

钢铁行业全流程碳排放监测与节能减排技术路径优化

钱超

通标标准技术服务有限公司南京分公司 江苏 南京 210000

摘要：全球气候变化议题备受瞩目，钢铁产业作为能源消耗和二氧化碳排放的大户，在节能减排和低碳转型这条必由之路正加速前行，且在绿色发展之路上面临重重考验的也迎来前所未有的机遇。科技不断进步预示着很多尖端碳排放追踪技术和节能减排创新方案即将出现，激光雷达和遥感技术成本降低、监测范围扩大、精度提高，这将大力帮助钢铁产业细致全面地监控碳排放。本文着重研究钢铁产业，深入分析其生产全链条的碳排放监测技术，探索节能减排策略的优化方法以期为该产业绿色可持续发展奠定理论和实践基础，综合看各种监测手段和节能减排措施可知，融合应用先进监测技术能精准掌握碳排放现状，而优化生产流程、采用新技术、提高能源使用效率是降低钢铁产业碳足迹的关键。

关键词：钢铁行业；全流程碳排放监测；节能减排；技术路径优化

引言：

在国民经济体系里，钢铁产业有着至关重要的地位，是国家工业化和现代化进程中的坚实基础，但这一产业也因高能耗、高排放而闻名。权威数据显示，到2023年，全国能源消耗总量中钢铁产业能源消耗占比超11%，且在工业领域碳排放总量里钢铁产业碳排放量占比极高，对全球气候变化影响不容小觑。全球都在应对气候变化，我国也在全力推进碳达峰、碳中和目标，在这种大背景下，钢铁产业节能减排任务前所未有的紧迫，钢铁产业向低碳模式转型是履行社会责任、应对环境挑战的必然选择，也是增强行业竞争力、实现长远可持续发展的内在要求，因此精准监测钢铁产业全链条碳排放，持续优化节能减排技术路径，意义重大且价值深远。

一、钢铁行业碳排放现状

（一）钢铁生产流程概述

钢铁制造主要涵盖了两大工艺路径：传统有长流程，新兴有短流程，长流程工艺以铁矿石为基础，要经过焦化、烧结、高炉炼铁、转炉炼钢到钢材轧制等好多复杂环节，从焦化开始，煤炭被转化成焦炭，这焦炭为炼铁供热还提供还原介质，是烧结，把细碎铁矿粉和其他辅料合起来，弄出有强度和粒度的烧结矿，在高炉里，焦炭和铁矿石高温下反应，产生液态铁水，接着在炼钢炉中，铁水被深度提纯，杂质没了，成分调好，就成了纯净钢水，在钢材轧制线上，钢水被做成各种形状的钢材产品，短流程工艺不同，它以废钢为主要原料，靠电弧炉高温熔炼，再加上精炼工艺，直接把废钢变成钢材，短流程工艺流程简单、能耗少、碳排放低，越来越受关注，不过废钢资源有限，处理成本高，在我国钢铁制造业里占比现在还低。

（二）钢铁行业碳排放特点

钢铁产业的碳释放特征很明显，总量大且排放热点集中在特定生产环节，我国是钢铁制造和消耗的大户这个行

业的碳足迹特别突出，在生产工艺链里炼铁阶段碳排放最多，高炉冶炼时焦炭猛烧、铁矿石被还原这俩过程产生了大量二氧化碳，数据显示用高炉-转炉这种传统长流程工艺生产每吨粗钢的二氧化碳排放量在1.8到2.5吨而电炉短流程生产每吨粗钢的碳排放量大概0.5到1.0吨比较低，并且钢铁制造时能源结构偏向煤炭、焦炭这些化石燃料使碳排放更密集了，再加上钢铁企业一般规模大、生产活动集中碳排放有很明显的集聚性。

二、全流程碳排放监测技术

（一）全流程碳排放监测传感器技术

在高炉、转炉等诸多工业设备的废气排放通道上安装了二氧化碳浓度传感器，这些传感器很灵敏，主要靠红外吸收、电化学等先进原理精准运作，红外吸收型二氧化碳传感器巧妙利用二氧化碳分子对特定波长红外光有吸收性这一特性，通过精确测吸收后的光强来推算二氧化碳浓度，又准又快，这类传感器反应快精度高，能实时捕捉废气里二氧化碳浓度的细微变化，给生产环节的碳排放监测提供有力的数据支持，流量传感器也很重要，它测量废气流

量，与气体浓度传感器一起工作时二者能算出碳排放总量以保证数据准确，由于不同生产工序产生的废气流量不一样，得安装像涡街流量计、电磁流量计这种精密仪器的合适流量传感器才能精确测量废气流量。

（二）激光雷达技术

钢铁产业碳排放监控领域里，激光雷达技术有着非凡的潜能，它靠向大气层发射激光脉冲，抓住激光跟气体微粒相互作用后反射的信号，从而能精准测定气体浓度与空间布局，并且钢铁厂环境复杂，激光雷达装置可安在厂区最高处，全面扫描监控大片区域，进而快速掌握各区域碳排放分布情况，与传统定点监测手段比起来，激光雷达技术监测覆盖面更广、辨识精度更高、测量不用接触等优势明显，在监控大型钢铁企业厂区边界碳排放状况时，激光雷达能实时画出厂区周边二氧化碳浓度三维分布图，直接把碳排放集中区域显示出来，以帮助企业快速找到高排放源头，从而采取精准有效的减排措施。

（三）遥感技术

卫星及航空飞行平台装载着敏锐的感知装置，遥感科技靠着这些装置广泛覆盖钢铁制造的大片区域从而高效地进行监控，对这些装置捕捉到的光谱资讯细致剖析后就能逆向推导出特定区域的碳排放概况。宏观来看，遥感科技像一双敏锐的眼睛，能洞察整个钢铁产业界的碳排放布局，给政府机构出台碳排放管控策略提供全面详实的数据基础，卫星遥测资料能精确追踪各地钢铁企业的碳排放密度分布图、精准锁定高排放热点地带，进而实施有针对性的监管举措和减排指引。而且，遥感科技还能看清钢铁企业生产规模、厂区构造等细节并将其和碳排放数据深度融合，分析生产体量与碳排放之间的微妙联系，为企业节能减排的科学规划照亮道路。

（四）碳排放评估技术

企业初步评估各生产环节碳排放量时，排放因子法因便捷易操作而成为理想选择，为企业掌握自身碳排放概况打下数据基础，而软件模拟技术靠先进的计算机模拟平台来细致模拟与评估钢铁生产流程里碳排放的产生与扩散机制，其建立精确数学模型，把原料构成、工艺参数、能耗等关键数据输进去就能灵活模拟不同生产场景下的碳排放特征，适应性强且应用潜力广泛，碳足迹技术是基于产品全生命周期理念的碳排放评估手段，它全面深入考量钢铁产品从原料采集、生产加工、物流运输到废弃处置各阶段的碳排放，原料采集阶段包含铁矿石和煤炭开采等环节的碳排放，生产加工阶段细致分析钢铁生产各工序的碳排放，物流运输阶段评估产品运输过程的碳排放，废弃处置

阶段关注产品回收再利用、填埋等处理方式的碳排放，企业借助碳足迹技术的精准评估能全方位掌握钢铁产品整个生命周期的碳排放脉络，精准找出碳排放关键节点，从而采取针对性减排举措，提升产品绿色竞争力。

三、节能减排技术路径优化

（一）优化生产工艺流程

短流程电炉炼钢工艺核心是把废钢当作生产原料，这跟传统长流程炼钢依赖铁矿石不同而在节能减排上优势明显，提升其在钢铁业的占比是推动节能减排的关键，目前我国电炉钢在粗钢总产量里占比低，和国际顶尖水平比有很大增长潜力，要加速提升其占比得加强废钢回收利用体系建设以提高废钢回收数量和质量，这就得构建全面高效的废钢回收网络、发动社会各界参与废钢回收、强化废钢分类处理、加工整型和物流配送来保证电炉炼钢有充足优质的废钢原料，降低电炉炼钢成本也很必要，持续技术革新能提高电炉炼钢生产效率、减少能源消耗和设备投资成本，优化电炉炼钢工艺流程、减少生产辅料使用也是提高短流程电炉炼钢经济效益、增强市场竞争力的有效办法，《钢铁行业节能降碳专项行动计划》明确到2025年底我国废钢利用量要达3亿吨，电炉钢产量在粗钢总产量中的占比争取提升到15%，我国钢铁行业向低碳生产模式转型这一量化目标的设定无疑会注入强劲动力。长流程钢铁制造流程当前仍占核心位置且有广阔的优化潜力，能达成节能与减排双重目标。炼铁是关键环节，高炉操作参数可以调整，提高鼓风温度、改进炉料布局策略，从而增强高炉作业效能和能源转化效率，这样一来鼓风温度一提高就能有效减少焦炭耗用量且遏制二氧化碳排放量。炉料布局优化调整后炉料在高炉内分布更科学，煤气利用效率得到优化且铁水产量也会提高。

（二）采用新型技术

一项潜力无限的新兴炼铁工艺是氢还原炼铁技术，其摒弃传统的焦炭等碳基还原手段而利用氢气还原铁矿石，在氢气与铁矿石化学反应过程中提炼出铁并生成水，从而实现低碳炼铁从源头上零二氧化碳排放的目标，虽然现在还处在研发试验的初级阶段但其巨大发展前景不容忽视，众多钢铁企业和科研机构积极参与这项技术的研究与试点并建立小型氢还原炼铁试验平台，不断探索和优化不同工艺条件下氢气利用效率以及铁矿石还原效果等核心指标，要加快氢还原炼铁技术商业化进程就得进一步削减氢气生产成本并确保其供应稳定性，而且加大氢还原炼铁工艺设备研发和优化力度以提升设备稳定性和生产效率也迫在眉睫，钢铁生产过程二氧化碳排放难以避免于是出现了碳捕

集与封存技术，在钢铁厂高炉、转炉等排放源头安装捕集装置，利用吸收、吸附等多种物理或化学手段有效分离废气中的二氧化碳将其安全封存在地下或者海洋，二氧化碳经过压缩处理和运输流程后会被灌注到地壳深处的地质层里。

（三）提高能源利用效率

钢铁冶炼流程浩大且会产生巨量余热，高炉炽热、转炉翻滚、轧钢机轰鸣都会释放出高温烟气和炉渣且热量满满，余热回收系统布局巧妙，通过余热锅炉、热管换热器等设备将可能浪费的热能变成电能和热能以实现能量再循环，余热锅炉设计独特，能捕获高温烟气热量转化为蒸汽，蒸汽驱动汽轮机旋转开启绿色发电新篇从而实现余热多级高效利用，轧钢车间轧钢机释放的余热被用来预热钢坯使得钢坯加热时能源消耗大幅削减，余热回收利用技术广泛应用让钢铁企业能源使用效率显著提升、对外能源依赖减轻且余热直接排放导致的环境热污染问题得到有力缓解，钢铁生产中高炉鼓风机、烧结机、轧钢机等机械设备都靠电动机驱动，高效电动机和变频控制技术合作开辟电能消耗降低新路径，高效电动机性能卓越，与传统电动机相比相同功率输出时电能输入更低，变频技术如同精明的调度员按照设备实时运行需求灵活调整电动机转速避免低负荷运行时能源无端损耗，在高炉鼓风机电动机转速使鼓风量与生产需求匹配得恰到好处以达成节能降耗的绿色目标。

四、企业节能减排实践与碳排放监测体系建设

企业举办“年度节能减排降碳创新成果与优化实践评审盛会”，促使多项创新项目落地生根，其中炼铁车间的“高炉燃料比削减计划”很突出，该计划把好原燃料质量关、精细调整工艺参数、及时清除设备瑕疵，让“双碳”愿景融入

生产运营各环节，并且建立关键生产环节碳排放强度对标数据库，靠数据驱动实现生产链条碳足迹的精细追踪和管控，构建起全方位碳排放监控网络；在监测技术部署方面，企业在各生产流程关键排放节点安装气体浓度和流量传感器，这些“环保哨兵”能实时捕捉废气中二氧化碳、二氧化硫等污染物浓度和流量变化，通过高效数据采集系统把大量监测数据实时传至企业能源管控中心，还引进前沿的激光雷达技术，定期对厂区碳排放布局进行“绿色扫描”，准确锁定排放热点区域；在碳排放量化评估方面，企业用排放因子法初步清查各生产单元碳排放，利用软件模拟技术对多种节能减排策略实施效果进行前瞻性预测分析，建立起这一套完备的碳排放监测体系后，企业就能清晰洞察自身碳排放的全貌，并有坚实的数据基础来科学制定节能减排策略，有力推动企业的绿色转型进程。

五、结论与展望

本项研究细致剖析了钢铁产业从生产起始到终端全链条的碳排放追踪与节能降碳策略优化议题，在深刻剖析钢铁产业碳足迹现状后，能够清楚认识到其排放总量大、排放热点集中于特定生产环节、能源消费架构不合理等显著特征。在构建全流程碳排放监控体系方面，传感器、激光雷达、遥感和多种碳排放评估手段在技术上各有优势，可多维度、多视角精准捕捉钢铁产业碳释放动态，为节能减排策略制定提供坚实数据支撑。在节能减排技术路径优化实践方面，要致力于生产工艺流程革新，提高短流程电炉炼钢占比、改进长流程工艺，引进前沿科技，如氢冶金技术、碳捕捉与封存技术，并且要全力提高能源利用效率，通过回收利用余热资源、广泛应用高效电动机和变频技术等手段，全面推动钢铁产业碳排放有效削减。

参考文献：

[1]成翰庭,徐家洛,苗文亮.产业园区碳减排技术和管理路径研究[J].皮革制作与环保科技,2024,5(9):108-110.

[2]李旋.某钢铁企业的碳排放核算与减排路径优化.Diss.西安建筑科技大学,2023.

作者简介：钱超（1985.05.25—）男，汉族，江苏省南京市，研究生，通标标准技术服务有限公司南京分公司，环境工程-环境监测。