综述

钢铁行业固废绿色低碳高质量发展路径

苏长永，李新宇，林 严，苏步新
（冶金工业出版社，北京 100009）

摘要：我国钢铁行业每年伴生的固废种类繁多、产生量巨大，但因当前利用技术手段的限制，固废资源化综合利用量和效率仍不是很高。本文提出钢铁行业固废绿色低碳高质量发展应遵循“减少固废总量，提高综合利用效率”的总原则，统筹考虑固废资源化回收的体系建设、资源利用和产品结构等，最终从源头、过程、末端、综合利用和产业间耦合五方面实现“固废不出厂”和打造“无废城市”。同时，钢铁企业应提高固废的认知能力和管理水平，依靠现有固废产业政策，加大资金和人力投入，实现变“废”为“宝”。此外，建议政府层面也应持续优化完善固废利用法规、政策等，携手实现钢铁行业固废绿色高质量发展。

关键词：钢铁行业；固废；资源化利用；低碳；高质量发展
中图分类号：TF09；X705；X756 **文献标识码**：A **文章编号**：1000－8764(2022)06－0001－07
doi：10.13403/j.sjqt.2022.06.078

Green，low-carbon and high-quality development route of solid waste in the iron and steel industry

SU Changyong，LI Xinyu，LIN Yan，SU Buxin
（*Metallurgical Industry Press*，*Beijing* 100009，*China*）

Abstract：There are many kinds and huge quantities of solid wastes associated with China's iron and steel industry every year. However，due to the limitation of current utilization technology，the quantity and efficiency of comprehensive resource utilization of solid wastes are still not very high. It is proposed that the green，low-carbon and high-quality development of solid waste in iron and steel industry should follow the general principle of “reducing the total quantity of solid wastes and improving the comprehensive utilization efficiency”，and the system construction，resource utilization and product structure of solid waste recycling should be considered as a whole，so as to finally realize “solid waste without leaving the factory” and build a “waste-free city” from five aspects：source，process，end，comprehensive utilization and industrial coupling. At the same time，it is proposed that the iron and steel enterprises should improve the cognitive ability and management level of solid waste，rely on the existing industrial policies of solid waste，increase capital and manpower investment，and realize the transformation of waste into treasure. In addition，it is suggested that the government should continue to optimize and improve the laws and policies of solid waste utilization，and work together to realize the green and high-quality development of solid waste in the iron and steel industry.

Key words：iron and steel industry；solid waste；resource utilization；low carbon；high-quality development

钢铁行业是国民经济的支柱行业，2021年我国粗钢产量为10.35亿吨，约占全球粗钢总产量的54.02%[1]。钢铁行业作为高载能和高排放的大户，能源消费量约占全国能源消费总量的11%，碳排放量约占全国碳排放总量的15%，是碳排放量最高的制造行业。在钢铁生产过程中，随之也产生大量冶金固体废弃物，通常分为三类，包括冶金渣类、冶金尘泥类和

收稿日期：2022－08－31；**修回日期**：2022－10－19
基金项目：国家自然科学基金资助项目(51974019)
作者简介：苏长永(1970—)，男，社长，高级经济师，从事冶金出版及产业研究工作。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

粉煤灰。以每吨钢产生固废600 kg估算，钢铁行业全年共产生废弃物约为6.1亿吨，这其中约有5亿吨炉渣和1亿吨尘泥[2-3]。多年累积堆置的钢铁行业固废已超10亿吨，不仅大量占用土地资源，而且污染环境。每年新增固废虽有80%左右可以通过各种资源化处理方式实现利用，但一些难处理的危废、钢渣、不锈钢污泥等，仍会带来潜在的环境污染。

近年来，我国钢铁行业对固废的处理愈加重视，开发并应用了一系列固废处理的新工艺和技术措施，部分企业也取得了不错的应用效果，并在行业内开展推广应用，但面对巨大的等待处理和复用的固废资源，存在的问题和挑战仍十分严峻，也亟需寻找出更好、更优解决固废的系统处理方案[4-7]。随着国家多项产业政策陆续发布实施，文件要求钢铁行业构建产业间耦合发展的资源循环利用体系，并重点推广钢铁行业成熟节能的降碳工艺。钢铁行业自身也应秉持“减量化、资源化、无害化”的原则，大力推动钢铁固废资源综合利用产业发展[8]。本文简要概括我国钢铁行业固废种类分布和利用存在的问题，着重对固废绿色低碳发展方向加以探讨，并整理近期发布的固废利用产业政策，以期对钢铁行业固废资源化高质量发展提供参考。

1 钢铁行业固废种类分布及利用存在的问题

1.1 钢铁行业固废种类分布

我国2022年上半年粗钢产量为5.27亿吨，其中“高炉—转炉”长流程生产模式占到粗钢产量的约90%，预计十四五期间我国每年粗钢产量仍会维持在10亿吨左右；钢铁行业未来一段时间内发展的重点是通过提高短流程电炉炼钢占比，以实现行业节能减排绿色低碳高质量发展。因“非高炉炼铁—电炉炼钢”短流程生产工艺模式仍处于开发阶段，改变现有钢铁行业生产工序模式尚需时间，因此，钢铁行业固废种类也会继续维持现有的规模数量。主要固废种类分布如表1所示[9-11]。

表1 钢铁行业固废种类分布

Table 1 Distribution of types of solid waste in the steel industry

类别	工序环节	细分种类
冶金渣	炼铁、炼钢等	高炉渣：粒化高炉矿渣、高炉重矿渣、钒钛渣、含稀土元素渣
		钢渣：转炉渣、电炉渣、不锈钢渣、预处理渣、精炼渣、铸余渣
		铁合金渣：碳素铬铁渣、硅锰渣、锰铁高炉渣、其他铁合金渣等
冶金尘泥	炼铁、炼钢、轧钢等	高铁含铁尘泥：球团工艺灰、高炉槽下灰、高炉炉前灰、高炉重力灰、转炉OG泥、炼钢二次灰
		中铁含铁尘泥：高炉布袋灰、高炉瓦斯灰
		低铁含铁尘泥：烧结机头灰等
粉煤灰	自备电厂	—

1.2 钢铁行业固废利用存在的问题

我国钢铁行业固废利用技术研究与生产已持续一段时间，但就目前综合利用效果来看，仍存在诸多问题：部分企业重视不够，固废利用管理水平待提升；底数不清楚，各类固废处理利用过程中统计不完善；各类固废处理技术瓶颈仍存在，产学研用一体化推进不足；固废利用产品市场接受度低，市场也无法大量消化；行业壁垒难以突破，多行业间协同发展受阻等。

2 钢铁行业固废绿色低碳高质量发展实施路径

回收利用好固废资源主要就是要实现“量少效率高”，包括产生的固废数量少、处理中间产品能源消耗少、固废回收综合利用效率高等方式。其本质就等同于一种低碳的行为，最终实现固废不出厂、固废全部资源化、厂内无“固废”这一概念，从而实现减碳降碳绿色环保的发

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

展理念。

对于固废资源回收利用的过程，建议从系统的角度出发，科学研判企业自身与所处城市范围内的固废范围、数量，协同创建“无废城市”，统筹考虑固废资源化回收的体系建设、资源利用和产品结构等，最终从源头、过程、末端、综合利用和产业间耦合五方面实现“固废不出厂”和打造“无废城市”，具体实施路径如图 1 所示。

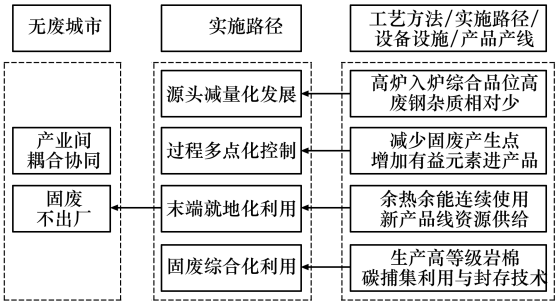


图 1　钢铁行业固废绿色低碳发展实施路径

Fig. 1　Implementation path of green and low carbon development of solid waste in iron and steel industry

2.1　源头减量化发展

如何减少固废的产生，其本质就是要抓住固废的源头，“抓源头”即从源头上避免或是降低固废的产生，走固废减量化发展的路线。固废产生的数量少，就意味着物质在传递过程中涉及到的能耗也将同步减少，从物质流和能量流两部分实现减碳、降碳。对于传统的“高炉—转炉”长流程炼钢生产工艺而言，想要从源头减量化发展，首先应践行高炉的“精料方针”，保证相对合理的高炉入炉综合品位。高炉入炉综合品位应至少保证 50% 以上，越高的入炉品位就意味着相对少的渣量产生，渣量少了对应固废的产量就少，可从源头上降低固废的产生，实现源头减量化和低碳的目的。对于短流程电炉炼钢工艺而言，一方面需保证废钢的来源相对稳定，废钢的类型及产品杂质相对少；另一方面尽可能将废钢预热后送至电炉，从源头上尽可能降低电炉除尘灰的产生，减少固废和危废的数量，降低电炉生产过程的石墨电极消耗和吨钢电耗，从而实现减碳、降碳生产。

2.2　过程多点化控制

过程多点化控制要求一方面通过生产过程监控、减少固废产生点，另一方面增加有益元素进产品、不出厂，同时尽可能减少有害元素在系统内循环富集。过程多点化控制是源头减量化发展的延伸，通过精准、精确、精细的过程管理和有效监控，及时发现固废产出的新增源头，采取技术创新、工艺调整、装备升级等手段减少过程中固废产生的数量，解决固废转移过程中统计缺失等问题。在多点控制的基础上，尽可能回收并确保有益元素一次性实现进入终端产品，不再为重新提取有益元素回收后进系统付出更多的能量，降低物质在系统的流转，再一次实现物质流和能量流两方面的减碳、降碳。

2.3　末端就地化利用

在工艺各流程的节点处或产品、产线的终端实现附属品包括热态渣、高炉冲渣水余热、余能等连续化回收利用，作为新工艺源头，达到“直接用”的效果。品质好的余热余能发电效果好、利用率高，自发电率已从 2015 年的 44% 提高到 2021 年的 54%，但如果品质相对差的余热一方面其自发电利用率低，另一方面因其内循环技术还不够成熟等问题依旧存在，就需要将其通过技术研发迭代、设备优化升级等手段，使之成为另一产品线的源头，最终的目的还是实现“直接用”，最大化地减少产品因中间形态变化和留置不用而带来的能量耗损，进而实现过程碳利用最大化，避免新增碳使用。

2.4　固废综合化利用

传统方法对于高炉渣、钢渣等固废资源化利用后的产品多数附加值低，同时受到渣成分多变和安定性差等因素的影响，厂内堆放固废会占用大量土地。此外，厂区内固废产生的点多、量大、难转运等问题，导致有价元素重新回到系统中成为产品要付出比丢弃更大的代价。因此在现有固废处理资源化利用的基础上，从技术端入手，结合低碳环保的要求，国内部分钢铁厂已经在厂区内开展综合利用的项目。如

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

太钢在原有对高炉渣生产矿渣超细粉和矿渣棉的基础上，持续研发，通过对设备进行适应化改造和优化，实现矿渣棉到高等级岩棉的产品升级，产品品类扩大的同时实现了高炉热态渣显热的回收利用，实现了绿色降碳。山西建邦成功开发了“冶金除尘灰智能分选技术”，该技术根据除尘灰颗粒细、流动性强、亲水性差、化学成分复杂等原料特点，对磁选、浮选、重选等传统选矿设备进行了颠覆性的技术改造和创新，最终可分选出铁精粉、碳粉、硫酸锌、氯化钾、氯化钠、金、银、铟、水泥原料等九大产品，彻底实现工业固废全量化、资源化，最终将除尘灰“吃干榨净”。包钢200万吨CCUS(碳捕集利用与封存)一期50万吨示范项目将对工业废烟气中的二氧化碳进行捕集，一部分经管道输送包钢碳化法钢铁渣综合利用项目进行固化利用。虽然该项目的实施目前还在探索阶段，但其在固废资源化利用和节能降碳之间实现耦合，将为固废资源化利用提供更多的解决思路和方案。

2.5 产业间耦合协同

围绕产业所在城市，以创建“无废城市”为目标，在政府部门指导监管下，由钢铁厂设立固废危废综合利用中心。该中心将实现产业间固废危废和城市废弃物的集中回收处理资源化利用，在产业间耦合协同的基础上，既扩大原有固废资源利用数量和范围，又完成对城市废弃物集中处理，实现“无废城市”建设目标，彰显钢铁行业的社会责任与价值。

3 固废资源综合利用法规政策标准体系支持

我国自八五时期开始对固废处理的行业政策均有定性表述，具体如表2所示，工业固废利用率定量的指标要求如图2所示。

表2 固废处理行业政策发展历程

Table 2 Development period of the policy of solid waste treatment industry

时期	具体内容
八五	加强对固体废物的检测和防治;工业固体废物综合利用率达到33%
九五	2000年,县及县以上固体废物综合利用率为50%
十五	推进资源综合利用技术研究开发,加快废弃物处理的产业化,促进废弃物转化为可用资源
十一五	工业固体废物综合利用率提高到60%;禁止工业固体废物、危险废物向农村转移;推进粉煤灰、冶金废渣工业废物利用;加强污泥资源化利用
十二五	推进大宗工业固体废物资源化利用,工业固体废物综合利用率达到72%
十三五	做好工业固废等大宗废弃物资源化利用;加强危险废物污染防治、开展危险废物专项整治
十四五	全面整治固体废物非法堆存;推进废物循环利用和污染物集中处置;加强大宗固体废弃物综合利用;城市污泥无害化处置率达到90%

由图2可以看出，从八五到十二五，工业固废综合利用率的目标要求迅速提升，十五期间虽没有具体目标值设定，但后续十一五和十二五利用率目标值的进一步提升，表明十五期间仍在原有基础上继续发展。结合表2的内容可知，十三五、十四五连续十年的规划中，均只有对工业固废定性化描述，缺少定量化目标，直到2022年2月，工信部等部门联合印发《关于加快推动工业资源综合利用的实施方案》中再一次明确提到利用率的具体目标值。文件要求到2025年，钢铁等重点行业工业固废产生强度下降，力争大宗工业固废综合利用率达到57%。可以看到，57%的利用率其值远低于十二五时的72%，究其原因主要为近十年内大宗工业固废的绝对量增加值远超之前规划时的预期值，同时近些年对于大宗工业固废的规范统计使得原有隐藏的固废量得以重新暴露，加上综合回收处理大宗固废的突破性技术少，以上3个因素叠加使得《实施方案》设定的目标值仅为57%。该《实施方案》同时要求到2025年，

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

冶金渣的利用率要达到 73%，废钢铁资源利用量达到 3.2 亿吨。

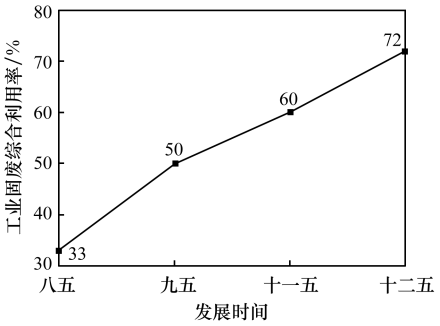


图 2　不同发展时期工业固废综合利用率变化情况

Fig. 2　Change of comprehensive utilization rate of industrial solid waste in different development periods

2022 年 2 月，《关于促进钢铁工业高质量发展的指导意见》和《高耗能行业重点领域节能降碳改造升级实施指南(2022 年版)》等产业政策落地执行，文件要求钢铁行业构建产业间耦合发展的资源循环利用体系，对节能降碳工作提出了最新要求，指出应加快成熟工艺的普及与推广，其中与固废产生及处理相关的有开展余热余能梯级综合利用和循环经济低碳改造等，具体内容如表 3 所示[12]。

表 3　部分节能降碳成熟工艺

Table 3　Some mature processes for energy saving and carbon reduction

方向	细分种类
余热余能梯级综合利用	各类低温烟气、冲渣水和循环冷却水等低品位余热回收，电炉烟气余热、高参数发电机组提升、低温余热有机肯循环(ORC)发电、低温余热多联供等；电炉、转炉等复杂条件下中高温烟气余热、冶金渣余热高效回收及综合利用工艺技术装备
循环经济低碳改造	钢渣微粉生产应用及含铁含锌尘泥的综合利用，开展钢渣微粉、钢铁渣复合粉技术研发与应用，钢渣颗粒透水型高强度沥青路面技术、钢渣固碳技术研发与应用；钢化联产；工艺炉窑烟气回收及利用二氧化碳技术，推动其产业化应用

自十三五以来，我国加大重视固废资源化回收利用，工业资源综合利用法规政策标准体系日益完善，技术装备水平显著提升，产业集中度和协同发展能力大幅提高。在法规政策和标准体系的引领下，企业可更好地制定固废资源利用发展规划方案，优化设计固废资源化利用实施路径。十三五以来重要的工业资源综合利用法规政策汇总如表 4 所示。

表 4　十三五以来重要的工业资源综合利用法规政策汇总

Table 4　Summary of important regulations and policies on comprehensive utilization of industrial resources since the 13th Five-Year Plan

序号	年月	法规政策
1	2022 年 8 月	《工业领域碳达峰实施方案》
2	2022 年 6 月	《减污降碳协同增效实施方案》
3	2022 年 2 月	《关于促进钢铁工业高质量发展的指导意见》
4	2022 年 2 月	《高耗能行业重点领域节能降碳改造升级实施指南(2022 年版)》
5	2022 年 2 月	《关于加快推动工业资源综合利用的实施方案》
6	2022 年 1 月	《“十四五”节能减排综合工作方案》
7	2021 年 12 月	《“十四五”原材料工业发展规划》
8	2021 年 12 月	《“十四五”工业绿色发展规划》
9	2021 年 12 月	《关于加快推进大宗固体废弃物综合利用示范建设的通知》
10	2021 年 10 月	《2030 年前碳达峰行动方案》
11	2021 年 7 月	《“十四五”循环经济发展规划》
12	2021 年 6 月	《关于开展大宗物体废弃物综合利用规范的通知》
13	2021 年 3 月	《关于“十四五”大宗固体废弃物综合利用的指导意见》

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

（续表4）

序号	年月	法规政策
14	2020年4月	《中华人民共和国固体废物污染环境防治法(2020版)》
15	2019年11月	《再生资源回收管理办法(2019年修订)》
16	2019年8月	《排污许可管理办法(试行)》
17	2019年5月	《关于构建市场导向的绿色技术创新体系的指导意见》
18	2018年10月	《中华人民共和国环境保护税法》
19	2018年5月	《国家工业固体废物资源综合利用产品目录》
20	2018年5月	《工业固体废物资源综合利用评价管理暂行办法》
21	2017年4月	《循环发展引领行动》

由表4可以看出，进入十四五后，我国对于钢铁行业的产业政策发布数量和频次均大幅增加，涉及钢铁行业固废资源利用的政策内容更详实，定量指标要求重要程度愈发凸显，一方面要求固废产生总量大幅下降，另一方面要求固废资源利用率明显提升。一升一降的目标实现不仅要靠企业提高自身环保认识程度和管理能力，将固废视为资源，还需要加大固废利用的资金和人员投入，尽快实现技术突破。钢铁行业节能降耗绿色低碳发展目标的实现，对整个工业领域将产生重大而深远的影响，是最终完成“双碳”目标的重要突破口。

因此，不管是实现当前产业政策对固废资源利用的定量化指标要求，还是加快固废资源利用成熟工艺技术的推广，亦或是开发新综合利用处理技术，出发点和落脚点还得通过企业自身围绕产业政策制定规划实施路径，同时相关配套产业政策也需要及时跟进。在现有产业政策的基础上，建议国家在科技立项和财政支持等方面出台政策支持，以提升钢铁行业固废综合利用等重点领域新处理工艺技术、解决方案的不断探索实践和有效落地实施。此外，为了更好地摸清固废底数，须不断细化和完善相关法律法规和政策，实行严格的固废处理登记制度和固废利用企业准入机制，强化对固废的规范化处置和资源化利用。同时也应看到，随着钢铁行业逐渐短流程化，钢材品质高端化的过程中，电炉除尘灰和酸洗污泥的危废产生量也大量增加，带来了新的固废利用难题，需加以重视并提前做好技术储备。因此，钢铁行业固废利用产业政策、标准体系和系列标准也需动态完善调整，以实现全行业内固废利用各环节标准体系全覆盖。目前，冶金工业出版社已出版《烧结用钢渣磁选料》、《钢渣基固结粉尾砂胶结充填技术规范》等70余项涉及冶金行业固废利用的标准体系，及《熔融高炉渣在线制备无机纤维理论与实践》、《固废资源化利用生态工业园区规划》等20余本各类固废利用专业书籍，为广大科技工作者、专业人员及企业提供专业帮助和参考。

4 结 论

（1）我国钢铁高位产量仍将维持一段时间，每年伴生的钢铁行业固废资源量短时间不会迅速减少，固废虽有一部分能得到较好的资源化利用，但因固废利用处理工艺尚未实现较好的突破，仍有大量的难处理固废需占用大量土地资源而带来环保问题。

（2）钢铁行业固废绿色低碳高质量发展要遵循“减少固废总量，提高综合利用效率”的总原则。通过源头、过程、末端和综合利用四方面入手，实现钢铁行业“固废不出厂”的目标。在此基础上，统筹产业耦合与城市固废危废协同处理，最终创建“无废城市”，打造绿色环保生态城市圈。

（3）我国自八五开始在产业政策中对固废利用已有具体要求。企业应紧紧依托现有产业政策，提高自身对固废的管理和认识，抓紧落实现有产业政策，应用现有成熟固废利用技术。政府层面也应持续优化并完善固废利用法规政

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

策标准体系，为提升固废利用做好保障，从而早日实现钢铁行业固废绿色低碳高质量发展。

参考文献：

[1] World Steel Association. World-steel-in-Figures-2022 [EB/OL]. 2022 - 06 - 07. Website of World Steel Association. https://worldsteel.org/wp-content/uploads/World-Steel-in-Figures-2022.pdf.

[2] 张寿荣,张卫东. 中国钢铁企业固体废弃物资源化处理模式和发展方向[J]. 钢铁,2017,52(4):1 - 6.
ZHANG Shourong, ZHANG Weidong. Solid waste resources treatment mode and development tendency of iron and steel enterprises in China[J]. Iron and Steel,2017,52(4):1 - 6.

[3] 王静松,李岩,冯怀萱,等. 钢铁产业集聚区难处理尘泥处理与全量资源化利用进展[J]. 工程科学学报,2021,43(12):1737 - 1749.
WANG Jingsong, LI Yan, FENG Huaixuan, et al. Progress in treating difficult-to-handle dust and sludge and full-scale resource utilization in an iron and steel industry cluster[J]. Chinese Journal of Engineering,2021,43(12):1737 - 1749.

[4] 于先坤,杨洪,华绍广. 冶金固废资源化利用现状及发展[J]. 金属矿山,2015(2):177 - 180.
YU Xiankun, YANG Hong, HUA Shaoguang. The utilization and development status of metallurgical solid waste resource [J]. Metal Mine,2015(2):177 - 180.

[5] 朱晓东,吴照金. 冶金固废材料化利用的研究进展[J]. 安徽化工,2021,47(1):20 - 23.
ZHU Xiaodong, WU Zhaojin. Study progress on material utilization of metallurgical solid waste[J]. Anhui Chemical Industry,2021,47(1):20 - 23.

[6] 李红科,杜根杰,杜建磊,等. 钢铁工业固废综合利用产业发展现状及趋势[J]. 冶金管理,2021(1):116 - 117.
LI Hongke, DU Genjie, DU Jianlei, et al. Development status and suggestions of comprehensive utilization of solid waste in steel industry[J]. China Steel Focus,2021(1):116 - 117.

[7] 刘令传. 我国钢铁工业固废综合利用产业发展现状及建议[J]. 中国资源综合利用,2021,39(1):113 - 116.
LIU Lingchuan. Development status and suggestions of comprehensive utilization of solid waste in China's iron and steel industry[J]. China Resources Comprehensive Utilization, 2021,39(1):113 - 116.

[8] 聂海亮. 关于推进钢铁行业绿色高质量发展的建议[J]. 中国能源,2021,43(1):39 - 41.
NIE Hailiang. Suggestions on promoting the green and high-quality development of the steel industry[J]. Energy of China, 43(1):39 - 41.

[9] 尚海霞,李海铭,魏汝飞,等. 钢铁尘泥的利用技术现状及展望[J]. 钢铁,2019,54(3):9 - 17.
SHANG Haixia, LI Haiming, WEI Rufei, et al. Status and prospect of comprehensive utilization of dust in blast furnace ironmaking industry[J]. Iron and Steel,2019,54(3):9 - 17.

[10] 王远远,梁海燕,陈岩. 钢铁工业固体废弃物综合利用产业化发展路径探讨[J]. 环境工程,2014,32(S1):777 - 780.
WANG Yuanyuan, LIANG Haiyan, CHEN Yan. Discussion on the industrialization development route of comprehensive utilization of solid wastes of iron and steel industry[J]. Environmental Engineering,2014,32(S1):777 - 780.

[11] 李宇,刘月明. 我国冶金固废大宗利用技术的研究进展及趋势[J]. 工程科学学报,2021,43(12):1713 - 1724.
LI Yu, LIU Yueming. Progress and trend of bulk utilization technology of metallurgical solid wastes in China[J]. Chinese Journal of Engineering,2021,43(12):1713 - 1724.

[12] 国家发展和改革委员会. 关于发布《高耗能行业重点领域节能降碳改造升级实施指南(2022 年版)》的通知[EB/OL]. [2022 - 02 - 11]. https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/tzgg/202202/t20220211_1315447.html?code=&state=123.
National Development and Reform Commission. Notice on the release of the implementation guide for the transformation and upgrading of energy conservation and carbon reduction in key areas of high energy consumption industries (2022 Edition). [2022 - 02 - 11]. https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/tzgg/202202/t20220211_1315447.html?code=&state=123.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net