

战略矿产专题

全球铟矿资源供需现状与我国开发利用建议*

张伟波^{1,2}, 陈秀法¹, 陈玉明¹, 曹艳华², 何学洲¹, 黄霞¹, 邓攀¹

(1. 中国地质调查局发展研究中心, 北京 100037; 2. 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: 铟作为稀散金属在地壳中含量极低, 但资源储量和产量分布极为集中。铟在战略性新兴产业发展中具有极为重要的作用, 是平板显示、电子半导体和光伏等产业不可或缺的原料, 使其成为世界各国关注的热点。全球的铟矿资源集中分布在中国、玻利维亚、俄罗斯等国。日韩美是最重要的铟消费国, 也是我国原生铟的主要进口国。铟是我国的优势矿产资源, 原生铟产量长期居世界首位, 但国内二次回收和下游应用产业尚处于初级阶段, 国内铟产量与消费量不平衡, 长期处于供过于求状态。当前国内平板显示和光伏产业发展迅速, ITO 靶材制造技术不断取得突破, 未来我国将可能会成为铟纯进口国, 应大力发展国内再生铟产业, 建立健全铟储备机制, 并加强与境外重要资源国的产能合作, 保障国内新兴产业发展的资源需求。

关键词: 铟; 战略新兴产业; 应用; 需求

中图分类号: P618.82 文献标识码: A 文章编号: 1001-0076(2019)05-0001-08

DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2019.05.001

Current Status of Supply and Demand of Global Indium Mineral Resources and Suggestions for Development and Utilization in China

ZHANG Weibo^{1,2}, CHEN Xiufa¹, CHEN Yuming¹, CAO Yanhua², HE Xuezhou¹, HUANG Xia¹, DENG Pan¹

(1. Development and Research Center, China Geological Survey, Beijing 100037, China; 2. MNR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China)

Abstract: Indium has precious little reserves in the earthcrust as a scattered metal, and has characteristics of extremely concentrated reserves and production. Indium plays an extremely important role in the development of strategic emerging industries. As an indispensable raw material for flat panel display, electronic semiconductor and photovoltaic industries, indium has become the focused issue of many countries. The global indium mineral resources are concentrated in a few countries such as China, Bolivia, and Russia. Japan, Republic of Korea and the United States are the most important indium consumers and the major importers of China's native indium. Indium is a superior mineral resource in, and China has been the biggest primary indium production country in the world for many years. However, the secondary recycling and downstream application industries are still in the initial stage, domestic indium production and consumption are unbalanced, and the sup-

* 收稿日期: 2019-07-18

基金项目: 中国地质调查局项目“‘一带一路’资源与环境信息采集及产品开发”(DD20190455)、“国家地质调查成果集成与规划”(DD20190464)

作者简介: 张伟波(1987-), 男, 工程师, 主要从事境外矿产勘查与评价研究。Email: zhangwb2007@163.com。

通信作者: 陈玉明(1963-), 男, 研究员, 从事地质矿产研究和矿业风险勘查工作。Email: chenyming_1@aliyun.com。

ply exceeds demand for a long time. At present, the domestic industries of flat-panel and photovoltaic are developing rapidly, and indium-tin oxide (ITO) manufacturing technology has been making breakthroughs continuously, China will become a pure importer of indium in the future. It is recommended to vigorously develop the domestic recycled indium industry, establish the indium reserve mechanism, and strengthen the capacity cooperation with other important resource countries to ensure the domestic resource demand for the development of strategic emerging industries.

Key words: indium; strategic emerging industries; application; demand

铟(In)是一种银灰色、质地极软的易熔金属,在地壳中的含量极低(仅 0.056×10^{-6})^[1],且很分散,属于稀散金属。铟具有熔点低、耐腐蚀、反射性好、可塑性和延展性强等特点,被称为“合金的维生素”,在战略性新兴产业中广泛应用。铟最主要的应用领域是液晶显示器和平板屏幕(铟锡氧化物(ITO)靶材),其次是焊料和合金、电子半导体、太阳能光伏电池(铜铟锡镓薄膜(CIGS))等行业^[2-4]。铟是战略性新兴产业发展必不可少的原料,美国、欧盟、澳大利亚等西方国家纷纷把铟列入关键矿产目录,针对铟矿资源开展全球战略布局^[5-8]。

铟无独立的矿床,多伴生在锌等有色金属硫化物中,世界上原生铟90%的产量来自铅锌冶炼厂的副产物。我国是世界上最大的铟矿资源国和原生铟生产国,也是重要的消费国之一^[2],随着世界主要国家战略性新兴产业的蓬勃兴起,尤其是信息技术产业和新能源产业的迅猛发展,铟资源将会成为各国激烈争夺的对象。因此,开展全球范围内的铟矿资源研究对保障我国战略性新兴产业可持续发展具有重要意义^[9-10]。

1 全球资源分布特征

铟矿资源在全球范围内极为稀少且分布不均,作为锌、锡等矿产资源的伴生矿产,铟矿资源的分布与全球锌、锡资源分布大致相同,已探明的铟资源主要分布于大陆边缘锡矿带,如中欧、澳大利亚南部、南美、东亚、美国西部以及加拿大东部等地区。世界上产出大型富铟矿床的重要成矿带包括西太平洋板块边界、玻利维亚和纳斯卡-南美板块边界、秘鲁的北美西板块边缘以及中欧的海西和阿尔卑斯造山带等^[11]。位于太平洋板块西缘的俯冲带边缘的铟成矿带上分布有日本的足尾(Ashio)、生野(Ikuno)和明延(Akenobe)等浅成低温热液型矿床以及韩国的蔚山(Ulsan)矽卡岩型矿床等;位于南美洲板块东部边缘的伴生铟成矿带分布在玻利维亚、秘鲁,向北

延伸进入北美洲板块的西部边缘,分布有瓦利瓦利(Huari Huari)、波托西(Potosi)、玻利维亚(Bolivia)、马库霍塔(Malku Khota)等浅成低温热液型矿床;欧洲中部铟成矿带由阿尔卑斯造山带延伸至俄罗斯西部地区,带内产出有内维斯科尔沃(Neves Corvo)、盖斯卡耶(Gaiskoye)以及斯白斯卡耶(Sibaiskoy)等矿床,矿床类型主要为块状硫化物型。除此之外,全球其他地区重要的富铟矿集区还有加拿大芒特普莱森特(Mount Pleasant)斑岩型矿床、基德克里克(Kidd Creek)块状硫化物型矿床、澳大利亚布罗肯希尔(Broken Hill)喷流沉积型矿床、西欧及北欧地区的贝尔斯津(Bergsiagen)等花岗岩赋矿型矿床以及中国的大厂、都龙和个旧等矽卡岩型矿床(图1)^[10]。

目前已发现的铟独立矿物包括自然铟、硫铟铜矿、硫铟银矿、铟石、硫铟镉矿、硫锡锌铜矿、樱井矿、大庙矿、羟铟石、水砷铟矿等15种,其中大部分铟独立矿物仅在特定的矿床中被发现。铟作为亲铜(亲硫)元素,在大部分富铟矿床很少或者不出现铟独立矿物,这些矿床中的铟矿化主要赋存在闪锌矿、黄铜矿、黝锡矿、锌黄锡矿、黝铜矿等硫化物中,其中闪锌矿中的铟占全球铟资源总量的95%^[10]。

铟作为伴生矿产回收,品位极低,统计全球铟矿储量存在一定的困难,目前尚未有确切的铟矿储量数据,美国地质调查局(2008)^[13]曾估计全球铟储量约为11 000 t,储量基础约16 000 t,但此后年份的报告中不再公布铟储量数据。Werner等(2017)^[14]根据全球已知的1 512处含铟矿床估计,全球铟资源量至少356 000 t,其中已经公布资源量数据的101处矿床铟金属资源量合计约76 000 t。

中国、玻利维亚和俄罗斯是全球铟矿资源最为丰富的国家,3国铟矿资源量合计约占全球总量的60%,其他重要的资源国还包括加拿大、日本、德国、葡萄牙、澳大利亚、美国和阿塞拜疆等国,资源量排名前十的国家合计约占全球总量的96%(表1)。



图1 全球主要含钢矿床分布图(据文献10,12 修改)
Fig.1 Global distribution map of major iron deposits

表1 全球主要钢矿资源国家^[14-15]
Table 1 Global major iron resources countries

国家	资源量(t)	主要矿床及钢资源量
中国	21 600	大厂(8 775 t)、都龙(6 000 t)、孟恩陶勒盖(>500 t)
玻利维亚	15 142	瓦利瓦利(Huari Huari, 5 601 t)、波托西(Potosi, 4030 t)、马库霍塔(Malku Khota, 2 431 t)
俄罗斯	10 689	盖斯卡耶(Gaiskoye, 9 120 t)、斯白斯卡耶(Sibaiskoy, 1 000 t)、波多尔斯卡耶(Podolskoye, 485 t)
加拿大	9 386	杰珂(Geco, 2 920 t)、基德克里克(Kidd Creek, 1900t)、芒特普莱森特(Mount Pleasant, 1 246 t)
日本	8 039	丰羽(Toyoha, 4 651 t)、足尾(Ashio, 1 240 t)、生野(Ikuno, 1 094 t)
德国	4 920	埃尔兹山脉(Erzgebirge, 1 470 t)、拉默尔斯堡(Rammelsberg, 680 t)
葡萄牙	3 492	内维斯科尔沃(Neves Corvo, 2 480 t)
澳大利亚	3 158	布罗肯希尔(Broken Hill, 1 675 t)、罗斯伯里(Rosebery, 248 t)、巴尔金门(Baal Gammon, 106 t)
美国	2 867	西部沙漠(West Desert, 1 636 t)、金曼(Kingman, 1 109 t)
阿塞拜疆	1 605	菲利斯卡(Filizchay, 1 605 t)
其他国家	2 978	阿亚维卡(Ayawilca, 909 t)、马兰达(Marand, 352 t)

2 全球资源供需情况

2.1 主要生产国

钢的生产分为原生钢(直接来自原生矿等一次物料的精钢)和再生钢(主要指回收靶材废碎料而加工的精钢)。当前全球钢产量中再生钢产量超过50%,是市场上主要的钢原材料来源^[16](图2)。

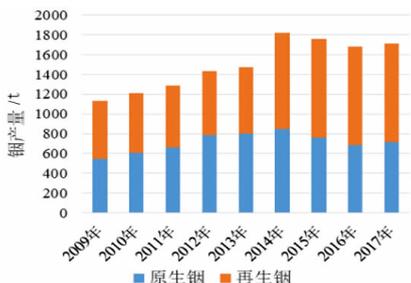


图2 2008—2017 年全球钢产量
Fig.2 Global iron production from 2008 to 2017

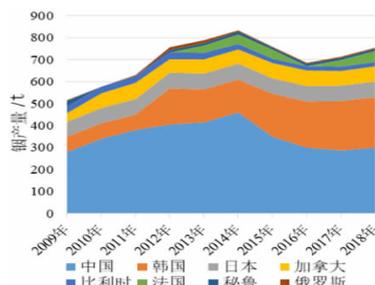


图3 2009—2018 年全球主要原生钢生产国及产量
Fig.3 Global major primary iron producing countries from 2009 to 2018

据统计,近10 年全球原生钢年均产量约715 t,重要的生产国包括中国、韩国、日本、加拿大、比利时、法国、秘鲁和俄罗斯等国,其中全球近90%的产量来自中国、韩国、日本和加拿大4 个国家。2014 年之前,全球原生钢产量持续上升,2014 年达近10 年来的最高值的844 t,主要增量来自于中国和韩国^[17]。泛亚有色金属交易所曾大量高价收储钢等

稀散金属,导致国内新增产能暴增,至泛亚“崩盘”,其钢库存达 3 600 t,“泛亚事件”爆发后的一段时期内,钢价暴跌,国内大量产钢企业接近全线停产,全球钢产量开始急速下降。近 3 年来,由于 ITO 靶材等产业需求强劲,原生钢产量有所回升(图 3)。

由于市场需求上升、钢产品存量增加,回收技术进步等原因,全球再生钢产业快速发展,近年来产量总体呈上升态势,2009 年全球再生钢产量为 546 t,2017 年已达 1 002 t,年均增长率约 8%^[16]。

我国近十年来持续保持全球最大的原生钢生产国地位,年均产量约 360 t,其中 2014 年的峰值产量达 460 t,2009 年至今累计产量占全球总量的 43%。韩国是全球第二大原生钢生产国,根据相关统计,该国 2006 年开始出现原生钢的生产,且年度产量和全球占比持续攀升,2016 年首次突破 200 t,2018 年达 230 t,韩国国内钢矿山产量不大,原生钢原料主要为进口自玻利维亚的精锌矿^[2]。日本和加拿大也是全球原生钢生产大国,两国年产量均稳定在 70 t 水平;比利时和法国近年来产量保持在 20~50 t 之间;俄罗斯和秘鲁近年来产量逐渐减少,已降至 10 t 以内。

2.2 主要生产企业

据统计,2016 年全球有 30 多家原生钢生产企业,合计年产能达 1 400 t^[18]。中国是原生钢生产企业最多的国家,有云南华联锌钢有限公司、蒙自矿冶有限公司、株冶集团、广西华锡集团、广西德邦科技有限公司等 20 家企业,合计产能约 890 t。全球范围内其他重要的原生钢生产企业还包括韩国锌(Korea Zinc)公司、永丰(Young Poong)公司,日本同和(Dowa)金属与采矿公司、三井(mitsui)采矿冶炼

公司、住友商事(Sumitomo)金属采矿公司,比利时优美科(Umicore)公司,加拿大的泰克(Teck)资源公司,法国的新锌星(Nyrstar)公司,秘鲁的多伦(Doe Run)公司、沃特兰亭(Votorantim)公司,俄罗斯车里雅宾斯克(Chelyabinsk)锌矿公司和乌拉尔(Ural)采矿与金属公司。

2.3 主要消费与进口国

全球钢消费近年来总体呈上涨趋势,2018 年全球钢消费量约 1 704 t,相比于 2007 年的 1 060 t,增长了近 61%。其中,平板显示领域的消费量占比约 80%,其次是半导体化合物领域,消费量约占 10%,焊料及合金领域和光伏薄膜领域消费量占比约 7%和 2%^[20]。日本、韩国、美国和中国是全球主要的钢消费国。

日本是消费类电子产品的制造大国,在 ITO 靶材制造行业占据重要市场份额,是全球最大的钢消费国,消费量约占全球总量的一半。2010 年之前,日本钢消费量逐步上升,2010 年达历史峰值的 1 026 t,但由于液晶电视销售低迷,行业竞争力下

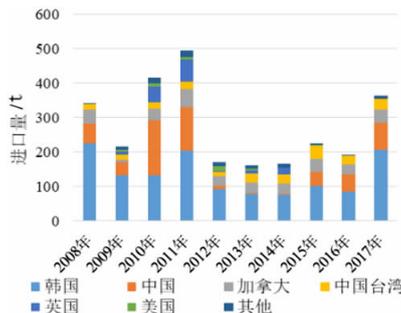


图 4 日本钢进口主要来源国家(地区)
Fig. 4 Japan's major indium import sources

表 2 2008—2017 年日本国内钢供给与需求^[20]
Table 2 Indium supply and demand in Japan from 2008 to 2017

类别	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	
供给	原生钢	70	50	70	70	71	72	72	70	70	
	进口	342	215	417	494	171	161	166	226	193	
	再生钢	518	564	636	625	597	563	569	559	549	
	合计	930	829	1 123	1 189	839	796	807	855	812	1 000
消费	ITO 靶材	751	826	908	551	578	612	624	609	569	626
	其他	110	102	118	115	127	128	134	136	132	136
	合计	861	928	1 026	666	705	740	758	745	701	762

降,国内产能转移等因素,2011 年起日本国内的钢消费量下降至约 700 t 的水平,随后一直保持较稳定的状态,其中超过 80% 的钢用于制造 ITO 靶材(表 2)。日本拥有成熟的钢回收产业,再生钢年产量保

持 600 t 左右,可以满足国内约 70% 的需求量。此外,日本每年还从中国、韩国等国家(地区)进口大量的钢,2008—2017 年共进口 2 748 t,年均约 275 t,是全球最大的钢进口国(图 4)^[20]。

韩国近年来 ITO 靶材制造产业快速发展,三星、LG 等韩国企业与日本厂商争夺市场份额,形成了一定的影响力。韩国国内钢消费量也不断上升,2015 年达 590 t,是全球第二大钢消费国。韩国钢的供给大部分来自国内原生钢和再生钢的生产,小部分依靠中国、日本等国的进口,2009—2017 年,共进口钢 969 t,年均约 108 t^[16](图 5)。

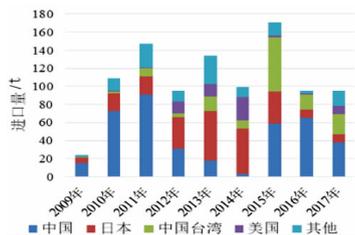


图 5 韩国钢进口主要来源国家(地区)

Fig. 5 Republic of Korea's major indium import sources

美国是全球第三大钢消费国,近年来国内的钢消费基本保持在 100 ~ 170 t 之间^[17]。钢在美国高科技产业领域的应用包括航空航天(飞机风挡)、国防(红外成像设备)、能源(太阳能电池、碱性电池、核能、发光二极管)、电子电信(光纤、平板显示器、半导体、热界面材料)、激光和焊料等。美国地质调查局估计 2018 年美国钢消费量约 170 t,进口额约 5 300 万美元。美国国内基本不生产钢,全部依靠从中国、加拿大、韩国等国进口(图 6)。

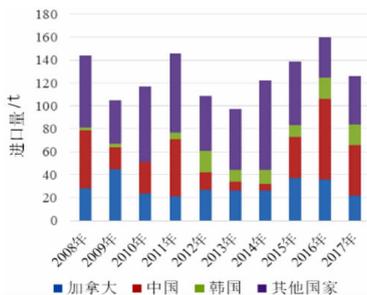


图 6 美国钢进口主要来源国家

Fig. 6 United States' major indium import sources

2018 年美国发布了包括钢在内的 35 种关键矿产名单,中国是美国确定的钢全球顶级生产商,2008—2017 年间美国从中国进口钢累计达 326 t,占进口总量的 26%。在中美贸易争端的背景下,2019 年 6 月美国政府发布了《关于确保关键矿产安全和可靠供应的联邦战略》报告,旨在改变美国关键矿产依赖国外供给的格局。美国是全球第六大锌矿资源大国,伴生的钢资源量也有近 3 000 t,但由于成本、环保等原因,美国国内几乎没有原生钢回收产

业,再生钢的规模也很有限。尽管美国在报告中提出了 6 项行动纲领、24 项目标、61 项具体建议,但包括加强国内矿产地勘查开发,提升利用水平和寻找替代矿产等一系列措施在短期内难见成效,而发展钢回收产业,新建产能更非朝夕之间能够完成,因此美国国内钢需求高对外依存度的现状将持续一定时期。

3 我国资源现状与开发建议

3.1 资源特征

我国是世界上钢资源最为丰富的国家,铅锌锡伴生的钢资源量约 21 600 t(中国矿产资源报告 2018)。我国钢资源主要伴生于铅锌矿床和锡多金属矿床中,且分布极不均匀。古陆边缘是富钢矿床产出的有利构造位置,我国最大富钢矿田——大厂锡多金属矿田产出在扬子板块南-西南缘,海西-印支期被动陆缘裂谷盆地北部的断裂凹陷盆地中,都龙锡多金属矿床产出于华南褶皱系西端与扬子地块、哀牢山褶皱系等三大构造单元交接部位。此外,我国华北板块北缘也分布有部分重要的富钢锡多金属矿床,如内蒙古孟恩陶勒盖^[21]、大井^[22]等矿床。此外四川盆河锡矿床^[23],西藏班公湖-怒江成矿带中的拉屋矽卡岩铜锌矿床^[24],海赛什塘-日龙沟矿田铜锡矿床^[25],青海锡铁山火山岩中的铅锌矿床,江苏栖霞山、云南金顶、广东凡口等沉积型铅锌矿床,湖南七宝山、山东香奂、甘肃花牛山等与岩浆作用有关的铅锌矿床^[26]等矿床中相继发现了含钢矿物或钢的矿化。

从地理分布来看,我国的钢资源在广西、云南、内蒙古、广东、青海、湖南、江西、贵州和四川等省(区)都有发现,其中云南、广西、内蒙古、青海 4 省(区)占全国钢资源总量的 87%。广西南丹大厂锡多金属矿田钢品位达 117×10^{-6} ^[10],钢金属资源量 8 775 t,是世界规模最大的含钢矿床^[14]。

我国钢矿资源储量全球第一,但由于大规模的开发,静态储采比近年来总体呈逐年下降态势^[9]。此外我国 2017 年精钢产量中再生钢占比仅 15%,同期日本再生钢产量占比达 89%,国内再生钢产业发展缓慢也是资源快速消耗的原因之一。我国钢矿资源在全球的优势地位正不断弱化。加之当前国内钢资源大量出口,且缺乏完备的资源储备机制,国内钢行业健康可持续发展存在一定的隐患。

3.2 消费现状

我国钢资源丰富,但国内需求不足,长期处于供过于求状态,是全球最重要的钢出口国之一,2009—2017年,我国累计出口精钢约706 t^[26]。

我国的钢消费主要用于平板显示、合金和半导体、光伏和防腐等领域。近年来,国内钢消费量呈快速增长态势,由2011年的65 t增长至2017年的149 t,年均增速保持在15%左右,已经成为全球钢主要消费国之一,但依然与我国全球原生钢第一生产大国的地位不相匹配,年消费量仅占产量的约44%(表3)。

在消费结构方面,2017年用于制造平板显示领域所需的ITO靶材的消费量比重最大,达70%;此外,半导体化合物领域占12%,焊料和合金领域占12%,光伏薄膜领域以及其他领域的应用分别占4%和2%(图7)^[19]。近十年来,我国平板显示产业实现跨越式发展,产业整体规模已跻身世界前三,广西晶联光电材料、河北鹏达新材料、中船重工725研究所等一批国内企业生产线相继上马或投产,产业竞争力逐渐增强,对ITO靶材的需求也快速增加,2018年我国ITO靶材需求量为1 036 t,同比增长25.9%^[28]。但由于制造技术与日韩企业仍存在差距,我国目前大尺寸的ITO靶材几乎全部依赖进口,将精钢作为原料出口至日韩,再高价进口钢产品的尴尬局面依然存在。

表3 2011—2017年我国精钢产量、消费量及贸易量^[19,27,29-32] /t

Table 3 Production, consumption and trade volume of indium in China from 2011 to 2017

类别	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年
总量	390	415	438	488	384	347	339
原生钢	380	405	415	460	350	300	287
再生钢	10	10	23	28	34	47	52
进口量	7	31	106	49	52	105	135
消费量	65	60	70	82	98	128	149
出口量	106	5	2	1	90	163	163

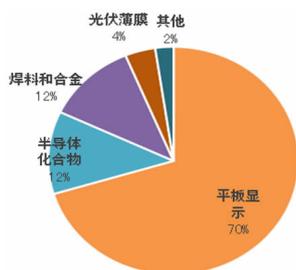


图7 2017年我国精钢消费结构

Fig. 7 Indium consumption structure in China's in 2017

3.3 消费趋势

(1) 平板显示领域

ITO靶材是氧化铟和氧化锡粉混合后烧结黑灰色陶瓷半导体,用于制作ITO薄膜,进而成为生产平面液晶显示设备的重要材料。近年来,我国平板显示产业快速发展,对ITO靶材的需求也呈现持续增长的状态。国内多条生产线相继投产,中低端市场的全球占比不断提升。当前我国已成为全球拥有液晶面板生产线最多,ITO靶材消费市场增长最快,触摸屏产量最大的国家。随着国内企业生产大尺寸ITO靶材技术上的持续突破,与日韩先进制造水平差距的逐步缩小,并获得下游面板厂试用认证,预计未来5年,国内ITO靶材对钢的消费将会持续增长。此外,5G技术的广泛应用对ITO靶材的消费也将有一定的拉动作用。

(2) 光伏领域

当前钢在光伏领域的消费并不突出,但随着光伏技术的不断发展以及环境对清洁能源的必然要求,未来光伏很可能成为发展最迅速的钢消费领域。根据《中国可再生能源展望2018》^[33]数据,2017年国内太阳能总装机发电容量为130 GW,预计2020年、2035年和2050年将分别增加到224 GW、1 962 GW和2 803 GW。铜铟镓硒薄膜(CIGS)太阳能电池是由Cu、In、Ga、Se四种元素按一定比例制作成的结晶薄膜太阳能电池,是组成电池板的关键部分,相比于其他类型的薄膜太阳能电池,铜铟镓硒薄膜(CIGS)太阳能电池具备近似最佳的光学能隙、吸收率高、抗辐射能力强、稳定性好、生产成本低等特点,被国际上称为最有希望获得大规模应用的太阳能电池之一^[34],具有非常广阔的应用前景。因此,可以预计未来光伏领域将会成为国内钢消费的重要增长点,甚至有望赶超ITO靶材行业成为钢的最主要消费领域。

3.4 相关建议

(1) 加强国内资源勘查和回收利用,提升资源安全保障程度

我国钢矿资源成矿条件优越,应加大国内的钢矿产地的勘查力度,从共伴生矿产综合利用角度开展矿产资源潜力和技术经济可行性评价,增加国内钢矿资源储量规模;国内企业和科研院所加强合作,加大科技创新力度,攻关伴生钢和再生钢的高效回

收工艺,保障我国钢资源的优势地位。

(2)完善钢资源储备机制,实现产业可持续供应

我国是钢资源的生产大国,但由于国内需求有限,大量钢资源用于出口。建议国家相关部门和企业重新认识钢的现实价值和战略价值,积极完善钢资源储备机制,建立政府与民间互补的储备体系,保障我国钢资源安全,同时实现未来战略性新兴产业的可持续发展。

(3)鼓励钢应用端产业发展,转化资源优势为产业优势

我国是钢资源大国,但长期以来,我国的钢消费主要用于制造初级产品,这些产品大量出口,成为日本、韩国等电子产业的发展基础,反过来压制了我国新兴产业发展的空间。建议我国相关机构开展战略性新兴产业发展趋势研究,将ITO靶材、CIGS等应用领域的研发列为战略性环节,抓住市场需求猛增的大好时机,加速研发和产业化进程,打破发达国家的技术壁垒,促进高端ITO靶材国产化,使我国的钢资源优势转化为产业优势。

(4)加强全球钢资源勘查和开发利用产能合作
钢资源在战略性新兴产业中具有极佳的应用前景,在对钢需求快速增长的背景下,我国在未来将会由出口国转变为进口国。因此,在鼓励国内钢矿回收利用的同时,应关注去全球钢矿资源的找矿勘查进展。把握“一带一路”建设的发展机遇,利用国内钢矿回收冶炼的产能优势,加强与南美洲等地区的钢资源国的产能合作,就地建立健全钢开发利用的产业链,实现合作共赢。

4 结论与思考

(1)全球钢资源分布比较集中,超过九成的钢资源分布在中国、玻利维亚、俄罗斯、加拿大、日本、德国、葡萄牙、澳大利亚、美国和阿塞拜疆等10个国家。

(2)日本、韩国、美国和中国是全球最主要的钢消费国,其中日本、韩国占据全球约80%的消费量。除依赖从中国进口原生钢外,日韩钢二次回收产业发达,大部分需求可依靠再生钢解决。

(3)我国钢矿资源量和近10年来原生钢产量分别占全球份额的24%和43%,是最大的钢矿资源国和原生钢生产国。国内的钢矿资源集中在云南、广

西、内蒙古、青海等省(区)。我国钢后端应用产业起步较晚,当前正处于快速发展阶段,钢消费量较小。

(4)钢的应用领域是ITO靶材、半导体、焊料和合金及铜钢锡镓薄膜(CIGS)等。其中ITO靶材领域占据近八成的消费量,并且随着我国ITO靶材制造产业的技术进步和显示面板行业的增长,ITO靶材领域对钢的需求也将保持高速增长。铜钢锡镓薄膜(CIGS)当前对钢的消费基数较小,但受政策导向、技术突破等因素的影响,未来或将成为钢最重要的消费领域之一。

(5)建议科学规划,合理利用国内钢资源,加强国内资源勘查和回收力度,建立健全钢资源储备机制,大力发展钢应用端产业,加强境外钢开发利用产能合作,保障未来产业发展原料的可持续供应。

致谢

本文成文过程中,得到了向运川研究员、叶锦华研究员、张振芳教授级高工和李娜博士的热情指导;赵元艺研究员、张万益教授级高工、吴建设研究员审阅了论文初稿,并提出了有益的建议,在此一并致以诚挚的谢意。

参考文献:

- [1] Rudnick R L and Gao S. Composition of the continental crust. In: Turekian H D, Holland K K. Treatise on Geochemistry. 2nd Edition[M]. Oxford: Elsevier, 2014.
- [2] 林丰. 中国钢矿资源安全评估[D]. 北京:中国地质大学(北京),2017.
- [3] 杨扬. 新型显示产业的ITO靶材市场探讨[J]. 新材料产业, 2017(1):40-43.
- [4] 刘慧珍. 从钢资源情况分析ITO靶材国产化方向[J]. 中国市场,2018,989(34):54-55.
- [5] European Commission. Study on the review of the list of Critical Raw Materials [EB/OL]. (2017-9-11) [2019-4-10]. <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/08fdab5f-9766-11e7-b92d-01aa75ed71a1/language-en>.
- [6] U. S. Geological Survey. Draft critical mineral list—summary of methodology and background information—U. S. Geological Survey Technical Input Document in Response to Secretarial Order No. 3359[EB/OL]. (2018-10-21) [2019-4-5]. <https://pubs.er.usgs.gov/publication/ofr20181021>.
- [7] 郭佳,易继宁,王慧. 全球主要战略性矿产名录评价因素对比研究[J]. 现代矿业,2018(12):1-5.
- [8] Government of Australia. Australia's critical minerals strategy 2019[EB/OL]. (2019-3-28) [2019-4-10]. <https://apo.org.au/node/227646>.
- [9] 张小陌. 中国钢资源产业发展分析及储备研究[J]. 中国矿

- 业, 2018(7):10-13.
- [10] 徐净, 李晓峰. 钢矿床时空分布、成矿背景及其成矿过程[J]. 岩石学报, 2018, 34(12):3611-3626.
- [11] 李晓峰, WATANABE Yasushi, 毛景文. 钢矿床研究现状及展望[J]. 矿床地质, 2007, 26(4):475-480.
- [12] Murakami H, Ishihara S. Trace elements of Indium-bearing sphalerite from tin-polymetallic deposits in Bolivia, China and Japan: A femto-second LA-ICPMS study[J]. Ore Geology Reviews, 2013, 53(Complete):223-243.
- [13] U. S. Geological Survey. Minerals commodity summaries: Indium [EB/OL]. (2008-1) [2019-4-15]. <https://s3-us-west-2.amazonaws.com/prd-wret/assets/palladium/production/mineral-pubs/indium/mcs-2008-indiu.pdf>.
- [14] Werner T T, Mudd G M, Jowitt S M. The world's by-product and critical metal resources part III: A global assessment of indium[J]. Ore Geology Reviews, 2017(86):939-956.
- [15] 自然资源部. 中国矿产资源报告[R]. 北京:自然资源部, 2018.
- [16] 2018 小金属产业峰会. 钢市场综述分析:中美日韩数据详细大对比[EB/OL]. (2018-5-25) [2019-5-8]. <https://news.smm.cn/news/100798724>.
- [17] U. S. Geological Survey. Minerals commodity summaries: Indium [EB/OL]. (2010-2019) [2019-4-15]. <https://www.usgs.gov/centers/nmic/indium-statistics-and-information>.
- [18] U. S. Geological Survey. 2016 Minerals Yearbook INDIUM [EB/OL]. [2019-4-10]. <https://prd-wret.s3-us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/atoms/files/myb1-2016-indium.pdf>.
- [19] 安泰科. 2018 年钢市场发展报告[R]. 2018.
- [20] JOGMEC. 鉱物資源マテリアルフロー 2018 インジウム (In) [EB/OL]. (2019-3-26) [2019-6-1]. http://mric.jogmec.go.jp/wp-content/uploads/2019/03/material_flow2018_In.pdf.
- [21] Zhang Q, Zhu X, He Y, et al. Indium enrichment in the Meng'entaolegai Ag-Pb-Zn Deposit, Inner Mongolia, China [J]. Resource Geology, 2008, 56(3):337-346.
- [22] Ishihara S, Qin K, Wang Y. Resource evaluation of indium in the dajing tin-polymetallic deposits, Inner Mongolia, China [J]. Resource Geology, 2008, 58(1):72-79.
- [23] 郭春丽, 王登红, 付小方, 等. 四川盆地河锡矿区富钢矿石的发现及其找矿意义[J]. 地质论评, 2006, 52(4):550-555.
- [24] 赵元艺, 刘妍, 崔玉斌, 等. 西藏班公湖-怒江成矿带与邻区铜矿化带的发现及意义[J]. 地质论评, 2010, 56(4):568-578.
- [25] Liu JP, Gu XP, Shao YJ, et al. Indium mineralization in copper-tin stratiform skarn ores at the Saishitang-Rilonggou Ore Field, Qinghai, Northwest China[J]. Resource Geology, 2016, 66(4):351-367.
- [26] 张乾, 刘志浩, 战新志, 等. 分散元素钢富集的矿床类型和矿物专属性[J]. 矿床地质, 2003, 22(1):309-316.
- [27] 安泰科. 2018 年 1-2 月钢市场回顾与后市展望(双月评)[EB/OL]. (2018-3-6) [2019-6-2]. <http://www.china-indium.org/uploadfile/2018/0306/20180306041800281.pdf>.
- [28] 安泰科. 2019 年上半年钢市场回顾与后市展望[EB/OL]. (2019-7-5) [2019-7-28]. <http://www.china-indium.org/uploadfile/2019/0705/20190705024842719.pdf>.
- [29] 安泰科. 2016 年中国钢市场供需分析[EB/OL]. (2017-4-10) [2019-5-8]. <http://www.china-indium.org/uploadfile/2017/0410/20170410094417751.pdf>.
- [30] 安泰科. 2018 年钢市场回顾与后市展望[EB/OL]. (2019-1-11) [2019-5-8]. <http://www.china-indium.org/uploadfile/2019/0111/20190111090920263.pdf>.
- [31] 陈其慎. 点石: 未来 20 年全球矿产资源产业发展研究[M]. 科学出版社, 2016.
- [32] 胡永达, 冯君从, 张福良, 等. 主要有色金属矿产供需及开发趋势分析[M]. 地质出版社, 2016.
- [33] 国家发展和改革委员会. 中国可再生能源展望 2018 执行摘要[EB/OL]. (2018-10-22) [2019-5-8]. <http://boostre.cnrec.org.cn/wp-content/uploads/2018/11/CREO-2018-Summary-CN.pdf>.
- [34] 张秀清, 李艳红, 张超. 太阳能电池研究进展[J]. 中国材料进展, 2014, 33(7):436-441.

引用格式: 张伟波, 陈秀法, 陈玉明, 曹艳华, 何学洲, 黄霞, 邓攀. 全球钢矿资源供需现状与我国开发利用建议[J]. 矿产保护与利用, 2019, 39(5):1-8.

ZHANG Wei-bo, CHEN Xiufa, CHEN Yuming, CAO Yanhua, HE Xuezhou, HUANG Xia, DENG Pan. Current status of supply and demand of global indium mineral resources and suggestions for development and utilization in China[J]. Conservation and utilization of mineral resources, 2019, 39(5):1-8.