

DOI: 10.3724/SP.J.1224.2017.00068

“钢铁工业绿色转型：工艺技术与政策”专刊

国内外钢铁工业能源高效利用新进展

李冰, 李新创, 李闯

(冶金工业规划研究院, 北京 100711)

摘要: 本文阐述了国内外钢铁工业节能降耗进展, 对能源高效利用领域面临的新形势和挑战进行分析, 并总结了现阶段行业较为关注的节能新技术的进展情况。能效水平提升是世界各国钢铁工业实现绿色低碳发展的共同着力点, 钢铁工业能源高效利用正逐步向系统化、智慧化以及跨行业应用的转变, 同时技术创新和工业化进程加快。

关键词: 钢铁工业; 能源高效利用; 绿色低碳

中图分类号: TF4

文献标识码: A

文章编号: 1674-4969(2017)01-0068-10

引言

钢铁工业是典型的能源资源密集型产业, 钢铁工业节能降耗不仅在实现可持续发展战略中承担着重大责任, 同时也是落实科学发展观, 引导和推进全社会节约能源, 建设节约型社会的有效途径。

能效是碳能、核能、风能、太阳能四大能源之外的第五大能源, 也是能源创新的重中之重。因此, 实现钢铁工业能源高效利用是钢铁行业节能降耗的永恒课题。

1 国内外钢铁工业节能降耗工作进展

1.1 国内钢铁工业节能降耗工作进展

自20世纪八十年代初, 中国钢铁工业厉行节能30多年, 钢铁工业节能降耗工作发展历程大体经过以下四个阶段。

20世纪80年代初, 我国提出“能源开发与节

约并重, 把节约放在优先位置”的方针, 将节能纳入国家经济和社会发展规划, 钢铁工业大力加强了节能工作。“六五”期间, 钢铁工业的主要节能工作是在全行业进行节能宣传教育、组建机构和队伍; 抓管理、建制度, 减少能源的损失浪费。钢铁企业的能源管理逐步走上了科学化和制度化轨道。

进入“七五”以后, 由于浅层次的能源浪费现象减少, 只依靠管理“扫浮财”的节能效果逐步减少, 钢铁工业主要工作内容是搞好“三个转向”, 即节能工作的着眼点要从单体设备、工序的节能转向企业的整体节能; 节能管理方式要从经验管理转向现代化管理, 提高管理工作水平和效率; 节能管理体系要从单一节能部门转向整个企业管理体系的分工协作综合管理。

“九五”以后, 钢铁工业工作重点是生产设备技术改造和建设大型节能装置, 如发展连铸、提高喷煤比、建设TRT及烧结机、高炉热风炉等设

收稿日期: 2016-12-06; 修回日期: 2016-12-28

作者简介: 李冰 (1977-), 女, 高级工程师, 工学硕士, 从事钢铁行业节能与低碳发展领域研究和工程咨询工作。E-mail: libing@mpi1972.com

李新创 (1964-), 男, 教授级高级工程师, 主要从事钢铁产业发展政策和钢铁工业重大政策研究制定等工作。E-mail: lixinchuang@mpi1972.com

李闯 (1982-), 男, 高级工程师, 工学博士, 从事国家及地方钢铁产业政策、规划和重大专题的研究。E-mail: lichuang@mpi1972.com

备的余热回收装置等;在企业深入学习邯钢经验的过程中,节能管理上引入了经济价值量,开始了“能源经济”节能的探索,重点分析能耗指标变动对企业利润的影响、分析节能关键部位和增利潜力、分析和预测能源价格变化对企业利润的影响,直接显示节能与生产成本的联系,促进节能工作的深入开展。

“十一五”以来,国家把节能减排作为调整经济结构、转变发展方式、推动科学发展的重要抓手,首次将单位 GDP 能耗下降目标作为经济社会发展的约束性指标,并在“十二五”规划中提出国内生产总值二氧化碳排放下降目标。钢铁工业在强化目标责任、调整产业结构、实施重点工程、推动技术进步、强化政策激励、加强监督管理等方面采取一系列强有力的政策措施。在政府的强力推动下,钢铁工业节能减排进入崭新发展阶段,特别是大批先进成熟节能技术获得了广泛应用。随着 2017 年全国碳市场的建立,钢铁工业将进入全面碳约束时代。

1.2 国外钢铁工业节能降耗工作进展

不同国家由于钢铁产业结构不同、发展所处阶段不同、政策导向差异等因素,钢铁工业节能降耗工作的进展和重点各有不同。

(1) 日本

自 1960 年至今,日本钢铁工业节能降耗工作主要分为以下四个阶段:

第一阶段(60 年代初期到 70 年代中期):国家陆续颁布实施了一系列法律法规,为后期有效开展节能降耗工作奠定基础。

第二阶段(70 年代中期到 80 年代中期):实行了诸多有效的节能措施,包括干熄焦、高炉炉顶余压发电、废热回收、连续铸钢、热装炉轧制和连续退火等技术,并改善了生产结构,实现了钢铁生产的集中化和大型化,实现了大幅度节能。

第三阶段(80 年代中期到 90 年代中期):实施了更全面更先进的污染控制与节能,采取了软

焦煤大配比炼焦、高炉喷煤、加强废热回收、提高电厂和氧气厂的换能效率等节能减排措施。

第四阶段(90 年代中期至今):面对全球变暖的局面,日本钢铁工业把之前“以节能作为降低生产成本”的思维,转变为“降低 CO₂ 和所有温室气体排放是钢铁工业的重大任务”的观念。开发降低 CO₂ 排放的节能重要技术,使用生命周期评价(LCA)和更深入的废弃物回收以实现可持续发展^[1]。

(2) 韩国

浦项制铁在韩国钢铁工业具有举足轻重的地位,近年来,浦项制铁提出了以能效提升为重点的改进战略,希望通过提高能效和技术突破加强钢铁工业竞争力。改进战略包括短期、中期、长期三个阶段。

短期(~2015 年):以提高能效为目标,通过废热回收与重复利用,提高当前工艺的能效。主要采取措施包括通过煤气副产物联合循环发电厂等,提高能源效率;

中期(~2020 年):以开发新的二氧化碳减排工艺为目标,主要通过开发创新型炼钢工艺,实现节约能源。

远期(~2050 年):以开发氢气炼钢为目标,主要通过氢气取代煤炭作为还原材料,从而实现大幅减少二氧化碳排放目的。

(3) 德国

德国高度重视钢铁工业的可持续发展,制订了包括以下内容的相关计划:开发新钢种,生产满足用户要求的新性能材料;开发新的制造设备,提高劳动生产率和成材率及连续化、自动化水平;开发新工艺,简化或缩短生产流程;严格控制二氧化碳排放等。^[2]

(4) 美国

美国钢铁工业多年来采取的主要节能降耗措施包括:淘汰效率低的老旧设备,使用喷煤技术减少焦炭用量;对高炉进行技术改进,增加顶压发电,提高炉顶气体利用率;采取热装热送,直

接熔炼, 薄板带坯连铸连轧等, 减少工序转换环节的能源消耗; 尽可能收集废气的化学能; 在加工过程中使用传感器, 改进生产效率, 扩大产量, 降低生产成本等。^[2]

2 我国钢铁工业能源高效利用领域面临的新形势和挑战

绿色低碳发展是国际大趋势, 是世界各国共同面临的重大挑战。资源与环境问题是人类面临的共同挑战, 可持续发展日益成为全球共识。特别是在应对国际金融危机和气候变化背景下, 推动绿色增长、实施绿色新政是全球主要经济体的共同选择, 发展绿色经济、抢占未来全球竞争的制高点已成为国家重要战略。

“十三五”期间, 钢铁工业既面临深化改革、扩大开放、结构调整和需求升级等方面的重大机遇, 也面临需求下降、产能过剩及有效供给不足等方面的严峻挑战。在当前化解过剩产能、转型升级过程中推进钢铁工业绿色化发展面临几方面新的形势。

(1) 重视绿色低碳发展理念。绿色是我国经济发展的五大理念之一, 钢铁工业资源能源消耗量大, 绿色发展的任务更重。越来越多钢铁企业更加重视绿色发展的理念, 把绿色发展理念融入企业管理、发展、经营、战略之中, 将坚持绿色低碳发展提升到关系企业生存与发展的重要战略问题, 作为企业可持续发展的重要价值观。

(2) 开展绿色制造体系建设。加快推进绿色制造, 开展绿色制造体系建设, 将绿色工厂、绿色产品、绿色园区、绿色供应链作为绿色制造体系的主要内容, 以促进钢铁工业全产业链和产品全生命周期绿色发展为目的, 建立高效、清洁、低碳、循环的绿色制造体系, 把绿色制造体系建设作为钢铁工业绿色转型升级的示范标杆、参与国际竞争的领军力量。

(3) 绿色化改造实施力度逐步深入。钢铁工业规模大, 消耗大量资源能源, 近年来在节能减排

方面投入大量资金, 大量先进成熟节能减排技术获得应用, 成效显著。但是随着国家节能减排任务日益紧迫, 钢铁工业节能降耗任务依然十分艰巨。钢铁工业绿色化改造实施力度正逐步向深入化、系统化发展, 从重大单项节能项目投入向深入系统挖掘、协同环保低碳等方面推进。

(4) 绿色低碳技术创新步伐加快。全球绿色低碳转型发展的方向明确, 只有抢占低碳市场和低碳技术, 才能占领未来科技和产业竞争的制高点。钢铁工业节能低碳仍面临许多深层次问题, 包括先进的能源高效利用技术、变革性的低碳冶炼技术等, 需要更多的技术创新研发力度与投入。钢铁工业需要在绿色技术创新方面走在前面, 从而加快推动整个行业提升绿色技术水平。

(5) 绿色低碳产业发展迅速。从全球来看, 绿色低碳技术和产业市场前景广阔。国家先后发布了《关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》、《关于加快发展节能环保产业的意见》等一系列政策措施, 明确了节能低碳产业发展内容和发展方向, 为钢铁工业进一步快速开展节能低碳产业发展奠定良好基础, 包括提高产业的自主创新能力, 打造全产业链、跨行业发展, 促进各环节绿色发展等。

能源的高效利用是钢铁工业实现绿色化发展的重要着力点。近期, 陆续颁布了《绿色制造工程实施指南(2016-2020年)》、《“十三五”控制温室气体排放工作方案》、《G20能效引领行动计划》等一系列政策文件, 对能源高效利用也提出了新的发展要求。

《绿色制造工程实施指南(2016-2020年)》重点任务中提出实施能源利用高效低碳化改造, 明确指出: “加快应用先进节能低碳技术装备, 提升能源利用效率, 扩大新能源应用比例。重点实施高耗能设备系统节能改造, 力争使在用的工业锅炉(窑炉)、电机(水泵、风机、空压机)系统、变压器等通用设备运行能效指标达到国内先进水平。深入推进流程工业系统节能改造, 重点推广

原料优化、能源梯级利用、可循环、流程再造等系统优化工艺技术, 普及中低品位余热余压发电、制冷、供热及循环利用。推进工业用能低碳化, 积极使用新能源, 开展电力需求侧管理, 大力建设厂区、园区新能源、分布式能源和智能微电网。到 2020 年, 形成 1.5 亿吨标准煤节能能力。”

《“十三五”控制温室气体排放工作方案》提出低碳引领能源革命, 指出: “大力推进能源节约, 坚持节约优先的能源战略, 合理引导能源需求, 提升能源利用效率。严格实施节能评估审查, 强化节能监察。推动工业、建筑、交通、公共机构等重点领域节能降耗。实施全民节能行动计划, 组织开展重点节能工程。健全节能标准体系, 加强能源计量监管和服务, 实施能效领跑者引领行动。推行合同能源管理, 推动节能服务产业健康发展。”

《G20 能效引领行动计划》提出了 G20 国家对于引领全球能效提高的重要性, 提出互利、创新、包容、共享的能效合作原则明确“鼓励 G20 成员制订本国能效提升计划大幅提高能效; 将 EELP 作为长期计划加以执行; 提高能效技术装备普及率, 加大能效投资”的长期能效提升目标。同时, 提出 G20 能效合作的 11 个重点领域, 包括交通、信息化、金融、建筑、工业能源管理等, 也充分体现了我国能效提升工作从参与到国际引领的转变。

3 钢铁工业能源高效利用进展新特点

钢铁工业节能降耗工作经历了一个由浅到深的发展过程, 总结世界钢铁工业, 特别是中国钢铁工业近年来在能源高效利用领域取得的快速发展, 主要呈现出以下几方面新的特点:

(1) 更加注重系统能源效率最大化的实现

钢铁工业节能工作从最初的扫浮财、杜绝跑冒滴漏的简单管理和针对单体设备的节能降耗逐步扩大到了工序节能、系统节能。近年来, 随着企业能源精细化管理工作的逐步深入, 系统节能

工作在钢铁行业获得更多的重视。例如: 能源管理中心、能源管理体系建设在钢铁企业的推广应用, 推动钢铁企业全系统能源管理精细化; 钢铁企业积极开展提高余热余能自发电率研究、铁前降本增效研究、轧钢产线综合节电研究, 均是站在系统节能角度开展整体或局部优化工作。

(2) 创新技术的研发及工业化进程加快

伴随中国钢铁工业的快速发展, 钢铁工业能源高效利用技术也取得快速发展, 干熄焦、烧结余热回收、高炉余压发电、蓄热式燃烧、全燃煤气发电、燃气蒸汽联合循环发电技术、热装热送等关键共性技术得到广泛推广应用。同时, 钢铁工业也一直重视不断加快先进能源高效利用技术的研发、创新和工业化进程, 例如: 高温超高压煤气发电、焦炉荒煤气显热回收、烧结矿竖式冷却等技术均是在近年获得了突破性的进展和工业化应用。

(3) 跨行业提升能效的技术能力不断提高

节能是一项系统工程, 各领域在能效提升领域具有很多共同特点和互通性。在日益严峻的节能减排形势下, 跨行业、多学科节能领域的沟通交流, 信息技术与新的节能融资模式的不断发展, 提高了跨行业提高能效的技术能力, 加快了钢铁行业与其他行业在能效提升领域的融合。例如: 最初应用于建材领域的低温余热发电技术、建筑节能领域的高效热泵技术、化工及市政领域的热力系统优化诊断技术等均在钢铁行业获得推广。钢铁行业与建材、有色、化工、建筑等各行业、多领域的跨行业能效提升工作将进一步深入。

4 钢铁工业能源高效利用领域新技术发展

1980 年~2015 年的 35 年间, 钢铁工业综合能耗指标取得持续优化, 吨钢综合能耗由 2040kgce/t 下降到 572kgce/t, 下降率为 72%, 节能降耗成效显著, 主要得益于工艺流程的优化、先进节能技术的广泛应用及能源管理水平的不断提升。

4.1 生产工艺流程日趋高效

从 1980 年至今 30 多年间,特别是 20 世纪 80~90 年代,钢铁行业通过氧气转炉取代平炉、连铸取代模铸、一火成材取代多火成材等系列生产结构调整及工艺流程优化,钢铁制造流程逐渐趋于连续化、紧凑化、减量化。

1988 年,我国钢铁工业确立了“以连铸为中心”的生产技术方案,大力推动了连铸系统工程的开展,至 1999 年,钢铁行业连铸比已达 78.62%。到 2014 年,全国重点钢铁企业连铸比为 99.71%。

20 世纪 90 年代中后期,随着宝钢、武钢、鞍钢、首钢先后建成投产大型氧气顶底复吹转炉,转炉炼钢进入高速发展期,至 1999 年,我国转炉钢比例已达 82.7%。到 2002 年底,在全国范围内已全部淘汰了平炉炼钢生产。

4.2 大量先进成熟技术获得广泛应用

伴随中国钢铁工业的发展,钢铁工业节能技术进步也取得快速发展,干熄焦、干法除尘、烧结合余热回收、干式压差发电 (TRT)、高效喷煤、蓄热式燃烧、全燃煤气发电、热装热送等关键共性技术得到广泛应用。目前,钢铁行业 TRT 普及率达 90%以上,干熄焦技术普及率已达 85%,

同时拥有世界上最大单机低热值燃气蒸汽联合循环发电机组,高压、超高压全燃煤气发电、烧结合余热回收利用技术、饱和蒸汽发电技术等已经处于世界领先水平。

4.3 能源管理水平不断提升

钢铁工业节能管理工作首先从能源消耗的计量、统计和能耗指标体系的建立开始,其中 1982 年颁发实施了《钢铁企业能源平衡及能耗指标计算办法的暂行规定》,使钢铁企业率先步入能源统计与能耗指标正规化和标准化;在工序节能管理方面,从 1979 年开始先后制订了 17 个“工序节能规定”,开展工序节能晋升级,有效地促进了工序和企业的节能;近年来,随着能源管理中心、能源管理体系在钢铁行业的推广应用,钢铁行业逐步迈向系统化、精细化管理行列。

总体来说,钢铁工业节能管理方式经历了从经验管理向现代化管理的转变,节能管理体系经历从单一节能部门向整个企业管理体系综合管理的转变,整体节能管理水平不断提升。

4.4 钢铁工业现行主要能源高效利用技术

近年来在国内钢铁工业受专注程度较高的部分能源高效利用新技术如下。

表 1 钢铁工业现行能源高效利用技术汇总表

工序名称	序号	技术名称
原料准备工序	1	原料环保封闭储存技术
	2	原料混匀技术
	3	皮带机变频能效系统技术
焦化工序	4	煤调湿技术
	5	热管式余热锅炉技术
	6	初冷上段余热水用于制冷技术
	7	负压脱苯技术
	8	焦炉荒煤气上升管余热回收技术
	9	干熄焦技术
	10	SCOPE21 炼焦技术
	11	废塑料 (废橡胶) 配煤技术
	12	焦炉加热优化控制系统技术
	13	管式炉蒸氨技术

续表

工序名称	序号	技术名称
烧结工序	14	小球烧结工艺技术
	15	降低烧结漏风率技术
	16	低温烧结工艺技术
	17	厚料层烧结技术
	18	链篦机-回转窑球团生产技术
	19	烧结环冷机余热回收利用技术（发电）
	20	烧结烟气循环利用技术
	21	液密封环冷机技术
	22	新型烧结竖罐式冷却及余热发电
	23	大型带式焙烧机球团技术
	24	烧结环冷机及余热发电
	25	烧结机大烟道余热回收
	26	烧结主抽高压变频调速改造
	27	烧结强力混合和强力的制粒技术
	28	烧结除尘风机高频电源改造技术
	29	高炉煤气单预热（空气）烧结点火保温炉技术
	30	烧结余热能量回收驱动技术（SHRT 技术）
	31	富氧烧结
球团工序	32	汽化冷却余热利用
	33	含镁球团矿或熔剂性球团矿生产技术
	34	球团废热循环利用技术
炼铁工序	35	高炉炼铁精料技术
	36	高炉高效喷煤技术
	37	高炉喷吹粒煤技术
	38	高炉炉顶煤气干式余压发电（TRT）
	39	高炉 BPRT 技术
	40	热风炉蓄热体高辐射覆层技术
	41	高炉炉顶煤气循环技术
	42	高炉喷吹废塑料技术
	43	高炉煤气干法除尘技术
	44	高炉脱湿鼓风
	45	变压吸附法富化高炉煤气提纯技术
	46	高炉渣余热回收利用及尾渣微粉利用
	47	高炉炉顶均压放散优化
	48	高炉煤粉预热喷吹
	49	高炉喷煤燃烧器技术
	50	热风炉板式换热器改造
	51	风机防喘振控制优化技术
	52	高炉热风炉双预热技术
	53	高炉煤气汽动鼓风技术
炼钢工序	54	转炉烟气干法除尘技术
	55	转炉“负能炼钢”工艺技术
	56	转炉烟气余热回收技术
	57	转炉烟气汽化烟道后余热回收技术

续表

工序名称	序号	技术名称
炼钢工序	58	转炉汽化冷却系统向真空精炼供汽技术
	59	钢水真空循环脱气工艺干式(机械)真空系统应用技术
	60	电炉优化供电技术
	61	电炉烟气除尘/余热回收、利用技术
	62	高分子橡胶喷吹技术
	63	钢渣热闷余热回收技术
	64	钢包蓄热式烘烤技术
	65	高效连铸技术
	66	薄板坯连铸技术
轧钢工序	69	低温轧制
	70	在线热处理
	71	蓄热式燃烧技术
	72	轧钢加热炉汽化冷却技术
	73	加热炉黑体强化辐射节能技术
	74	加热炉富氧燃烧技术
	75	冷轧连续退火炉带钢温度数学模型技术
	76	轧钢加热炉烟气余热回收利用技术
	77	无头和半无头连轧带钢生产技术
	78	轧制工艺润滑技术
	79	连铸坯热装热送技术
	80	棒材多线切分与控轧控冷节能技术
	81	罩式退火炉外排氢气回收利用
	82	方坯免加热轧钢技术
能源动力工序	83	水泵整流节能装置技术
	84	压缩机控制系统节能技术
	85	低温余热发电技术
	86	空压机管理控制系统节能技术
	87	空压机余热回收技术
	88	煤气发电机组凝汽器强化换热技术
	89	超高压全燃煤气锅炉-蒸汽轮机发电技术
	90	燃气-蒸汽联合循环发电技术
	91	燃气轮机值班燃料替代技术
	92	螺杆膨胀动力节能驱动技术
	93	高压变频调速技术
	94	电除尘器节能提效控制技术
	95	无功就地补偿技术
	96	开关磁阻电机技术
	97	铸铜转子电动机技术
	98	工业冷却塔风机用水轮机驱动工艺技术
	99	永磁调速电机
	100	电力需求侧管理平台
	101	电网升压改造
	102	能源管理中心及优化调控技术
	103	屋顶光伏发电技术

(1) 焦炉荒煤气显热回收技术

焦炉炼焦所耗热量约 70% 被成熟焦炭和高温干馏产生的荒煤气带走。随着干熄焦技术 (CDQ) 的发展和普及, 红热焦炭所含显热已有了成熟的回收途径, 但荒煤气携带的热能大部分尚未得到有效回收利用。多年来, 诸多研究机构在荒煤气热量回收方面做了大量的研发工作, 并于近年取得了突破性的发展, 目前在国内河钢邯钢、福建三钢等部分钢铁企业已获得工业化应用, 取得较好成效, 如邯钢 5、6 号焦炉荒煤气显热回收系统已一次性投产成功, 实现吨焦回收饱和蒸汽量约 100kg。^[3]

(2) SCOPE21 炼焦技术

SCOPE21 炼焦技术是以有效利用煤炭资源, 提高生产率以及实现环境、节能技术革新的新工艺。SCOPE21 炼焦生产工艺是在焦炉装料前对炼焦原料煤进行快速加热预处理来提高焦炭质量, 同时可大幅度缩短炼焦时间 (干馏时间)。这种新型焦炉与传统焦炉相比具有节能环保、增产降耗和扩大炼焦煤资源范围等优势, 该技术在日本新日铁公司获得工业化应用, 国内相关机构也在积极跟踪。

(3) 烧结矿竖式冷却技术

烧结矿竖式冷却技术作为一种烧结矿新型冷却方式, 避免了常规环冷、带冷冷却工艺密封困难、扬尘散热严重的缺点。其基本原理是: 热破碎后的烧结矿, 从顶部装入竖冷窑内, 自上而下连续流动, 与窑膛内自下而上连续流动的冷却风进行逆流热交换后温度逐步降低, 冷却后的低温烧结矿最终达到窑膛底部, 经排料口排出窑膛。作为烧结矿冷却和高效回收烧结矿显热的一种先进技术, 采用竖式窑工艺技术代替环冷机或带冷机, 与环冷 (带冷) 余热回收总量相比, 约可提高 60%~80%, 余热回收效率显著提高。目前该技术在天津天丰钢铁、江阴兴澄特钢等企业取得工业化应用, 仍在不断的改进完善过程中。

(4) 烧结烟气循环利用技术

该技术通过收集部分风箱的烧结烟气循环返回至烧结料层, 使烟气中的 SO_2 、 NO_x 以及粉尘等污染物被烧结层分解、转化、吸附的工艺。烧结烟气循环利用技术不但可以显著减少烧结工艺生产的废气排放总量以及污染物排放量, 而且能够回收烟气中的低温余热、降低烧结工序能耗。国外开发应用的多种烟气循环烧结工艺 (包括 EOS 工艺、LEEP 工艺、Eposint 工艺等) 可使烧结生产的各种污染物排放减少 45%~80%, 降低固体燃耗 2~5kg/t 或降低工序能耗 5% 以上。相比国外, 国内的烧结烟气循环工艺研究起步较晚, 但近年来进展较快, 在宝钢宁波钢铁、福建三钢、沙钢、江苏永钢等多家钢铁企业已获得应用。

(5) 无引风机无换向阀蓄热燃烧节能技术

采用自吸式燃烧技术可显著降低助燃风机功率并提高燃烧器效率, 采用新型双通道蓄热体, 实现无换向阀蓄热烘烤, 显著降低热废气体的排烟温度, 节约燃气。通过热废气的进口和排烟口的温度差形成压力变化实现自动引风, 同时分出助燃风机的部分风量, 作为动力源, 形成引力, 实现无引风机蓄热加热, 节约电能。该技术适用于钢铁行业钢铁包、中间包用烘烤器、加热炉、退火炉、淬火炉等, 目前在天津荣程、秦邮特钢等企业获得应用。

(6) ESP 无头轧制技术

意大利克雷蒙娜的 Arvedi 公司于 2009 年建成投产了世界上第一条 ESP 无头连铸连轧生产线。ESP 技术是在 ISP 技术的基础上进行大胆创新, 经过 10 多年的工艺探索, 创新性地完成了 ESP 无头轧制工艺的商业化改造。ESP 工艺生产线布置紧凑, 能耗与传统热带钢轧机相比减少约 40%。日照钢铁于 2013 年引进 ESP 技术, 于 2015 年正式投产, 是目前国内首条 ESP 生产线, 也是继意大利 Arvedi 公司 ESP 之后的国际第二条 ESP 生

产线。^[4]

(7) 钢坯免加热技术

加热炉是轧钢工序主要的耗能用户, 多年来钢铁工业一直在围绕降低加热炉能耗不断创新。为了节省燃料消耗、提高产品收得率、提高产品质量, 近年来部分钢铁企业在小方坯生产螺纹钢生产线上研发了免加热直接轧制技术并投入了生产应用, 具有较少加热炉加热, 节省燃料, 减少钢坯氧化烧损等优势, 目前在粤北钢铁、中天钢铁、湖北立晋、广西盛隆冶金等企业均已应用。

(8) 高温超高压煤气发电技术

钢铁企业在生产过程中产生大量的副产煤气, 如高炉煤气、焦炉煤气和转炉煤气。利用富余煤气发电技术是现阶段成熟的一种钢铁企业余能利用方式。近年来, 具有更高煤气发电效率的高温超高压煤气发电技术在钢铁行业获得了突破性进展。相比较已获得广泛应用的中温中压、高温高压级煤气发电机组, 高温超高压煤气发电技术发电热效率可提高 25%~45%左右。该技术近年来发展迅速, 已在多家钢铁企业获得应用, 节能效益明显。

(9) 低温余热发电技术

钢铁生产过程中副产大量余热余能资源, 多年来, 实现余热余能资源的高效回收利用是钢铁工业节能降耗的重要途径。随着节能技术的进步, 现阶段钢铁企业中、高温余热资源已基本得以回收利用, 而大量低温低参数余热资源综合利用成为钢铁企业进一步挖掘节能潜力的关键所在。近年来, 中低温余热发电技术受到更多钢铁企业关注, 主要利用方式包括低压饱和蒸汽发电、螺杆膨胀动力发电、ORC 发电、Kalina 发电技术、热电发电技术等, 目前国内包钢、江阴兴澄、天津天丰等, 以及韩国光阳、台湾中钢等钢铁企业开展示范应用。

(10) 高炉渣显热回收利用技术

对于高炉渣显热的回收利用一直是钢铁工业

关注的重点和难点。水淬工艺是现阶段高炉渣处理应用最广泛的方式, 高炉冲渣水主要用于作为冬季采暖热源, 但余热利用率相对较低, 且造成水资源的浪费。近年来, 以日本为代表的高炉熔渣干式显热回收技术研究在国内外掀起新的浪潮, 日本钢铁业提出的“美丽星球 50”计划也包括“炉渣显热回收技术开发”, 同时国内西安交通大学、清华大学等研究机构也在与部分钢铁企业合作开展高炉渣干式粒化工艺及余热回收的工业化试验工作。^[5]

(11) 智慧能源系统

钢铁工业节能管理方式经历了从经验管理向现代化管理的转变, 节能管理体系经历从单一节能部门向整个企业管理体系综合管理的转变, 整体节能管理水平不断提升。近年来, 随着能源管理中心、能源管理体系在钢铁行业的推广应用, 钢铁行业逐步迈向系统化、精细化管理行列。

但总体来看, 现阶段钢铁企业能源管理中心仍主要是将能源消耗的数据信息和设备运行信息采集到一个数字化平台上, 依靠能源管理报表、能耗分析、大屏幕显示等简单功能对部分有条件的工序进行监控, 基本实现了基于计量数据分析的能源管理功能和与信息化系统结合的离线优化, 但仍表现出无法实现在线处理和优化, 能源指标体系不能满足管理深度需求, 距离真正意义上的系统节能管理存在差距。

因此, 对钢铁企业传统能源管理信息系统进行持续改进和建设, 建立钢铁企业智慧能源系统符合新形势下对能源的管理和要求。

钢铁企业智慧能源系统基于新形势下对能源的管理和要求, 对现有钢铁企业能源管理系统和平台软件进行持续建设和完善, 将企业能源管理系统作为“能源网络”进行智慧设计和建设、管理, 实现企业能源流网络化、定制化、智能化, 通过全网设计和全网优化的理念实现钢铁企业能源的高效利用、可持续性可循环性利用。重点是

对钢铁企业能源管理开展能源网络智能设计和建设、管理, 对能源的可持续性、可循环性利用通过全网设计和全网优化的理念来进行管理、实现和完成, 构建钢铁企业大系统能源专家系统及企业内外综合能源专家系统。

5 结论

(1) 不同国家钢铁产业结构、发展阶段、政策导向不同, 节能降耗工作的进展和重点各有不同, 但能效水平提升是近期世界各国钢铁工业实现绿色化发展的共同着力点。

(2) 钢铁工业能源高效利用提升更加注重实现系统能源效率的最大化, 逐步推进实现从单体工序节能向系统节能的真正转变。

(3) 钢铁工业能源高效利用技术研发、创新及工业化进程在不断加快, 同时也仍需要政府、

研发机构、企业等相关利益方的更多协作与支持。

(4) 钢铁工业节能降耗已不局限于本行业节能技术的推广应用, 跨行业提升能效的技术能力正在不断提升。

(5) 通过能源网络智能设计、建设及管理, 建设智慧能源系统, 在钢铁工业能源高效利用领域发挥越来越重要的作用。

参考文献

- [1] 段新虎. 日本钢铁行业节能减排经验及启示[J]. 节能与环保, 2009(2): 28-31.
- [2] 杨 婷. 国外钢铁工业节能环保技术的发展[J]. 世界金属导报, 2007(08).
- [3] 丰恒夫, 郑文华. 焦炉荒煤气显热回收技术的研究及应用[J]. 河北冶金, 2016(6): 1-5.
- [4] 郑旭涛. 日钢 ESP 无头轧制技术[J]. 冶金设备, 2016(1): 44-46.
- [5] 张延平, 杨小龙等. 高炉渣干式粒化及显热回收的技术分析[J]. 工业炉, 2012, 34(3): 8-11.

Progress on Efficient Utilization of Energy Resources of Steel Industry Home and Abroad

Li Bing, Li Xinchuang, Li Chuang

(Planning institute of metallurgy industry, Beijing 100711, China)

Abstract: This article illustrates the progress of energy saving of steel industry home and abroad, analyzes new status and challenges ahead of efficient utilization of energy resources, and summarizes progress of new energy saving technologies common concerned by the whole industry. The world steel industry must emphasize the improvement of energy efficiency to materialize green and low-carbon development. Efficient utilization of energy resources of steel industry is changing into a new pattern characterized by systematization, intelligence and cross-sectoral application and is showing accelerated industrialization and technical innovation.

Keywords: steel industry; efficient utilization of energy resources; green and low-carbon