

冶金工业 节能与余热利用 技术指南

王绍文 杨景玲 贾勃 主编



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

冶金工业节能与余热利用 技术指南

王绍文 杨景玲 贾 勃 主编

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2010

内 容 提 要

全书分为两篇共 10 章,第 1 篇为钢铁工业节能与余热利用技术指南,主要介绍了烧结、焦化、炼铁、炼钢、轧钢等工序的节能与余热利用技术及工程实例;第 2 篇为有色金属工业节能与余热利用技术指南,主要介绍了铜、铅、锌、镍、铝等有色金属冶金节能与余热利用技术及工程实例。

本书可供冶金工程、环境工程、能源工程的科技人员、设计人员和管理人员使用,也可供高等院校的相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

冶金工业节能与余热利用技术指南/王绍文,杨景玲,贾勃主编.
—北京:冶金工业出版社,2010.3
ISBN 978-7-5024-5165-3

I. ①冶… II. ①王… ②杨… ③贾… III. ①冶金工业—节能—指南 ②冶金工业—工业余热—余热利用—指南 IV. ①TF083-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 019837 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 postmaster@cnmip.com.cn

责任编辑 杨秋奎 美术编辑 李 新 版式设计 葛新霞

责任校对 王永欣 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-5165-3

北京兴华印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2010 年 3 月第 1 版,2010 年 3 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16;19.25 印张;463 千字;294 页;1-3000 册

58.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100711) 电话:(010)65289081

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

前 言

节能降耗与余热利用不仅是当今世界共同关注的热点，也是我国高度重视的政治与经济任务，更是冶金工业生存与发展面临的重大问题。“十一五”期间，我国单位 GDP 能耗降低 20% 左右，主要污染物排放总量减少 10%，这是具有法律效力的约束性指标。从 2007 年情况看，我国节能减排工作虽在 2006 年基础上有所好转，但无突破性的进展，为了扭转节能减排的严峻形势，国家采取了一系列节能减排措施，颁发了新的《节约能源法》和 6 个节能减排实施方案和办法，对量化指标实行“一票否决”制和“问责”制，节能减排已成为一项重要的战略任务。冶金工业是能源、资源消耗大户，尽管我国冶金工业在 2007 年取得重大成就，钢产量达到 4.89 亿 t，10 种主要有色金属的产量与产能均跃居世界第一位，品种结构调整以及经济效益取得重要进展，为我国国民经济快速发展做出了巨大贡献。但是，我国冶金工业在节能减排方面仍存在众多问题。随着全球能源和环境压力增大，特别是我国国民经济快速发展所面临的巨大能源需求和环境的压力，我国冶金工业的生存与持续发展面临严峻的挑战。

解决冶金工业节能降耗的问题重点是技术与设备，科技进步是关键，优良装备是基础。分析冶金工业能耗的变化趋势，介绍节能降耗先进技术工艺与设备，是编写的旨意。

为了配合和落实国家节能减排目标的实现，总结国内外近几年冶金工业节能减排取得的成效和进步，向行业推行先进的节能降耗技术和设备，促进交流合作，适应冶金工业节能降耗技术的急需，组织编写了本书。希望本书的出版，对冶金工业节能降耗，发展循环经济，创建资源节约型、环境友好型冶金企业有所帮助，起到促进、推动和互助的作用。

本书由王绍文、杨景玲、贾勃主编。在编写过程中得到了中国金属学会、

中国钢铁协会、首钢、宝钢、鞍钢、武钢、攀钢等单位领导、专家、学者的帮助。书中引用殷瑞钰、陆钟武、蔡九菊、李光强、兰德年、王维兴等院士或教授的有关论文资料，参考和引用了中国环境科学学会环境工程分会、中国金属学会环保专业委员会、中国有色金属协会、中冶京诚工程技术公司等单位出版的刊物、论文集，以及国家专利、标准等资料，编者对这些作者及其所在单位表示衷心的感谢。

由于水平所限，书中不妥之处敬请广大读者批评指正。

编 者

2009年8月于北京

目 录

第 1 篇 钢铁工业节能与余热利用技术指南

1 钢铁工业节能的技术途径与发展趋势	1
1.1 钢铁工业节能减排现状与要求	1
1.1.1 钢铁工业节能减排现状与成效	1
1.1.2 钢铁工业节能与余热利用的工作重点与要求	3
1.2 钢铁工业节能与余热利用的技术途径与对策	4
1.2.1 结构节能的技术途径与对策	5
1.2.2 技术节能的技术途径与对策	6
1.2.3 管理节能的技术途径与对策	8
1.3 钢铁工业节能与余热利用现状、发展动向、趋势	12
1.3.1 钢铁工业余能余热资源利用现状与差距分析	12
1.3.2 钢铁工业节能与余热利用技术的发展动向、趋势	14
2 钢铁工业能耗状况与节能潜力分析	17
2.1 我国能源构成、增长趋势与消费特征	17
2.1.1 我国能源构成与增长趋势	17
2.1.2 我国能源概况与消费特点	17
2.2 钢铁企业能耗指标与影响因素	18
2.2.1 钢铁企业的能耗指标	18
2.2.2 影响吨钢能耗的因素分析	20
2.3 钢铁工业能耗现状与分析	21
2.3.1 钢铁工业能源结构与消耗状况	21
2.3.2 钢铁企业能耗与工序能耗分析	22
2.4 钢铁工业工序节能潜力分析	27
2.4.1 炼铁工序节能潜力分析	27
2.4.2 炼钢工序节能潜力分析	29
2.4.3 轧钢工序节能潜力分析	30
2.5 钢铁工业能耗的主要差距与分析	30
2.5.1 国内钢铁企业之间能耗差距与分析	30

2.5.2 我国钢铁工业能耗现状与差距分析	31
2.5.3 国内外钢铁企业能耗差距与分析	32
3 烧结工序节能与余热利用技术	35
3.1 烧结工序节能降耗规定与设计要求	35
3.1.1 原料场节能降耗规定与设计要求	35
3.1.2 烧结厂节能降耗规定与设计要求	36
3.1.3 球团厂节能降耗规定与设计要求	38
3.2 烧结工序节能与余热利用技术和设备	39
3.2.1 烧结机大型化的优势与厚料烧结技术	39
3.2.2 烧结余热资源回收利用技术与设备	40
3.2.3 烧结工序余热利用技术发展趋势	45
3.3 烧结工序节能与余热利用应用实例	46
3.3.1 太钢烧结环冷机余热利用技术	46
3.3.2 宝钢一期鼓风环式冷却机废气余热回收技术	48
3.3.3 宝钢二期烧结余热回收利用	50
3.3.4 马钢 300m ² 烧结机带冷烟气余热发电技术	53
4 焦化工序节能与余热利用技术	56
4.1 焦化工序节能降耗规定与设计要求	56
4.1.1 备煤、筛焦节能降耗规定与设计要求	56
4.1.2 炼焦节能降耗规定与设计要求	57
4.1.3 煤气净化、化产品精制节能降耗规定与设计要求	57
4.1.4 焦化工序能耗指标与设计规定	58
4.1.5 其他节能降耗规定与设计要求	59
4.2 焦化工序节能与余热利用技术和设备	60
4.2.1 煤调湿技术	60
4.2.2 新一代炼焦技术与设备	62
4.2.3 干熄焦技术与工艺	65
4.2.4 焦炉煤气回收技术	72
4.2.5 利用焦化工艺处理废塑料技术	74
4.3 焦化工序节能与余热利用应用实例	76
4.3.1 炼焦煤气流调湿分级一体化工艺技术	76
4.3.2 济钢干熄焦技术	79
4.3.3 利用焦炉处理废塑料	83
5 炼铁工序节能与余热利用技术	85
5.1 炼铁工序节能降耗规定与设计要求	85
5.1.1 高炉炼铁节能降耗规定与设计要求	85

5.1.2 非高炉炼铁节能降耗规定与设计要求	87
5.2 炼铁工序节能与余热利用技术和设备	87
5.2.1 高炉富氧喷煤技术与工艺	89
5.2.2 高炉煤气余压发电 (TRT) 技术与工艺	94
5.2.3 低热值煤气燃气轮机 (CCPP) 技术与工艺	99
5.2.4 全烧高炉煤气锅炉技术与工艺	104
5.2.5 高炉喷吹废塑料和燃烧城市垃圾的热能利用技术	108
5.3 炼铁工序节能与余热利用应用实例	111
5.3.1 天铁高炉富氧喷煤技术	111
5.3.2 宣钢 8 号高炉余压发电技术	113
5.3.3 邯钢燃气-蒸汽联合循环发电技术	116
5.3.4 首钢电力厂 220t/h 煤粉锅炉掺烧高炉煤气技术	118
5.3.5 高炉渣余热回收利用技术	121
6 炼钢工序节能与余热利用技术	125
6.1 炼钢工序节能降耗规定与设计要求	125
6.1.1 铁水预处理工序节能降耗规定与设计要求	125
6.1.2 转炉冶炼工序节能降耗规定与设计要求	126
6.1.3 电炉炼钢工序节能降耗规定与设计要求	127
6.1.4 炉外精炼工序节能降耗规定与设计要求	128
6.1.5 连铸工序节能降耗规定与设计要求	129
6.1.6 铁合金工序节能降耗规定与设计要求	130
6.2 转炉工序节能与余热利用技术和设备	132
6.2.1 转炉工序能源利用与提高煤气回收质量的技术	132
6.2.2 OG 法转炉煤气回收工艺与技术	135
6.2.3 LT 法转炉煤气回收与技术	142
6.2.4 转炉负能炼钢技术	149
6.3 转炉炼钢工序节能与余热利用技术应用实例	151
6.3.1 武钢三炼钢厂 OG 法转炉煤气回收技术	151
6.3.2 莱钢转炉煤气 LT 法净化回收技术	155
6.3.3 首钢负能炼钢技术	158
6.3.4 江苏锡钢电炉余热利用应用技术	160
7 轧钢工序节能与余热利用技术	166
7.1 轧钢工序节能降耗规定与设计要求	166
7.1.1 轧钢工序节能降耗一般规定与设计要求	166
7.1.2 大型、轨梁轧钢车间节能降耗规定与设计要求	167
7.1.3 H 型钢轧钢车间节能降耗规定与设计要求	167
7.1.4 中型轧钢车间节能降耗规定与设计要求	168

7.1.5 小型轧钢车间节能降耗规定与设计要求	169
7.1.6 线材轧钢车间节能降耗规定与设计要求	169
7.1.7 中厚板轧钢车间节能降耗规定与设计要求	170
7.1.8 热轧带钢车间节能降耗规定与设计要求	171
7.1.9 连铸连轧车间节能降耗规定与设计要求	172
7.1.10 冷轧带钢车间节能降耗规定与设计要求	172
7.1.11 冷轧不锈钢车间节能降耗规定与设计要求	173
7.1.12 涂、镀层产品车间节能降耗规定与设计要求	173
7.1.13 冷轧电工钢车间节能降耗规定与设计要求	174
7.1.14 焊管车间节能降耗规定与设计要求	175
7.1.15 无缝钢管车间节能降耗规定与设计要求	176
7.1.16 冷轧冷拔无缝钢管车间节能降耗规定与设计要求	176
7.1.17 热处理/精整管加工车间节能降耗规定与设计要求	177
7.2 轧钢工序节能与余热利用技术和设备	178
7.2.1 轧钢加热炉节能技术	178
7.2.2 热装热送节能技术与工艺	179
7.2.3 高温蓄热燃烧技术与工艺	181
7.3 轧钢工序节能与余热利用应用实例	187
7.3.1 轧钢加热炉的技术改造与应用	187
7.3.2 济钢 100t 抽拉式连铸坯热装热送铁路保温车研制与应用	190
7.3.3 蓄热式技术在钢包烘烤器的应用	191
参考文献	196

第 2 篇 有色金属工业节能与余热利用技术指南

8 有色金属工业能源利用与节能降耗技术对策	201
8.1 有色金属工业冶炼特征与能源利用状况	201
8.1.1 有色金属冶炼工艺与技术特征	201
8.1.2 有色金属工业能源结构与能源利用现状	206
8.2 有色金属工业节能现状与综合能耗	206
8.2.1 有色金属工业节能现状与分析	206
8.2.2 有色冶金工业节能途径与对策	208
8.2.3 有色金属工业综合能耗与折算系数	208
8.3 有色金属工业产业结构与能耗状况分析	211
8.3.1 有色金属工业产业结构状况与分析	211
8.3.2 有色金属工业能耗状况与差距分析	218

8.4 有色金属工业节能技术对策与发展目标	221
8.4.1 有色金属工业节能降耗的技术对策	221
8.4.2 有色金属工业科技节能的发展目标与重点研究要求	223
9 有色金属工业节能降耗规定与设计的要求	225
9.1 新建、改扩建工程可行性研究报告节能篇的规定与设计的要求	225
9.1.1 可行性研究报告节能篇编制及评估的规定	225
9.1.2 可行性研究报告节能篇主要内容	225
9.2 有色金属工业节能规定与设计的要求	226
9.2.1 有色金属工业采矿、选矿的节能规定与设计的要求	226
9.2.2 有色金属工业冶炼与加工工艺的节能规定与设计的要求	227
9.3 主要有色金属单位产品能耗限额标准与计算规定	228
9.3.1 术语名称与折算系数	228
9.3.2 铜冶炼企业单位产品能耗限额标准与计算规定	228
9.3.3 铜及铜合金管材单位产品能耗限额标准与计算规定	230
9.3.4 铅冶炼企业单位产品能耗限额标准与计算规定	232
9.3.5 锌冶炼企业单位产品能耗限额标准与计算规定	234
9.3.6 锡冶炼企业单位产品能耗限额标准与计算规定	236
9.3.7 镍冶炼企业单位产品能耗限额标准与计算规定	237
9.3.8 锑冶炼企业单位产品能耗限额标准与计算规定	238
9.3.9 镁冶炼企业单位产品能耗限额标准与计算规定	240
9.3.10 电解铝企业单位产品能耗限额标准与计算规定	240
9.3.11 铝合金建筑型材单位产品能耗限额标准与计算规定	243
9.4 余热利用与其他能耗规定和要求	245
9.4.1 工业窑炉余热资源利用与回收率	245
9.4.2 锅炉房能耗等级与工业锅炉热效率	247
9.4.3 制氧站与压缩空气站能耗分级指标	247
9.4.4 电解、电镀的电流效率及槽电压指标	248
10 有色金属工业节能与余热利用技术	250
10.1 铜冶炼节能工艺与技术设备	250
10.1.1 铜冶炼工艺概况	250
10.1.2 强氧化熔炼技术工艺与设备	252
10.1.3 Contop 炼铜新工艺	255
10.1.4 湿法炼铜新工艺与技术	255
10.2 铅冶炼节能工艺与技术设备	258
10.2.1 铅冶炼现状与传统的冶炼工艺和设备	258
10.2.2 直接炼铅新技术工艺与设备	260
10.2.3 卡尔多法炼铅与氧气侧吹炼铅法	263

10.2.4 湿法炼铅新工艺与技术	263
10.3 锌冶炼节能工艺与技术设备	265
10.3.1 锌冶炼工艺概况与常规浸出工艺	265
10.3.2 湿法炼锌新工艺	267
10.3.3 电积提锌新工艺	270
10.4 镍冶炼节能工艺与技术设备	271
10.4.1 闪速富氧熔炼技术	271
10.4.2 高冰镍精炼工艺	272
10.4.3 硫酸选择性浸出—黑镍除钴—电积工艺	273
10.5 铝冶炼节能工艺技术与设备	274
10.5.1 氧化铝冶炼能耗状况与改进型冶炼工艺	274
10.5.2 氧化铝生产节能技术与设备	276
10.5.3 电解铝生产节能技术与设备	281
10.5.4 解决我国电解铝工业节能的对策与要求	286
10.6 有色金属工业节能与余热利用工程实例	289
10.6.1 铅锌有色企业节能与余热利用	289
10.6.2 氧化铝企业节能与余热利用	290
参考文献	293

第 1 篇 钢铁工业节能与 余热利用技术指南

1 钢铁工业节能的技术途径与发展趋势

近年来,我国钢铁工业处于高速发展阶段,“十五”期间我国粗钢年平均增长 22.35%,2007 年全国产钢量达 48924.08 万 t^[1],比 2006 年增长 15.66%。2005 年全国钢铁能耗(标煤)为 3707 亿 t^[2],约占全国总能耗 16.67%。2007 年大中型钢铁企业(纳入统计的 85 家)总能耗为 22580.6 万 t^[1],比 2006 年增加 2569.43 万 t,增长率为 12.84%,这种不降反增趋势,给我国钢铁工业节能减排工作增加了难度。

我国钢铁工业用能结构是以煤炭为主,而且用能结构是向着多用煤、少用电和不用石油和天然气的方向发展,这种能源结构客观上造成了我国钢铁工业能源利用效率低、污染严重和节能减排任务繁重。因此,要实现钢铁工业节能目标和持续发展,必须强化钢铁工业及其余热利用技术与设备,发挥科技节能的重大作用。

1.1 钢铁工业节能减排现状与要求

1.1.1 钢铁工业节能减排现状与成效

1.1.1.1 节约能源、减少污染物排放取得成效

2006 年,纳入统计的大中型钢铁企业总能耗(标煤)19779.05 万 t,比 2005 年同期增加 1540.55 万 t,增长 8.45%,比粗钢产量增幅低 10.03 个百分点。吨钢综合能耗(标煤)645.12kg/t,同比下降 7.06%;2008 年钢铁企业工业用水重复利用率达到 96.64%;吨钢消耗新水 5.18t/t,同比下降 7.17%。

2007 年,在全国钢产量比 2006 年同期增长 18.14%,重点统计钢铁企业钢产量比 2006 年同期增长 15%的情况下,重点统计钢铁企业总能耗比 2006 年同期仅增长 11.1%,吨钢综合能耗(标煤)下降到 622.43kg/t,降低 2.32%;烧结、炼焦、炼铁、炼钢等主要耗能工序的能耗均有不同程度的降低,特别是炼钢工序能耗有较大幅度的下降,其中转炉炼钢工序能耗下降 40.94%,电炉炼钢工序能耗下降 4.66%,但轧钢工序能耗上升了 1.11%,其中冷轧宽带钢和冷轧窄带钢的工序能耗均上升了 10%以上。

在钢铁工业节能减排总体水平不断进步的情况下,涌现出一批具有国际先进水平的钢铁企业。如宝钢:2006年吨钢综合能耗同比下降2.04%;万元产值能耗(标煤)达1.19t/万元,同比下降11.85%;节能达33.3万t。 SO_2 、烟粉尘和COD等主要污染物排放量分别比2005年下降12.38%、17.87%、36.76%。2007年上半年万元产值能耗(标煤)降低到1.04t,同比下降22.4%,节能20.11万t;主要污染物排放量也得到较大幅度下降。

1.1.1.2 先进节能技术得到进一步普及和推广应用

近几年,钢铁工业一些先进的节能工艺装备技术,如CDQ、TRT等得到进一步的推广应用。

A CDQ

2006年,我国先后有攀钢、包钢、唐钢、济钢等14套干熄焦装置投入使用。截至2006年底,全国累计建成投产44套干熄焦装置,对应的焦炭产量3500万t,占我国炼铁焦炭消耗总量的25%左右。干熄焦技术对炼焦工序可实现吨焦节能40kg/t,按目前我国重点大中型企业高炉入炉焦比平均390kg/t计算,干熄焦可使吨钢能耗降低15kg,这是当前最大的节能措施。截至2008年末,我国已有80多套干熄焦装置,干熄焦生产能力将达到7000多万t/a,约占目前钢铁工业的焦炭耗用量的50%。

B TRT

截至2006年底,49座2000m³以上高炉均装备了TRT。高炉采用全干法除尘可有效提高TRT发电量。目前我国大型高炉(2000m³以上)应用全干法除尘的已有莱钢、包钢、鞍钢等多家企业,首钢曹妃甸5500m³大型高炉也确定采用干法除尘系统。已出现在大型高炉普及推广干法除尘的热潮,在普及这项技术中有更多的新创造、新进展、新成绩。

C 转炉干法除尘

在宝钢之后,已有莱钢、包钢、太钢、天钢、承钢等企业采用转炉干法除尘。包钢投入运行以来,取得了显著成效,净化后的烟气含尘量可以达到不高于10mg/m³的先进水平,节电、节水效果显著。据包钢测算,一座210t转炉采用干法除尘后年增加经济效益在1200万元以上。当前要加快引进技术的再创新,提高设备的国产化比例,进一步降低投资,为进一步普及推广创造有利条件。

1.1.1.3 结构调整与设备大型化取得阶段性成果

钢铁设备大型化既有利于节约资源、能源、土地,减轻地球环境负荷,提高劳动生产率,更有利于钢铁企业竞争力的提高。

在淘汰落后生产能力方面,2006年,国家发改委与河北省、辽宁省、江苏省等10个省市签订了第一批淘汰落后产能责任状,累计关停和淘汰落后高炉炼铁生产能力3986.2万t,落后炼钢生产能力4166.8万t。2007年已关停和淘汰落后高炉炼铁生产能力1242.2万t,炼钢生产能力872.7万t。此外,还淘汰了一批初轧/开坯机等落后生产工艺,钢铁行业初轧/开坯机比2002年减少了15台(套),生产能力减少了7871万t。

在设备大型化方面,2006年底,2000m³以上高炉增加到49座,生产能力增加到10585万t;比2005年增加了7座,生产能力增加了2021万t,增长率为24%。与2001年相比增加了28座,生产能力增加了6480万t,增长率为158%;100t以上转炉增加到91座,生产能力增加到12465万t;比2005年增加了2座,生产能力增加了567万t,增长率

为5%。与2001年相比增加了61座,生产能力增加了8863万t,增加率为246%^[3]。

与此同时,产品结构调整方面也取得了一定的成效,热轧/冷轧宽带轧机、中厚板轧机、镀锌/彩涂等先进装备、生产线的数量增加,生产能力加强,改善了钢铁行业的产品结构,中国钢铁工业结构调整取得了阶段性成果。

1.1.1.4 企业能源管理工作进一步得到重视和加强

为实现控制、协调企业能源,用信息化管理节约能源,宝钢、鞍钢、马钢等多家钢铁企业建立了能源管理中心。通过建设能源中心,达到了提高各类能源的使用效率,实现各类能源介质的优化调控,促进节能降耗;减少能源中心定员,节约成本,提高工作效率;调度管理人员可以更全面地了解能源系统,提高能源管理水平;及时发现能源系统故障,加快故障处理速度,能源系统更安全;使能源系统的运行监视、操作控制、数据查询、信息管理实现图形化、直观化和量化等目标。

1.1.1.5 行业节能减排管理工作的进一步开展

针对节能减排工作中存在指标不完善、口径不统一,可比性较差等问题,中国钢铁工业协会组织有关单位开展了钢铁行业能源指标体系和节能目标的调查研究,通过调查研究对完善能耗指标计算方法、合理设定节能目标等提出了具体的意见。

以上几个方面的进展表明,节能减排工作在全行业取得的成绩是显著的。我国钢铁工业是在投入相对下降的情况下实现了平稳较快发展,符合科学发展观的要求,满足了国民经济发展对钢铁产品的需求,全行业正在逐步走上优化结构、转变增长方式的科学发展道路,向资源节约型、环境友好型前进。

1.1.2 钢铁工业节能与余热利用的工作重点与要求

从目前我国钢铁工业节能与余热利用技术发展的特点分析,今后节能减排工作的重点与要求如下:

(1) 提高二次能源利用,实现负能炼钢。我国钢铁企业在节能方面经历了两个主要阶段:20世纪80年代的单体节能及相应的系统节能,90年代的工序取代优化和流程结构优化的系统节能;进入21世纪以来,通过“三干”(干熄焦、高炉煤气干法除尘、转炉煤气干法除尘)、“系统节水”、“发电”等措施,逐步进入到全面深入地充分开发钢铁制造流程的“能源转换功能”时期^[4]。

目前,我国钢铁工业已有不少成熟的节能减排技术,使得二次能源的利用率有了很大提高。在现阶段,能源转换环节节能减排的首要任务是推广、普及现有节能技术,充分发挥现有节能技术的节能潜力。同时,要积极开发新型节能技术,努力将现有技术条件下无法回收利用的二次能源运用新技术加以回收利用,在大中型企业,实现负能炼钢,这是一项重要的长期节能工作重点。

(2) 装备的大型化,减少总体节能差距。在钢铁企业中,长期存在着大型装备与小型设备节能减排效果的巨大差异。小型设备环保设施缺乏,导致粉尘、二氧化硫等污染物排放量大,环境污染严重;一次能源消耗量大,而且二次能源回收利用率低;由于小型设备工艺落后、装备水平差,现有的成熟节能技术,如TRT、转炉煤气回收等技术,基本上无法应用,这也正是现在存在能耗高的一个主要原因。

“十一五”以来,我国钢铁工业在结构调整、工艺装备大型化等方面加快了步伐,推

进了节能减排工作, 加大了节能力度, 并已取得了一定的成效。装备的大型化和现代化使得主要耗能设备的能耗显著降低, 排放减少, 我国钢铁工业总体节能减排指标也得到了改善。

(3) 建设能源管理中心, 优化能源网络。对于钢厂能量系统优化而言, 能量高效利用与动态有序管理同时对运行过程物质流和能量流进行动态控制, 从而使物质流和能量流在流程工序中耦合又有所分离, 分别形成了物质流的“物流网络”和能量流的“能流网络”。因此, 要特别重视各种能源介质利用的优化集成。如果能够对各工序各自的能量排放(二次能源)和一次能源按一定的“程序”组织起来, 并充分利用, 就可以构成钢厂内部的“能源转换网络”-“能量流网络”, 再通过能源管理中心的建设, 对各种能源介质进行合理调控, 实现钢厂能量系统优化。

对于钢厂能量系统优化而言, 在提高能源使用效率的同时, 由于能量分布不平衡, 钢厂要特别重视各种能源介质利用的优化集成。而通过能源管理中心的建设, 对煤气等各种能源介质进行合理调控, 将实现钢铁企业的全厂能量系统优化。

我国钢铁工业的首个能源中心自 1991 年在宝钢投产以来, 已显示了其在能源管理方面的优越性。目前, 国内的鞍钢、武钢、酒钢、首钢、攀钢、本钢、济钢、唐钢、太钢、华菱、邯钢等钢厂都准备或已在建设能源中心, 对钢铁行业而言, 仅是开始, 因此任重道远。

(4) 发展能源转化功能建立资源节约型环境友好型企业^[5-7]。过去存在的问题是钢铁企业能源转换率低, 余能余热余压回收利用少, 拓展能源转换功能后, 创造很多有效回收办法, 如高炉炉顶煤气余压发电, 不消耗任何燃料, 就可转化回收很多电力, 既降低噪声, 又保护环境; 利用干法熄焦的余热发电, 可回收红焦显热, 还起到节水、改善环境、提高焦炭质量的作用; 利用燃气-蒸汽联合发电, 可大量减少副产煤气的放散, 并起到提高热电转换效率、减少环境污染的作用; 利用焦炉煤气作原料, 可生产高纯度氢气, 可用于冷轧生产过程中保护气体处理, 可进一步加工成二甲醚, 作液态能源、氢电池等新一代电源; 利用焦炉、高炉处理城市废塑料和城市生活垃圾, 既节约能源又为社会处理大宗废弃物, 向清洁生产、绿色钢铁厂, 直至成为资源节约型、环境友好型的循环经济社会的重要成员转变。

(5) 提高企业能源管理, 建立完善的节能减排监测制度。目前, 一些企业能源计量配备不完善、不准确, 无考核和核查机制。一方面, 企业对很多能源的计量特别是回收的二次能源量的计量误差很大; 另一方面对应该实测的, 如煤和焦炭的能源折标准煤系数很多企业没有规范地去测, 致使企业的能源指标难以真实反映企业能源利用的水平。一些新上的中小钢铁企业没有能源统计报告制度, 没有具有能源管理专业知识的人员, 不做企业能源平衡, 没有能源平衡表, 有的甚至连能源指标的含义都不清楚。

因此, 准确的能源计量、监测是企业高效能源管理的基础, 也是制定节能目标、考核节能成果的必要工具。要严格钢铁企业计量制度, 才能真实反映钢铁工业能耗水平、存在的问题和差距等, 为今后节能目标的确定、节能规划的制定提供保证。

1.2 钢铁工业节能与余热利用的技术途径与对策

近年来, 我国重点钢铁企业在减量化用能、提高能源利用效率、增加和有效回用二次

能源等方面做了卓有成效的工作。但是由于我国用能结构是以煤为主,因此能源利用率低,更为重要的是产业集中度低。据统计,全国共有钢铁企业 3800 家,其中粗产产量超过 500 万 t 的只有 15 家,300 万~500 万 t 的有 11 家,100 万~300 万 t 的有 29 家,全国 300 万 t 以上企业产量之和仅占全国粗钢产量的 45%。据 2007 年统计,排名前 10 位的钢铁集团产钢量,仅占全国总钢 35.42%,与国家目标相差甚远。由于中小企业节能技术落后,给我国钢铁工业节能与余能利用带来致命问题。因此我国钢铁工业节能与余热利用工作,应根据我国国情,依靠科学技术进步,优化产业结构、用能结构,应用先进节能技术,强化节能管理。

1.2.1 结构节能的技术途径与对策

调整钢铁工业生产工艺结构、用能结构,优化生产流程可以产生重大节能效果,冶金工业曾提出钢铁工业发展三大重要技术路线^[8~10]:一是以发展连铸为中心,带动钢铁工业的结构优化;二是提高高炉炼铁喷煤比,促进炼铁系统的结构优化;三是促进轧钢工序生产的紧凑化、连续化、一火成材,提升轧钢生产技术水平。上述三大技术路线均能体现出钢铁工业结构节能的作用。钢铁工业结构节能的内容如下^[8]:

(1) 优化高炉炼铁炉料结构,多使用球团矿,可以实现炼铁系统结构节能。烧结工序能耗(标煤)约为 56kg/t,球团工序能耗为 33kg/t,多使用 1t 球团矿,少用烧结矿,可以给炼铁系统节能 23kg/t 左右。

球团矿含铁品位一般要比烧结矿高 5% 左右。高炉炼铁入炉矿含铁品位每升高 1%,可以降低炼铁焦比 1.5%,提高产量 2.5%,吨铁渣量减少 30kg/t,高炉允许多喷煤粉 15kg/t。所以说,高炉炼铁多使用球团矿有多方面的节能效果。

近年来,我国钢铁企业大力发展球团生产技术。自首钢开发成功链算机-回转窑生产球团工艺、技术装备以来,我国已建成 30 多条生产线。全国生产球团能力已超过了 1 亿 t,使用链算机-回转窑工艺技术生产的球团矿产量占全国球团矿总产量的 57% 以上。这是我国生产球团技术发展的新的里程碑。因为,链算机-回转窑所生产的球团工艺能耗和产品质量均优于竖炉。这个发展的态势,有效地促进我国高炉炼铁的技术进步和节能减排工作的进展。

(2) 提高高炉炼铁喷煤比,优化钢铁工业用煤结构,可以实现结构节能。炼焦要使用 50% 以上的主焦煤配煤,以确保冶金焦炭质量满足高炉炼铁的需求。我国主焦煤储量短缺(占 25%),且价格昂贵。高炉喷吹煤粉的煤种广泛,可以不用主焦煤。提高喷煤比,可以有效地缓解我国主焦煤的短缺,而且大大降低了钢铁企业购煤成本。

2007 年我国重点钢铁企业焦化工序能耗(标煤)为 123.11kg/t,而喷煤工序能耗仅为 20~35kg/t。高炉喷吹 1t 煤粉,代替 1t 焦炭,炼铁系统就可以降低能耗约 100kg/t。同时煤粉的价格要比焦炭低 700 元/t 左右,多喷煤,可以有效地降低高炉炼铁的生产成本。钢铁企业多喷煤,少用焦炭,就可以少生产焦炭,减少了炼焦过程对环境的污染。

钢铁企业新建高炉或对高炉扩容计划时,如能提高喷煤比,就可以有效地减少对焦化厂的投资。因为喷煤车间的单位投资仅是焦化厂单位投资的 12%~16%。

(3) 降低铁钢比,发展短流程电炉生产工序,有极大的节能效果。电炉生产工艺流程是没有烧结、球团、焦化、高炉炼铁工序,直接使用废钢或直接还原铁进行冶炼。这就没

有炼铁系统（铁、焦、烧、球工序）的能源消耗。同时消除了炼铁系统生产过程中产生的污染。这是钢铁工业结构节能发展的大方向，也是世界钢铁工业生产技术发展的大趋势。现在，西欧和美国钢铁工业生产就是以电炉短流程为主，电炉钢的产量占钢总产量的54%以上。2007年，我国电炉钢产量所占的比例在11%以下，而且在逐年下降，这种趋势必须扭转。

钢铁企业铁钢比升高0.1，会使吨钢综合能耗（标煤）上升约20kg/t。

（4）采用连续铸钢工艺技术，促进企业的结构节能。连铸工艺生产要比采用模铸生产工艺节约能耗25%~50%，提高金属收得率10%~15%，节省基建投资40%，提高生产过程的机械化和自动化，使钢种扩大，钢坯质量得到提高。

2007年我国重点钢铁企业的连铸比为98.86%，达到世界先进水平；全国的连铸技术设备已有60%实现了连铸机的高效化（高拉速、高连浇率、高作业率）。目前，我国特殊钢连铸与国外先进水平尚有一定差距。

（5）连铸坯热送热装和直接轧制技术，促进轧钢工序节能。连铸坯热送热装是指铸坯在400℃以上热状态下送入加热炉。而铸坯温度在650~1000℃时送入加热炉，节能效果最好。相对于连铸冷装工艺而言，采用一般热送热装工艺时可节能35%，采用直接热送热装工艺可节能65%，采用直接轧制工艺时可节能70%~80%。采用热送热装的好处还有：加热炉产量可提高20%~30%，金属收得率可提高0.5%~1.0%，缩短生产周期80%以上，降低建设投资和生产成本，同时可改进产品质量，提高成材率0.5%~1.5%。

采用冷坯装炉时，单位能耗在2.09GJ/t，如50%~70%板坯热装时，平均热耗可降低0.98%~1.15%。与冷装相比加热炉能耗会降低45%左右。连铸坯装炉温度每提高100℃，加热炉的燃料可降低80~120MJ/t，热送热装还可以有效地缩短轧钢生产周期；同时还可以大量地减少轧钢氧化铁皮的产生，提高了轧钢成材率。

（6）建设新一代钢铁生产新流程，大大促进钢铁企业的节能工作。新一代钢铁生产流程是以产品高质量，节能减排，高效化生产、生产流程紧凑连续，建立物流和能源循环发展为链条的特点，实现钢铁企业的“绿色制造”和可持续发展。

新一代钢铁生产流程充分体现出钢铁产品制造功能的提升，能源转换功能的提高，企业内废弃物资源化功能的完善，消纳社会废弃物功能的加强。

新一代钢铁生产流程包括了22项子课题，是钢铁工业结构优化的典范，在生产技术、节能技术、环保技术、废弃物资源化技术等方面均有许多技术创新点，大大提升了我国钢铁工业向钢铁强国前进的步伐。

1.2.2 技术节能的技术途径与对策

钢铁工业技术节能是一个重要方面，通过节能技术与装备，可实现企业节能效果显著。现以重钢为例，说明钢铁企业技术节能效果^[8,11,12]。

1.2.2.1 烧结节能技术与措施

（1）烧结采用厚料层烧结技术，对提高产品质量、降低燃料消耗有显著效果，烧结工序能耗可降低20%左右，烧结矿一级品率可提高20%，同时也大大降低了烟气中的含尘浓度，有利于改善环境。

（2）烧结采用新型点火器，利用冷却热废气进行点火，可减少烧结能耗，并能明显提