

双碳背景下冶金企业能源优化及环保管控研究

张东兴

华菱安赛乐米塔尔汽车板有限公司 湖南 娄底 417000

摘 要：双碳战略落地倒逼高耗能的冶金行业加速绿色低碳转型。当前冶金企业存在化石能源占比过高、能源利用效率偏低、生产工艺老旧、碳排放强度居高不下等问题，且环保管控模式滞后、技术与制度支撑不足。本文立足行业发展现状，从能源结构优化、生产工艺升级、智能管控搭建、低碳技术应用等方面梳理能源优化路径，构建全流程环保管控体系与多元保障机制，为冶金企业节能降碳、合规发展与长效转型提供参考。

关键词：双碳背景；冶金企业；能源优化；环保管控

引言：碳达峰、碳中和目标的全面推进，让高能耗、高排放的冶金行业成为工业降碳减排的核心领域。作为国民经济支柱产业，冶金行业能源消耗量大、碳排放集中，传统生产模式与绿色发展要求矛盾凸显。现阶段多数冶金企业面临能源结构失衡、工艺落后、环保管控精细化不足等困境。基于此，本文结合行业实际痛点，系统探究冶金企业能源优化与环保管控的可行路径，助力行业破解转型难题、实现低碳高质量发展。

1 双碳背景下冶金企业能源与环保现状及问题分析

1.1 冶金企业能源消耗现状

(1) 能源消耗结构：冶金行业能源消费以煤炭、焦炭、电力等传统化石能源为主体，占能源消费总量的八成以上，风能、太阳能等清洁能源占比偏低，能源供给结构优化进展缓慢。高耗能工序高度集中于炼铁、炼钢、有色金属熔炼等核心生产环节，燃料燃烧与电力消耗叠加，推高整体能耗强度。(2) 能源消耗特征：冶金生产流程具有连续性强、工序耦合紧密、能源转换环节多的显著特征，企业年综合能耗基数普遍较大。与此同时，生产过程中产生的大量余热、余压、余气等二次能源回收利用体系不健全，实际回收利用率不足，导致能源梯级利用水平偏低，整体能源利用效率与国内国际先进水平相比仍存在较大差距^[1]。

1.2 冶金企业环保管控与碳排放现状

(1) 污染物排放现状：冶金生产涉及矿石烧结、高炉冶炼、转炉吹炼、电炉熔炼等多个产污环节，废气、废水、固体废物及粉尘等污染物排放量大、排放节点分散。部分企业现役末端治理设施建设年代较早，脱硫、脱硝、除尘等装备技术老化，运行效率下降，导致污染物达标排放的连续性和稳定性不足，环境风险隐患依然

存在。(2) 碳排放现状：冶金行业碳排放总量位居全国工业领域前列，吨钢、吨有色金属产品碳排放强度居高不下。碳排放主要集中在高炉炼铁、转炉炼钢等工序，工序碳排放集中度超过 60%，且受传统长流程工艺结构制约，现有生产条件下碳减排技术空间狭窄，深度脱碳面临成本与技术双重挑战。

1.3 双碳背景下企业发展面临的核心问题

(1) 能源结构失衡问题：冶金企业对化石能源存在刚性依赖，煤炭在一次能源消费中占比较高，清洁能源替代受制于资源条件、技术成熟度和经济可行性等多重因素，替代进度明显滞后。能源配置存在不合理现象，部分工序存在“大马拉小车”和设备空转等问题，能耗浪费较为突出。(2) 生产工艺落后问题：国内大量冶金企业仍沿用传统高耗能冶炼工艺，高炉长流程占比居高不下，节能低碳冶炼新工艺、先进适用技术普及率不高。企业对源头减碳、过程控碳的技术储备和工程实践不足，致使从生产源头降低碳排放的能力薄弱，制约企业低碳转型进程。

1.4 环保管控体系现存短板

(1) 管控模式滞后：当前冶金企业环保管控仍以末端治理为主导思路，污染物产生后再行处置，缺乏对生产全流程的源头预防和过程协同管控。精细化环境管理和智能化监控手段应用不够广泛，环保设施运行状态实时监控、污染物排放动态预警等能力有待提升。(2) 制度与技术支撑不足：企业低碳环保管理制度建设相对滞后，碳排放核算体系、碳配额管理机制尚不完善，碳排放数据基础薄弱。同时，高效环保治理技术和碳捕集、利用与封存等深度脱碳技术的研发投入不足、工业化应用规模有限，整体普及率偏低，难以有力支撑双碳目标

下企业环保与碳减排的刚性需求。

2 双碳背景下冶金企业能源优化路径

2.1 优化能源消费结构, 推进清洁能源替代

(1) 降低化石能源占比: 实行煤炭消费总量刚性约束, 制定年度减煤计划并分解至各用能工序, 逐步削减高碳能源使用规模。系统梳理燃煤、耗电等能源配置现状, 科学优化煤电配比结构, 推动以电代煤、以气代煤等替代方案落地。同步淘汰低效高耗能的燃煤窑炉和加热装备, 从源头上压减化石能源消耗, 切实降低能源活动碳排放强度^[2]。(2) 推广绿色清洁能源: 结合厂区资源条件, 规模化部署屋顶光伏、厂区风电、储能电站等清洁能源项目, 提高绿电自给率。积极对接区域绿电交易市场, 推进绿电直供、隔墙售电等模式应用, 扩大外购绿电规模。探索氢能在冶金领域的多元化利用, 开展氢基直接还原、氢能加热等试点示范, 加快构建以电、氢、气等多能互补的清洁能源供给体系, 稳步提升非化石能源消费占比。

2.2 升级生产工艺, 提升能源利用效率

(1) 改造核心冶炼工序: 推广高炉大比例球团矿冶炼技术, 降低烧结矿配比, 减少烧结工序能耗与污染物排放。推行富氧熔炼、高炉喷吹还原气等强化冶炼技术, 提高反应效率、缩短冶炼周期。应用一罐到底、热装热送等工艺衔接优化措施, 缩短铁钢界面等待时间, 大幅降低铁水温降热损失, 有效降低各核心工序综合能耗。(2) 推进节能技术落地: 系统实施余热、余压、余气回收利用工程, 建设烧结余热发电、干熄焦余热回收、高炉炉顶余压发电 (TRT) 等装置, 将二次能源高效转化为电能或热能回补生产。推进加热炉、退火炉等炉体节能改造, 应用高温空气燃烧、富氧燃烧等技术提升燃烧效率, 配套高效换热器、变频调速等设备实现能源梯级利用, 全方位降低生产过程中的能源损耗。

2.3 搭建智能化能源管理体系

(1) 构建能耗监测平台: 依托工业物联网技术, 在各用能节点部署智能计量终端, 实现煤、电、燃气、热力等全品种能源数据的自动采集与远程传输。搭建覆盖采、存、算、显一体化的大数据分析平台, 对历史能耗数据进行深度挖掘与趋势预测, 建立单耗对标基准库, 为能源调度优化提供精准数据支撑, 实现能耗从“模糊管理”向“精准管控”转变。(2) 推行精细化能源管控: 建立分层分级的能源管理责任体系, 将能耗考核指标从车间层级逐步细化至工序、产线、关键设备。开发智能能源调度模型, 结合生产计划实时推算最优能源

分配方案, 动态调节燃料供给、电力负荷和余能回收参数。建立能耗异常快速识别与处置机制, 及时发现并消除空转待机、负荷不匹配等无效能耗现象, 推动整体能效水平持续提升^[3]。

2.4 推进循环经济与碳减排技术应用

(1) 完善资源循环利用: 推进冶金废渣综合利用, 开发矿渣微粉、钢渣建材等高附加值产品, 实现固废资源化增值利用。配套建设废水深度处理与回用系统, 实现冷却水循环利用率达 98% 以上, 推进工业废水近零排放。回收高炉煤气、转炉煤气、焦炉煤气用于燃气发电或作为化工生产原料, 构建“资源—产品—再生资源”闭环循环链条, 有效降低一次能源消耗和原材料资源投入。(2) 落地低碳脱碳技术: 针对高炉热风炉、石灰窑、电厂等连续性高浓度碳排放源, 有序规划碳捕集、利用与封存 (CCUS) 项目, 重点推进燃烧后化学吸收法碳捕集示范工程。拓展二氧化碳资源化利用途径, 探索矿化制建材、驱油封存、制备合成燃料等应用场景。探索冶金流程与化工、建材等行业协同降碳模式, 通过跨行业耦合实现碳排放的消纳与资源转化, 助力深度脱碳与碳中和目标落地实现。

3 双碳背景下冶金企业环保管控优化策略与保障措施

3.1 构建全流程环保管控体系

(1) 强化源头防控: 严格制定原材料准入标准, 优先选用低硫、低灰分、低杂质的清洁原料, 从输入端减少污染物和碳的伴生排放。优化燃料配比方案, 增加生物质燃料、氢能等低碳燃料替代比例, 从生产源头压缩污染物生成量。建立原料全生命周期环境影响评价机制, 将环保指标纳入采购考核体系, 实现源头减量化和低碳化^[4]。(2) 落实过程管控: 在烧结、炼铁、炼钢、轧制等关键工序布设在线监控设备, 实时采集粉尘、二氧化硫、氮氧化物等污染物浓度数据, 动态调节工艺参数, 将污染物产生量控制在最低区间。推行标准化作业指导书, 规范操作流程, 减少因人为操作波动导致的异常排放。建立过程排放预警阈值, 发现异常及时纠偏, 确保各环节清洁生产。(3) 优化末端治理: 对脱硫、脱硝、除尘系统进行提标改造, 推广活性焦脱硫脱硝一体化、袋式除尘高效覆膜滤料等先进技术装备, 提升多污染物协同治理效率。完善废水深度处理和中水回用设施, 实现工业废水近零排放。推进冶金固废分类资源化处置, 建设钢渣、水渣、含铁尘泥等固废综合利用生产线, 最大限度降低末端处置环境风险。

3.2 完善碳排放专项管控机制

(1) 建立精准碳核算体系: 依据国家及行业碳排放核算指南, 统一企业层、工序层、产品层的碳排放统计边界与计算方法, 规范原燃料含碳量检测、过程排放因子选取等关键参数管理。试点安装碳排放在线监测设备, 采用直接监测与物料衡算交叉校验方式, 保证数据真实可靠。建立碳排放台账电子化管理流程, 按期完成数据汇总、校核与报送, 夯实碳排放精细化管理的数据底座。(2) 优化碳交易与减排规划: 主动融入全国碳排放权交易市场, 按时完成碳配额履约清缴, 动态跟踪碳价走势。综合测算不同工序碳减排边际成本, 科学排布年度减排项目优先序, 制定兼顾成本效益与合规风险的碳交易策略。探索碳配额置换、碳质押贷款等碳金融工具应用, 盘活碳资产, 降低企业碳管控综合成本。

3.3 依托智能技术升级环保管控能力

(1) 搭建智能环保监测系统: 在主要排放口、无组织排放高发区及厂界敏感点部署智能传感器网络, 依托5G高速通信实现海量监测数据实时回传, 结合边缘计算节点进行前端数据预处理与异常研判, 实现污染物排放及碳排放浓度的全天候、全方位自动监控。建立阈值分级预警机制, 针对不同超标程度推送差异化处置指令, 确保预警响应闭环高效。(2) 推进环保管控数字化转型: 建设环保大数据一体化智慧管控平台, 打通环保监测、能源管理、生产执行等系统数据接口, 实现污染物排放数据、能耗数据、碳排放数据的同平台集中存储与交互分析。运用趋势分析、异常溯源等数据挖掘工具, 精准定位排放异常根因, 辅助环保决策从经验判断转向数据驱动, 全面提升管控精准度和响应时效^[5]。

3.4 健全企业转型保障措施

(1) 制度保障: 系统梳理和修订企业内部低碳环保管理制度, 建立覆盖生产全过程的能耗、环保、碳排放综合考核评价体系。逐级签订节能环保目标责任书, 将考核结果纳入各级管理人员绩效评价, 压实岗位管控责任。设立环保问题举报与内部督察机制, 确保制度刚性执行。(2) 技术与人才保障: 深化产学研用协同创新,

联合高校及科研院所开展冶金低碳环保关键技术攻关, 加快先进适用技术成果在企业端的转化落地。引进和培养一批掌握碳核算、碳交易、CCUS、智能环保等专业技能的复合型人才, 组建低碳环保专职团队, 常态化开展技术培训与业务能力提升, 强化技术落地与日常管控的人力基础。(3) 资金与政策保障: 主动对接国家及地方碳达峰碳中和扶持政策, 积极申报绿色制造、节能改造等专项资金支持。设立企业低碳转型专项基金, 统筹安排年度节能改造、环保设施升级、智能管控系统建设等项目预算。探索绿色信贷、绿色债券等多元化融资渠道, 拓宽资金来源, 为企业长效转型提供持续稳定的资金保障。

结束语

本文系统剖析了双碳背景下冶金企业能源消耗、碳排放及环保管控的现存问题, 针对性提出能源结构升级、工艺节能改造、智能管控赋能、循环经济落地的优化路径, 配套完善全流程环保管控体系与制度、技术、资金多维保障措施。研究成果可有效解决冶金企业高耗高排痛点, 助力企业精准控碳、合规治污。未来可持续深耕低碳新技术融合应用, 进一步完善行业低碳转型体系, 赋能冶金产业绿色长效发展。

参考文献

- [1] 姜周华, 杨策, 朱红春. 氢冶金炼钢技术的研究现状与低碳发展展望 [J]. 钢铁, 2024, 59(03): 183-196.
- [2] 史志伟, 白凤荣. 双碳背景下钢铁冶金节能技术改造与能源优化研究 [J]. 山西冶金, 2024, 47(03): 107-108.
- [3] 张盟, 俸曾, 胡航. 双碳目标下我国氢冶金技术发展及减碳潜力评估 [J]. 冶金设备, 2025, 25(02): 102-108.
- [4] 王海风, 卢立金. 钢铁冶金流程节能降碳关键技术与能源系统优化策略 [J]. 中国冶金, 2024, 34(07): 45-52.
- [5] 刘青, 李宏扬. 双碳约束下冶金企业环保治理升级与全过程管控模式 [J]. 环境工程技术学报, 2025, 15(04): 1120-1128.