

钢铁企业节能减排关键技术与装备

——能源与动力工程专业实习教程

主 编 董 辉
副主编 王爱华 张 琦
主 审 蔡九菊

钢铁企业节能减排关键技术与装备

——能源与动力工程专业实习教程

主 编 董 辉

副主编 王爱华 张 琦

主 审 蔡九菊

东北大学出版社

· 沈 阳 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

钢铁企业节能减排关键技术与装备 能源与动力工程专业实习教程 /

董辉主编. — 沈阳: 东北大学出版社, 2012. 12

ISBN 978-7-5517-0269-0

I. ①钢… II. ①董… III. ①钢铁企业—节能—技术—高等学校—教材 IV. ①TF4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 309822 号

出 版 者: 东北大学出版社

地址: 沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号

邮编: 110004

电话: 024—83687331 (市场部) 83680267 (社务室)

传真: 024—83680180 (市场部) 83680265 (社务室)

E-mail: neuph @ neupress. com

http: //www. neupress. com

印 刷 者: 沈阳航空发动机研究所印刷厂

发 行 者: 东北大学出版社

幅面尺寸: 185mm×260mm

印 张: 15

字 数: 410 千字

出版时间: 2012 年 12 月第 1 版

印刷时间: 2012 年 12 月第 1 次印刷

责任编辑: 向 阳 刘乃义

封面设计: 刘江旸

责任校对: 文 浩

责任出版: 唐敏志

ISBN 978-7-5517-0269-0

定 价: 34.00 元

前 言

认识与生产实习是工科专业本科生教育的必要学习环节，能源与动力工程（原热能与动力工程）专业本科生教育也不例外。东北大学能源与动力工程专业依托于热能工程系，而热能工程系历史悠久，具有比较浓厚的冶金热能特色。1952年，我国第一个冶金炉专业在此建成；1982年，我国第一个冶金热能工程专业也诞生于此。根据东北大学能源与动力工程专业本科生教学大纲培养要求，认识与生产实习不仅涉及钢铁企业的烧结球团、炼焦、炼铁、炼钢、轧钢等主要工序，而且还涉及动力、能源管理中心等辅助工序。在这种情况下，实习所需要的参考教材达10余本。尽管如此，这些教材还是不能囊括实习要求的全部内容，尤其缺少具有本专业特点的相关知识，例如，炉窑热工、余热余能高效回收利用等。因此，急需一本深度和广度适合，并且突出炉窑热工、余热余能高效回收利用等冶金热能特点的教材。基于此，东北大学热能工程系的11位青年骨干教师共同编写了本书。本书不仅适用于能源与动力工程专业的本科生学习，还可供热能工程、工程热物理的研究生参考，也可供热工技术人员参考。

本书由董辉任主编，王爱华、张琦任副主编，蔡九菊任主审。其中，第1章由董辉、王爱华编写，第2章由董辉、刘文超编写，第3章由王连勇、高成康编写，第4章由王爱华、张琦、韩宗伟编写，第5章、第6章由王爱华、岳强编写，第7章由李国军、伊智编写，第8章、第9章由张琦、杨强大编写。全书由董辉统稿，由蔡九菊作最后审定。

本书的出版得到了“东北大学十二五规划教材建设立项”的资助，在此表示衷心的感谢！

由于编者水平有限，书中不足之处，敬请读者赐教与斧正！

编 者

2012年10月于沈阳

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 钢铁企业生产流程	1
1.1.1 典型钢铁生产流程	1
1.1.2 钢铁生产流程的特点	2
1.1.3 钢铁生产流程的功能拓展	3
1.2 我国钢铁工业节能减排进展	4
1.2.1 我国钢铁工业节能历程	4
1.2.2 我国钢铁工业污染物减排进展	6
1.3 我国钢铁工业节能减排方向与关键技术	9
1.3.1 我国钢铁工业节能减排方向	9
1.3.2 我国钢铁工业节能减排关键技术	10
第 2 章 烧结与球团工艺设备及其节能减排技术	14
2.1 烧结工艺流程、设备及其节能减排技术	14
2.1.1 烧结生产概述	14
2.1.2 烧结基本过程	15
2.1.3 烧结基本设备	17
2.1.4 烧结工序节能减排技术	19
2.2 球团工艺流程、设备及其节能减排技术	32
2.2.1 球团生产概述	32
2.2.2 球团基本工艺过程	33
2.2.3 竖炉球团法及其节能减排技术	38
2.2.4 链算机-回转窑球团技术	41
第 3 章 炼焦工艺设备及其节能减排技术	44
3.1 炼焦生产概述	44
3.2 炼焦设备	44
3.2.1 焦炉炉体结构	44
3.2.2 焦炉分类	51
3.2.3 焦炉炉型	52
3.3 炼焦工序节能减排技术	55

3.3.1 煤的预处理技术	55
3.3.2 干熄焦技术	63
第4章 高炉炼铁工艺设备及其节能减排技术	67
4.1 高炉炼铁生产工艺概述	67
4.1.1 高炉炼铁生产工艺流程	67
4.1.2 高炉炼铁生产特点	68
4.1.3 高炉炼铁原料、燃料与熔剂	69
4.1.4 高炉炼铁产品	70
4.2 高炉炼铁供风系统	71
4.2.1 热风炉类型及结构	71
4.2.2 提高热风温度的途径	75
4.3 高炉本体及炉内基本过程	77
4.3.1 高炉本体设备	77
4.3.2 高炉炉内基本过程	81
4.4 高炉炼铁工序节能减排技术	87
4.4.1 高炉炉顶煤气余压发电技术	87
4.4.2 高炉煤气发电技术	91
4.4.3 高炉鼓风脱湿技术	93
4.4.4 高炉炉渣处理及余热回收利用技术	96
第5章 转炉炼钢工艺设备及其节能减排技术	107
5.1 转炉炼钢工艺	107
5.1.1 概 述	107
5.1.2 转炉炼钢原料	109
5.1.3 氧气转炉炼钢工艺	112
5.2 转炉炼钢设备	117
5.2.1 转炉炉体系统	117
5.2.2 转炉供氧系统	119
5.2.3 铁水供应系统	121
5.3 转炉炼钢工序节能减排技术	122
5.3.1 转炉煤气回收技术	122
5.3.2 转炉烟气饱和蒸汽发电技术	130
5.3.3 转炉渣的处理与综合利用技术	133
第6章 电炉炼钢工艺设备及其节能减排技术	139
6.1 电炉炼钢工艺	139

6.1.1	传统电炉炼钢冶炼工艺	139
6.1.2	现代电炉炼钢冶炼工艺	142
6.2	电炉炼钢设备	144
6.2.1	电炉的大小与分类	144
6.2.2	电炉的机械机构	145
6.2.3	电炉的电气设备	147
6.3	电炉炼钢工序节能减排技术	150
6.3.1	电炉烟气余热回收利用技术	150
6.3.2	废钢预热节能技术	151
6.3.3	电炉炉尘处理工艺	154
第7章	轧钢工艺设备及其节能减排技术	159
7.1	轧钢生产概述	159
7.1.1	钢材品种	159
7.1.2	轧钢生产工艺过程	161
7.1.3	轧钢机械	162
7.2	典型产品工艺过程及设备	164
7.2.1	型钢生产	164
7.2.2	中厚板生产	166
7.2.3	热轧带钢生产	172
7.2.4	钢管生产	175
7.3	轧钢加热炉	181
7.3.1	推钢式加热炉	181
7.3.2	步进式加热炉	183
7.3.3	环形加热炉	185
7.3.4	台车炉	187
7.3.5	室式炉	188
7.4	轧钢工序节能减排技术	190
7.4.1	加热炉节能技术	190
7.4.2	热装热送和低温轧制技术	193
7.4.3	电机节能技术	194
7.4.4	过程自动控制技术	194
第8章	钢铁企业自备电厂	196
8.1	概 述	196
8.2	发电主要设备	196
8.2.1	锅炉设备的组成及工作过程	196

8.2.2 汽轮机设备的组成及工作过程	203
8.3 电厂的热经济性评价	207
8.3.1 简单蒸汽动力装置循环——朗肯循环	207
8.3.2 热力发电厂的热经济性评价方法	209
8.3.3 凝汽式发电厂的主要热经济性指标	211
8.4 钢铁企业自备电厂实例	212
8.4.1 宝钢电厂	212
8.4.2 鞍钢电厂	217
第9章 钢铁企业能源管理系统	221
9.1 概 述	221
9.1.1 钢铁企业能源管理系统的概念	221
9.1.2 发展历史	222
9.1.3 发展趋势	224
9.2 能源管理系统架构	225
9.2.1 系统架构	225
9.2.2 数据流图	226
9.2.3 网络结构	227
9.3 能源管理系统功能	228
9.3.1 数据计量和检测功能	229
9.3.2 数据采集与处理功能	230
9.3.3 基础能源管理功能	230
9.3.4 能源供需预测功能	230
9.3.5 能源优化调度功能	231

第1章 绪 论

1.1 钢铁企业生产流程

1.1.1 典型钢铁生产流程

钢铁工业是典型的流程工业，随着冶金科学技术的进步，钢铁制造流程逐步走向大型化、连续化、自动化和高度集成化。随着炼铁学、炼钢学、金属压力加工学、冶金物理化学、冶金热能工程学、冶金机械及设备学、冶金自动化及仪表学和计算机等学科的不断进步，一批新工艺、新装备、低能耗环保技术不断得以应用，如氧气转炉、连铸、铁水预处理、二次冶金、控轧控冷技术、薄板坯连铸连轧工艺、薄带连铸、直接还原铁技术、熔融还原技术、干熄焦发电、高炉富氧鼓风操作、炼钢转炉蒸汽回收装置等；一批原有工艺、装备不断完善，如高炉大型化、超高功率电炉、大型烧结机、热连轧机、无缝钢管轧机等；一批旧的工艺、设备被淘汰，如托马斯转炉、平炉、混铁炉、模铸、初轧/开坯机、横列式轧机、叠轧薄板轧机、小电炉、小氧气转炉、烧结锅等。

钢铁工业的产品包括带钢产品(如热轧带钢、冷轧带钢、镀涂带钢等)、彩涂板、管材产品(如镀锌管、高压管、螺旋管、无缝管等)、型钢产品(如扁钢、槽钢、工字钢、角钢、圆钢、方钢等)、齿轮钢、合金钢、碳素钢、不锈钢产品、板材产品(如车用板、锅炉板、热轧卷板、冷轧卷板、容器板、彩涂卷板、中厚板、电工用硅钢片、合金板、镀锌卷板等)、弹簧钢等。

钢铁工业典型生产流程如图 1.1 所示。

经过近 150 年的发展，现代钢铁企业生产流程已演变成两类基本流程。

(1) 高炉—转炉长流程。高炉—转炉长流程是以铁矿石、煤炭等天然资源为源头的高炉—转炉—热轧—深加工流程和熔融还原—转炉—热轧—深加工流程，其包含了原料和能源储运/处理、烧结—焦化—炼铁过程(熔融还原)、炼钢—精炼—凝固过程、再加热—热轧过程及冷轧—表面处理过程的生产过程。

主要生产工序功能如下。

① 炼铁：把烧结矿和块矿中的铁还原出来。焦炭、烧结矿、块矿连同少量的石灰石，一起被送入高炉中冶炼成液态生铁(铁水)，然后送往炼钢厂作为炼钢的原料。

② 炼钢：把原料(铁水和废钢等)里过多的碳及硫、磷等杂质去掉并加入适量的合金成分。

③ 连铸：将钢水经中间罐连续注入用水冷却的结晶器里，凝成坯壳后，从结晶器以

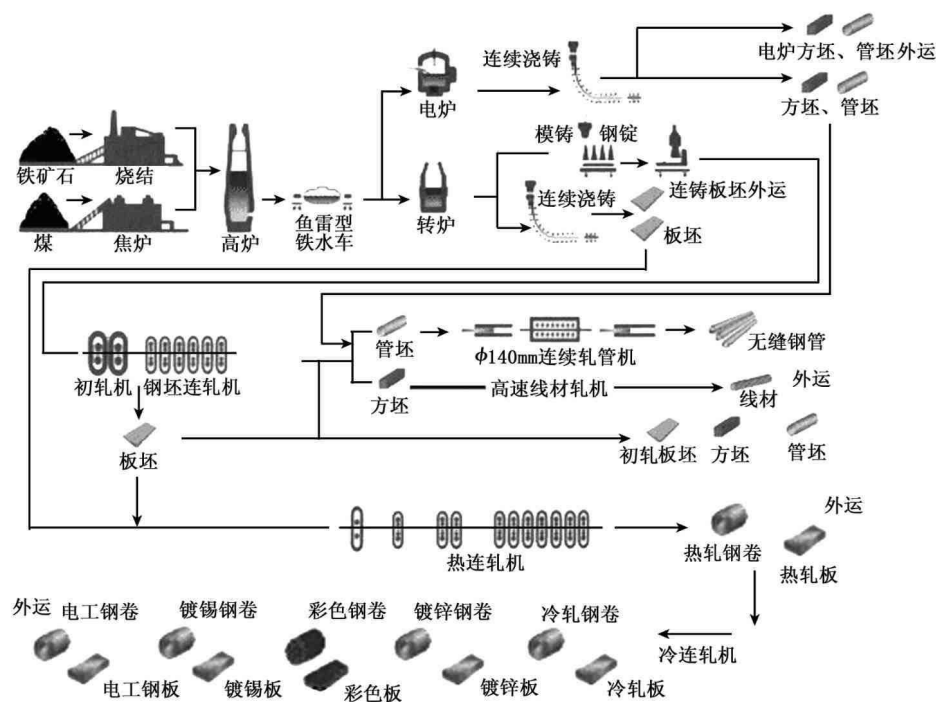


图 1.1 典型钢铁生产流程示意图

稳定的速度拉出，再经喷水冷却，待全部凝固后，切成指定长度的连铸坯。

④ 轧钢：连铸出来的钢锭和连铸坯以热轧方式在不同的轧钢机轧制成各类钢材，形成产品。

长流程目前应用最广，全球大约 70% 的钢铁企业采取这种流程进行生产。

(2) 电炉短流程。以废钢这一再生资源和电力为源头的电炉—精炼—连铸—热轧流程，即电炉短流程。

为了提高生产效率，目前国内外许多钢铁厂在电炉冶炼中采取兑加铁水的工艺。这种工艺流程约占 30%。

1.1.2 钢铁生产流程的特点

(1) 钢铁工业是资源、能源密集型工业，包括大量产品生产和原燃料输入。典型的钢铁企业生产能力有 800 万~1000 万 t、600 万~800 万 t、300 万~400 万 t、100 万~200 万 t。钢铁生产流程包括大量的能源、物质转换，同时有污染物和能源放散，对环境有很大影响。先进钢铁联合企业每生产 1t 钢，需要消耗热量 18~20GJ、1.50~1.60t 铁矿石、3~8t 新水，排放 2t 多废气(包括 CO、CO₂、SO₂ 和 NO_x 等)，放散大量二次能源以及排放废渣、尘、泥和其他污染物。

(2) 钢铁生产过程实际上是铁素物质流(如矿石、烧结矿、铁水、钢水、铸坯等)在碳素能量流的驱动和作用下，实现化学、物理转换的过程。钢铁企业易同其他行业部门在物质和能量上形成循环经济，如建筑行业、电力行业、化工行业。如果钢铁行业可以和其他

相关行业形成工业生态链,那么它们之间可以发挥相互利用资源、能源、副产品的优势。

1.1.3 钢铁生产流程的功能拓展

钢铁企业生产流程,特别是高炉—转炉长流程,应具有3种功能。

(1)钢铁产品制造功能。将原料和能源转换为质量好、成本低、环境负荷小且能满足用户不断变化要求的钢材,供社会生产和生活消费,这是钢铁企业的基本功能。

(2)能源转换功能。钢铁生产的高温物料流程包括焦化、烧结、炼铁、炼钢、轧钢5个升温期,相应地形成炽热焦炭、炽热烧结矿、铁水、钢水、加热后的钢坯5个高温平台,在每个高温平台后又各自有一个降温过程,形成5个降温期,因此,有大量的余热余能可以回收。

为了充分利用余热、余能,钢铁企业开发和应用了许多节能技术,并取得了明显效果。以济南钢铁集团公司(简称济钢)为例,自2000年起已逐步采用高压干熄焦(CDQ)、高炉炉顶煤气余压发电(TRT)、高炉干法除尘、转炉干法除尘、燃气—蒸汽联合循环发电(CCPP)、煤调湿和烧结余热回收等技术,吨钢综合能耗显著降低。

(3)消纳、处理大宗废弃物和再资源化利用功能。

城市污水处理方面:济钢和太原钢铁(集团)有限公司(简称太钢)利用先进的废水处理技术来处理社会废水,并将处理后的废水用于钢铁生产,以减少新水消耗。

炉渣回收方面:宝山钢铁集团有限公司(简称宝钢)、济钢、太钢等40多家钢铁企业建设了高炉渣生产微粉生产线,年生产能力达到4500万t。

废塑料处理方面:宝钢和首钢集团(简称首钢)从2000年开始利用高炉喷吹废塑料和利用焦化处理废塑料,并进行了一些工业试验。

作为新一代钢铁企业,首钢在河北省曹妃甸建立的京唐钢铁公司具有“3个功能”动态有序运行的特点,成为建立循环经济工业生态链的主要示范(图1.2)。在京唐钢铁公司中,

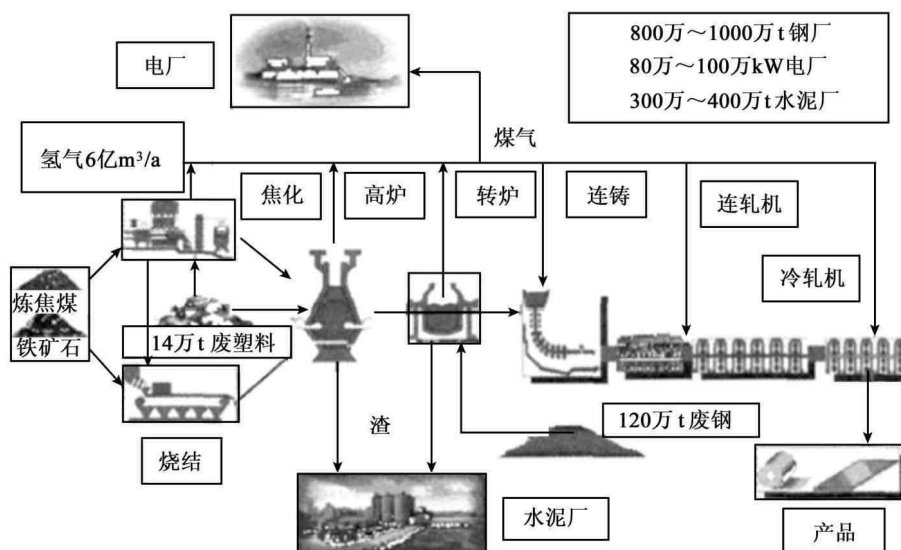


图 1.2 年产 800 万 ~ 1000 万 t 钢铁联合企业的生产流程及其关联产品

每年消耗 1350 万 t 铁矿石、630 万 t 煤炭, 生产 900 万 t 粗钢。同时, 利用约 100 万 t 社会废钢并生产 400 万 t 左右的矿渣水泥。已具备 5 万 t/d 左右的海水淡化能力, 可满足京唐钢铁公司新水消耗的 50%。未来, 每年将回收利用社会废塑料约 14 万 t, 可向石化企业提供 6.6 亿 m^3 氢气。

1.2 我国钢铁工业节能减排进展

钢铁工业是国民经济的重要基础产业, 也是国家推进节能减排工作的重点产业。“十一五”初期, 我国钢铁工业能源消耗约占全国总能耗的 15%, 二氧化碳排放量约占全国排放量的 12%, 废水排放约占全国工业废水排放总量的 15.65%, 粉尘排放约占全国工业粉尘排放总量的 15.65%, 烟尘排放约占全国烟尘排放总量的 8.3%, 二氧化硫排放约占全国工业二氧化硫排放总量的 7.4%, 废气排放量约占全国工业废气排放量的 21.31%。

“十一五”时期是我国钢铁工业发展速度最快、节能减排成效显著的五年。2010 年, 大中型钢铁企业平均吨钢综合能耗为 607kgce/t 钢, 比 2005 年下降 12.54%; 同时, 钢铁工业万元工业增加值能耗为 5.21tce, 比 2005 年下降 23.16%。与 2005 年相比, 2010 年钢铁行业焦炉煤气利用率、高炉煤气利用率、转炉煤气利用率、吨钢转炉煤气回收量、企业自发电电量占总用电量比例分别提高 2.80%、3.80%、5.85%、70% 和 6.6%。“十一五”期间, 钢铁工业总用水量年均增加 9.40%, 而吨钢取水量年均下降 13.8%, 水资源重复利用率提高 3%。与 2005 年相比, 2010 年大中型企业吨钢二氧化硫、烟粉尘和化学需氧量排放分别下降 43.6%、48.2% 和 70.4%。

在构建资源节约型、环境友好型社会的背景下, 钢铁工业大力应用与发展节能减排装备和关键技术, 这极大地促进了钢铁工业的节能减排。然而, 与国外先进水平相比, 目前还存在一定的差距。同时, 在资源与环境约束越来越强的背景下, 钢铁工业节能减排的形势愈发严峻。

1.2.1 我国钢铁工业节能历程

图 1.3 是 1980—2010 年间我国钢铁工业吨钢能耗的变化图。其中, 吨钢综合能耗(全行业)从 1980 年的 2.040tce/t 钢降到 2000 年的 1.180tce/t 钢, 下降率为 42.16%。从 2000 年开始, 中国不再统计整个行业的吨钢能耗, 只统计行业内的大中型企业。大中型钢铁企业的吨钢综合能耗从 1980 年的 1.646tce/t 钢下降到 2005 年的 0.741tce/t 钢, 下降率为 54.98%; 大中型钢铁企业的吨钢可比能耗从 1980 年的 1.285tce/t 钢下降到 2005 年的 0.714tce/t 钢, 下降率为 44.44%。2005 年, 由于计入吨钢能耗的有关外购电的折标准煤系数改用“电热当量值”(1kW·h=0.1229kgce), 因此 2005 年前后的吨钢能耗指标不可比。

从图 1.3 可以看出, 我国钢铁工业节能经历了“三个 10 年”。

(1) 第一个 10 年: 1981—1990 年, 单体设备、工序节能阶段。节能由单体设备扩大到生产工序, 由钢铁企业扩展到铁矿山、铁合金、碳素制品、耐火材料等。

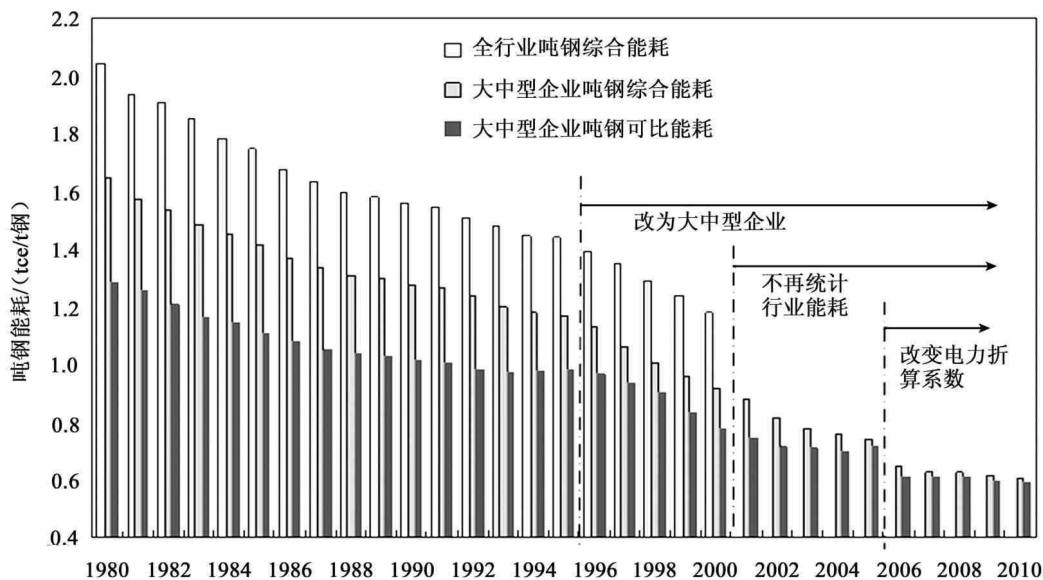


图 1.3 1980—2010 年我国钢铁工业吨钢能耗的变化图

制定了 15 种冶金炉窑的“热平衡测试计算方法”和 19 种“工序节能规定”，开展节能晋升级，推广节能技术，举办节能培训活动。大中型钢铁企业吨钢可比能耗 10 年降低 268kgce，占 30 年总节能量的 45%。

(2)第二个 10 年：1991—2000 年，以物质流优化为主的系统节能阶段。节能的着眼点从注重单体设备节能和工序节能转向企业的整体节能，既节约能源，又节约非能源，通过平炉改转炉、模铸改连铸、多火成材改为一火成材等一系列生产结构调整和“以连铸为主”的工艺流程优化，钢铁制造流程逐渐趋于连续化、紧凑化、减量化。以物质流优化为主的系统节能，缩短了大中型企业与发达国家的差距，大中型钢铁企业的吨钢可比能耗 10 年共下降 236kgce，占 30 年总节能量的 40%。

(3)第三个 10 年：2001—2010 年，以能量流优化为主的系统节能阶段。强化钢铁企业的“能源转换功能”，开发推广 CDQ、TRT、转炉煤气干法除尘、余热余能回收发电、煤调湿、蓄热燃烧、热装热送、脱湿鼓风等关键共性技术，研究能量流网络优化技术，建立健全企业能源管理中心。大中型钢铁企业的吨钢可比能耗 10 年共下降 91kgce，占 30 年总节能量的 15%。

图 1.4 为 1980—2010 年间我国大中型钢铁企业的吨钢可比能耗曲线变化规律图。其中，2005 年以后的能耗数据是修正过的，各年份消耗外购电的折标准煤系数统一用“发电煤耗(等价值)”。

由图 1.4 可见，我国钢铁工业自 1980 年开展节能工作以来，30 年间吨钢能耗下降曲线每隔 15 年出现一次周期性变化，图中前后两条能耗下降曲线的形状相似、趋势相同，均呈现为“滑梯式”下落规律。第一个 15 年，主要着重第一类、第二类载能体的工序节能、单体设备节能；第二个 15 年，主要着重以流程优化为主的系统节能，包括连铸、喷

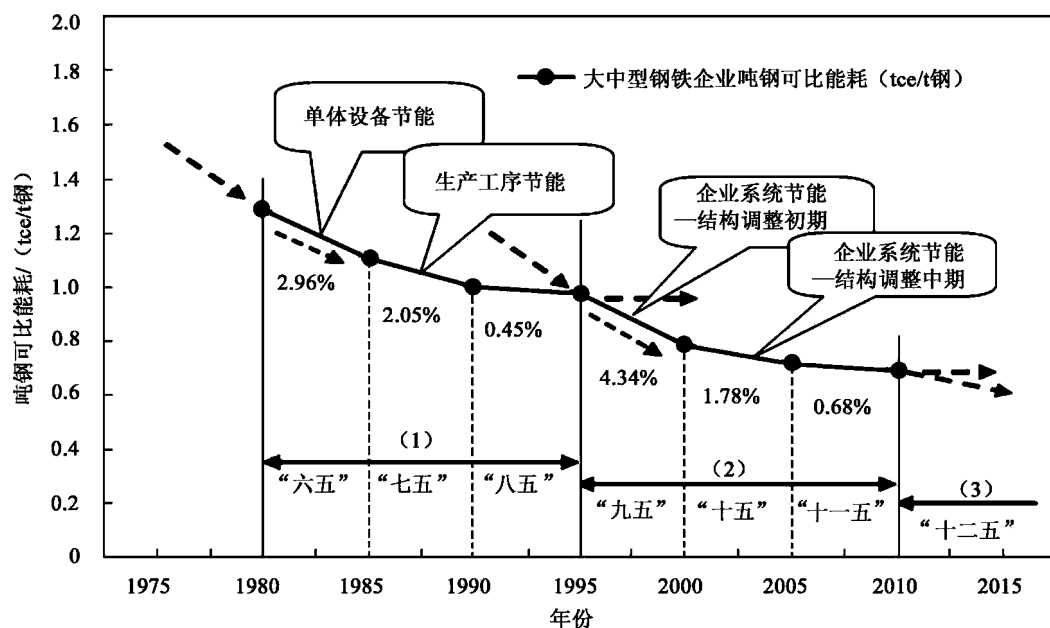


图 1.4 1980—2010 年我国大中型钢铁企业吨钢可比能耗曲线变化图

煤、一火成材等新工艺，以及淘汰落后工艺及装备，采用能源的“梯级利用、高效转化”等措施；下一个 15 年(2011—2025 年)应该是能源高效转化，能量流智能调控、集成匹配优化，以能源价值最大化为目标的能源结构、用能方式系统优化的新阶段。

1.2.2 我国钢铁工业污染物减排进展

这里主要分析我国钢铁工业“十一五”期间各种污染物减排状况。

1.2.2.1 废水排放情况

表 1.1 为我国钢铁工业废水排放及处理情况。总体来看，2005—2010 年我国钢铁工业废水排放总量逐年下降，废水排放达标率逐步提高。具体而言，2010 年钢铁工业废水排放总量为 11.69 亿 t，比 2005 年降低 5.30 亿 t；2005 年以来钢铁工业废水排放达标率均在 95% 以上，其中，2010 年废水排放达标率达到 98.33%，比 2005 年高 1.86 个百分点。同时，从排放总量下降率来看，除 2007 年外，其余年份排放总量下降率均在 5% 以上，2009 年排放总量下降率更是达到 12.58%。从吨钢废水排放总量来看，2005—2010 年是逐渐下降的，其中，2010 年吨钢废水排放总量为 1.91t，比 2005 年降低 2.9t。由此可见，“十一五”期间我国钢铁工业废水排放的下降幅度较为明显。

1.2.2.2 废气排放情况

钢铁工业排放的废气主要包括二氧化硫、烟尘、粉尘 3 种。表 1.2 为我国钢铁工业废气排放及处理情况。具体而言，2010 年二氧化硫排放量为 176.65 亿 t，比 2005 年提高 34.45 亿 t。同时从二氧化硫去除量来看，2010 年该指标数值为 82.64 亿 t，远远大于 2005 年的 43.40 亿 t 的水平。2010 年烟尘排放量为 56.28 亿 t，比 2005 年低 13.02 亿 t。同样，2010 年烟尘去

除量为 2199.54 亿 t，是 2005 年的 2.22 倍。就粉尘排放量而言，2010 年该指标数值为 93.47 亿 t，而粉尘去除量由 2005 年的 1781.20 亿 t 提高到 2010 年的 2863.46 亿 t。

表 1.1 我国钢铁工业废水排放及处理情况

年 份	工业废水排放/万 t		排放总量下降率 /%	废水排放达标率 /%	吨钢工业废水排放 总量/t
	排放总量	排放达标量			
2005	169934	163928	9.07	96.47	4.81
2006	156727	152166	7.77	97.09	3.74
2007	156862	152605	0.09	97.29	3.20
2008	144104	137398	8.13	95.35	2.88
2009	125978	122036	12.58	96.87	2.18
2010	116948	114992	7.17	98.33	1.91

注：数据来源于文献[7]，表 1.2 ~ 表 1.5 同。

表 1.2 我国钢铁工业废气排放及处理情况 亿 t

年 份	二氧化硫排放量	二氧化硫去除量	烟尘排放量	烟尘去除量	粉尘排放量	粉尘去除量
2005	142.20	43.40	69.30	989.80	125.70	1781.20
2006	149.40	41.20	72.70	1233.50	113.70	2292.40
2007	162.47	49.75	67.99	967.44	101.83	2287.55
2008	160.75	58.63	57.04	1276.71	88.71	2777.25
2009	170.18	126.30	51.84	1244.78	84.15	2649.43
2010	176.65	82.64	56.28	2199.54	93.47	2863.46

表 1.3 为我国吨钢废气排放及处理情况。从吨钢废气排放情况来看，2010 年吨钢二氧化硫排放量为 2.82kg，比 2005 年低 0.57kg；而 2010 年吨钢工业二氧化硫去除量为 1.32kg，约是 2005 年的 1.3 倍。从吨钢烟尘排放量来看，2010 年为 0.90kg，比 2005 年低 0.75kg；吨钢工业烟尘去除量则从 2005 年的 23.62kg，提高到 2010 年的 35.08kg。同样，从吨钢工业粉尘排放量来看，2010 年该指标数值为 1.49kg，远远低于 2005 年的 3.00kg；从吨钢工业粉尘去除量来看，2010 年吨钢工业粉尘去除量为 45.67kg，比 2005 年高 3.16kg。由此可见，除吨钢工业烟尘去除量和吨钢工业粉尘去除量外，其余指标的减排效果十分显著。

表 1.3 我国吨钢废气排放及处理情况 kg

年 份	吨钢工业 二氧化硫排放量	吨钢工业 二氧化硫去除量	吨钢工业 烟尘排放量	吨钢工业 烟尘去除量	吨钢工业 粉尘排放量	吨钢工业 粉尘去除量
2005	3.39	1.04	1.65	23.62	3.00	42.51
2006	3.06	0.84	1.49	25.22	2.33	46.88
2007	3.25	1.00	1.36	19.35	2.04	45.75
2008	2.79	1.02	0.99	22.13	1.54	48.13
2009	2.71	2.01	0.83	19.85	1.34	42.26
2010	2.82	1.32	0.90	35.08	1.49	45.67

1.2.2.3 固体废物排放情况

表 1.4 为我国钢铁工业固体废物产生及处理利用情况。它包括了固体废物产生量、固体废物综合利用量、固体废物贮存量、固体废物处置量、固体废物排放量 5 个方面。

表 1.4 我国钢铁工业固体废物产生及处理利用情况 万 t

年 份	工业固体 废物产生量	工业固体 废物综合利用量	工业固体 废物贮存量	工业固体 废物处置量	工业固体 废物排放量
2005	23506	17505	2273	3692	149
2006	29149	20829	1524	6745	121
2007	29797	24844	1299	2649	60
2008	31459	26439	1538	3555	53
2009	33894	29382	1297	3353	50
2010	38008	33319	1360	3371	11

从总体来看, 2005—2010 年我国钢铁工业固体废物产生量、固体废物综合利用量是逐年增加的, 而固体废物贮存量、固体废物排放量在逐年下降, 固体废物处置量则呈现出先增后降的趋势。具体而言, 2010 年固体废物产生量为 3.80 亿 t, 比 2005 年高 1.45 亿 t; 2010 年固体废物综合利用量为 3.33 亿 t, 是 2005 年的 1.90 倍; 2010 年固体废物贮存量为 1360 万 t, 比 2005 年低 913 万 t; 2010 年固体废物处置量为 3371 万 t, 比 2005 年高 321 万 t; 2010 年固体废物排放量为 11 万 t, 仅为 2005 年固体废物排放量的 7.38%。

表 1.5 为我国吨钢固体废物产生及处理利用情况。从表 1.5 中可以看出, 除吨钢工业固体废物综合利用量呈现出先增后降再增的趋势外, 其余指标均在下降。具体而言, 2010 年吨钢固体废物产生量为 606.19kg, 比 2005 年高 45.19kg; 2010 年吨钢固体废物综合利用量为 531.40kg, 比 2005 年高 113.62kg; 2010 年吨钢工业固体废物贮存量为 21.69kg, 比 2005 年的一半还低; 2010 年吨钢工业固体废物处置量为 53.76kg, 是 2005 年的 61%; 从吨钢工业固体废物排放量来看, 2010 年该指标数值为 0.18kg, 仅为 2005 年 3.56kg 的 5.06%。

表 1.5 我国吨钢固体废物产生及处理利用情况 kg

年 份	吨钢工业 固体废物产生量	吨钢工业固体 废物综合利用量	吨钢工业 固体废物贮存量	吨钢工业 固体废物处置量	吨钢工业 固体废物排放量
2005	561.00	417.78	54.25	88.11	3.56
2006	596.09	425.95	31.17	137.93	2.47
2007	595.94	496.88	25.98	52.98	1.20
2008	545.22	458.21	26.66	61.61	0.92
2009	540.57	468.61	20.69	53.48	0.80
2010	606.19	531.40	21.69	53.76	0.18

由此可见, 对于钢铁工业固体废物排放而言, 总体上固体废物产生量逐年增加, 但通过一系列处理环节的应用, 大大降低了固体废物的排放量。同时从平均情况来看, 吨钢工业固体废物产生量和吨钢固体废物排放量均有较大幅度下降。因此, 我国钢铁工业固体废

物减排效果较为明显。

1.2.2.4 二氧化碳排放情况

为了应对国际社会对“碳减排”的需求,近年来,我国钢铁企业相继改进生产装备及工艺技术,钢铁工业的二氧化碳排放总量增幅远低于钢产量的增幅。我国钢铁工业生产 1t 粗钢的 CO₂ 排放总体趋势是逐年降低的,生产 1t 粗钢的 CO₂ 直接排放量由 2005 年的 3.0t 下降到 2008 年的 1.92t,下降约 41.64%。但目前我国钢铁工业碳排放量依然较高,2010 年钢铁工业碳排放量占全国碳排放量的 12%,是世界平均水平 5% 的 1.40 倍。据欧洲钢铁联盟(简称欧钢联)统计,我国钢铁工业二氧化碳排放量超过全球钢铁工业总排放量的 50%,而欧盟 27 个成员国仅占 8%。因此,达到我国政府提出的 2015 年二氧化碳排放强度降低 16% 以上目标的任务十分艰巨。

1.3 我国钢铁工业节能减排方向与关键技术

1.3.1 我国钢铁工业节能减排方向

为了完成《钢铁工业“十二五”发展规划》中的节能减排目标,减少原料、能源和环境约束,提高市场竞争力,“十二五”期间,我国钢铁工业需要从以下方面推进节能减排工作。

(1) 加快淘汰落后产能,优化生产结构,实现结构节能。总体来看,我国钢铁工业的产业集中度还不高,落后产能还普遍存在。根据中华人民共和国工业和信息化部(简称工信部)产业[2011]612 号有关规定,“十二五”期间应淘汰落后炼铁产能 4800 万 t、炼钢产能 4800 万 t、焦炭 4200 万 t,减少生产中的铁钢比,鼓励多使用球团矿,提高高炉喷煤比,推广“一罐到底”生产技术,采用高效连铸技术,提高热送热装比例和直接轧制技术的应用,使生产流程紧凑化、高效化、连续化,大幅降低能耗。

(2) 加大节能技术的研发和推广力度,实现技术节能。“十二五”期间,钢铁行业应大力推广成熟、适用的节能技术,如高压 CDQ、小球烧结、干式 TRT、转炉干法除尘、蓄热式燃烧等技术;重点完善和推广尚未完全普及但已经相对成熟的技术,如煤调湿、烧结余热发电、烧结烟气循环、降低烧结漏风、高炉脱湿鼓风、低温余热蒸汽发电等;加大煤气资源化、高炉煤气富化、钢铁渣显热利用、铸坯显热利用等前沿技术的研发力度。同时,加大对新技术的关注力度,争取成熟一个推广一个,如干式真空处理、焦炉上升管余热利用技术等。

(3) 提高节能管理水平,实现管理节能。“十二五”期间,应加强钢铁企业能源管理能力建设,重点做好企业能源审计、建立企业能源管理负责人制度、能源管理体系认证和能源管理中心的建设四项工作。目前,国标《能源管理体系要求》(GB/T 23331—2009)已经实施,已有宝钢、江苏沙钢集团有限公司(简称沙钢)等数家企业通过了管理体系认证。“十二五”期间,更多企业应加强体系建设工作,从而对进一步提高企业能源管理水平起到促进作用。