

DOI: 10.13228/j.boyuan.issn0449-749x.20170533

大型钢铁企业绿色制造创新实践与展望

王新东, 田京雷, 宋程远
(河钢集团有限公司, 河北 石家庄 050023)

摘 要: 绿色钢铁是世界钢铁工业发展的共同选择与发展方向,节能环保、降耗减排等方面的法规和要求日益严格,钢铁行业需加快绿色制造工艺、技术、装备的改革和创新。结合国内某大型钢铁企业近些年来在节能减排、资源利用、技术创新等方面取得的阶段性成果,总结了钢铁行业焦化、烧结、炼铁、炼钢、轧钢、辅助流程等工序在绿色制造方面的创新技术。围绕未来绿色发展思路,该大型钢铁企业按照“六位一体”总体布局,通过主持和参与国家重点研发计划课题,提出了十项绿色引领技术,旨在持续引领行业绿色化、智能化发展。

关键词: 绿色制造; 创新技术; 绿色发展; 引领技术

文献标志码: A **文章编号:** 0449-749X(2018)02-0001-09

Innovative practice technology and outlook in large iron and steel enterprise green manufacturing

WANG Xin-dong, TIAN Jing-lei, SONG Cheng-yuan
(HBIS Group Co., Ltd., Shijiazhuang 050023, Hebei, China)

Abstract: Green steel is the common choice and development direction of the world's iron and steel industry. Faced with the increasingly stringent regulations and requirements on energy conservation and environmental protection, consumption reduction and emission reduction, the steel industry has accelerated the reform and innovation in green manufacturing processes, technologies and equipment. Based on the stage achievements of some large iron and steel enterprises in energy saving, emission reduction, resource utilization and technological innovation in recent years, the progress of greening process in the green industry such as coking, sintering, ironmaking, steelmaking, and auxiliary processes was summarized. According to the "six in one" overall arrangement, the big business focuses on the green development thought, and carries out ten green leading technologies by hosting and participating in the national key subjects in order to constantly lead green and intelligent development in the iron and steel industry.

Key words: green manufacturing; innovative technology; green development; leading technology

中国是一个钢铁大国,钢铁冶金工业更是中国基础工业中最为重要的工业之一。但同时钢铁行业也是一个能耗大户,据统计,钢铁行业的能耗占中国总能耗的 14.16%,在钢铁企业生产过程中能源效率仅为 30%左右,行业固体废弃物回收利用率约为 50%左右。钢铁行业生产过程中向环境中排放大量污染物,其排放的工业废水、粉尘和二氧化硫总量分别占全国工业污染排放总量的 10%、15%和 10%^[1-4]。

节能环保、降耗减排等方面的法规和要求日益严格,钢铁行业要把绿色、低碳、环保的观念融入到生产全过程,加快绿色制造工艺、技术、装备的改革和创新,依托技术进步实现节能减排和绿色制造^[5-9]。

1 钢铁行业绿色制造现状

钢铁绿色制造是指钢铁在生产制造过程中既要考虑能源介质的减少程度、末端污染物排放程度、二次资源综合利用的水平等显性的绿色指标,还要考虑流程结构、产品结构、能源结构、原料结构等有更大影响的隐性绿色指标,使钢铁产品的设计、制造、运输、使用、报废处理、循环利用等的整个生命周期对环境的影响最小、资源利用率最高、能源消耗最小,能与其他行业和社会实现生态链接,从而实现钢铁企业良好的经济、环境和社会效益的制造模式^[10-16]。

围绕钢铁绿色制造,到 2020 年中国钢铁工业拟

基金项目: 国家重点研发计划资助项目(2017YFC0210600)

作者简介: 王新东(1962—),男,大学本科,教授级高级工程师;

E-mail: wangxindong@hbisco.com;

收稿日期: 2017-11-03

实现吨钢综合能耗不大于 580 kgce、余热资源回收利用大于 50%、吨钢 CO₂ 排放量比 2010 年下降 10%~15% 等能源指标,吨钢 SO₂、NO_x、烟粉尘排放量分别为 0.6、0.8、0.5 kg 的环保指标^[17]。为此,河钢、宝钢和太钢等一批先进钢铁企业以绿色发展为理念,持续开展节能减排以及钢铁流程废弃物的循环利用研究,取得了显著的研究成果和应用效果。

河钢集团积极推进“绿色”引领战略,先后投资 165 亿元实施重点节能减排项目 430 余项,主要能源环保指标居国内一流甚至领先水平。截止目前,吨钢综合能耗、吨钢 SO₂ 排放量、吨钢粉尘排放量较

2011 年分别降低 4.9%、50.6% 和 61.9%;吨钢耗新水逐年降低,目前达到了 2.39 m³/t(钢),居行业先进水平,其中唐钢主厂区实现了城市中水作为生产用水的唯一补充水源,水重复利用率达到 98% 以上,河钢集团因此获得 2016 年世界钢铁工业可持续发展卓越奖;采用一系列节能措施最大程度地减少工艺过程中能源的浪费(图 1),2016 年仅余热余能余压自发电总量超过 100 亿 kW·h,核心企业自发电比例超过 65%;形成了高炉除尘灰、转炉除尘灰、轧钢氧化铁皮、钢渣水渣等 100% 回收和再利用的固体废物循环圈。

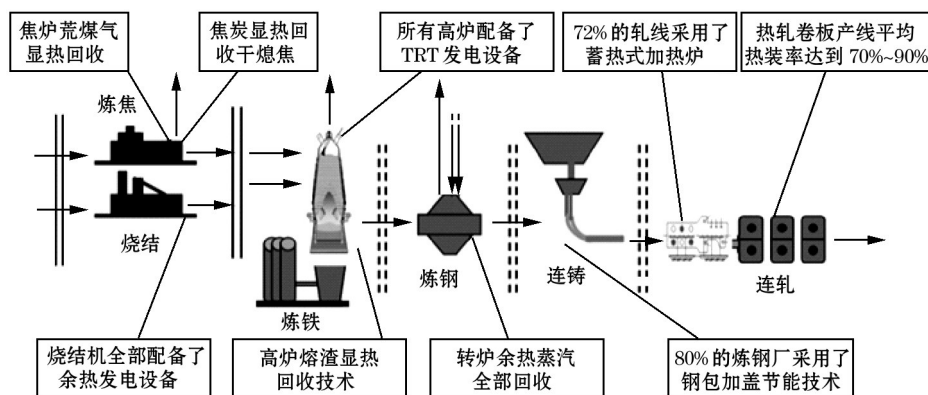


图 1 河钢集团各工序采取的节能技术

Fig. 1 Energy saving technologies for each process of HBIS group

宝钢围绕节能、节水、气体污染物治理及固废利用等环节,加快节能环保技术创新。重点突破焦炉荒煤气显热回收工艺、烟气脱硝等技术,成为国内首套烧结烟气脱硝脱二噁英示范项目的实施者^[18]。2015 年宝钢吨钢综合能耗为 598 kgce, SO₂、NO_x 和 COD 排放量分别为 18 982、42 262 和 1 057 t,与 2010 年相比分别下降 6.9%、70%、45% 和 66%。

太钢在全流程内推进技术创新,实施了从矿粉运输、扬尘抑制到高炉喷煤、连铸、连轧、转炉煤气回收、高炉煤气余压发电和锅炉燃用高炉煤气等一批重大的节能减排技术措施,实现了生产全过程各种资源的循环和再利用,取得了显著效果^[19]。截止目前,吨钢综合能耗由 703 下降到 559 kgce,降幅达 20.5%,吨钢新水消耗由 7.18 下降到 1.91 m³,降幅为 73.3%。

2 钢铁全流程绿色制造创新技术与实践

绿色制造创新技术应用遍及焦化、烧结、炼铁、炼钢、轧钢及辅助流程等钢铁生产全过程。结合国

内先进钢铁企业,以河钢集团为例,从 6 个方面来介绍钢铁全流程绿色制造创新技术与实践。

2.1 焦化工序绿色制造创新技术与实践

河钢集团现运行焦炉 20 座,主要炉型为 6 m 焦炉和 7 m 焦炉,焦炭产能为 900 万 t/a。

2.1.1 焦化全流程环境友好技术集成

在焦化全流程配有除尘系统,采用大型筒仓储煤技术以减少煤堆扬尘;利用袋式除尘净化装置收集备煤车间煤转运、破碎、装煤、推焦等过程产生的粉尘,使粉尘排放指标达到或超过清洁生产的要求。在焦化废水处理方面,其独有的“生物处理+膜处理+芬顿处理”三级处理技术实现焦化废水回用率达 80% 以上^[20]。在炼焦固废方面大型储配一体储仓及焦油渣回配系统避免了炼焦固废的二次污染。

2.1.2 大容积焦炉工艺技术

宽炭化室、多段加热的大容积焦炉工艺技术实现了以下功能:(1)燃烧室采用 3 段式加热方法,实现高向均匀加热。炭化室高向温度差在 50 °C 以内,长向均匀系数大于 0.9,氮氧化物排放量降低至 450 mg/m³(标准态)以下,解决了炉顶空间温度高、

化产率低的技术难题;(2)采用节能型焦炉蓄热室封墙,有效提高了炉体密封性;采用新型格子砖,提高了预热煤气和空气的温度;(3)通过建立煤气流量、标准温度、空气过剩系数、煤气热值与焦炉温度的关系模型,确定了不同结焦时间的最低标准温度,实现吨焦煤气耗量降低至 195 m^3 (标准态)以下;(4)通过煤种配煤优化试验和低价煤极限配加试验,确定了典型的气煤、1/3焦煤和瘦煤的极限配加比例(图2、图3),进而得到适合宽炭化室 7 m 焦炉的合理配煤结构。弱黏煤配比达到44.1%,焦炭的 M_{40} 、 M_{10} 和CSR分别达到90.24%、5.97%和68.14%,满足了大高炉炼铁的要求。

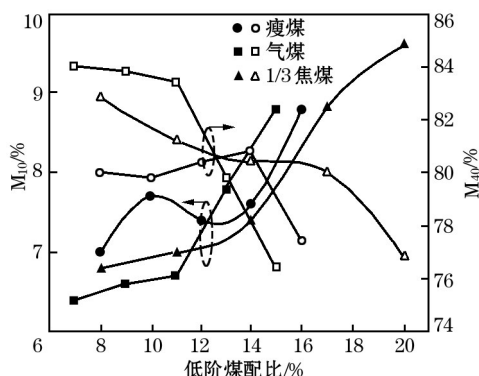


图2 弱黏煤配加对焦炭冷强度的影响

Fig. 2 Effect of weak viscous coal on cold strength of coke

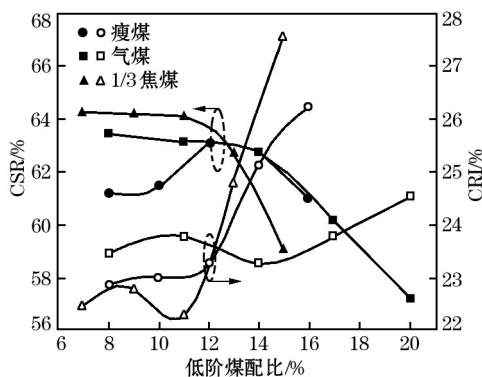


图3 弱黏煤配加对焦炭热态性能的影响

Fig. 3 Effect of weak viscous coal on thermal properties of coke

2.1.3 余热回收利用技术

炼焦生产中有大量的余热余能资源,在大型焦化厂的焦化工序能耗中,备煤约占5%~10%,炼焦占70%~80%,化产回收占15%~20%。就炼焦产物带出的热量而言,1050℃左右的红焦携带显热约占37%,700℃左右的荒煤气显热约占36%,排往烟道的180~250℃左右的废气带走热量约占17%,3项余热合计占90%左右。河钢集团在焦化工艺应

用的余热回收技术主要有以下几个方面。

(1) 高温高压干熄焦的高效发电技术。该技术集成高温高压锅炉代替传统的低压锅炉,采用自然循环方式,建立良好的汽水循环运行机制,有效解决了较低负荷条件下锅炉安全运行的难题,蒸汽品质和干熄焦余热利用效率明显提高,实现吨焦发电量 $125\text{ kW}\cdot\text{h}$ 以上;预存室与冷却室高径比的合理设置,降低了焦炭床层阻力,减少了焦炭炉内活跃区域停留时间,焦炭烧损和风机运行阻力显著降低;通过建立可燃气体体积分数、空气导入量与烧损率以及烧损率与生产热力负荷的关系模型(图4、图5),优化过程控制参数,实现干熄炉烧损率降低到1.1%以下。

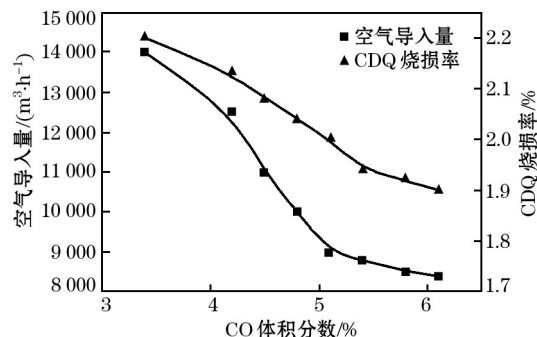


图4 可燃气体体积分数、空气量与烧损率关系曲线

Fig. 4 Relationship between combustible gas content, air

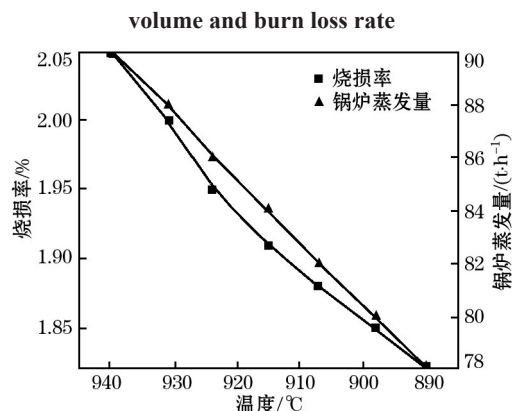


图5 烧损率与生产热力负荷的关系曲线

Fig. 5 Relationship curve between burn rate and thermal load

(2) 上升管余热回收技术。通过除氧泵把干熄焦除盐水经除氧器、给水泵送入汽包,汽包内的水由强制循环泵压入上升管换热器吸收高温荒煤气(约750℃)的显热,产生的气液混合物再返回汽包,汽包内产生的饱和蒸汽通过汽水分分离器分离后并入焦化厂蒸汽管网。河钢邯钢5号、6号焦炉上升管余热回收利用技术于2015年一次性投运成功,蒸汽

并入蒸汽管网供用户使用,是中国 6 m 焦炉荒煤气余热成功回收的第一套装置。使用 1 年后,上升管结焦现象明显降低,饱和蒸汽每年可产生经济效益 724.2 万元,实现 CO₂ 年减排 2.5 万 t。目前该技术正在焦化行业进行推广应用。

(3) 焦炉烟气余热利用回收技术。在焦炉生产过程中,煤气燃烧产生的热量,一部分用于焦炉加热,一部分被废气带走,在蓄热室与空气或煤气换热后通过烟囱直接排放,造成浪费。2015 年河钢宣钢建设焦炉烟气余热回收装置 1 座,对焦炉烟气余热进行回收。该工艺减少了干熄焦系统抽汽量,实现蒸汽资源的梯级利用;彻底解决了设备泄漏问题;增大了换热面积,使换热系数得到很大的提高。

2.1.4 产业链延伸技术

结合绝热型和换热型反应器,发明了“甲烷合成反应器”和“焦炉煤气制 LNG 并联产氢气的工艺装置”,利用系统生成冷凝液作为循环补液,控制反应温度,提高了甲烷转化率,有效降低了循环压缩机功率,吨 LNG 电耗降至 1 350 kW·h;利用 LNG 生产过程能量梯级利用技术,并在合成反应器前增加保护床和 MDEA 同分子筛联动工艺,提高工艺过程能源利用效率;采用研发变压吸附法富氢尾气制取高纯氢技术、SNG/LNG 互换技术、过程气回收工艺实现闪蒸汽、氢气、放散气的近零排放,年减少 CO₂ 排放 2.7 万 t。

通过以上 4 个技术的实施,拓宽了焦化行业摆脱高污染、实现经济运行和环境友好的新思路,为焦化行业绿色转型发展起到引领和示范作用。

2.2 烧结工序绿色制造创新技术与实践

烧结烟气治理是钢铁行业污染物控制的重要内容。目前河钢集团运行 28 台烧结机,烧结机面积主要为 240、360、400、435 m²,均配套脱硫除尘设施,全部实现污染物特别排放限值。

2.2.1 源头及过程控制技术

(1) 厚料层烧结技术。厚料层烧结以烧结料层自动蓄热理论为基础,能够起到降低固体燃料消耗、改善烧结矿强度、提高成品率等作用。其特点为:1) 点火时间和高温保持时间延长,表层供热充足,冷却强度降低,成品烧结矿产量提高;2) 烧结高温带增宽,矿物结晶充分,主要液相体系以铁酸钙为主,烧结矿强度和成矿率提高;3) 料层自动蓄热能力随料层增加而增强,同时料层内最高温度下降,降低烧结固体燃料用量,还降低烧结矿中的 FeO 质量分数,提高烧结矿的还原性。河钢集团结合影

响厚料层烧结的因素进行分析,并对烧结机进行改造,普遍实现了厚料层烧结技术。

(2) 烧结机漏风治理技术。基于量热法的在线测试烧结过程漏风率的技术方法,可为分析各风箱相对漏风率变化情况做出及时判断,为有效针对漏风区域采取减漏措施提供方便,根据测试的数据可实现烧结过程稳定性判断的功能。此外,针对风箱支管漏风特点,应用烧结机柔性传动密封,增加滑道密封的可控性,将烧结机漏风率控制在 45% 以内。

(3) 环冷机密封治理技术。现有环冷机改造为包容式密封形式,节省电能的同时,发电量可以增加 2~5 kW·h/t(矿);新建环冷机采用水密封形式,漏风率控制在 10% 以内,发电量可以提高 5~10 kW·h/t(矿),大幅减少粉尘排放。

2.2.2 烟气末端治理技术

(1) 密相干塔脱硫除尘一体化技术。密相干塔脱硫除尘一体化技术实现了脱硫除尘系统高效低耗运行,脱硫效率达到 95% 以上,出口粉尘浓度为 10 mg/m³(标准态) 以下,系统压降控制在 2 000 Pa 以下,副产物中 CaO 的质量分数低于 8%;在行业内率先彻底取消旁路,合并风机大幅降低运行电耗,实现生产设施与环保设施 100% 完全同步运行。该技术已在河钢唐钢 9 套烧结机上投入运行,主要经济技术指标达到国内外同类技术的先进水平,在设备一体化技术、能耗和稳定运行等方面达到国际领先水平。

(2) 低温氧化脱硝技术。低温氧化脱硝主要是利用臭氧的氧化性,将不可溶的低价态氮氧化物氧化为可溶的高价态氮氧化物,然后在洗涤塔内将氮氧化物吸收,达到脱除的目的。整套脱硝装置不改变原有烟道和后处理措施,仅需新增臭氧发生器、控制器、分布器等关键设备和组件,共用脱硫吸收塔。其优点为:1) 设备投资低、占地面积小、系统简单等,臭氧氧化后的产物不产生二次污染;2) 工艺可操作性强,脱硝效率可调控,运行成本较低;3) 粉尘、SO₂ 等对脱硝效率无影响,适用于钢铁烧结的低温烟气。目前该技术已在河钢唐钢不锈钢 265 m²、中厚板 240 m² 烧结机上成功应用,将为大流量烧结烟气提供低温硫硝协同减排新技术。

(3) 活性焦脱硫脱硝一体化技术。活性焦脱硫脱硝一体化技术是一种利用活性焦的吸附催化功能,同时脱除烟气中的硫氧化物、氮氧化物,并回收硫资源的干法烟气处理技术^[1]。活性焦脱硫是基于 SO₂ 在活性焦表面的吸附和催化氧化,活性焦脱硝

是基于活性焦表面的催化作用。活性焦烟气脱硫脱硝一体化技术工艺过程简单,脱硫脱硝过程不消耗水,活性焦可循环使用,副产品易加工处理,不存在废水、废渣等二次污染问题。目前该技术已在河钢邯钢 435 m³烧结机上应用,为大型烧结机采用活性焦脱硫脱硝一体化技术起到了示范引领作用。

2.3 炼铁工序绿色制造创新技术与实践

河钢集团现运行高炉 29 座,主要炉型包括 2 000、2 500、3 200 m³,全部应用了煤气干法净化、TRT 发电装置等。出铁场通过耦合“高效顶吸+侧吸”除尘、水冷沟盖、摆动沟烟尘捕集等技术,从根本上杜绝了粉尘的无组织排放。

2.3.1 高炉煤气干法布袋除尘技术

布袋除尘是利用各种高孔隙率的织布或滤毡,捕捉含尘气体中尘粒的高效除尘器。干法布袋除尘不需要用水清洗冷却,特别适合缺水的地区。该除尘器阻力小,除尘效率高,除尘后含尘量一般小于 5 mg/m³。对于高压高炉,干法除尘可配干式余压发电装置,进入余压发电装置的煤气具有较高的温度和压力,可增加发电量 35%~45%。目前,河钢集团所有高炉全部采用高炉煤气干法除尘,干法除尘后煤气的含尘量小于 5 mg/m³。该技术已成功应用在国内首钢京唐 5 500 m³高炉及世界最大高炉韩国浦项 6 000 m³高炉上。

2.3.2 高炉炉顶均压煤气回收技术

均压煤气回收技术是在炉顶均压煤气管道安装回收管,并在管道上依次安装调节阀,实现煤气回收与装料程序自动控制,回收煤气接入干法除尘备用箱体。该技术已成功应用在河钢承钢,并在集团全面推广,不但减少高炉煤气的放散,还减少了粉尘排放和噪声,吨铁可实现经济效益 0.5 元。

2.3.3 高炉冲渣水余热高效回收技术

高炉冲渣水余热高效回收技术开发了在线自清洁高效过滤技术,实现了过滤器滤网的连续在线清洗,彻底解决了换热系统浊水侧设备的堵塞问题;研发了多元阻垢防结晶一体化联合技术体系,解决了高盐水在换热降温过程产生的设备结晶、结垢和堵塞问题;采用双循环模式的高炉冲渣水余热高效回收技术工艺,实现了冲渣水的纯热量输出,实现了钢铁企业余热资源向城市集中供热系统的应用。集团目前高炉冲渣水实现城市供热面积达到 1 400 万 m²,不仅实现了二氧化碳、二氧化硫、氮氧化物的减排,更达到了钢铁企业与城市的和谐共融循环经济发展。

2.3.4 高炉水渣超细粉技术

大力拓展固体废弃物循环利用圈,在集团内广泛应用水渣超细粉制备技术,将高炉水渣生产为比表面积 450 m²/kg 的水渣超细粉做水泥添加剂,向国内及国际市场销售,现已成畅销产品。

2.4 炼钢工序绿色制造创新技术与实践

河钢集团现运行转炉 36 座,主要炉型包括 120、150、260 t。

2.4.1 转炉煤气除尘技术

转炉煤气除尘技术包括转炉一次、二次和三次除尘,转炉一次除尘是对转炉炼钢过程中产生的大量含一氧化碳的一次烟气进行净化,并有效回收能源的过程。河钢集团现运行所有转炉一次除尘全部采用新 OG 法和 LT 干法除尘。转炉二次除尘是指转炉炉口溢出的煤气遇空气后燃烧产生的烟气除尘;转炉三次除尘是炼钢车间的无组织排放除尘。河钢集团所有运行转炉均配备了二次除尘,粉尘排放浓度均小于 15 mg/m³;核心企业配置了三次除尘。

2.4.2 钢包在线全程加盖技术

该技术的主要目的是减少钢水倒运和浇注过程的温降、提高空包内壁温度、降低转炉冶炼终点温度、减少转炉炉衬浸蚀、提高炉龄;加盖后钢包平均寿命可提高 5 炉左右;此外还可提高中间包钢水温度稳定性、减少烘烤煤气用量等。该技术可以大大减少空包的辐射散热和对流散热,降低转炉出钢温度约 20 ℃,吨钢能耗降低 8 元。该技术正在集团全面推广应用。

2.5 轧钢工序绿色制造创新技术与实践

河钢集团现拥有热轧板卷、宽厚板、冷轧、棒材、线材和型材等先进生产线,包括 2 250 mm 热轧卷板轧机、4 200 mm 宽厚板轧机等。

2.5.1 钢坯热装热送技术

钢坯热装热送技术是把连铸机生产出来的热铸坯切割成一定尺寸后,在高温状态下直接保温送至轧钢厂,或直接送加热炉加热后轧制的一种生产工艺。其中连铸坯的入炉温度是热装热送工艺的重要指标之一,一般要求入炉温度不低于 400 ℃^[22]。通过钢坯热装热送可以减少加热炉的能源消耗,降低污染物排放。目前集团已广泛应用钢坯热装热送技术,其中唐钢二棒的最高热装温度达到了 850 ℃。

2.5.2 蓄热式加热技术

蓄热式加热炉是采用蓄热室余热回收装置,交

替切换烟气和空气,使之流经蓄热体,达到在最大程度上回收高温烟气的显热,提高助燃空气温度的效果。河钢宣钢二高线步进梁蓄热式加热炉是将助燃空气和高炉煤气经换向系统后由各自的管道送至炉子左侧的蓄热式燃烧器,自下而上流经其中的蓄热体,分别被预热到 950℃ 以上,然后通过各自的喷口喷入炉膛,燃烧后产生高温火焰加热炉内钢坯,火焰温度较同种煤气做燃料的常规加热炉高 400~500℃,90% 以上的热量被蓄热体回收,最后以 150℃ 以下的温度排放到大气中,比常规加热炉节能 30%~50%。

2.5.3 在线热处理技术

该技术是通过控制轧制温度和轧后冷却速度、冷却开始温度和终止温度,来控制钢材高温奥氏体组织形态以及控制相变过程,最终控制钢材的组织类型、形态和分布,提高钢材的力学性能,同时该技术也能够降低合金元素的使用量,提高生产效率,节省离线淬火工序,节约能耗。通过 TMCP 在线热处理技术,节省离线淬火工序,吨钢降低成本约 300 元。

2.6 辅助流程绿色制造创新技术与实践

钢铁行业除了不可或缺的焦化、烧结、炼铁、炼钢、轧钢等主流程外,还有大量不可或缺的辅助流程,河钢集团在辅助流程工艺也应用了大量绿色制造创新技术。

2.6.1 大型封闭料场技术

河钢集团在京津冀区域实现了料场全封闭,有效地从源头控制了原料场无组织排放,将颗粒物的浓度从 120 降至 8 mg/m³ 以下;洒水量减少 80% 以上,也大大减少了物料的损失。

2.6.2 钢铁企业低压余热蒸汽发电和钢渣改性气淬处理技术

该技术集成优化后应用于工程实践,实现吨焦烟气余热回收发电量 7~8 kW·h,吨烧结矿余热回收发电量达 20~24 kW·h,吨钢余热蒸汽回收量达到 90 kg 以上,发电量为 10~13 kW·h,构建了二次能源利用关键技术平台,使河钢集团二次能源利用达到国际先进水平。该项目获得国家科技进步二等奖,已在行业内推广应用。

2.6.3 世界首个“亚熔盐高效清洁提钒技术”

河钢集团和中科院过程所共同承担的世界首个“亚熔盐高效清洁提钒技术”项目入选了国家工信部 2017 年绿色制造系统集成项目名单,实现钒、铬资源利用率分别提高了 10%、80% 以上,无废气、

废水、含铬固废的产生,实现了高效清洁生产,该项目的投产引领了世界钒钛磁铁矿资源高效综合利用的绿色化升级。

2.6.4 富余煤气发电技术

在传统富余煤气发电基础上,广泛应用 CCGP 和高温超高压发电技术,作为富余高炉煤气的“能源转换”加工厂,结束了大量富余高炉煤气直接放散的历史,实现了高炉煤气“零”放散,并大大提高了能源综合利用效率。其中 CCGP 机组煤气消耗较中温中压煤气发电机组降低 25%,高温超高压机组蒸汽消耗较中温中压煤气发电机组降低 13%,大大提高了机组的发电效率。

3 钢铁行业绿色发展思路与引领技术

3.1 钢铁行业绿色发展思路

中国钢铁工业已经进入了新常态,面临着新形势,提出了新要求,因此中国钢铁工业需要在总结近年绿色发展的基础上,用新的方法、新的思路去开发新的绿色流程、装备和技术来面对更高层次的绿色发展,建设有中国特色的绿色钢铁工业生产模式^[23-25]。

河钢集团围绕“建设最具竞争力钢铁企业”的目标,在国内率先提出“六位一体”总布局的绿色发展战略(图 6),深入推进绿色制造、加快发展绿色产业、研发应用绿色产品、稳步推进绿色采购、系统优化绿色物流、培育打造绿色矿山,确保使集团所有子公司率先成为效益佳、效率高、消耗低、排放少、环境美的绿色钢铁示范企业,继续引领中国钢铁行业绿色转型^[26]。

宝钢以“技术创新驱动产业绿色发展,资源共享助推城市生态文明”为经营理念,实行最严格的内部控制标准、改进生产工艺、优化能源结构、减少能源消耗、降低能源成本、持续减少企业 and 产品使用过程的能源消耗与环境影响;努力推进工业废弃物的减量化、再使用和资源化,并助力城市废物的循环利用;努力建设成为一个具有国际先进水平的国际钢厂。

太钢坚持以科学发展观为指导,实施绿色发展战略,树立钢厂与城市是和谐发展的“共同体”的理念;依靠技术创新和管理创新,大力推进绿色制造,率先推广世界最先进的节能减排、循环经济工艺技术。特别是在不锈钢系统项目建设中,坚持技术进步与优化工艺流程相结合,实现生产过程资源循环利用。

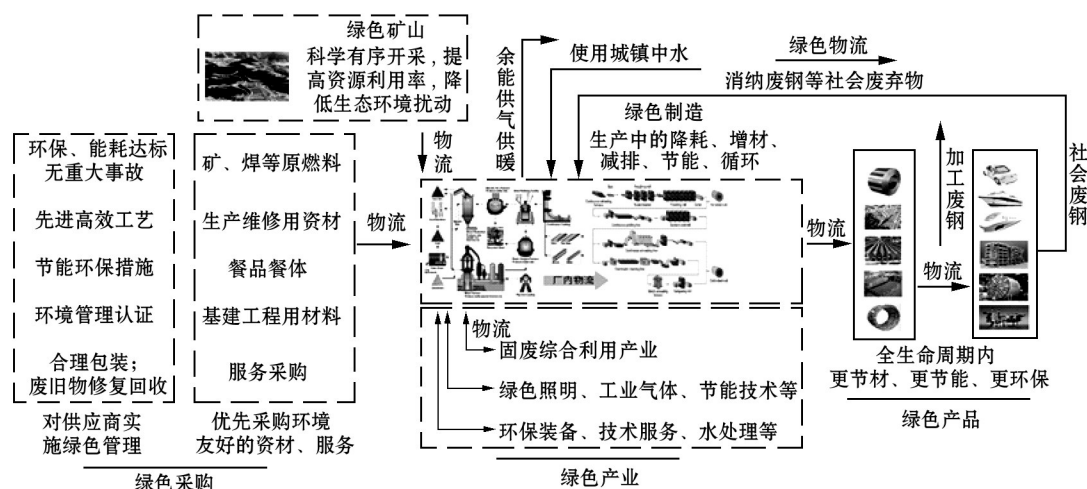


图 6 河钢集团“六位一体”布局路线图

Fig. 6 “Six in one” layout roadmap of HBIS group

3.2 钢铁行业绿色引领技术

“十三五”期间,围绕焦化、烧结、炼铁、炼钢、轧钢等5大重点工序及智能制造,钢铁企业需关注10项引领技术,开展多污染物协同控制成套化技术与装备、非高炉炼铁、转炉炼钢新技术、直接轧制、智能制造示范线建设等研究,为钢铁行业绿色化、智能化发展做出显著贡献。

3.2.1 焦炉烟气多污染物协同控制技术

采用焦炉煤气加热的焦炉产能超过全国总产能的70%,其烟气污染物排放远高于以贫煤气加热的焦炉,基本全行业不达标。针对焦炉烟气组分复杂、低硫高氮的特点,研发焦炉低氮燃烧技术、活性炭法多污染物(SO_2 、 NO_x 、 H_2S 、HCN等)协同控制技术;集成活性炭法烟气净化、硫/炭粉无害化资源化回收成套装备,实现焦炉烟气污染物排放浓度优于国家特别排放地区限值。

3.2.2 焦炉烟气多污染物中低温协同催化净化技术

对于已上焦炉煤气脱硫设施的焦化企业,拟开发余热梯级利用耦合的多污染物中低温协同催化净化工艺,研发多污染物协同净化多效催化剂、可开关式极限换热补热设备,结合半干法脱硫除尘设施,实现焦炉烟气 NO_x 、Hg、CO、 H_2S 、 SO_2 、粉尘等多污染物的短流程高效协同治理与低品位余热高效利用的有效耦合。

3.2.3 钢铁行业烟气多污染物超低排放技术

国内大部分烧结/球团烟气已上脱硫设施,针对其大流量、低氮氧化物的排放特点,通过耦合臭氧氧化脱硝、半干法脱硫提效改造、预荷电袋式除尘

等3项技术,协同脱除颗粒物、二氧化硫以及氮氧化物,实现颗粒物、二氧化硫、氮氧化物分别达到10、35、50 mg/m^3 ,最终达到污染物超低排放,引领行业绿色发展。

3.2.4 高温烟气循环分级净化技术

针对烧结工序烟气量大、显热利用率低等问题,开发高温烟气循环分级净化和余热利用技术,回收低品位热能,减少主烟道烟气排放量30%以上,实现余热利用和污染物减排的耦合。

3.2.5 基于镁法的污染物协同去除与副产物资源化技术

通过研发镁法脱硫与旋转脱雾除尘技术协同去除多污染物,并利用脱硫副产物结合含钛高炉水渣制备轻质高强建筑材料,实现污染物减排和副产物资源化利用的耦合。

3.2.6 基于炉料结构优化的硫硝源头减排技术

球团矿生产过程中产生的污染物大幅低于烧结矿,中国钢铁工业未来的绿色发展趋势为减少或取消烧结矿,增加球团矿比例,通过增加高炉原料中球团矿比例至80%,甚至100%比例实现全球团冶炼,从源头实现二氧化硫和氮氧化物的减排。

3.2.7 新型非高炉炼铁技术

浦项FINEX工艺不需要配套焦化、烧结、球团工序,直接使用非焦煤和矿粉成型入炉。FINEX工艺的粉尘、二氧化硫、氮氧化物等污染物排放分别是高炉长流程的23%、24%、15%,做到了源头减排。目前,河钢正在与韩国浦项钢铁进行技术交流,拟在产业升级项目中引进应用,FINEX炼铁技术一旦在河钢成功应用,将会对中国炼铁行业产生

革命性的影响。

3.2.8 底吹氧、底喷石灰粉转炉炼钢新技术

底吹氧底喷石灰粉炼钢工艺是在底吹炼钢工艺基础上发展起来的前沿炼钢技术。该技术的特点是石灰粉全部底吹加入,并且30%的氧气由炉底底枪吹入;底喷石灰粉,化渣速度快、脱磷效果好、石灰利用率高,吨钢石灰消耗能降低到25 kg以下;底吹氧气,熔池搅拌强烈,低碳、超低碳钢转炉碳氧积在0.001 6左右,钢水全氧质量分数降低0.02%。该技术是加拿大多法斯克公司的独有技术,河钢集团拟在国内首次引进该技术,为中国转炉炼钢工艺的提升做开拓性工作。

3.2.9 小方坯免加热直接轧制技术

小方坯免加热直接轧制技术充分利用了留在连铸坯中的大量余热,采用切割后保温和快速输送等手段,使铸坯到达轧机时的温度达到开轧温度的要求,从而取消加热炉,降低能源消耗,减少废气排放,大幅度降低生产成本。目前,河钢承钢正在年产百万吨以上的产线上进行直轧应用研发,涉及轧工序界面优化、连铸提速等一系列技术革新,预计2017年底正式投入应用,可实现吨钢节约标准煤40 kg,年减排二氧化碳超过10万t。

3.2.10 钢铁企业智能制造示范线建设

按照《中国制造2025》及《国家智能制造标准体系建设指南》的重要指导,钢铁企业应积极谋划智能制造示范线建设,逐步完善面向智能制造的信息系统架构,形成以产品全生命周期为核心的信息自动化支撑体系,促进生产一贯制、质量一贯制管理的有效落地,实现企业生产经营全过程和企业发展全局的智能化、绿色化、产品质量品牌化^[27]。

4 结语

围绕焦化、烧结、炼铁、炼钢及轧钢等重点工序,以河钢集团为代表的国内钢铁企业实施了大量绿色发展推进企业环保升级、工艺技术升级的创新技术与实践,为钢厂与城市和谐共存进行了十分有利的探索。但同时需要看到,中国钢铁工业还需要大量的中国原创的钢铁新工艺、新装备和新技术,如基于物质流、能量流和信息流的钢铁工艺新流程工程,对全流程和产品实施全生命周期评价,大数据和智能制造技术在钢铁工业应用,绿色化钢铁大系统,制定绿色钢铁评价体系等,通过主动创新,努力打造“绿色化、智能化、品牌化”的新一代流程钢厂,持续引领中国乃至世界钢铁行业的可持续发展。

参考文献:

- [1] 张春霞,王海风,张寿荣,等.中国钢铁工业绿色发展工程科技战略及对策[J].钢铁,2015,50(10):1.(ZHANG Chun-xia, WANG Hai-feng, ZHANG Shou-rong, et al. Strategic study on green development of Chinese steel industry[J]. Iron and Steel, 2015, 50(10): 1.)
- [2] 王维兴.钢铁工业能耗现状和节能潜力分析[J].中国钢铁业,2011(4):19.(WANG Wei-xing. Energy consumption status and energy saving potentials in iron and steel industry[J]. China's Steel Industry, 2011(4): 19.)
- [3] 张寿荣,姜曦.中国大型高炉生产现状分析及展望[J].钢铁,2017,52(2):1.(ZHANG Shou-rong, JIANG Xi. Production and development of large blast furnaces in China[J]. Iron and Steel, 2017, 52(2): 1.)
- [4] 周东东,姜曦,周翔.2016年上半年中国大高炉生产指标浅析[J].中国冶金,2016,26(12):1.(ZHOU Dong-dong, JIANG Xi, ZHOU Xiang. Analyses of production indexes of large blast furnaces in China during first half of 2016[J]. China Metallurgy, 2016, 26(12): 1.)
- [5] 殷瑞钰.钢铁制造流程的本质、功能与钢厂未来发展模式[J].中国科学:E技术科学,2008,38(9):1365(YIN Rui-yu. Nature and functions of steel manufacturing process and future development model for steel mills[J]. Science in China: E Technological Sciences, 2008, 38(9): 1365.)
- [6] 彭岩,曹先常,张玉柱.钢铁典型工序流程节能技术新进展[J].中国冶金,2017,27(5):8.(PENG Yan, CAO Xian-chang, ZHANG Yu-zhu. New progresses of energy saving solutions in typical iron and steel making process flow[J]. China Metallurgy, 2017, 27(5): 8.)
- [7] 王国栋.近年我国轧制技术的发展、现状和前景[J].轧钢,2017,34(1):1.(WANG Guo-dong. Development, current situation and prospect of Chinese steel rolling technology in recent years[J]. Steel Rolling, 2017, 34(1): 1.)
- [8] 康永林,丁波,陈其安.我国轧制学科发展现状与趋势分析及展望[J].轧钢,2017,34(6):1.(KANG Yong-lin, DING Bo, CHEN Qi-an. Analysis and prospect of developing status and trends of rolling discipline in China[J]. Steel Rolling, 2017, 34(6): 1.)
- [9] 李山青.冷轧酸洗与轧制技术的发展现状[J].轧钢,2017,34(5):1.(LI Shan-qing. Technology development of cold rolling and pickling[J]. Steel Rolling, 2017, 34(5): 1.)
- [10] 于勇,王新东.钢铁工业绿色工艺技术[M].北京:冶金工业出版社,2017.(YU Yong, WANG Xin-dong. Green process and technology of steel industry[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2017.)
- [11] 殷瑞钰.高效率、低成本洁净钢“制造平台”集成技术及其动态运行[J].钢铁,2012,47(1):1.(YIN Rui-yu. Integration technology of high efficiency and low cost clean steel “production platform” and its dynamic operation[J]. Iron and Steel, 2012, 47(1): 1.)
- [12] 王海风,裴元东,张春霞,等.中国钢铁工业烧结/球团工序绿色发展工程科技战略及对策[J].钢铁,2016,51(1):1.

- (WANG Hai-feng, PEI Yuan-dong, ZHANG Chun-xia. et al. Green development of sintering/pellet procedure in China iron and steel industry[J]. Iron and Steel, 2016, 51(1): 1.)
- [13] 张旭孝,上官方钦,姜曦,等. 美国钢铁工业的发展及能源消耗概况[J]. 中国冶金, 2017, 27(11): 1. (ZHANG Xu-xiao, SHANGGUAN Fang-qin, JIANG Xi, et al. Overview of development and energy consumption of U.S. steel industry[J]. China Metallurgy, 2017, 27(11): 1.)
- [14] 刘宏强,张福明,刘思雨,等. 首钢京唐钢铁公司绿色低碳钢铁生产流程解析[J]. 钢铁, 2016, 51(12): 80. (LIU Hong-qiang, ZHANG Fu-ming, LIU Si-yu, et al. Green low-carbon analysis of iron and steel manufacturing process of Shougang Jingtang Iron and Steel Company[J]. Iron and Steel, 2016, 51(12): 80.)
- [15] 严珺洁. 超低二氧化碳排放炼钢项目的进展与未来[J]. 中国冶金, 2017, 27(2): 6. (YAN Jun-jie. Progress and future of ultra low CO₂ steel making program[J]. China Metallurgy, 2017, 27(2): 6.)
- [16] 宋海燕,牛建刚,崔宝霞. 钢铁工业固体废弃物利用效益综合评价[J]. 钢铁, 2017, 52(2): 85. (SONG Hai-yan, NIU Jian-gang, CUI Bao-xia. Comprehensive evaluation of solid waste utilization benefit in iron and steel industry[J]. Iron and Steel, 2017, 52(2): 85.)
- [17] 郜学,尚海霞. 中国钢铁工业“十二五”节能成就和“十三五”展望[J]. 钢铁, 2017, 52(7): 9. (GAO Xue, SHANG Hai-xia. et al. Energy saving achievements of 12th Five-Year Program and prospect of 13th Five-Year Program for Chinese steel industry[J]. Iron and Steel, 2017, 52(7): 9.)
- [18] 吴雪健,龙红明,春铁军,等. 基于添加尿素的铁矿烧结过程二噁英减排技术研究[J]. 环境污染与防治, 2016, 38(5): 61. (WU Xue-jian, LONG Hong-ming, CHUN Tie-jun, et al. Emission reduction of PCDD/Fs in iron ore sintering process by adding urea[J]. Environmental Pollution and Control, 2016, 38(5): 61.)
- [19] 闫振武. 太钢节能减排的进展探讨[J]. 钢铁, 2012, 47(12): 81. (YAN Zhen-wu. Discussion on progress of energy saving and emission reduction in TISCO[J]. Iron and Steel, 2012, 47(12): 81.)
- [20] 李玉平,王丽英,张家利,等. 焦化废水强化处理关键技术研究探讨[J]. 给水排水, 2013, 49(8): 59. (LI Yu-ping, WANG Li-ying, ZHANG Jia-li, et al. The key technology research and discussion of strengthen the coking wastewater treatment[J]. Water Supply and Drainage, 2013, 49(8): 59.)
- [21] 张洪亮,施琦,龙红明,等. 烧结烟气中氮氧化物脱除工艺分析[J]. 钢铁, 2017, 52(5): 100. (ZHANG Hong-liang, SHI Qi, LONG Hong-ming, et al. Analysis of NO_x removal process in sintering flue gas[J]. Iron and Steel, 2017, 52(5): 100.)
- [22] 王国栋,吴迪,朱苗勇,等. 后工业化时代的生态化轧钢工艺技术: 钢铁共性技术协同创新中心工艺与装备开发平台简介[J]. 中国冶金, 2014, 24(11): 1. (WANG Guo-dong, WU Di, ZHU Miao-yong, et al. Ecological rolling technology in the post-industrial era: platform of process and equipment of steel generic technology and innovation center[J]. China Metallurgy, 2014, 24(11): 1.)
- [23] 殷瑞钰. 绿色制造与钢铁工业[J]. 钢铁, 2000, 35(6): 61. (YIN Rui-yu. Green manufacturing vs steel industry[J]. Iron and Steel, 2000, 35(6): 61.)
- [24] 程志民,安霞. 钢铁企业资源综合利用与绿色发展[J]. 环境工程, 2013, 31(4): 102. (CHENG Zhi-min, AN Xia. Green development and resource comprehensive utilization in iron and steel enterprises[J]. Environmental Engineering, 2013, 31(4): 102.)
- [25] 黄导,陈丽云,张临峰,等. 推进节能环保技术管理升级促进钢铁工业绿色转型[J]. 钢铁, 2015, 50(12): 1. (HUANG Dao, CHEN Li-yun, ZHANG Lin-feng, et al. Boost the upgrade of energy conservation and environmental protection technology management and promote the green transformation of iron and steel industry[J]. Iron and Steel, 2015, 50(12): 1.)
- [26] 王新东. 创新驱动发展科技引领未来——河北钢铁集团科技创新发展战略[J]. 河北冶金, 2015(6): 1. (WANG Xin-dong. Innovation drives development, science and technology lead the future[J]. Hebei Metallurgy, 2015(6): 1.)
- [27] 郭大龙,刘加军. 钢铁绿色转型需技术、理念双发展[N]. 中国冶金报, 2015-06-30. (GUO Da-long, LIU Jia-jun. Technique and concept development during green transformation of iron and steel industry[N]. China Metallurgical News, 2015-06-30.)