

# “双碳”目标下全球钢铁资源循环回收利用技术发展态势研究

熊书玲, 郑佳, 康凯, 纪颖茹

(中国科学技术信息研究所, 北京 100038)

**摘要:** 钢铁产业是能源密集型产业。大力发展钢铁产业循环经济, 促进钢铁资源循环回收利用, 是当前中国实施“双碳”战略目标下重要的发展方向之一。利用 Innography 专利检索平台和 Web of Science 论文检索平台, 对全球废钢铁利用技术的发展现状与技术特点进行分析, 从年度分布趋势、研发国家、研究机构、技术领域、研究人员等多个维度展示了钢铁资源循环回收利用的发展态势。通过国内外对比研究, 分析中国钢铁资源循环回收利用技术领域面临的问题和发展瓶颈, 并对中国未来钢铁产业循环经济高质量发展提出建议。

**关键词:** “双碳”; 钢铁; 回收利用; 科学计量; 循环经济

**中图分类号:** X757; G306 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3772/j.issn.1009-8623.2023.05.006

钢铁产业是中国国民经济的重要基础产业<sup>[1]</sup>, 也是实现绿色低碳发展的重要领域, 其碳排放占中国总碳排放的 13% ~ 15%, 大部分来自钢铁生产过程中的直接排放<sup>[2-3]</sup>。再生资源回收利用是实现碳减排的路径之一, 同时兼具污染物减排的协同效益, 是实现“双碳”目标的重要方式<sup>[4]</sup>。再生资源的回收利用可以有效减少初次生产过程中的碳排放, 而钢铁等高耗能行业的产品在可再生领域的潜力最大<sup>[5-9]</sup>。因此, 需要通过加快钢铁资源的循环回收利用等, 支撑中国钢铁产业循环经济高质量发展, 最终实现“双碳”战略目标<sup>[10]</sup>。当前对碳减排的研究热点主要集中在能源领域<sup>[11]</sup>, 而对钢铁等非再生资源回收利用行业的碳减排研究有待加强<sup>[12-13]</sup>。

废钢铁主要包括钢厂产生的废钢铁、工业等加工废钢铁和社会折旧废钢铁等。废钢铁炼钢以“废钢铁—电炉”短流程为主。废钢铁再利用的碳减排量为生产

同等回收量的废钢铁所产生的温室气体量减去废钢铁回收再生产为粗钢所排放的温室气体量<sup>[14-17]</sup>。本文通过论文与专利分析, 从钢铁循环回收利用(或废钢铁利用)技术的年度分布趋势、研发国家、研究机构、技术领域、研究人员等多个维度对废钢铁利用技术发展态势进行研究, 通过国内外对比研究, 分析基础研究和应用研究领域的制约因素并提出相关建议, 为推动中国钢铁产业循环经济高质量发展, 进而实现“双碳”目标提供支撑。

## 1 检索策略

废钢铁利用技术主要是将钢铁生产过程中产生的废料重新应用在炼铁、炼钢环节中。按照关键词扩展(如废钢、生铁、钢屑、精炼渣、废钢铁等)和“分类号+关键词”检索等方式, 结合比较差异数据、检索词修正等流程, 最终确定废钢铁利用技

第一作者简介: 熊书玲(1988—), 女, 博士, 副研究员, 主要研究方向为绿色低碳发展、未来技术。

通信作者简介: 郑佳(1982—), 女, 博士, 研究员, 主要研究方向为科技政策与产业发展研究。电子邮箱: zhengj@istic.ac.cn

项目来源: 中央级公益性科研院所基本科研业务费创新研究基金青年项目“‘双碳’目标下钢铁产业循环回收利用发展态势研究”(QN2022-24); 中央级公益性科研院所基本科研业务费重点工作项目“未来技术产业化成熟度研究”(ZD2023-16)。

收稿日期: 2023-03-15

术的论文及专利检索词库<sup>[18-20]</sup>。通过 Innography 专利检索平台和 Web of Science 论文检索平台, 得到全球废钢铁利用技术领域的相关专利与论文数据。检索时间范围为 2000 年 1 月 1 日至 2022 年 12 月 31 日, 专利检索为同族扩展, 论文检索选择科学引文索引 (SCIE) 和科学技术会议录索引 (CPCI-S)。由于专利公开一般会有 18 个月的滞后期, 因此 2021 年和 2022 年的相关专利数据仅供参考。

## 2 论文分析

### 2.1 论文产出年度分布情况

2000—2022 年, 全球废钢铁利用技术领域共收录 SCIE 和 CPCI-S 论文 12 734 篇。由图 1 可以看出, 2000—2010 年, 相关论文发表数量较少, 每年发表论文不足 300 篇, 相关基础研究进展缓慢。

2011 年之后, 论文发表数量整体呈快速增长趋势, 于 2021 年达到 1 586 篇, 近年来相关基础研究成果大幅增加。其中, 2009 年和 2011 年的论文发表数量年增长率排在前两位, 分别达 36.9% 和 37.9%, 这可能与该时期的论文发表基数不高有关。

2000—2022 年, 中国废钢铁利用技术领域共收录 SCIE 和 CPCI-S 论文 3 917 篇。由图 2 可以看出, 2000—2010 年, 相关论文发表数量呈小幅波动趋势, 每年发表论文不足 100 篇。2011 年之后, 相关论文发表数量呈波动式快速增长趋势, 尤其是 2016 年以后, 相关基础研究进展加快, 于 2022 年达到 663 篇。

### 2.2 主要论文发表国家分布情况

图 3 展示了 2000—2022 年全球废钢铁利用技术领域论文发表排名前 10 位的国家分布情况。可以

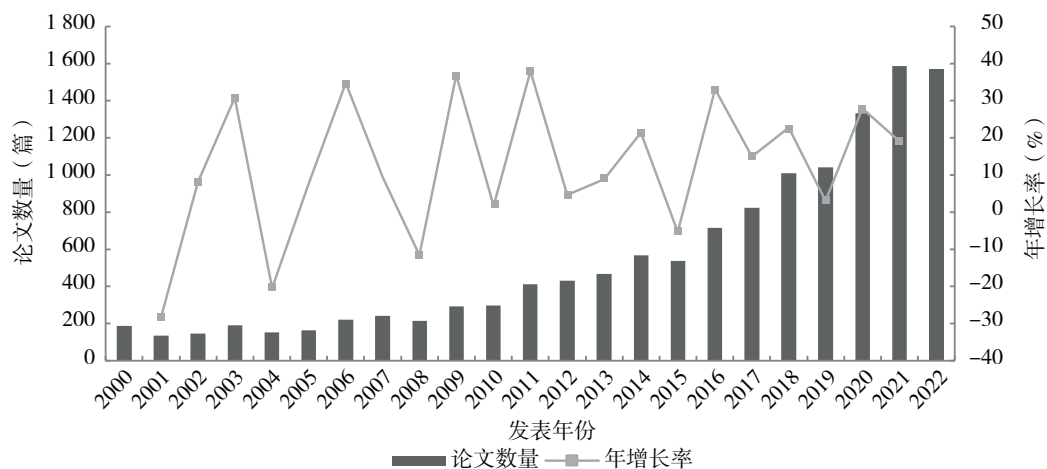


图 1 2000—2022 年全球废钢铁利用技术领域相关论文年度分布情况

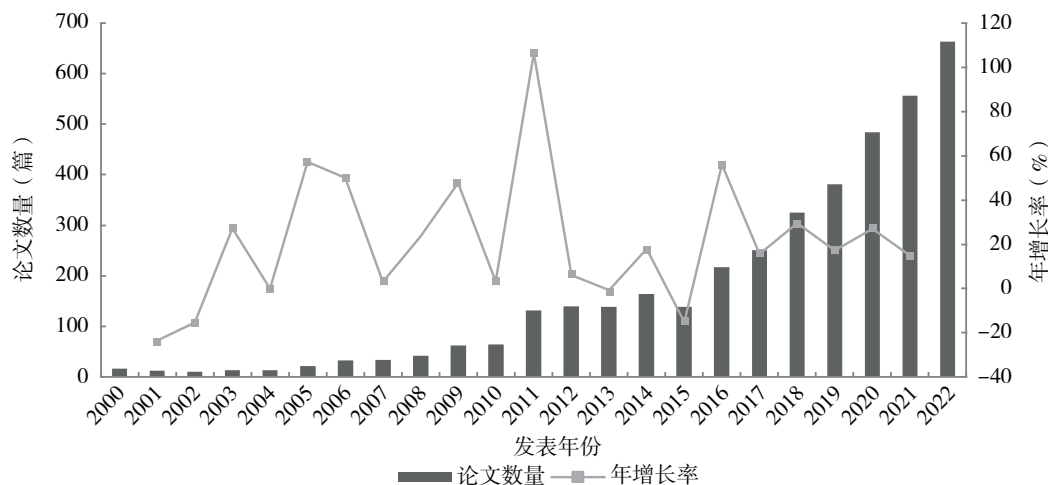


图 2 2000—2022 年中国废钢铁利用技术领域相关论文年度分布情况

看出, 中国在废钢铁利用技术领域发表的论文数量大幅领先于其他国家, 居世界首位; 其次是印度(1014篇)、美国(767篇)、韩国(665篇)、日本(625篇)、澳大利亚(592篇)、英国(533篇)、土耳其(500篇)、西班牙(392篇)、加拿大(391篇)等。但同时, 澳大利亚和英国的论文篇均被引次数较

高, 相关基础研究成果的国际影响力较高; 其次是加拿大、美国、土耳其和西班牙。中国虽然论文发表数量最多, 但相关基础研究成果的国际影响力偏弱。

### 2.3 主要论文发表机构分布情况

图4展示了2000—2022年全球废钢铁利用技术领域论文发表排名前10位的机构分布情况。可

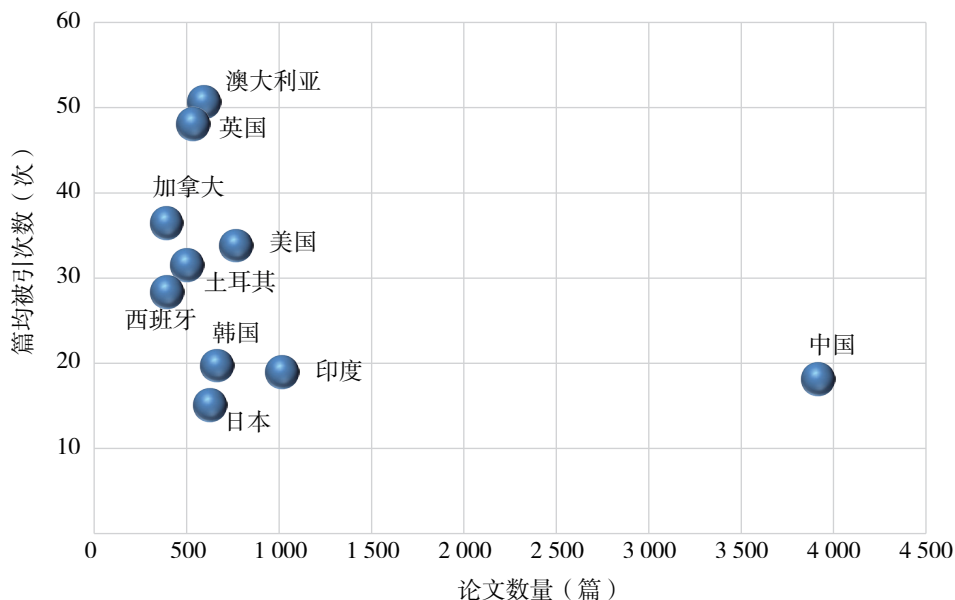


图3 2000—2022年全球废钢铁利用技术领域论文发表排名前10位的国家

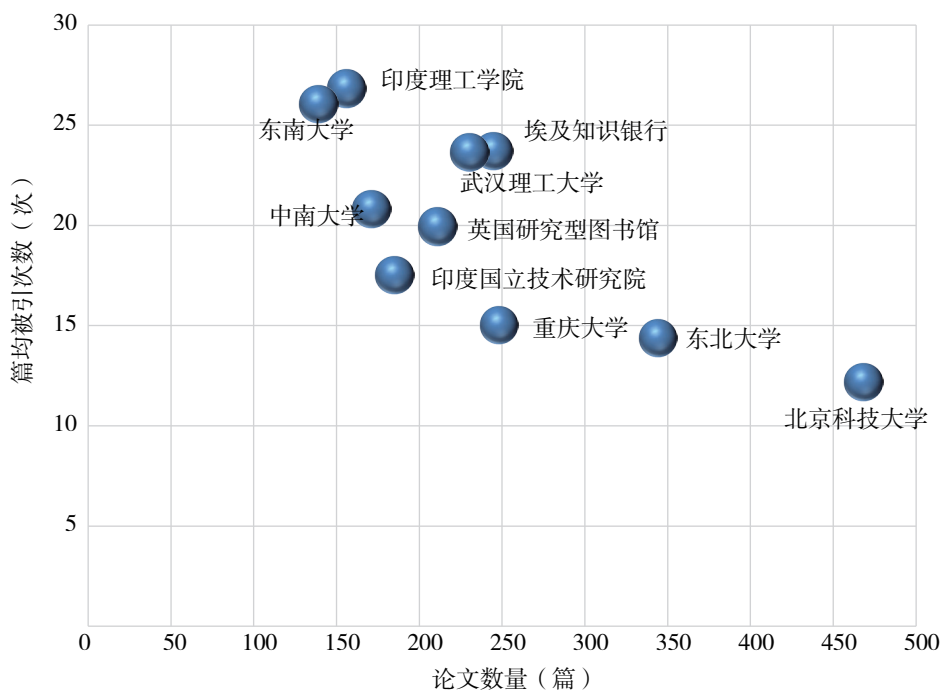


图4 2000—2022年全球废钢铁利用技术领域论文发表排名前10位的机构

可以看出, 中国的北京科技大学(468篇)、东北大学(344篇)、重庆大学(248篇)等机构发表的论文数量较为领先, 创新主体主要是高校、科研院所; 其次是埃及知识银行(245篇)、武汉理工大学(230篇), 以及英国研究型图书馆(211篇)、印度国立技术研究院(185篇)、中南大学(171篇)、印度理工学院(156篇)、东南大学(139篇)等。全球废钢铁利用技术领域排名前10位的论文发表机构主要分布在中国, 其次是印度。相比较而言, 印度理工学院的论文篇均被引次数较高, 相关基础研究成果的国际影响力较高, 其次是中国的东南大学。

### 3 专利分析

#### 3.1 专利年度变化趋势

由图5可以看出, 2000—2022年, 全球废钢铁利用技术领域相关专利申请总量为28 176件, 其中授权专利为18 511件, 授权比重达65.7%。2000—2007年, 全球废钢铁利用技术领域相关专利申请量呈波动式缓慢变化趋势, 相关应用研究进展缓慢。2008—2022年, 全球废钢铁利用技术领域相关专利申请量呈波动式快速增长趋势, 于2020年达2 331件。2000—2012年, 全球废钢铁利用技术领域相关授权专利年度变化趋势整体与申请专利保持一致, 但2013年以后, 授权专利与申

请专利的数量差距不断增大, 这可能与专利一般平均有2~5年的授权周期有关。

2000—2022年, 中国废钢铁利用技术领域相关专利申请总量为16 789件, 其中授权专利为10 103件, 授权比重达60.2%。2000—2006年, 中国废钢铁利用技术领域相关专利申请量呈缓慢增长趋势。2007—2022年, 中国废钢铁利用技术领域相关专利申请量整体呈现波动式快速增长趋势, 废钢铁利用技术步入快速发展期, 2020年中国废钢铁利用技术领域相关专利申请量达到1 907件, 占全球该领域专利申请总量的81.8%。中国废钢铁利用技术领域相关申请专利在2000—2009年保持了较高的授权比例, 2009年授权专利占比高达93.1%, 之后授权专利与申请专利的数量差距不断增大。

#### 3.2 专利技术来源国

图6列出了2000—2022年全球废钢铁利用技术领域专利申请量排名前10位的国家。从图6可以看出, 按照专利申请的数量, 废钢铁利用技术来源国依次是中国、韩国、日本、美国、德国、俄罗斯、澳大利亚、奥地利、法国、意大利等。其中, 中国的专利申请量大幅领先, 占全球专利申请量的50%以上, 其次是韩国和日本。从专利授权占比情况可以看出, 澳大利亚的专利授权占比最高, 其次是俄罗斯和日本等。

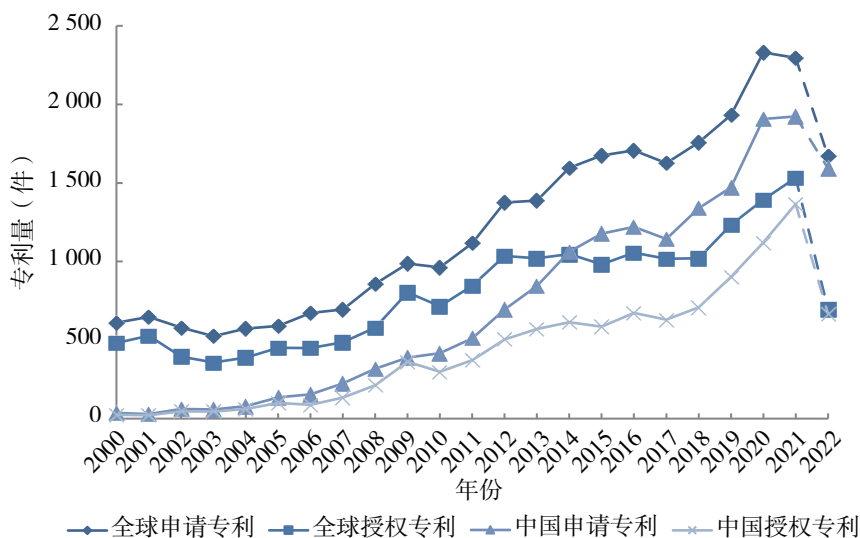


图5 2000—2022年废钢铁利用技术领域相关专利年度变化趋势

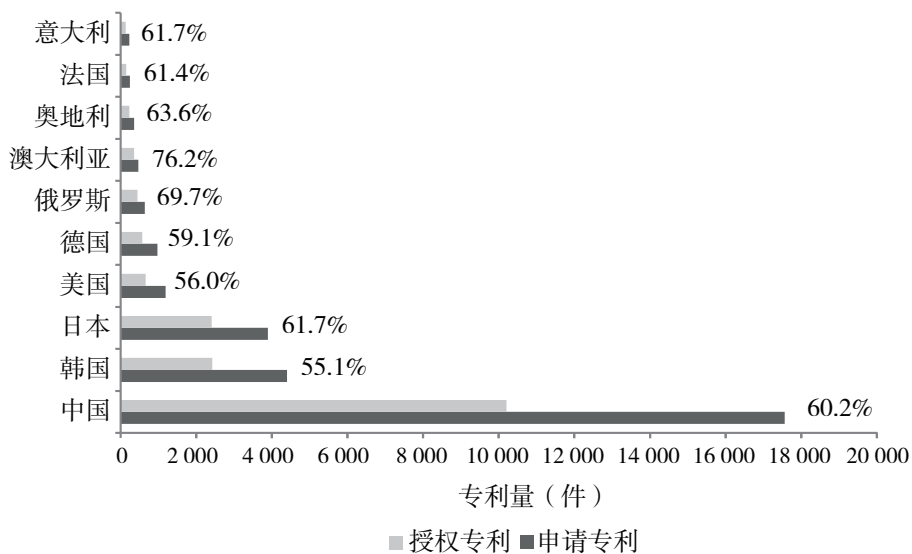


图6 2000—2022年全球废钢铁利用技术领域专利申请量排名前10位的国家

### 3.3 主要专利权人

图7列出了2000—2022年全球废钢铁利用技术领域排名前10位的专利权人分布情况。从图7可以看出，专利申请量在全球排名靠前的主要专利权人是日本、韩国和德国等国家的企业，其废钢铁利用技术研发实力较强。日本杰富意钢铁公司和新日本制铁公司的专利申请量排在前两位，专利申请量均超过700件。其次是韩国浦项制铁集团公司，专利申请量超过500件，德国西马克·韦斯公司和日本神户制钢公司专利申请量超过400件。图8列出了2000—2022年中国废钢铁利用技术领域排名前

10位的专利权人分布情况。从图8可以看出，中国的鞍钢集团有限公司专利申请量排在首位，其次是宝武钢铁集团有限公司、北京科技大学、攀钢集团有限公司、东北大学和中南大学，其专利申请量均超过200件。

### 3.4 主要专利发明人

表1列出了2000—2022年全球废钢铁利用技术领域专利排名前10位的专利发明人。可以看出，废钢铁利用技术领域的专利发明人主要是来自日本的企业，其次是中国、澳大利亚、德国等国家的企业。其中，澳大利亚技术资源私人有限公司的Rodney

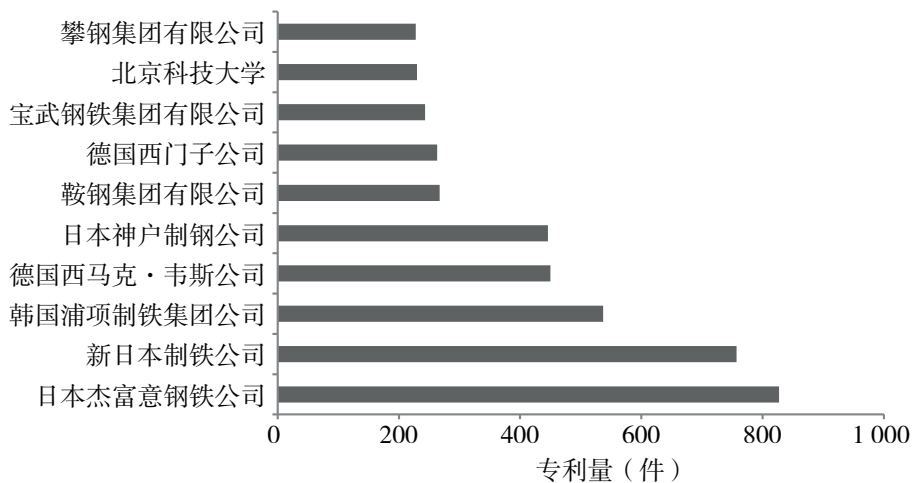


图7 2000—2022年全球废钢铁利用技术领域排名前10位的专利权人

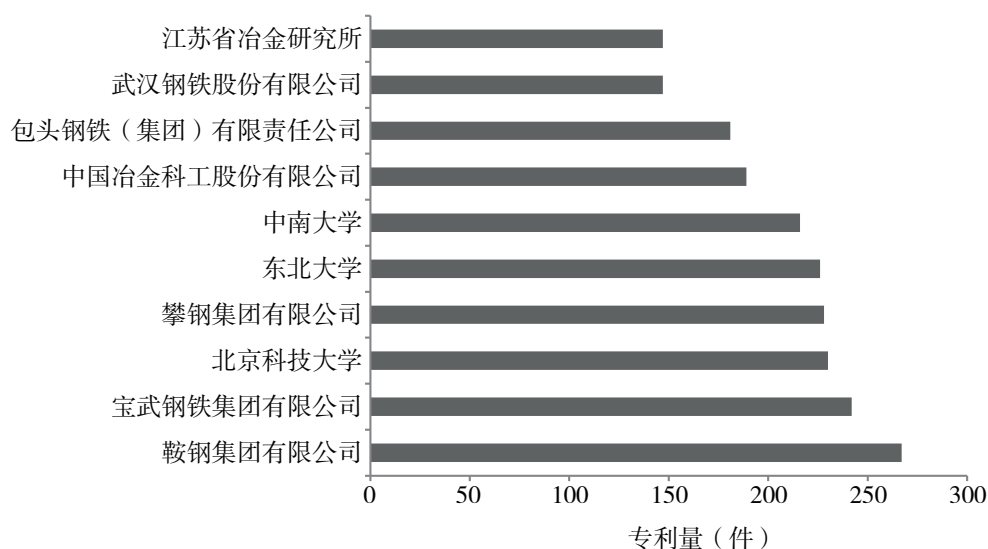


图 8 2000—2022 年中国废钢铁利用技术领域排名前 10 位的专利权人

表 1 2000—2022 年全球废钢铁利用技术领域排名前 10 位的专利发明人

排名	专利发明人	专利量 (件)	所属机构
1	Rodney James Dry	175	澳大利亚技术资源私人有限公司
2	吴道洪	159	北京神雾环境能源科技集团股份有限公司 & 江苏省冶金设计院有限公司
3	曹志成	139	北京神雾环境能源科技集团股份有限公司 & 江苏省冶金设计院有限公司
4	Robert Millner	129	西门子奥钢联冶金技术(奥地利)有限公司
5	Johann Reichel	108	德国西马克·韦斯公司
6	Shuzo Ito	100	日本神户制钢公司
7	Shoichi Kikuchi	93	日本神户制钢公司
8	Hisahiro Matsunaga	91	日本川崎制铁公司
9	Naoki Kikuchi	89	日本杰富意钢铁公司
10	Minoru Morioka	85	日本电气化学工业公司

James Dry 发明专利最多, 其次是北京神雾环境能源科技集团股份有限公司 & 江苏省冶金设计院有限公司的吴道洪和曹志成, 以及西门子奥钢联冶金技术(奥地利)有限公司的 Robert Millner 和德国西马克·韦斯公司的 Johann Reichel。此外, 日本神户制钢公司、日本川崎制铁公司、日本杰富意钢铁公司和日本电气化学工业公司的几个专利发明人累计拥有超 400 件专利。

### 3.5 主要专利技术领域

表 2 列出了 2000—2022 年全球废钢铁利用技术领域专利排名前 10 位的国际专利分类号 (IPC) 分布情况。可以看出, 废钢铁利用技术相关专利主要分布在 IPC 为 C04B 28/00 和 C21C 5/00 的技术领域, 相关专利申请量均超过 3 000 件, 涵盖多元羧酸盐水泥、碳钢冶炼等研究方向。其次是 IPC 分类号为 C22C 38/00、C04B 18/00、C21C 7/00、C22B 1/00、

C21B 3/00、C21B 13/00 等技术领域, 涵盖铁基合金、钢渣废料处理、生铁冶炼、直接还原法炼液体钢等。

表 3 列出了 2000—2022 年中国废钢铁利用技术领域专利强度为 70 及以上的核心专利分布情况。可以看出, 相关专利权人均为企业, 专利以在国内申请为主, 所有专利均为 2018—2021 年申请的有效专利。广西银亿新材料有限公司和广西银亿高新技术研发有限公司相关专利的专利强度最高,

其废钢铁利用技术涉及废旧锂离子电池回收。其次是中冶京诚工程技术有限公司, 其废钢铁利用技术涉及炼钢设备和方法, 宝钢工程技术集团有限公司和宝武集团环境资源科技有限公司的废钢铁利用技术涉及含铁含锌固废资源化利用的装置及方法, 瀚矿环保科技(上海)有限公司的废钢铁利用技术涉及利用钢铁渣萃取物辅助生物质制氢和生物炭系统等。

表 2 2000—2022 年全球废钢铁利用技术领域排名前 10 位的 IPC

IPC	IPC 中文注释	专利量(件)
C04B 28/00	含无机黏结剂或无机与有机黏结剂反应产物的砂浆、混凝土或人造石的组合 物, 如多元羧酸盐水泥	4 405
C21C 5/00	碳钢冶炼, 如普通低碳钢、中碳钢或铸钢	3 455
C22C 38/00	铁基合金, 如合金钢	2 037
C04B 18/00	使用烧结料、废料或废物作为砂浆、混凝土或人造石填料; 为提高其在砂浆、 混凝土或人造石中的填充性能而专门采用的烧结料、废料或废物的处理	1 993
C21C 7/00	熔融铁类合金的处理, 如不包括在 C21C 1/00 到 C21C 5/00 组的钢	1 896
C22B 1/00	矿石或废料的预处理	1 591
C21B 3/00	生铁冶炼的一般特点	1 409
C21B 13/00	直接还原法炼海绵铁或液体钢	1 241
C22B 7/00	处理非矿石原材料	1 125
C22C 33/00	铁基合金的制造	752

表 3 2000—2022 年中国废钢铁利用技术领域的核心专利分布

专利公开号	标题	专利强度	专利权人	申请日期	法律状态
CN110828927 A	一种综合回收废旧锂离子电池的方法	77	广西银亿新材料有限公司; 广西银亿高新技术研发有限公司	2019-10-18	有效
CN110923394 A	炼钢设备和炼钢方法	74	中冶京诚工程技术有限公司	2019-11-28	有效
CN109097588 A	一种含铁含锌固废资源化利用的 装置及方法	74	宝钢工程技术集团有限公司; 宝武集团环境资源科技有限公司	2018-10-26	有效
US20210380406 A1	利用钢铁渣提取物辅助生物质制氢 和生物炭系统	73	瀚矿环保科技(上海)有限公司	2021-05-31	有效
CN110055450 A	一种非调质钢的冶炼方法	72	石钢京诚装备技术有限公司	2019-04-18	有效
CN111534697 A	废旧锂离子电池的选冶联合综合回 收方法及装置	72	中国恩菲工程技术有限公司	2020-06-09	有效
CN112017145 A	一种高效的铁水预处理自动扒渣 方法和系统	71	宝山钢铁股份有限公司	2019-05-31	有效

续表

专利公开号	标题	专利强度	专利权人	申请日期	法律状态
CN113122709 A	一种保障铁品位的固废、烧结、球团协同处置工艺	70	中冶长天国际工程有限责任公司	2021-04-16	有效

#### 4 结论与建议

通过对废钢铁利用技术领域的论文与专利分析, 主要得出以下结论与建议:

(1) 近年来, 废钢铁利用技术无论是在基础研究领域还是应用研究领域都处于快速发展期。中国、印度、美国、韩国和日本是废钢铁利用技术基础研究领域的主要研发国家, 中国、韩国、日本、美国和德国是废钢铁利用技术应用研究领域的主要研发国家。尽管中国相关论文数量和专利数量最多, 但发达国家及其相关机构在论文国际影响力和专利授权率方面均优于中国。中国废钢铁利用技术领域的高水平研究成果数量仍有待提升, 应继续加大科技创新研发投入强度, 通过政策引导和市场激励相结合, 形成废钢铁利用领域关键技术攻关合力, 协同推动钢铁产业循环经济高质量发展。

(2) 全球废钢铁利用技术基础研究领域的重点研发机构包括北京科技大学、东北大学、重庆大学、埃及知识银行等。全球废钢铁利用技术应用研究领域的重点研发机构包括日本杰富意钢铁公司、新日本制铁公司、韩国浦项钢铁公司等; 重点技术研发领域包括多元羧酸盐水泥、碳钢冶炼、铁基合金、钢渣废料处理等; 主要专利发明人大都来自日本企业。因此中国应积极制订相关专业技术人才培养计划, 不断引进吸纳废钢铁利用技术领域的创新人才。

(3) 中国废钢利用技术领域排名前两位的专利权人是高校, 因此应不断完善产学研用协同创新体系, 加快推动废钢铁利用技术转移转化。■

#### 参考文献:

- [1] 王国栋. 推进钢铁“四化”强健大国“筋骨”[N]. 人民日报海外版, 2023-02-06(9).
- [2] 郑明月. 钢铁产业发展趋势及碳中和路径研究[J]. 冶金经济与管理, 2022(1): 4-6.
- [3] 李林. 我国钢铁产业对经济发展的影响探析[J]. 企业改革与管理, 2020(24): 217-218.

- [4] 王佳欢, 冯忠耀, 王缘, 等. 一种抗菌抗紫外线再生聚酯纤维及其制备方法: 115161802A[P]. 2022-10-11.
- [5] 单梦鹤. 钢铁行业循环经济建设和发展研究[J]. 中国化工贸易, 2020(13): 243-244.
- [6] 李云. 废钢铁在钢铁行业中应用前景研究[J]. 再生资源与循环经济, 2020, 13(1): 23-29.
- [7] 邢娜, 秦勉, 曲余玲, 等. 我国废钢产业发展现状及发展趋势分析[J]. 冶金经济与管理, 2022(2): 33-35.
- [8] 贾逸卿, 段红梅, 柳群义. 中国废钢资源化利用趋势: 2020—2035年分析预测[J]. 中国矿业, 2021, 20(3): 31-36, 42.
- [9] 窦立英. 废钢铁应用现状分析与发展前景分析[J]. 中国金属通报, 2020(8): 8-9.
- [10] 王文超, 郭从山. 关于我国废钢产业发展的现状分析及建议[J]. 冶金经济与管理, 2021(6): 48-49, 53.
- [11] 郭东岳, 刘光伟. 在“双碳”背景下垃圾焚烧发电企业面临的机遇与风险[J]. 能源与节能, 2021(10): 84-85.
- [12] 戴铁军, 潘永刚, 张智愚, 等. 再生资源回收利用与碳减排的定量分析研究[J]. 资源再生, 2021(3): 15-20.
- [13] 黄维, 秦子然, 邢娜, 等. 废钢产业发展及其对钢铁行业的影响[J]. 冶金经济与管理, 2021(5): 36-38.
- [14] 姚聪林, 朱红春, 姜周华, 等. 全废钢连续加料电弧炉短流程碳排放计算及分析[J]. 材料与冶金学报, 2020, 19(4): 259-264.
- [15] 熊玮, 胡忆, 袁琛, 等. 高炉使用废钢的环境影响分析[J]. 武汉科技大学学报(自然科学版), 2020, 43(6): 401-405.
- [16] 林芳任, 江涛. 中国废钢铁行业现状及发展趋势[J]. 冶金信息导刊, 2020(2): 5-8, 18.
- [17] 魏莉, 陈伟达, 杨焯. 导入碳减排投资的废钢铁再制造生产投资策略研究[J]. 工业工程与管理, 2018, 23(3): 65-71.
- [18] 周婧, 秦伦明. 废钢资源发展现状及废钢分类研究[J]. 科技创新与应用, 2022, 12(11): 88-90.
- [19] 刘瑞杰. 废钢加工处理技术及工艺设计研究[J]. 中国金属通报, 2021(10): 238-240.
- [20] 张凯炎. 废钢综合利用, 高效化钢铁生产技术与探讨[J]. 冶金与材料, 2020, 40(2): 95-96. (下转第64页)



## Key Points and Response of the European Energy Crisis Under the Escalation of Russia-Ukraine Conflict and Its enlightenment to China

LI Lanchun<sup>1,2,3</sup>, CHEN Wei<sup>1,2,3</sup>

(1. Wuhan Library, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071;

2. Hubei Key Laboratory of Big Data in Science and Technology, Wuhan 430071;

3. School of Economics and Management, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190)

**Abstract:** The continuous escalation of the conflict between Russia and Ukraine has triggered the sanctions and countermeasures on energy trade between Russia and Europe. The European radical policy of leaving Russia has suffered from an unprecedented energy crisis, with prominent contradictions in energy supply, cost, energy strategy, internal trust, etc. In the short term, Europe's energy emergency supply protection measures will not stop the fermentation of risks, while long-term energy policies will accelerate the transformation of the international energy pattern. In the face of major global energy changes, which present both opportunities and challenges, China should thoroughly implement the concept of energy security in the new era and always give top priority to ensuring secure and reliable energy supply. Based on the basic national conditions, China should accelerate the development of a new energy system and promote cross-sector integrated demonstrations, fully leverage the role of coal as a backstop, establish a diversified, stable and independent oil and gas supply system, promote the development of clean energy technologies and industries in an orderly manner, and coordinate scientific and technological responses to energy security.

**Keywords:** Europe; Russia-Ukraine conflict; energy strategy; energy security

---

(上接第55页)

## Development Trend of Global Steel Recycling and Utilization Technology Under the Target of “Peak Carbon Dioxide Emissions and Carbon Neutrality”

XIONG Shuling, ZHENG Jia, KANG Kai, JI Yingru

(Institute of Scientific and Technical Information of China, Beijing 100038)

**Abstract:** The iron and steel industry is an energy intensive industry. To vigorously develop the circular economy of iron and steel industry and promote the recycling and utilization of iron and steel resources is one of the important development directions under the implementation of the “peak carbon dioxide emissions and carbon neutrality” strategic goal in China. In this study, Innography patent retrieval platform and Web of Science paper retrieval platform were used to analyze the development status and technical characteristics of global scrap iron and steel resources recycling and utilization, and the development trend of iron and steel resources recycling and utilization technology was shown from multiple dimensions such as the annual distribution trends, research and development countries, research institutions, technical fields, researchers, etc. Through the domestic and foreign comparative studies, this study analyzes the problems and development bottlenecks in the field of recycling technology of steel resources in China, and puts forward some suggestions on the high-quality development of recycling economy in Chinese steel industry in the future.

**Keywords:** peak carbon dioxide emissions and carbon neutrality; iron and steel; recycling and utilization; scientometrics; circular economy