

引用格式:耿飏, 陈健, 李泽红, 等. 中国镉资源全产业链价值分析[J]. 资源科学, 2024, 46(3): 647-656. [Geng B, Chen J, Li Z H, et al. Value analysis of the entire industrial chain of indium resources in China[J]. Resources Science, 2024, 46(3): 647-656.] DOI: 10.18402/resci.2024.03.16

中国镉资源全产业链价值分析

耿 飏^{1,2}, 陈 健¹, 李泽红^{1,2,3}, 姜曙光¹

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100049; 3. 自然资源部资源环境承载力评价重点实验室, 北京 101149)

摘 要:【目的】镉资源是中国战略性新兴产业发展的重要支撑原料, 研究镉资源全产业链的价值流动现状及动态演变规律, 对于中国镉资源安全保障及经济可持续发展具有重要战略意义。【方法】本文基于2019年中国镉资源的物质流动框架, 利用价值链分析方法, 根据要素价格理论, 绘制出与镉资源物质流动过程相对应的中国镉资源价值流动图谱, 以评价和分析中国镉资源全产业链的价值增减变化。【结果】①中国镉资源全产业链的总价值呈现出先上升后下降的倒U形变化趋势; ②镉资源价值链中价值增值最大的环节为冶炼和精炼, 增值额度分别为922%和1002%, 这是由于技术、人力、能源等的投入促使镉资源品位大幅提升, 同时镉作为伴生金属, 其所伴生的金属锌价值相对较低; ③中国虽然为世界镉资源储量的第一大国, 但镉资源产业链依然依靠进口来维持发展; ④对镉资源进行循环再利用, 可带来十分可观的经济价值。【结论】因此, 优化镉资源产业链、提升高端含镉产品的生产工艺和技术、加强含镉废品回收再利用等是提升中国镉资源价值量的重要途径。

关键词: 镉; 物质流分析; 价值链分析; 要素价格理论; 动脉产业; 静脉产业

DOI: 10.18402/resci.2024.03.16

1 引言

镉作为稀散金属, 常以伴生形式存在, 优良的物理化学性质使其在半导体材料、液晶显示器、太阳能电池板、LED(light-emitting diode)灯等产品中广泛使用^[1]。随着高新技术产业的飞速发展, 特别是平板显示行业的高速增长, 全球镉资源消费量迅速攀升^[2], 即使未来在镉资源供应最有利情况下, 也有可能在短时间内发生镉资源短缺的情况^[3]。目前, 镉资源集中分布于中国、加拿大、澳大利亚、秘鲁等国家^[4]。其中, 中国镉资源储量位居全球第一, 但资源优势并未带来产业链优势和丰厚的经济收益, 镉资源产业链的资源利用效率及价值转化效率偏低, 严重阻碍了产业的高质量发展。鉴于此, 本文针对中国镉资源全产业链的价值流动现状及动态演变规律进行分析和评估。

物质流分析(Material Flow Analysis, MFA)是

量化资源在产业链中的代谢过程、分析资源利用效率、评估产业发展可持续性的重要工具^[5], 它依据质量守恒定律, 通过厘清矿产资源从生产、加工、应用到废弃处理的全生命周期流动, 揭示矿产资源在生产、消费、贸易、回收等过程中的流动特征及转化效率, 从中找到减少资源消耗、降低污染物排放、促进产业高质量发展的途径和方法^[6]。且物质流分析还可以与其他方法相结合, 以预测资源的供需趋势^[7], 便于及时作出相关政策调整。目前, 已有学者将物质流分析用于镉资源产业链研究, 从全生命周期视角或从产业链某一环节出发对镉资源供需现状、产业链管理、相关政策制定等方面开展研究^[8,9]。但物质流分析主要侧重于对资源在全产业链中的实物量进行评估和分析, 很少考虑到经济和社会因素对产业链的影响, 因而分析过程并未深入到“结构性”的内部成本层次, 使得分析结果偏向宏观层面, 只能

收稿日期: 2023-07-18 修订日期: 2023-11-01

基金项目: 国家自然科学基金重大研究计划项目(92062111); 国家科技基础资源调查专项课题(2022FY101901)。

作者简介: 耿飏, 男, 内蒙古呼和浩特人, 硕士研究生, 研究方向为资源经济。E-mail: gengbiao22@mails.ucas.ac.cn

通讯作者: 李泽红, 男, 湖北天门人, 副研究员, 研究方向为资源经济。E-mail: lizehong@igsnr.ac.cn

用作决策指南,而不能在实践中直接实施^[10]。

价值链分析既能突破资源在实物量研究方面未充分考虑经济因素的局限,又能准确评估废弃物的环境损害成本,更好地评价废弃物资源化过程中的环境绩效^[4]。价值链的概念最早是由企业战略管理理论发展而来,指的是企业全产业链输入、转换和输出的活动序列集合,每个活动都有可能对最终产品产生增值行为,从而增强企业的竞争力。目前,学者已经将价值链分析方法运用到特定资源或产品当中,如钢铁^[10-12]、铝^[13]、铅酸电池^[14]、废弃物^[15]等。其中,有的研究通过评估确定金属产业链中主要类别产品的单位价值,将其与实物量相乘得出价值量来进行价值链分析^[11];有的研究则先得出不同产品总价值,再与其中某一资源实物总量相比得出不同产品中资源的单位价值来进行价值链分析^[16],亦有学者引入了价值与物质的耦合系数,但其本质与单位价值类似^[13]。本文在这些研究的基础上,构建出中国钢资源全产业链的价值量分析框架,并绘制出相对应的价值流动图谱,以分析中国钢资源全产业链的价值循环特征、价值增值变化及其影响因素,为钢资源全产业链的科学管控及相关政策制定奠定基础。

2 研究方法

2.1 系统边界设定

本文利用钢资源物质流动框架,确定出钢资源生命周期划分标准及各环节相对应的产品,具体包括生产、加工制造、使用以及废物管理4个环节和其中涵盖的15种含钢产品^[9]。同时,基于动脉产业和静脉产业这两个循环经济中的关键概念,将钢资源全产业链进一步划分,钢资源动脉产业包括资源开采、初级加工、生产、消费和废弃,是一个线性过程,而钢资源静脉产业则包括钢资源的再循环和回收,是一个闭环过程。

最后,在充分考虑数据可得性及中国钢资源产业发展实际情况的基础上,本文以2019年为时间边界,以除港澳台地区以外的中国全境为空间边界来开展研究。

2.2 钢资源价值链分析框架构建

如图1所示,首先基于生命周期理论将钢资源的物质流动过程按照生产、加工、使用、报废4个环节进行逐一刻画;然后利用要素价格理论,将钢资源全产业链各环节的价值量表征为单价与对应环

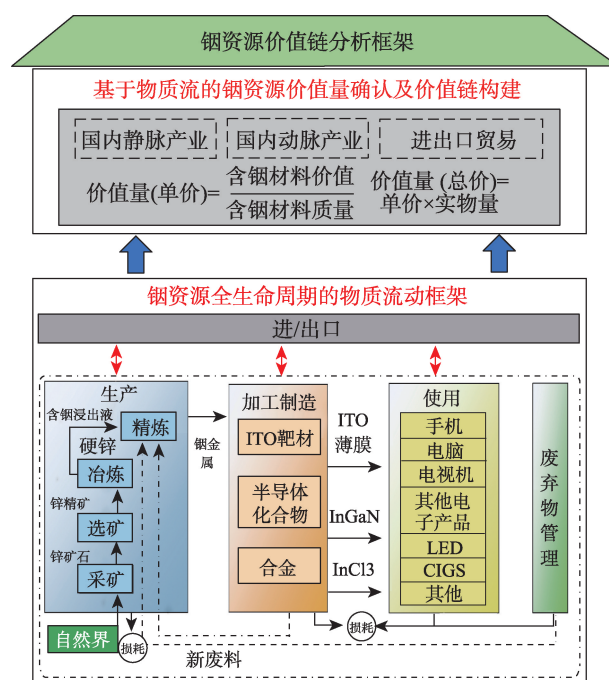


图1 钢资源价值链分析框架

Figure 1 Research framework of indium resource value chain

节的实物量乘积,并附着于物质流框架之上,构建出钢资源全产业链的价值量分析框架。

参考国内外学者对于钢铁、铝、铅等资源的价值链研究^[10,12,13],考察钢资源在其生命周期内的流动伴随着的价值变化。基于构建出的钢资源价值链分析框架,根据价值的每股流量等于钢资源质量的流量乘以钢资源在相应阶段的价格,进一步绘制出钢资源的动脉产业、静脉产业和国际贸易这3个子系统的钢资源价值流动框架(图2)。本文对能量、辅助材料等的输入,以及废物处理、工业废水等的输出不作考虑。

如图2所示,钢资源动脉产业的初级生产链由6个流程组成,即选矿、冶炼、精炼、加工制造、分部门使用和废弃物处置/管理。流程1是开采后的锌矿石经过选矿环节去除其中脉石等杂质的生产过程^[17];流程2是锌精矿经过冶炼后被转化为含钢浸出渣或硬锌等物料的过程^[18];流程3是对钢冶炼后的提取物进行精炼加工的过程,期间约有80%的钢可以被回收利用^[18];流程4是对高纯度的钢金属进行加工制造的过程;流程5是对含钢产品的使用过程。钢资源的应用领域非常集中,其中70%的消费量用于ITO靶材行业,主要用于生产手机、电脑、电视机等电子产品;流程6是对含钢产品的废弃物处置与管

2024年3月

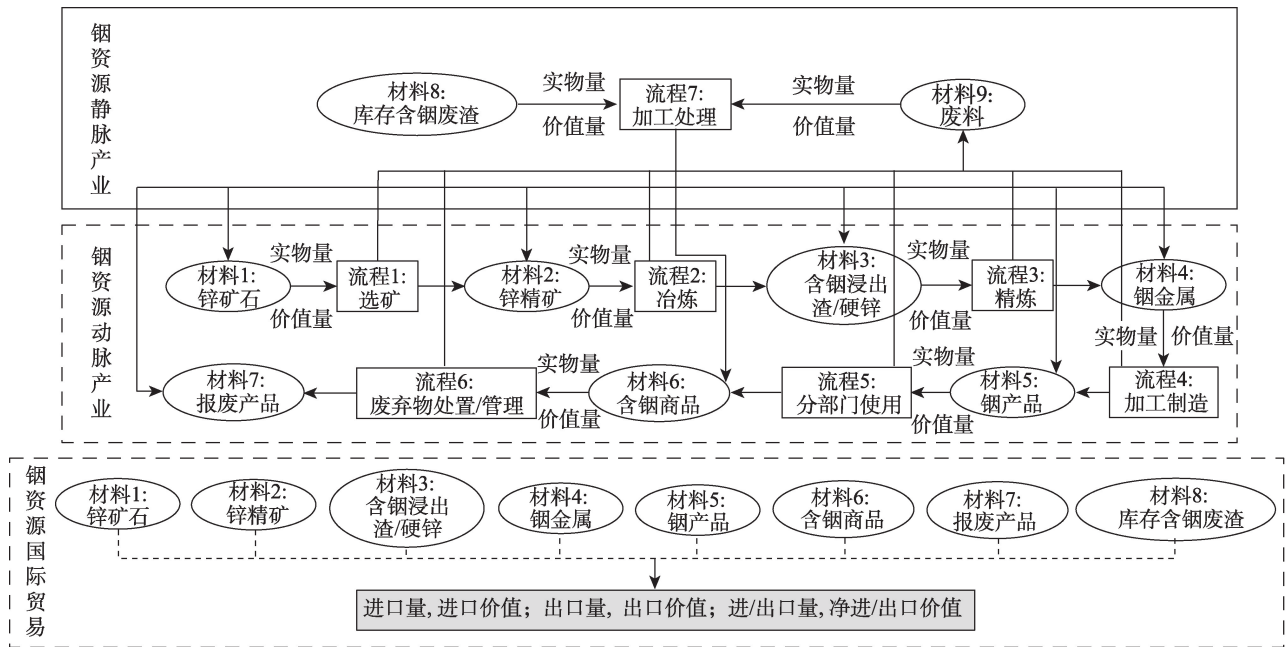


图2 中国钢资源的动脉产业、静脉产业和国际贸易3个子系统的价值流动框架

Figure 2 A value flow framework for three subsystems: arterial industry, venous industry and international trade of indium resources in China

注:椭圆表示钢资源的不同形态;矩形表示钢资源不同的加工处理流程;在钢资源动脉产业和钢资源静脉产业中,每一个椭圆与每一个矩形相对应,它们之间的箭头表示不同形态下的钢资源实物量和价值量流入到不同的加工处理流程中。下同。

理流程。此流程中的含钢产品在消费达到使用寿命后成为废弃物,可能被回收利用进入下一个产品的生命周期内,也可能被丢弃或散失于环境中。为便于分析,本文在图2中将6个流程流出的废弃物汇聚到材料9中,材料9中的废弃物同材料8中的库存含钢废渣经过加工处理后被转换为各种动脉产业初级生产原料,这一废弃物回收再循环的过程构成了钢资源静脉产业。

2.3 数据来源及处理

本文涉及的产业链基础数据主要包括锌矿石、锌精矿、含钢浸出渣/硬锌、精钢、含钢半成品、含钢终端产品和报废含钢产品的实物量和价值量数

据。具体数据来源如下:①2019年含钢产品实物量流动信息及各类含钢产品的钢含量系数主要来源于国内外已有的研究成果^[9]及隆众咨询调研数据,价值数据的国内部分主要来源于各类产业信息网及调研(表1);②锌矿石、锌精矿、含钢浸出渣/硬锌的价值数据主要从金投网(<https://www.cngold.org/>)获取,金投网的数据实时更新,选取各地区的每月数据进行平均后得到2019年锌精矿的价值数据;③国内精钢的价值数据来源于华经产业研究院(<https://www.huaon.com/>),由于中国ITO靶材占领了绝大部分钢市场,本文以ITO靶材代表含钢半成品。同时,由于ITO类产品在海关信息网上没有明确的贸

表1 2019年典型含钢终端产品中钢的单价

Table 1 Unit price and value-added rate of indium in typical indium-containing end products, 2019

终端产品	质量/kg	价格/元	钢单价/(元/t)	说明
手机	0.165	2215	13424242	国际数据公司(IDC)显示2019年手机平均价格为2215.36元,极光调研数据显示2019年华为销量第一,且其荣耀8X型号在销售中占比最大,因此以华为荣耀8X的手机质量参数为参考
电脑	1.690	4500	2662721	据Gartner、中关村在线调研中心,2019年电脑价格关注度最高的区间为4000~4999元,因此选取平均数作为电脑的价格,此外,联想小新Air15关注度最高,因此选其作为质量参数代表
电视	16.700	2525	151168	京东商城公布数据显示1550~3499元价格区间的电视市场占比最大,为48.86%,因此选取这一区间的平均数作为电视机产品价格,小米市场占有率第一,且65英寸电视市场占比最大,因此选取小米65英寸电视的质量为参数

易代码,而“其他半导体器件”(HS编码为85415000)涵盖了固体半导体器件和零部件的分类,所以本文以其进出口单价近似替代ITO靶材的进出口单价;④经过实地调研发现,在ITO靶材生产过程中,大量含钢废弃物可被回收,废弃物中钢含量约为70%^[9],半成品废弃物的价格约为700元/kg。而库存含钢废渣的钢含量约为30%,此类废弃物的价格约为220元/kg;⑤国内ITO靶材的价值数据以及代表性终端产品,例如手机、电脑、电视机等

的价值数据和质量数据是通过行业调研获取(表1)。进出口金额及其价格主要来自中国海关统计网(www.chinacustomsstat.com)和联合国商品贸易统计数据库(UN Comtrade),进口价格为到岸价格,出口价格为离岸价格。净出口为计算所得,净出口=出口-进口-复进口。其他电子产品和合金类的进出口产品类型较多,其实物总量和总价值数据为各小类产品的实物量 and 价值量加总,单价为加总后的总价值与实物总量的比值(表2);⑥根据要

表2 代表性终端产品含钢资源的量表

Table 2 Data Sheet on Indium-Containing Resources in Representative End Products

终端产品类别	HS代码(含量参数)	来源	单价/(万元/t)	实物总量/t	总价值/万元
手机	851712(0.001315%)	国内	1342.42	14.000	18793.88
		进口	400.73	0.010	4.01
		出口	524.38	2.162	1133.71
		复进口	400.73	0.004	1.60
		净出口	525.19	2.148	1128.11
电脑	847130(0.001687%)	国内	266.27	29.000	7721.82
		进口	115.31	0.068	7.84
		出口	172.56	6.435	1110.42
		复进口	110.77	0.065	7.20
		净出口	173.81	6.302	1095.35
电视机	852872(0.001931%)	国内	15.12	67.000	1013.04
		进口	17.87	0.011	0.20
		出口	18.21	9.363	170.50
		复进口	17.87	0.000	0.00
		净出口	437.40	17.000	7435.80
LED	85414010(0.000053%)	国内	780.65	27.000	21077.55
		进口	5059.29	0.003	15.18
		出口	780.65	0.012	9.37
		净进口	433.08	-0.009	-3.90
CIGS	85414020(0.0007057%)	国内	20.40	5.000	102.00
		进口	163.26	0.073	11.92
		出口	20.40	31.391	640.38
		净出口	20.07	31.318	628.55
其他电子产品	852580(0.00055950%)	国内	11.83	17.000	201.11
	8527(0.00417500%)	进口	17.28	0.490	8.47
	853120(0.00055950%)	出口	11.83	9.476	112.10
	8703(0.00001122%)	复进口	153.33	0.044	6.75
		净出口	10.84	8.942	96.93
合金类	780199(0.000004%)	国内	3.73	19.000	70.87
	300640(0.000196%)	进口	2.66	0.297	0.79
	760900(0.001365%)	出口	3.73	2.873	10.72
	800120(0.00413%)	复进口	91.53	0.006	0.55
	831130(0.004%)	净出口	3.64	2.570	9.35

注:LED、CIGS、其他电子产品、合金类产品类型多样,国内产品价值数据较难获取,且出口价值数据与国内产品价值数据相差较小,因而国内产品价值数据以出口价值数据替代。手机、电脑、电视机的国内产品数据来源于国际数据公司(IDC)、个推大数据、极光调研数据、Gartner、中关村在线调研中心、ZDC调研中心和京东商城公开数据。

2024年3月

素价格理论,运费及保险费形成了进口商品价值的组成要素,并由国内消费主体买单,而商品出口时则不包含运费及保险费,销售主体获取的也只是离岸价格背后的利润,因此直接采用统计数据来进行研究。此外,来自UN Comtrade的价值数据单位为美元,涉及货币换算问题,本文将《中国金融年鉴》中2019年全年的汇率数据进行平均,即6.88,基于此将美元转换为人民币。

在钢资源终端产品的价值计算方面,由于涉及的终端产品类型众多,直接计算终端产品价值的难度较大。因此,如表1所示,手机、电脑、电视机的国内产品以市场占比最大的品牌、型号作为代表性产品。

同时,钢资源经过多环节的加工利用,存在于不同形态的含钢产品中,其单位质量的价值等同于该形态产品的单位质量价值,例如质量为1.1 kg的电脑价值为6000元,其单位质量价值为5454546元/t,这一数值同样也是作为终端产品在这一环节或形态下钢资源的单位质量价值,即钢单价。故对于价值总量来说,不同阶段钢资源的价值总量应为钢资源单价乘以这一阶段中钢资源的总质量。

3 结果与分析

图3是基于中国钢资源的物质流动框架,通过对钢资源全产业链各环节的价值核算所得到的

2019年中国钢资源全产业链的价值流动图谱。

3.1 钢资源全产业链的价值流动

在2019年中国钢资源的全产业链中,随着不同产业链流程的依次运行以及钢资源赋存形式的不断转变,钢资源不断被耗散。其中,一部分进入下游环节,另一部分被回收再利用,最后剩下的部分则损耗散失到环境当中。总体来看,如图3所示,将国际贸易的材料与国内部分的材料合并计算,约883 t的钢资源进入选矿环节,约502 t的钢资源进入冶炼环节(其中315 t来自国内部分,187 t来自进口),约251 t的钢资源进入精炼环节,约191 t的钢资源进入加工制造环节(其中156 t来自国内部分,35 t来自进口),约178 t的钢资源进入不同部门的使用环节(其中90 t来自国内部分,88 t来自进口)。从含钢半成品到终端产品,主要是元器件组装为成品的过程,几乎没有损耗。终端产品中约有40 t的钢资源流出到国外,84 t的钢资源报废,其余54 t的钢资源被留存或耗散在环境中。如图4所示,在钢资源实物量持续下降的状态下,由于技术、人力资本、品牌溢价等因素的共同作用,钢资源价值产生1+1>2的效果,其价值增值速率先是高于钢资源实物量的损耗速率,而后低于钢资源实物量的损耗速率。总的来说,2019年中国钢资源的总价值在不断提升。

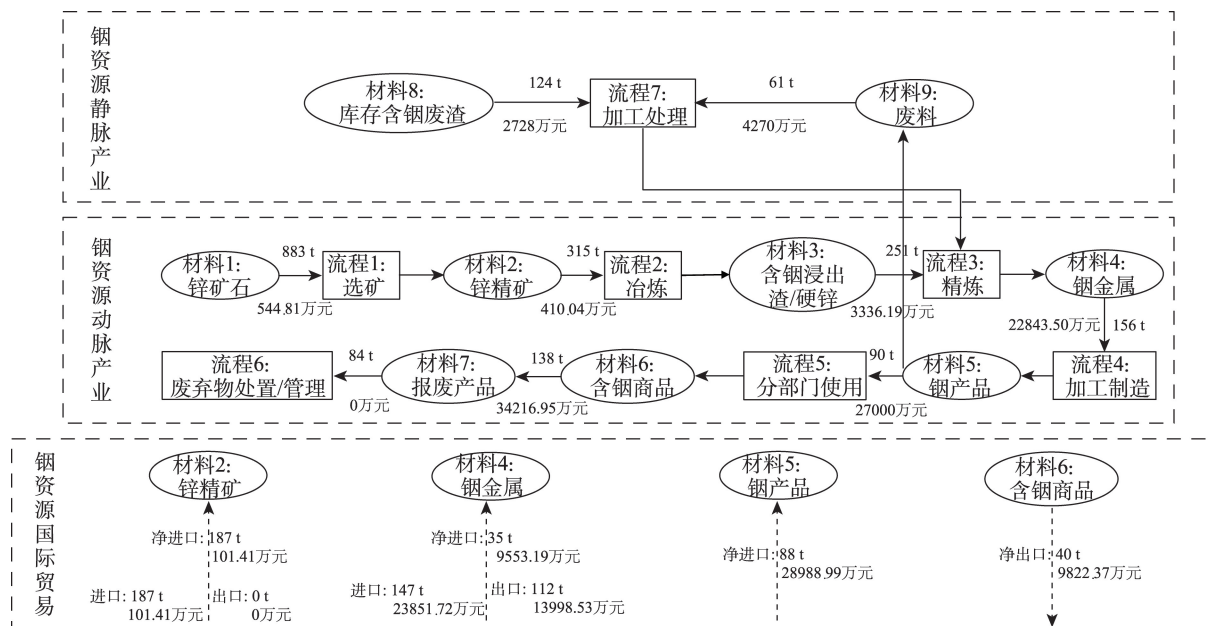


图3 2019年中国钢资源全产业链的价值流动图谱

Figure 3 Value flow mapping of indium resources across the industry chain in China, 2019

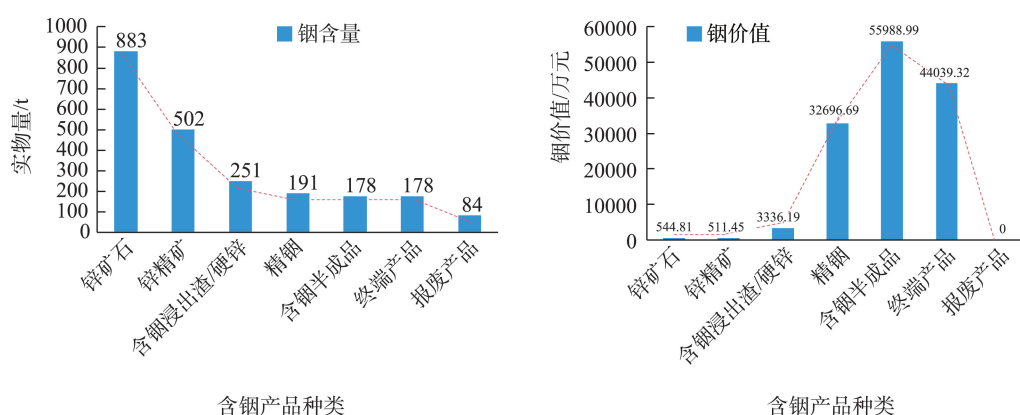


图4 2019年中国钢资源实物量与价值量的变化情况

Figure 4 Indium resource physical quantity inverted triangle state and indium resource value triangle state, 2019

同时,将国际贸易的材料与国内部分的材料合并计算,约有544.81万元的钢资源进入选矿环节,约有511.45万元的钢资源进入冶炼环节(其中410.04万元来自国内部分,101.41万元来自进口),约有3336.19万元的钢资源进入精炼环节,约有32396.69万元的钢资源进入加工制造环节(其中22843.50万元来自国内部分,9553.19万元来自进口),约有55988.99万元的钢资源进入分部门使用环节(其中27000万元来自国内部分,28988.99万元来自进口),约有44039.32万元的钢资源赋存于终端产品之中(其中34216.95万元流向国内市场并报废,9822.37万元流向国际市场)。终端产品总价值从高到低依次为LED、手机和电脑,这3类产品占据终端产品总价值的绝大部分。

除此之外,钢资源在含钢半成品之前的价值变动呈现持续上升趋势。在含钢半成品加工为终端产品的过程中,钢资源的价值增值率为-17%,即使这一过程中的实物量没有发生变化,其价值增值率的负向变化也使得终端产品阶段的钢资源总价值呈现下降趋势。而最终报废的终端产品也未被回收,未能产生最后的价值流入。相比于钢资源实物量呈现出持续下降的态势,钢资源价值总体呈现出先上升后下降的倒U形变化趋势,与针对钢铁、铝等资源的价值链研究结果相类似^[10,13]。

3.2 钢资源动脉产业的价值增值变化及其影响因素

3.2.1 钢资源动脉产业的价值增值概况

如图5所示,不同环节含钢产品的价值均在增加,但其价值增值的速率在选矿环节向精炼环节转

变的过程中呈现出陡崖式增长态势,而在加工制造环节向分部门使用环节转变的过程中又呈现出陡崖式下降的态势。具体的,从选矿环节到加工制造环节的过程中,钢资源的价值增值率累计达到49080%的最高水平,其中价值增值最大的环节为精炼环节,价值增值率为1002%。冶炼环节价值增值率次之,增值率为922%。

3.2.2 钢资源动脉产业价值增值的影响因素

钢资源精炼环节和冶炼环节价值增值率大幅上升的主要影响因素是原矿中的含钢资源数量。锌矿床中钢的品位约为 25×10^{-6} ^[19-21],而锌精矿中钢的品位约为 59×10^{-6} ,是锌矿石中钢品位的2.4倍。同时,经过不同工艺冶炼得到的硬锌和含钢浸出渣品位也各不相同。经过计算,其平均值约为30.295%^[4],约为锌精矿中钢品位的5135倍;进一步精炼得到的高纯度精钢浓度接近100%,为锌精矿中钢品位的3.3倍。以上环节在加工过程中的技术投入、人力投入、土地占用、能源消耗以及市场供需等因素均对其价值增值作出了贡献,并主要通过钢品位提升得以表现。

加工制造环节和分部门使用环节所使用的基本都是高品位的精钢,此时钢资源本身的品位变化并不会对价值增值产生作用,这两个环节的价值增值主要由科技、技术、企业品牌和人力资本等因素来决定。在这些因素的共同作用下,钢资源的价值得到提升。如表3所示,加工制造环节的钢资源价值增值率为105%,而分部门使用环节的价值增值率为-17%,这两个环节的价值增值本应都受到科

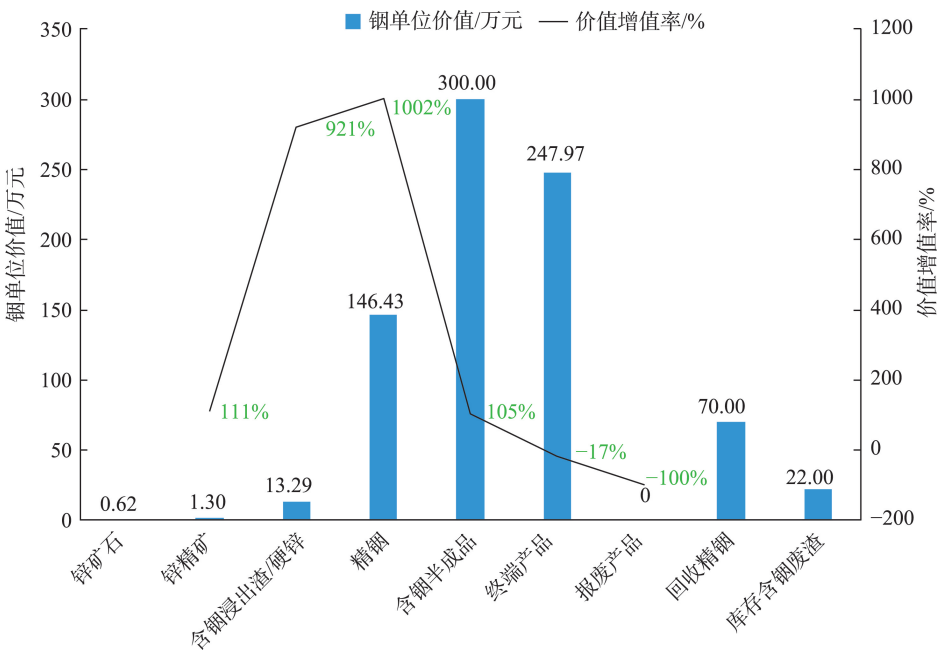


图5 主要含钢材料的单位价值及其价值增值率

Figure 5 Unit value and value appreciation rate of main indium containing materials

注:价值增值率=价值增值额/上一环节价值×100%。

表3 钢资源全产业链各环节的价值增值率

Table3 Value-added rate of each segment in the complete industrial chain of indium resources

	选矿	冶炼	精炼	加工制造	分部门使用	报废	累计最大增值幅度
价值增值率/%	113	922	1002	105	-17	-100	49080

技、人力资本、企业品牌等因素的直接影响,但对分部门使用环节的影响却不够显著,甚至其增值率为负,这是由于产品中加入了其他质量占比较大且相较于钢资源价值较低的成分,其对于钢资源价值提升的负向作用大于科技、人力资本、企业品牌等因素的正向促进作用。

含钢半成品进入各类终端产品的价值增值率由高到低依次为:手机(344%)、LED(160%)、电脑(-11%)、CIGS(-93%)、电视(-94%)、其他电子产品(-96%)、合金类(-99%)。可见含钢半成品越是用于质量小,科技含量高的终端产品,钢资源价值增值就越明显。对比加工制造和分部门使用环节,可以看出加工制造的价值增值率较大,是钢资源价值提升的关键环节,因而更值得关注。

3.3 钢资源静脉产业的价值循环及其影响因素

3.3.1 钢资源静脉产业的价值循环概况

对含钢半成品所产生废料以及库存含钢废渣的加工处理使得钢资源的利用最终形成了完整闭

环。前者是当期的闭环,后者则是由前期的库存含钢废渣积累到当期而形成的延期闭环。其中,约有61 t的含钢半成品废料(主要是ITO靶材废料)得以回收再利用,创造出4270万元的价值增值;约有124 t的库存含钢废渣作为再生钢重新回到钢资源产业链中,创造出2728万元的价值增值。既节约了资源,又保护了生态环境。

3.3.2 钢资源静脉产业价值循环的影响因素

通过对比可以发现,除了回收加工含钢半成品产生的废料及库存含钢废渣之外,其他理应存在于静脉产业中的回收加工环节并没有在现实中得以体现,说明中国钢资源产业链中存在着大量的资源浪费,造成了巨大的价值损失和环境污染。究其原因,首先是技术落后。钢资源的循环再利用依赖于分离提纯等技术的支持,而这些技术难度较大,且对技术设备的要求较高;其次是钢资源的战略意义并未在中国得到应有的重视。美国、日本等国家均已将钢资源列为战略性矿产名单^[22,23],

但目前中国并没有将其列为战略性矿产资源,这也在一定程度上反映出中国对钢资源的重视程度还远远不够。即便中国是钢资源储量的第一大国,仍需要对钢资源加强管控,避免“资源诅咒”现象的出现。

3.4 钢资源的国际贸易分析

3.4.1 钢资源的国际贸易概况

中国钢资源只有在终端产品的对外出口是净出口,其余均为净进口。其中涉及的材料主要包括锌精矿、钢金属和钢产品(主要为ITO靶材)。上游初级产品的进口数量与下游终端产品的出口数量巨大,这从侧面反映出中国作为制造业大国的优势。但在2019年中国钢资源的国际贸易中,净流入的钢资源总价值高达2.9亿元,说明中国虽然作为世界钢资源储量的第一大国,钢资源产业链依然依靠进口来维持发展。尤其是在终端产品中,作为钢资源主要终端产品的LED中的钢资源实物量为净流出,其价值量同样为净流出,由此可见中国LED产业在国际竞争中明显处于劣势地位,中国钢资源在LED产品中的大量消耗并未带来应有的价值流入。

3.4.2 含钢废料的循环再利用和产业链的技术进步将有效缓解中国钢资源的供需压力

相较于进口品位较低的锌精矿原材料,对含钢废料进行循环再利用是一个更好的选择。精钢、ITO靶材和终端产品都是进口价格大于国内售价,并大于出口价格。以ITO靶材为代表的含钢半成品的进出口价格与国内售价之间的巨大落差直接反映出中国还不具备生产和制造高技术含量的ITO靶材的能力,只能生产较低技术水平的基础ITO靶材,并且主要供国内使用。这使得中国需要大量从德国、日本、韩国等国家(地区)进口高端ITO靶材,可见,发展中国钢资源产业链下游,提升含钢半成品的生产技术水平是未来中国钢资源发展的重要方向,将有效缓解中国钢资源的供需压力。

4 结论

本文通过构建中国钢资源全产业链的价值量分析框架,绘制出2019年中国钢资源全产业链的价值量流动图谱,研究了中国钢资源全产业链中动脉

产业的价值增值、静脉产业的价值循环和进出口环节的价值变化及其影响因素。具体结论如下:

(1)中国钢资源的实物量整体呈现持续下降态势,但通过提升钢资源品位并将钢资源与其他资源和要素进行组合使用,可产生更高的价值流入,使钢资源的单位价值大幅提升,从而实现钢资源全产业链的价值增值。

(2)2019年中国钢资源动脉产业的价值增值率累计达到49080%,其中价值增值最大的环节为冶炼环节和精炼环节,分别增值922%和1002%。冶炼环节和精炼环节中的技术投入、人力投入、土地占用、能源消耗以及市场供需等因素是促使其价值增值的关键因素。可以通过优化中国钢资源开采利用方式,采用更高效和更环保的采矿和提取技术,来降低资源开采过程中对环境的负面影响,有效提升钢资源品位,以期实现钢资源价值增值效率的进一步提升。

(3)在钢资源的加工制造环节,科技、企业品牌、人力资本等因素是影响钢资源价值增值率的关键因素。而在分部门使用环节中,钢资源的价值增值率则随着终端产品的品类不同而有所差异。其中,科技含量高且质量较小的终端产品价值增值率较高。在进出口方面,钢资源全产业链只有终端产品的对外贸易是净出口,其余环节的产品均为净进口,反映出中国制造业实力强劲,在一定程度上也保证了中国钢资源的战略安全。但进出口贸易的价值转移并未给中国带来丰厚的价值流入和竞争优势。因此,需要加强中国钢资源全产业链的合作交流,优化产业结构,全面提升中国钢资源全产业链的价值增值效率。

(4)以ITO靶材为代表的含钢半成品进出口价格与国内售价之间存在巨大差异,反映出中国还不具备生产高技术含量的高端ITO靶材的能力。需要增加资金和人才投入,掌握核心技术,提高含钢产品的质量和技术含量,以提升国内钢资源产业链的竞争力。此外,钢资源的循环再利用可以带来非常可观的经济收益。以2019年为例,大约可以增加6998万元的价值流入,同时能够有效遏制钢资源的大量浪费,推动中国钢资源的可持续利用和钢资源产业的可持续发展。

2024年3月

参考文献(References):

- [1] 侯文达, 叶子, 陈程, 等. “钢”为有你, 生活多彩[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2022, 41(4): 905-911. [Hou W D, Ye Z, Chen C, et al. “Indium” makes life colorful[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2022, 41(4): 905-911.]
- [2] 文博杰, 陈毓川, 王高尚, 等. 2035年中国能源与矿产资源需求展望[J]. 中国工程科学, 2019, 21(1): 68-73. [Wen B J, Chen Y C, Wang G S, et al. China's demand for energy and mineral resources by 2035[J]. Strategic Study of CAE, 2019, 21(1): 68-73.]
- [3] 李芳琴, 黄莉, 李杰, 等. 钢资源供给与消费格局分析[J]. 地球学报, 2023, 44(2): 297-304. [Li F Q, Huang L, Li J, et al. Analysis of indium resource supply and consumption pattern[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2023, 44(2): 297-304.]
- [4] Choi C H, Cao J J, Zhao F. System dynamics modeling of indium material flows under wide deployment of clean energy technologies [J]. Resources, Conservation and Recycling, 2016, 114(3): 59-71.
- [5] Graedel T E. Material flow analysis from origin to evolution[J]. Environmental Science & Technology, 2019, DOI: 10.1021/acs.est.9b03413.
- [6] 徐大兴, 代涛, 刘立涛, 等. 2000-2020年日本钴物质流演变特征[J]. 资源科学, 2023, 45(11): 2264-2275. [Xu D X, Dai T, Liu L T, et al. Characterization of the evolution of cobalt material flow in Japan from 2000 to 2020[J]. Resource Science, 2023, 45(11): 2264-2275.]
- [7] 徐明, 张天柱. 中国经济系统的物质投入分析[J]. 中国环境科学, 2005, 25(3): 324-328. [Xu M, Zhang T Z. Material input analysis of China economic system[J]. China Environmental Science, 2005, 25(3): 324-328.]
- [8] Zhou Y J, Rechberger H, Li J W, et al. Dynamic analysis of indium flows and stocks in China: 2000-2018[J]. Resources, Conservation and Recycling, 2021, DOI: 10.1016/j.resconrec.2021.105394.
- [9] 周艳晶. 中国钢资源动态物质流研究[D]. 武汉: 中国地质大学, 2021. [Zhou Y J. Dynamic Material Flow Analysis of Indium in China[D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2021.]
- [10] Yan L Y, Wang A J. Based on material flow analysis: Value chain analysis of China iron resources[J]. Resources, Conservation and Recycling, 2014, 91: 52-61.
- [11] Li Q F, Zhong W Q, Wang G S, et al. Material and value flows of iron in Chinese international trade from 2010 to 2016[J]. Resources Policy, 2018, 59: 139-147.
- [12] Dahlström K, Ekins P. Combining economic and environmental dimensions: Value chain analysis of UK iron and steel flows[J]. Ecological Economics, 2006, 58(3): 507-519.
- [13] Dahlström K, Ekins P. Combining economic and environmental dimensions: Value chain analysis of UK aluminium flows[J]. Resources, Conservation and Recycling, 2007, 51(3): 541-560.
- [14] Yu Y X, Song Y, Mao J S. Quantitative analysis of the material, energy and value flows of a lead-acid battery system and its external performance[J]. Science of The Total Environment, 2019, 688: 103-111.
- [15] 金友良, 沈玖柒. 废弃物资源化理论研究综述: 价值流转视角[J]. 资源开发与市场, 2018, 34(3): 322-329. [Jin Y L, Shen J Q. Review on waste recycling: The perspective from value flow[J]. Resource Development & Market, 2018, 34(3): 322-329.]
- [16] 肖序, 刘三红. 基于“元素流-价值流”分析的环境管理会计研究[J]. 会计研究, 2014, (3): 79-87. [Xiao X, Liu S H. Environmental management accounting research based on “elements flow-value flow” Analysis[J]. Accounting Research, 2014, (3): 79-87.]
- [17] 王树楷. 钢冶金[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2006. [Wang S K. Indium Metallurgy[M]. Metallurgical Industry Press, 2006.]
- [18] 江华, 金艳梅, 叶幸, 等. 中国光伏产业2019年回顾与2020年展望[J]. 太阳能, 2020, (3): 14-23. [Jiang H, Jin Y M, Ye X, et al. Review of China's PV industry in 2019 and prospect in 2020[J]. Solar Energy, 2020, (3): 14-23.]
- [19] 张士强, 张杰, 任一鑫. 动脉产业与静脉产业竞争关系及对策研究[J]. 山东社会科学, 2012, (1): 163-167. [Zhang S Q, Zhang J, Ren Y X. Competition relationship and countermeasures research between arterial industry and venous industry[J]. Shandong Social Sciences, 2012, (1): 164-167.]
- [20] 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, (3): 309-316. [Zhang Q, Liu Z H, Zhan X Z, et al. Specialization of ore deposit types and minerals for enrichment of indium[J]. Mineral Deposits, 2003, (3): 309-316.]
- [21] Lokanc M, Eggert R, Redlinger M. The availability of indium: The present, medium term, and long term[J]. National Renewable Energy Laboratory, 2015, DOI: 10.2172/1327212.
- [22] National Research Council. Minerals, Critical Minerals, and the US Economy[M]. New York: The National Academies Press, 2008.
- [23] Hatayama H, Tahara K. Criticality assessment of metals for Japan's resource strategy[J]. Materials Transactions, 2015, 56(2): 229-235.

Value analysis of the entire industrial chain of indium resources in China

GENG Biao^{1,2}, CHEN Jian¹, LI Zehong^{1,2}, JIANG Shuguang¹

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 2. College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Key Laboratory of Carrying Capacity Assessment for Resource and Environment, Ministry of Natural Resources, Beijing 101149, China)

Abstract: [Objective] Indium resources are an important supporting raw material for the development of China's strategic emerging industries, and the study of the current status and dynamic evolution of the value flow of indium resources across the whole industry chain is of great strategic significance for the security of China's indium resources and the sustainable development of its economy. [Methods] Based on the material flow framework of China's indium resources in 2019, this paper utilizes the value chain analysis method and maps the value flow of China's indium resources corresponding to the material flow process of indium resources according to the factor price theory, in order to evaluate and analyze the changes of value increase and decrease in the whole industry chain of China's indium resources. [Results] (1) The total value of China's indium resources industry chain shows an inverted U-shaped trend of increasing and then decreasing; (2) The stages with the highest value appreciation in the indium value chain are smelting and refining, with value increases of 922% and 1002% respectively. This is attributed to the substantial enhancement of indium resource grade due to the inputs of technology, labor, and energy, and that indium is a by-product metal with its associated zinc metal having relatively low value; (3) Although China is the world's largest country in terms of indium resources, the indium resource industry chain still relies on imports to sustain its development; (4) Recycling of indium resources can have significant economic value. [Conclusion] Therefore, optimizing the indium resource industry chain, upgrading the production process and technology of high-end indium-containing products, and strengthening the recycling of indium-containing waste products are important ways to increase the value of indium resources in China.

Key words: indium; material flow analysis; value chain analysis; factor price theory; arterial industry; venous industry