炼铁冶金环保与节能技术研究

徐本桥　都胜朝　陈瑞锋
武汉钢铁有限公司　湖北　武汉　437000

摘　要：炼铁冶金作为钢铁工业核心领域，具备高能耗、高污染、工序繁杂的生产特征，能耗损耗与污染物排放贯穿生产全流程。本文以高炉冶炼主流工艺为研究基础，系统梳理生产能耗分布与污染产出规律，深度剖析行业能耗浪费、污染治理薄弱、余热回收不足、管控模式粗放等核心问题。结合各类节能环保技术应用现状及短板，立足生产实际提出工艺升级、污染治理、能源回用等优化路径，有效提升冶金生产节能环保水平，为行业绿色低碳发展提供参考。

关键词：炼铁冶金；节能工艺；环保治理；余热回收；资源循环

引言：炼铁冶金是支撑钢铁产业及国民经济发展的基础性产业，连续化高温生产模式使其能耗与排污压力突出。当前行业传统生产工艺老旧、治理技术适配性不足、资源回收体系不完善，节能环保短板日益凸显，无法适配工业绿色低碳发展趋势。本文通过梳理生产工艺特征、排查技术应用弊端、剖析现存核心问题，构建系统化优化体系，旨在解决行业高能耗、重污染、低资源化的发展痛点，助力冶金产业转型升级。

1 炼铁冶金生产工艺与节能环保特征

1.1 炼铁冶金主流生产工艺流程

现代炼铁冶金以高炉冶炼体系为核心主体工艺，生产连续性强、工序衔接紧密，主要分为原料预处理、高炉冶炼、炉渣处理、产物输送四大工序。原料预处理针对铁矿石、焦炭、熔剂等原料开展筛分、配比、烧结作业，将粉状原料制成块状烧结矿，优化物料透气性，为高炉还原反应提供稳定物料条件[1]。预处理后的物料送入高炉，通过焦炭燃烧提供1300~1500℃高温热源，实现铁矿石脱氧、还原、熔化分离，生成铁水与炉渣。铁水排出后输送至炼钢工序，炉渣则经排渣设备排出，进入冷却、分选流程，整套流程形成闭环连续化冶金作业模式。各工序相互耦合、相互影响，任一环节工况波动，都会直接影响整体能耗与排污水平，具备显著的系统性生产特征。原料品质波动、设备运行偏差都会连锁引发炉内工况变化，进一步增加能耗波动与污染物排放不确定性。

1.2 炼铁冶金生产能耗产生环节

炼铁冶金能耗覆盖全生产链条，各环节能耗特征差异明显。原料预处理阶段的破碎、筛分、烧结设备持续运行，消耗大量电能与热能。高炉冶炼为核心高能耗环节，焦炭燃烧、热风输入、炉体恒温、鼓风送风是主要能耗来源，同时炉体散热、高温烟气与热态炉渣外排，造成大量热能散失。物料转运设备长期高负荷运转，产生持续电能损耗。此外，烟气处理、水循环、设备冷却等辅助系统不间断运行，形成稳定隐性能耗损耗，构成全方位能耗格局。其中高炉冶炼能耗占全厂总能耗七成以上，是节能降耗攻坚的核心关键环节，节能优化潜力最为突出。同时大量低品位余热、余压能源未被有效利用，进一步拉大了行业节能降耗的提升空间。

1.3 炼铁冶金生产污染产出特点

冶金高温作业产生多类型、持续性、扩散性污染物，各工序污染特征差异化显著。高炉冶炼产生含粉尘、硫化物、氮氧化物的工艺烟气，是大气污染主要来源；原料破碎、筛分作业易产生无组织扬尘；冶炼废渣、废弃辅料形成固态污染物，堆放转运易造成颗粒扩散；设备冷却、工艺水循环产生含杂质、微量化学组分的工业废水。整体而言，冶金污染物全时段持续排放，高温环境进一步扩大污染扩散范围，提升治理难度。各类污染物相互叠加、同步排放，不仅破坏厂区生产环境，也大幅增加末端环保治理与运维成本。无组织污染分散性强、管控难度大，是当前冶金环保治理难以根治的重点难点问题。

2 炼铁冶金生产环保与节能现存问题

2.1 生产工序能耗浪费问题突出

冶金连续化生产模式下，各环节无效能耗、冗余能耗、隐性能耗问题普遍存在。原料预处理设备参数固定，无法随原料品质、体量动态调参，频繁空载、低负荷运行造成电力浪费。高炉温度调控精度不足，炉温常超工艺标准，多余热能持续散失。工序衔接、设备启停缺乏智能管控，设备长期待机耗能[2]。物料输送设备运行模式单一，无负荷时段仍高负荷运转。同时，设备长期

运行出现磨损、密封松动等问题，作业效率下降，单位产品能耗持续升高。这类隐性、碎片化能耗损耗长期被忽视，逐步累积形成显著的整体能源浪费，制约企业节能降本成效。多数企业仅关注显性能耗，对设备低效运行、热损耗等隐性能耗缺乏精准排查与治理手段。

2.2 废气废渣污染物治理存在短板

行业废气废渣治理体系较为基础，存在精准治理不足、深度处置欠缺、二次污染防控薄弱等问题。现有废气设备对微细粉尘、轻质气态污染物拦截效果差，细小污染物易穿透设备外排；设备运维不到位，滤网、吸附构件易堵塞失效，净化效率持续下降。炉渣仅做简单冷却、堆放处理，有价组分无法回收利用。废渣堆放防护不足、转运密闭性差，易出现扬尘飘散、物料散落，引发二次污染。粗放的治理模式仅能满足基础合规要求，无法实现污染物精细化根治，难以适配日趋严苛的环保排放标准。老旧治理设备适配性差、运维体系不完善，导致长期治理效果不稳定、达标波动风险较高。

2.3 余热余压资源回收利用不足

高炉生产产生大量余热余压资源，但厂区存在回收范围窄、捕获能力弱、转化效率低的问题。现有设备仅能回收高温烟气热量，中低温余热、炉渣冷却余热基本全部散失。余压回收设备仅覆盖高炉核心区域，生产辅助环节压力资源无法归集转化。回收设备布设存在盲区，且工况适配性差，难以匹配连续化生产节奏，大量可再生能源资源无谓损耗。大量低品位能源资源未得到有效利用，既造成能源浪费，也降低了企业能源综合利用效率与生产经济效益。国内多数钢铁企业能源回收体系不完整，低品位能源回收技术短板尤为突出，资源集约化利用水平偏低。

2.4 现场环保节能管控模式粗放

多数冶金厂区沿用粗放式管控模式，精细化、智能化管控手段缺失。厂区管控标准统一固化，未结合各工序能耗、排污差异制定分区方案。一线作业缺乏标准化约束，不规范操作人为增加能耗与排污。隐患排查仅关注显性问题，设备低效运行、微小泄漏等隐性问题难以发现。管控以事后整改为主，前置预判、动态调控、源头防控体系缺失。同时，节能环保台账数据简略、更新滞后，无法支撑精细化管控落地。管控体系的滞后性，是行业节能环保水平难以持续提升、技术改造成效无法充分发挥的核心管理诱因。粗放管理导致各类先进节能环保技术无法发挥最优效能，形成技术投入与治理成效不匹配的问题。

3 炼铁冶金环保与节能技术类型及应用短板

3.1 烟气治理与废气净化技术应用局限

现有烟气净化技术多适配常规平稳工况，具备工况适配弱、处理维度单一、调控灵活度低的短板。技术以物理过滤、吸附为主，对微米级微细烟尘、复合气态污染物净化能力不足[3]。设备运行参数固定，无法适配冶炼负荷与烟气量波动，高负荷生产时段治理能力不足。老旧设备组件容量有限，长期运行易堵塞、饱和、失效，且单一工艺无法同步处理多组分污染物，综合治理效果有限。技术适配性不足导致工况波动时废气治理稳定性差，极易出现阶段性排污超标风险。传统烟气治理技术缺乏自适应调节能力，面对冶炼负荷波动无法动态匹配处理能力，治理容错率极低。

3.2 固废处理与资源回用技术存在不足

当前固废处理技术重无害化、轻资源化，深度回用能力不足。炉渣、除尘灰等固废多以堆放、填埋处置为主，有价金属、矿物质组分无法分离提取。固废分选提纯设备适配性差、分选纯度低，难以满足再生利用标准。部分高端资源化技术流程繁琐、成本偏高，仅适用于小规模处置，无法适配冶金规模化连续生产场景，推广应用受限。固废资源化利用率偏低，不仅浪费矿产次生资源，也增加厂区固废仓储与处置的环保压力。固废资源化技术落地性弱、经济性不足，是制约冶金固废循环利用、降本减污的关键技术瓶颈。

3.3 传统炼铁节能工艺的应用弊端

传统节能工艺优化维度单一，存在适配性弱、联动性差、优化深度不足等弊端。工艺仅聚焦设备、工序表层优化，未深入调控冶炼核心反应能耗。参数固化死板，仅适配单一原料配比与生产负荷，原料品质波动时节能效果大幅衰减。老旧工艺适配低产能生产线，无法匹配现代高负荷连续生产模式，且忽略工序能耗联动效应，易出现能耗转移，整体节能空间有限。浅层优化模式无法从根源改善冶炼能耗结构，长期节能增效效果薄弱，难以适配低碳生产需求。传统工艺缺乏系统性能耗调控逻辑，只能实现短期局部降耗，无法达成全流程长效节能效果。

3.4 能源回收与循环利用技术短板

传统能源回收体系资源覆盖窄、转化层级低、传输损耗大。余热回收仅针对高温热源，中低温低品位余热捕获效率极低。余压回收设备覆盖范围有限，辅助生产环节压力资源无法利用。能源转化设备效率偏低，二次能源产出量有限。同时，厂区管网布局不合理、保温不足，能源传输过程中热能、压力损耗严重，大幅降低资源循环利用率。能源回收体系的碎片化问题，导致生产

端大量可循环能源白白损耗，能源集约利用水平难以提升。老旧能源回收系统集成度低、覆盖不全，无法匹配现代化冶金全链路能源循环利用需求。

4 炼铁冶金环保与节能技术优化提升路径

4.1 炼铁冶金生产节能工艺升级优化

针对传统节能工艺短板，搭建全流程、系统化、智能化节能体系。建立原料品质与工艺参数联动调控机制，根据原料特性动态调整炉温、热风强度、进料节奏等核心参数，削弱工况波动对能耗的影响。树立全流程节能理念，统筹各工序能耗关联，规避局部优化带来的能耗转移问题[4]。精简冗余工序，优化设备启停、工序衔接节奏，杜绝设备空载耗能。引入智能调控系统，实时采集工况数据、匹配最优参数，细化能耗考核指标，实现全流程精准降耗。通过系统性工艺升级，可从源头优化冶炼能耗结构，实现稳定、长效的节能降本效果。智能化联动调控能够有效适配复杂生产工况，彻底解决传统工艺参数固化、适配性差的核心问题。

4.2 冶金污染物无害化处理技术改进

从设备、工艺、流程三方面，构建精准化、深度化、资源化污染治理体系。搭建多级协同烟气净化系统，集成除尘、脱硫脱硝、吸附净化功能，实现多组分污染物深度治理。增设设备自适应调控功能，根据冶炼负荷动态调整净化强度，保障烟气稳定达标。升级固废分选提纯设备，回收炉渣、除尘灰中有价组分，推动固废资源化利用。优化固废流转与全封闭防护体系，缩短堆放周期，从源头杜绝二次污染。一体化治理模式可兼顾污染防控与资源回用，实现环保效益与资源效益双向提升。多技术协同治理模式有效弥补单一工艺的治理短板，大幅提升复杂工况下污染物治理的稳定性与彻底性。

4.3 余热余压资源循环利用技术升级

为改善能源回收低效问题，构建全覆盖、高精度、高效率的能源循环体系。拓宽余热回收范围，新增中低温烟气、炉渣余热采集装置，补齐低品位余热回收短板。延伸余压回收设备布设范围，实现全生产链路余压资源归集。升级能源转化设备，提升热能、压能转化利用率。优化厂区能源管网，降低传输损耗。依托大数据搭建动态调控机制，匹配生产工况调整设备参数，最大化挖掘能源回收潜力。全域化能源循环体系可充分盘活废弃能源资源，有效提升厂区能源自给率与综合利用水平。全品类、全链路的能源回收模式，能够最大限度减少能源损耗，提升企业生产节能效益与低碳水平。

4.4 构建精细化智能节能环保管控体系

摒弃粗放管控模式，搭建精细化、智能化、前置化全流程管控体系。结合各工序工况差异，制定分区差异化管控方案，实现靶向治理。完善标准化作业流程，强化人员培训，杜绝人为操作带来的能耗与排污超标。优化隐患排查体系，新增隐性能耗、微小泄漏专项排查。搭建实时监测平台，实现风险前置预判、动态调控。细化节能环保台账数据管理，以精准数据支撑工艺优化与节能改造。智能化、数据化管控可有效补齐传统管理短板，规范全厂节能环保生产工况，助力企业建立长效稳定的绿色生产管控机制。

结束语

炼铁冶金节能环保改造是行业绿色低碳发展的关键举措，当前行业普遍存在能耗浪费、治理薄弱、资源回收不足及管控粗放等问题。本文系统梳理冶金生产特征与技术短板，针对性提出工艺升级、污染治理、能源回用、智能管控等优化路径。整套方案贴合生产实际，可有效降低生产能耗与污染排放，提升资源利用率，为钢铁企业绿色转型提供可靠参考。

参考文献

[1]芮月新.炼铁冶金环保与节能技术研究[J].山西冶金,2022,45(5):86-87,110.

[2]赵彬.炼铁冶金环保与节能技术研究[J].山西冶金,2022,45(7):82-84.

[3]刘晓静.高炉绿色冶炼炼铁工艺环保技术及节能降耗研究[J].工业炉,2026,48(2):40-45.

[4]袁野,宋腾宇,张红印,等.冶金技术在钢铁工业低碳发展中的应用研究[J].中国金属通报,2025(5):7-9.