



普通高等教育“十三五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU “13·5” GUIHUA JIAOCAI

钢铁冶金过程 环保新技术

何志军 张军红 刘吉辉 李丽丽 主编



冶金工业出版社
www.cnmp.com.cn



普通高等教育“十三五”规划教材

钢铁冶金过程环保新技术

何志军 张军红 刘吉辉 李丽丽 主编

北京

冶金工业出版社

2017

内 容 提 要

本书以实用和适度为原则,介绍了钢铁冶金工业污染物的排放及特点、绿色钢铁建设理念、钢铁生产过程的清洁生产技术、循环经济内涵、钢铁厂废水处理技术、钢铁厂废气处理与利用技术、钢铁厂固体废弃物处理与高值利用技术、噪声控制与防护技术、工业生态系统循环经济技术等内容,紧随冶金工艺技术的进步,以翔实可靠的数据反映国内外钢铁工业在环保技术方面的最新进展。

本书为高等学校环境类和冶金类专业教材,也可供环境保护工作者、相关企业工程技术人员和管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

钢铁冶金过程环保新技术/何志军等主编. —北京:
冶金工业出版社, 2017. 8
普通高等教育“十三五”规划教材
ISBN 978-7-5024-7576-5

I. ①钢… II. ①何… III. ①钢铁冶金—污染防治
—高等学校—教材 IV. ①X757

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 201976 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcb@cnmp.com.cn

责任编辑 宋 良 美术编辑 吕欣童 版式设计 孙跃红

责任校对 禹 蕊 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-7576-5

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;三河市双峰印刷装订有限公司印刷
2017 年 8 月第 1 版, 2017 年 8 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 16.25 印张; 394 千字; 251 页

35.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街 46 号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

前 言

新中国成立以来,我国钢铁工业在近70年的发展历程中,经历过坎坷和曲折,更有过快速和辉煌的发展,在量质齐增的同时,钢铁工业的整体技术水平也基本改变了落后状态,稳步迈向国际先进行列。特别是改革开放后,我国钢铁行业再次取得突破性进展,引进技术再创新和自主创新逐步成为我国钢铁工业技术进步、向质量效益型转变的主旋律。但伴随钢铁产品总量规模的迅猛增加,钢铁生产过程引起的环境问题也愈加突出。我国钢铁行业在能耗、环保水平和环保治理深度上与国外先进企业相比还存在一定差距,特别是工业发达国家早已提出了“工业生态化”的概念并付诸实践,因此,我国的钢铁工业进一步发展面临着污染防治工作的新挑战。

环境保护是我国的一项基本国策,学习冶金工程专业的学生应该拓展知识面,培养环保意识,了解与冶金工艺相关的资源消耗、能源消耗、环境保护相关的知识和技术。目前,各个冶金高校为加强冶金工程专业学生的环保教育,培养学生的环保理念,都相继开设了冶金过程环保工艺与技术的相关课程。冶金过程环保工艺与技术是在冶金企业开展环保工作的重要基础。因此必须加强环境学科相关知识的学习以及在实际中的应用,提高学生的环境科研、监管能力,注重学生实践操作能力的培养,努力提高环保专业课程体系的整体性、系统性、实用性。通过课程的学习,加强环保课题研究,通过课程设计和构建,着力解决冶金专业人才培养和社会需求,以就业为导向,坚持改革创新,努力提高学生的职业素养,使学生深刻认识目前的学习如何为将来的职业服务,从而提高学生学习的积极性、针对性,提高教学质量。

本书内容安排以实用和适度为原则,力求集知识性、系统性、趣味性和前瞻性于一体,介绍了钢铁冶金工业污染物的排放及特点、绿色钢铁建设理念、钢铁生产过程的清洁生产技术、循环经济内涵、钢铁厂废水处理技术、钢铁厂

废气处理与利用技术、钢铁厂固体废弃物处理与高值利用技术、噪声控制与防护技术、工业生态系统循环经济技术等内容。书中详细分析介绍了对钢铁生产过程中产生的废弃物进行合理处置的技术,冶金生产过程中废弃物的高值化处理技术,水、气、固废污染治理的最新技术;对冶金生产过程中现有的治理环境污染的新工艺、新技术,如烧结废气治理技术,也做了论述、分析。

在本书的编写过程中,参考了国内外有关文献,编者对相关文献作者表示衷心的感谢。辽宁科技大学材料与冶金学院李胜利、宋华、刘坤、李维娟教授给予了热情的指导与帮助;编者所在课题组的研究生(特别是高立华、胡国健、田晨、徐泽宇、丛云伶、赵兴通等)为本书的文字录入、插图绘制等工作付出了大量的劳动;辽宁科技大学教务处对本书的编写、出版给予了大力支持。编者在此对他们的无私帮助和辛勤劳动表示衷心感谢。

我国钢铁工业在工艺装备和技术水平方面有了显著提升,主体设备在大中型企业已达国际先进水平,某些工艺创新已进入世界先进行列,同时,钢铁冶金过程的环保治理技术的进步也取得了国内外工业界的共识。我们为能参与这一伟大的进程,深感荣幸。

本书由何志军、张军红、刘吉辉、李丽丽主编,汪琦主审,参加编写工作的还有庞清海、湛文龙和吕楠。

钢铁冶金环保技术涉及的学科领域、专业范围十分广泛。由于编者水平所限,书中若有不妥之处,诚请读者批评指正。

编 者

2017年5月

于辽宁科技大学

目 录

1 钢铁工业生产概述	1
1.1 现代钢铁生产流程	1
1.2 钢铁工业污染物排放及特点	3
1.2.1 钢铁工业污染物排放情况	3
1.2.2 烟气排放及其特点	5
1.2.3 废水排放及其特点	6
1.2.4 固体废物排放及其特点	8
1.3 我国钢铁工业的现状与发展趋势	11
1.3.1 我国钢铁工业的发展	11
1.3.2 我国钢铁工业发展中存在的问题	13
2 绿色钢铁的建设	17
2.1 清洁生产的概念	17
2.1.1 清洁生产的产生背景	17
2.1.2 清洁生产的定义	21
2.2 循环经济	27
2.2.1 循环经济的提出与发展	27
2.2.2 循环经济的内涵	29
2.2.3 钢铁企业的清洁生产与循环经济思想	37
2.3 钢铁的绿色化生产	40
2.3.1 绿色钢铁的概念及内涵	40
2.3.2 我国绿色钢铁的发展背景	42
2.3.3 我国钢铁工业的绿色化进展与展望	44
2.4 钢铁工业清洁生产、循环经济共性技术	53
2.4.1 烧结工序	53
2.4.2 焦化工序	57
2.4.3 炼铁工序	64
2.4.4 炼钢工序	69
2.4.5 电炉炼钢工序	73
2.4.6 轧钢工序	75

3 钢铁厂废水处理技术	79
3.1 钢铁企业用水及废水治理现状	79
3.1.1 国内外重点钢铁企业的用水情况	79
3.1.2 国内废水治理现状	81
3.1.3 钢铁工业废水的分类和特点	82
3.2 烧结废水处理技术	84
3.2.1 烧结生产工艺和废水来源	84
3.2.2 我国烧结厂废水处理方法	85
3.2.3 烧结厂废水处理技术及发展趋势	89
3.3 焦化废水处理技术	90
3.3.1 炼焦生产工艺	91
3.3.2 焦化废水处理技术	92
3.3.3 焦化废水处理新技术	100
3.3.4 焦化废水综合治理及回用技术	105
3.4 炼铁厂废水处理技术	110
3.4.1 炼铁废水零排放技术	110
3.4.2 高炉煤气洗涤水的处理	112
3.4.3 高炉煤气洗涤废水的回收利用	115
3.4.4 高炉冲渣废水的处理技术	120
3.5 转炉炼钢废水处理技术	123
3.5.1 炼钢厂废水的来源	123
3.5.2 炼钢厂废水利用技术	123
3.5.3 转炉烟气除尘污水处理	124
3.5.4 其他循环系统废水处理	128
3.6 连铸—轧钢废水处理技术	131
3.6.1 轧钢厂废水来源	131
3.6.2 连铸废水的治理回收技术	132
3.6.3 热轧废水的处理方法	134
3.6.4 冷轧废水的处理新技术	135
3.6.5 浊度废水的处理工艺及发展趋势	137
4 废气处理与利用技术	139
4.1 焦炉烟道气综合治理技术	139
4.1.1 焦炉煤气再资源化利用	139
4.1.2 焦炉烟道气余热回收	141
4.2 烧结废气的处理	142
4.2.1 烧结烟气的产生、特点及对环境的危害	142
4.2.2 烧结烟气粉尘控制技术	143

4.2.3 烧结烟气二氧化硫控制技术	147
4.2.4 烧结烟气氮氧化物控制技术	154
4.2.5 烧结烟气中其他有害成分的脱除	157
4.2.6 烧结烟气多种污染物协同控制技术	159
4.3 高炉煤气回收与利用	162
4.3.1 高炉煤气的产生及特点	162
4.3.2 高炉煤气净化技术	162
4.3.3 高炉煤气回收利用技术	165
4.4 转炉烟气的净化与回收	167
4.4.1 转炉烟气的成分及特点	167
4.4.2 转炉烟气净化回收工艺	168
4.4.3 现代转炉烟气净化回收工艺	168
4.5 发电厂烟气综合治理技术	173
4.5.1 垃圾焚烧发电厂烟气净化工艺	173
4.5.2 燃煤发电厂烟气综合治理	174
5 钢铁工业固体废弃物的资源化与利用技术	177
5.1 高炉渣的综合治理与利用技术	177
5.1.1 高炉渣的主要成分及基本性质	177
5.1.2 高炉渣的处理工艺	177
5.1.3 高炉渣的综合治理与利用技术现状	179
5.1.4 国外高炉渣的综合治理与利用现状	185
5.2 钢渣的综合治理与利用技术	186
5.2.1 钢渣的主要成分及基本性质	186
5.2.2 钢渣的处理工艺	186
5.2.3 钢渣的综合治理与利用技术现状	189
5.2.4 国外钢渣的综合治理与利用现状	193
5.3 氧化铁皮的综合治理与利用技术	193
5.3.1 氧化铁皮的主要成分及基本性质	194
5.3.2 氧化铁皮的成因及去除方法	194
5.3.3 氧化铁皮的综合治理与利用技术	196
5.4 含铁尘泥的处理利用技术	198
5.4.1 炼钢过程中产生的含铁尘泥分类	198
5.4.2 含铁尘泥的处理和利用	199
6 噪声与振动控制技术	203
6.1 绪论	203
6.1.1 噪声的定义及分类	203
6.1.2 噪声的危害	204

VI	
6.1.3	噪声控制的基本途径 205
6.2	噪声的基本特征 205
6.2.1	噪声物理特征 205
6.2.2	噪声的声学特征 208
6.2.3	平面波、球面波和柱面波 209
6.3	吸声和室内声场 210
6.3.1	吸声系数和吸声量 210
6.3.2	吸声原理 211
6.3.3	吸声材料和结构 211
6.3.4	室内声场和吸声降噪 214
6.4	隔声与隔声结构 214
6.4.1	隔声结构 214
6.4.2	隔声装置 216
6.5	消声技术 216
6.5.1	消声器的分类 216
6.5.2	阻性消声器 217
6.5.3	抗性消声器 218
6.5.4	阻抗复合式消声器 218
6.6	隔振和阻尼 218
6.6.1	隔振 218
6.6.2	阻尼 220
6.7	钢铁行业的噪声控制 221
6.7.1	钢铁行业的噪声来源 221
6.7.2	冶金企业部分噪声控制 222
7	工业生态系统循环经济技术 230
7.1	能源的开发利用 230
7.1.1	高炉余压发电技术 230
7.1.2	煤气的民用化 230
7.2	工业生态(循环经济)系统节能减排 232
7.2.1	生态钢铁工业发展途径 232
7.2.2	发展循环经济的基本思路 232
7.2.3	钢铁厂发展循环经济实施方案 237
	参考文献 248

1.1 现代钢铁生产流程

世界钢铁生产工艺有两种主要流程：以高炉-氧气转炉、电炉炼钢工艺为中心的钢铁联合企业生产流程，即长流程（简称 BF-BOF 长流程）；以废钢-电炉炼钢为中心的钢铁生产流程，即短流程（简称 LAF 短流程）。

我国钢铁企业按其生产产品和生产工艺流程可分为两种类型，即钢铁联合企业和特殊钢企业。现代化钢铁联合企业的生产流程主要包括烧结（球团）、焦化、炼铁、炼钢、轧钢等生产工序，即长流程生产，如图 1-1 所示。特殊钢企业的生产流程主要包括炼钢、轧钢等生产工序，即短流程生产。短流程主要是可省去高炉炼铁工序，用废钢（或 DRI）作为原料，在电炉内炼成钢水铸成坯，这样可取消钢铁生产中投资巨大的部分，即炼铁高炉，也可省去供给铁矿石、煤和焦炭，同时降低能耗，避免了由于炼焦、烧结、炼铁等工序造成的污染，降低生产成本。由于社会资源结构、环境承受能力和技术进步的程度等不同，长、短流程会互相渗透、并存发展。

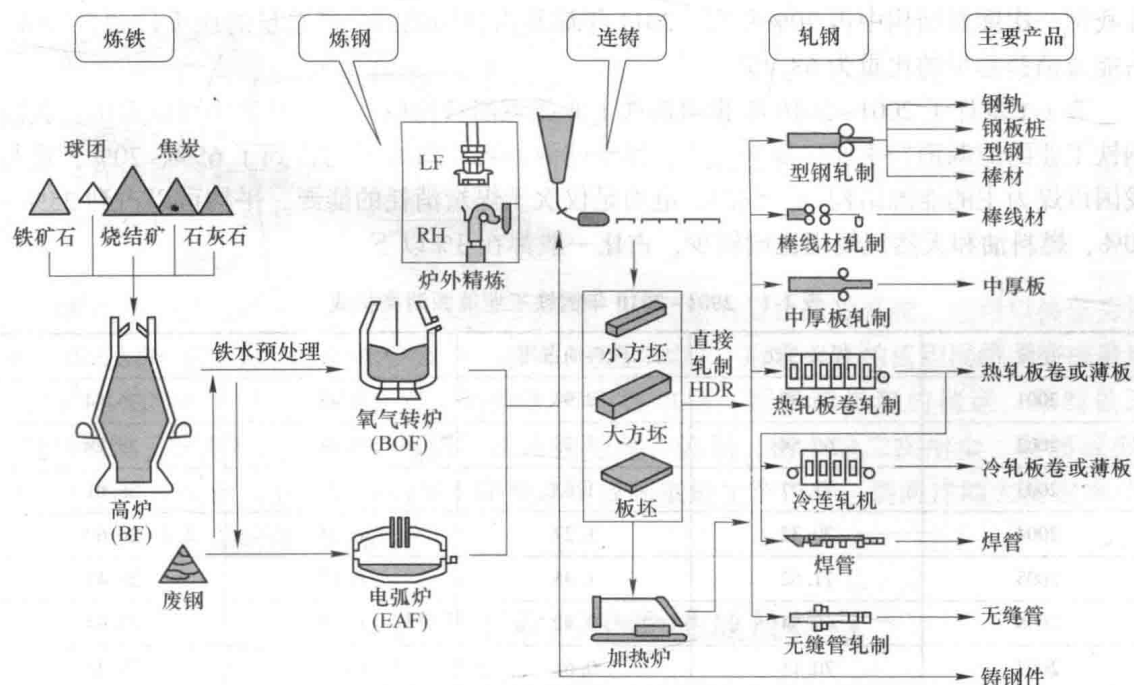


图 1-1 现代钢铁生产工艺流程

随着冶金理论和工程技术的进步，现代化钢铁生产流程逐步走向大型化、连续化、自

动化和高度集成化。钢铁生产流程经历了从简单到复杂，再从复杂到简单的演变过程。连铸（凝固）工序不断向近终型、高速化方向发展，促进钢铁生产流程向连续化、紧凑化、协同化的方向演变。“三脱”预处理和钢的二次冶金工艺的出现使包括转炉、电炉在内的各工序的功能日益简化和优化，有利于缩短冶炼时间，使生产效率更高。热送热装、一火成材技术的发展，使连铸工序之后的工序明显呈现出越来越简化、集成、紧凑和连续的特征。

由于钢铁企业本身的结构和技术工艺特性，钢铁工业生产的特点是：

（1）资源、能源消耗量大。

钢铁工业是资源、能源密集型行业。在消耗大量资源和能源的同时，也产生大量的副产品，2010年，钢铁工业消耗成品铁矿石9.2亿吨、焦炭3.3亿吨，能源消耗占全社会总能耗高达13.9%。

我国为世界第一大铁矿石生产国，2010年生产铁矿石10.7亿吨，同比增长21.59%，但主要为低品位铁矿石；同年进口铁矿石6.18亿吨，比上年减少了913.47万吨，下降1.4%，对外依存度为62.5%，进口量和对外依存度10年来首次下降，其主要原因是自产矿量有了较大幅度提高。2015年是国内冶金矿山直面市场降本、转型，责任重大的一年。全国规模以上铁矿企业生产铁矿石仍然高达13.81亿吨；同时累计进口铁矿石9.52亿吨，同比增长2.17%。2015年全国焦炭产量为4.47亿吨，同比下降6.5%，焦炭贸易出口985.54万吨，同比增长15.11%，进口炼焦煤4799.9万吨，同比下降23.1%。

钢铁行业消耗的能源种类繁多，主要可以分为煤炭（焦炭、原煤、洗精煤）、天然气、燃料油（石油、煤油、燃料油、原油等）和电力四大类。煤炭是我国的主体能源，在我国一次能源结构中占70%左右。2011年煤炭占我国能源生产总量的比重达到77.8%，占能源消费总量的比重为68.4%。

表1-1统计了2001~2010年我国钢铁工业能源消费构成情况。从表中可以看出，我国钢铁工业的能源消费主要以煤炭为主，钢铁能源消耗中煤炭平均占到了65%~70%，这与我国以煤为主的能源结构是一致的，电力是仅次于煤炭消耗的能源，平均可以占到25%~30%，燃料油和天然气使用比例较少，占比一般都在3%以下。

表 1-1 2001~2010 年钢铁工业能源消费构成 (%)

年份	煤炭占比	燃料油占比	天然气占比	电力占比
2001	66.97	2.93	0.45	26.64
2002	69.54	1.75	0.42	25.28
2003	71.27	1.63	0.21	26.01
2004	70.32	1.27	0.24	26.69
2005	71.62	1.45	0.12	26.43
2006	69.54	0.92	0.32	27.64
2007	70.11	0.68	0.36	28.38
2008	69.55	0.54	0.37	28.83
2009	62.09	0.47	0.38	33.48
2010	62.95	0.48	0.4	35.25

煤炭在使用过程中的能源转化效率和使用效率要比燃料油和天然气低,因此相较于燃料油和天然气等其他能源使用煤炭的能耗更高。我国煤炭在钢铁用能中的结构比重远高于世界其他先进产钢国家的 40%~50% 煤炭结构比重,因此仅此一项我国钢铁工业就要比发达工业国家的吨钢能耗高出 15~20 千克标煤/吨。因此,推广节能工艺技术和装备、改善产品结构以实现煤炭能源消费比重的下降、电力能源消费比重上升对我国钢铁行业未来发展节能减排尤为重要。

在未来相当长的时期内,我国仍将是煤为主的能源结构。煤炭消费量还将持续增加,但是在一次能源结构中的比重将明显下降。2015 年全国煤炭生产能力 41 亿吨/年,煤炭产量控制在 39 亿吨左右。“十二五”期间,煤炭消费比重降低到 65% 左右。近年煤炭产量的趋势见图 1-2。

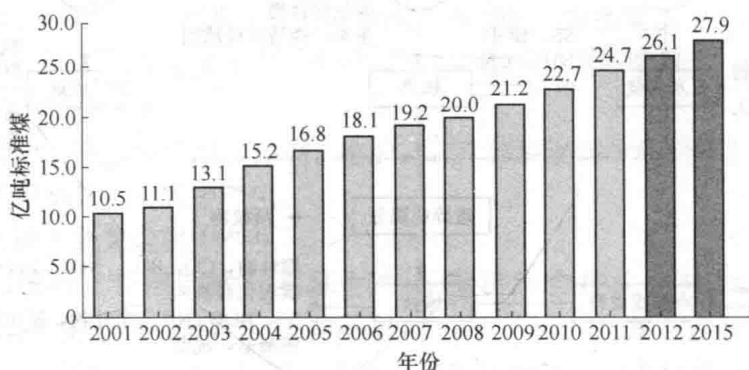


图 1-2 煤炭产量趋势

(2) 生产规模, 物流吞吐大, 环境污染严重。

钢铁工业生产要消耗大量的资源和能源, 生产过程中涉及大量原料的输入和产品的生产。吨钢设计的物流量约为 5~6t。同时其金属收得率相对较低, 这就决定了在钢铁生产整个过程中将会有大量的废气、废水、废渣及其他污染物的排出。这些污染物如果不进行处理就直接排放, 将对环境产生不良影响。

(3) 制造流程工序多、结构复杂。

钢铁生产流程是一类开放的、远离平衡的、不可逆的复杂过程系统。它可以抽象为铁素物质流在碳素能量流的推动作用下, 按照一定的程序, 沿着一定的流程网络, 完成最终钢铁产品的生产。从工程角度看, 钢铁生产流程包括: 原料和能源的储运、原料处理(包括烧结、球团等)、焦化、炼铁、铁水预处理、炼钢、钢水的二次冶金、凝固成型、铸坯再加热、轧钢及深加工等诸多工序准连续或间歇地生产过程, 期间伴随大量物质/能量排放, 形成复杂的环境界面。

1.2 钢铁工业污染物排放及特点

1.2.1 钢铁工业污染物排放情况

钢铁工业需消耗大量的能源和原材料, 对环境的现实和潜在影响是很大的。我国自

1996 年起已成为世界第一大钢铁生产国，产量的增加进一步增加能源和资源消耗，同时也造成了更严重的环境污染。钢铁生产的整个过程中都伴随着大量的废气、废水、废渣及其他污染物的排出，如图 1-3 所示。

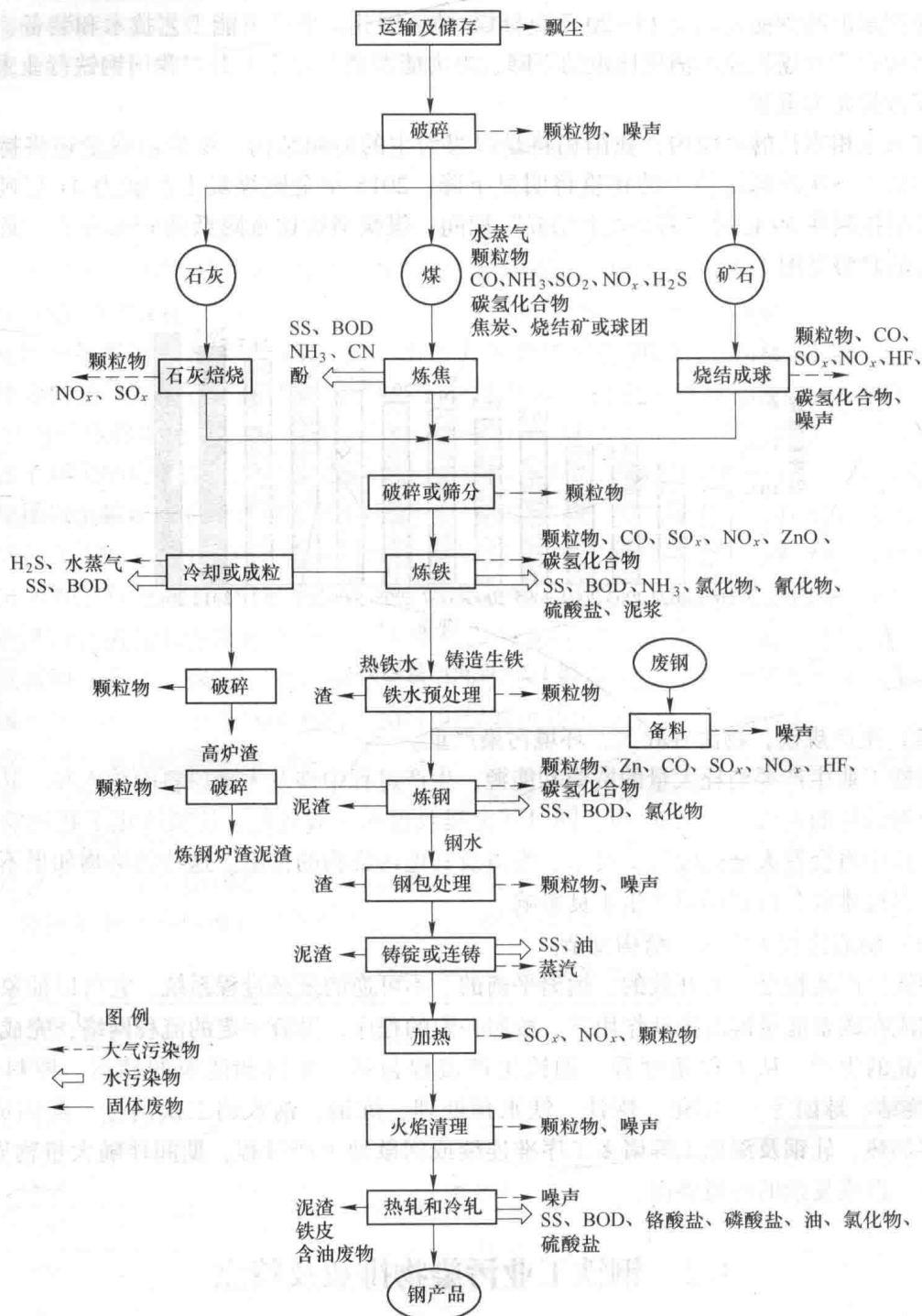


图 1-3 某钢铁联合企业主要工艺及其污染物排放

钢铁厂产生的各种污染物有三类：

(1) 大气污染物质。

SO₂: 是通过原料、燃料中硫黄成分的燃烧而产生的。烧结工厂等为其主要发生源。

NO_x: 通过燃烧后发生。烧结工厂等为其主要发生源。

煤尘: 通过燃烧后发生。烧结机、各种加热炉为其发生源。

粉尘: 从燃料原料的输送、处理过程, 及储料场中产生。炼铁、炼钢工程为其主要发生源。

(2) 污水。污水中含有下列污染物:

固体悬浮物 (SS): 从排气集尘、高温物质的直接冷却等过程中产生。

油: 由各种机械等所使用的油所发生的泄漏及冷轧工程使用轧制机的机油等原因而产生。

化学需氧量 (COD): 从煤炭干馏时的氨水, 及冷轧、电镀废水中产生。

酸、碱: 从冷轧工程的酸洗工程、电镀工程等的脱脂工程中产生。

(3) 固体废弃物。

炉渣: 从高炉、铁水预处理、转炉、电炉、二次精炼设备等的冶炼工程中产生。

污泥: 在各种水处理过程中产生。

灰尘: 从各种干式集尘机中产生。

据有关部门统计, 我国钢铁行业每生产 1t 钢材将会排放 2.5t CO₂、2.85kg SO₂、110kg 转炉渣、15~50kg 粉尘, 同时消耗 4.82m³ 新水、467.40kW·h 电能。大气中 80% 的 CO₂、SO₂ 是由于燃煤产生的, 钢铁行业作为能源消耗和环境变化的主要领域, 是节能环保工作的重点和难点。

1.2.2 烟气排放及其特点

钢铁厂的烧结、球团、炼焦、化学副产、炼铁、炼钢、轧钢、锻压、金属制品与铁合金、耐火材料、碳素制品及动力等生产环节, 拥有各种排放大量烟尘的窑炉。

钢铁生产过程需要消耗大量化石燃料, 排放大量 CO₂, 是温室效应气体的排放大户。2012 年全球化石能源 CO₂ 排放量为 316 亿吨, 我国 CO₂ 排放量为 92 亿吨, 占世界排放总量的 29%; 而我国钢铁工业 CO₂ 排放量约占全国总排放量的 15%, 远高于全球的 5%~6%。因此, 我国在未来较长时期内都将面临国内 CO₂ 减排的艰巨任务和严峻的国际压力。

此外, 钢铁行业的 SO₂ 排放量仅次于火电行业的排放量。烧结工序则是这些污染物产生的主要来源, 其排放的 SO₂、NO_x 和颗粒物等废气污染物分别占到了钢铁企业排放总量的 70%、40% 和 35% 以上, 成为钢铁企业大气污染防治的一个最重要环节。

根据钢铁企业排放的废气, 大体可分为 3 类:

(1) 生产工艺过程化学反应中排放的废气, 如冶炼、烧焦、化工产品和钢材酸洗过程中产生的烟尘和有害气体;

(2) 燃料在炉、窑中燃烧产生的烟气和有害气体;

(3) 原料、燃料运输、装卸和加工等过程产生的粉尘。

钢铁工业废气的特点是:

(1) 排放量大、污染面广。钢铁工业生产过程中释放的废气, 每吨钢的废气排放量约为 20000m³ (标准状态), 在全国 40 个行业中, 钢铁工业废气年排放量占全国总排放量

的18%，位居第二。钢铁企业的工业窑炉规模庞大、设备集中。全国40个行业中，废气排放量在100万立方米（标准状态）以上的76个大户中，钢铁企业有14户，占18.4%。

(2) 烟尘颗粒细，吸附力强。钢铁冶炼过程中排放的多为氧化铁烟尘，其粒径在10mm以下的占91%以上。由于尘粒细，比表面积大，吸附力强，易成为吸附有害气体的载体。

(3) 废气温度高，治理难度大。冶金窑炉排出的废气温度一般为400~1000℃，最高可达1400~1600℃，在钢铁企业中，有1/3烟气净化系统处理高温烟气，处理烟气体量占整个钢铁企业总烟气体量的2/3。由于烟气温度高，对管道材质、构件结构以及净化设备的选择均有特殊要求，高温烟气中含硫、一氧化碳，使烟气在净化处理时，必须妥善处理好“露点”及防火、防爆问题。所有这些特点，构成了高温烟气治理中的艰巨性和复杂性，使处理技术难度大、设备投资高。

(4) 废气具有回收价值。钢铁生产排出的废气虽然对环境有害，但高温烟气中的余热可通过热能回收装置转换为蒸汽或电能，可燃成分如煤气可作为燃料，净化过程收集的尘泥多数富含氧化铁，可以回收利用。

进入2015年，钢铁行业发展的环境发生了深刻的变化，钢铁消费与产量双双进入峰值区并呈现下降趋势，钢铁主业从微利经营进入整体亏损，行业发展进入“严冬”，新修订的环保法和钢铁工业污染物排放标准新要求开始贯彻与实施，带来巨大的压力，钢铁企业加大了节能减排的工作力度，企业节能环保设施投入日益增大。节能降耗成为钢铁企业增强市场竞争力和企业核心竞争力的重要手段，钢铁行业各项节能减排指标持续改善。

2015全年，重点统计钢铁企业废气累计排放量121153.80亿标准立方米，同比增加9526.80亿标准立方米，增幅8.53%。主要气体污染物中，二氧化硫累计排放量47.17万吨，比2014年减排15.15万吨，降幅24.31%；烟尘累计排放量15.35万吨，比2014年减少0.63万吨，降幅3.94%；工业粉尘累计排放量29.73万吨，同比减排1.23万吨，降幅3.97%。其中二氧化硫的排放量降幅在2015年尤为明显。

1.2.3 废水排放及其特点

钢铁工业用水量很大，外排废水量约占全国的1/7，仅次于化工，位居第二。钢铁生产过程中排出的废水，主要来源于生产工艺过程用水、设备与产品冷却水、设备和场地清洗水等。70%的废水来源于冷却用水，生产工艺过程排出的只占一小部分。废水中含有随水流失的生产用原料、中间产物和产品以及生产过程中产生的污染物。

钢铁工业废水通常按下述三种方法分类：

(1) 按所含的主要污染物性质，可分为含有机污染物为主的有机废水、含无机污染物（主要为悬浮物）为主的无机废水和仅受热污染的冷却水。

(2) 按所含污染物的主要成分，可分为含酚氰污水、含油废水、含铬废水、酸性废水、碱性废水和含氟废水等。

(3) 按生产和加工对象，可分为烧结厂废水、焦化厂废水、炼铁厂废水、炼钢厂废水和轧钢厂废水等。

各厂含有的主要废水以及这些废水处理工艺的选择，见表1-2。

表 1-2 钢铁企业主要废水及其单元处理工艺选择一览表

排放 废水 的工厂	按污染物主要成分分类							单元处理工艺选择																
	的废水																							
	含酚氰废水	含氟废水	含油废水	重金属废水	含悬浮物废水	热废水	酸废（液）水	碱废水	沉淀	混凝沉淀	过滤	冷却	中和	气浮	化学氧化	生物处理	离子交换	膜分离	活性炭	磁分离	蒸发结晶	化学沉淀	混凝气浮	萃取
烧结厂					●	●			●	●	●	●												
焦化厂	●	●			●	●			●	●	●	●		●		●			●			●		●
炼铁厂	●				●	●			●	●		●										●		
炼钢厂					●	●			●	●	●	●								●	●	●		
轧钢厂			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●		●		●	●	
铁合金	●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●							●		
其他			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●		●					●	●	

钢铁工业废水的特点是：

- (1) 废水量大，污染面广。钢铁工业生产过程中，从原料准备到钢铁冶炼以至成品轧制的全过程中，几乎所有工序都要用水，都有废水排放。
- (2) 废水成分复杂、污染物质多。表 1-3 列出了钢铁工业废水的污染特征和主要污染物质。从中可以看出钢铁工业废水污染特征不仅多样，而且往往含有严重污染环境的各种重金属和多种化学毒物。
- (3) 废水水质变化大，造成废水处理难度大。钢铁工业废水的水质因生产工艺和生产方式不同而有很大的差异，有的即使采用同一种工艺，水质也有很大变化。如氧气顶吹转炉除尘污水，在同一炉钢的不同吹炼期，废水的 pH 值可在 4~13 之间，悬浮物可在 250~25000mg/L 之间变化。间接冷却水在使用过程中仅受热污染，经冷却后即可回用。直接冷却水因与物料等直接接触，含有同原料、燃料、产品等成分有关的各种物质。由于钢铁企业废水水质的差异大、变化大，无疑加大废水处理工艺的难度。

表 1-3 钢铁工业废水的污染特征和主要污染

排放废 水的生 产单元	污染特征						主要污染物																	
	浑 浊	臭 味	颜 色	有 机 污 染 物	无 机 污 染 物	热 污 染	酚	苯	硫 化 物	氟 化 物	氰 化 物	油	酸	碱	锌	镉	砷	铅	铬	镍	铜	锰	钒	
烧结	●		●		●																			
焦化	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●	●	●			●							
炼铁	●		●		●	●	●		●		●				●			●				●		
炼钢	●		●		●	●				●		●												
轧钢	●		●		●	●						●												
酸洗	●		●		●					●			●	●	●	●			●	●	●			
铁合金	●		●		●	●	●		●										●			●	●	

2015 年全年中国钢铁工业协会统计, 2013 年吨钢耗新水量为 $3.57\text{m}^3/\text{t}$, 2015 年下降到 $3.25\text{m}^3/\text{t}$, 降幅 8.96%; 水的重复利用率呈现上升趋势, 从 2013 年的 97.57% 上升到 2015 年的 97.71% 提高了 0.14%。重点统计钢铁企业用水总量累计 791.35 亿立方米, 同比增长 1.95%, 其中, 取新水量累计 18.13 亿立方米, 同比减少 0.76 亿立方米, 下降 4.02%; 重复用水量累计 773.22 亿立方米, 同比增加 15.92 亿立方米, 增长 2.10%。

2015 年, 重点统计钢铁企业外排废水量呈逐年下降趋势, 2013 年累计排放为 50976.44 亿立方米, 2015 年下降到 43813.50 万立方米, 下降 14.05%, 相对于 2007 年则下降了 66.46%。全年外排废水中, 各项指标同比下降明显, 其中化学需氧量累计排放 13894.12t, 同比下降 25.70%; 氨氮累计排放 1110.34t, 同比下降 25.32%; 挥发酚累计排放 11.93t, 同比下降 24.68%; 氰化物累计排放 16.19t, 同比下降 0.80%; 悬浮物累计排放 8730.57t, 同比下降 33.11%; 石油类累计排放 350.98t, 同比下降 31.39%

1.2.4 固体废物排放及其特点

钢铁工业固体废物(冶金渣或废渣)是指钢铁生产过程中产生的固体、半固体或泥浆废弃物。主要包括: 采矿废石、矿石洗选过程排出的尾矿、冶炼过程产生的各种冶炼矿渣、轧钢过程中产生的氧化铁皮和各生产环节净化装置收集的各种粉尘、污泥以及工业垃圾。此外, 按固体废物管理范畴还包括容器盛装的酸洗废液和废油等。

钢铁工业固体废物产生于钢铁生产的各个环节, 换言之, 伴随着从矿石的采掘到钢铁成品的出厂, 每一步工序都有其特定的固体废物的产生、排放, 其品种因工序而异, 其发生量因工艺技术而增减。表 1-4 列出了钢铁厂通常产生的固体废物和副产品。

钢铁工业固体废物特点如下。

1.2.4.1 量大面广, 种类繁多

钢铁生产消耗原材料和燃料多, 但 80% 以上的消耗又以各种形式的废物排出。即每生产 1t 钢, 废物排放量即超过半吨。我国现已成为世界第一产钢大国, 年产量逾 2 亿吨, 其固体废物产生量约占我国工业固体废物产生总量的 1/5, 排在矿业和电力行业之后, 位居第三。从表 1-4 中又可以看出固体废物产生于钢铁生产的各个环节, 不仅涉及面广, 而且种类各异、品种繁多。

表 1-4 钢铁工业中的废物和副产品

生产阶段	副产品及废物
焦炭生产	硫酸铵、苯、浓焦油、萘、沥青、粗酚、硫酸、焦油; 锅炉与冷却器清除残渣; 氨生产中排出的石灰泥浆; 焦化废水机械澄清排出的污泥; 熄焦水与湿法除尘器排出的湿污泥; 焦化废水处理的活性污泥; 粉尘
烧结厂	废气净化产生的粉尘; 二次烟尘产生的粉尘