

河北省钢铁行业转型金融支持经济活动目录（2025年版）

领域	内容或路径	技术/标准/说明	相关冶金工程技术说明	
			参考技术及简介	应用实绩
1. 系统能效提升	1.1 上升管余热回收	利用上升管换热器将焦炉荒煤气与除盐水进行热交换，产生饱和蒸汽，将荒煤气的部分显热回收利用。《焦炉上升管荒煤气显热利用技术规范》（YB/T4723-2018）	1.1.1焦炉上升管荒煤气余热高效高品位回收技术。将原有的焦炉上升管替换为上升管换热器，约800℃的荒煤气流过上升管换热器将热量传递给强制循环的传热媒介，例如循环水、被加热蒸汽、低温导热油，传热媒介吸收热量，分别可产生压力≥4.0MPa中高压饱和蒸汽、400℃以上过热蒸汽，达到将荒煤气降温的目的。产生的中高压饱和蒸汽、过热蒸汽、高温导热油等分别输送至热用户，替代原燃烧焦炉煤气的脱苯管式加热炉等。	焦炉上升管余热回收技术已在宝钢、首钢、包钢、韩国现代钢铁等一批大型企业，百余座焦炉上得到应用。安钢焦化厂在2座6米焦炉和2座7米焦炉上应用，产生0.8MPa（表压）230℃的过热蒸汽约90Kg/t，年回收过热蒸汽20万吨，项目运行稳定。山东泰山钢铁项目5.5米2×65孔130万吨/年焦炭产量焦炉上升管余热利用项目，每年产生0.8-1.2MPa饱和蒸汽13万吨以上，合计节约标准煤：16584tce/a。
	1.2 烧结漏风率综合治理	烧结机机头、机尾密封板、台车滑道、润滑系统、风箱及卸灰阀等密封改造。参考标准《铁矿粉烧结工艺漏风率测试方法》（YB/T4784.1-2019）《钢铁企业超低排放改造技术指南》。		
	1.3 水封式烧结环冷机	烧结机环冷机采用上下水密封或机械密封或/整体封闭的治理措施，从源头上达到了环冷机超低排放标准。参考标准《钢铁企业超低排放改造技术指南》《水封式烧结环冷机》等。	1.3.1环冷机液密封技术。通过两相动平衡密封技术、高效传热技术、气流均衡处理综合技术、复合静密封技术以及高温烟气循环区液体防汽化技术，减少环冷机漏风率，降低鼓风机电耗，增加环冷蒸汽产量。	宝山一二烧结环冷设备应用，实现余热回收产蒸汽80kg/t-矿(1.8MPa，270℃)以上，降低烧结工序能耗约0.4 kgce/t。

注：目录是在《河北省钢铁行业转型金融支持技术目录（2023—2024版）》基础上，按照中国人民银行转型金融相关工作要求，结合河北省实践成果，编制而成。目录分为三个层级：

1. 一级目录将转型金融支持的降碳经济活动划分10大领域：系统能效提升、清洁能源替代、资源循环利用、环保减排改造、流程优化再造、冶炼技术突破、数字化赋能、碳回收利用、产品结构优化、绿色低碳产业链建设等。

2. 二级目录为53项技术路径，明确了各降碳活动领域的技术发展方向。

3. 三级目录为135项具体参考技术，列举了各技术发展方向下，行业主管部门认可的具体技术和应用实绩。

领域	内容或路径	技术/标准/说明	相关冶金工程技术说明	
			参考技术及简介	应用实绩
1. 系统能效提升	1.4 烧结返矿冷压球团矿	烧结返矿冷压球团采用烧结矿返矿、铁精粉等含铁物料加入粘合剂后进行搅拌混匀，冷压成型。烘干后，各项质量指标均能满足高炉生产要求。参考标准《产业结构调整指导目录（2024年本）》《烧结返矿冷压球团》等。		
	1.5 球团固相换热显热回收	利用炉内换热器将高温球团矿与除盐水直接进行热交换，产生过热蒸汽，实现高温球团矿显热的高效回收。热交换过程无废气、废水产生，减少钢厂热污染，环保效果突出。参考标准《高耗能行业重点领域节能降碳改造升级实施指南（2022年版）》（发改产业〔2022〕200号）。		
	1.6 高炉大比例球团冶炼	推动能效低、清洁生产水平低、污染物排放强度大的步进式烧结机、球团竖炉等装备逐步改造升级为先进工艺装备。参考《高耗能行业重点领域节能降碳改造升级实施指南（2022年版）》（发改产业〔2022〕200号）。		
	1.7 高炉炉顶均压煤气回收	高炉均压煤气采用自然回收和强制回收流程。炉顶均压煤气强制回收工艺流程中引射器位于除尘器后端，即后引射法，引射器也可布置在除尘器前端，即前引射法，优先选用后引射法；若回收时间无法满足炉顶作业率要求时，可采用“前+后引射法”。		
	1.8 转炉烟气一次干法净化回收	通过蒸发冷却把约1000℃的烟气降温到约250℃并进行粗除尘，通过静电除尘器对烟气精除尘，再通过风机进入烟囱或进入煤气冷却器对烟气进一步降温后回收利用。		
	1.9 转炉烟气全温域余热回收	转炉工艺产生的高温烟气（1450-1600℃）通过汽化冷却烟道降温到900-1000℃，再经过设置火种捕集装置、高温泄爆、余热锅炉实现中低温余热资源的回收，充分降温后经除尘回收或放散。参考《高耗能行业重点领域节能降碳改造升级实施指南（2022年版）》（发改产业〔2022〕200号）。		
	1.10 电炉烟气显热回收	电炉在炼钢瞬间会产生大量的高温烟气，通过燃烧沉降室、余热锅炉、除尘器等主要设施，回收电炉余热并对烟气进行净化后排放。参考标准《钢铁企业节能设计标准》（GB/T-50632-2019）《钢铁行业（炼钢）清洁生产评价指标体系》等。		

领域	内容或路径	技术/标准/说明	相关冶金工程技术说明	
			参考技术及简介	应用实绩
1. 系统能效提升	1.11 高效煤气发电	回收钢铁生产中伴生的富余焦炉煤气、高炉煤气和转炉煤气，通过采用双超、超高温亚临界等高效煤气发电机组，以燃烧的形式将化学能转化为电能输出。参考《“十四五”工业绿色发展规划》（工信部规〔2021〕178号）。参考标准《钢铁企业副产煤气发电技术规范》（YB/T4881-2020）。	1.11.1 低热值煤气高效发电技术。针对钢铁、有色、化工等行业企业富余低热值煤气利用效率低的问题，开发适用30-150兆瓦小容量机组超高压、亚临界和超临界系列低热值煤气高效发电技术，将富余低热值煤气送入煤气锅炉燃烧，产生蒸汽送入汽轮发电机组做功发电，提高低热值煤气利用效率。	广西盛隆有限公司粗钢产能约1200万吨/年，生产用能约660万吨标准煤/年，产富余煤气80~120万标立方米/年。采用超临界一次再热技术，主蒸汽参数达24.2兆帕，并采用一键启停、煤气锅炉自动燃烧控制等技术进行节能改造。实施周期1年。改造完成后，据统计，145兆瓦机组发电量近12亿千瓦时/年，折合节约标准煤37.2万吨/年，减排CO ₂ 103.1万吨/年。投资回收期16个月。预计到2025年行业普及率可达到10%。可实现节约标准煤480万吨/年，减排CO ₂ 1330.8万吨/年。
			1.11.2 高效超超临界煤气发电技术。选用高效超临界煤气发电技术，替代低参数、高能耗、低效率、老化严重的低参数汽轮机，高效超临界煤气发电主蒸汽额定压力24.2MPa(a)，主蒸汽额定温度600℃，配套超临界参数直流炉，单炉膛、平衡通风、一次再热燃气锅炉及高效超临界、一次再热、单轴、单排汽、凝汽式。可提高高炉煤气的使用效率。	国内已有多家钢铁公司应用。超高效超临界机组全厂热效率纯凝工况下为43.5%，相比现有高温高压机组效率（平均热效率约29%）提升约50%，改造后全厂新增年供电量3.29×108kW.h。
	1.12 低温余热有机工质朗肯循环（ORC）发电	基于有机朗肯循环（ORC）原理，通过蒸发器回收95-300℃的热水、热液、蒸汽、烟气中的低温余热，通过向心涡轮和发电机将热量转换成高品质电能。参考标准《低温余热双循环发电装置》（GB/T37819-2019）、《低温双循环余热回收利用装置性能测试方法》（GB/T40286-2021）等。	1.12.1 烧结环冷废气低温余热利用（ORC发电+热水）技术。对环冷机三、四段产生的100-220℃左右的热废气送入热交换器内进行热回收，生产热水，或直接用于蒸发ORC工质，驱动ORC机组发电。	宝钢宝山三烧结进行应用，吨烧结矿可发电3kWh左右，工序能耗可下降0.1kgce/t-s。
			1.12.2 高速磁浮ORC发电技术。利用80-350℃中低温废热以及冷媒介质低沸点特性，结合高速磁浮发电机、涡轮机、热力、机械、电力电子技术，经系统优化整合而成低温发电系统。预热器、蒸发器接受热源(>80℃的水或低压蒸汽)的热量，将有机工质（R245FA）加热成高压的蒸气，然后进入膨胀机推动转子做功，同时降温降压，再进入冷凝器冷凝成液体，液体被工质泵升压，进入预热器、蒸发器，完成一轮循环。从而可将低品位热能转换为高品位的电能。	宝山钢铁股份有限公司应用蒸汽差压高速磁浮发电实施效果：产低压蒸汽流量25-65吨/小时，年净发电量176万度（年按8000小时运行），年节约标煤563吨。

领域	内容或路径	技术/标准/说明	相关冶金工程技术说明	
			参考技术及简介	应用实绩
1. 系统能效提升	1.13电机、变压器、水泵、风机等公辅设施能效提升	应用高效节能电机、变压器、水泵、风机产品，合理配置电机功率，开展压缩空气集中群控智慧节能、液压系统伺服控制节能、势能回收等先进技术研究应用等，提高公辅设施能效水平。参考《电机能效提升计划（2021-2023年）》《变压器能效提升计划（2021-2023年）》。参考标准《电动机能效限定值及能效等级》（GB18613-2020）、《电力变压器能效限定值及能效等级》（GB20052-2020）。	1.13.1转炉除尘风机节能控制技术。基于大数据分析和智能控制理论，通过研究不同工艺条件下电机和负载匹配关系、控制策略优化等来实现电机系统节能最优化。针对转炉除尘工艺优化，转炉每个冶炼周期为30min左右，吹炼时间和装、出料的时间基本各占一半，风机在转炉吹炼时高速运行，在吹炼后期及补吹时中速运行，而在出钢和装料期间可将速度降低，即能满足转炉冶炼工艺要求，又能实现节能。	梅钢2#高炉原有工频风机改造为变频，并应用本技术对工艺控制流程进行优化。其出铁厂1号除尘风机节电率为10.5%，节电量126万kWh，节约电费63万。鞍钢股份炼钢总厂2020年将部分脱硫、LF炉除尘风机改为永磁调速控制，并应用本技术对工艺控制流程进行优化。年节电量405万kWh，降耗497.7t标准煤。
			1.13.2闭式冷却塔变频控制节能技术。采用温度传感器与压力变送器对闭式冷却塔的换热量变化进行数据采集，将数据传输到变频器，使用模糊算法，动态调节循环水泵、风机的频率，实时调整源头发热量与冷却塔的换热量之间的平衡，实现冷却塔运行效率最优化。	江苏某公司33#轧机配套闭式循环系统（KBL-40S-A）配置电机，全天24小时运行，全年运行300天左右。对控制系统进行数字化变频节能改造，实施周期1个月。改造完成后，每台设备可节约电量26.8万千瓦时/年，折合节约标准煤83.1吨/年，减排CO2 230.4吨/年，投资回收期5个月。预计到2025年行业普及率可达到50%。可实现节约标准煤9万吨/年，减排CO2 25万吨/年。
			1.13.3磁悬浮离心鼓风机节能技术。利用可控电磁力将电机转子悬浮支撑，由高速永磁同步电机直接驱动高效三元流叶轮，省去传统齿轮箱及皮带传动机构，机械传动无油润滑、无接触磨损，具有功耗低、转速高、噪音低、寿命长等特性；通过信息化智能控制系统，可随时根据工况自动调整运行参数，大幅度提升系统运行能效水平，实现整机远程运维、故障诊断和维修调试、无人值守等功能。	适用于工业风机节能技术改造。预计到2025年行业普及率可达到25%。可实现节约标准煤77万吨/年，减排CO2 213.5万吨/年。
			1.13.4电机变频（永磁）调速节能技术。通过增加变频器或永磁调速装置，对电机运行频率或其拖动负载的转速进行调节，实现按电机拖动设备经济用能需求进行能源供给，做到电机运行节电。典型拖动设备如各种风机（助燃风机、除尘风机）、水泵（氨水泵、层流冷却水泵）、容积式空压机、皮带轮等设备的电机。 永磁涡流柔性传动调速装置在电动机旋转时带动导体盘在装有强力稀土磁铁的永磁盘所产生的强磁场中切割磁力线，因而在导体盘中产生涡电流，该涡电流在导体盘上产生反感磁场，拉动导体盘与永磁盘的相对运动，从而实现了电动机与负载之间的转矩传输。该设备是通过调整导体盘和永磁盘之间的气隙大小，来实现电动机和负载之间的扭距控制，从而对负载实现速度的调节，达到调速节能的功能。	宝钢宝山基地1880热轧等应用，助燃风机系统节电率为23%，排烟风机系统节电率为20.9，平均节电率8-25%；北营炼钢厂结晶器回水上塔泵，通过永磁调速器根据铸机实际用水情况调节工作水泵的转速，节约因水泵工作在非高效区及克服阀门阻力的功率损耗，平均节电率约为22%。

领域	内容或路径	技术/标准/说明	相关冶金工程技术说明	
			参考技术及简介	应用实绩
1. 系统能效提升	1.13 电机、变压器、水泵、风机等公辅设施能效提升	应用高效节能电机、变压器、水泵、风机产品，合理配置电机功率，开展压缩空气集中群控智慧节能、液压系统伺服控制节能、势能回收等先进技术研究应用等，提高公辅设施能效水平。参考《电机能效提升计划（2021-2023年）》《变压器能效提升计划（2021-2023年）》。参考标准《电动机能效限定值及能效等级》（GB18613-2020）、《电力变压器能效限定值及能效等级》（GB20052-2020）。	1.13.5高性能低压变频器。通过将工频电压转换为直流电压，然后将直流电压再转化为可变频率可变幅值的电压，从而改变电机输入电压，可在满足转速、力矩情况下匹配电机负载自适应调节，对运行功率、效率进行动态优化，实现对交流异步电机调速，有效降低电机系统能耗。	新抚钢棒线材生产线改造项目:生产过程中，物料分批次逐步进入连续生产线，对于生产线上所有设备都处于断续工作制，生产过程存在大量负荷冲击过程。新抚钢棒线材生产线共150余台低压变频电机，整条生产线设计供电功率为20兆瓦，采用国产高性能低压变频技术进行节能改造,,实施周期三个月。改造完成后，由于交流电机免维护，且省去冷却水部分，每年减少运维成本，交流电机效率比直流电机高2%-3%，可节电107万千瓦时/年，综合节约标准煤331.7吨/年，减排CO2 919.6吨/年,投资回收期3年。预计到2025年行业普及率可达到5%。可实现节约标准煤13万吨/年，减排CO2 36万吨/年。
			1.13.6旧电机永磁化再制造技术。适用于矿山、冶金、机械、石油、化工、建材、陶瓷、纺织设备电机节能改造。对三相异步电动机的转子上重新加工改造，将磁钢表贴于转子上，使其变成了具有自启动功能的三相永磁同步电动机。三相异步电机改造成永磁电机后结构简单,使用和维护方便、具节能的特点，且实现了电机自启动，改造后的电机节电率可达10%-30%。	再制造后电机较未进行再制造的电机相比较，再制造后电机每千kW 全年可节电68万kWh，全年节约标煤8.357万t，减少CO2排放5.82万t。
			1.13.7冷却塔水电双动力风机节能技术。由水能机和补偿电机构成的水电双动力节能风机系统，使得冷却塔风机系统具有水能机和补偿电机双动力，将循环水系统富余的压力转换为动能驱动风机运转，在确保冷却塔完全满足生产工艺冷却降温的同时，节省电耗。整套设备动能以系统回水余能驱动水能机为主，动力补偿为辅。	已在包括钢铁冶金、石油化工等行业近百家企业的新建冷却塔或已安装冷却塔上应用。水电双动力节能技改后，节电率达到70%以上。
			1.13.8绕组式永磁耦合调速器技术。绕组式永磁耦合调速器是一种转差调速装置，由永磁外转子、绕组内转子及控制系统组成，永磁外转子与绕组内转子有转速差时，绕组中产生感应电动势，控制绕组中感应电流，实现调速和软起动，转速滑差形成能量引出发电，回馈到用电端再利用，实现节能提效。	天津钢铁（集团）有限公司烧结厂630千瓦配料除尘风机采用调速型液力耦合器进行风机调速，耗电量304.2千瓦时/小时，1400千瓦成品除尘风机采用调速型液力耦合器进行风机调速，耗电量934.7千瓦时/小时。采用绕组式永磁耦合调速器替换原有调速型液力耦合器。实施周期三个月。改造完成后，单位能耗显著降低，节电率27.4%，节约标准煤428.2吨/年，减排CO2 1187.2吨/年,投资回收期14个月。预计到2025年行业普及率可达到1%。可实现节约标准煤81万吨/年，减排CO2 224.6万吨/年。
			1.13.9新型开关磁阻调速电机系统。机体采用凸极定子和凸极转子双凸极结构，定子绕组集中、结构开放，散热快温升低，转子不设绕组、永磁体、滑环等部件，转动惯量小，铁损、铜损及励磁损耗较小，功率因数高，通过电子无刷换向，保证电机效率、稳定性、可靠性和使用寿命。	预计到2025年行业普及率可达到40%。可实现节约标准煤20万吨/年，减排CO2 55.5万吨/年。

领域	内容或路径	技术/标准/说明	相关冶金工程技术说明	
			参考技术及简介	应用实绩
1. 系统能效提升	1.14建设能源管理中心	建设数据中台及能源管控平台，打通企业各环节数据，解决钢铁企业数据孤岛、以及内部数据统计分析困难等问题，提高能源管理效率。参考标准《能源管理体系要求》（GB/T23331-2009）《钢铁企业能源管理中心技术规范第1部分：一般要求》（YB/T4360.1-2022）。	1.14.1钢铁智慧能源管理系统。与周边系统建立通讯接口，实现与生产、设备、用能过程深度在线融合，进行装置级、系统级及多系统联合优化。具体体现在多介质系统综合平衡、工序之间的供需协同、区域物流-能流的协同等多个方面，采用智慧模型和机器学习等技术，以时空扩展为基础。建立智慧能源管理平台，实现多能源介质智能调度和精细化能源管理需求，重点分析和跟踪相关单元能源消耗、能效指标、异常因素等相关变量，提高钢铁企业能源领域的数字化、网络化、智能化。	目前在宝钢、首钢京唐、马钢、太钢等多地得到应用。随着智能制造的逐步深入和钢铁业数字化转型的深入，能源中心建设进展顺利，智慧能源管理系统应用将更加迫切。湛江钢铁实施智慧能源信息化项目，结合生产工艺特点和物料能源消耗实际数据，实现全公司、各工序碳排放总量、强度月度在线统计核算功能。项目完成后实际的能源加工转化效率由2018年的93.8%提升到2021年的94.46%，提升了0.66%，节能量727.92万吨标煤，减碳量约24981吨。
	1.15钢铁企业转型升级搬迁		1.15.1大型焦炉和热风炉绿色生产用关键功能耐火材料集成技术。突破大型焦炉和热风炉用耐火材料系统综合配套、结构优化设计及过渡液相扩散法制备，焦炉炉门结构大型化，表面光滑，解决了原用小型砖材料的结构不稳定，密封不严气体外溢的环境污染问题。	高导热硅质材料其热导率较国外同类产品提高20%以上，耐压强度较既有硅质材料提高至少6%，保证炉墙材料结构性、功能性提升。整体技术应用，使焦炉节能达到20%~30%，排放减少15%~20%，出焦效率提高5%~10%。以宝钢50孔×4的焦炉为例，炼焦效率提高5%，年产量提高12.5万吨，年节约标煤2.07万吨、减少NOx排放430吨。
			1.15.2节能型炉盖技术。新型炉盖内设空气隔热层，可以降低炉盖部位的热损失，进而可以降低焦炉炉顶面温度。与传统炉盖相比，炉盖外表面温度从原来的350℃左右下降至210℃左右，改善炉顶作业区域的环境温度。	通过炭化室压力调节提高能源利用率，并减少烟尘逸散等环境问题，减少能源成本和环保投入，前景广阔。
	1.15钢铁企业转型升级搬迁	企业为了提升生产能效、降低污染排放而进行的转型升级搬迁项目。搬迁后的钢铁企业的设计标准应符合《高耗能行业重点领域能效标杆水平和基准水平（2023年版）》的能效标杆水平，并达到《关于推进实施钢铁行业超低排放的意见》（环大气〔2019〕35号）的钢铁行业超低排放标准。	1.15.3超厚料层烧结技术。超厚料层烧结主要利用料层自动蓄热的原理，通过上层物料的气流对下层物料进行加热，更多地利用料层物料燃烧产生的热量，实现低温烧结、低耗烧结，能促进复合铁酸钙的生成、改善烧结矿质量、提升技术经济指标。	已在国内多家钢铁公司实施应用，如宝钢、首钢、马钢、湘钢、汉钢、龙钢、泰钢等应用，并取得了较好的效果。汉钢烧结在超厚料层烧结实施后，烧结生产过程改善，烧结机日产增长8%，返矿率降低7.11%，固体燃料消耗降低2.99kg/t。本钢北营公司炼铁总厂实施了高比例精粉(磁铁矿)+厚料层烧结技术，300、360平烧结料层厚度达到750mm，400平烧结780mm，返矿率降低5.20%，固体燃料消耗降低3.2kg/t。
			1.15.4多功能烧结鼓风环式冷却机。以结合传统烧结环冷机技术与球团环冷机技术，集成高刚性回转体、扇形装配式焊接台车、风箱复合密封、上罩机械密封、动态自平衡卸料、全密封及保温等技术，有效增加通风面积，降低冷却风机电耗，增加余热发电量。	山西太钢不锈钢股份有限公司3号烧结环冷机于2006年投运，存在设备老化、漏风率高、余热回收效率低等问题，吨烧结矿冷却风机电耗大于12千瓦时，余热产气量小于65千克。利用多功能烧结鼓风环式冷却机替代原烧结环冷机。实施周期4个月。改造完成后，相较于原有环冷机设备，烧结矿冷却电耗减少2.6千瓦时/吨，余热产气量增加46.5千克；按烧结矿平均产量600吨/小时，年作业率96%计算，可节约电量5572万千瓦时/年，折合节约标准煤1.7万吨/年，减排CO24.7万吨/年。投资回收期为1年。预计到2025年行业普及率可达到50%。可实现节约标准煤16万吨/年，减排CO2 44.4万吨/年。

领域	内容或路径	技术/标准/说明	相关冶金工程技术说明	
			参考技术及简介	应用实绩
1. 系统能效提升	1.15钢铁企业转型升级搬迁	企业为了提升生产能效、降低污染排放而进行的转型升级搬迁项目。搬迁后的钢铁企业的设计标准应符合《高耗能行业重点领域能效标杆水平和基准水平（2023年版）》的能效标杆水平，并达到《关于推进实施钢铁行业超低排放的意见》（环大气〔2019〕35号）的钢铁行业超低排放标准。	1.15.5集成模块化窑衬节能技术。通过原位分解合成技术，制备气孔微细化、高强度、耐侵蚀的轻量化碱性耐火材料。将轻量化耐火制品、功能托板、纳米微孔绝热材料等分层组合固化在其各自能承受的强度和温度范围内，保证窑衬的节能效果和安全稳定。采用自改进机器人智能设备，对集成模块在回转窑内进行高效运输和智能化安装，大幅降低回转窑资源、能源消耗和污染物排放。	窑衬重量减少15%以上，节约回转窑主机电耗；提高检修效率、缩短检修时间、通过增加回转窑有效窑径提高产量。
			1.15.6烧结混合料料温提升技术。烧结混合机采用通大量蒸汽的方式预热混合料的热量利用率偏低，不仅造成蒸汽浪费，而且蒸汽中的水分对烧结过程造成影响。通过对制粒工艺优化（将传统一混加水、二混制粒造球和三混强化制粒的方式改为一混强力混匀、二混加水制粒造球和三混强化制粒方式），极大提高生石灰粉消化放热功效，全年烧结混合料温度保持在60℃以上，有效降低烧结固体燃料消耗。	酒钢4#烧结机年产量240万吨以上，实施烧结混合料料温提升技术，烧结矿固体燃料消耗降低1.1kg/t，折算标准煤节能减碳1.07kgce/t（折标系数0.9714）。
			1.15.7带式焙烧机技术。带式焙烧技术主要是指合格生球在带式焙烧机上完成干燥、预热、焙烧、均热、冷却全工序，与链-回-环三大主机相比，具有热损耗更低、高单机生产能力大、原料适应能力强、无结圈等优点。	首钢京唐有3座504m²带式焙烧机，年产量达1000万吨，热损耗更低。
			1.15.8高炉煤气放散塔新型点火伴烧技术。将高炉煤气引入燃烧器点火器，通过燃烧器中预置的催化棒，将高炉煤气催化，提高其燃烧性能，作为点火伴烧气源，替代焦炉煤气，在电弧作用下，燃烧器中火焰从原有的持续伴烧状态，改变为当有高炉煤气到达放散塔时再点火，撤销高耗能的持续伴烧，实现节能降耗。	湛江钢铁实施高炉煤气放散塔新型点火伴烧技术，实现零使用焦炉煤气点火伴烧，较实施前可每年节约388万m³焦炉煤气，节约2495t标煤，转换成动力煤3170t，按动力煤C02排放因子2.63计算，减少碳排放8337t。
			1.15.9热风炉富氧烧炉技术。热风炉燃烧时助燃空气中参与燃烧反应的是氧气（仅占20.7%左右的），其它气体对燃烧无助，在燃烧废气排放的过程中还会带走相当一部分热量。富氧烧炉通过提高助燃空气的含氧量，减少助燃空气使用量，在满足高炉所需高温的同时，节约能源，降低生产成本。	宝钢宝山基地四号高炉热风炉应用，实现吨铁利用放散氧气≥8.02Nm³/t-p，工序能耗降低量约1.4 kgce/t铁；鞍钢股份炼铁总厂1#、2#、10#高炉已实施，能够吸纳氧气放散，解决公司氮氧平衡问题，提高风温10℃，降低焦比2kg/t。
			1.15.10热风炉空煤气双预热技术。使用板式或管式或热管换热装置，热风炉烟气经过换热器与烧炉煤气和助燃空气进行热交换，预热煤气和助燃空气，从而将烟气余热加以利用，在保证高温的前提下，有效降低热风炉煤气单耗。	宝钢宝山基地四号高炉热风炉应用；助燃空气预热温度由165℃提高到185℃，煤气预热温度由159℃提高到185℃，烟气排放温度由159℃下降到140℃，高炉煤气消耗量减少。工序能耗降低4 kgce/t铁。

领域	内容或路径	技术/标准/说明	相关冶金工程技术说明	
			参考技术及简介	应用实绩
1. 系统能效提升	1.15钢铁企业转型升级搬迁	企业为了提升生产能效、降低污染排放而进行的转型升级搬迁项目。搬迁后的钢铁企业的设计标准应符合《高耗能行业重点领域能效标杆水平和基准水平（2023年版）》的能效标杆水平，并达到《关于推进实施钢铁行业超低排放的意见》（环大气〔2019〕35号）的钢铁行业超低排放标准。	1.15.11特大型高效节能高炉煤气余压回收透平发电装置。高炉煤气余压回收透平发电装置是利用高炉冶炼排放出具有一定压力能的炉顶煤气，使煤气通过透平膨胀机做功，将其转化为机械能，驱动发电机发电或驱动其他设备。开发了一套高效大通流宽工况高载荷弯扭高炉煤气余压回收透平发电装置叶型；建立了高炉煤气余压回收透平发电装置全工况气动、结构强度、振动及叶片磨损腐蚀精准化分析及设计优化体系；设计了高炉煤气余压回收透平发电装置远程一键启停和无人值守智能化控制策略。	俄罗斯北方钢铁一高炉（炉容5580立方米）采用涅瓦技术，效率70%，发电量约14000千瓦时/小时。设计一套全新的湿式高炉煤气余压回收透平发电装置替换原有设备。实施周期18个月。改造完成后，系统效率达到92%，比改造前增加发电量4320万千瓦时/年，折合节约标准煤1.3万吨/年，减排CO ₂ 3.6万吨/年。投资回收期1年。预计到2025年行业普及率可达到22%。可实现节约标准煤57万吨/年，减排CO ₂ 158万吨/年。
			1.15.12大型转炉洁净钢高效绿色冶炼技术。开发高强度、长寿命复吹工艺、新型顶枪喷头和大流量底吹元件，通过提高顶底复合吹炼强度，结合高效脱磷机理建立少渣量、低氧化性、低喷溅及热损耗机制，实现原辅料、合金源头减量化以及炉渣循环利用。	马钢300吨转炉顶吹供气强度为3.2-3.7标立方米/吨/分钟，底吹供气强度为0.04-0.3标立方米/吨/分钟，转炉吨钢能耗为-29.63千克标准煤。改造完成后，相较于原有设备，转炉吨钢能耗由-29.63千克标准煤降到-32.01千克标准煤，煤气回收量由吨钢114.3标立方米提高到123.57标立方米，蒸汽回收量由吨钢86.8千克提高到92.1千克，节约标准煤5.3万吨/年，减排CO ₂ 14.7万吨/年。投资回收期约1年。预计到2025年行业普及率可达到65%。可实现节约标准煤67万吨/年，减排CO ₂ 185.8万吨/年。
1. 系统能效提升	1.15钢铁企业转型升级搬迁	企业为了提升生产能效、降低污染排放而进行的转型升级搬迁项目。搬迁后的钢铁企业的设计标准应符合《高耗能行业重点领域能效标杆水平和基准水平（2023年版）》的能效标杆水平，并达到《关于推进实施钢铁行业超低排放的意见》（环大气〔2019〕35号）的钢铁行业超低排放标准。	1.15.13钢包包壁砖替代打结料降低烘烤煤气消耗技术。炼钢用钢包包壁采用打结料打结、渣线采用渣线砖砌筑工艺烘烤时间长，煤气消耗高，同时也因烘烤能力跟不上产能提升节奏，成为炼轧厂产能提升瓶颈环节。使用钢包包壁砖替代原先打结料包壁，确保钢包烘烤器数量不增加的情况下，降低钢包烘烤时间，节约炼钢烘烤煤气能耗的同时为产能提升提供有效保障。	酒钢炼轧厂全部使用包壁砖替代打结料的工艺，新包钢包大中小火合计烘烤时间由原先120小时降低至优化后的72小时，套浇钢包大中小火合计烘烤时间由原先96小时降低至优化后的60小时，钢包烘烤所用转炉煤气消耗降低12.46m ³ /t（0.07GJ/t），转炉煤气成本节约0.64元/吨钢。
			1.15.14钢水真空循环脱气工艺干式（机械）真空系统应用技术。罗茨泵与螺杆泵结合，利用罗茨泵对RH工艺废气“增压”来满足高抽气量的要求，利用螺杆泵将工艺废气压缩至大气压以上后排出，满足RH工艺真空度高、快速抽真空要求。	山东钢铁应用，工序能耗下降0.5 kgce/t-s。
			1.15.15烘烤器富氧燃烧技术。铁包/钢包烘烤器采用带烟气回流的煤气-氧气分级卷吸燃烧技术，通过燃烧器结构设计，氧气和煤气经由不同喷嘴以不同的速度进入钢包内，在反应前分别与烟气发生卷吸、弥散混合后燃烧，煤气喷嘴出口的一次氧气使得火焰根部燃烧更稳定，二次氧气在钢包内与烟气和煤气二次混合燃烧，实现高温火焰的同时，使燃烧在整个炉膛内进行，燃烧区域大，火焰分布广，温度均匀性好，烟气中NO _x 减少。	鞍山某钢铁公司钢包烘烤器工业化应用效果：烘烤温度根据耐材工艺，包底温度>1000℃；燃料节约率达到了50%；温度控制精度≤10℃（烘烤温度>250℃）。

领域	内容或路径	技术/标准/说明	相关冶金工程技术说明	
			参考技术及简介	应用实绩
1. 系统能效提升	1.15钢铁企业转型升级搬迁	企业为了提升生产能效、降低污染排放而进行的转型升级搬迁项目。搬迁后的钢铁企业的设计标准应符合《高耗能行业重点领域能效标杆水平和基准水平（2023年版）》的能效标杆水平，并达到《关于推进实施钢铁行业超低排放的意见》（环大气〔2019〕35号）的钢铁行业超低排放标准。	1.15.16真空室富氧烘烤技术。改变传统RH真空室烘烤方式，采用富氧比约45%左右烘烤模式，减少了烟气的量、降低了排烟热损失，提高了火焰区温度，增加烟气黑度，提高加热效率，提高烘烤升温速度，降低了烘烤时间，提高了生产效率。采用无预混技术，炉膛大空间内合，无回火风险，自动点火和火焰监测，以小控大，点火安全；高速射流实现烟气回流，降低火焰局部高温；利用中心风等，保证大小的火焰刚性和稳定性。	2020年炼钢总厂实施RH真空室富氧烘烤技术，升温速度提升近一倍，降低烘烤时间50%。
			1.15.17棒线材高效低成本控轧控冷技术。以气雾冷却为主要控冷单元，汽化蒸发吸热和强制换热机理相结合，控冷技术覆盖轧钢全流程，包括中轧机组间冷却、轧后阶梯型分段冷却、过程返温、冷床控温等冷却关键点控制，实现降温-返温-等温循环型冷却路径调控，精确控制钢筋组织均匀性和珠光体相变，优化氧化铁皮结构，有效控制纳米级析出物弥散析出效果，获得相变强化和析出强化效果。	山西建龙钢铁股份有限公司棒材生产线采用穿水冷却工艺，合金成本高且易生红锈。用分级气雾冷却设备替换原穿水冷却设备，实施周期3个月。改造完成后，钢综合能耗降低4千克标准煤/吨，按照单条生产线年产100万吨钢计算，节约标准煤4000吨/年，减排CO ₂ 1.1万吨/年，投资回收期6个月。预计到2025年行业普及率可达到5%。可实现节约标准煤12万吨/年，减排CO ₂ 33.3万吨/年。
			1.15.18高效换热器技术。针对加热炉传统插件换热器热效率低、空气预热温度不高的问题，采用内翅片+外翅片的高效换热器结构形式，增加换热器的换热面积，强化换热，从而提高换热器的综合传热系数，达到提高换热器的热效率、降低加热炉燃料消耗的目的。且该技术不改变原有烟道尺寸，无需增加或更换风机等设备。	已在鞍钢本部2座加热炉上应用，提高换热器热效率6.41%、空气预热温度100℃，降低加热炉燃料消耗5%。
			1.15.19工业加热炉炉膛强化辐射传热技术。适用于钢铁冶金、机械制造业高温加热炉及热处理炉（800℃以上）技术改造。热辐射体是根据传热学原理，通过增加炉膛有效辐射面积、提高炉膛表面发射率和定向辐射传热功能，达到节约燃气、降低碳排放的效果。平均节能率在8%-10%甚至以上，热辐射体在995℃时有效发射率达到0.95。	已有50多项工程示范，较未使用该技术的加热炉，以产能160万t/a，吨钢煤气消耗270m ³ /t 加热炉为例，单位产品燃料消耗降低10%以上，每年可节约标准煤4674tce/a。
			1.15.20炉窑燃烧工艺优化节能技术。通过在靠近燃烧器端燃气管道表面安装特定纳米极化材料，形成“纳米超叠加极化场”，燃料分子经过“极化场”被赋予额外特定能量，在燃烧前就处于活跃的激发态，可有效减少燃料分子参与燃烧所需活化能，燃烧过程中此特定能量又可以转化为有效光能、热能，进一步提升热效率。	适用于锅炉、窑炉、加热炉等各类炉窑燃烧系统节能技术改造。预计到2025年行业普及率可达到5%。可实现节约标准煤30万吨/年，减排CO ₂ 83.2万吨/年。

领域	内容或路径	技术/标准/说明	相关冶金工程技术说明	
			参考技术及简介	应用实绩
1. 系统能效提升	1.15钢铁企业转型升级搬迁	企业为了提升生产能效、降低污染排放而进行的转型升级搬迁项目。搬迁后的钢铁企业的设计标准应符合《高耗能行业重点领域能效标杆水平和基准水平（2023年版）》的能效标杆水平，并达到《关于推进实施钢铁行业超低排放的意见》（环大气〔2019〕35号）的钢铁行业超低排放标准。	1. 15. 21新型长寿命激光闪速氧化膜热轧辊。采用高能激光对轧辊表面进行毫秒级高速辐照，在轧辊表面产生瞬时高温，生成一层四氧化三铁氧化膜，可提高其高温磨损性能，抑制热疲劳裂纹，轧辊使用寿命提高1倍以上。根据辊径、表面粗糙度、长度等参数，智能控制系统自动生成离线烧结程序。	某钢厂1780热轧产线产量500万吨/年，热轧工序能耗49.5千克标准煤/吨钢。采用长寿命激光闪速氧化膜热轧辊替代原轧辊。实施周期3个月。改造完成后，轧辊寿命提高1倍，每天可减少停机保温时间2小时，综合节约标准煤1.6万吨/年，减排CO2 4.4万吨/年。投资回收期2年。预计到2025年行业普及率可达到20%。可实现节约标准煤15万吨/年，减排CO2 41.6万吨/年。
			1. 15. 22轧钢加热炉燃烧优化解决方案。基于炉膛残氧&一氧化碳闭环优化控制，采用CLA-8000系列激光燃烧分析仪检测加热炉各段炉膛内O2和CO残余量进行快速、连续、实时的监测和记录，进而实时调整炉内各段空燃比/空气过剩系数，大幅度降低由于热值波动、流量计计量误差、阀门开度误差等因素导致的燃烧状态偏离现象，使得各段燃烧状态处于最佳燃烧状态。	已在鞍钢、宝钢、武钢、宝钢湛江、沙钢、中天钢铁、石横特钢、太原钢铁、港陆钢铁、重钢集团等多家企业应用。可降低煤气消耗≥5%、降低氧化烧损≥8%。
			1. 15. 23轧钢加热炉蓄热式燃烧技术。蓄热式烧嘴成对工作，二者交替变换燃烧和排烟工作状态，烧嘴内的蓄热体相应变换放热和吸热状态。当一只烧嘴处于燃烧工作状态时，此燃料通路开通、常温空气（常温煤气）通过炽热的蓄热体，被加热为热空气（热煤气）去助燃（燃烧）；另一只烧嘴一定处于蓄热状态作为烟道，此燃料通路关闭，燃烧产物在引风机的作用下经燃烧通道到蓄热体，使蓄热体蓄下热量后，经烟道由烟囱低温排出。经过一段时间后，换向阀换向，两只烧嘴的工作状态互换，两种工作状态交替进行，周而复始。通过蓄热体，使出炉烟气的余热得到回收利用。	已在太钢、武钢、南钢、天钢、首秦、济钢、唐钢、宝钢、沙钢、攀钢等500多座蓄热式加热炉投入运行。蓄热式烧嘴的烟气排出温度可降到150-200℃或更低，空气可预热到1000℃以上，热回收率达85%以上，温度效率达90%以上。酒钢一高线作业区实施蓄热式加热炉自助燃烧优化，应用效果：可将加热炉排放的高温烟气降至150℃以下，热回收率达85%以上，节能30%以上。本钢板材特钢事业部轧钢作业区采用单（空气）蓄热式加热炉自助燃烧优化，应用效果：可将加热炉排放的高温烟气降至150℃以下，热回收率达85%以上，节能 20%以上。
			1. 15. 24清洁型焦炉高效余热发电技术。以清洁型焦炉余热烟气作为热源，通过锅炉将水加热到高温超高压参数蒸汽，高压蒸汽进入汽轮机高压缸做功后再通过锅炉加热，加热后低压蒸汽进入汽轮机低压缸做功，汽轮机带动发电机发电。做完功后蒸汽变为凝结水再次进入锅炉进行加热变为蒸汽，从而完成一次热循环。	福建三钢2×80兆瓦热回收焦炉及配套干熄焦余热蒸汽高效发电项目为新建项目。新建6台高温超高压中间一次再热余热锅炉和2台高温超高压中间一次再热汽轮发电机组，并配备循环冷却水系统、电气系统、仪控系统、能源介质管网等。实施周期14个月。建设完成后，新型焦炉无焦炉煤气等副产物，综合节约标准煤4万吨/年，减排CO211.1万吨/年。投资回收期8个月。预计到2025年行业普及率可达到20%。可实现节约标准煤25万吨/年，减排CO2 69.3万吨/年。
			1. 15. 25CCPP发电工程燃气轮机发电技术。选用低热值煤气发电技术，替代低参数、高能耗、低效率、老化严重的低参数汽轮机，高效AE94. 2KS型燃气轮机为单循环、单轴、重型E级燃气轮机。与其配套的汽轮机为哈尔滨汽轮机厂有限责任公司（简称哈汽）研制的三压、两缸单排汽、高压超高温、反动式、凝汽式汽轮机，型号为：LN85-9. 85/3. 00/0. 300/550/520/238型汽轮机，发电热效率提高到43%，大大提高了高炉煤气的使用效率。	AE94. 2KS型燃气轮机由意大利安萨尔多公司设计，国内首家应用。CCPP机组发电效率为43%，相比现有高温高压机组效率28%提升了15%，按照CCPP全年13亿kwh发电量计算，改造后全厂新增年供电量4. 39×108kWh。

领域	内容或路径	技术/标准/说明	相关冶金工程技术说明	
			参考技术及简介	应用实绩
1. 系统能效提升	1.15钢铁企业转型升级搬迁	企业为了提升生产能效、降低污染排放而进行的转型升级搬迁项目。搬迁后的钢铁企业的设计标准应符合《高耗能行业重点领域能效标杆水平和基准水平（2023年版）》的能效标杆水平，并达到《关于推进实施钢铁行业超低排放的意见》（环大气〔2019〕35号）的钢铁行业超低排放标准。	1.15.26H型鳍片管式高效换热技术。锅炉给水泵将除氧水输送至余热蒸汽锅炉省煤器，经余热蒸汽锅炉内鳍片管等换热面吸收热量，变成高温热水进入锅筒，锅筒通过上升管和下降管与蒸发器内鳍片管等换热面吸收热量产生饱和蒸汽，饱和蒸汽从锅筒主汽阀进入过热器，产生过热蒸汽供给用户。H形鳍片管强化传热元件扩展受热面，增加水管烟侧受热面，同时烟气流经H形鳍片管表面时形成强烈紊流，提高传热效率和减少烟灰积聚。	宁夏中卫市众泰33000千伏安硅铁矿热炉烟气余热发电利用项目,该项目为新建项目。安装H型鳍片管式烟气矿热余热锅炉、汽轮机、发电机、自动控制（DCS）以及配套设备。实施周期6个月。实施完成后，发电量4000千瓦时/小时，每年按照7000小时计算，发电量约2800万千瓦时/年，折合节约标准煤8680吨/年，减排CO ₂ 2.4万吨/年。投资回收期30个月。预计到2025年行业普及率可达到70%。可实现节约标准煤14万吨/年，减排CO ₂ 38.8万吨/年。
			1.15.27地下供水管线精准测漏技术。钢厂地下供水管线由于管材老化、年久失修等原因，管线漏损事故频频发生，每年因管道漏损造成的直接经济损失不可忽视。构建了雷达波声波双波耦合的管道漏损定位技术，同时开发了雷达图像数据的多属性分析技术和探地雷达时频综合分析技术，进一步挖掘了探地雷达图像中复杂、可靠的信息，以此实现对漏损位置和规模的精准识别。	已在鞍钢本部和鲅鱼圈钢铁分公司的地下供水管线进行了应用，对埋深不超过4米的管道，实现现场定位准确率≥75%，定位精度小于1米。
			1.15.28多孔介质燃烧技术。混合气体在多孔介质孔隙内产生旋涡、分流和汇合，剧烈扰动。燃烧产生的热量通过高温固体辐射和对流方式传输，同时借助多孔介质材料的导热和辐射不断地向上游传递热量预热气体，并依靠多孔介质材料蓄热能力回收燃烧产生高温烟气余热。	首钢硅钢车间年产取向硅钢50万吨，硅钢氧化镁涂层机组采用红外涂层干燥炉，原涂层炉采用金属丝网型式燃气红外燃烧器，运行一段时间后由于氧化镁涂层掉落影响燃烧器辐射管能力，造成加热能力不足。原红外涂层干燥炉改为多孔介质涂层干燥炉，面板使用温度由1050℃提升至1350℃，更换面板480套。实施周期2个月。改造后，机组加热效率提升10%，硅钢生产线干燥工序平均天然气消耗降低40立方米/小时，每年按照工作7000小时计算，可节约天然气28万立方米/年，折合节约标准煤372吨/年，减排CO ₂ 1031吨/年。投资回收期30个月。预计到2025年行业普及率可达到50%。可实现节约标准煤 12万吨/年，减排CO ₂ 33.3万吨/年。
			1.15.29一种基于螺杆膨胀机的余热利用技术。适用于余能回收利用系统设备节能技术改造。热流体介质输入螺杆膨胀机，随着阴、阳螺杆槽道中热流体的体积膨胀，推动阴、阳螺杆向相反方向旋转，齿槽容积增加，热流体降压膨胀做功，实现热能向机械能转换，螺杆膨胀机与发电机相连，驱动发电机发电，从而实现余热利用，热流体介质可以是工业余热蒸汽、汽液两相热水或气站减压天然气。	预计到2025年行业普及率可达到20%。可实现节约标准煤67万吨/年，减排CO ₂ 185.8万吨/年。

领域	内容或路径	技术/标准/说明	相关冶金工程技术说明	
			参考技术及简介	应用实绩
1. 系统能效提升	1.15钢铁企业转型升级搬迁	企业为了提升生产能效、降低污染排放而进行的转型升级搬迁项目。搬迁后的钢铁企业的设计标准应符合《高耗能行业重点领域能效标杆水平和基准水平（2023年版）》的能效标杆水平，并达到《关于推进实施钢铁行业超低排放的意见》（环大气〔2019〕35号）的钢铁行业超低排放标准。	1.15.30卧式循环流化床燃烧成套技术。将立式循环流化床锅炉单床炉膛“折二化一为三”形成三床炉膛，延长燃烧时间；一级灰循环升级为两级灰循环，对复杂燃料具有更强适应性和操作友好性；高温分离变为中温分离，可避免燃用低灰熔点燃料时在循环回路内结焦；空气和燃料双分级降低原始NOx生成，可节约脱硝成本。	适用于钢铁、石化化工行业燃生物质、燃煤炭等燃烧设备节能技术改造。预计到2025年行业普及率可达到1%。可实现节约标准煤90万吨/年，减排CO2 249.5万吨/年。
			1.15.31加热炉无焰富氧燃烧技术。采用基于Weinberg于1971年提出的超焓燃烧思想而开发应用，主要特征是向燃烧器分别喷入高速的燃料和氧气，可有效克服传统助燃空气富氧燃烧技术带来的因理论燃烧温度较高造成的炉内温度不均匀及热力型NOx易产生等问题。	马钢应用；加热产能提高10%以上、能耗下降10%以上，烧损下降10%以上，加热温度均匀性明显改善，烟气NOx达标排放。
			1.15.32轧钢加热炉纯氧燃烧技术。利用氧气（氧浓度91-100%）直接取代空气进行的燃烧方式，采用纯氧无焰燃烧器，利用氧气与高热值燃料直接形成无焰燃烧，实现高效、高质量加热。	唐山某钢铁有限公司120t/h步进梁式加热炉上实施效果：燃料单耗较改造前节能量≥20%；氧化烧损降低15%；产量可提升15%。
			1.15.33焦炉循环氨水节能改造。现阶段焦炉约80℃的循环氨水中的热量未加以回收利用，存在能源浪费。通过溴化锂制冷机组以水为制冷剂，溴化锂溶液为吸收剂，利用水在高真空条件下低沸点汽化，回收循环氨水的热量达到制冷的目的。	目前行业应用比例10%，实现循环氨水余热回收用于制冷。
			1.15.34钢铁厂烧结机主烟道内置式余热锅炉。通过烧结机主烟道余热锅炉回收烧结生产过程中产生的高温废气的余热。在主烟道中内置相应的锅炉换热面，通过换热面与烟气的换热，产生过热蒸汽，提供生产使用，同时达到烟道降温目的。与外置式余热锅炉相比，换热效率更高，蒸汽品质高（2.0MPa、温度300℃左右），可直接并入烧结余热工程配套汽轮机进行发电。	已有4个工程示范项目，如广西柳钢中金不锈钢有限公司镍铁冶炼项目1#360m2烧结系统余热利用工程。柳钢1#360m2烧结大烟道余热锅炉蒸发量12t/h，每小时节省标煤约880kgce。按年运行7000h计算，年节约标煤量6160t，折算发电量2256kWh，经济效益1421.30元/h。
			1.15.35烧结余热回收利用技术。利用烧结机产生的热废气通过热交换方式进行热能回收，生产蒸汽供给烧结余热汽轮发电机发电的机组。利用环冷机的中高温段废气及烧结大烟道尾部风箱的高温排烟，设置烧结大烟道余热锅炉和环冷机双压余热锅炉，余热锅炉产生的蒸汽全部用于发电。	山钢永锋临港有限公司500m2烧结机实施烧结环冷机烟气余热及烧结大烟道余热回收，实现节能12.5kgce/t矿。鞍钢集团本钢板材公司566m2烧结机实施烧结环冷机烟气余热及烧结大烟道余热回收，年增发电量8420万kwh，减少了发电厂的发电燃煤用量。
			1.15.36转炉烟气余热回收技术。设置转炉烟道式余热锅炉系统回收利用转炉高温烟气热量，包括：烟道汽包、低压（P=0.5MPa）强制循环系统中的烟罩部分、中压（P=3.5MPa）强制循环系统、自然循环系统。转炉烟道式余热锅炉产生的蒸汽进入汽包，汽包蒸汽经母管送至蓄热器，后通过自动控制调节阀将压力调至设定压力后送入厂区低压蒸汽管网。	酒钢采用转炉烟气余热回收技术，转炉工序负能炼钢完成-15.87kgce/t，转炉蒸汽回收完成101kg/t，转炉煤气回收完成110Nm³/t，转炉煤气回收率达90%以上。本钢板材炼钢厂采用转炉烟气余热回收技术，转炉蒸汽回收完成85kg/t，转炉煤气回收完成135m³/t，转炉工序负能炼钢降低-5kgce/t。

领域	内容或路径	技术/标准/说明	相关冶金工程技术说明	
			参考技术及简介	应用实绩
1. 系统能效提升	1.15钢铁企业转型升级搬迁	企业为了提升生产能效、降低污染排放而进行的转型升级搬迁项目。搬迁后的钢铁企业的设计标准应符合《高耗能行业重点领域能效标杆水平和基准水平（2023年版）》的能效标杆水平，并达到《关于推进实施钢铁行业超低排放的意见》（环大气〔2019〕35号）的钢铁行业超低排放标准。	1.15.37轧钢棒材冷床余热回收利用技术。设备安装于冷床上方，以脱盐水为一种工质，以热空气为另一种工质，通过换热器强化传热，达到对管内工质加热目的。系统由预热单元、再热单元及公共部分组成。预热单元将其布置于冷床上方低温区，再热单元布置于冷床上方高温区，当水通过预热单元时，快速吸收冷床表面的辐射热，温度在短时间内达到110℃；经循环流入再热器中形成温压力0.9MPa的饱和蒸汽后进入汽包并向外界供出。	已在陕西龙门钢铁有限责任公司完成中试，在其棒材二线推广应用，目前正在建设中。预期年回收压力≥0.9Mpa蒸汽72000t。
			1.15.38氟塑钢新材料低温烟气深度余热回收技术。在原脱硫塔前布置氟塑钢低温省煤器，降低脱硫塔烟气温度，回收烟气显热；在脱硫塔后布置氟塑钢冷凝器对湿饱和烟气冷凝降温，回收烟气潜热。该技术可解决低品位烟气热量无法有效回收以及回收过程中腐蚀、积灰、寿命短等问题。	浙江物产环能浦江热电有限公司现有3台130吨/小时循环流化床锅炉，配套2台15兆瓦抽背式汽轮机和18兆瓦发电机。锅炉排烟温度130℃以上，有较大的余能回收潜力。在脱硫塔前后增加低温省煤器，回收进脱硫塔烟气显热，加热除盐水，减少自用蒸汽消耗；在脱硫塔布后安装冷凝器对湿饱和烟气冷凝降温，回收烟气潜热，再次加热除盐水。实施周期5个月。改造完成后，以单台炉为例，除盐水通过省煤器和冷凝器后，温度从20℃上升到65℃，减少了自用蒸汽的消耗，单台炉节约标准煤2796吨/年，三台炉节约标准煤8388吨/年，减排CO ₂ 2.3万吨/年。投资回收期11个月。预计到2025年行业普及率可达到1%。可实现节约标准煤60万吨/年，减排CO ₂ 166.4万吨/年。
			1.15.39工业余热梯级综合利用技术。结合工艺用能需求，综合考虑余热源头减量、高效回收、梯级利用等方式，实现含尘含硫间歇波动典型中高温余热，提升余热回收利用水平，降低排烟温度至150℃以内。	宝钢股份硅钢部3#环形炉设计产量为12万吨/年，环形炉废气通过2根烟囱排放，废气量3000标立方米/小时，排放温度约为300-330℃。在废气排放系统中增设一套汽水两用冷凝式余热回收锅炉，将环形炉废气显热和冷凝潜热回收，转换成低压蒸汽供机组使用。实施周期8个月。改造完成后，余热回收装置回收热量产生蒸汽2吨/小时（表压0.6兆帕饱和蒸汽），按每年8400工作小时计算，折合节约标准煤2015吨/年，减排CO ₂ 5587吨/年。投资回收期3.5年。预计到2025年行业普及率可达到43%。可实现节约标准煤55万吨/年，减排CO ₂ 152.5万吨/年。
2. 清洁能源替代	2.1分布式光伏发电技术	钢铁企业厂房屋顶安装光伏发电系统，为钢铁企业提供绿色能源，降低传统化石能源及电力消耗。参考标准《工业企业温室气体排放核算和报告通则》《光伏发电效率技术规范》（GB/T39857-2021）、《光伏制造行业规范条件（2021）》等。		

领域	内容或路径	技术/标准/说明	相关冶金工程技术说明	
			参考技术及简介	应用实绩
2. 清洁能源替代	2.2 储热调峰	将储热装置与现有的煤气发电、余热发电进行耦合，利用储能技术将高炉煤气、转炉煤气、热烟气热量进行存储，减少余热余能资源浪费，使其具备承担削峰填谷，促进新能源消纳等重要调峰功能，解决大规模可再生能源引入导致的区域源荷不匹配等问题。参考《“十四五”新型储能发展实施方案》、《关于加快推动新型储能发展的指导意见》（发改能源规〔2021〕1051号）等。		
	2.3 可再生能源制氢气和氧气用于钢铁冶炼	通过绿电电解水制氢气和氧气，氧气用于炼钢脱碳，氢气直接还原得到金属铁，可避免化石能源消耗。参考标准《低碳氢、清洁氢与可再生氢标准与评价》（T/CAB00782020）等。		
	2.4 风力发电设施建设和运营	符合《风力发电场设计规范》（GB 51096）、《风力发电工程施工与验收规范》（GB/T 51121）、《风电场接入电力系统技术规定》（GB/T 19963）、《大型风电场并网设计技术规范》（NB/T 31003）等标准。		
3. 资源循环利用	3.1 冶金渣余热回收与综合利用	高温渣高效处理及渣热资源一体化利用。参考标准《钢铁行业节能降碳改造升级实施指南》等。	3.1.1 冶金渣余热回收及高效化资源化利用技术。高炉熔渣采用气淬粒化技术，通过调控粒化过程中的工艺流程，开展无水粒化和余热高效回收利用关键技术研究，提升高炉熔渣粒化品质，开发在封闭系统中高效回收炉渣高温余热和热能高价值利用技术。	河钢集团与北京科技大学、华北理工大学联合开展技术研究，目前已完成实验室模拟，正在开展工程化实验。河钢自主研发技术，获得河北省重点研发计划碳达峰碳中和创新专项（项目号：22373805D）的支持。
			3.1.2 熔渣干法粒化及余热回收工艺装备技术。熔渣通过离心机械粒化增加换热面积，结合强制一次风冷原理，实现高炉渣快速冷却和一次余热回收，粒化后熔渣性能不低于水淬工艺；再采用回转式逆流余热回收装置对已凝结渣粒进行二次余热回收，提高余热回收率。	该项目为研发类技术，暂无推广案例。预计到2025年行业普及率可达到1%。可实现节约标准煤13万吨/年，减排CO ₂ 36万吨/年。
			3.1.3 淬（焖）渣蒸汽余热回收技术。本技术通过多组形式各异的换热设备经多级串并联使用组成淬（焖）渣蒸汽余热回收装置，设备形式包括喷淋式换热器、流道式换热器、壳管式换热器及混合式换热器等，换热方式包括汽-水换热、水-气换热、水-水换热、气-气换热等，经多种换热方式组合使用最终达到淬（焖）渣蒸汽余热回收效果。	荣程钢铁焖渣乏汽余热回收项目，折算整个采暖季可回收余热95970GJ，单位换热量的电耗≤7.4kW·h/GJ。本钢板材公司5#、6#、7#、新1#炉均进行换热余热利用供暖。

领域	内容或路径	技术/标准/说明	相关冶金工程技术说明	
			参考技术及简介	应用实绩
3. 资源循环利用	3.2含铁含锌尘泥回收与利用	从含铁尘泥回收铁矿石，作为冶炼原料。参考标准《产业结构调整指导目录（2024年本）》《钢铁行业节能降碳改造升级实施指南》《转底炉法粗锌粉》（YB/T4271-2012）《转底炉法含铁尘泥金属化球团》（YB/T4272-2012）《转底炉处理冶金尘泥技术规范》（YB/T6072-2022）等。	3.2.1不锈钢短流程炼钢固废资源化综合利用。该技术可将氧化铁皮、除尘灰、污泥、钢渣处理回用摇床金属料、抛丸珠粉等固废通过干化制球，球团作为冶炼原料使用。	该技术应用于振石集团东方特钢有限公司年处理5.5万吨固废制球资源综合利用项目，已运行4年。
			3.2.2钢铁企业含锌固废全量回收装备技术。钢铁企业含锌固废全量回收装备技术。该技术首先对干湿原料预混处理，再通过自动可控的回转窑将含锌固废进行脱锌处置，实现次氧化锌的高效回收和含铁物料循环利用。实现脱锌率达90%以上，富铁料含铁达60%以上，无二次固废污染，含锌固废利用率达100%。	技术设备已在河钢舞钢实业公司设计建设处置含锌固废的新型回转窑工艺产线，于2019年10月投产，经多次调整和优化，至今回转窑稳定运行，每年仅年修一次。入炉含锌量达4%左右，配碳15%左右，含锌物料脱锌率达92%，含铁二次资源TFe达到62%、含锌量0.3%左右，超过了年处置含锌固废15万吨的设计指标。
			3.2.3钢铁烟尘及有色金属冶炼渣资源化清洁利用技术。通过对原料的火法富氧燃烧挥发与湿法综合回收有价金属，对固废中的锌、铟、铅、镉、铋、锡、铁等进行综合回收，并从生产过程中产生的碱洗废水中回收碘及钠钾工业混盐，工业废水经处理后全部回用于生产，减少新水消耗。	锌冶炼总回收率>88%，火法锌回收率>93%，湿法炼锌回收率>95%，湿法炼锌直流电耗为2850-2950kWh/t Zn，湿法炼锌电解效率>92.5%，熔铸回收率>99.68%，铟冶炼回收率>82%，铅直收率>99%，镉直收率>98%，新水消耗<5m3/t Zn。
3. 资源循环利用	3.3废钢回收加工配送	以再生资源加工配送企业为主体，对废钢铁开展加工作业和配送的专业场所。参考标准《废钢铁加工行业准入条件》、《废钢铁加工行业准入公告管理暂行办法》等。	3.3.1钢筋撕碎线。钢筋撕碎线是一款能将废旧钢筋撕碎成一定尺寸的钢筋颗粒的成套设备，由撕碎主机、入料输送设备、出料输送设备、动力驱动系统、智能控制系统等组成。废旧钢筋预处理后，由抓取设备将其抓取到进料传送设备上，物料被摊铺均匀的同时，非金属等杂料被挑选出来。而后，物料进入到撕碎主机中的剪切腔体中，通过双滚式剪切刀片将其撕碎切断，产出一定尺寸的颗粒。 施工工艺过程：抓料上料→物料分选→主机撕碎→出料。	该技术应用于唐山木兰实业有限公司、华菱涟源钢铁有限公司等，可年产10万吨以上钢筋颗粒。
			3.3.2钢铁转炉短流程协同资源化利用铁质废包装桶技术。该技术是将沾染废矿物油、油漆的危险废物铁质包装桶进行清残压块，并利用其中的废铁作为炼钢材料。处理过程中产生的废油、油漆回收后交由第三方资质单位再利用。该技术建立了一套钢铁转炉短流程协同资源化利用铁质废包装桶的危废处置工艺，形成自动化清残压块、危废贮存及处置、压块转炉资源化利用的技术方法。	该工艺技术设备应用于浙江省环保集团北仑尚科环保科技有限公司、宁波钢铁有限公司等。 本技术适用于钢铁冶炼炉窑协同处置工业固体废物，可用于炼钢厂自身危险废物的消纳处置，具有一定的推广前景。

领域	内容或路径	技术/标准/说明	相关冶金工程技术说明	
			参考技术及简介	应用实绩
3. 资源循环利用	3.4冶金废水零排放系统	冶金企业不开采地下水，以矿区城市中水作为主要补充水源，厂区的生产生活废水、雨季收集的雨水全部回收利用，可提供全厂生产用水，没有外排水。冶金废水零排放系统主要包括：城市中水处理系统、生产生活废水处理系统、中水深度处理系统、浓盐水零排放系统等组成。	3.4.1分质供水、梯级排水、循环利用节水技术。钢铁企业梯级补排水、系统大循环工艺主要采用分质补水、将高水质用户的排水作为低水质用户的补水并进行系统大循环（将炼钢余热锅炉、轧钢气化冷却、炼铁软水循环系统等的软水排水排入各分厂净循环水系统作为补充水，将各分厂的净循环水系统的排水作为各分厂浊循环水系统的补充水，各分厂浊循环水系统的排水排入废水处理系统，经处理后用于双膜法除盐水制备系统，将制备的除盐水用于余热锅炉、气化冷却、软水循环系统等高水质用户的补水，完成一个大循环，开始下一个大循环），生产新水只作为大循环的补充水。	陕钢集团汉钢公司应用技术实现吨钢耗新水量约1.5立方米。
			3.4.2管式冷凝节能节水及多污染物脱除技术装备。适用于燃煤电厂、化工、水泥、高炉、转炉等领域。采用柔性凝水导流、波形凝聚增效、放电冷凝换热耦合技术，提升管式冷凝器的综合冷凝换热效果、多污染物协同脱除效率、收水效率。优化湿法脱硫-管式冷凝紧凑型一体化装备工艺和结构参数，创新设计错位喷淋、壁流再分布、强化团聚及高效拦截细颗粒捕集，降低系统运行阻力。构架水平衡分级测算及智能协同控制系统，实现多行业排放不同组分高温高湿烟气热量高效梯级回收和优化收水控污系统的设计和运行。	以4×750t/d垃圾焚烧炉烟气冷凝除湿项目为例，单台年可回收热量44.2万GJ（全年运行），折合标准煤1.2万吨/年，年减少CO2排放量约3.12万吨。
			3.4.3汽液分流微负压蒸汽冷凝水回收技术。适用于钢铁、化工、电力、烟草、食品、医药、石化、电子、印染、电镀等工业行业的未被污染的蒸汽冷凝水的回收循环利用，可直接用于锅炉的补充用水。蒸汽经加热设备工艺换热后产生不同压力的冷凝水，冷凝水通过疏水阀后流至汽液分离缓冲罐（微负压）内，进行汽液分离；分离后的冷凝水通过疏水阀泵加压输送至冷凝水回收设备，闪蒸汽则引射至闪蒸吸收装置，吸收后进入冷凝水回收罐内，再经冷凝水回收设备加压泵送至锅炉房回用或其他用水用能点。	以40t蒸汽锅炉为例，年节约标准煤2820吨，减少CO排放量约7332吨。
			3.4.4全流程钢厂水系统智慧管控与零排放技术。根据长流程钢厂水系统现状以及钢铁所处地区淡水资源的特点，聚焦源头节水、废水处理回用、浓缩液资源化和智慧集中管控四个维度，包括多渠道非常规水源可持续利用、水系统全流程智慧管控、废水“梯级处理-分级回收-分质利用”处理以及排海废水全量资源化利用等技术。	湛江钢铁应用本技术实现全流程废水零排放，2021年吨钢耗水同口径对比2018年0.76m³/t，节约731吨标煤，减少碳排放1496吨，年节水成本3325万元。
			3.4.5金属表面无酸除磷成套技术。采用高压水为动力，用一定压力的高压水和一定浓度的钢丸在耐磨除磷喷头内充分混合，形成高能固液两相流，通过高速微细磨料的打击磨削与高压水楔强力冲蚀共同作用，一次性清除金属表面氧化层、油、盐、粉尘等杂质，确保待加工金属基体表面无任何附着物，过程中水与磨料可循环使用，产生的废渣作为铁精矿等可直接回收，并且无其他废水、废气排放。	相比传统酸洗等表面清理工艺，该技术可实现吨钢废酸减排20kg、含酸废水减排0.6t；可全面满足不同材质金属、不同类型表面污染物的清理需求，生产成本较传统工艺降低10%—70%。

领域	内容或路径	技术/标准/说明	相关冶金工程技术说明	
			参考技术及简介	应用实绩
3. 资源循环利用	3.4冶金废水零排放系统	冶金企业不开采地下水，以矿区城市中水作为主要补充水源，厂区的生产生活废水、雨季收集的雨水全部回收利用，可提供全厂生产用水，没有外排水。冶金废水零排放系统主要包括：城市中水处理系统、生产生活废水处理系统、中水深度处理系统、浓盐水零排放系统等组成。	3.4.6高盐高浓度氨氮废水气态膜法处理技术。基于气态膜法关键技术，开发了活性炭吸附-金属基助凝脱水去除胶体技术、次氯酸钙深度氧化COD并协同除氟技术；发明了弱碱条件下金属离子硅基吸附去除材料，形成了与气态膜法匹配的预处理技术。研制了抗污染、再生性能高的膜丝材料及高抗污染性膜组件等，形成适用于高氨氮废水气态膜处理的成套新工艺、新材料、新装置，实现高氨氮复杂废水多污染物的深度去除，氨氮以硫酸铵产品资源化回收。进水氨氮浓度可从10000mg/L左右去除至<15mg/L，单支膜最大脱氮率可达1.77%。	已有22项工程应用。如宝钢湛江钢铁炼铁厂烧结制酸废水处理项目，处理规模为192m ³ /d。
			3.4.7电镀废水处理及资源化回用技术。酸铜废水、含镍废水经离子交换和金属电积等湿法冶金工艺处理达标并进行金属回收利用后，与处理达标的含铬废水、含氰废水及综合废水混合，经絮凝沉淀、高级氧化、超滤、电渗析、反渗透、蒸汽机械再压缩（MVR）蒸发以及污泥干燥等处理，得到的结晶复合盐和污泥外运处置，产水回用。	实现铜、镍等有价值金属回收，电镀污泥产生量少。出水达到《电镀污染物排放标准》（GB 21900-2008）表3要求。电镀污泥产生量减少60%以上。
			3.4.8冷轧废水物化-生化-臭氧催化氧化耦合强化处理技术。冷轧高COD碱性废水经气浮等预处理，再经生化、混凝沉淀等工艺处理后，与经氢氧化钠、石灰两段中和混凝沉淀等工艺处理后的低COD酸性废水混合，进入臭氧催化氧化系统处理，出水经过滤后进入一级膜脱盐回用系统，产水回用，浓盐水进行电氧化处理。	冷轧废水经一级脱盐后回用率≥70%。出水COD<30mg/L、TN<10mg/L，达到《钢铁工业水污染物排放标准》（GB13456-2012）表3要求。
			3.4.9无酸金属材料表面清洗技术。将水和带棱角的钢砂颗粒混合，在高速旋转涡轮电机驱动下，砂水混合物不断高速喷射冲击钢板，实现除锈。清洗废水经沉淀、旋流分离工艺回收钢砂，再经过滤、磁分离工艺回收铁泥，出水和钢砂循环利用。	物理方法除锈，避免产生酸性废水，实现废水源头减量。处理后钢卷表面最高除锈等级为Sa3.0级。
			3.4.10“燃-热-电-水-盐”五效一体高效循环利用技术。该技术以联合循环发电和低温多效蒸馏海水淡化技术为核心，形成“燃-热-电-水-盐”五效一体高效循环利用系统。利用钢铁厂的低品质燃气，在燃机充分燃烧做功，推动燃机发电，排出高温烟气引至余热锅炉，产生蒸汽(热)推动汽轮机发电，形成燃机-汽机联合循环发电；汽轮机排汽进入海淡装置制备淡水，海水淡化产生的浓盐水作为盐碱化工原料，提取高品质盐化工产品。	适用于钢铁行业热电联产制备海淡水，处于推广应用阶段。
			3.4.11钢铁生产不同工序水质分质供水技术。该技术针对钢铁生产工序多、用水水质不同的特点，采用膜法和其他水处理工艺产生高品质和普通工业循环用水，分别供应不同用户，避免普通用户用高端水、高端用户用水不满足要求等浪费，可实现节水、节能、降低运行费用。	适用于钢铁行业废水处理回用，处于推广应用阶段。

领域	内容或路径	技术/标准/说明	相关冶金工程技术说明	
			参考技术及简介	应用实绩
3. 资源循环利用	3.4冶金废水零排放系统	冶金企业不开采地下水，以矿区城市中水作为主要补充水源，厂区的生产生活废水、雨季收集的雨水全部回收利用，可提供全厂生产用水，没有外排水。冶金废水零排放系统主要包括：城市中水处理系统、生产生活废水处理系统、中水深度处理系统、浓盐水零排放系统等组成。	3.4.12钢铁工业废水深度处理回用组合工艺。该工艺采用双膜法和耐盐特殊菌群生化处理技术，利用基于耐盐微生物的“硝化反硝化生物滤池+活性炭生物滤池”生物脱氮工艺和基于处理难降解有机物的“四相芬顿催化氧化+臭氧氧化+生物活性炭滤池”工艺，实现钢铁工业废水分级脱盐和分级回用。	适用于钢铁行业废水处理回用，处于产业化示范阶段。
			3.4.13废水零排放处理和回用技术。该技术针对钢铁生产各工序废水水质特点，采用不同生化处理工艺和膜法浓缩技术进行处理后分质回用，剩余浓盐水和反洗排污水用于高炉冲渣、炼钢焖渣和烧结拌料，可实现28%的节水效果。	适用于钢铁行业废水处理回用，处于产业化示范阶段。
			3.4.14循环水水质动态监测与水处理优化技术。该技术采用旁路管道对循环水腐蚀速率进行动态在线监测，在不影响循环水正常运行的条件下做到及时精确分析，避免主管路挂片试验监测信息滞后对水质产生影响，提高循环水利用效率，改善水质，并减少系统药剂消耗和污染物排放量。	适用于钢铁行业循环水处理系统，处于推广应用阶段。
4. 环保减排改造	4.1烧结烟气循环	引出风箱的部分高温、高氧和高CO浓度烧结烟气，经除尘后循环送回烧结料层，参与烧结过程。参考《关于推进实施钢铁行业超低排放的意见》（环大气〔2019〕35号）《2021年〈国家先进污染防治技术目录（大气污染防治、噪声与振动控制领域）〉》《高耗能行业重点领域节能降碳改造升级实施指南（2022年版）》（发改产业〔2022〕200号）。	4.1.1烧结废气余热循环利用工艺技术。烧结低温废气自烧结支管风箱/环冷机排出后，再次被引入烧结料层时，因热交换和烧结料层的自动蓄热作用，可将其中的低温显热供给烧结混合料。同时，热废气中的二噁英、PAHs、VOC等有机污染物在通过烧结料层中高达1200℃以上的烧结带时被分解。因此，利用废气循环烧结不仅可以实现余热的利用，而且可以大幅度削减废气排放总量。	宝钢宝山四烧结应用，工序能耗下降0.2 kgce/t矿。
	4.2超低排放改造	通过源头治理、过程控制、末端治理的方式开展全过程有组织、无组织、清洁方式运输超低排放改造，实现减污降碳协同增效。参考《关于推进实施钢铁行业超低排放的意见》（环大气〔2019〕35号）、《关于促进钢铁工业高质量发展的指导意见》（工信部联原〔2022〕6号）。	4.2.1烧结机头烟气一氧化碳利用（治理）技术。采用催化氧化技术，将烧结机头烟气中的一氧化碳催化氧化转换为二氧化碳，同时释放出热量。热量可用于替换烧结烟气脱硝升温系统的热风炉补燃，减少补燃高炉煤气消耗量，以400平米烧结机为例，节约高炉煤气1.4亿立方米/年。并且通过一氧化碳的去除，极大减少烧结烟气外排一氧化碳的量（>60%），降低钢铁企业烧结机对空气质量的影响。	
			4.2.2高炉休风放散净化装置。高炉休风过程中会产生大量的污染物排放，包括一氧化碳和颗粒物。通过设置高炉休风放散煤气综合治理休风系统(简称: RGR)，对休风过程中的污染物排放进行治理，其中一氧化碳进行回收，颗粒物通过除尘系统净化处理，降低高炉上料过程排放一氧化碳和颗粒物对环境质量的影响。该技术在丰南纵横钢铁已经成功应用。	

领域	内容或路径	技术/标准/说明	相关冶金工程技术说明	
			参考技术及简介	应用实绩
4. 环保减排改造	4. 2超低排放改造	通过源头治理、过程控制、末端治理的方式开展全过程有组织、无组织、清洁方式运输超低排放改造，实现减污降碳协同增效。参考《关于推进实施钢铁行业超低排放的意见》（环大气〔2019〕35号）、《关于促进钢铁工业高质量发展的指导意见》（工信部联原〔2022〕6号）。	4. 2. 3转炉煤气放散塔安装自动点火伴烧技术。利用放散的转炉煤气，直接引入燃烧器点火器，通过燃烧器中预置的催化剂，将转炉煤气催化，提高其燃烧性能，直接作为点火燃烧气源，替代原焦炉煤气（长明火），在高压电弧作用下，燃烧器中火焰从原有的持续伴烧状态，改变为当有转炉煤气到达放散塔时再点火，取代高耗能的持续伴烧，实现节能降耗。	2013年实施转炉煤气放散塔安装自动点火伴烧技术，实现零使用焦炉煤气长明火点火伴烧。较实施前可每年节约1425.6万m ³ 焦炉煤气。
			4. 2. 4钢铁行业减污折叠滤筒节能技术。减污折叠滤筒其过滤材料呈折叠状，内有一体成型支撑骨架；具有高过滤精度和高通气量，可以在有限空间内提供更多过滤面积，同时，实现对微细粉尘高效捕集和除尘器低运压差；通过等间距热熔技术，降低运行阻力，延长清灰周期，降低风机电机功耗，延长使用寿命。	山西建龙炼铁厂200平方米烧结机配套一台电袋复合除尘器，除尘器长期运行压差在2000帕，烟气捕集效果差。采用等距大折角折叠滤筒替换传统布袋，共计安装直径为158×3000毫米的折叠滤筒3712支。实施周期1个月。改造完成后，过滤面积增加，除尘器运行压差从2000帕降至1200帕，根据电表统计，可节约电量140万千瓦时/年，折合节约标准煤434吨/年，减排CO ₂ 1203吨/年。投资回收期1年。预计到2025年行业普及率可达到50%。可实现节约标准煤10万吨/年，减排CO ₂ 27.7万吨/年。
			4. 2. 5高效节能低氮燃烧技术。采用“3+1”段全预混燃烧方式，三个独立燃烧单元，使炉内温度均匀，热效率提高，解决燃烧不充分导致高排放问题。用风流速引射燃气，燃烧过程中逐渐加速，同方向上混合燃烧，充分利用燃气动能，增加炉内尾气循环，延迟排烟速度，降低排烟温度，提高热交换效率，有效抑制NO _x 、CO ₂ 、CO产生。通过分段精密配风，实现最佳风燃比，火焰稳定。	适用石化化工、钢铁等行业以天然气、石化气及钢铁产煤气为燃料燃烧工艺节能技术改造。预计到2025年行业普及率可达到1%。可实现节约标准煤39万吨/年，减排CO ₂ 108.1万吨/年。
			4. 2. 6滚筒法冶金钢渣高效清洁处理技术。将高温熔态冶金钢渣在一个转动的密闭容器中处理，在工艺介质和冷却水共同作用下，高温渣被急速冷却、碎化和固化，并由高温熔融状态处理成低温粒化状态，实现破碎和渣钢分离同步完成。整个系统进渣安全可控、短流程、清洁化（渣不落地、水循环使用零外排、废气集中处理超低排放）。	采用密闭容器进行处理，烟气排放浓度≤10mg/Nm ³ ，平均降低颗粒物排放2-4mg/Nm ³ ；吨渣回收铁资源 0.22kg、吨渣用电约10kWh。
			4. 2. 7熔融钢渣高效罐式有压热闷处理技术及装备。在密闭压力容器内，利用钢渣余热遇水产生的高温高压水蒸气使钢渣中的游离氧化钙快速消解，并使钢渣粉化。包括钢渣辊压破碎和余热有压热闷两个阶段，第一阶段在30min内完成熔融钢渣由1600℃冷却至600℃以内，粒度破碎至300mm以下；第二阶段在2h-3h内完成钢渣有压热闷，钢渣中游离CaO充分消解至含量小于3%、浸水膨胀率小于2%。该技术具有适应性强、周期短、粉化率高、尾渣稳定、能耗低、占地面积小等特点。钢渣尾渣含水率<5%，吨钢渣可回收0.2MPa以上压力蒸汽量不低于150kg。	已在60家钢铁企业的120条生产线应用。可最大程度实现钢渣资源化，处理后钢渣20mm以下颗粒占比>70%；尾渣浸水膨胀率<2%；烟气中颗粒物浓度低于10mg/m ³ 。尾渣符合《用于水泥和混凝土中的钢渣粉》（GB/T 20491-2017）和《道路用钢渣》（GB/T 258242010）要求。

领域	内容或路径	技术/标准/说明	相关冶金工程技术说明	
			参考技术及简介	应用实绩
4. 环保减排改造	4.2超低排放改造	通过源头治理、过程控制、末端治理的方式开展全过程有组织、无组织、清洁方式运输超低排放改造，实现减污降碳协同增效。参考《关于推进实施钢铁行业超低排放的意见》（环大气〔2019〕35号）、《关于促进钢铁工业高质量发展的指导意见》（工信部联原〔2022〕6号）。	4.2.8沸腾式泡沫脱硫除尘一体化技术。利用沸腾式泡沫脱硫除尘、精细化喷淋和高效除尘除雾技术和设备，通过在脱硫塔内设置沸腾式脱硫除尘构件，使烟气通过该构件自激发形成沸腾式泡沫层，增加气液接触面积和湍流强度，增强SO ₂ 与浆液的传质效果，提高粉尘颗粒与液相表面碰撞粘附机1率；辅助精细化喷淋层及高效除雾器布置，防止塔壁出现烟气走廊，提高雾滴湍流凝并效果脱除细微雾滴，实现SO ₂ 与细颗粒粉尘的高效脱除及超低排放。	通过单塔改造实现SO ₂ 排放浓度≤35mg/Nm ³ ，粉尘排放浓度≤5mg/Nm ³ ，达到超低排放要求。与传统湿式电除尘器相比，项目改造初投资节省50%以上，运行维护费用可降低约5%。
			4.2.9钢铁烧结烟气内循环减污降碳协同技术。根据烧结风箱烟气排放特征（温度、氧含量、污染物浓度等）差异，选择特定风箱段的烟气循环回烧结合车表面，重新用于烧结。研发了烧结烟气内循环工艺体系，提出烧结过程多污染物协同减排，实现烧结烟气的总量减排，提高烧结废气余热利用效率，降低烧结生产过程的固体燃料消耗，优化烟气分配器和密封罩内的流场分布，开发应用了烟气内循环装备。	在烟气循环率25%时，节煤约2.5千克标准煤吨烧结矿，减少CO ₂ 排放6.50千克二氧化碳/吨烧结矿。外排总烟气体量降低20%，后续环保设备运行电耗降低约为1.28千瓦时/吨烧结矿，折合吨烧结矿减少CO ₂ 排放量约1.02千克。
			4.2.10钢铁行业链篦机-回转窑球团烟气超低排放技术。结合链篦机-回转窑的生产烟气温度特点，设置了三级脱硝系统，其中一级采用非选择性催化还原法（SNCR）脱硝，设计脱硝效率40%-50%；二级采用高温高尘选择性催化还原法（SCR）脱硝，三级采用低温氧化辅助半干法协同脱硝，设计脱硝效率>90%。脱硝烟气经静电除尘后进入末端半干法脱硫+布袋除尘系统，脱硫效率>99%。该技术解决了链篦机-回转窑球团烟气在不设置加热装置和烟气换热器（GGH）情况下实现超低排放的问题。	已有1项工程应用。如迁安市九江线材有限责任公司1#2#240万t/a链篦机-回转窑烟气脱硫脱硝除尘超低排放总承包项目，烟气处理量为120万m ³ /h，净化后烟气SO ₂ 浓度≤20mg/m ³ 、NO _x 浓度≤30mg/m ³ 、颗粒物浓度≤5mg/m ³ 。
			4.2.11钢铁行业重点工序多污染物超低排放控制耦合技术。根据烧结风箱烟气排放特征差异，在不影响烧结矿质量前提下，选择特定风箱段烟气循环回烧结合车表面，用于热风烧结。剩余烟气首先通过脱硫区进行SO ₂ 吸附及氧化，然后与喷入的氨气混合进入脱硝区发生脱硝反应。活性炭法吸附的SO ₂ 经脱附、氧化等过程制备硫酸副产品。	固体燃料降低6.3%-10.8%、烧结矿提产3.2%-6.2%；综合治理成本12-15元/t。
			4.2.12钢铁窑炉烟尘细颗粒物超低排放预荷电袋滤技术。预荷电袋滤技术可使烟气中细颗粒物预荷电，荷电后的粉尘在直通式袋滤器滤袋表面形成多孔、疏松的海绵状粉饼，可强化过滤时细颗粒物的布朗扩散和静电作用，提高碰触几率和吸附凝并效应，从而提高细颗粒物净化效率；超细纤维面层滤料可实现表面过滤，减少细颗粒物进入滤料内部，防止PM _{2.5} 穿透逃逸，稳定实现超低排放。	与传统袋式除尘技术相比，预荷电袋滤器颗粒物排放浓度下降30%-50%，环保效益显著；运行阻力能耗降低40%以上，节能效益显著；占地减少35%，单位产品钢耗量降低25%。

领域	内容或路径	技术/标准/说明	相关冶金工程技术说明	
			参考技术及简介	应用实绩
4. 环保减排改造	4.2超低排放改造	通过源头治理、过程控制、末端治理的方式开展全过程有组织、无组织、清洁方式运输超低排放改造，实现减污降碳协同增效。参考《关于推进实施钢铁行业超低排放的意见》（环大气〔2019〕35号）、《关于促进钢铁工业高质量发展的指导意见》（工信部联原〔2022〕6号）。	4.2.13合成氨液氮洗尾气净化及资源化利用技术。适用于化工、冶金、航天气化炉等行业废气中含化学能低热值气体的净化及资源化。研制了合成氨液氮洗尾气缺氧高效催化氧化专用催化剂、液氮洗尾气分段催化氧化工艺,通过精确控制氧气量,使前两段在500℃- 600℃间缺氧氧化,并转移部分热量,最后一段轻微富氧氧化净化 CH ₄ 、CO 和 H ₂ ,并将缺氧催化氧化后的热惰性气体用作造气过程中磨煤阶段的煤粉干燥气。该技术克服了一步催化氧化带来的高温问题,实现液氮洗尾气化学能平稳可控回收及高浓度氮气资源化利用。含化学能尾气热值500kJ/m ³ -1800kJ/m ³ ,反应温度400℃-650℃,催化剂耐短时热冲击温度750℃,装置低限运行温度大于250℃。	已有2项工程应用。排气出口CO 浓度<120mg/m ³ , H ₂ 浓度<20mg/m ³ 。以30000m ³ /h尾气净化为例,年减排液氮洗尾气2.4亿m ³ ,年减排CO21.2万t。
			4.2.14基于特种金属膜干法冶炼炉高温荒煤气净化及资源化技术。核心滤材采用铁基第五代膜,利用元素间的偏扩散效应和化学反应成孔,具有过滤精度高、高温抗氧化、抗热震性好、耐磨损等优势。通过膜分离技术及配套设备实现高温在线反吹、高温多级排灰、防结露糊膜、自动检测控制和安全防爆等功能,荒煤气在高温550℃下进行有效气固分离后全部回收作为化工原料或发电。该技术解决了易燃易爆、温度波动较大的高温高压含尘腐蚀性烟气过滤及资源化的难题。按36000KVA 密闭炉设计,单台除尘装置处理风量8000m ³ /h-14000m ³ /h,除尘器工作温度<550℃,高温过滤精度达0.1um,除尘器阻力<2kPa。	已销售应用50套技术装备。如青海际华江源实业有限公司 50 万 t/a 年铬铁合金密闭矿热炉高温煤气净化回收项目。高温荒煤气经过滤后,颗粒物浓度<10mg/m ³ ,CO 气体全部回收利用。以青海际华江源铬铁合金密闭矿热炉项目为例,实现年减排颗粒物近1800t,年回收冶炼煤气折算标煤约19200t,年节约电能折算标煤约 2300t,年减排 CO ₂ 13000t。
			4.2.15焦炉炉头除尘技术。采用“炉门上方设固定除尘罩+推焦车封闭及两侧设移动密封挡板”形式以及炉头吸尘罩控制技术,收集在焦炉生产过程中、装煤和出焦时炉门产生大量有毒含尘无组织排放的废气。	烟气中的苯并芘、焦油等有机物一并得到治理,降低焦炉生产对环境的其他影响。净烟气粉尘超低排放:3.1mg/Nm ³ ,低于国家标准的 10mg/Nm ³ 。
			4.2.16金属膜冶炼炉高温气体干法净化节能减排技术。融合金属膜材料、膜元件制备技术、膜分离、膜装备、膜系统工程应用等技术,实现矿热炉及类矿热炉烟气(含尘<150g/Nm ³)在高温下精密气固分离,得到洁净煤气(含尘<10mg/Nm ³),经换热器回收热能(同时得到纯净焦油等)后,送至用户处作为化工原料或燃气发电。核心滤材通过粉末冶金柯肯达尔效应原理制备,成套系统实现高温在线反吹、高温多级排灰、防结露防焦油糊膜、自动检测控制和安全防爆等功能。	22500kVA 铁合金矿热炉上应用,年可多回收净煤气约4492.8万Nm ³ ,颗粒物年减排量 1797t。

领域	内容或路径	技术/标准/说明	相关冶金工程技术说明	
			参考技术及简介	应用实绩
4. 环保减排改造	4.2超低排放改造	通过源头治理、过程控制、末端治理的方式开展全过程有组织、无组织、清洁方式运输超低排放改造，实现减污降碳协同增效。参考《关于推进实施钢铁行业超低排放的意见》（环大气〔2019〕35号）、《关于促进钢铁工业高质量发展的指导意见》（工信部联原〔2022〕6号）。	4.2.17颗粒物、SO ₂ 、NO _x 等超低排放改造。通过采用先进脱硫脱硝技术、进行料场封闭、实施清洁运输等措施，降低颗粒物、SO ₂ 、NO _x 排放，实现减污降碳协同治理。参考《关于推进实施钢铁行业超低排放的意见》（环大气〔2019〕35号）、《关于促进钢铁工业高质量发展的指导意见》（工信部联原〔2022〕6号）、《工业炉窑大气污染综合治理方案》（环大气〔2019〕56号）。	
			4.2.18金属板卧式湿式电除尘技术。以不锈钢耐腐蚀金属集尘板和电晕线组成高压电场，通过电晕放电使粉尘等颗粒物荷电，荷电后的颗粒物在电场力的作用下被集尘板捕集，喷淋水在阳极板表面形成流动水膜，将吸附在集尘板上口的粉尘冲入灰斗，排到循环水箱进行灰水分离处理，达到净化烟气的作用。	可高效去除 PM _{2.5} 细颗粒物，以及SO ₃ 气溶胶和汞等重金属污染物，缓解烟囱腐蚀，消除石膏雨和酸雾等，实现多重环保效益。
			4.2.19烧结（球团）多污染物干式协同净化技术。以循环流化床反应器为核心，通过反应器内激烈湍动颗粒床层吸收吸附双重净化、细微颗粒物凝并功效，有机结合选择性催化还原（SCR）、循环氧化吸收（COA）和超滤布袋除尘技术，并通过智能化检测与控制系统，高效脱除 SO ₂ 、NO _x 、SO ₃ 、HCl、HF 等酸性气体、重金属（铅、砷、镉、铬、汞等）、二噁英及颗粒物（含PM _{2.5} ）等多组份污染物。	出口SO ₂ 浓度≤35mg/Nm ³ ；NO _x 浓度≤50mg/Nm ³ ；烟尘浓度S5mg/Nm ³ ；多种污染物协同脱除：出口SO ₂ （硫酸雾）S5mg/Nm ³ 、重金属汞<3ug/Nm ³ 、二噁英<0.1ng-TEQ/Nm ³ 。多污染物协同脱除，无有色烟羽排放。可减小占地面积约50%，耗水量节约 30%，无废水排放。
			4.2.20烧结机头烟气低温选择性催化还原法脱硝技术。通过元素表面修饰和体相掺杂技术调整催化剂的表面酸碱性和氧化还原能力，改进催化剂，开发了烟气低温（<180℃）条件下的SCR 低温脱硝催化剂。完善了催化剂的成型工艺、开发了低温催化剂保护、热风直接蒸氨技术和装置。同时运用数值模拟技术进行流场模拟，开发了喷氨-脱硝-热解装置，解决了低温含硫条件下 SCR 高效脱硝的难题，同时降低燃料消耗；保证烟气温度场偏差<10℃，速度场偏差<15%，NH ₃ /NO _x 摩尔比绝对偏差<5%。	已有 26 台套工程应用。如唐山瑞丰钢铁 3#烧结机（200m ² ）烟气脱硝项目，处理规模为108万 m ³ /h，NO _x 排放浓度 <20mg/m ³ ，脱硝效率>90%，氨逃逸浓度<1mg/m ³ ，二噁英排放浓度<0.011ngTEQ/m ³ 。
			4.2.21双级错流活性炭法烟气净化系统及装备。采用双级活性炭吸附塔串联工艺，吸附塔内活性炭自上而下流动，烟气自垂直活性炭的方向错流穿过活性炭床层实现烟气净化。一级吸附塔用于脱除SO ₂ 、初步脱除二噁英、颗粒物等，二级吸附塔主要用于脱除NO _x 、深度脱除二噁英、颗粒物等。采用多级喷氨、分层可控错流高效吸附技术与装备、烟温控制技术实现多污染物高效协同脱除和副产物资源化利用。设计活性炭床层厚度1.6m-2.0m，设计空塔流速0.10m/s-0.15m/s，活性炭解析再生温度400-450℃。	已有10项工程应用（19台套设备）。如晋南钢铁集团有限公司2×220m ² 烧结烟气活性炭脱硫脱硝工程。脱硝效率较传统活性炭烟气净化技术提高 30%，可达90%以上，出口烟气中颗粒物浓度<10mg/m ³ ，SO ₂ 浓度35mg/m ³ ，氮氧化物浓度<50mg/m ³ ，二噁英类浓度<0.1ngTEQ/m ³ 。运行费用较传统烟气净化工艺低 30%。

领域	内容或路径	技术/标准/说明	相关冶金工程技术说明	
			参考技术及简介	应用实绩
4. 环保减排改造	4.2超低排放改造	通过源头治理、过程控制、末端治理的方式开展全过程有组织、无组织、清洁方式运输超低排放改造，实现减污降碳协同增效。参考《关于推进实施钢铁行业超低排放的意见》（环大气〔2019〕35号）、《关于促进钢铁工业高质量发展的指导意见》（工信部联原〔2022〕6号）。	4.2.22烧结烟气CO催化氧化耦合余热回收技术。通过催化剂的作用，将烧结烟气中的CO催化氧化成CO₂，同时实现烟气升温，使其更容易满足SCR脱硝的温度要求，从而有效降低SCR补热需求，降低煤气消耗，实现减污降碳。 4.2.23焦炉烟气、热风炉烟气、加热炉烟气钙基干法脱硫。小苏打（碳酸氢钠）作为脱硫剂在烟气脱硫过程中会产生二氧化碳，增加温室气体排放；并且产生的固废不能处置而引起的非法处置的环境风险以及填埋造成的土壤污染问题。用高比表（比表面积≥40）氢氧化钙代替小苏打作为脱硫剂，通过烟道喷洒，进行焦炉烟气、热风炉烟气、加热炉烟气二氧化硫的脱除，在实现二氧化硫减排的同时，产生的固体废物脱硫灰可以由建材行业综合利用，符合鼓励钢铁固体废物综合利用要求。该技术在秦皇岛安丰钢铁焦炉烟气、高炉热风炉及煤气发电二氧化硫治理、华西特钢高炉热风炉及煤气发电二氧化硫治理等企业成功应用，运行稳定。	河钢集团研发出用于CO氧化脱除的催化剂材料，并将催化剂在烧结机80万m ³ /h的烟气条件下，开展单模块CO催化净化试验，净化效率稳定达70%以上。
	4.3建设碳排放和污染物排放全过程智能管控与评估平台	链接工序、设备碳排放数据，实现钢铁企业生产全过程碳排放监测、统计、对标，支撑企业开展碳排放水平、碳足迹和全生命周期碳排放分析研究，以碳效率为核心优化生产工艺及管理，实现生产工序碳排放过程目标管控、碳排放预警管控及减污降碳协同管控，提升污染物排放监测监控水平，企业主要环保设施及生产设施安装分布式控制系统（DCS），建设全厂无组织排放集中控制系统。参考《关于做好钢铁企业超低排放评估监测工作的通知》（环办大气函〔2019〕922号）《重污染天气重点行业应急减排措施制定技术指南（2020年修订版）》（环办大气函〔2020〕340号）《关于促进钢铁工业高质量发展的指导意见》（工信部联原〔2022〕6号）等。		
	4.4高炉、焦炉煤气精脱硫	高炉、焦炉煤气在送至煤气用户前，对煤气中有机硫、无机硫及其他有害成分进行脱除，确保燃烧后废气符合超低排放限值的源头治理工艺。参考《关于推进实施钢铁行业超低排放的意见》（环大气〔2019〕35号）。	4.4.1高炉煤气精脱硫技术。通过高炉煤气预处理技术、有机硫转化、脱硫技术，实现高炉煤气总硫源头控制，减少燃气中的硫分，实现使用高炉煤气燃烧加热的设施无需额外脱硫即达到超低排放限值的要求，大大降低末端治理的压力。	在河钢集团高炉开展2000Nm ³ /h级应用，项目累计运行六个月，是国内有效运行时间最长的高炉煤气脱硫装置。水解塔出口COS浓度小于10mg/Nm ³ ，水解效率大于90%；脱硫塔出口H ₂ S浓度小于10mg/Nm ³ ，脱除效率大于95%；水解塔压损小于1.8kPa，满足下游煤气用户超低排放要求。获得河北省重点研发计划资源与环境创新专项（项目号：21373702D）及国家十四五重点研发计划项目钢铁行业多污染物低能耗高效协同治理技术（项目号：2023YFC3707000）的支持。

领域	内容或路径	技术/标准/说明	相关冶金工程技术说明	
			参考技术及简介	应用实绩
4. 环保减排改造	4.5干法熄焦	采用循环气体将红焦降温冷却的一种熄焦方法。收集红焦热量作为二次能源利用,收集污染物净化后排放。参考《关于推进实施焦化行业超低排放的意见》(环大气〔2024〕5号)。	4.5.1高温高压干熄焦工艺技术。1000℃赤热焦炭从焦炉炭化室推出经焦罐运输至干熄焦炉(竖炉)顶,并装入干熄焦炉内,惰性气体经循环风机由干熄焦炉底部鼓入,焦炭与惰性气体进行逆流接触换热,焦炭被冷却至200℃从底部排出,高温惰性气由顶部排出用于生产蒸汽或发电。	榆钢焦化分厂1号、2号焦炉于2014年配套建设1套110t/h干熄焦,2014年11月份投产运行,目前只运行1号焦炉年产40.61万吨焦炭,干熄焦工艺余热回收蒸汽达0.55吨/吨焦,可降低能耗55.43kgce/t,减碳0.167吨/吨焦。 本钢板材炼铁总厂焦化分厂4炉组、5炉组于2013年、2014年配套建设2套110t/h干熄焦,8#、9#焦炉于2019年配套建设1套190t/h干熄焦,干熄焦工艺余热回收蒸汽达0.59吨/吨焦。
	4.6单孔炭化室压力调节	适用于常规焦炉装煤和结焦过程中,通过调节单个炭化室内荒煤气进入集气管的流通断面,稳定炭化室压力,减少炉门装煤孔等处废气无组织排放。该技术可单独使用,也可与高压氨水喷射技术联合使用。参考《炼焦化学工业污染防治可行技术指南》(HJ2306-2018)《关于推进实施焦化行业超低排放的意见》(环大气〔2024〕5号)。	4.6.1焦炉炭化室荒气回收和压力自动调节技术。根据每孔炭化室煤气发生量变化,实时调节桥管水封阀盘的开度,实现整个结焦周期内炭化室压力调节,避免在装煤和结焦初期因炭化室压力过大产生煤气及烟尘外泄,并大量减少炭化室内荒煤气窜漏至燃烧室,实现装煤烟尘治理和焦炉压力稳定。	投资回收期1-2年。
5. 流程优化再造	5.1热轧板带无头轧制	在一个换辊周期内,热轧板带长度可无限延长的不间断轧制工艺。可生产大量薄规格产品(0.8—1mm),取代许多应用领域的冷轧产品,直接进行酸洗和镀锌,完全消除了冷轧、退火和平整所需能耗,商品材碳排放量较传统工艺下降50%以上。《产业结构调整指导目录(2024年本)》。		
	5.2工序界面技术改造	通过铁水一罐到底、薄带铸轧、铸坯热装热送、在线热处理等技术改造,打通钢铁生产流程工序界面,推进冶金工艺紧凑化、连续化。	5.2.1薄带铸轧一体化技术。采用一对相对旋转的铸辊做为结晶器,使液态金属在极短的时间内凝固并热成型,直接成为金属薄带。薄带铸轧工艺改变了传统的钢材生产方法,取消了连铸、粗轧、热连轧及相关的加热、切头等一系列常规工序,将亚快速凝固技术与热加工成型两个工序合二为一,真正实现了“一火成材”,大幅度地缩短了钢铁材料的生产工艺流程。	
5. 流程优化再造	5.3绿色物流	在钢铁企业厂区外通过海运(水运)、铁路、多式联运等绿色交通方式运输原材料或制成品并支付运费,在钢铁企业厂区内通过加大皮带、管道、铁路、辊道,以及电动、清洁燃料运输车辆等绿色物流技术使用,优化运输结构及物流管理,减少燃料消耗,有效降低厂内物流环节碳排放。参考标准《关于推进实施钢铁行业超低排放的意见》(环大气[2019]35号)、《重污染天气重点行业应急减排措施制定技术指南》(环办大气函[2020]340号)。		

领域	内容或路径	技术/标准/说明	相关冶金工程技术说明	
			参考技术及简介	应用实绩
5. 流程优化再造	5.4电炉短流程炼钢	全废钢-电炉炉短流程工艺吨钢可减少70%的二氧化碳排放。参考标准《钢铁企业节能设计标准》（GB/T-50632-2019）、《电弧炉冶炼单位产品能源消耗限额》（GB32050-2015）。	5.4.1电炉废钢预热技术。ECOARC电弧炉由一个熔化炉和一个废钢预热竖炉组成。废钢预热竖炉系统由上闸门、废钢室、下闸门、竖炉、推钢机和水冷盘组成。预热竖炉直接和刚性地连接到熔化炉，在熔融过程中废钢一直存在于竖炉中，竖炉底部的废钢接近钢水或与钢水接触，竖炉底部的废钢熔化后，竖炉中废钢高度降低时，废钢会被加入到竖炉中。在熔化够一炉钢量后，废钢停止加入。接下来在预热竖炉内充满废钢的情况下，进入到加热期。	鞍钢集团本钢板材特殊钢事业部应用电炉废钢预热技术，废钢预热温度达到600℃，降低冶炼电量120kwh/t以上。
6. 冶炼技术突破	6.1副产煤气或天然气直接还原炼铁	以焦炉煤气或天然气制富氢还原气，用于生产直接还原铁。参考标准《产业结构调整指导目录（2024年本）》《钢铁行业节能降碳改造升级实施指南》。		
	6.2富氢碳循环高炉	采用全氧炼铁、炉顶煤气脱除二氧化碳后循环利用、复合喷吹氢气等技术。参考标准《钢铁行业节能降碳改造升级实施指南》《关于促进钢铁工业高质量发展指导意见》。		
	6.3熔融还原炼铁	以铁矿粉或球团矿为原料，以煤为燃料和还原剂，在熔融还原炉中冶炼得到生铁，减少了烧结和焦化等相关环节污染物排放。参考标准《产业结构调整指导目录（2024年本）》《钢铁行业节能降碳改造升级实施指南》。		
	6.4全氢基直接还原炼铁	采用纯氢进行直接还原炼铁，产品可作为电炉钢原料。参考标准《产业结构调整指导目录（2024年本）》《钢铁行业节能降碳改造升级实施指南》。		
7. 数字化赋能	7.1高级计划排程技术	高级计划与排程，主要针对产销矛盾问题，以最大化产能利用率和订单准时交付率，以及铁钢界面，钢轧界面的高温热连接能耗最低为目标，涉及订单计划、批量计划（钢轧一体化计划）和生产调度等。参考《关于推动钢铁工业高质量发展的指导意见》（工信部联原〔2022〕6号）、《“十四五”智能制造发展规划》（工信部联规〔2021〕207号）、《“十四五”信息化和工业化深度融合发展规划》（工信部规〔2021〕182号）、《关于加快场景创新以人工智能高水平应用促进经济高质量发展的指导意见》。参考标准《智能制造能力成熟度模型》（GB/T39116-2020）、《智能制造能力成熟度评估方法》（GB/T39117-2020）。		

领域	内容或路径	技术/标准/说明	相关冶金工程技术说明	
			参考技术及简介	应用实绩
7. 数字化赋能	7.2 热风炉、加热炉智能燃烧系统	智能燃烧系统，基于人工智能技术，通过物理数学模型以及先进控制算法，克服煤气压力和热值的波动。参考《关于推动钢铁工业高质量发展的指导意见》（工信部联原〔2022〕6号）、《“十四五”智能制造发展规划》（工信部联规〔2021〕207号）、《“十四五”信息化和工业化深度融合发展规划》（工信部规〔2021〕182号）《关于加快场景创新以人工智能高水平应用促进经济高质量发展的指导意见》。参考标准《智能制造能力成熟度模型》（GB/T39116-2020T）、《智能制造能力成熟度评估方法》（GB/T39117-2020）。	7.2.1 高炉热风炉自动燃烧和热均压技术。热风炉人工烧炉时，由于个体操作存在差异，煤气消耗、拱顶温度等不稳定，送风温度易波动。结合优秀操作者的经验数据，以设备安全为前提，以降低煤气量和稳定风温为目标，以模糊控制为手段，制定热风炉自动燃烧模型，分阶段（点火、烧拱顶、烧烟道）调整煤气量和空燃比。	宁波钢铁2号高炉实施热风炉自动燃烧和热均压技术，在同样的拱顶和烟道温度情况下，热风炉煤气消耗折合值由2.085GJ/t-Fe降低至2.052GJ/t-Fe，平均换炉时间由12min降低至9min。本钢板材公司5#、6#、7#、新1#高炉实施热风炉自动燃烧，在同样的拱顶和烟道温度情况下，热风炉煤气消耗折合值由2.23GJ/t-Fe降低至2.15GJ/t-Fe。
	7.3 煤气预测与调度优化	利用人工智能及大数据分析等技术，实现钢铁企业煤气产生与消耗预测，优化煤气调度方案，提高实现节能降耗，减少煤气放散。参考《关于推动钢铁工业高质量发展的指导意见》（工信部联原〔2022〕6号）、《“十四五”智能制造发展规划》（工信部联规〔2021〕207号）、《“十四五”信息化和工业化深度融合发展规划》（工信部规〔2021〕182号）《关于加快场景创新以人工智能高水平应用促进经济高质量发展的指导意见》。参考标准《智能制造能力成熟度模型》（GB/T39116-2020）、《智能制造能力成熟度评估方法》（GB/T39117-2020）。		
	7.4 高炉数字孪生	高炉数字孪生体，实现高炉生产过程的虚拟-现实映射，通过模拟、分析、验证等方式选择最优生产参数，提升冶炼效率及铁水质量稳定性等。参考《关于推动钢铁工业高质量发展的指导意见》（工信部联原〔2022〕6号）、《“十四五”智能制造发展规划》（工信部联规〔2021〕207号）、《“十四五”信息化和工业化深度融合发展规划》（工信部规〔2021〕182号）《关于加快场景创新以人工智能高水平应用促进经济高质量发展的指导意见》。参考标准《智能制造能力成熟度模型》（GB/T39116-2020）、《智能制造能力成熟度评估方法》（GB/T39117-2020）。		

领域	内容或路径	技术/标准/说明	相关冶金工程技术说明	
			参考技术及简介	应用实绩
7. 数字化 赋能	7.5操作远 程化，无人 化、集控化 技术	利用5G、工业互联网、物联网、人工智能、大数据，云计算等新一代信息通讯技术，实现操作远程化，无人化，操作室集中化等。参考《关于推动钢铁工业高质量发展的指导意见》（工信部联原〔2022〕6号）、《“十四五”智能制造发展规划》（工信部联规〔2021〕207号）、《“十四五”信息化和工业化深度融合发展规划》（工信部规〔2021〕182号）《关于加快场景创新以人工智能高水平应用促进经济高质量发展的指导意见》。参考标准《智能制造能力成熟度模型》（GB/T39116-2020）、《智能制造能力成熟度评估方法》（GB/T39117-2020）。	7.5.1压缩空气系统集中群控智慧节能技术。通过准确掌握用户的用气规律并作出趋势预测，设定满足生产工艺需求的最低压缩空气系统总管压力，再通过采用高效空压机、零气耗干燥机、疏水阀等设备，以及精准调控空压机，可降低总管压力波动，适当降低总管压力，能降低管路泄漏量，满足用户经济用气需求实现节能。	宝钢宝山基地钢管、初轧多个场合应用；年节电6032万kWh，减少12个定员，节电率5%以上。
			7.5.2数字智能供电技术。采用多输入多输出电源技术，在一套电源系统上实现多种能源供应，多种低压制式输出。采用模块化设计，可方便、快速、不停电更换换流模块、管控模块、直流输出配电模块，支持各类模块混插，可随意组合并机输出；通过分布式软件定义电池系统，对充放电和成组进行动态管理和控制，实现电池信息化管理，智能运维。	基站一体化能源柜：占地空间需求降低约60%，供电效率提升8%-17%。数字能源机柜：ICT设备机柜装机率提升30%-40%，供电效率提升10%-15%。
			7.5.3智慧能源管理系统技术。综合通讯技术通过具有对等通信技术的工业物联网与工业以太网无缝连接，并通过网络变量捆绑实现去中心化的设备互联互通。采用数据采集与处理模型、调控模型及策略，实现自适应智能控制、能效提升、能源平衡与调度、动态柔性调峰。在统一平台上解决了信息孤岛问题，实现了供用能系统的监控管一体化。	能效提升率10%-40%；提高能源保障与安全管理水平，减少运维人员1/3以上。
	7.6产线智 能化改造	通过大数据分析，视觉分析，自学习等人工智能技术，对产线控制系统进行优化，提高产线自组织，自决策能力，并能提高产线生产效率及控制精度，提高产品质量，降低能耗等。参考《关于推动钢铁工业高质量发展的指导意见》（工信部联原〔2022〕6号）、《“十四五”智能制造发展规划》（工信部联规〔2021〕207号）、《“十四五”信息化和工业化深度融合发展规划》（工信部规〔2021〕182号）《关于加快场景创新以人工智能高水平应用促进经济高质量发展的指导意见》。参考标准《智能制造能力成熟度模型》（GB/T39116-2020）、《智能制造能力成熟度评估方法》（GB/T39117-2020）。	7.6.1焦炉加热控制技术。针对焦炉加热过程调控复杂、加热煤气消耗量大、碳排放高、氮氧化物生成多等难题，开发了炼焦过程智能测温加热控制、焦炉边火道热工控制、炼焦终温反馈调节及焦炉源头减氮控制技术，有效解决焦炉人工控温火道测控精度差、调节滞后的问题，实现焦饼中心温度远程自动准确测量控制，降低焦炉烟气氮氧化物排放。	该技术已在鞍山钢铁焦化基地（鞍山、鲅鱼圈）8座7米焦炉和8座6米焦炉的1000万吨焦化产能进行推广应用。鞍钢集团本钢焦化基地、鞍钢股份朝阳焦化基地也已启动推广应用工作。

领域	内容或路径	技术/标准/说明	相关冶金工程技术说明	
			参考技术及简介	应用实绩
7. 数字化赋能	7.6产线智能化改造	通过大数据分析，视觉分析，自学习等人工智能技术，对产线控制系统进行优化，提高产线自组织，自决策能力，并能提高产线生产效率及控制精度，提高产品质量，降低能耗等。参考《关于推动钢铁工业高质量发展的指导意见》（工信部联原〔2022〕6号）、《“十四五”智能制造发展规划》（工信部联规〔2021〕207号）、《“十四五”信息化和工业化深度融合发展规划》（工信部规〔2021〕182号）《关于加快场景创新以人工智能高水平应用促进经济高质量发展的指导意见》。参考标准《智能制造能力成熟度模型》（GB/T39116-2020）、《智能制造能力成熟度评估方法》（GB/T39117-2020）。	7.6.2炼钢蒸汽平衡系统及控制技术。一是宝钢湛江技术路径：主要包括相关蒸汽生产和使用的预测控制模型，以及蓄热器压力调节平台，控制现场设备，实现自动调节炼钢低压蒸汽外送量和中压蒸汽补入量，通过计算机智慧计算和模型控制，实现炼钢蒸汽系统自平衡，最终达到炼钢蒸汽放散为零、中压补入为零的目标，提升炼钢蒸汽的回收利用水平。二是鞍钢股份炼钢总厂技术路径：提高转炉自产蒸汽利用率，最大限度供真空系统使用和回收并网，精准把控蒸汽用量分配。增设蒸汽自动控制阀，将控制权前移至岗位，依托生产调度系统，根据转炉和真空系统生产节奏，实时、快速反应，合理分配、利用蒸汽资源，最大限度减少空耗损失。建立转炉蒸汽回收模型控制程序，提升蒸汽并网压力，根据生产实际，动态、自动选择回收控制参数，实现区域自平衡利用基础上最大化回收。	宝钢湛江实施应用效果：炼钢蒸汽回收量较增加4kg/t.s，年蒸汽回收量增加约3.66万吨（发电效率按160kWh/t计，年发电量约585.6万kWh，年碳减排约3736t）。鞍钢股份炼钢总厂实施效果：2022年该技术的应用实现了蒸汽区域自平衡利用的目标。减少公司蒸汽量5.4kg/t钢，约年降低使用公司蒸汽9.61万吨（发电效率按200kWh/t计，年发电量约1922万kWh，年碳减排约2362t）。
			7.6.3铁水智能调度系统。通过工业网络改造或新增，实现与企业已有信息化系统互联互通，实现铁水调度相关生产数据、设备运行数据和其他重要数据的自动采集；应用RFID技术、GPS技术及3D仿真建模等智能化手段，实现机车、铁水罐准确定位跟踪、铁水信息的智能识别，将炼铁-炼钢工序紧密衔接，铁-钢界面铁水调运预判及时、组织有序。并根据企业实际需求，开发集监控预警、调度指令、生产实绩、生产计划、数据分析、历史信息、基础配置等功能的智能管理系统，实现对铁水运输过程的规范化、精细化、智能化管理，减少铁水运输过程温降。	唐山港陆钢铁有限公司工业化应用，提高了铁水罐周转率，铁水入转炉温度可提高10℃以上，吨铁可节约2.28kgce，减排5.93kgCO ₂ ；可降低生产成本1元/t铁。
			7.6.4超一级能效智慧空压站。哲达科技超一级能效智慧空压站技术以“国家科技进步一等奖”的关键智控技术为依托，从系统设计、设备选型、运行优化、全生命周期管理等维度着手，精心智造一级能效空压站。系统通过应用超高效空压机组、低露点多模式节能型干燥机、高效管网输配、系统智能控制、设备安康管控、智慧能源云服务等技术，形成自主知识产权的一级智慧空压站系统装备，为客户提供真正“高效能、高品质、高安全、高智能”的压缩空气系统。	山钢智慧空压站获得国内单站最大的一级能效空压站，单站设计规模3000Nm ³ /min，设计压力0.8Mpa、露点≤-40℃，综合输功效率超一级能效8%，与原山钢集团空压站运行能效提升40%，年节能效益约4000万度电；南钢压缩空气系统节能改造项目年节能1500万度、本溪钢铁空压站年节能2500万度电，哲达超高效一级能效站累计应用客户超40个，项目数量超60个，累计为客户实现年节能超3亿电，节约二氧化碳碳排放超29万吨每年。
			7.6.5钢铁企业电网智能管控技术。适用于钢铁行业电网智慧管控节能技术改造。通过电网运行安全化、潮流控制自动化、电网调度智能化、数据采集全景化、设备运维规范化、事故处理智慧化等核心功能，使企业电网内发电设备、用电设备实现高效协调运行，提升余能发电机组自发电利用率。	丰南钢铁电网系统覆盖范围包括220千伏总降变电所2座、110千伏变电所14座、发电机组4座，电源、电网、自发电机组和负荷之间没有协调运行，造成较大能源浪费。采用电网智能管控技术对企业电网进行智能控制，实施周期18个月。改造完成后，发电量增加100万千瓦时/天，可节约电量3.3亿千瓦时/年，折合节约标准煤10.2万吨/年，减排CO ₂ 28.3万吨/年，投资回收期1年。预计到2025年行业普及率可达到5%。可实现节约标准煤31万吨/年，减排CO ₂ 86万吨/年。

领域	内容或路径	技术/标准/说明	相关冶金工程技术说明	
			参考技术及简介	应用实绩
7. 数字化赋能	7.6产线智能化改造	通过大数据分析，视觉分析，自学习等人工智能技术，对产线控制系统进行优化，提高产线自组织，自决策能力，并能提高产线生产效率及控制精度，提高产品质量，降低能耗等。参考《关于推动钢铁工业高质量发展的指导意见》（工信部联原〔2022〕6号）、《“十四五”智能制造发展规划》（工信部联规〔2021〕207号）、《“十四五”信息化和工业化深度融合发展规划》（工信部规〔2021〕182号）《关于加快场景创新以人工智能高水平应用促进经济高质量发展的指导意见》。参考标准《智能制造能力成熟度模型》（GB/T39116-2020）、《智能制造能力成熟度评估方法》（GB/T39117-2020）。	7.6.6冶金工业电机系统节能控制技术。转炉每个冶炼周期为30分钟左右，吹炼时间和装、出料的时间各占一半，风机在转炉吹炼时高速运行，在吹炼后期及补吹时中速运行，而在出钢和装料期间可将速度降低，这样既能满足转炉冶炼工艺要求，又能实现节能。因此基于大数据分析和智能控制理论，通过研究不同冶金工艺条件下电机和负载匹配关系、控制策略优化等实现电机系统节能优化。	山东盛阳金属科技股份有限公司1700毫米热轧高压水除鳞系统并联使用5台710千瓦水泵，通过增减泵的数量来调节出水压力，导致压力控制不连续，泵系统磨损严重，维护费用高。采用MVC1200-10K/350高压变频器及控制系统进行智能驱动。实施周期5个月。改造完成后，新系统15-50赫兹升速时间8秒，50-15赫兹降速时间20秒，系统振动减小，水泵寿命延长，生产自动化水平提高。据统计，可节约电量510万千瓦时/年，折合节约标准煤1581吨/年，减排CO ₂ 4383吨/年。投资回收期3年。预计到2025年行业普及率可达到40%。可实现节约标准煤11万吨/年，减排CO ₂ 30.5万吨/年。
8. 碳回收利用	8.1二氧化碳捕集利用与封存	捕集钢铁企业烟气中二氧化碳，进行地下封存，或者用于驱油、二氧化碳固化渣利用、资源化利用等。参考标准《2030年前碳达峰行动方案》《二氧化碳捕集利用与封存术语》（T/CSES41-2021）。		
	8.2炉窑等尾气回收二氧化碳及利用	二氧化碳电解后可制备重要的工业原料合成气（一氧化碳和氢气），减少向大气中排放的二氧化碳。参考标准《二氧化碳捕集利用与封存术语》（T/CSES41-2021）。		
	8.3喷吹二氧化碳炼钢	将二氧化碳应用于炼钢工序，利用二氧化碳的反应吸热、气泡增殖、强化搅拌等高温反应特性，实现转炉冶炼工序的冶金指标改善、节能降耗。《钢铁企业二氧化碳利用技术规范第1部分：用于转炉底吹》（YB/T4891.1-2021）《钢铁企业二氧化碳利用技术规范第2部分：用于转炉顶吹》（YB/T4891.2-2021）《钢铁企业二氧化碳利用技术规范第3部分：用于电炉炼钢》（YB/T4891.3-2021）。	8.3.1转炉底吹二氧化碳炼钢技术。转炉炼钢底吹二氧化碳冶炼。CO ₂ 具有弱氧化性，在钢液中能与C、Si、Mn、Fe等发生氧化反应，CO ₂ 与钢中[C]反应生产CO时，气体体积成倍增加。底吹CO ₂ 气体在底吹元件出口的初始动能CO ₂ 气体从常温热膨胀至炼钢温度所作膨胀功；CO ₂ 与钢中[C]发生反应，生成2倍体积的CO时的膨胀功；CO ₂ 和CO气体混合后，在上浮过程所作的功在相同底吹强度条件下，CO ₂ 对转炉熔池的搅拌效果要比Ar和N ₂ 强，在脱碳反应剧烈的吹炼中期，对熔池搅拌能力几乎是底吹Ar或N ₂ 的2倍。	因CO ₂ 搅拌强度大，使钢水碳氧积降低，钢水自由氧降低20-50ppm，钢砂铝用量减少，降低硅锰合金用量；因CO ₂ 搅拌强度大，脱碳速度加快，吹炼时间缩短30-50秒，氧气消耗量降低，同时替代氮气和氩气，实现炼钢成本降低达6.0元/吨以上。该技术由北科大在首钢京唐也有试验应用。
9. 产品结构优化	9.1开发高强度高韧、耐腐蚀、轻量化、长寿命的钢铁绿色设计产品	钢铁产品在设计开发阶段系统考虑原材料选用、生产、销售、使用、回收、处理等各个环节对资源环境造成的影响，力求产品在钢铁产品制造生命周期中最大限度降低资源消耗、尽可能少用或不用含有有害物质的原材料，减少污染物产生和排放，降低钢材消费强度。参考绿色设计产品评价技术规范清单中与钢铁行业相关的标准。	9.1.1高品质钢管多功能高效淬火技术。该技术适用于高品质钢管的“外淋+内喷+槽浴+旋转”淬火工艺，优化淬火外淋、内喷水参数，在钢管冷却至马氏体转变终了温度时，切换至浴槽冷却，节约用水。整个供水控制系统采用变频智能控制，减少非淬火时间的用水量。	适用于钢铁行业高品质钢管生产，处于推广应用阶段。

领域	内容或路径	技术/标准/说明	相关冶金工程技术说明	
			参考技术及简介	应用实绩
10. 绿色低碳产业链建设	10.1铁矿绿色矿山建设	绿色开发铁矿资源，推动科技创新和数字化智能化采选生产，加强资源综合利用，提高资源开发利用率，减少能源消耗和污染物排放；矿山开采企业应建立完善的环境、健康、安全管理体系（EHS）并有效运行。将环境和社会风险管理内嵌入项目融资的全过程及关键节点。在融资合同中，将识别出来的环境和社会问题作为合同条款或合同附件，在融资过程中积极落实。及时披露企业也的环境、社会、治理情况，与利益相关方密切交流，并接受监督。参考标准《矿山企业采矿选矿生产能耗定额标准》第1部分：铁矿石采矿》《矿山企业采矿选矿生产能耗定额标准第2部分：铁矿石选矿》《铁矿山采选企业重金属废水处理技术规范》《铁矿山固体废弃物处置及利用技术规范》《铁矿露天开采单位产品能源消耗限额》《铁矿地下开采单位产品能源消耗限额》《铁矿选矿单位产品能源消耗限额》《铁矿采选工业污染物排放标准》《固体矿产绿色矿山建设指南（试行）》《冶金行业绿色矿山建设规范》《关于贯彻落实全国矿产资源规划发展绿色矿业建设绿色矿山工作的指导意见》《关于加快建设绿色矿山的实施意见》《矿山企业温室气体排放核算方法与报告指南（试行）》等。		
10. 绿色低碳产业链建设	10.2煤气、余热、蒸汽、水等资源回收利用	钢铁企业副产的二次能源，包括高焦转煤气、蒸汽、余热、水等资源，可外供周边用户，协同全社会减少二氧化碳排放。参考标准《城镇燃气设计规范》（GB50028-20062020年版）、《城镇供热管网设计标准》（CJJ/T34-2022）等。		
	10.3钢渣/矿渣微粉生产	建设固废基胶凝材料生产线，减少预拌泵送混凝土行业中的水泥用量，或制作高性能土壤固化剂等。参考标准《产业结构调整指导目录（2024年本）》《钢铁行业节能降碳改造升级实施指南》《用于水泥和混凝土中的钢渣粉》（GB/T20491-2017）《防火石膏板用钢渣粉》（YB/T4602-2018）《陶粒用钢渣粉》（YB/T4728-2018）《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T28293-2017等。	10.3.1钢渣/矿渣辊压机终粉磨系统技术。该设备由辊压机、组合选粉机、收尘器和风机等组成。物料经计量配料和提升输送，经预处理后，进入辊压机上方的荷重小仓，继而喂入辊压机被挤压粉磨。经过粉磨后的物料直接进入选粉机烘干和分选。烘干热源来自热风炉产生的热风，分选后的粗料返回辊压机被再次挤压，而合格的成品被风带入收尘器收集后送至成品库储存。	该技术由天津水泥工业设计研究院有限公司提供，应用于邯郸市邦信建筑材料有限公司、兴隆县中泰建材有限公司、莒县城阳水泥有限公司等。该技术粉磨效率高，除铁效果好，系统阻力低，具有节电效果，有一定推广价值。
			10.3.2钢渣立磨终粉磨技术。该技术通过调节选粉机转速、磨机气流量和碾磨压力，并与合适高度的挡料圈相结合，可获得要求的研磨细度。该设备集破碎、粉磨、烘干、选粉为一体，具有电耗低、密封性能好、占地面积小、流程简单等特点。该设备采取了新型立磨研磨区结构，可实现高压少磨技术粉磨钢渣；同时也开发了系统除铁以及磨内除铁，减少了铁的富集。	该技术由中材（天津）粉体技术装备有限公司提供，在江苏融达再生资源集团年产30万吨钢渣微粉TRMG3221立磨项目应用。钢渣粉可用于建材产品中，具有一定推广价值。

领域	内容或路径	技术/标准/说明	相关冶金工程技术说明	
			参考技术及简介	应用实绩
10. 绿色低碳产业链建设	10.3 钢渣/矿渣微粉生产	建设固废基胶凝材料生产线，减少预拌泵送混凝土行业中的水泥用量，或制作高性能土壤固化剂等。参考标准《产业结构调整指导目录（2024年本）》《钢铁行业节能降碳改造升级实施指南》《用于水泥和混凝土中的钢渣粉》（GB/T20491-2017）《防火石膏板用钢渣粉》（YB/T4602-2018）《陶粒用钢渣粉》（YB/T4728-2018）《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T28293-2017等。	10.3.3钢渣资源化利用集成技术。钢渣经过焖箱热焖渣/滚筒裂解、筛分、破碎、磁选、磨粉等多道工序，从中选出甲级钢渣、乙级渣钢、粒子钢、混合渣粉、精矿粉等产品返回钢厂，尾渣通过钢渣微粉生产线生产微粉，作为建材原料或制作高性能土壤固化剂。	该技术由宁波钢铁有限公司提供，年钢渣处理量约50万吨。集成技术生产线在宁钢应用10多年，并不断改进优化，30%含铁料返回钢厂使用，70%尾渣磨细粉加工成钢渣微粉。设备应用情况良好，按宁波钢铁生产数据，吨钢的钢渣资源化利用效益20元，具有一定推广价值。
			10.3.4固废基高性能尾矿胶结充填胶凝材料制备和应用技术。以矿渣、钢渣、脱硫石膏等大宗固体废弃物为主要原料，通过机械活化和添加高效激发剂，有效激活固废潜在胶凝活性。新型高效尾矿胶结充填胶凝材料可适用于多种类型难胶结尾矿（特别是超细全尾砂），实现“以废治废”。	充填体强度最高可达 6MPa 以上，充填灰砂比可达 1:10 以上。提高工业固废利用价值，产品应用成本仅为水泥等传统胶凝材料 50%以下且性能更高；促进矿山尾矿减量排放，消除尾矿库带来的安全隐患和环境破坏。
			10.3.5利用矿渣固废生产矿渣微粉集成技术。该技术以矿渣固废为原料，原料经上料系统进入矿渣立磨磨粉系统，在立磨内经过破碎、粉磨、烘干、气体输送、选粉，由热风炉提供矿渣在磨内烘干需要的热量，结合机械学、热工学、流体、液压传动、自动控制、参数监控、耐磨材料等集成技术，生产矿渣微粉。包含矿渣上料系统、矿渣粉磨系统、热风炉供热系统、矿渣微粉存储与发运等工序。	在唐山六九年产120万吨矿渣微粉EP总包项目、罗源闽光年产120万吨矿渣微粉EPC总包项目、信阳钢铁年产80万吨矿渣微粉项目进行工程应用。该技术能够消化工业固废生产矿渣水泥微粉，实现变废为宝，工艺绿色、环保、高效、节能，具有一定推广应用前景。
	10.4 尾矿尾渣等固废资源新型处理工艺技术	围绕冶金渣尾渣、铁矿尾矿、有价金属富集渣、多金属物料、重金属污泥等低质、复杂固废资源，开发的新型处理工艺技术，实现资源的高价值或低能耗综合利用。比如，磨选细粒湿尾矿全量资源化梯级利用技术、钒渣亚熔盐法钒铬共提技术、重金属污泥矿相重构法资源化技术、高效环保型集约式塔楼制砂成套装备等。参考国家有关主管部门发布的《国家工业资源综合利用先进适用工艺技术设备目录》《国家清洁生产先进技术目录》等。	10.4.1典型重金属污泥矿相重构法资源化处置技术。适用于冶炼、化工等行业重金属危险废物的治理与资源化，尤其适用于重金属污泥、浸出渣、滤渣等细颗粒、高含水危险废物的处理。基于细颗粒相矿化调控分离重金属原理，以“水热解离-定向结晶-多级分离”的重金属回收方法，研制了污泥定向矿化反应器和后处理工艺，建成化工、冶炼、电镀等多种污泥转晶解毒与资源化处理工程，处理后有价元素铬、铜等回收率大于98.4%，砷等元素浸出毒性降低 99.8%。	本技术平均处理每吨重金属污泥综合电耗221千瓦时，折算标准煤为67.41千克，CO2排放量约175.25 千克/吨；常规水泥窑平均处理每吨重金属污泥综合电耗1067.4千瓦时，折算标准煤为325.56千克，CO2排放量约846.448 千克/吨。与常规水泥窑相比，处理每吨重金属污泥减少CO2排放量约671.20千克。

领域	内容或路径	技术/标准/说明	相关冶金工程技术说明	
			参考技术及简介	应用实绩
10. 绿色 低碳产业 链建设	10.4尾矿尾渣等固废资源新型处理工艺技术	围绕冶金渣尾渣、铁矿尾矿、有价金属富集渣、多金属物料、重金属污泥等低质、复杂固废资源，开发的新型处理工艺技术，实现资源的高价值或低能耗综合利用。比如，磨选细粒湿尾矿全量资源化梯级利用技术、钒渣亚熔盐法钒铬共提技术、重金属污泥矿相重构法资源化技术、高效环保型集约式塔楼制砂成套装备等。参考国家有关主管部门发布的《国家工业资源综合利用先进适用工艺技术设备目录》《国家清洁生产先进技术目录》等。	10.4.2电解锰渣资源化综合利用工艺技术。本工艺主要包括锰渣煅烧脱硫和烟气制硫酸两个工段，及后续脱硫锰渣的资源化利用，情况如下：1) 锰渣煅烧脱硫工段，根据电解锰渣的物化特性，采用回转窑煅烧的方式脱出锰渣的硫，产生的脱硫锰渣可作为生产水泥的原料或混合材料，破碎筛分后代替建筑再生骨料或中细砂用于混凝土和各类水泥砖生产。2) 烟气制硫酸工段，利用高温煅烧电解锰渣，产生含二氧化硫和少量氨气的混合气体，气体经过脱氨、净化、干燥后采用“两转两吸”工艺生产硫酸，净化工段产生的硫酸铵废水经汽提脱氨生产氨水，尾气经处理后达标排放。硫和氨资源回收利用率达 99.8%、锰渣实现无害化和资源化利用。电解锰渣无害化和利用后满足以下标准：Q/TY0002-2015《活化脱硫锰渣用于水泥原料、混合材料技术标准》、Q/TY0003-2018《用于水泥中的脱硫锰渣》、2021-0130T-JC《水泥和混凝土用脱硫锰渣》。	该技术由宁夏天元锰业集团有限公司提供，已用于该公司年产1500万块标准生产线，产品符合国标要求。
			10.4.3钒渣亚熔盐法钒铬共提与产品绿色制造集成技术。钒渣在 NaOH亚熔盐介质中经微气泡强化溶出，获得含钒铬的浸出液，再经脱硅、冷却结晶、蒸发结晶获得钒酸钠、铬酸钠和结晶母液；结晶母液全部返回溶出工序循环使用；钒酸钠经钙化-铵化工艺制备纯度在99.5%以上的高纯氧化钒产品；提钒尾渣脱钠后作为烧结矿全量化利用；五氧化二钒、铬酸钠产品性能均达到或优于行业标准要求。以中科院原创亚熔盐平台技术为依托，以钒渣中钒铬资源的高效清洁利用为目标，形成了钒渣亚熔盐法钒铬共提及产品绿色制造工艺。	该技术由承德钒钛新材料有限公司提供。承德钒钛和中科院过程工程研究所联合攻关，开发了亚熔盐法钒铬共提与产品绿色制造集成技术。2017年6月建成投用了钒渣亚熔盐法高效提钒清洁生产示范工程。目前，该技术正在第三方企业进行年处理10万吨钒渣的推广应用。
			10.4.4复杂多金属物料协同冶炼及综合回收关键技术。利用氧化物、硫化物、硫酸盐、单质等交互反应过程以及固相、液相、气相等多相耦合反应过程，处理含有铅、锌、锑、铜、锡镍、铋、碲、金、银、砷、硫、铁、氟、氯、铬等十几种元素的复杂物料，进行回收。采用逆流焙烧干燥、富氧侧吹冶炼、富氧燃料浸没燃烧等技术，保证处理后的弃渣属于一般固废。	铜回收率>96%；锑回收率>90%；银回收率>97%；铅回收率>97.5%；金回收率>97.5%；铋回收率>90%；锌回收率>90%；脱硫率>98.5%；氧浓度最高 95%；废水、废气、固体废物优于国家现行排放标准。
			10.4.5高效环保型集约式塔楼制砂成套装备。该装备集成提升机、制砂机、模控筛、粒型优化机、除湿系统、智能控制系统于一体，将石屑、瓜米石等尾料制作成精品机制砂。物料经提升机送入制砂机后，通过四口转子及非圆叶轮进行多次冲击破碎、研磨整形，进入模控筛进行级配调节，调节后进入粒型优化机进行再次磋磨整形，最后经加湿除尘后出料，产出的精品砂级配合理、粒型圆润，可达到GB/T14684中Ⅱ类机制砂的要求。 工艺如下：提升給料→冲击破碎→研磨整形→级配调节→磋磨整形→加湿除尘→机制砂。	该技术已应用于涞源县冀恒矿、首钢迁安裴庄生态修复项目、河北九洲矿业、山东邹城住宅建筑有限公司等，产品可达到GB/T14684中Ⅱ类机制砂的要求。

领域	内容或路径	技术/标准/说明	相关冶金工程技术说明	
			参考技术及简介	应用实绩
10. 绿色低碳产业链建设	10.4尾矿尾渣等固废资源新型处理工艺技术	围绕冶金渣尾渣、铁矿尾矿、有价金属富集渣、多金属物料、重金属污泥等低质、复杂固废资源，开发的新型处理工艺技术，实现资源的高价值或低能耗综合利用。比如，磨选细粒湿尾矿全量资源化梯级利用技术、钒渣亚熔盐法钒铬共提技术、重金属污泥矿相重构法资源化技术、高效环保型集约式塔楼制砂成套装备等。参考国家有关主管部门发布的《国家工业资源综合利用先进适用工艺技术设备目录》《国家清洁生产先进技术目录》等。	10.4.6高效智能尾矿破碎技术设备。该设备采用“挤满式层压破碎”技术，对各类尾矿进行磨前破碎，破碎效率高；主要利用破碎机执行部件对积聚在破碎腔的多层物料实行冲击、挤压，使物料粒子间相互产生挤压、劈裂、折断、磨削而实现破碎；应用智能控制系统，通过采集先进的传感器信息，对破碎设备的运行状态实时监控与信息反馈，提高尾矿破碎生产效率，优化产品粒形，降低能耗；通过设置防尘系统，有效沉降破碎作业中产生的粉尘颗粒，减少环境污染。	该技术设备分别在山西众鑫的800TPH尖山铁矿废石综合利用项目和北京首钢磁铁矿尾矿项目应用。该技术设备可用于各类尾矿进行磨前破碎，破碎效率高，节能环保，具有一定推广价值。
			10.4.7固体废物制备装配式建筑绿色（ALC）板材智能化装备技术。ALC生产线的蒸压加气混凝土墙板、砌块生产工艺包括原料准备、钢筋网片加工、钢筋网组装、配方设计及计算、浇注、坯体养护、拔钎、切割、坯体蒸压、出釜及打包等关键环节。包含一套可编程的控制系统，可实现生产线的上料、计量、搅拌、温控、浇注、模具运行、报警、切割、包装等作业的自动化。建立了生产线全自动运行状态下的关键信息实时监测、异常捕捉、预报预警机制，可用于蒸压加气混凝土墙板、砌块绿色制造生产线。	固废料占比超过80%，可用于新型建材产品生产制造。已在长春兴晟建筑材料有限公司项目、山东中喆函大建筑科技有限公司项目进行工程应用。
			10.4.8基于大宗铁尾矿资源的高品质砂石骨料干湿联合制备技术与装备。采用干湿联合分选技术与装备，利用排土场粘细物料制备高品质砂石骨料。首先对物料进行预先筛分，粗粒级物料经连续破碎后进行再筛分，从而脱除粗颗粒表面包裹的高水分细粒级物料，高水分细粒级物料采用湿法生产建材产品，低水分物料采用干法筛分及制砂工艺生产建材产品，该工艺适用于北方铁矿山排土场粘细物料制备砂石骨料，采用专用筛分、选别设备技术以及多单元智能控制系统，实现质量、效率提升和能耗降低。	该工艺技术设备应用于迁安首矿建材有限公司裴庄产线，可修复排土场生态环境2300亩。该技术可用于解决冶金矿山排土场铁尾矿堆存问题，通过干湿联合技术生产建材产品，具有一定推广前景。
			10.4.9基于工业固废的二氧化碳矿化养护混凝土砌块工艺与装备。该技术使用增压的CO2对混凝土砌块进行矿化养护。首先将粉煤灰、冶炼废渣等工业固废与高盐废水复合配比，形成CO2矿化低碳胶凝材料，再通过CO2矿化养护装备及梯级均压工艺生产混凝土建材。	该技术由浙江大学提供，在河南焦作打造了首个工业规模CO2矿化养护混凝土示范工程。项目通过复配固废形成CO2矿化低碳胶凝材料，固废用量>90%；通过注入调节装备与CO2矿化养护装备的联动，采用梯级均压CO2矿化养护工艺，实现了每年1万吨的CO ₂ 温室气体封存，CO2转化率达98%以上，并年产1亿块MU15标准的轻质实心混凝土砌块产品。2022年，该技术在香港环保署主导、中国建筑国际集团承建的香港有机资源回收中心二期工程（O·PARK2）项目中大规模应用。

领域	内容或路径	技术/标准/说明	相关冶金工程技术说明	
			参考技术及简介	应用实绩
10. 绿色 低碳产业 链建设	10.4尾矿尾渣等固废资源新型处理工艺技术	围绕冶金渣尾渣、铁矿尾矿、有价金属富集渣、多金属物料、重金属污泥等低质、复杂固废资源，开发的新型处理工艺技术，实现资源的高价值或低能耗综合利用。比如，磨选细粒湿尾矿全量资源化梯级利用技术、钒渣亚熔盐法钒铬共提技术、重金属污泥矿相重构法资源化技术、高效环保型集约式塔楼制砂成套装备等。参考国家有关主管部门发布的《国家工业资源综合利用先进适用工艺技术设备目录》《国家清洁生产先进技术目录》等。	10.4.10磨选细粒湿尾矿全量资源化梯级利用工艺技术及设备。该技术采用梯级回收工艺技术及设备回收磨选细粒级湿尾矿。工艺主要包含尾矿浓缩制砂、细粒级尾矿分级过滤脱水、微细粒尾矿高效浓缩压滤脱水。首先将磨选后的湿尾矿浓缩，并筛分制砂，筛下矿浆经超长变锥旋流器分级，旋流器底流经陶瓷过滤机脱水，溢流通过浓密机浓缩至浓度51%以上膏体，再经高压压滤脱水，得到建筑细砂和水泥铁质校正剂产品。	该工艺技术由南京宝地梅山产城发展有限公司矿业分公司提供，设备由唐山陆凯科技有限公司和景津装备股份有限公司提供。在中国五矿集团安徽开发矿业、江铜集团、湖北兴发磷矿和安徽龙桥铁矿等推广应用“高效浓缩+压滤脱水”尾矿处理工艺，实现了磨选后尾矿资源化综合利用。
			10.4.11铁矿采选联合制砂关键技术与产业化应用。包含选矿与高品质砂石协同制备专项技术和装备，实现了铁尾矿全粒级100%利用。用户输入设计要求参数及原材料性质参数，通过软件自动计算出对应的配合比，并且预测根据此配合比设计的混凝土性能。	2022年在恒钊建材、宽城建龙、丽砂宝和滦平建龙四家公司应用。 该工艺可用于铁矿采选联合制砂，具有一定推广价值。
			10.4.12新型陶粒高效烧结设备及工艺技术。设备包括窑体平台支架、燃烧系统、台车、风箱及风路循环、电控系统等。新型高效陶粒烧结设备分为七段：鼓风干燥段、抽风干燥段、预热段、焙烧段、均热段、一冷段、二冷段。鼓风干燥段的热量来源于二冷段陶粒冷却的热风，抽风干燥段热量来源于预热及焙烧段产生的烟气余热，预热、焙烧、均热段的二次风来源于一冷段高温陶粒冷却的热风，抽干、鼓干、预热及焙烧段产生的废气均送入烟气处理装置，净化后达标排放。烧成过程中，采用热风循环，热风自陶粒中上下穿行，余热得到重复利用，原料内的有机成分氧化，热能充分释放。	该技术由山东义科节能科技股份有限公司提供。2020年公司联合北京科技大学研发的黄金尾渣制陶粒生产线在招远建成，项目采用新型陶粒烧结设备，生产的陶粒满足GB/T17431标准，筒压强度达10MPa以上。该设备可用于煤矸石、尾矿、粉煤灰、赤泥、污泥、气化渣、冶炼渣尘等固废综合利用，设备占地较小、吃渣量大、生产成本较低，处理量可调节，具有一定推广价值。
	10.5购买用于低碳转型的资源能源	包括购买绿电绿证、绿氢、废钢、直接还原铁等，用于企业低碳转型的资源能源。		
	10.6绿色低碳技术工艺和装备的研发与应用	符合系统能效提升、资源循环利用、流程优化创新、冶炼工艺突破、捕集封存利用等技术路径，具有显著降低能源消耗和碳排放特点的技术及装备的研发与应用。		