

文章编号: 1004-4051(2024)04-0089-10

DOI: 10.12075/j.issn.1004-4051.20240540

全球镉资源现状与贸易格局分析

刘超, 赵汀, 刘胜前

(自然资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 中国地质科学院矿产资源研究所,
北京 100037)

摘要: 镉作为一种稀散金属, 既是传统工业中重要的原料, 又是对战略新兴产业发展至关重要的新型材料。本文围绕全球镉资源的分布、生产、消费、价格及回收利用等基本情况进行了论述, 并采用复杂网络方法探讨了全球镉资源贸易格局。研究发现全球镉储量和产量虽然分布集中, 但储产分离现象较为显著, 中国在全球镉储量和产量方面占据首位。全球镉产量受环境保护政策的影响增速缓慢, 作为全球第一产镉大国, 近年来中国镉产量占全球产量的 40% 左右。全球镉消费结构从电池、颜料、稳定剂、涂料等传统领域向珠宝合金、太阳能薄膜、红外设备和核工业等战略新兴产业延伸。消费国家也从比利时、日本等发达国家向印度、中国转移, 近年来中国镉消费量一直位居全球首位。镉价格近年来逐步上涨, 主要受碲化镉太阳能电池等战略新兴产业需求增加的影响。尽管镍镉电池的回收率较高, 但随着替代品的出现, 部分镉产品可能会从回收循环中消失。受其环境污染特性的限制, 预计未来镉在传统领域的消费占比将进一步降低。全球参与镉贸易的国家呈下降趋势, 但处于网络之中的贸易量相对增加, 主要进出口国家集中度较高。贸易地位从比利时、法国、中国、德国等国家逐渐向中国、韩国、日本、印度等亚洲国家转变, 其中印度作为新兴的镉贸易国, 对全球镉贸易格局将产生重要影响。

关键词: 镉资源; 生产; 消费结构; 贸易格局; 战略性关键金属

中图分类号: TD-0; F416.1 **文献标识码:** A

Analysis of cadmium resources status and trade pattern in global

LIU Chao, ZHAO Ting, LIU Shengqian

(Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Ministry of Natural Resources; Institute of Mineral Resources,
Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract: Cadmium, as a rare metal, serves as both a vital raw material in traditional industries and a crucial new material for the development of strategic emerging sectors. This paper discusses the basic situation of cadmium resources in global, including distribution, production, consumption, price, and

收稿日期: 2024-03-26 责任编辑: 宋菲

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“资源安全数字沙盘推演与会商决策系统建设”资助(编号: DD20230565); 中国地质调查局地质调查项目“矿产资源国情调查数据集成与动态更新”资助(编号: DD20190613); 中国地质调查局地质调查项目“全球矿产资源供需格局与调查布局研究”资助(编号: DD20230123); 国家自然科学基金基础科学中心项目“数字经济时代的资源环境管理理论与应用”资助(编号: 72088101); 国家自然科学基金重大研究计划集成项目“中国关键金属矿产清单厘定与风险评估”资助(编号: 92162321); 国家自然科学基金重大项目“新时代战略性关键矿产资源安全与管理”资助(编号: 71991480); 中国地质调查局地质调查项目“全球矿产资源储量动态评估”资助(编号: DD20230564)

第一作者简介: 刘超, 女, 博士研究生, 高级工程师, 研究方向为矿产资源战略研究及信息化, E-mail: 1971076064@qq.com.

通讯作者简介: 赵汀(1975—), 男, 博士, 正高级工程师, 博士生导师, 长期从事矿产资源领域研究工作, E-mail: 771899460@qq.com.

引用格式: 刘超, 赵汀, 刘胜前. 全球镉资源现状与贸易格局分析[J]. 中国矿业, 2024, 33(4): 89-98.

LIU Chao, ZHAO Ting, LIU Shengqian. Analysis of cadmium resources status and trade pattern in global[J]. China Mining Magazine, 2024, 33(4): 89-98.

recycling, and explores the cadmium resources trade pattern in global using complex network methods. The research reveals that although cadmium reserves and production in global are concentrated, there is a significant separation between reserves and production, with China leading in both aspects. Cadmium production in global has been growing slowly due to environmental protection policies, with China accounting for approximately 40% of the production in global in recent years as the leading cadmium producer. The consumption structure of cadmium globally has shifted from traditional fields such as batteries, pigments, stabilizers, and coatings to strategic emerging fields like jewelry alloys, thin-film solar cells, infrared devices, and the nuclear industry. Consumer countries have also shifted from developed countries like Belgium and Japan to emerging economies such as India and China, with China consistently ranking first in cadmium consumption in global in recent years. The price of cadmium has been gradually rising, mainly due to increased demand from strategic emerging fields such as cadmium telluride solar cells. Despite the high recycling rate of nickel-cadmium batteries, some cadmium products may gradually disappear from the recycling loop with the emergence of substitutes. Due to its environmental pollution characteristics, the proportion of consumption in traditional fields is expected to further decrease in the future. The participation of countries in global cadmium trade is declining, but the volume of trade within the network is relatively increasing, with a high concentration of major importers and exporters. The trading status is shifting from countries like Belgium, France, China, and Germany to Asian countries such as China, South Korea, Japan, and India, with India emerging as an important player of cadmium trade pattern in global.

Keywords: cadmium resource; production; consumption structure; trade pattern; strategic critical metals

镉作为一种稀散金属,主要赋存在锌矿石、铅锌矿石、铜矿石中^[1]。镉与锌均为亲硫元素,在地质成矿过程中常常共存。闪锌矿是锌矿中最具有经济开采价值的矿物,镉在闪锌矿的晶格中经常替代锌,因此,镉常作为锌的副产品进行生产^[2-6]。在工业中,镉具有不可替代的作用,被广泛应用于电池、合金、电镀、涂料、核工业、半导体电子产业等领域^[7-9]。然而,镉是一种毒性很强且无法生物降解的金属,它对植物和人体极具危害性^[2,7-8]。因其这一特性,近年来其在传统领域的消费及新兴行业的应用受到了不同程度的监管和限制。正因如此,专家学者的研究重点和成果主要集中在环境保护、污染机理以及镉的下游应用等方面,而从全球视角对镉资源情况、贸易格局等的深入分析研究较少。

随着中国对镉的使用实施了更加严格的环境保护政策,作为全球最大的镉生产国和消费国,近年来开始出现进口量降低而出口量持续上升的势头。作为镉资源大国,厘清全球镉资源现状及全球贸易格局,对未来镉资源需求和镉产业发展,以及维护和保障镉资源安全等具有重要意义。本文基于近些年全球镉资源储量、产量、消费量、贸易量等数据,对全球镉资源情况进行了分析。同时,采用复杂网络分析方法研究了镉资源贸易格局。鉴于镉资源相关数据的受限性,本文中镉资源分布和镉生产数据截至 2022 年底,镉消费数据截至 2021 年底,镉价格数据

延伸至 2023 年。由于联合国商品贸易统计数据库 (UN Comtrade) 在 2022 年的镉贸易统计数据存在数量级的差异,不宜使用,因此,镉贸易数据的分析截至 2021 年底。另外,考虑到消费结构数据的难以获取,本文选用了 3 个关键时间点的数据进行分析。这一研究旨在为我国镉资源的高效利用、产业发展和环境监管保护等提供基础参考依据。

1 全球镉资源情况

1.1 全球镉资源现状

1.1.1 全球镉资源分布

美国地质调查局 (USGS) 对全球镉矿储量统计停留在 2013 年的 50 万 t^[9]。其中,约 61% 的储量集中在中国、秘鲁、俄罗斯、墨西哥、印度、美国 6 个国家。其伴生性、储量的不完全确定性,给全球镉资源的可持续供应带来风险,一定程度上制约镉资源配置利用,影响镉相关产业可持续发展。

根据中国自然资源部《2022 年全国矿产资源储量统计表》^[10],中国镉资源储量约为 37 735 t,西南地区、西北地区和中部地区资源分布相对集中。排名前八位的广西、甘肃、江西、内蒙古、云南、贵州、新疆和四川镉资源储量约占全国储量的 96%,其中,排名前三位的广西、甘肃、江西镉资源储量占全国储量的 58%,分别为 8 323 t、7 543 t 和 6 119 t。

1.1.2 全球镉生产情况

根据 USGS 数据,2022 年全球镉产量为 22 600 t,

主要分布在中国(38%)、韩国(18%)、日本(8%)、哈萨克斯坦(4%)等亚洲国家,以及加拿大(8%)、墨西哥(5%)等美洲国家,其余国家镉产量仅占全球产量的19%(表1)。全球镉产量增量相对缓慢,整体表现为先增后降的变化趋势(表1)。

2000年,全球镉产量为20300t,主要集中在日本、中国、美国、加拿大、韩国、墨西哥等国家。由于镉的污染特性,欧盟、美国等发达国家(地区)陆续制定环境保护政策,导致全球镉产业向发展中国家及消费占比高的韩国和日本转移。随后,2008年的经济危机加速了镉产业的转移速度。到了2010年,全球初级镉产量23700t,其中,中国、日本和韩国的产量占全球产量的一半以上,而北美、欧洲等发达国家(地区)的产量比重逐渐下降。

2010年至今,全球移动电子产品消费迅速增长,由于镉的环境污染特性,其消费并未出现快速增加,反而被后来居上的锂电池取代了市场地位。2018年开始,印度在珠宝加工行业对镉的需求旺盛^[4],影响了全球镉产品的产量和价格,导致全球产量增加至26800t。然而,2019年12月开始,新冠肺炎疫情对

全球市场消费产生了不同程度的影响,镉产量出现震荡下滑。

自2003年起,中国开始取代日本成为全球最大的镉生产国,镉产量占全球镉总产量的比重从12%逐渐上升至40%左右,近几年基本稳定在这一水平。中国产量从2000年的2370t连续增长至2018年的10349t,但随后下降至2022年的8700t。

1.1.3 全球镉消费情况

1.1.3.1 全球镉消费结构

目前,镉主要应用于电池、颜料、稳定剂、涂料、合金、珠宝加工、太阳能薄膜及核工业等领域(图1)。在不同的发展时期,全球镉消费结构发生了明显变化(图2)。

由于镉镍电池具有高能量密度、长循环寿命、低自放电率、安全稳定等优点,2000年镉在便携式电子设备、应急照明、备用电源、电动工具、交通工具和军事装备等领域的消费占比为75%。随着手机、笔记本等移动电子产品的快速增长,2011年镉在电池领域的消费占比稳步增长至86%。随着电池技术的发展,以锂电池为代表的电池成本不断下降,对环

表1 2000—2022年全球各国镉产量情况

Table 1 Cadmium production in various countries in global from 2000 to 2022

单位:t

国家	镉产量											
	2000年	2002年	2004年	2006年	2008年	2010年	2012年	2014年	2016年	2018年	2020年	2022年
中国	2370	2440	2800	3790	6960	7360	7270	8201	8222	10349	10000	8700
韩国	1911	1825	2362	3320	3090	4166	3900	5645	5273	4905	4000	4000
加拿大	1940	1706	1888	2090	1409	1357	1290	1187	2305	1857	1800	1800
日本	2472	2444	2233	2287	2126	2142	1860	1829	1988	1979	1880	1800
墨西哥	1268	1382	1615	1400	1550	1464	1480	1409	1244	1357	978	1170
哈萨克斯坦	1250	1300	1900	2000	1100	1400	1170	1633	1500	1500	1200	1000
俄罗斯	925	950	532	690	800	1100	1500	1200	1200	1150	1000	1000
荷兰	628	485	493	524	530	560	560	1100	1000	640	351	574
秘鲁	483	422	532	416	371	357	684	769	820	765	451	460
挪威	298	209	141	125	178	300	310	320	335	380	344	420
保加利亚	331	345	356	363	460	460	360	382	362	313	311	340
澳大利亚	552	370	347	329	350	350	380	350	352	402	378	328
德国	458	422	640	640	420	290	400	400	400	409	409	320
波兰	6	440	356	373	603	451	530	628	319	305	485	250
乌兹别克斯坦	—	—	—	—	—	300	300	200	300	375	229	220
美国	1890	1280	1480	723	777	637	—	—	—	73	211	212
印度	314	466	489	457	599	550	396	116	21	—	—	—
比利时	1148	117	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
其他国家	2056	1197	436	373	277	456	110	231	159	41	—	6
全球	20300	17800	18600	19900	21600	23700	22500	25600	25800	26800	24000	22600

资料来源:文献[9]。

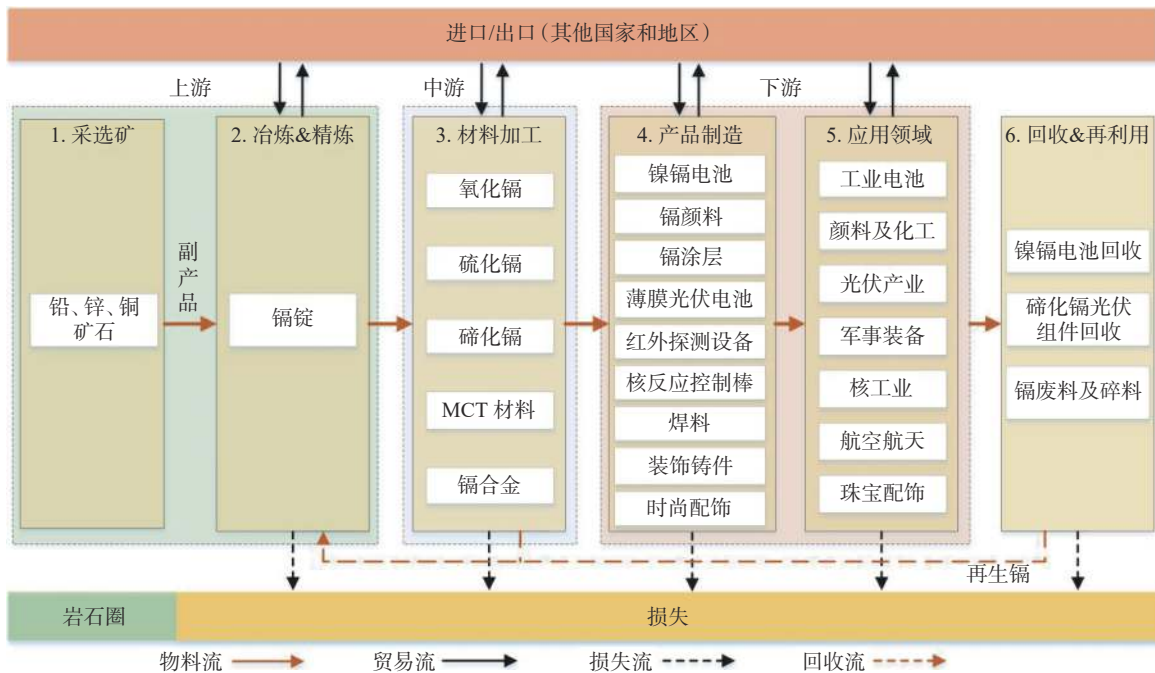


图 1 镉产业链流程图

Fig. 1 Flowchart of cadmium industry chain

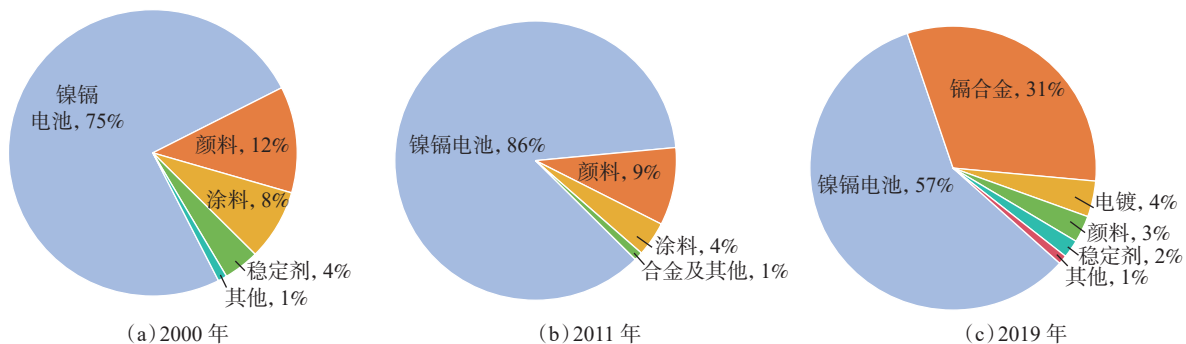


图 2 全球镉消费结构

Fig. 2 Consumption structure of cadmium in global

(资料来源:文献[11])

境友好,且蓄电能力逐渐增强,逐渐在电子产品、备用电源等行业中取代了镍镉电池的优势地位。

欧盟、美国、中国等相继出台的环境保护法律加速了镍镉电池被锂电池取代的速度。至2019年底,镍镉电池在镉应用领域的消费占比快速下降至57%,仅在一些工业应用中依赖其高可靠性和稳定性的电源供应保持地位优势。

1.1.3.2 全球镉消费国家

根据USGS数据,2021年全球主要的镉消费国家为中国和印度,中国的表观消费量占比约54%,印度表观消费量占比约37%,二者全球表观消费量占比约91%(表2)。

全球镉消费国在环境保护政策的限制下由欧美等发达国家向亚洲发展中国家转移。2000年及以前,

镉消费主要位于比利时、日本、中国、美国等国家,2001年欧盟委员会发布了一项新提案,从2008年1月1日起禁止使用所有镉含量超过0.002%的镍镉电池,并在2003年12月31日之前将所有工业和汽车电池的收集率提高到95%。2003年,美国环境保护署(EPA)颁布了生物累积性有毒污染物的清单,镉是名单上的11种金属之一。这些环境监管法律改变了镉的生产格局和消费格局,使得许多发达国家对镉的生产量和消费量迅速减少,并且将镉产业转移到具有发展潜力的亚洲发展中国家。

中国作为当时最大的发展中国家,具有巨大的发展潜力,同时,在对外资引进有利政策的激励下,在2003年取代了比利时、日本在镉生产和消费领域的地位,成为全球最大的镉生产国和消费国。由于

表 2 2000—2021 年全球主要国家镉消费情况
Table 2 Cadmium consumption in major countries in global from 2000 to 2021

单位: t

国家	消费量											
	2000 年	2002 年	2004 年	2006 年	2008 年	2010 年	2012 年	2014 年	2016 年	2018 年	2020 年	2021 年
中国	4 902	7 338	10 011	14 774	12 564	12 132	19 904	18 629	16 665	13 823	12 133	13 284
印度	446	446	924	371	823	1 268	1 057	1 306	5 472	7 547	8 690	9 159
日本	6 909	5 372	4 195	1998	2004	1 381	819	715	579	340	427	58
瑞典	26	113	296	388	831	830	1 163	1 120	1 015	972	1 185	1 076
比利时	3 559	4 755	2 406	920	4 758	5 932	2 917	3 722	2 495	2 094	2 915	553
美国	2010	560	354	320	532	477	477	444	235	212	313	329
法国	1 800	241	268	264	268	268	268	268	532	617	36	130
其他	648	379	146	865	1 583	1 267	1 223	1 121	18	1 195	0	111
全球	20 300	19 204	18 600	19 900	23 363	23 515	27 728	27 325	27 011	27 985	25 699	24 700

资料来源: 文献 [9]。

2006 年欧盟通过了《关于限制在电子电气设备中使用某些有害成分的指令》(RoHS 法规), 全面禁止了镉产品, 因此, 中国在全球镉产品消费中的份额攀升至 74%。与此同时, 中国作为全球消费电子产品的加工地, 2012 年的表观消费量占比达到了 88%。2014 年, 中国工业和信息化部宣布禁止生产、销售和使用镉含量超过 0.002% 的铅酸电池。随着锂电池在笔记本电脑、手机等移动电子设备中逐渐取代镍镉电池, 中国镍镉电池产量下降, 从而影响了全球镉的消费、需求和价格。

2017 年, 印度珠宝行业对镉的消费需求攀升迅速, 成为镉的主要消费国。然而, 由于珠宝制作中使用镉带来一定的健康问题, 2021 年, 印度标准局(BIS)

禁止了珠宝行业中镉的使用。尽管如此, 印度监管不严格且快速增长的仿制品、服装和时尚珠宝市场仍在一定程度上使用镉, 导致镉消费量的提升, 增加了镉消费的不确定性^[9]。若未来印度实施更严格的监管规定, 镉消费将受到不同程度的影响。

1.1.4 全球镉价格情况

近年来, 镉价格逐步上涨, 得益于其在战略新兴产业的应用。碲化镉太阳能电池在美国、欧盟等国家(地区)需求强劲, 核能、红外设备等产业展现广阔前景, 为镉消费寻找到了新的增长点。以欧洲现货价格为例, 到 2023 年, 其镉锭价格稳定在 1.5 美元/磅左右(图 3)。

2005—2023 年, 镉锭价格经历了先增后降再增



图 3 欧洲镉锭现货价格走势
Fig. 3 Chart of spot prices of cadmium ingots in Europe
(资料来源: 文献 [12])

的趋势。2006年,欧盟在有害物质使用限制(RoHS法规)中明确规定,自2006年7月1日起,禁止含镉的电气和电子设备在欧盟销售。早在2003年,美国就颁布了一份持久性和生物累积性有毒污染物的清单,镉是该清单上的11种金属之一。2006年下半年,由于移动电子产品对镍镉电池的高度依赖,镉供应短缺导致镉锭价格快速攀升。至2007年上半年,受镉供应紧缺、需求旺盛和投机炒作影响,镉锭价格达到了历史高位。随后,2007年中,镉锭价格开始从高位快速回落,消费者逐步消化在高位囤积下来的货物,没有及时将镉抛出的供应商降价出售,导致镉整体市场成交非常惨淡。随着市场趋于理性,并且日益严格的环境保护法律法规的出台,各行业开始积极开发可替代的含镉产品,这在一定程度上压缩了镉产品的应用领域,导致了镉锭价格的波动下跌。2014年,中国作为最大的消费国家,对电池行业的镉含量进行了限制,进一步压缩了镉产品的需求空间,导致2015年镉锭价格下跌。之后,镉锭价格逐步上涨,除了在战略新兴产业的应用外,印度珠宝行业的强劲需求也推动了镉锭价格上涨。

1.1.5 镉回收利用

日本、北美、欧洲、澳大利亚、中国、韩国等国家(地区),均采取了措施促进镍镉电池的回收利用,从而提高镉的整体回收率。镍镉电池中75%的材料可以回收用于生产新的镍镉电池,二次利用或回收的镉约占镉总供应量的23%。碲化镉薄膜光伏组件中90%以上的光伏组件可用于新的太阳能、玻璃和橡胶产品的材料。而镉基PVC稳定剂已被危险性较小的替代品所取代,这种分散、耗散和相对小众应用的镉产品将会随着可替代品的出现从回收循环中消失。

1.2 未来全球镉供需形势

镉在传统产业如颜料、稳定剂、涂料等的应用已经相对成熟。但随着环境保护政策的影响,其市场消费比重逐渐降低。镉颜料逐步被硫化铈取代,在柔性PVC应用中钡锌稳定剂或钙锌稳定剂逐步替代钡镉稳定剂,在电镀应用中,锌、锌镍、铝或锡涂层可替代镉。整体而言,镉在传统产业的消费比重逐渐降低。虽然印度在合金产业的镉消费量有所增加,但从长远看,不足以成为镉的主要消费增长引擎。

相反,在战略新兴产业,镉消费量有逐渐增加的趋势。近年来,碲化镉光伏材料在中国“双碳”政策及全球绿色低碳转型的背景下迅速发展,全球对清洁能源的需求日益增加。以美国为首的CdTe光伏产业需求增长迅速,成为镉消费的新增长点。未来,光伏电站和光伏建筑一体化(BIPV)将是碲化镉光伏

材料的主要应用领域。此外,第三代钙钛矿光伏材料作为新型薄膜技术的潜在替代物,可能影响镉在光伏材料中的使用地位^[13-15]。在战略新兴产业如MCT红外探测材料及核工业,镉作为不可替代的材料需求也在逐步增加。然而,由于这些产业的发展尚处初期阶段,镉在这些产业的消费量相对较少。

整体而言,镉在战略新兴产业的消费量存在很大的不确定性,主要因为这些产业还处于发展初期。同时,技术的进步、政策的制定和调整也对镉的市场需求产生不确定性。因此,尽管存在一定的消费量增长趋势,但其具体未来发展趋势仍受多种因素影响。在未来一段时间内,可能无法显著影响镉在传统产业的消费地位。

2 全球镉资源贸易格局

以2000—2021年联合国商品贸易统计数据库(UN Comtrade)中镉(HS编码:8107)国际贸易数据为基础,运用复杂网络理论构建了镉国际贸易有向加权网络模型,并测度了其相应的网络指标。在构建过程中,以贸易国家为节点、贸易关系为边、贸易流向为方向、贸易量为权重来构建网络可用邻接矩阵集合,可表示为 $G=(V, E)$;其中, $V=\{V_1, V_2, \dots, V_n\}$, n 为网络中的贸易节点; $E=\{E_1, E_2, \dots, E_m\}$, m 为网络中的边数量^[16-20]。计算了复杂网络的相关指标,包括节点度、平均加权度、模块度、网络密度、平均路径长度、平均集聚系数等网络特征量指标^[20-23],以评价全球镉贸易网络结构特征(表3)。

2.1 全球镉贸易网络特征演化

从贸易国数量、贸易关系数量看,2000—2021年,参与镉贸易的国家(地区)从54个下降到33个,全球贸易关系数量从148条下降到92条,结合全球镉的相关政策来看,全球参与镉贸易的国家(地区)和贸易关系呈下降趋势,全球镉贸易网络国家(地区)之间贸易相对低迷。从网络密度来看,镉贸易网络密度关系有增加的趋势,这表明虽然贸易关系数量下降,但是网络之中的贸易联系越来越密切,主要的出口国家(地区)和进口国家(地区)的集中度高。从平均路径长度和平均聚类系数分析,全球镉贸易网络的可达性逐渐提升,贸易社团相对不稳定,贸易网络具有小世界性特征(表4)。

2.2 全球镉贸易流向演化

通过选择2000年、2005年、2010年、2015年、2020年和2021年共6个时间节点进行贸易进出口分析(表5和图4)。

从出口角度看,韩国、加拿大、日本、中国、澳大利亚等是近年来主要的出口国,上述国家2021年

表 3 网络指标说明

Table 3 Explanation of network indicators

指标	公式	含义
节点度	$S = \sum_{j=1}^n a_{ij}$	网络中与该节点保持贸易关系的数量。节点度越大, 则说明该国(地区)在网络中的地位越重要
平均加权重	$W_i(t) = \sum_{j=1}^{N(t)} W_{ij}(t) / S_i(t)$	加权重是与节点相连的边的权重总和, 是指贸易国(地区)之间产生的贸易量
模块度	$Q = \frac{1}{2m} \sum_{ij} (A_{ij} - \frac{k_i * k_j}{2m})$	衡量整个网络结构强度的方法, 判断贸易网络关系的全球化水平
网络密度	$D = \frac{2m}{n(n-1)}$	表示网络中节点之间的紧密程度
平均路径长度	$L = \frac{\sum_{ij} dij}{n(n-1)}$	平均路径反应贸易国(地区)关系的紧密程度, 值越小则效率越高, 关系越紧密
平均聚集系数	$C = \frac{1}{n} \sum_i \frac{2ni}{mi(mi-1)}$	反应贸易网络中借鉴的集聚程度

表 4 2000—2021 年全球镉贸易网络特征量

Table 4 Characteristics of cadmium trade network in global from 2000 to 2021

年份	网络规模			小世界性		中心性	
	节点/个	边数/条	密度	平均路径长度	平均聚类系数	度中心性	平均加权重中心性
2000	46	125	0.060	2.486	0.216	2.7	422
2001	48	132	0.059	2.301	0.212	2.8	395
2002	41	111	0.068	2.492	0.175	2.7	418
2003	50	136	0.056	2.350	0.231	2.7	379
2004	53	142	0.052	2.647	0.154	2.7	364
2005	54	148	0.052	2.765	0.182	2.7	405
2006	52	148	0.056	2.817	0.226	2.8	539
2007	46	143	0.069	2.551	0.204	3.1	371
2008	44	125	0.066	2.321	0.201	2.8	383
2009	43	110	0.061	2.581	0.162	2.6	474
2010	43	125	0.069	2.553	0.247	2.9	389
2011	40	119	0.076	2.341	0.302	3.0	445
2012	39	118	0.080	2.307	0.204	3.0	535
2013	42	103	0.060	2.449	0.149	2.5	443
2014	45	107	0.054	2.286	0.153	2.4	416
2015	46	108	0.052	2.265	0.155	2.3	445
2016	35	93	0.078	2.220	0.250	3.7	614
2017	47	124	0.057	2.395	0.167	2.6	467
2018	35	92	0.077	2.381	0.236	2.6	598
2019	41	107	0.065	2.510	0.286	2.6	530
2020	33	95	0.090	2.325	0.276	2.9	691
2021	39	98	0.066	3.015	0.230	2.5	480

镉出口贸易量约占全球镉出口贸易量的 57%。亚洲作为全球重要的镉生产地和消费区域, 在全球镉贸易网络中占据重要地位。韩国作为全球最大的镉出口国, 从 2010 年开始, 镉出口量均占全球出口量的 20% 以上, 年均出口量在 5 100 t 左右, 主要的进口国家为中国、比利时、日本、印度等。作为韩国最大的镉进口国, 中国对镉的需求下降, 会对韩国的镉出口产生较大影响, 而由于印度的镉需求增加, 一定程度

上稳定了韩国的镉出口情况; 随着中国对镉的消费持续下降, 中国国内的镉需求过剩, 将会对韩国的镉出口国地位形成一定冲击。日本在全球贸易网络中由净进口国转化为净出口国, 近年来主要出口国家为中国和印度。中国作为镉最大的消费国, 近年来随着环境保护日益严格, 镉出口量逐渐增加, 主要向印度出口。美洲主要镉出口国为加拿大和墨西哥, 主要向北美、欧盟、中国和印度等国家(地区)出口。

表 5 全球进出口排名前 5 位国家集中度情况

Table 5 Concentration of import and export rankings of top 5 countries in global

年份	进口排名前 5 位国家	5 国占比	出口排名前 5 位国家	5 国占比
2000	比利时、日本、中国、印度、法国	91.5	法国、韩国、加拿大、墨西哥、比利时	60
2005	中国、比利时、日本、法国、美国	88.1	韩国、比利时、墨西哥、加拿大、哈萨克斯坦	52
2010	比利时、中国、瑞典、印度、韩国	80.8	韩国、加拿大、墨西哥、哈萨克斯坦、澳大利亚	60
2015	中国、印度、韩国、瑞典、比利时	85.1	韩国、澳大利亚、哈萨克斯坦、墨西哥、加拿大	70
2020	印度、中国、比利时、韩国、瑞典	88.3	韩国、中国、波兰、加拿大、澳大利亚	60
2021	印度、中国、比利时、瑞典、韩国	88.3	韩国、加拿大、日本、中国、澳大利亚	57

单位: %

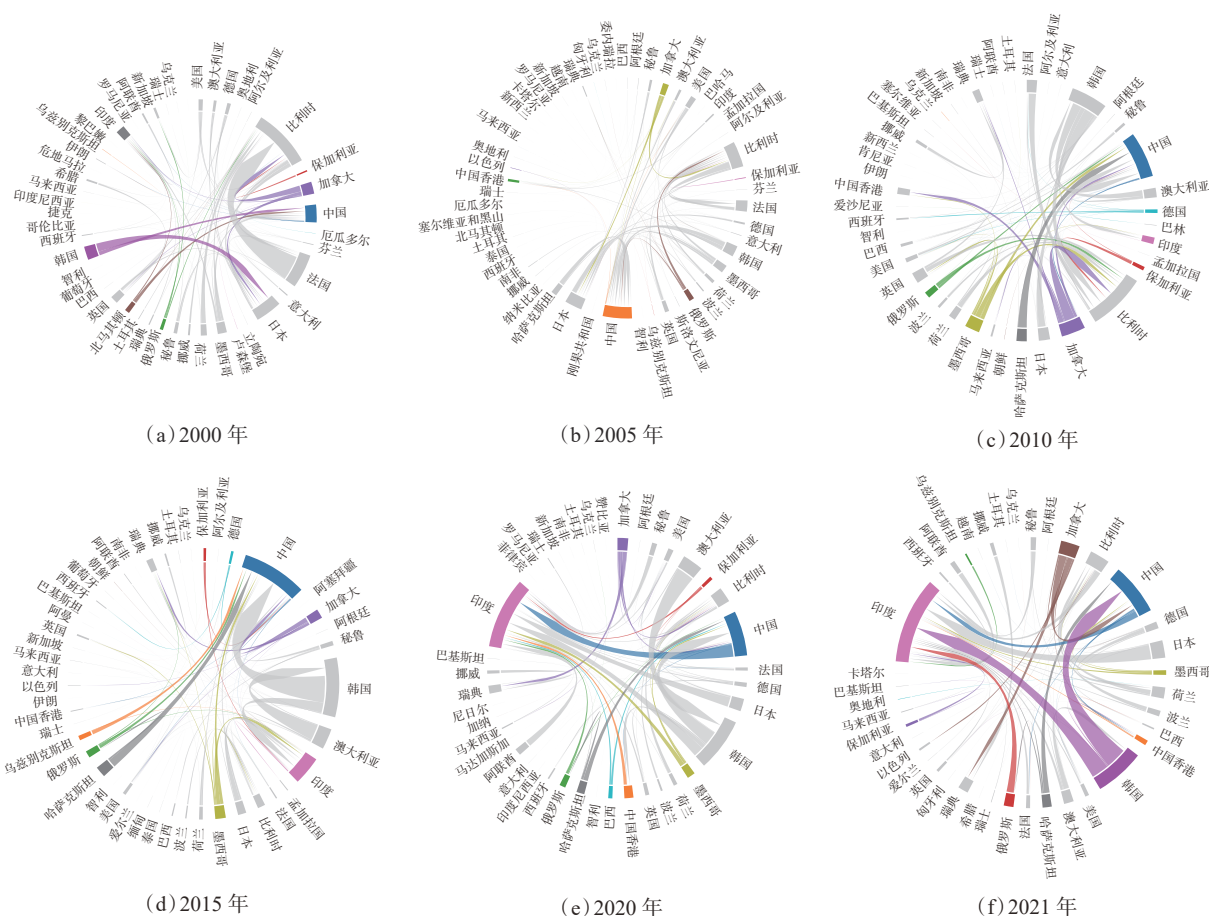


图 4 镉全球贸易流向

Fig. 4 Trade flow of cadmium in global

(资料来源: UN Comtrade 数据库)

比利时、法国、美国等国家在 2006 年前是重要的出口国,但随着环境保护法律的实施,其在贸易网络中的地位已经不再重要。澳大利亚作为全球第一大锌精矿储备国,其镉出口地位正逐渐增加。

从进口角度看,2000 年全球主要镉进口国为比利时、日本、中国、印度和法国,随着欧盟的镉消费减少,印度、中国、比利时、瑞典、韩国成为近年来重要的镉进口国。印度于 2017 年超过中国成为全球镉进口量最大的进口国,其 2021 年进口量约占全球镉进口量的 49%。中国作为全球最大的镉生产国和

消费国,每年需要从韩国、哈萨克斯坦、俄罗斯等国家进口大量的镉,以满足国内的消费需求。比利时每年大量进口镉,主要用于出口的工业化合物产品的消费。瑞典进口镉则主要用于镍镉电池制造,满足工业电池的需求。

2.3 全球镉贸易国地位演化

表 6 展示了全球主要镉贸易国家中心性排名。由表 6 可知,2000 年,对全球镉贸易的主要影响国家为比利时、法国、中国、德国等国家,此时欧盟国家是全球最大的镉贸易集散地,对全球镉贸易的影响

表6 全球主要镉贸易国家中心性排名

Table 6 Centrality ranking of major cadmium trading countries in global

国家	2000年		2005年		2010年		2015年		2020年		2021年	
	排名	中介中心性	排名	中介中心性	排名	中介中心性	排名	中介中心性	排名	中介中心性	排名	中介中心性
德国	4	143	6	139	5	93	2	134	4	57	1	344
俄罗斯	9	33	15	12	—	—	11	8	7	27	2	270
印度	6	54	9	70	10	32	5	58	—	—	3	255
比利时	1	403	2	309	2	159	4	77	2	122	4	108
中国	3	150	1	250	1	306	1	184	3	107	5	106
韩国	22	0	11	59	6	86	10	9	6	32	6	54
美国	20	0	3	254	3	137	3	108	1	131	7	41
加拿大	—	—	7	137	12	12	6	52	9	14	8	32
荷兰	13	9	5	181	13	4	—	—	10	9	9	32
法国	2	187	8	82	9	54	8	19	5	43	11	30
英国	8	38	4	192	7	70	9	12	8	20	12	26

注：“—”代表无数据。

大。随着欧盟环境保护条例的限制,中国逐渐成为全球镉贸易中心。2005—2015年,中国一直是全球镉贸易的核心国家,2014年开始,中国的环境保护政策对镉的消费进行了限制,取而代之的是大力发展以锂电池为代表的清洁能源技术,对镍镉电池的需求逐渐减少。近年来,随着薄膜光伏产业、近红外设备等战略新兴产业的发展,德国、俄罗斯、印度等成为了全球镉贸易的核心节点,对镉贸易的影响突出。印度作为新兴的镉贸易国,对全球镉贸易格局将产生重要作用。

2.4 全球镉贸易团体演化

2000年,全球镉贸易网络分为比利时社团、日本社团、印度社团和英国社团,其中,比利时社团主要以比利时为中心,与地理环境较近的法国、意大利、加拿大、瑞士等17个国家凝聚成一个子团体;日本社团主要以日本为中心,通过发达的电子产业凝聚了中国、韩国、澳大利亚等10个国家;印度社团则由印度、马来西亚、阿拉伯联合酋长国等国家作为一个凝聚团体;英国社团是以英国、德国、荷兰等6个国家作为一个团体。

随着日益强烈的环境保护法律政策,一些新兴产镉国家和消费国家快速兴起,社团国家稳固性和凝聚力一直处于动态变化的过程,经过整合分裂,2021年演化成中国社团、加拿大社团、印度社团3个社团。中国社团主要依靠中国的巨大需求和地缘关系,与韩国、哈萨克斯坦、巴基斯坦、俄罗斯等国家形成贸易社团。加拿大社团则供应瑞典、挪威和以色列等国家。印度作为新兴的镉消费大国,与日本、德国等全球27个国家形成社团,满足其日益增长的镉消费需求。

3 结论

1)全球镉资源储量和产量虽然分布集中,但储产分离现象较为显著,中国在全球镉储量和产量方面占据首位。全球镉资源储量主要集中在中国、秘鲁、俄罗斯、墨西哥等国家,全球主要产镉国家为中国、韩国、日本、哈萨克斯坦和加拿大等。全球镉产量受环境保护政策的影响增速缓慢,作为全球第一产镉大国,近年来中国镉产量占全球产量的40%左右。

2)全球镉消费结构已经发生转变,从电池、颜料、稳定剂、涂料等传统产业向珠宝合金、太阳能薄膜、红外设备和核工业等战略新兴产业延伸。消费国家也从比利时、日本等发达国家向印度、中国转移。近年来,镉价格逐步上涨,主要受碲化镉太阳能电池和其他战略新兴产业需求增加影响。尽管镍镉电池回收率较高,但随着替代品的出现,部分镉产品可能会逐渐从回收循环中消失。受其环境污染特性的限制,未来镉在传统产业的消费占比进一步降低。尽管在战略新兴产业存在一定消费增长趋势,但其未来发展仍受多种因素影响。在未来一段时间内,可能无法显著影响镉在传统产业的消费地位。

3)全球参与镉贸易的国家呈下降趋势,镉贸易网络国家之间贸易相对低迷,但处于网络中的贸易量相对增加,主要出口国家和进口国家的集中度高。贸易地位由比利时、法国、中国、德国等国家主导逐渐转变为由中国、韩国、日本、印度等亚洲国家主导。从出口角度看,韩国、加拿大、日本、中国、澳大利亚等是近年来主要的镉出口国。从进口角度看,随着欧盟的镉消费减少,印度、中国、比利时、瑞典、韩国成为近年来重要的镉进口国。印度作为新兴的镉贸易国,将对全球镉贸易格局产生重要影响。

参考文献(References):

- [1] 李顺庭, 袁莹, 祝新友. 中国铅锌矿山中镉的资源现状[C]//中国地质学会青年工作委员会. 第一届全国青年地质大会论文集. 有色金属矿产地质调查中心, 中色地科矿产勘查股份有限公司, 2013: 3.
- [2] 余德彪, 王建平, 徐乐, 等. 中国镉资源现状分析及可持续发展建议[J]. 中国矿业, 2015, 24(4): 5-8.
YU Debiao, WANG Jianping, XU Le, et al. Situation analysis and sustainable development suggestions of cadmium resources in China[J]. China Mining Magazine, 2015, 24(4): 5-8.
- [3] 王登红. 试论稀散金属矿产与新质生产力[J/OL]. 中国矿业: 1-11[2024-04-09]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3033.TD.20240308.1251.002.html>.
WANG Denghong. Discussion on the dispersed metals resources and new quality productivity[J/OL]. China Mining Magazine: 1-11[2024-04-09]. <https://link.cnki.net/urlid/11.3033.TD.20240308.1251.002>.
- [4] 叶霖, 潘自平, 李朝阳, 等. 镉的地球化学研究现状及展望[J]. 岩石矿物学杂志, 2005, 24(4): 339-348.
YE Lin, PAN Ziping, LI Chaoyang, et al. The present situation and prospects of geochemical researches on cadmium[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2005, 24(4): 339-348.
- [5] 郭振, 汪怡珂. 镉在环境中的分布、迁移及转化研究进展[J]. 环境保护前沿, 2019, 9(3): 365-370.
GUO Zhen, WANG Yike. Research advances on the distribution, migration and transformation of cadmium in the environment[J]. Advances in Environmental Protection, 2019, 9(3): 365-370.
- [6] 邹长伟, 江玉洁, 黄虹. 重金属镉的分布、暴露与健康风险评估研究进展[J]. 生态毒理学报, 2022, 17(6): 225-243.
ZOU Changwei, JIANG Yujie, HUANG Hong. Distribution, exposure and health risk assessment of heavy metal cadmium: a review[J]. Asian Journal of Ecotoxicology, 2022, 17(6): 225-243.
- [7] 席国喜, 杨理, 路迈西. 废镉镍电池再资源化研究新进展[J]. 再生资源研究, 2005(3): 27-31.
XI Guoxi, YANG Li, LU Maixi. The new advanced in the study on the recovery of waste cadmium-nickel batteries[J]. Recyclable Resources and Circular Economy, 2005(3): 27-31.
- [8] 袁珊珊, 肖细元, 郭朝晖. 中国镉矿的区域分布及土壤镉污染风险分析[J]. 环境污染与防治, 2012, 34(6): 51-56, 100.
YUAN Shanshan, XIAO Xiyuan, GUO Chaohui. Regional distribution of cadmium minerals and risk assessment for potential cadmium pollution of soil in China[J]. Environmental Pollution & Control, 2012, 34(6): 51-56, 100.
- [9] 美国地质调查局. 2000—2021年镉统计数据[EB/OL]. <https://www.usgs.gov/centers/national-minerals-information-center/mineral-commodity-summaries>.
- [10] 自然资源部. 2022年全国矿产资源储量统计表[R]. 2023.
- [11] 国际镉协会. Worldwide production, trade and consumption of cadmium(2021)[R]. 2021.
- [12] CBC金属网. 2005—2023年镉价格统计数[EB/OL]. <https://www.cbcie.com/db/price/cd/index.html>.
- [13] 秦子川, 于萍, 魏娜娜. 国内外碲化镉发电玻璃产业发展现状分析[J]. 玻璃, 2021, 48(7): 9-13.
QIN Zichuan, YU Ping, WEI Nana. Current situation and trend analysis of CdTe thin film solar cells at home and abroad[J]. Glass, 2021, 48(7): 9-13.
- [14] 高鹏翼. 中国薄膜太阳能光伏发电的现状 & 未来应用前景[C]//国际清洁能源论坛(澳门). 国际清洁能源产业发展报告(2018). 汉能碳资产管理(北京)股份有限公司, 2018: 32.
- [15] 丁嘉铨, 孔德明, 肖宸瑄, 等. 产业链视角下全球光伏产业贸易格局演变特征研究[J/OL]. 世界地理研究: 1-19[2024-04-09]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/31.1626.p.20231011.0850.002.html>.
DING Jiacheng, KONG Deming, XIAO Chenxuan, et al. Characteristics of the evolution of the trade pattern of the global photovoltaic industry from the perspective of industrial chain[J/OL]. World Regional Studies: 1-19[2024-04-09]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/31.1626.p.20231011.0850.002.html>.
- [16] 张泽南, 张照志, 吴晴, 等. 中国锂矿资源需求预测[J]. 中国矿业, 2020, 29(7): 9-15.
ZHANG Zenan, ZHANG Zhaozhi, WU Qing, et al. Chinese lithium mineral resource demand forecast[J]. China Mining Magazine, 2020, 29(7): 9-15.
- [17] 贾祥英, 闫强, 邢万里, 等. 全球大宗矿产资源贸易格局演变及其影响因素分析[J]. 中国矿业, 2019, 28(11): 15-20, 34.
JIA Xiangying, YAN Qiang, XING Wanli, et al. The evolution of global trade pattern of bulk mineral resources and its influencing factors[J]. China Mining Magazine, 2019, 28(11): 15-20, 34.
- [18] 王秋舒, 元春华. 全球锂矿供应形势及我国资源安全保障建议[J]. 中国矿业, 2019, 28(5): 1-6.
WANG Qiushu, YUAN Chunhua. The global supply situation of lithium ore and suggestions on resources security in China[J]. China Mining Magazine, 2019, 28(5): 1-6.
- [19] 叶霖, 刘铁庚. 贵州都匀牛角塘富镉锌矿床中镉的分布及赋存状态探讨[J]. 矿物学报, 2001, 21(1): 115-118.
YE Lin, LIU Tiegeng. Discussion on the distribution and occurrence status of cadmium in the Niujiaotang rich cadmium zinc deposit in Duyun, Guizhou[J]. Journal of Mineralogy, 2001, 21(1): 115-118.
- [20] 赵俊, 王晓璇, 李雄军, 等. 碲镉汞红外探测器研究进展[J]. 中国科学: 技术科学, 2023, 53(9): 1419-1433.
ZHAO Jun, WANG Xiaoxuan, LI Xiongjun, et al. Development of a mercury cadmium telluride infrared detector[J]. Scientia Sinica (Technologica), 2023, 53(9): 1419-1433.
- [21] ZHONG W Q, AN H Z, SHEN L, et al. The roles of countries in the international fossil fuel trade: an energy and network analysis[J]. Energy Policy, 2017, 100: 365-376.
- [22] SERRANO M A, BOGUNA M. Topology of the world trade web[J]. Physical Review E, 2003, 68(1): 1986-1992.
- [23] FAGIOLO G, REYES J, SCHIAVO S. The evolution of the world trade web: a weighted-network analysis[J]. Journal of Evolutionary Economics, 2010, 20(4): 479-514.