

# 中国钢铁工业和清洁生产

刘超, 王立新, 许志宏, 杨章远

(中国科学院化工冶金研究所计算机化学开放实验室, 北京 100080)

**[摘要]** 分析了解决钢铁企业污染的三种方案, 提出钢铁企业应逐步实现清洁生产; 根据 Saldanha 钢铁厂清洁生产工艺工业化实例, 结合我国的特点提出了一套基于多级流化移动床的熔态还原新工艺, 在现有钢铁厂实现清洁生产。

**[关键词]** 钢铁工业; 清洁生产; 熔态还原新工艺

## 1 引言

进入 21 世纪, 科技进步和社会生产力极大提高的同时, 人口剧增、资源过度消耗、环境污染、生态破坏等全球性的重大问题日益突出, 促使人类社会对环境保护的要求更趋紧迫, 社会的可持续发展成为社会发展所遵循的根本途径。钢铁工业作为我国的工业大户不仅是能源与资源的消耗大户, 其生产过程释放的大量颗粒物、 $SO_x$ 、 $NO_x$ 、温室气体和废水等也使其成为了环境污染大户。

Berry 等就 21 世纪钢铁工业五大趋势指出, 除非钢铁工业能够确保环境不受污染与行业的可持续发展密切结合, 否则社会将限制钢铁工业的存在<sup>[1]</sup>。在中国, 随着城市及其经济的发展, 首先突现出的问题是位于人口密集城市的边缘及郊区的传统大型钢铁企业与城市环保的碰撞。现有解决方案可归纳为三类:

第一, 令工厂搬迁, 将污染源搬离中心城市。权且不论这一污染源转移大工程所需大量的人力和财力, 这种眼不见为净的作法, 使大批资金投入后的产出仍为污染的延续, 显然不符合可持续发展的道路, 不是一个可取的长远考虑。

第二, 对污染排放进行治理。对现有工艺的生

产厂如烧结厂、炼焦厂等进行除尘、气体净化、废水处理等环保控制。这一技术往往需要企业投入大量资金, 安装环保设备, 增加投资和生产成本, 而很难从根本上解决污染问题。据数据显示, 从 1995 年到 1999 年, 首钢在北京石景山地区就投入 6.14 亿元以实施污染治理项目<sup>[2]</sup>。在企业面临全球化市场竞争的今天, 这种治理方案会给企业带来一定压力。

第三, 实现清洁生产。一种连续的一体化预防策略, 主动研究与开发从源头减少或消除污染的绿色工艺技术。从环保、经济和社会持续发展来看, 研究钢铁工业的清洁生产工艺是解决中国钢铁工业污染的根本途径, 这也正是本文所要论述和提出的技术方案。

## 2 清洁生产

清洁生产自 1992 年联合国环境与发展大会上被确认为可持续发展的先决条件和工业界达到环境改善同时保持竞争性及赢利性的核心手段之一<sup>[3]</sup>。《中国 21 世纪议程》已将清洁生产列入工业与交通、通信业的可持续发展的主体方案之一, 指出清洁生产, 是指既可满足人们的需要又可合理使用自然资源 and 能源并保护环境的实用生产方法和措施,

其实质是一种物料和能耗最少的人类生产活动的规划和管理,将废物减量化、资源化和无害化,或消灭于生产过程之中<sup>[4]</sup>。

清洁生产是一个逐步发展的概念,自20世纪60年代以来经历了一系列的演变历程,产生了相应的有影响的方案和技术(表1)。

表1 清洁生产技术演变历程<sup>[3]</sup>

Table 1 Evolvement of clean production technology

技术方法	60年代	70年代	80年代	90年代
治理性	末端技术			
				土壤污染改良
过程集成	现有过程的优化及能源的合理利用			
				新过程技术 不遗留废物的最佳可利用技术
面向原料策略				原料选择;循环及再利用
		可持续 发展	原料合理利用;生命周期评价和生态设计;产品革新	
预防性及面向产品策略				

末端技术指的是对气、液、固形式的流出废物进行处理以达到排放规定,不能从根本上解决污染问题。过程集成是从能量流的角度研究过程系统的设计优化,与清洁生产是高度一致的两个概念,其基本目标是使物料及能源消耗最小以达到设计的最大效率。面向原料策略主要考虑原材料选择、物料循环和再利用等。面向产品策略追求资源效率的最优化,包括原材料消耗、废物产生、健康及安全风

险、能量消耗以及生态恶化等最小化。整个清洁生产设计框架是以原料、过程和产品的循环为基本骨架,考虑物质流、信息流和能量流的相互作用,将上述相关方法有机结合。

在钢铁生产过程中实现清洁生产,最重要的在于工艺变革,在过程内消除污染。尤其是炼铁系统中的高炉设备,其所配套的烧结过程、炼焦过程和热风炉是主要的污染环节,炼铁系统的颗粒物和SO<sub>2</sub>的排放量分别占钢铁工业总排放量的68.2%和73.7%<sup>[5]</sup>,解决炼铁环节的污染是关键。从世界钢铁冶金进行的技术革新研究看,熔态还原炼铁工艺的研究正是向清洁生产迈进了一大步。熔态还原的无焦炉、无高炉、无烧结的工艺实现了过程的清洁生产;同时预还原过程煤气排放的还原气洗气单元和再循环可以帮助实现物料全循环<sup>[6-8]</sup>。

### 3 世界成功范例

南非 Saldanha 钢铁厂(图1)率先在钢铁企业实现了工业化的清洁生产,其工艺引起了全世界同行的关注<sup>[9]</sup>。它将 Corex 熔态还原工艺, Midrex 直接炼铁工艺,电炉炼钢和薄板坯连铸集成,将 Corex C2000 产生的大量剩余气体经除 CO<sub>2</sub> 净化工序后,用作 Midrex 直接还原铁法的还原气体,由 Corex 产出的生铁和 Midrex 的直接还原铁再作为电炉炼钢的原料,时间短,有害元素少,提高炼钢效率,从而形成了一条完整的绿色钢铁生产工艺。Saldanha 厂建厂总投资为 11×10<sup>8</sup> 美元,1999 年 1

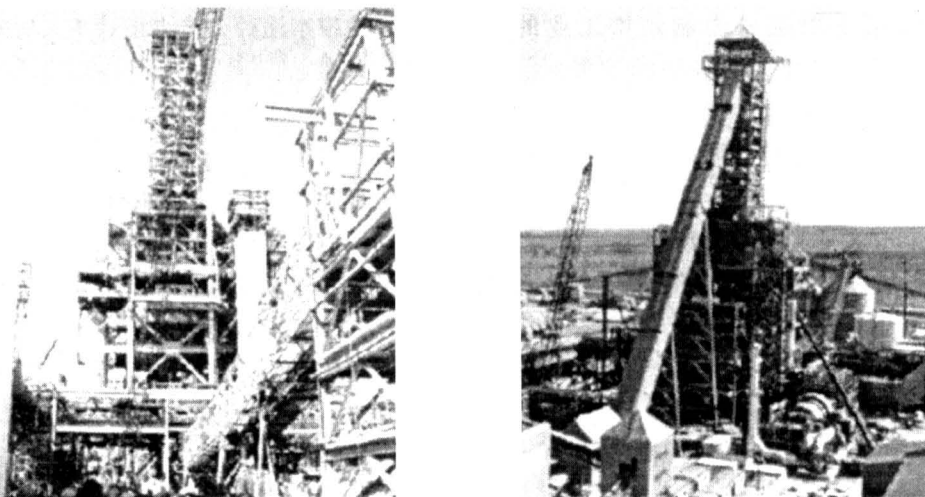


图1 南非 Saldanha 钢铁厂概貌

Fig.1 The company profile of Saldanha Mill

月完全竣工投产运行，整个工艺简短连续，从铁矿石进入 Corex 或 Midrex 炉至最终产品出炉只需 16 h。工厂产量达每  $2 \times 10^6$  t 铁矿石出  $125 \times 10^6$  t 热卷钢，每吨板材成品价格约为 320 美元。新工艺的应用，使该厂无论从经济上，还是环境保护角度上都居世界领先水平，具有极好的市场竞争力。

#### 4 创新方案

根据我国钢铁企业的经济和生产特点，我们研究并提出了基于多级流化移动床的熔态还原新工艺<sup>[10]</sup>。在保留高炉等大部分现有工厂的设备和公用设施的基础上，建设新的工艺设施。新工艺可以直接处理粉矿或块矿，利用块煤，省去了炼焦炉、烧结厂和热风炉等污染重的生产单元。

该工艺的重点之一在于高炉的改造。在现有高炉原理的基础上，将高炉改造为两个部分，上部改为流化移动床，用来进行铁矿粉的间接固态预还原，下段用于直接熔态还原，二者直接连接在一起（如图 2）。在固态还原炉段，设计为多层倾斜圆环形多孔塔板，借助于一定的转动速度，使铁矿粉以恒定的速度向下流动。在外壳的内部安装了固定倾斜多孔塔板，该段炉壳被分成两个半圆形，在每年的维修期间可以利用平移装置将二者移开。在锥形转动构件上和外壳内表面锥形板上分别安装有料耙，用于及时清理塔板上滞留的粉矿。从熔态还原段上升的煤气与向下流动的粉矿逆流接触，发生传热和反应过程，在将氧化铁还原的同时消耗了煤气中的化学能。同时采用了非等温多级流化移动床，以解决铁矿颗粒的粘结性，在床的中部，温度 500

~600℃ 的区域，CO 分解并将碳沉积在矿粉的表面，它可以防止粘结并使得颗粒的流动类似液体。

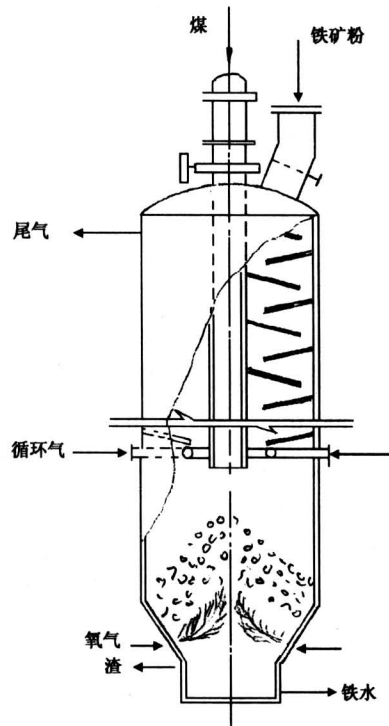


图 2 改造后的熔态还原炉示意图

Fig.2 The smelting reduction furnace after rebuilding (schematically)

在配备一系列新的过程控制设备的条件下，将改造成的熔态还原炉，与化学工业中常用的脱 CO<sub>2</sub> 装置和直接还原铁装置集成，构成新型的熔态还原清洁炼铁新工艺<sup>[9]</sup>，如图 3 所示。

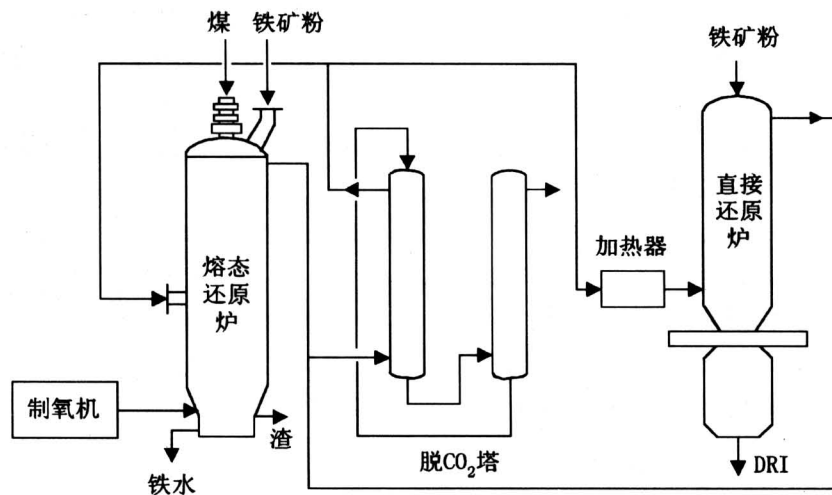


图 3 改造后的熔态还原工艺流程示意图

Fig.3 Schematic flow sheet of the smelting reduction process after rebuilding

整个工艺主要由熔态还原炉（高炉改造而成）、氧气机、脱 CO<sub>2</sub> 塔、燃油加热器和直接还原铁反应器组成。自固态预还原段排出的气体经过气体洗涤装置除去杂质后，进入脱 CO<sub>2</sub> 塔，产生的 CO + H<sub>2</sub> 气体除了一部分再循环用于调节进入固态预还原段的煤气温度外，大部分进入燃油加热器升高温度，然后进入直接还原海绵铁装置，用于生产海绵铁（DRI）。尾气经过除尘和气体洗涤操作后，可以再循环进入脱 CO<sub>2</sub> 塔，也可作其它用途。

通过这种方式，可以彻底解决污染问题，提供一套清洁的和高竞争力的熔态还原新工艺。

在过去的几十年里，我国建立了大量中小型高炉（300~1000 m<sup>3</sup>），本工艺可以以小型高炉（300 m<sup>3</sup>）作为试点，待成功后逐步扩大高炉的规模。

## 5 结 语

钢铁工业是国民经济支柱产业，然而其污染困扰着这一行业的发展。1996 年钢铁工业 SO<sub>2</sub> 排放量为 97.8×10<sup>4</sup> t，在全国工业中居第 3 位；烟尘排放量 44.0×10<sup>4</sup> t，占全国工业排放量的 6.2%，居第 4 位；粉尘排放量 105.3×10<sup>4</sup> t，占全国工业排放量的 20.0%，居第 2 位<sup>[11]</sup>。在全国，许多省会城市都建有大中型钢铁企业，城市生活环境和远未达到洁净化生产的钢铁企业之间的问题将是会是一个较普遍的问题，而实现钢铁工业的清洁生产是

必然趋势。

## 参考文献

- [1] Berry B, Ritt A, Greissel M. A retrospective of twentieth-century steel[EB/OL]. New Steel, <http://www.newsteel.com/features/ns9911f2.htm>
- [2] <http://www.shougang.com.cn>
- [3] 石磊, 李绍军, 姚平经. 清洁生产的技术演变及其整体框架[J]. 化工进展, 1999, (3): 20~22
- [4] 中国 21 世纪议程. <http://www.acca21.edu.cn/index6.html>
- [5] 张夏, 郭占成. 我国钢铁工业能耗与大气污染物排放量[J]. 钢铁, 2000, 35(1): 63~68, 82
- [6] 王立新, 许志宏, 谢裕生. 洁净炼铁新技术的探讨[J]. 科技导报, 1999, (4): 30~32
- [7] 张寿荣. 21 世纪的钢铁工业[J]. 钢铁, 1999, 34(增刊): 36~49
- [8] Li Y, Xu Z. Smelting reduction process for iron and chemicals[A]. IUPAC CHEMRAWN IX proceeding, International Union of Pure and Applied Chemistry, The Korean Chemical Society. September, 1996, CI-3, 295~301
- [9] <http://www.ssteel.co.za>
- [10] 王立新. 基于粉矿的熔态还原系统模拟研究[D], 中国科学院化工冶金研究所博士学位论文, 1999
- [11] 《中国环境年鉴》编辑委员会. 中国环境年鉴 1997[J]. 北京: 中国环境年鉴出版社, 1997

## Clean Production and China's Iron and Steel Industry

Liu Chao, Wang Lixin, Xu Zhihong, Yang Zhangyuan

(Institute of Chemical Metallurgy, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

[Abstract] Three solutions to the pollution problems of iron and steel industry in China have been discussed, among which clean production is obviously the best choice. As a "green" steel mill has been successfully established in South Africa, a new smelting reduction process based on rebuilding the present blast furnace into a multi-layer fluidized moving bed has been proposed according to the present situation of iron and steel making industry in China.

[Key words] iron and steel industry; clean production; new smelting reduction process