提取工艺的研究进展[J]. 煤化工, 2013, 41(4):53-57.
- [21] 王婷灏,黄文辉,闫德宇,等. 中国大型煤-锗矿床成矿模式研究进展:以云南临沧和内蒙古乌兰图嘎煤-锗矿床为例[J]. 地学前缘, 2016, 23(3):113-123.
- [22] 陆挺. 中国钢铍锗产业链发展战略研究[D]. 北京:中国地质大学(北京), 2016.
- [23] 有色金属协会. 2018 年有色金属行业锗锗行业研究报告[EB/OL]. [2019-05-28]. 2018. <http://www.3mbang.com/p-344814.html>.
- [24] 郭全文,李正阳,邓姜天坛. 浅析中国光纤光缆 40 年发展现状及未来形势[J]. 中国新通信, 2018, 20(9):6.
- [25] 李辉,史辉,朱永刚等. 基于 5G 应用的新型光纤[J]. 现代传输, 2018(6):13-15.
- [26] 全球光伏将迎黄金期 中国或成最大赢家[J]. 变频器世界, 2019(5):41-42.

引用格式:马奎,洛桑才仁,陈超,张万益,王丰翔. 全球锗资源分布、供需及消费趋势研究[J]. 矿产保护与利用, 2019, 39(5):16-25.

MA kui, LUO sangcairen, CHEN chao, ZHANG wanyi, WANG fengxiang. Global germanium resource distribution, supply and demand and consumption trends[J]. Conservation and utilization of mineral resources, 2019, 39(5):16-25.

投稿网址: <http://kcbh.cbpt.cnki.net>

E-mail: kcbh@chinajournal.net.cn

(上接第 15 页)

资源需求趋势分析与中国镓产业发展思考[J]. 地球学报, 2017, 38(1):77-84.

- [11] 刘英俊,于镇藩. 某地铝土矿中镓的地球化学特征[J]. 南京大学学报(自然科学版), 1963(13):93-100.
- [12] 张勇,秦身钧,杨晶晶,张健雅. 煤中镓的地球化学研究进展[J]. 地质科技情报, 2014, 33(5):166-169,175.
- [13] 吴鹏,宋公社,杨文博,等. 陕西省三稀矿产调查研究回眸与展望[J]. 陕西地质, 2018, 36(2):9-16.
- [14] 汤艳杰,刘建朝,贾建业. 豫西铝土矿中镓的赋存状态研究[J]. 地球科学与环境学报, 2002, 24(4):1-5.

[15] 宁树正,邓小利,李聪聪,等. 中国煤中金属元素矿产资源研究现状与展望[J]. 煤炭学报, 2017, 42(9):2214-2225.

- [16] 刘佳媛. 攀枝花钒钛磁铁矿中镓的研究进展[J]. 现代矿业, 2019, 35(1):102-105.
- [17] 杨志民,李晓萍,邬晓梅. 镓生产现状及其化合物的应用前景[J]. 轻金属, 2002(2):3-5.
- [18] 王顺昌. 世界镓的供需状况[J]. 世界有色金属, 2000(11):28-29.
- [19] 盛蔡茂. 氮化镓 GaN 的特性及其应用现状与发展[J]. 科学技术创新, 2018(31):48-49.

引用格式:敦妍冉,荆海鹏,洛桑才仁,张万益,宋泽峰. 全球镓矿资源分布、供需及消费趋势研究[J]. 矿产保护与利用, 2019, 39(5):9-15,25.

DUN Yanran, JIN Haipeng, LUOSANG Cairen, LUAN Wenlou, SONG Zefeng. Current situation and utilization trend of the global gallium resources[J]. Conservation and utilization of mineral resources, 2019, 39(5):9-15,25.

投稿网址: <http://kcbh.cbpt.cnki.net>

E-mail: kcbh@chinajournal.net.cn