

# 钢铁工业绿色工艺技术

于 勇 王新东 编著



冶金工业出版社  
[www.cnmp.com.cn](http://www.cnmp.com.cn)

# 钢铁工业绿色工艺技术

于 勇 王新东 编著

北 京  
冶 金 工 业 出 版 社  
2017

## 内 容 提 要

本书共7章,第1章介绍了“绿色钢铁”的内涵和“绿色流程”的定义,国内外不同组织对“绿色钢铁”的理解;第2章概要地介绍国外“绿色钢铁”的一些做法;第3章重点介绍了河钢唐钢公司的绿色工艺和技术及应用效果;第4章介绍国内钢铁工业辅流程的一些绿色钢铁工艺和技术;第5章介绍了相关的基础研究案例;第6章展示了部分需要继续开发的新工艺和技术;第7章介绍了国内外最新的对“绿色钢铁”水平的诊断和评价方法。

本书适合钢铁工业决策者、科技人员阅读,也可供大专院校相关专业的师生参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

钢铁工业绿色工艺技术/于勇,王新东编著. —北京:冶金工业出版社,2017.1

ISBN 978-7-5024-7503-1

I. ①钢… II. ①于… ②王… III. ①钢铁工业—无污染技术—研究 ②钢铁工业—节能—研究 IV. ①TF4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017) 第 048412 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](http://www.cnmp.com.cn) 电子信箱 [yjchs@cnmp.com.cn](mailto:yjchs@cnmp.com.cn)

责任编辑 戈 兰 唐晶晶 美术编辑 彭子赫 版式设计 孙跃红

责任校对 石 静 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-7503-1

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1月第1版,2017年1月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16;26.75印张;2彩页;657千字;418页

146.00元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 [tougao@cnmp.com.cn](mailto: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](http://yjgycbs.tmall.com)

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)



河钢唐钢全景



河钢唐钢滨河门



河钢唐钢水处理中心



河钢唐钢 3200m<sup>3</sup> 高炉外景



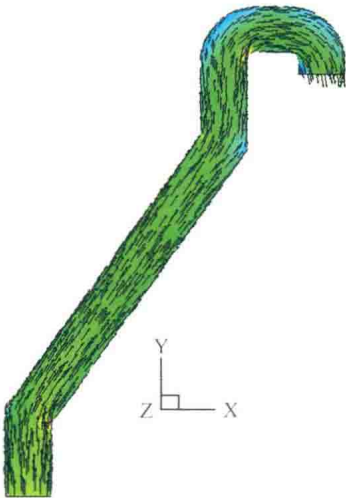
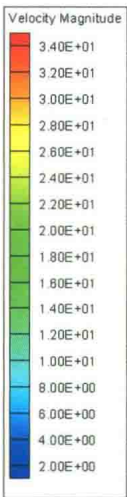
河钢唐钢 3200m<sup>3</sup> 高炉平台



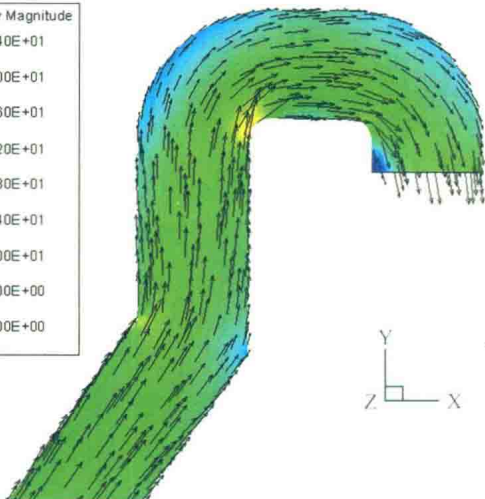
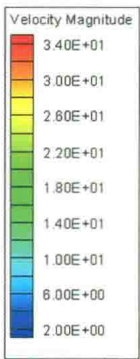
河钢唐钢一冷轧



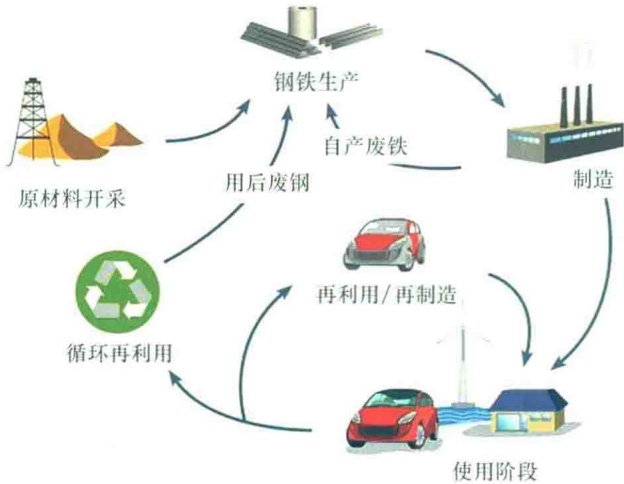
河钢唐钢北区原料库内外实物图



转炉烟道烟气速度场分布



转炉烟道弯头部分速度分布放大图



钢铁产品生命周期示意图

# 序

绿色发展是国际大趋势。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。

绿色制造是生态文明建设的重要内容。工业化为社会创造了巨大财富，提高了人民的物质生活水平，同时也消耗了大量资源，给生态环境带来了巨大压力，影响了人民生活质量的进一步提高。推进生态文明建设，要求构建科技含量高、资源消耗低、环境污染少的绿色制造体系，加快推动生产方式绿色化，积极培育节能环保等战略性新兴产业，大幅增加绿色产品供给，倡导绿色消费，有效降低发展的资源环境代价。

绿色制造是制造业转型升级的必由之路。我国作为制造大国，依然没有摆脱高投入、高消耗、高排放的发展方式，资源能源消耗和污染排放与国际先进水平仍存在较大差距。资源环境承载能力已近极限，加快推进制造业绿色发展刻不容缓。全面推行绿色制造，不仅对缓解当前资源环境瓶颈约束、加快培育新的经济增长点具有重要现实作用，而且对加快转变经济发展方式、推动工业转型升级、提升制造业国际竞争力具有深远历史意义。

我国国民经济的发展已经进入“新常态”，国家第十三个五年计划也已经开始，中国钢铁工业正在面临去产能、绿色化等历史命题的挑战。在“去产能”阶段，如何既高质、高效地为国民经济发展提供优质、足量的钢铁产品，又实现环境友好、低碳、资源循环和为社会服务的目标。世界钢铁工业长时间的实践证明：“绿色钢铁”是满足上述两个目标的历

史性选择，是钢铁企业生存和发展的需要，也是一个“钢铁大国”成为“钢铁强国”的必经之路。

简单的节能减排阶段不是“绿色钢铁”，“绿色钢铁”不仅是节能减排和资源有效利用的叠加，还有更加丰富的内涵：除了“绿色制造”外，还有“绿色产品”、“绿色副业”、“绿色采购”、“绿色物流”以及“绿色管理”、人员素质提高和发展理念转变等。钢铁工业的发展已经由“单纯钢铁”走向“绿色钢铁”阶段。

于勇、王新东撰写的《钢铁工业绿色工艺技术》一书在河钢唐钢公司实践的基础上，借鉴部分国内外钢铁企业的“绿色钢铁”实践，考虑了我国钢铁工业的实际情况（如长流程为主、能源结构以煤为主、铁钢比较高、制造流程不尽合理等），着重研究钢铁制造流程结构优化、提高能源利用效率及其与外界社会的工业生态链接。为钢厂与城市和谐共存进行了十分有益的探索。

在“新常态”的新形势下，只有创新思路和创新方法，才能开发出新流程、新工艺、新技术和新装备。传统的“末端治理”方法已经不能满足新形势的要求，本书介绍的“源头治理”和“过程治理”的方法，解决了节能和环保等问题，相信在不久的将来，会有更多的具有中国特色的绿色新钢铁制造流程、工艺、技术和装备出现在世界的钢铁工业中。

本书还介绍了三种评价“绿色钢铁”的方法，供定性、定量诊断和评价钢铁工业的绿色程度，为不断提高我国“绿色钢铁”的水平提供一种可操作的工具。

期待本书的出版能对促进我国钢铁工业的转型升级贡献一份力量。

中国工程院院士

徐瑞钰

# 前 言

进入21世纪,中国制造业的绿色化议题被提上了日程,什么是“绿色制造业”?“绿色制造业”的目标是什么?如何实现“绿色制造业”?如何评价“绿色制造业”等问题,已经成为新的热点课题。中国钢铁工业作为世界第一大“钢铁大国”(产量约占全世界钢铁总量的一半),对资源和能源的刚性需求,对环境、社会和国民经济的影响,引起了社会的极大关注。

为了回答上述问题,本书根据国内外钢铁工业绿色化的理论和实践,以河钢唐钢公司的绿色化实践为案例,介绍了如何实现城市型老钢铁企业的环境友好、低碳、资源循环的目标。

本书为适应中国钢铁工业高速发展转入“新常态”后所面临的新形势和新阶段提出的新要求,重点介绍了实现钢铁工业绿色化的新方法,如“源头治理”、“过程治理”、“跨行业的大系统”的新方法,以开发绿色新流程、新工艺、新技术和新装备,摆脱单纯的技术途径和传统的“末端治理”方法。

本书还以部分案例提示了基础研究的重要性和必要性,期盼有越来越多的中国特色和颠覆性的钢铁新流程、新工艺、新技术和新装备的出现,为世界钢铁工业做出贡献,实现我国钢铁工业由“钢铁大国”向“钢铁强国”的转变。

本书共7章,第1章介绍了“绿色钢铁”的内涵和“绿色流程”的定义,国内外不同组织对“绿色钢铁”的理解;第2章概要地介绍国外“绿色钢铁”的一些做法;第3章重点介绍了河钢唐钢公司的绿色工艺和

技术，并介绍了应用效果；第4章介绍国内钢铁工业辅流程的一些绿色钢铁工艺和技术；第5章介绍了相关的基础研究案例；第6章展示了部分继续开发的新工艺和技术；第7章介绍了国内外最新的对“绿色钢铁”水平的诊断和评价方法。

由于钢铁工业绿色工艺技术涉及面广，内容丰富，限于本书篇幅，仅列举其中部分内容，同时由于作者水平所限书中不妥之处，敬请读者和专家指正。

编 者

2017年1月

# 目 录

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 第1章 概述 .....                    | 1  |
| 1.1 绿色钢铁的内涵 .....               | 2  |
| 1.2 绿色流程的定义 .....               | 2  |
| 第2章 国外钢铁流程绿色工艺技术 .....          | 5  |
| 第3章 国内钢铁流程绿色工艺技术 .....          | 8  |
| 3.1 绿色原料场 .....                 | 8  |
| 3.1.1 绿色原料场概述 .....             | 8  |
| 3.1.2 绿色原料场技术 .....             | 15 |
| 3.1.3 典型绿色原料场 .....             | 25 |
| 3.2 烧结工序绿色工艺技术 .....            | 30 |
| 3.2.1 烧结烟气综合治理技术 .....          | 30 |
| 3.2.2 烧结余热资源及回收利用 .....         | 35 |
| 3.2.3 河钢唐钢烧结过程智能控制技术 .....      | 37 |
| 3.2.4 低品质矿在河钢唐钢烧结配矿中应用技术 .....  | 40 |
| 3.2.5 厚料层烧结技术 .....             | 43 |
| 3.2.6 固废综合利用 .....              | 46 |
| 3.2.7 烧结风机变频及主抽汽拖-电动技术 .....    | 49 |
| 3.2.8 全高炉煤气点火技术 .....           | 50 |
| 3.2.9 在线漏风检测技术 .....            | 53 |
| 3.2.10 集成式环保筛分系统 .....          | 55 |
| 3.3 球团工序绿色工艺技术 .....            | 56 |
| 3.3.1 球团工序绿色发展现状 .....          | 57 |
| 3.3.2 河钢唐钢球团工序绿色发展 .....        | 57 |
| 3.3.3 中国钢铁工业球团工序绿色发展要求及目标 ..... | 60 |
| 3.4 焦化工序绿色工艺技术 .....            | 61 |
| 3.4.1 扩大炼焦煤源的预处理工艺技术 .....      | 61 |
| 3.4.2 焦化废水综合治理技术 .....          | 67 |
| 3.4.3 焦化废渣、废液的综合利用技术 .....      | 76 |
| 3.4.4 焦化废气污染及防治 .....           | 86 |

|        |                          |     |
|--------|--------------------------|-----|
| 3.4.5  | 焦化噪声污染及防治 .....          | 99  |
| 3.4.6  | 焦化系统余热利用的相关技术 .....      | 99  |
| 3.4.7  | 产业链延伸技术 .....            | 109 |
| 3.5    | 石灰窑工序绿色工艺技术 .....        | 124 |
| 3.5.1  | 绿色石灰工厂的设计 .....          | 124 |
| 3.5.2  | 绿色工厂设计的工艺与设备 .....       | 125 |
| 3.5.3  | 绿色工厂的环保、安全、消防、职业卫生 ..... | 125 |
| 3.5.4  | 绿色石灰窑的生产 .....           | 126 |
| 3.5.5  | 唐钢石灰窑的发展状况 .....         | 131 |
| 3.6    | 炼铁工序绿色工艺技术 .....         | 133 |
| 3.6.1  | 高炉干法布袋除尘技术 .....         | 133 |
| 3.6.2  | 炉前环境治理 .....             | 136 |
| 3.6.3  | 高炉炉顶煤气余压发电技术 .....       | 139 |
| 3.6.4  | 高炉高风温技术 .....            | 142 |
| 3.6.5  | 热风炉废气余热利用技术 .....        | 148 |
| 3.6.6  | 高炉冷却壁软水密闭循环系统 .....      | 152 |
| 3.6.7  | 高炉操作技术 .....             | 154 |
| 3.6.8  | 国内外低碳绿色炼铁前沿工艺技术 .....    | 157 |
| 3.7    | 转炉炼钢工序绿色工艺技术 .....       | 164 |
| 3.7.1  | 转炉煤气回收技术 .....           | 164 |
| 3.7.2  | 烟气余热回收技术 .....           | 168 |
| 3.7.3  | 负能炼钢技术 .....             | 173 |
| 3.7.4  | 蓄热式钢包烘烤技术 .....          | 174 |
| 3.7.5  | 连铸坯热送热装技术 .....          | 176 |
| 3.7.6  | 薄板坯连铸技术 .....            | 178 |
| 3.7.7  | 废钢分拣预处理技术 .....          | 185 |
| 3.7.8  | 大气污染物末端治理技术 .....        | 186 |
| 3.7.9  | 水污染物末端治理技术 .....         | 191 |
| 3.7.10 | 固体废物综合利用及处置技术 .....      | 199 |
| 3.7.11 | 噪声控制技术 .....             | 207 |
| 3.8    | 电弧炉炼钢工序绿色工艺技术 .....      | 207 |
| 3.8.1  | 废钢分拣预处理技术 .....          | 208 |
| 3.8.2  | 合金废钢分类回收管理 .....         | 210 |
| 3.8.3  | 废钢预热技术 .....             | 211 |
| 3.8.4  | 电炉炼钢加铁水技术 .....          | 215 |
| 3.8.5  | 转炉烟气余热回收技术 .....         | 215 |
| 3.8.6  | 蓄热式钢包烘烤技术 .....          | 217 |
| 3.8.7  | 电渣重熔技术 .....             | 218 |
| 3.9    | 轧钢工序绿色工艺流程技术 .....       | 220 |

|                                     |            |
|-------------------------------------|------------|
| 3.9.1 中厚板生产 .....                   | 221        |
| 3.9.2 热轧钢带绿色工艺技术 .....              | 226        |
| 3.9.3 棒线材生产工艺及技术 .....              | 247        |
| 3.9.4 型钢生产工艺和技术的发展 .....            | 257        |
| <b>第4章 国内辅流程绿色钢铁工艺技术 .....</b>      | <b>272</b> |
| 4.1 节能、环保、二次资源利用工艺技术和材料 .....       | 272        |
| 4.1.1 钢铁流程能源管控中心系统 .....            | 272        |
| 4.1.2 转炉蒸汽回收及饱和蒸汽发电技术 .....         | 276        |
| 4.1.3 全燃高炉煤气发电技术 .....              | 277        |
| 4.1.4 高炉冲渣水余热利用技术 .....             | 281        |
| 4.1.5 超细节能材料——高辐射率高温涂料 .....        | 284        |
| 4.1.6 工序界面节能技术 .....                | 288        |
| 4.1.7 钢渣制备陶瓷技术 .....                | 289        |
| 4.2 水处理中心 .....                     | 295        |
| 4.2.1 项目背景 .....                    | 295        |
| 4.2.2 唐钢水处理中心 .....                 | 296        |
| 4.2.3 中水利用要解决的难点 .....              | 300        |
| 4.3 制氧绿色技术 .....                    | 301        |
| 4.3.1 制氧机的发展 .....                  | 301        |
| 4.3.2 钢铁企业制氧系统绿色工艺 .....            | 307        |
| 4.3.3 钢铁企业制氧系统最佳节能模式的理论研究及实践 .....  | 311        |
| 4.3.4 发展展望 .....                    | 317        |
| 4.4 绿色物流 .....                      | 318        |
| 4.4.1 概述 .....                      | 318        |
| 4.4.2 钢铁企业绿色物流总体规划 .....            | 320        |
| 4.4.3 钢铁绿色物流运输流动装备工艺及技术 .....       | 325        |
| 4.4.4 集中一贯管理的供应链绿色生产调度规划 .....      | 333        |
| 4.4.5 绿色物流信息化 .....                 | 346        |
| 4.5 信息化、自动化和计量技术 .....              | 357        |
| 4.5.1 背景 .....                      | 357        |
| 4.5.2 现状 .....                      | 359        |
| 4.5.3 展望 .....                      | 366        |
| <b>第5章 钢铁绿色新技术的基础研究 .....</b>       | <b>368</b> |
| 5.1 烧结烟气过程固硫、固硝技术 .....             | 368        |
| 5.2 钢铁渣协同其他工业和社会固废生产高附加值产品的研究 ..... | 369        |
| 5.3 高炉熔渣直接制备纤维质高附加值产品研究 .....       | 372        |

|                                                 |            |
|-------------------------------------------------|------------|
| 5.4 富氧燃烧技术研究 .....                              | 374        |
| 5.5 钢铁工业低质余热回收和利用的基础研究 .....                    | 376        |
| 5.5.1 烧结合余热产生低压蒸汽发电的基础研究 .....                  | 376        |
| 5.5.2 转炉烟气余热高效回收技术开发与工艺设计 .....                 | 390        |
| 5.6 生命周期评价 (LCA) 简介 .....                       | 403        |
| 5.6.1 世界钢协的生命周期评价工作 .....                       | 404        |
| 5.6.2 开展生命周期评价项目的意义 .....                       | 404        |
| 5.6.3 河钢集团积极开展生命周期评价工作 .....                    | 405        |
| <b>第6章 中远期需要研发的绿色钢铁工艺技术 .....</b>               | <b>406</b> |
| 6.1 新的钢铁流程和工艺的研究 .....                          | 406        |
| 6.2 对全流程和产品实施生命周期评价 .....                       | 406        |
| 6.3 高球团比例高炉炼铁工艺和技术研究 .....                      | 407        |
| 6.4 一次、二次资源高效循环利用和余能利用新技术 .....                 | 407        |
| 6.5 高温、高压、含尘、高速环境下的参数测试、大数据处理和智能化<br>过程控制 ..... | 407        |
| <b>第7章 绿色钢铁系统评价 .....</b>                       | <b>408</b> |
| 7.1 根据“绿色钢铁”的定义评价 .....                         | 408        |
| 7.2 根据国家和钢铁行业制定的“绿色钢铁评价体系”进行评价 .....            | 408        |
| 7.3 根据“LCA”方法定量评价钢铁工艺和技术的绿色度 .....              | 408        |
| <b>参考文献 .....</b>                               | <b>410</b> |

# 第 1 章 概 述

“绿色钢铁”是世界钢铁工业发展的共同选择与发展方向，是钢铁工业生存和发展的共同需要，是一个“钢铁大国”变为“钢铁强国”的必经之路。

什么是“绿色钢铁”？“绿色钢铁”的国内外现状如何？如何继续推进中国“绿色钢铁”的进程？下一步需要提前研发哪些绿色流程、工艺和技术等？这些问题都是需要在发现总结问题、不断探索实践中一一面对的。“绿色钢铁”的实现，需要有很好的“顶层设计”，新的钢铁工艺和技术的研发和实施固然是实现“绿色钢铁”的重要支撑，但是“绿色钢铁”的实现还有大量其他问题需要同时解决，如管理水平、操作水平、人员素质、经济因素等。本书重点总结国内外已经实施的“绿色钢铁”相关的工艺流程和技术，并提出下一步需要研发的新工艺和新技术，为可持续地提高中国“绿色钢铁”的水平提供可持续的支撑，开发出“中国创造”的钢铁新流程、新技术和新装备，并力争在世界钢铁工业中推广，实现“钢铁大国”向“钢铁强国”的转变。

尽管我国钢铁工业借助国外钢铁工业发展的基础，站在了他们的肩膀上，有了较好的硬件条件和一定的软件基础，但由于我国钢铁工业与国外钢铁工业所处的阶段不同，发达国家钢铁工业面临的绿色发展问题一个一个地出现并一个一个地解决，而我国却是一定时期内同时要面对多个问题，因此要实现和发达国家钢铁工业一样的绿色生产，有许许多多与国外不同的内容、做法和措施，中国需要有中国特色“绿色技术”。

经过多年的摸索和实践，中国钢铁工业已经实现了很多绿色钢铁的做法，得到了较好的结果，例如：在世界钢铁协会第 50 届年会上（2016 年 10 月 10 日 迪拜），在全球 104 家钢铁企业、行业协会、研究机构共同瞩目下，河钢集团获得了“第 7 届 Steelie 奖”7 个奖项中最受关注的钢铁公司“可持续发展卓越奖”。新一届世界钢铁协会会长、美国纽柯公司董事长兼 CEO 约翰充分肯定了河钢集团近年来在节能减排、环境友好和促进钢铁行业可持续发展方面做出的突出贡献，河钢人用智慧、自信和行动展示了中国钢铁工业的责任和绿色担当，赢得了世界钢铁同行的尊重。

世界钢铁协会会长约翰·弗瑞奥拉先生认为中国钢铁工业的可持续发展也一样可以达到世界一流水平。德国蒂森克虏伯钢铁公司、奥钢联、ARCELL-MITTAL、日本新日铁住金、JFE、浦项钢铁公司、美国钢铁公司等世界钢铁大公司纷纷向河钢集团表示了热烈的祝贺。

世界钢铁协会“可持续发展卓越奖”的获得说明河钢集团在面向世界的绿色担当方面已经为世界钢铁工业做出了榜样。这一结果得益于河钢集团的“生态优先，绿色发展”的理念，也是不断摸索、大胆实践的结果。迄今为止河钢已经投资超过 145 亿元，实施节能减排项目 380 余项，取得了瞩目的成果，树立了城市型老钢铁公司绿色发展的样板。

中国钢铁工业已经进入了新常态，面临着新形势，提出了新要求，因此中国钢铁工业需要在总结近年绿色发展的基础上，用新的方法，新的思路去开发新的绿色流程、装备和

技术去面对更高层次的绿色发展，建设有中国特色的绿色钢铁工业生产模式。

目前，钢铁工业简单的绿色化和节能减排阶段已经过去，进入了复杂、难度大、投入多的绿色化和节能减排阶段，由于中国钢铁工业的规模大，目前又处在钢铁工业经济效益不稳定的阶段，因此除开发高效、洁净、低碳的绿色钢铁技术外，低成本成了对所开发新技术的一个新要求。

如果继续沿用传统的“末端治理”解决方法，就很难实现绿色工艺和技术的低成本开发和推广。于是新的工艺流程和技术开发方法就应运产生了，如“源头治理法”“过程控制法”“大系统法”等，本书在介绍现有的国内外钢铁绿色工艺、技术外，将同时介绍一些用新的方法开发的绿色工艺和技术。

为了在现有绿色工艺流程和技术基础上，开发出完全是中国自主品牌的绿色钢铁新工艺和新技术，本书还列出了一些下一步需要研发的钢铁工艺流程和技术，为中国成为名副其实的“钢铁强国”奠定基础。

## 1.1 绿色钢铁的内涵

“绿色钢铁”是“绿色工业”的主要内容，其理论基础是国外1989年提出的“工业生态”（中国的“循环经济”），由此基本原则提出了“绿色工业”的定义：“绿色工业”指的是生产的过程是干净和低碳的（清洁生产），生产的产品也是干净和低碳的，即在生产满足人的需要的产品时，能够合理使用自然资源和能源，自觉保护环境和实现生态平衡。其实质是减少物料和能源的消耗，同时实现废物减量化、资源化和无害化。

“绿色钢铁”是一个广义的概念，其内涵除了包含“绿色工业”的全部内容外，由于钢铁工业的自身特点，还赋予“绿色钢铁”更多的内涵，必须同时考虑以下内容：

（1）在保证高效生产出高质量和额定产量的钢铁产品后，首先考虑那些“显性绿色指标”，如：能源介质的直接减少、末端排放污染物对环境的影响、二次资源（固体废弃物、污水和部分气相排放物等）的综合利用水平等。

（2）考虑“隐性绿色指标”，如流程结构、产品结构、能源结构、原料结构、铁钢比、平面布置和装备规模及水平等，这些因素都很大程度本征地、固有地影响了该流程的绿色水平。

（3）考虑钢铁企业与合作伙伴的友好相处程度、如钢铁企业是否与企业外的其他工业和社会建立起绿色联系，如是否实现二次能源输出、二次资源相互利用和为外界其他的服务等。

以上内容与联合国环保署 UNEP 提出的“清洁生产”内涵以及中国提出的“循环经济”内涵有类似的内容。

## 1.2 绿色流程的定义

绿色流程有以下几种定义：

（1）国际标准化组织 ISO9000：流程是一种将输入转化为输出的相互关联和相互作用的活动。

（2）牛津字典：流程是指一个或一系列、连续有规律的行动，这些活动以确定的方式发生或执行，导致特定结果的实现。