

中国锗矿资源现状及其可持续发展对策研究^{*}

张苏江, 季根源, 王楠, 姜爱玲, 尚磊
(国土资源实物地质资料中心, 河北 三河 065201)

摘 要: 锗矿已成为信息通讯、现代航空、现代军事及新能源等诸多高新技术领域不可或缺的战略稀有金属资源。在分析全国锗矿资源特点、主要矿床类型与分布、储量与产量、需求与保障及产业结构等形势的基础上, 指出当前国内锗矿资源开发利用过程中面临的一些亟待解决的问题。对此, 提出加大勘查投入、强化国际合作、入库含锗实物、加强科学研究、优化资源配置、完善行业规范、降低环境污染、构建生态矿业等促进国内锗矿产业健康可持续发展的对策与建议。

关键词: 锗矿; 可持续发展; 对策

中图分类号: F407.1 文献标志码: A 文章编号: 1001-0076(2017)02-0006-07

DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2017.02.002

Current Situation and Sustainable Development Countermeasures of Germanium Resources in China

ZHANG Sujang, JI Genyuan, WANG Nan, JIANG Ailing, SHANG Lei

(Cores and Samples Center of Land and Resources, China Geological Survey, Sanhe 065201, China)

Abstract: Germanium ore is an indispensable strategic rare metal resources in the fields of information and communication, modern aviation, military, new energy and many other high-tech fields. This paper points out some tough problems in the process of development and utilization of germanium ore resources in China based on analysis of the resources characteristics, main deposit types and distribution, reserves and production, demand and guarantee, and industrial structure. According to the above problems, this paper puts forward some countermeasures and suggestions to promote healthy and sustainable development of germanium industry, which includes increasing investment in exploration, strengthening international cooperation, warehousing with germanium samples, enhancing scientific research, optimizing resources allocation, improving industry standard, reducing environmental pollution, constructing ecological mining and so on.

Key words: germanium resources; sustainable development; countermeasures

锗(Ge)是一种银灰色性脆的金属,在地壳中的含量约为0.0007%,于1886年被德国化学家克萊門斯·溫克勒在对硫银锗矿进行分析时所发现^[1]。作为一种典型的稀有分散元素,一种不可再生的、重要的稀缺性战略资源,金属锗不仅拥有仅次于硅的

良好的半导体性质,同时也是信息通讯和新能源领域重要的基础原材料,在光纤通讯、聚酯PET催化剂、高频超高频电子器件、红外光学、太阳能光伏电池、航空航天测控、核物理探测、生物医学等军用及民用领域具有广泛应用^[2-4]。其中,二氧化锗

^{*} 收稿日期: 2016-08-13

基金项目: 中国地质调查局科研项目(121201013000150002)

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

(GeO_2) 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^[4]; 光纤通讯领域,主要是将 GeCl_4 掺杂于单模石英光纤纤心中,可降低光损耗、减少中继站,提高纤心折射率,从而实现掺锆光纤全反射并扩大高速信息传输距离^[5]; 在航空航天及地面太阳能光伏电池领域,主要将锆作为衬底制作 GaAs/Ge 太阳能电池,提高其光电转换效率^[2,4]; 此外,锆还具有红外折射率高、吸收系数小、色散率低、易加工等优点,可用以制作窗口、透镜、棱镜与滤光片等红外光学材料,大量应用于卫星、导弹等武器的红外热成像、制导等军工设备与医疗保健、资源勘探、刑事侦查、安防等民用活动^[4-5]。当前,锆矿资源战略价值已逐渐突显,越来越被世界各国广泛关注与重视。

中国是世界上重要的锆矿资源储量与供应大国,其储量和产量均居全球前列。然而,国内锆矿资源在开发利用过程中,依然面临着资源浪费、无序生产、初级产品廉价外流、国内产业技术水平低、竞争力低下、中高端锆产品技术研发与市场占有率较低等一系列严峻问题^[2,5]。本文从中国锆矿资源形势与产业发展入手,结合世界锆矿资源相关情况,提出国内锆矿产业开发利用中存在的主要问题,进而为维护国家锆矿资源安全、保障中国锆矿资源的可持续发展与利用提出相应的对策与建议。

1 锆矿资源概况

1.1 锆矿资源主要特点

与铀、镓、铊、镉等稀有分散元素一样,锆富集具有自身的成矿专属性(矿产与矿物类型),其在陆壳中丰度约为 $(1.4 \sim 1.6) \times 10^{-6}$,在洋壳中丰度约为 $(1.4 \sim 1.5) \times 10^{-6}$ ^[6]。锆具有亲铁、亲硫、亲石和亲有机质等多重地球化学性质,在自然界中主要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,通常被视为多金属矿床的伴生组分,一般情况下难以独立成矿^[7-8]。目前,工业产锆主要是在处理铅锌铜银金铁等硫化矿时作为副产品回收,或从煤燃烧后的粉煤灰中进行回收利用^[7]。常见的含锆矿物主要是灰锆矿和锆石,其锆的含量分别为 16.9% 和 10%; 其次,硫锆铁铜矿含锆约 7.7%,硫银锆矿含锆约 6.93%,黑硫银锡矿含锆较少,约为 1.82%; 此外,国内多数煤中锆含量约为 $(0.5 \sim 10.0) \times 10^{-6}$,平均含量约为 4.0×10^{-6} ^[8]。

1.2 锆矿资源主要矿床类型

锆在地壳中是一种典型的稀散元素,与其相关的矿床类型主要有伴生锆矿床与独立锆矿床两大类(表 1)^[7-8]。其中,伴生锆矿床(依据锆元素主要赋存矿床形式)可划分为 3 个亚类:含锆的铜铅锌

表 1 锆矿资源主要矿床类型与成矿地质特征^[7-8]

矿床大类	矿床亚类	矿物组成	赋矿围岩	典型矿床
伴生 锆矿床	含锆的铜铅锌锡银硫化物矿床	含锆闪锌矿、方铅矿、黄铁矿	上古生代碎屑岩-碳酸盐岩石	云南曲靖会泽铅锌矿床 广东仁化凡口铅锌矿床
	含锆的沉积型铁或铝土矿床	赤铁矿、绿泥石、含锆赤铁矿	上古生代碎屑岩或铝土质沉积岩	湖南长沙宁乡铁矿床
	含锆的有机岩(如石油、黑色页岩、油页岩、煤等)矿床	含锆复合腐殖酸盐及锆有机化合物	中生代褐煤、瘦煤;第三纪煤、碎屑岩、泥质岩	内蒙古五牧场区次火山热变质锆-煤矿床 俄罗斯巴浦洛夫锆-煤矿床 俄罗斯什科托夫锆-煤矿床
独立 锆矿床	铜铅锌-锆矿床	硫银锆矿、白铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿	泥质页岩、凝灰岩、斑岩、流纹岩	玻利维亚中南部锆矿床 纳米比亚楚梅布锆矿床
	砷铜-锆矿床	锆石、硫锆铁铜矿、斑铜矿、黄铜矿、砷黝铜矿、硫砷铜矿	元古代白云岩、晶质灰岩	西南非特素木布锆矿床 刚果卡丹加锆矿床
	锆-煤矿床	含锆凝胶化煤、亮煤	早白垩世、新第三纪煤、碎屑岩、硅质岩、泥灰岩	云南临沧锆矿床 内蒙古乌兰图嘎锆矿床 英国伊尔科什盆地锆矿床

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;含锆的沉积型铁或铝土矿床,如湖南长沙宁乡铁矿;含锆的有机岩(如石油、黑色页岩、油页岩、煤等)矿床,如内蒙古五牧场区次火山热变质锆-煤矿床、俄罗斯巴浦洛夫锆-煤矿床、俄罗斯什科托夫锆-煤矿床等^[7-8]。独立锆矿床(矿床中经常有锆独立矿物、或以类质同象矿物或吸附体为矿化特征出现的富含锆的载体矿物,矿床规模较大,锆质量分数不小于20%)^[7]也可划分为3个亚类:铜铅锌-锆矿床,如玻利维亚中南部锆矿床、纳米比亚楚梅布锆矿床;砷铜-锆矿床,如西南非特素木布锆矿床、刚果卡丹加锆矿床等;锆-煤矿床,如云南临沧锆矿床、内蒙古乌兰图嘎锆矿床、英国伊尔科什盆地等^[7-8]。

1.3 锆矿资源主要分布

中国锆矿资源较为丰富,截至2008年底,查明锆矿资源主要分布于全国12个省(区),其中粤、滇、蒙、吉、晋、桂、黔、甘等8个省(区)储量最多,约占全国锆总资源储量的96%^[8]。国内锆矿资源主要产于含锆铅锌矿(约占锆总资源储量的70%)及褐煤矿中,其中含锆铅锌矿主要来自矽卡岩型铅锌矿(湖南常宁水口山)、MVT型铅锌矿(广东仁化凡口、云南曲靖会泽);富锆褐煤矿主要产于滇、蒙两省(区),重要矿床有云南临沧锆矿(包括邦卖、腊东、临源芒回及潞西等嘎等4个矿区)、内蒙古锡林郭勒乌兰图嘎富锆煤矿(胜利煤田)及呼伦贝尔伊敏富锆煤矿(伊敏煤田),前者为国内主要锆矿资源产地,开发利用程度较高;后两者开发时间较晚,锆品位较低,但有望成为全国未来重要的锆矿资源产地^[2,8]。

2 中国锆矿资源开发利用现状

2.1 锆矿储量及产量

据《2016—2022年中国锆市场深度调查与市场全景评估报告》(智研数据研究中心2016)统计,世界锆矿资源较为缺乏,目前全球已探明锆矿资源保有储量仅为8600t(含工业储量约为4400t),若以现阶段200t/a的速度开采,43年后锆矿资源将耗尽,形势十分严峻^[8-9]。锆矿资源在全球分布较为集中,根据美国地质调查局(USGS)《2016年矿产概要》的数据显示,排在世界前三位的美国、中国、俄罗斯的锆矿资源储量分别约为3870t、3526t与860t,各占全球储量的45%、41%与10%;3个国家锆矿资源储量总和约占世界总储量的96%,其余已知储量则零散分布于加拿大、德国、比利时等国^[9-10]。

从2004年起,世界锆矿产量有了显著提高(表2)。根据美国地质调查局(USGS)数据统计^[11],2004—2007年,世界锆矿产量为87~99t/a,均以4t/a的速度稳定增长;2008年锆矿产量大幅增加至139.6t,增幅达40.16%^[2,11];2008—2011年,受世界金融危机影响,全球锆矿资源产量大幅减少,迅速回落至118t/a。随后,受全球消费强劲拉动,2012—2015年世界锆矿年产量达到120t/a以上^[2-3,11]。从2008—2015年,全球锆矿资源产量增加了约18.19%。与此同时,作为全球最大的锆矿资源生产大国,中国金属锆产量与世界总体保持平稳增长的趋势。2011—2015年,中国金属锆产量为80~120t/a,年均增长率为10%左右(除2015年外)^[2-3,11];其中2014、2015两年锆矿产量最高,达120t,约占同年世界锆矿资源总产量的72.73%。

表2 世界主要国家金属锆年产量(2004—2015年)^[11]

国家	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
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
俄罗斯	—	—	—	—	5	5	5	5	5	5	5	5
其他	82.6	85.5	85.5	95	30	30	30	30	30	40	40	40
全球	87	90	90	99.6	139.6	119.6	118	118	128	155*	165*	165*

注:数据来自美国国家地质局(USGS)2006—2016年发布的《Mineral Commodity Summaries》;其中“—”表示无数据,“*”表示除美国外全球金属锆总产量。

2.2 锆矿需求及保障分析

全球锆矿产量的30%用于制作红外光学材料,

20%用于制造掺锆光纤通讯,20%用于生产聚合催化剂,其余则应用于太阳能光伏电池和冶金、化工、

荧光粉、医药等领域^[2-5]。从世界锆矿资源储量及产量来看,美国锆矿资源储量居全球第一,但由于多伴生在铅锌矿,其产量受制于铅锌的产量,实际上增长潜力迟缓^[9]。而中国却以约41%的锆矿资源储量,长期供应着全球70%以上的市场需求^[2]。目前,国内锆矿主要生产企业、全球较为重要的锆矿资源供应商主要有云南锆业(云南临沧鑫圆锆业股份有限公司)、驰宏锌锆(云南驰宏锌锆股份有限公司)、南京锆厂(江苏中锆科技有限公司)、通力锆业(内蒙古通力锆业公司)、蒙东锆业(内蒙古蒙东锆业科技有限责任公司)及中金岭南(深圳中金岭南有色金属股份有限公司韶关冶炼厂)等^[2-3,12]。中国金属锆供应较为充足,每年均有大量锆产品出口美、德、比(利时)、日等国(自2005年起,国内金属锆出口一直维持净出口)^[2-3]。据统计^[2-4],2006年国内金属锆及锆产品出口量约为110 t;2007年,中国通过调整关税加强对国内锆矿资源的保护,出口量降为40 t以下;2010年,随着锆矿资源稀缺战略地位的提升及国防战略保护的需要,中国拉开了稀有金属整合的大幕(自2010年开始,中国通过收储锆金属,限制市场供应,提升全球锆价;其中2013年,中国国储局收储锆金属20 t;2014年,收储锆金属30 t),国内锆产品出口量大幅下降,此后几年出口量均为50 t左右。由此可以预见,随着中国对稀有金属的整合及铅锌铜等金属冶炼产量扩张的严格控制,未来几年国内锆矿资源产量将会逐步下降,中国乃至全球的锆矿资源产量将基本维持在一个较为稳定的水平上^[2-4,12]。

3 中国锆矿资源开发利用中存在的问题

随着中国信息通讯、现代航空与新能源等诸多高新技术行业高速发展,国内锆矿资源需求不断增加,锆在国防军事及国民经济中的地位越来越重要。然而,作为全球锆矿资源主要供应国,中国锆矿资源供应形势在开发利用过程中面临的问题主要表现在以下三个方面:

3.1 勘查程度较低、开采超标严重

中国已探明锆矿资源金属储量约3 500 t(远景储量约9 600 t),锆矿产地约35处,其中具有开采价值的锆矿资源集中分布于滇、蒙与粤三省

(区)^[2,4]。目前,除云南曲靖会泽铅锌矿(川滇黔成矿三角区富锆铅锌矿典型矿床)、云南临沧锆矿(滇西富锆褐煤矿典型代表,包括邦卖、腊东、芒回及等嘎4矿区)、内蒙古锡林郭勒乌兰图嘎锆煤矿(全国重要的富锆煤矿资源中心)、内蒙古呼伦贝尔伊敏锆煤矿、广东仁化凡口铅锌矿等矿床外^[4,6],近期能提供规模开采的锆矿床很少^[13]。总体来看,国内大部分省(区)锆矿资源地质勘查程度较低、远景预测较差^[2]。究其原因^[13],一是矿业公司盲目追求眼前投资利益,不愿投入资金做矿山地质勘查等基础性工作;二是当前矿业经济形势低迷,国家地勘经费投入有限。

国内锆矿资源多来源于富锆褐煤矿。长期以来,由于对富锆褐煤矿的开采与利用缺乏统一规划与有力监管,许多矿业公司(多以乡镇与个体矿山企业为主)出于自身局部利益的考虑,采富弃贫、采厚弃薄、采易弃难,资源回收率较低^[14](据报道,当前锆矿资源的提取主要为高品位的褐煤矿,而对于提取率<50%的低品位褐煤矿中锆矿资源利用却很少,资源浪费极为严重^[2])。此外,大中型锆矿矿山周边非法盗挖盗采现象频发、部分地方集体与民营小型锆矿企业盲目扩产或以铅锌铜煤等矿种名义开采锆矿,致使国家在对锆矿开采进行总量控制所采取的调整锆矿资源关税、严格开采制度等一系列措施未能完全落实,锆矿超标生产较为严重^[15]。

3.2 市场管理滞后、产品结构失衡

中国是世界锆矿资源主要供应国之一,但由于对锆行业的市场管理起步较晚,面临着诸如初级产品产能过剩与低价外流、高附加值产品(包括锆单晶、光纤用 GeCl_4 等深加工产业;锆衬底片、PET催化剂、红外锆镜头及光纤预制棒等元部件产业)发展迟缓、产业技术水平低等一系列问题,造成国内锆矿生产企业在世界锆行业的资源、供应及行业主导地位大大降低^[2,5]。

具体表现为^[2,5]:(1)初级锆产业,由于国内生产技术水平低与下游产业发展滞后等原因,大量区熔锆锭、 GeO_2 和锆初级产品远销国外,同时为满足国内锆终端市场需求,又从国外大量进口高附加值锆产品,致使锆资源与资金外流严重;此外,锆是伴生矿产,未来随着国内铅锌铜煤矿产产能严重过剩、矿业经济形势低迷、人力与环境资源开发成本上升

等都有可能引起初级锗产业原材料供应不足; (2) 深加工锗产业 除湖北武汉云晶飞光纤材料有限公司拥有居于世界领先地位的光纤用 GeCl_4 生产系统外, 国内锗单晶生产企业技术薄弱、数量少, 产业发展缓慢, 产能尚不足以满足国内与国际两个市场需求; (3) 元部件锗产业 除光纤预制棒目前产能基本满足国内需求外; 红外锗镜头、锗衬底片等核心技术均由外国企业掌握, 国内产业发展较滞后; 而在 PET 催化剂领域, 与居于世界前列的日本相比, 中国也相差较远。

3.3 技术设备落后、环境形势严峻

环境保护是实现可持续发展的前提。然而, 国内众多中小型锗矿生产企业技术设备落后、加工工艺陈旧、且缺乏较为完善的“三废”回收与处理配套设施, 在锗矿生产过程中极易对生态环境造成严重影响与破坏^[2]。如有的矿业公司片面追求短期经济效益, 乱采滥挖, 超标排放^[16]; 有的生产厂家采用常规湿法硫酸工艺回收锗, 生产成本过高, 工艺时间过长, 且产生大量废水与废气^[17]; 有的矿山企业在对铅锌铜矿进行萃取法提取锗时, 产生大量的酸液和矿渣; 通过收集燃煤烟尘提取锗时, 普遍落后的技术工艺造成了煤矿资源的浪费及一定的环境问题^[25]。

4 可持续发展对策

从以上分析可以看出, 中国锗矿资源开发利用中存在的问题不容乐观。因此, 为保障国内锗矿资源可持续供应、推动锗矿产业健康有序发展、维护全国国防军事与经济社会安全, 提出以下四点对策。

4.1 实行保护开发, 强化国际合作

国家应建立与完善矿产资源税费调节体系, 严格规范新建矿山门槛准入条件^[18]。对金属锗原材料交易与税费征收、锗精矿开采配额指标等进行全程综合监管, 实行保护开发、控制总量开采, 严格遏制国内锗资源过度消耗与金属锗原材料市场无序流通^[15]。加大国有大型锗矿企业及其控股公司对锗资源的整合与控制力度, 鼓励创建(生)产(科)研(销)售投(资)为一体的集约化、资本化、国际化的国有大型锗矿企业集团, 通过研发低成本的废锗回收与共伴生锗综合回利用技术, 减少锗矿重复勘查投资, 大幅提升中国大型锗矿企业的资本运作实力

与国际竞争力^[15]。

此外, 在对国内锗矿资源实行保护开发、控制总量开采的同时, 国家应鼓励和引导大型锗矿企业积极参与境外锗矿资源调查研究与勘查开发, 实施锗矿资源“走出去”战略^[19]。当前, 世界经济与矿业市场低迷, 矿业资产严重缩水, 其合资、并购阻力下降, 这为组建大型跨国锗矿矿业集团、逐步建立锗矿资源周边国家供应圈及境外锗矿资源基地提供了良好的机遇^[19]。

4.2 入库含锗实物, 加强科学研究

作为高新技术产业的支撑材料, 近年来, 锗在光纤通信、红外光学与空间站太阳能电池等国防军事及民用领域应用不断扩大, 其战略资源地位不断提升^[2]。因此, 尽快建立国家锗矿实物库, 永久保存、集中展览展示与利用铅锌铜煤(锗)矿区地质信息, 构建含锗金属、能源矿产资源实物地质资料共享平台, 推进含锗矿产成矿地质背景与时空分布科学研究任务紧迫、意义重大^[20-21]。

依据中国锗矿资源特点、矿床规模、成因类型、时空分布等因素, 在全国范围内精心筛选、长期收录一批具典型性、代表性和系统性的锗矿实物地质资料(实物地质资料是指在地质工作过程中形成的钻孔岩矿心、标本、光薄片、副样等实物及其相关附属资料)入库国家实物地质资料馆(国家实物地质资料馆是中国目前唯一的一个国家级实物地质资料馆藏机构), 将其按特定内在联系有机整合在一起, 从而形成锗矿实物库体系^[20-21]。作为国家实物地质资料馆藏体系的一个分支, 该体系以含锗铅锌铜煤等矿产钻孔岩矿心、标本为主体(截至2016年4月, 国家实物地质资料馆已筛选采集云南曲靖会泽矿山厂铅锌锗矿、云南临沧中寨锗矿、内蒙古锡林郭勒乌兰图嘎富锗煤矿及内蒙古呼伦贝尔伊敏富锗煤矿等4个矿区锗矿钻孔岩矿心及标本), 与其实物配套的相关文本资料及图件(如地形地质图、勘探线剖面图、钻孔柱状图、钻孔原始地质编录表、岩矿鉴定报告等)等也是其中的重要组成部分。通过建立国家锗矿实物库, 既可保存锗矿地质工作取得的重要成果、弥补国内锗矿实物地质资料的空缺, 又可搭建锗矿实物地质资料科研共享平台、为深入锗矿地质资源可持续开发利用提供公益性服务, 意义重大而深远^[20-21]。

4.3 优化资源配置,建立储备体系

当前,初级锗产业已面临较为严重的产能过剩,长远来看,其过度发展已不符合建设资源节约、环境友好型社会的主流^[5]。因此,围绕“全面、协调、可持续发展”理念,今后锗矿资源开发利用将以优化锗矿资源配置、倡导锗矿规模开采、完善行业规范秩序为主线^[2]。构建一条以提升战略新兴产业发展为导向,以深加工锗产业(光纤用 GeCl_4 、锗单晶)一元部件锗产业(PET催化剂、锗衬底片、光纤预制棒及锗红外镜头)为核心,以初级锗产业(GeO_2 、区熔锗锭)一回收锗产业两种原料供应模式为基础、以废料合理回收金属锗为补充的循环产业链^[2,5],多途径提高高端锗矿产品研发能力、限制低端锗矿产品生产,使粗放无序开发逐渐退出市场,实现锗矿产业新升级。加强红外单晶、太阳能电池、锗合金、光纤等废料中锗的回收利用及铅锌铜煤矿中伴生锗及提取技术的精细研究,提高锗的回收率^[2,22]。积极推广云南锗业新型火法富集锗、酸氧化预处理—盐酸蒸馏提锗、碱氧化预处理—盐酸蒸馏提锗等先进提锗方法,加速锗矿资源科技成果商品化,促进国内锗矿资源开发领域低碳经济健康发展^[2,22]。

根据锗矿资源现状分析和相关研究,政府部门应借鉴国家建立稀土战略储备体系的经验,编制锗矿战略储备专项规划,建立锗矿国家储备—商业(矿山企业)储备、资源(矿产地)储备—实物(矿产品)储备相结合的战略储备体系,完善锗矿储备管理体制^[23]。锗矿战略储备由国家统一管理、部署、地方政府(或矿山企业)负责监管与保护。对于列入国家储备的矿产地(如云南会泽、临沧;内蒙古呼伦贝尔、锡林郭勒),由当地政府负责监管与保护,未经国家批准禁止开采;对于锗单晶、锗红外镜头与光纤预制棒等矿产品,建议主要依托大型锗矿国有企业集团(如驰宏锌锗、云南锗业、蒙东锗业、通力锗业等),由其负责适量储备^[23]。

4.4 降低环境污染,构建生态矿业

在锗矿开发利用的过程中,会产生大量的废气、废渣及废水等,国内企业由于缺乏较为完善的“三废”回收与处理配套设施,极易造成铅锌铜煤(锗)等矿山周围土地占用与破坏、植被退化、水土流失严重等一系列环境污染^[2,24]。因此,矿山企业应积极研发先进设备与生产工艺,尽快淘汰落后产能与技

术装备,努力提高锗矿资源利用率和回收率。在对矿山进行“三废”综合治理的同时,还需对矿山占用与破坏的土地进行复垦,对植被退化、水土流失严重、煤层自燃及采空区等一系列次生地质灾害进行勘查与整治,最终实现锗矿产业与生态环境保护协调发展的新格局^[24]。

参考文献:

- [1] lucy_tse. 锗 [EB/OL]. (2016-04-13) [2016-12-16]. <http://baike.so.com/doc/3584956-3769698.html>.
- [2] 申正伟,蔡书慧,赵靖文.我国锗资源开发利用现状及可持续发展对策[J].矿业研究与开发,2015,35(11):108-112.
- [3] 石和清.锗业发展的新机遇[J].中国金属通报,2012(12):16-20.
- [4] 金属百科.锗的用途及应用领域介绍[EB/OL]. [2016-6-25]. 亚洲金属网, <http://baike.asianmetal.cn/metal/ge/application.shtml>.
- [5] 陆挺,刘璇,张艳飞,等.基于产业链分析的中国锗铋产业发展战略研究[J].资源科学,2015,37(5):1008-1017.
- [6] 敖卫华,黄文辉,马延英,等.中国煤中锗资源特征及利用现状[J].资源与产业,2007,9(5):16-18.
- [7] 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.
- [8] 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,2014:276-279.
- [9] 金属百科.锗资源储量分布及精锗产量情况[EB/OL]. [2016-7-14]. 亚洲金属网, <http://baike.asianmetal.cn/metal/ge/resources&production.shtml>.
- [10] 美国地质调查局.2016年矿产概要(锗)[EB/OL]. (2016-03-29) [2016-12-16]. <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2016/mcs2016.pdf>.
- [11] 美国地质调查局.2004-2015 锗矿统计数据[EB/OL]. (2016-04-10) [2016-12-22]. <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs>.
- [12] 胡彬.锗市行情简析及展望[J].中国金属通报,2013(1):32-33.
- [13] 尚娟芳,唐益林,刘朝明,等.宜宾市矿产资源开发利用对策研究[J].中国矿业,2014,23(S2):41-46.
- [14] 牛丽贤,张寿庭.中国萤石产业发展战略思考[J].中国矿业,2010,19(8):21-25.
- [15] 张春明.中国钨矿资源节约与综合利用的思考[J].中国钨业,2011,26(2):1-5.

- [16] 贺明生, 万三保, 黄迅. 宜春市矿产资源开发利用现状及对策建议[J]. 中国非金属矿工业导刊, 2013(1): 55-57.
- [17] 普世坤, 兰尧中, 朱知国, 等. 从含锆多金属物料中回收锆的工艺研究[J]. 稀有金属与硬质合金, 2015, 43(6): 19-23.
- [18] 张涛, 吴艳, 张德会, 等. 浅析我国钨矿开发利用过程中存在的问题与对策[J]. 资源与产业, 2009, 11(5): 79-81.
- [19] 张方方, 王建平, 王银宏. 试析中国铜产业存在的问题与对策建议[J]. 中国矿业, 2013, 22(2): 9-13.
- [20] 杜轶伦, 张福良, 胡永达, 等. 钨矿资源开发形势分析及管理对策建议[J]. 中国矿业, 2014, 23(2): 11-15.
- [21] 崔立伟, 邓会娟, 夏浩东, 等. 国家煤炭实物标本库体系建设与评估[J]. 中国矿业, 2014, 23(S2): 349-353.
- [22] 王海龙. 云南锆业攻克从含锆物料中提取稀有金属锆的技术难关[EB/OL]. (2015-08-24) [2016-6-25]. <http://news.163.com/15/0824/22/B1QMB7OG00014AEE.html>.
- [23] 袁博, 王国平, 李钟山, 等. 我国稀土资源储备战略思考[J]. 中国矿业, 2015, 24(3): 28-30, 48.
- [24] 哈尔滨市国土资源局. 矿山生态环境保护与恢复治理[EB/OL]. (2011-09-26) [2016-6-23]. http://www.mlr.gov.cn/wskt/glkx/kcgl/201109/t20110926_966794.htm.

(上接第5页)

和国家相关政策等多方面因素的综合影响。当前, 急需开展全国范围矿产资源综合利用调查评价, 推广先进技术, 建立健全涵盖资源开发、选矿冶炼及废弃尾矿利用等全过程的激励约束机制, 引导矿山企业自觉节约利用各种资源, 进一步优化矿山“三率”, 提高尾矿利用、废旧金属的资源化水平, 从而推动全国矿产资源节约与综合利用水平的提高。

参考文献:

- [1] 刘萍萍. 改革视野下我国经济发展新常态的原因及路径探讨[J]. 商业经济研究, 2016(5): 117-119.
- [2] 薛亚洲, 王海军. 全国矿产资源节约与综合利用报告(2014)[M]. 北京: 中国地质出版社, 2014.
- [3] 薛亚洲, 王海军. 全国矿产资源节约与综合利用报告(2015)[M]. 北京: 中国地质出版社, 2015.
- [4] 王海军, 刘秋晓, 徐鹏. 尾矿规模化利用经济分析与实例[J]. 金属矿山, 2014(9): 147-150.
- [5] 中国有色金属工业协会. 中国有色金属工业协会统计资料汇编(2006-2014)[R]. 北京: 中国有色金属工业协会, 2015.
- [6] 中国冶金矿山企业协会. 重点冶金矿山统计年报(2006-2014)[R]. 北京: 中国冶金矿山企业协会, 2015.
- [7] 中国国土资源经济研究院. 综合利用效益明显节约集约前景广阔[N]. 中国国土资源报, 2014-04-18(3).
- [8] 中国国土资源经济研究院. 高效利用待挖潜管理服务再提质[N]. 中国国土资源报, 2015-12-04(3).
- [9] 申文, 陈千汗, 刘仲红, 等. 湖北省矿产资源节约与综合利用现状及对策[J]. 资源环境工程, 2015(6): 354-359.
- [10] 徐林, 王贺. 矿产资源节约集约利用中“矿业管家”运营模式探讨[J]. 资源节约与环保, 2015(5): 171-172.
- [11] 陶略. 新常态下中国艺人欢迎“搭便车”[N]. 人民日报, 2015-04-08(3).
- [12] 冯安生, 卞孝东, 郭俊刚, 等. 我国煤炭资源开发利用“三率”调查与评价[J]. 矿产保护与利用, 2016(5): 5-10.
- [13] 冯安生, 李文军, 吕振福, 等. 我国铜矿资源开发利用“三率”调查与评价[J]. 矿产保护与利用, 2016(5): 11-15.
- [14] 冯安生, 曹飞, 吕振福, 等. 我国铅矿资源开发利用“三率”调查与评价[J]. 矿产保护与利用, 2016(5): 19-23.
- [15] 李瑞军, 唐宇, 王海军, 等. 我国矿产资源综合利用现状分析及对策建议[J]. 中国国土资源经济, 2013(8): 40-42.