

DOI: 10.3724/SP.J.1224.2017.00044

“钢铁工业绿色转型：工艺技术与政策”专刊

球团替代烧结——铁前节能低碳污染减排的重要途径

杨晓东, 张丁辰, 刘 锐, 邢芳芳, 胡金玲

(北京京诚嘉宇环境科技有限公司 冶金清洁生产技术中心, 北京 100053)

摘 要:在我国生态文明建设和全面推行绿色制造的总体要求下,钢铁工业面临多重严峻挑战。钢铁工业是流程制造业,可通过制造流程工艺变革,改变高炉炉料结构,进一步实现节能、降碳、污染减排。本文就球团替代烧结从设备投资(含环保投资)、生产运行成本(含环保设施运行成本)、能耗、焦比/渣比和污染物产生等方面进行综合研究分析,以国内某900万t钢铁联合企业为例,进行了不同炉料结构下的计算比较。结果表明,与现状情景(入炉烧结矿70.36%、球团27.72%,综合品位59.19%Fe)相比,当入炉球团矿比例增加至91.51%、入炉综合品位为65.13%Fe的情景下,铁烧球工序总能耗将降低11.9%、二氧化碳排放减少35.2%、废气排放减少14.57%,总污染负荷将降低41.2%。可见,球团替代烧结是贯彻“精料方针”,有效减少铁前废气污染负荷、降低能耗和碳排放的重要措施,是钢铁工业走向绿色制造的一个重要途径。

关键词: 炉料变革; 球团替代烧结; 节能降碳; 污染减排

中图分类号: TF4

文献标识码: A

文章编号: 1674-4969(2017)01-0044-09

进入二十一世纪,我国钢铁工业加快淘汰落后,在设备大型化、连续化、自动化方面取得长足进步,大型节能技术CDQ、TRT等的广泛应用以及设施封闭高效除尘和烟气脱硫脱硝技术的采用,使得行业节能环保面貌显著改善。钢铁生产既重视单工序、单体设备、单项技术的开发和应用,更重视系统集成,大力推动铁钢、钢轧界面技术的应用,实现了产业整体技术升级。污染防治步入注重前端和过程控制及末端治理并举和强化多污染物协同控制的技术路线,最大程度减少废物的产生和排放。

2015年,国务院发布《中国制造2025》,提出全面推行绿色制造的要求。我国钢铁行业面对资源环境约束不断增强的压力,绿色发展是唯一

出路。实现绿色发展,首要问题是进一步降低资源能源消耗,减少污染物产生和降低温室气体排放。钢铁行业应摒弃末端治理的污染防治方式,摆脱高昂的废物处置成本,需要通过优化制造流程、调整物料结构,寻求多目标约束的集成解决方案。

纵观国际高炉炼铁情况,中国、日本、韩国高炉炉料以烧结矿为主。2015年,我国烧结矿产量为104061万吨,球团矿产量为12800万吨,烧结球团比总体为89:11。欧盟由于环保要求,烧结厂的生产建设和受到了严格的限制,高炉炉料以球团矿为主。北美高炉也以球团矿为主。欧洲个别高炉球团矿使用比例达100%,其中一部分高炉使用熔剂性球团矿,另一部分高炉以酸性球团矿为主。

钢铁工业是典型的流程制造业,在我国钢铁

收稿日期: 2016-12-10; 修回日期: 2016-12-20

作者简介: 杨晓东(1962-),男,教授级高工,主要从事钢铁行业节能环保技术咨询工作。E-mail: yangxiaodong@ceri.com.cn

张丁辰(1987-),男,工程师,主要从事钢铁行业环境影响评价工作。E-mail: zhangdingchen@ceri.com.cn

刘 锐(1979-),女,教授级高工,主要从事钢铁行业节能低碳技术咨询工作。E-mail: liukun2@ceri.com.cn

生产还需在相当长的一段时间以高炉流程为主的情况下,探索通过制造工艺流程变革,以球团替代烧结,改变高炉炉料结构,实现进一步降低能源消耗、减少温室气体和污染物排放,迈向绿色制造具有重要意义。

1 钢铁行业能耗与废气污染排放状况

1.1 能源消耗

“十五”以来,我国钢铁行业吨钢综合能耗显

著下降,三个五年重点统计企业吨钢综合能耗分别下降了19%、19%和5%。2015年,吨钢综合能耗已降低至571.85kgce/t,完成了“十二五”规划吨钢综合能耗降低至580kgce/t的目标。尽管吨钢综合能耗持续下降,但由于粗钢产量快速增长,行业能耗总体呈现上升趋势。虽然2015年全国钢铁工业吨钢综合能耗比2000年下降了37.9%,但能耗总量却比2000年增加了2.89倍,行业能源消耗的总量很大。见图1。

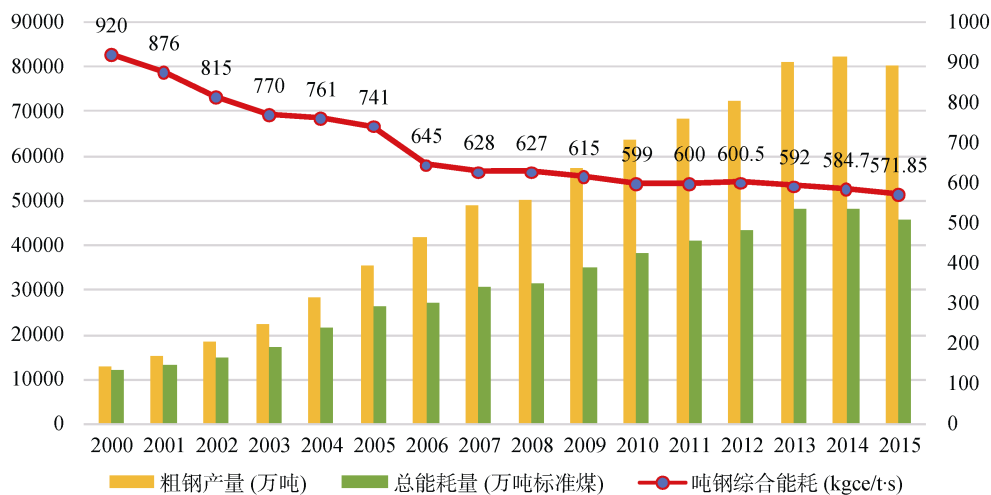


图1 粗钢产量、能源消耗总量及重点统计大中型钢铁企业吨钢综合能耗变化

1.2 碳排放状况

相关研究结果表明^[1],2010年中国工业部门矿物燃料燃烧排放二氧化碳约52.3亿吨,约占全国二氧化碳排放总量的70%,与能源消耗总量所占比例相近,其中钢铁工业排放二氧化碳约10.6亿吨,约占全国二氧化碳排放总量的14%,是二氧化碳排放大户。预计至2020年钢铁工业二氧化碳排放总量将达到12.7亿吨(图2)。

世界钢铁协会的技术分析报告指出,西方传统高炉流程的生产企业,吨钢CO₂排放量在1.9t左右;而完全使用废钢的电炉炼钢企业,吨钢CO₂排放只有0.4t。表1是世界钢协公布的吨钢二氧化碳排放量,中国钢铁工业生产以长流程为主,且能源结构中煤炭的比例较高,所以吨钢二氧化碳排放量较高。近年来,随着中国钢铁工业能源

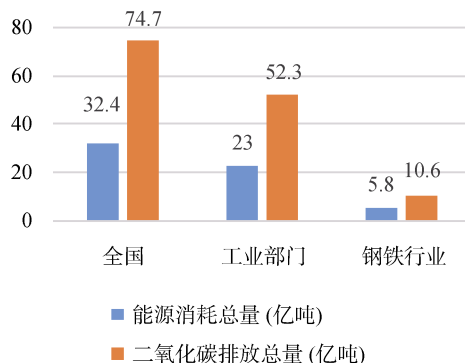


图2 中国钢铁工业能源消耗及二氧化碳排放总量情况

利用效率的提升,目前二氧化碳排放强度在2tCO₂/t钢左右。

1.3 废气污染排放状况

根据《中国钢铁工业环境保护统计》^[2],2015年,我国121家重点大中型钢铁企业平均吨钢排

放烟粉尘、SO₂ 和 NO_x 分别为 0.75 kg/t、0.81 kg/t 和 0.97kg/t，同比下降 14.24%、28.15%和 2.99%，相比国际先进水平仍有一定差距，见表 2。

图 3 为 2015 年我国重点大中型钢铁企业各工

序废气主要污染物平均排放比例，可见烧结工序排放的烟粉尘、SO₂ 和 NO_x 是行业排放废气污染物的主要工序，分别占总量的 42.83%、65.75%和 54.99%。

表 1 世界钢协公布的吨钢 CO₂ 排放量

	2011	2012	2013	2014	2015
世界钢产量/亿 t	15.38	15.60	16.50	16.70	16.20
国际钢协吨钢 CO ₂ 排放量/ (tCO ₂ /t 钢)	1.70	1.80	1.80	1.90	1.90
世界钢铁行业 CO ₂ 排放量/ (亿 tCO ₂)	26.15	28.08	29.70	31.73	30.78

表 2 国内钢企与国际先进钢企主要废气污染物排放因子 kg/t 钢

污染物	JFE	POSCO	121 家重点大中型钢企	宝钢股份
	2010 年	2013 年	2015 年	2015 年
烟粉尘	—	0.10	0.75	0.38
SO ₂	0.39	0.64	0.81	0.30
NO _x	0.73	0.91	0.97	—

注：JFE、POSCO、宝钢股份数据来源于各企业年度可持续发展报告

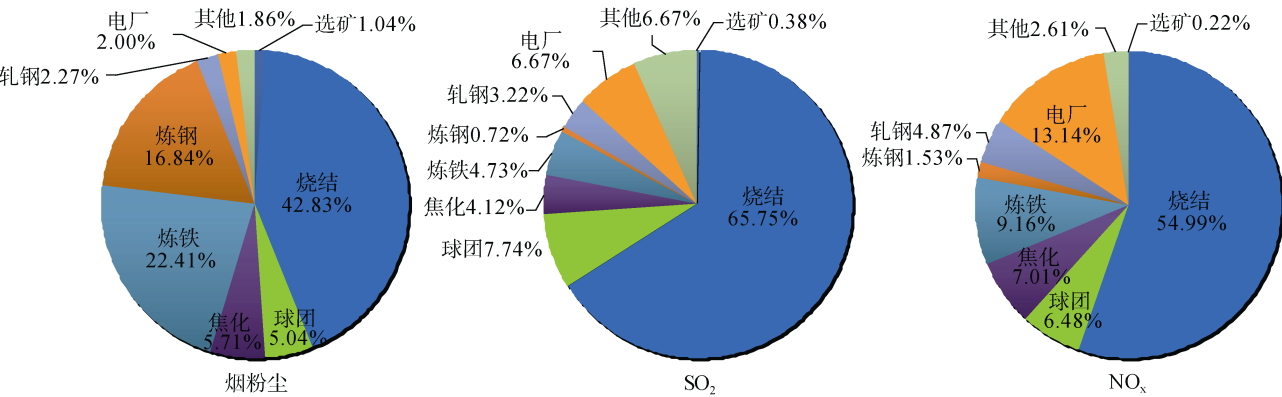


图 3 重点大中型钢铁企业各工序主要污染物平均排放比例

按照《环境空气质量标准》(GB3095-2012)及相应参考标准的限值计算国内 7 家钢铁企业废气污染物等标污染负荷，结果见图 4 至图 6。

由图 4 可知，颗粒物是烧结工序等标污染负荷最高，炼铁和炼钢工序次之；SO₂ 是烧结工序等标污染负荷最高，球团工序和自备电厂次之；NO_x 是烧结工序等标污染负荷最高，自备电厂和炼铁工序次之；此外，烧结工序是全厂最大的 CO 排放源，等标污染负荷比超过 90%。

由图 5 可知，烧结工序总的污染负荷最高，是长流程钢铁生产中的最主要废气污染源，自备

电厂和焦化次之。

由图 6 看出，新排放标准规定的污染物中，NO_x 污染负荷最高，是钢铁生产首要废气污染物，CO 次之，然后是 SO₂、TSP 和 Bap。

由上述分析可以看出，烧结工序是钢铁生产废气排放的最大污染源，在我国长流程钢铁生产为主的情况下，“去烧结”、改变高炉炉料结构是减少行业废气排放的重要措施。

1.4 行业面临的节能减排要求

进入“十三五”，我国政府发布了一系列关于绿色制造的实施规划。工信部、发改委、科技部

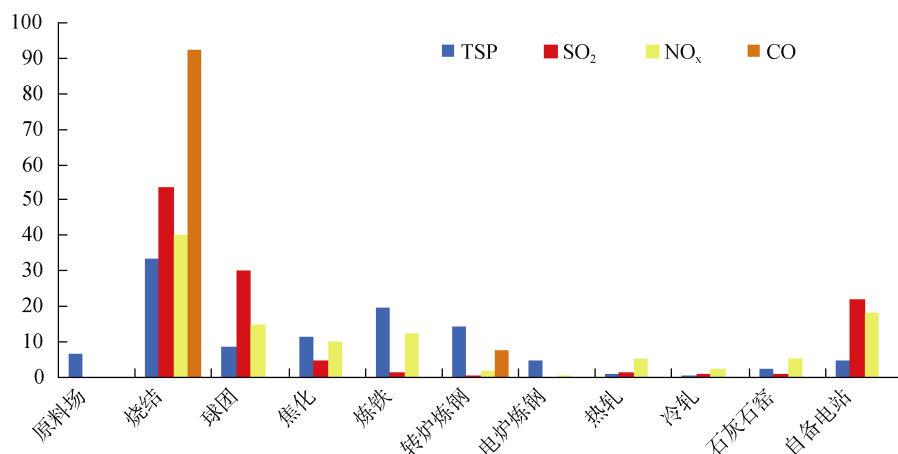
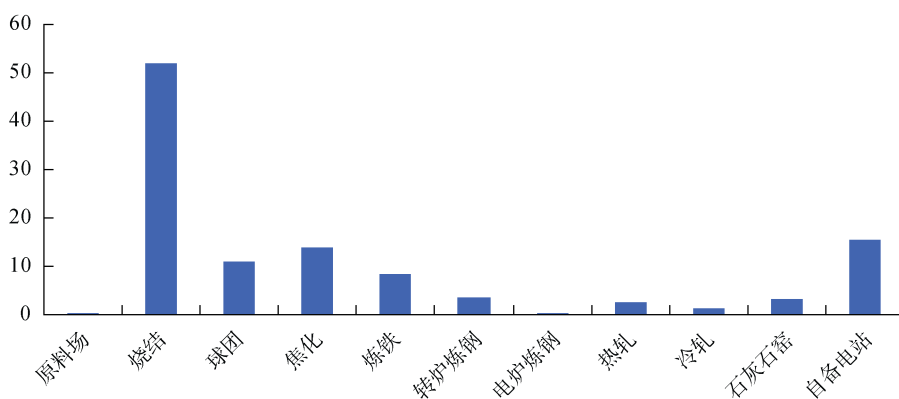
图4 各工序颗粒物、SO₂、NO_x和CO等标污染负荷比

图5 各工序废气污染物等标污染负荷比

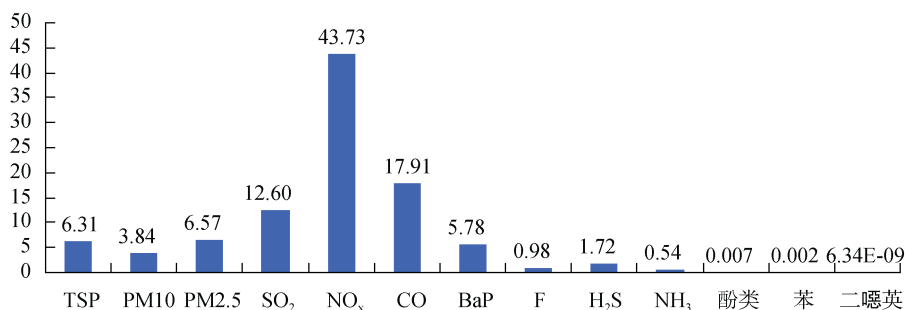


图6 主要废气污染物等标污染负荷比

和财政部四部委联合发布的《绿色制造工程实施指南(2016-2020年)》要求：“到2020年，与2015年相比，传统制造业物耗、能耗、水耗、污染物和碳排放强度显著下降，重点行业主要污染物排放强度下降20%。单位工业增加值二氧化碳排放量、用水量分别下降22%、23%”。

工信部《钢铁工业调整升级规划(2016-2020年)》要求，到2020年，钢铁工业粗钢产能净减

少1亿~1.5亿吨，产能利用率从2015年的70%增加至80%，能源消耗总量下降10%以上，吨钢综合能耗从2015年的572kgce降低至≤560kgce，污染物排放总量下降15%以上，吨钢二氧化硫排放量从2015年的0.85kg降低至≤0.68kg。

环境保护部《京津冀及周边地区落实大气污染防治行动计划实施细则》(环发[2013]104)要求，实行煤炭消费总量控制。到2017年底，北京市、

天津市、河北省和山东省压减煤炭消费总量 8300 万 t。

国家发展改革委办公厅发布《关于切实做好全国碳排放权交易市场启动重点工作的通知》(发改办气候[2016]57 号), 提出石化、化工、建材、钢铁、有色、造纸、电力、航空等 8 个行业的重点排放企业(控排企业)纳入交易。中央政府制定温室气体总量控制目标, 将总量目标转化为可交易的配额, 企业自主交易。钢铁行业将采用历史强度法经初始分配后, 按照逐年递减的方式实现碳减排。

从上述国家最新的管理要求和行业自身发展的需要看, 我国钢铁行业将面对节能、控煤、低碳、污染减排的多种挑战, 迫切需要通过工艺变革, 优化制造流程, 调整物料结构, 积极应对。

2 烧结和球团工序能耗和废气污染分析

钢铁生产的能耗 70%左右在炼铁和铁前工序, 影响高炉能耗高低的 70%的因素是在“精料”, 高炉炉料结构是精料技术的重要组成部分。叶匡武等人研究结果表明^[3]入炉铁品位提高 1%, 高炉渣量减少 30kg/tHM, 焦比下降 0.8%~1.2%, 产量增加 1.2%~1.6%, 增加喷煤量 15kg/tHM。丁小明等人^[4]研究表明针对 2500m³ 高炉, 入炉铁品位提高 1%, 焦比下降 1.74%, 产量增加 2.39%。

瑞典高炉炼铁入炉铁品位 67% ,100%球团矿, 吨矿比 1300kg ,渣铁比低于 160kg ,燃料比 450kg。我国吨铁用矿 1680kg/t, 与瑞典相比高 380kg。2015 年我国重点钢铁企业高炉燃料比为 526.5kg/t, 比瑞典高 76.5kg/t。同时, 铁前工序大气污染物是钢铁企业废气排放的重要环节, 由前面图 3 分析可知, 铁烧球工序烟粉尘、SO₂ 和 NO_x 排放量分别占总量的 70.28%、78.22%和 70.63%。本节重点就烧结和球团两个工序的能耗、碳排放和废气污染情况进行对比分析。

2.1 工序能耗对比分析

《粗钢生产主要工序单位产品能源消耗限额》

(GB21256-2013)中烧结和球团工序的能耗要求和重点统计钢铁企业烧结和球团工序的能耗情况列于表 3 和表 4。

表 3 粗钢生产主要工序单位产品能源消耗限额要求
单位: kgce/t 产品

指标名称	限定值	准入值	先进值
烧结工序能耗	≤ 55	≤ 50	≤ 45
球团工序能耗	≤ 36	≤ 24	≤ 15

表 4 重点统计钢铁企业烧结和球团工序能耗指标
单位: kgce/t 产品

指标名称	2015	2014	2013	2012
烧结工序能耗	47.20	48.90	49.98	50.42
球团工序能耗	27.65	27.49	28.47	28.84

由表 3 和表 4 可知, 球团工序能耗仅为烧结工序能耗的一半左右, 先进企业球团工序能耗仅为烧结工序能耗的约三分之一。烧结机由于工艺装备的先天不足, 漏风率高, 能源利用效率很低, 同时烧结机配备废气高效多污染物协同控制装备, 废气处理量大、投资和运行成本高昂, 工序能耗增加要在 5 kgce/t 产品以上。而球团矿生产其升温焙烧和冷却过程基本是密闭装置中进行, 漏风少, 废气经多次循环, 余热得到了充分利用, 能源效率高, 与烧结机相比, 需处理的废气量和污染物种类少, 能耗和运行成本低。另外, 球团矿生产流程相对较短, 少有干料的破碎、筛分、运输系统, 所以除尘设备少, 整个工序电耗仅在 28kWh/t, 远低于烧结。

2.2 碳排放分析

以国内某中等水平企业烧结和球团(链篦机-回转窑生产线)工序碳排放活动水平数据为例, 按照国家发改委公布的《中国钢铁生产企业温室气体排放核算方法与报告指南(试行)》计算获得的球团工序的吨产品二氧化碳排放量约为烧结工序的 20%~45%。

由此可见, 与烧结矿相比, 球团矿生产无论从节能还是减少碳排放方面都更具有优势。

2.3 废气污染排放分析

目前我国钢铁工业球团生产尚无系统完整的废气污染物统计数据，这里采用《欧盟钢铁行业污染防治最佳可行技术》^[5]相关数据分析，铁烧球工序吨产品废气污染物排放因子见表 5。

表 5 铁烧球工序吨产品废气污染物排放因子 kg/t 产品

污染物	烧结工序	球团工序	炼铁工序
TSP	0.071~0.85	0.014~0.15	0.0054~0.20
SO ₂	0.22~0.97	0.011~0.21	0.009~0.34
NO _x	0.31~1.03	0.15~0.55	0.0008~0.17
F	0.0004~0.0082	—	—
二噁英	0.15~16	—	—
CO	8.78~37	0.01~0.41	—

注：二噁英单位为 μg/t 产品

需要特别强调的是，烧结工序除排放 TSP、SO₂、NO_x 常规污染物外，也是钢铁企业二噁英、氟化物和 CO 等特征污染物的主要排放源，特别是 CO 排放量高达 8.78~37kg/t 烧结矿，在数量级上是钢铁企业排放量最大的废气污染物，但这一情况长期未受到行业关注，在河北省部分城市，

环境空气当中的 CO 浓度已严重超标。近几年随着我国环境管理的不断深入，CO 污染已经引起了部分地区政府和环保管理部门的高度重视并开展了钢铁企业 CO 排放状况的调查。

3 球团替代烧结技术经济可行性及综合效益分析

3.1 球团替代烧结情景设置

高炉炉料结构主要取决于原料资源情况、配套生产工艺、操作技术水平、操作习惯和理念、生产成本、环保要求等多方面因素。本文为研究球团替代烧结的环境经济技术可行性，由于情况复杂暂未考虑矿源、高炉操作的影响因素。

本文以国内某较先进的长流程钢铁企业铁烧球工序装备配置及高炉炉料结构现状实际为基础，以此代表我国钢铁行业目前的现状情景，以相同铁水产量为前提，假设了两种提高球团比例后铁烧球工序的装备配置和高炉炉料比例情景，分析估算球团比例提高后铁烧球工序投资、能耗、碳排放和废气污染物排放的变化情况。情景设置情况见表 6。

表 6 球团替代烧结情景设置

情景	现状情景			模拟情景一			模拟情景二		
生产工序	烧结	球团	高炉	烧结	球团	高炉	烧结	球团	高炉
主体设施	2×500m ² 烧结机	1×504m ² 带式球团	2×5500m ³ 高炉	1×500m ² 烧结机	2×504m ² 带式球团	2×5500m ³ 高炉	—	3×504m ² 带式球团	2×5500m ³ 高炉
产品产量(万 t/年)	1015.3	400	900	507.65	800	900	—	1200	900
品位(%)	56.67	65.24	59.19	56.67	65.24	62.02	—	65.24	65.13
炉料结构	烧结 70.36%+球团 27.72%+块矿 1.92%；			烧结 36.86%+球团 58.09%+块矿 5.05%；			烧结 0%+球团 91.51%+块矿 8.49%；		
环保设施	活性焦法 协同处理	活性焦法 协同处理	全干法除 尘	活性焦法 协同处理	活性焦法 协同处理	全干法 除尘	—	活性焦法 协同处理	全干法 除尘

注：（1）★为高炉入炉矿品位；（2）不考虑烧结矿与球团矿酸碱度的变化对高炉的影响；（3）活性焦法多污染物协同控制系统不包含脱硝内容；（4）提高球团矿比例，入炉料不足部分由块矿补充。

3.2 球团替代烧结经济环境效益分析

3.2.1 投资和生产成本

假定每套 500m² 烧结系统、400 万 t 球团系统

和 5500m³ 炼铁系统投资不变，入炉料结构变化仅引起原料成本、燃料成本及回收煤气量变化，计算三种情景铁烧球工序的生产设施总投资、环保投资和吨铁水总生产费用情况见表 7。

表 7 烧结、球团、炼铁工序投资及生产费用情况

	现状情景	模拟情景一	模拟情景二
生产设施总投资(万元)	698239	737775 +5.66%	777311 +11.3%
环保设施投资(万元)	46165	44330 -3.97%	42495 -7.95%
吨铁水总生产费用(元)	1924.24	1955.31 +31.07 元	1985.06 +60.82 元

注：★不包括炼铁工序环保设施投资。

由表 7 可见，因球团矿吨产品投资高于烧结矿，情景一和情景二相比现状情景生产设施总投资增加了 5.66%和 11.32%；但球团系统烟气净化负荷小于烧结系统，因此情景一、情景二环保设施投资分别比现状情景降低 3.97%、7.95%。

考虑原料成本、燃料成本、加工成本、回收余能冲减成本及污染物排放成本，综合计算吨铁水生产费用，三种情景分别为 1924.24 元、1955.31 元和 1985.06 元，情景一、情景二分别比现状情景吨产品增加 31.07 元、60.82 元。

3.2.2 能耗变化

假定球团和烧结的工序能耗不变，不考虑高炉入炉高比例球团情况下所带来的矿粉磨选增加的能耗，同时假定炼铁工序除焦比、煤比、回收煤气量受入炉矿品位影响(入炉矿品位提高 1%时燃料比降低 1.2%)外，其他能源介质消耗不变，计算三种情景烧结、球团及炼铁工序能源消耗情况，其结果如表 8 所示。

表 8 烧结、球团及炼铁工序能耗及总能耗情况

	现状情景	模拟情景一	模拟情景二
入炉矿品位(%)	59.19	62.02 +2.83	65.13 +5.94
球团工序能耗(kgce/t 产品)	20	20	20
烧结工序能耗(kgce/t 产品)	51	51	51
炼铁工序能耗(kgce/t 产品)	378	372 -1.6%	365 -3.4%
球团+烧结+炼铁总能耗(万 tce)	400	377 -5.8%	353 -11.8%

由表 8 可知，情景一和情景二相比现状情景炼铁工序能耗分别降低 1.6%和 3.3%。球团比例的

提高及球团工序能耗较低，以及炼铁工序因入炉矿品位提高而导致的工序能耗降低，综合作用下导致情景一和情景二相比现状情形总能耗分别降低 5.8%和 11.8%。由此可见，高炉炉料结构中提高球团矿比例，对降低铁前总能耗效果明显。

3.2.3 二氧化碳排放

采用 3.2.2 节的假定前提和含碳原/燃料及熔剂消耗数据，依据国家发改委公布的《中国钢铁生产企业温室气体排放核算方法与报告指南(试行)》计算出以各工序为边界的单位产品二氧化碳排放量及二氧化碳排放总量情况，其结果如表 9 所示。

表 9 烧结、球团、炼铁工序 CO₂ 排放情况
单位：t CO₂/t 产品

工序	现状情景	模拟情景一	模拟情景二
球团单位产品排放量	0.04	0.04	0.04
烧结单位产品排放量	0.19	0.19	0.19
炼铁单位产品排放量	0.29	0.29	0.28
球团+烧结+炼铁总排放量(万 tCO ₂)	0.47	0.39	0.30

因球团工序仅以焦炉煤气为燃料，其碳排放因子相对于烧结采用的焦粉低，而且球团单位产品消耗的石灰石和电量均低，上述因素共同作用导致球团工序吨产品二氧化碳排放量仅为烧结的 21%。炼铁工序中，情景一和情景二相对于现状情形吨产品二氧化碳排放量变化不大。情景一和情景二中球团矿比例的提高及相应吨产品二氧化碳排放量少，计算两种情景比现状情景二氧化碳排放总量分别降低 17.6%和 35.2%。由此可见，球团替代烧结，对降低二氧化碳排放总量效果明显。

3.2.4 废气排放变化

根据情景设定计算三种情景铁烧球工序总污染负荷比见图 7，计算污染物排放情况见表 10。

烧结、球团和炼铁工序单位产品废气排放量分别为 0.70m³/t·h、0.58m³/t·h 和 0.83m³/t·h；情景一、情景二与现状情景相比，铁烧球工序废气排放量分别比现状情景降低了 7.29%、14.57%。铁

烧球工序总污染负荷比分别降低 22.1%、41.2%。

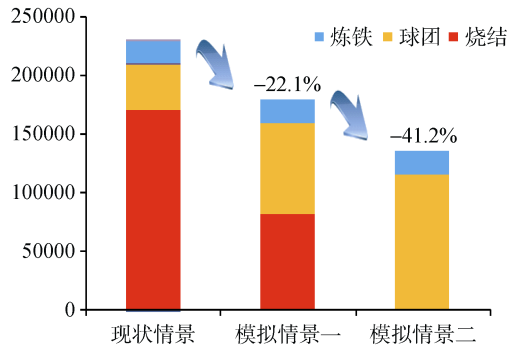


图 7 三种情景各工序总污染负荷比

表 10 烧结、球团及炼铁工序废气污染物排放情况

	现状情景	模拟情景一	模拟情景二
废气排放量(万 m ³ /h)	1686.64	1563.75 -7.29%	1440.86 -14.57%
烟粉尘排放量(t/年)	1911.02	1772.66 -7.24%	1634.30 -14.48%
SO ₂ 排放量(t/年)	4058.00	2941.48 -27.51%	1824.95 -55.03%
NO _x 排放量(t/年)	11320.7	11198.83 -1.08%	11076.95 -2.15%
二噁英排放量(t/年)	7.24E-06	3.62E-06 -50%	0 -100%
氟化物排放量(t/年)	2.22	1.11 -50%	0 -100%

情景一、情景二与现状情景相比：烟粉尘排放量分别减少 138.36t、276.72t，降低了 7.24%、14.48%；SO₂ 排放量大幅下降，分别减少 1116.52t、2233.04t，降幅为 27.51%、55.03%；NO_x 分别降低 1.08%、2.15%；特征污染物中，情景一氟化物、二噁英降低 50%，情景二因球团全部替代烧结，CO、氟化物和二噁英基本不排放。

显而易见，球团替代烧结，可大幅减少铁前工序主要废气污染物排放。

4 结论及建议

本文通过模拟球团替代烧结情景的初步估算，入炉矿中球团矿比例从 27.72%分别增加到 65.24%和 91.51%情景下，生产设备投资将增加 5.66%和 11.32%(其中环保设施投资分别减少 3.97%和 7.95%)，吨铁水生产成本将分别增加

31.07 元和 60.82 元，铁烧球总能耗降低 5.9%和 11.9%，二氧化碳排放减少 17.6%和 35.2%，废气排放量分别减少 7.29%和 14.57%，废气排放总污染负荷比将分别下降 22.1%和 41.2%。因此，球团替代烧结虽然在投资和生产成本上略有增加，但从节能、低碳、废气减排方面获得的综合效果是非常显著的，是实现《钢铁工业调整升级规划(2016-2020 年)》提出的能源消耗总量下降 10%以上、污染物排放总量要在 2015 年基础上下降 15%以上要求的一个重要措施，尤其是解决钢铁产业集中区域环境空气中 CO 污染的有效措施。

我国钢铁工业实现球团替代烧结，钢铁企业需要结合自身的生产施工工艺配置和矿源情况，应重视和处理好以下问题：

(1) 大型化和淘汰落后：我国目前竖炉和小型链篦机-回转窑球团厂的产量仍占 40%以上，总体上看，装备水平低、产品质量不高、作业率低、能耗高污染重，需要加快淘汰。在企业升级改造过程中应坚持大型化，采用先进的工艺和高效的装备，实现低能耗和低排放。

(2) 调整高炉冶炼操作制度：高炉炉料结构入炉品位影响消耗、产量等指标，而炉料结构冶金性能影响高炉稳定性。不同炉料结构对高炉炉矿稳定顺行、煤气流分布以及透气性等高炉冶炼操作有至关重要的影响。因此，需研究配加高比例球团时高炉基本操作制度的调整(包括装料制度、送风制度、热制度与造渣制度的匹配)，实现高炉内气流的平稳转换，确保高炉稳定顺行。

(3) 控制精粉的 SiO₂ 和水：精粉的 SiO₂ 含量决定了熔剂性球团矿软化性能、熔滴性能的优劣和入炉品位是否合理，是高比例球团冶炼的关键基础问题。严格控制入厂铁精矿的品位和 SiO₂ 含量、水含量，对国产铁精矿必须实施细磨精选，同时应选用优质粘结剂，严格控制膨润土的加入量。

(4) 要求球团矿须具有高质量：球团替代烧结若要获得节能减排效果，必须以高质量球团矿为基础，并非使用任何球团矿均可得到节能减排的

效果, 球团矿质量差, 可能其效果还会适得其反。

(5) 含铁尘泥等固废物的处理: 目前国内钢铁联合企业中, 烧结除尘灰、高炉出铁场灰、高炉一次二次灰、转炉除尘灰、OG 泥、氧化铁皮、杂料等固体废物一般都送烧结混料回收利用, 高比例球团情况下, 这些“杂料”需要寻找新的出路, 比如应用转底炉、回转窑、造块等工艺进行资源化利用。

致谢

衷心感谢中冶京诚工程技术有限公司李学俭专家在本文撰写过程中给予的指导和帮助。

参考文献

- [1] 戴彦德, 胡秀莲, 等. 中国二氧化碳减排技术潜力和成本研究[M]. 北京: 中国环境出版社, 2013: 17.
- [2] 中国钢铁工业协会信息统计部. 中国钢铁工业统计月报(2000年-2015年) [R]. 2015.
- [3] 叶匡吾, 冯根生. 我国球团矿的发展及应用——高炉炼铁节能、减排最重要的技术措施[C]. 全国炼铁生产学术会议暨炼铁学术年会, 北京, 2010.
- [4] 丁小明, 李京社, 等. 铁矿石品位与焦比、铁水产量关系的研究[J]. 工业加热, 2012, 41(3): 47-50.
- [5] 欧盟委员会. 欧盟钢铁行业污染综合防治最佳可行技术[R]. 2013.

Substituted Pelleting for Sintering — An Important Approach of Energy-Saving, Low-Carbon and Emission Reduction before Ironmaking

Yang Xiaodong, Zhang Dingchen, Liu Kun, Xing Fangfang, Hu Jinling

(Technical Center for Cleaner Production of Metallurgical Industry, CERI Eco Technology Co. Ltd., Beijing 100053, China)

Abstract: Under the general requirements of ecological civilization construction and full implementation of green manufacturing in China, iron and steel industry is facing serious challenges. Iron and steel industry is process manufacturing, therefore, improving manufacturing process and changing blast furnace burden structure will further achieve energy saving and carbon reduction, pollution reduction. This paper conducts a comprehensive analysis on pellets replacing sinter from equipment investment (including investment in environmental protection), production cost (including operating costs of environmental protection facilities), energy consumption, coke rate / slag ratio and pollutants reduction. Taking a 9 million tonnes comprehensive Iron & Steel factory as an example, this paper calculated and compared the related data for different burden structures scenarios. The results shows that compared with the current situation (sinter 70.36% + pellet 27.72%, and burden grade of 59.19% Fe), when increasing pellet to 91.51% and the burden grade to 65.13%, the total energy consumption will be reduced by 11.9%, and the carbon dioxide and gas exhaust emission will be reduced by 35.2% and 14.57%, accordingly, the total pollution burden will be reduced by 41.2%. It is obviously known that pellets replacing sinter is an important measure of green manufacturing for Iron & Steel industry.

Keywords: blast furnace burden revolution; substituted pelleting for sintering; energy saving and carbon reduction; pollutant emission reduction.