

高炉富氧煤粉喷吹

杨天钧 苍大强 丁玉龙 编著

冶金工业出版社

76.2133

682

高炉富氧煤粉喷吹

杨天钧 苍大强 丁玉龙 编著

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
1996

图书在版编目(CIP)数据

高炉富氧煤粉喷吹/杨天钧等编著。—北京:冶金工业出版社,1996

ISBN 7-5024-1769-9

I. 高… II. 杨… III. 高炉炼铁-富氧鼓风-喷煤-研究

IV. ①TF538.5②TF538.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 15832 号

出版人 卿启云(北京沙滩嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009)

北京社科印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

1996 年 4 月第 1 版,1996 年 4 月第 1 次印刷

850mm×1168mm 1/32; 11 印张;296 千字;341 页;1-2100 册

18.00 元

310524/27
前言

日本学者预计,2020年前后钢铁冶金流程将有重大变化,如图1所示。工业发达国家的钢铁生产原料中45%为废钢,即以电炉、多能源炉为中心的紧凑流程蓬勃兴起,但铁矿石作为主要原料仍然占有55%的份额,届时虽然熔融还原工艺开发成功,但高炉生产的铁仍占41%,高炉在未来钢铁生产多元化模式中仍然有着举足轻重的地位。我国作为发展中国家,由于引进技术和独立自主的开发,熔融还原将会很快发展,但本世纪末下世纪初,高炉仍将起主要作用,高炉富氧喷吹煤粉是炼铁生产技术进步的主要途径。

截止1993年,我国重点企业高炉已达79座,总容积超过76000m³,其中大于4000m³高炉2座,大于3000m³高炉3座,大于2500m³高炉7座,大于2000m³高炉9座,大于1000m³高炉35座。地方骨干企业高炉达139座,总容积接近30000m³。近年来高炉精料技术和高炉装备水平迅速提高,同时高炉富氧喷吹煤粉迅速发展,全国18家重点企业的15家共61座高炉喷煤(占80%),1993年平均喷煤量达到53.7kg/t铁,高炉利用系数达到1.815t/(m³·d),综合焦比降低到557kg/t铁,取得了重大进展。

高炉富氧喷吹煤粉不仅可以大幅度降低焦比,增加产量,而且可以缓解我国焦煤资源不足的矛盾。我国煤炭资源丰富,但是焦煤资源不足,无烟煤和非炼焦煤占 $\frac{2}{3}$,焦煤资源中,气煤占一半以上,肥煤、焦煤和瘦煤各占13.87%、17.7%和12.01%,而且地理上分布不均,焦炭数量不足,质量下降是限制我国钢铁生产发展的薄弱环节。80年代重点企业冶金焦炭质量不断下降,近十年中,灰分由13.58%上升到14.58%(比国外高3%~4%),含硫量由0.66%上升到0.72%,强度不断下降,M40由77.57%下降到76.21%(比国外先进高炉低6%~8%),M10由7.59%上升到8.23%。焦炭要改善质量,则数量短期内不可能有较大增加。富氧喷吹煤粉、

以煤代焦是目前我国高炉强化的主要途径。

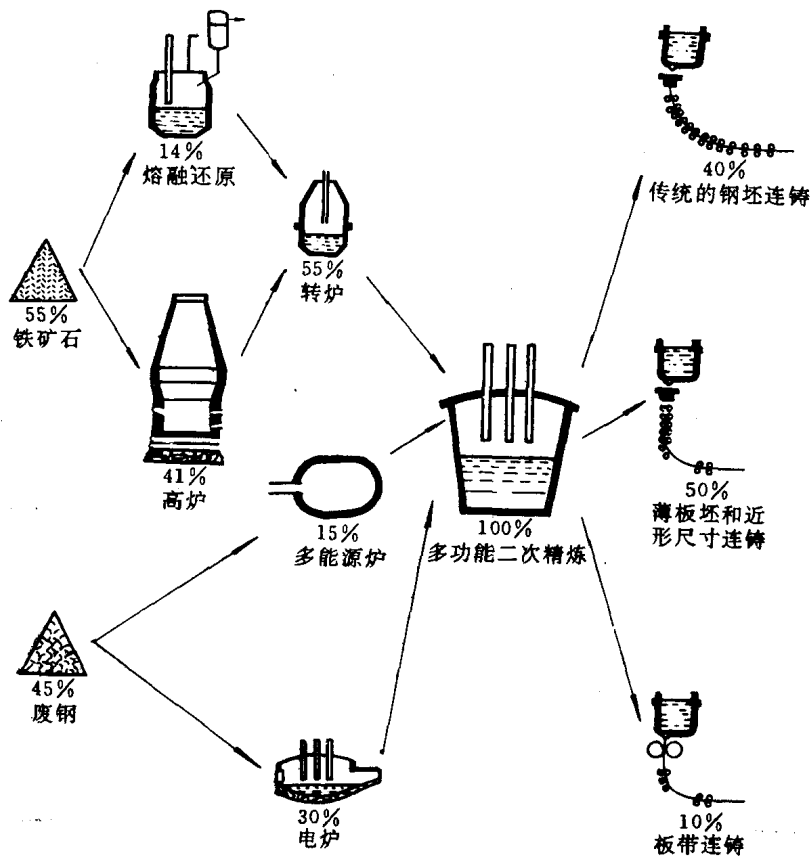


图 1 2020 年前后钢铁冶金流程图

60 年代初,北京科技大学冶金系已开始致力于高炉喷吹煤粉研究。近十余年来,作者先后与德国亚琛工业大学(TH Aachen)、蒂森钢铁公司(Thyssen)、瑞典钢铁公司(SSAB)、北欧冶金研究所(MEFOS)和韩国浦项钢铁公司(POSCO)合作,由钢铁冶金、物理化学、煤化学、燃烧学和传输原理等基础理论出发,以实验结果为依据,提出富氧、喷吹烟煤、提高风温和改进喷吹的方法,由提高煤

粉燃烧率入手进一步提高喷吹量。作者进而与国内宝钢、首钢、鞍钢、包钢和武钢合作,推动高炉富氧喷吹煤粉工作的开展。作者先后在国内外研制了高炉风口循环区煤粉燃烧模拟装置、高速激波管气固两相流测定装置、气氛可控煤粉灰分熔点测定装置和煤粉燃烧状况模拟装置,分别可以模拟风温大于 1000°C 、实验室温度达到 $1160\sim 1750^{\circ}\text{C}$ 、加热速度达 10^5K/s 、燃烧时间小于 20ms 和风速大于 20m/s 的状态,提出了应用氧煤枪在风口前面直接富氧,显著提高煤粉周围局部区域氧气浓度的技术思想,并为国内外厂家采用,取得了良好的效果。

结合十余年来作者科研和研究生教学工作的体会,由高炉喷吹煤粉的性能入手,研究了氧煤喷枪空气动力学特性和富氧喷吹煤粉的气固两相流动的行为,并以煤粉燃烧动力学出发介绍了高炉氧煤喷吹煤粉数值模拟的方法。作者希望本书的出版为国内钢铁冶金、热能工程专业高年级学生和研究生提供一本教学参考书,也可供冶金热能领域科技人员参考。

作者深切感谢德国亚琛工业大学古登纳教授(H. W. Gudenau)、瑞典北欧冶金研究所高级研究员韦兆祥先生(J. O. Wirkstrorn)、鞍钢莫燧炽副总工程师、首钢刘云彩高级工程师、武钢于仲洁高级工程师、包钢汪大钰厂长、宝钢蔡祥麟厂长和北京钢铁研究总院周渝生博士多年的合作与支持,深切感谢刘述临教授、董一诚教授提供许多宝贵的建议。作者并对研究生杨珉、刘应书、张艳允、廖冬生、陈海勇的工作表示由衷的感谢。

由于作者水平有限,不妥和疏漏在所难免,恳请各位专家、前辈和读者批评指正。

杨天钧 苍大强 丁玉龙 谨识

目 录

1 概 述	1
1.1 高炉喷吹煤粉技术的发展	1
1.1.1 早期试验阶段	1
1.1.2 大规模发展阶段	2
1.2 高炉富氧喷吹煤粉的理论与实践	10
1.2.1 富氧对喷煤的影响	10
1.2.2 喷枪位置和形式对煤粉流动行为的影响	13
1.2.3 煤粉粒度与组成对燃烧的影响	14
参考文献	18
2 高炉喷吹煤粉的性能研究	20
2.1 中国煤炭资源及高炉喷吹的常用煤种	20
2.2 喷吹煤粉的理化性能	22
2.2.1 喷吹煤粉的密度、堆角及比表面积	22
2.2.2 煤的可磨性	23
2.2.3 煤粉的粒度分布及平均粒度	24
2.2.4 煤粉着火点及灰熔点	27
2.2.5 煤粉自燃和爆炸性能	28
2.2.6 煤粉比热及导热系数	41
2.2.7 煤的化学性能及对喷吹工艺的要求	42
2.3 喷吹用煤的煤相研究	47
2.3.1 煤的形成及其化学结构	47
2.3.2 煤的煤相组成概述	50
2.3.3 煤的理化性能与煤相组成的关系	51
2.3.4 喷吹用煤粉在加热过程中的煤相及其 理化性能的变化	53
参考文献	57
3 高炉氧煤喷枪空气动力学特性研究	59

3.1	高炉煤粉喷枪的发展	59
3.2	高炉喷煤工艺对氧煤枪的性能要求	63
3.3	氧煤枪出口射流的空气动力学特性	65
3.3.1	同轴射流与套筒式氧煤枪的设计	65
3.3.2	同轴旋转射流与螺旋式氧煤枪的设计	68
3.3.3	大速差同轴射流及拉瓦尔式喷枪的设计	71
3.3.4	交叉射流与双枪配制氧煤枪	78
3.3.5	浸没射流——氧煤枪出口流股与直吹 管内流股的组合	82
3.4	直吹管内氧煤枪出口冷态三维流场及氧浓度场	87
3.4.1	螺旋式氧煤枪出口冷态三维流场	89
3.4.2	拉瓦尔式氧煤枪出口冷态三维流场	99
3.4.3	氧煤枪出口区域氧浓度场的研究	103
3.5	直吹管内氧煤枪出口煤粉动态行为及混合特性	111
3.5.1	喷吹煤粉对直吹管内热风湍流脉动 的影响	111
3.5.2	热风湍流脉动对煤粉颗粒的作用分析	112
3.5.3	煤粉颗粒的自旋运动	121
3.5.4	煤粉与热风的宏观混合特性及其在热 风中的微观扩散	123
参考文献		126
4	高炉氧煤喷吹系统中的气固两相流动	128
4.1	煤粉气力输送的基本问题	128
4.1.1	管内颗粒的运动形式及产生机理	128
4.1.2	管内气固两相流动的工况	129
4.1.3	气力输送中最小输送速度及推荐值	131
4.1.4	气力输送的压降计算	132
4.2	气力输送管道截面上的浓度分布及速度分布	137
4.2.1	水平管内的颗粒速度分布	137
4.2.2	水平管内颗粒浓度分布	140

4.2.3	垂直管内颗粒的速度分布	141
4.2.4	垂直管内颗粒浓度分布	144
4.3	煤粉分配器	148
4.3.1	分配器的研究概述	149
4.3.2	煤粉盘式分配器的分配机理及设计准则 ...	152
4.3.3	煤粉盘式分配器的分配精度	156
4.3.4	球式分配器	161
4.4	高炉富氧煤粉喷吹系统的磨损	166
4.4.1	磨损机理概述	166
4.4.2	磨损量计算模型	169
4.4.3	弯管磨损	171
4.4.4	喷吹煤粉对高炉风口的磨损	179
4.4.5	盘式分配器的磨损	185
参考文献		188
5	高炉富氧喷吹的煤粉燃烧动力学	191
5.1	高炉喷吹煤粉燃烧过程的特点	191
5.2	高炉煤粉燃烧动力学研究	193
5.2.1	煤粉热分解动力学和挥发分燃烧动力学 ...	193
5.2.2	半焦燃烧动力学	195
5.3	高炉煤粉的着火、燃烧及燃烬时间	211
5.3.1	着火过程	211
5.3.2	火焰的传播	212
5.3.3	高炉氧煤枪的火焰“黑根”	216
5.3.4	煤粉的燃烬时间	219
5.4	提高高炉喷煤量和煤粉燃烧率的主要途径	233
5.4.1	选择合适的煤种	233
5.4.2	富氧煤粉喷吹	234
5.4.3	高热风温度	234
5.4.4	煤粉燃烧催化剂及燃烧促进剂	234
5.4.5	选择煤粉合适的粒度	235

5.4.6	合理的氧煤枪结构及插枪位置	236
5.4.7	选择合理的喷煤系统	236
5.4.8	解决因大量喷煤造成高炉不顺行的一切关键问题	236
参考文献		237
6	高炉富氧煤粉喷吹的数值模拟	238
6.1	富氧煤粉喷吹过程的模化方法	238
6.2	富氧煤粉喷吹过程数值模拟的基本方程	239
6.2.1	概述	239
6.2.2	用欧拉法建立基本方程	240
6.2.3	用拉格朗日法建立基本方程	251
6.3	基本方程的数值解法	256
6.3.1	基本方程的归一化及特点	256
6.3.2	基本方程的离散化方法	258
6.3.3	求解气固两相流动的 SIMPLE 算法	261
6.4	数值模拟在富氧煤粉喷吹过程中的应用	263
6.4.1	氧煤枪枪体温度场及枪内流体流场的数学模型	263
6.4.2	高炉直吹管条件下煤粉快速热解前的传热模型	284
6.4.3	高炉煤粉的上限喷吹量、最佳煤粉粒径及枪头位置的估算模型	293
6.4.4	高炉富氧煤粉喷吹时风口区的燃烧数学模型	299
6.4.5	大喷吹量下模拟高炉内煤粉燃烧的数学模型	316
参考文献		328
7	高炉富氧煤粉喷吹的前景	330
7.1	煤粉喷吹的前景	330
7.1.1	煤炭资源	330

7.1.2 喷煤量	331
7.1.3 燃烧率	333
7.1.4 烟煤喷吹	335
7.2 小结	338
参考文献	340

1 概 述

1.1 高炉喷吹煤粉技术的发展

高炉喷吹煤粉始于 1840 年班克(S. Banks)喷吹焦炭和无烟煤的设想。世界上最早的工业应用是根据这一设想在 1840~1845 年间于法国博洛涅附近的上马恩省炼铁厂实现的。该项技术在 1881 年获得专利^[1]。

1.1.1 早期试验阶段

早在本世纪 60 年代初,世界各国在开发喷油技术的同时,一些钢铁公司与研究所确定了工业高炉喷煤粉的目标,随即高炉喷煤技术得到迅速发展。

现代第一次大规模的工业高炉喷煤试验是由国际钢铁联合会于 1961 年在北美汉纳公司的 2 号高炉上完成的。该高炉炉缸直径 5m,现已停炉,采用欧洲和日本改进的石油碳化物喷吹系统。试验用煤的挥发分为 17~40%,灰分为 4~8%,记录的喷煤量为 12kg/t 铁,相当于高炉所需焦炭量的 15%。接着,在威尔顿钢铁公司的 4 号和 3 号高炉也进行了喷煤试验,据记载,最大喷煤量达到 43kg/t 铁,由于煤粉颗粒对风口造成严重的侵蚀,该喷吹工艺没能继续进行。

阿姆科钢铁公司的阿什兰工厂于 1966 年利用巴布科克-威尔克科斯公司共同开发的喷吹系统在贝勒丰特高炉上开始连续喷煤,在 60 年代后期年平均喷吹量约 45kg/t 铁。阿曼达高炉被认为是阿姆科钢铁公司的第一座完全将喷吹煤粉应用于工业规模的高炉,它的喷吹系统是在 1972 年安装的,该系统对原系统的操作和维护进行了改进,还吸收了贝勒丰特高炉喷煤设备成功的经验,

1973 年其平均喷煤量为 58.3kg/t 铁,相当于燃料总消耗量的 12.5%。

美国钢铁公司于 1968~1969 年在芝加哥厂 12 号高炉选用石油碳化物喷吹系统进行煤粉喷吹的试验,记载的最大喷吹量为 112 kg/t 铁,平均喷吹量为 90kg/t 铁。

在北美进行试验的同时,欧洲、亚洲及澳大利亚也进行了类似的试验^[2]。

我国于 1964 年 5 月首次在鞍钢 6 号高炉喷吹烟煤,因爆炸事故,一度中断^[3]。同年开始在首钢 1 号高炉 (576 m³) 进行喷吹无烟煤试验^[4]。1965 年 10 月,在没有富氧的情况下,喷煤率达到 30% 以上。虽然高炉操作出现了一些困难,即由于炉缸温度不足等原因有时引起炉缸工作状态失常,但这仍是当时国内外工业试验取得的最好成绩。当时的炉况失常表现有:(1)炉渣粘稠,流动性差,渣中大量带铁;(2)高炉压差升高,出铁后 1h 起,风量自动减少;(3)炉渣脱硫能力差,与正常时期比较,铁水含硅量较正常水平高 0.01%。经过调整高炉操作,首钢于 1966 年又进行了大量喷吹量的试验。当时全厂在年平均入炉品位 52.15%、渣量 521 kg/t 铁、风温为 1092℃ 的情况下,喷煤量达到 159kg/t 铁,喷吹率达 25.40%。其中 1 号炉在入炉品位 51.80%、渣量 569kg/t 铁、风温为 1105℃ 的情况下,喷煤量达 225kg/t 铁,喷吹率达 35.21%。1966 年 5 月份,煤比达到 279kg/t 铁,喷吹率为 45.4%,焦比降至 336kg/t 铁,置换比为 0.804^[5]。这些技术指标在当时处于世界领先地位,蜚声中外。

1.1.2 大规模发展阶段

70 年代,煤粉喷吹技术的持续发展遇到了困难。由于石油成本降低,而且喷煤设备投资比喷油的高,使得世界各国大都转向喷油,喷煤的发展因此停滞了十多年。当时世界范围一直坚持喷煤的有三个地区:中国、前苏联、美国阿姆科钢铁公司的阿什兰厂。直到 1973~1979 年,由于石油价格上涨,高炉喷油已不经济,促使国际上对喷吹的燃料种类有了新的认识。80 年代初,煤粉喷吹在欧洲

和远东迅速复兴。

1.1.2.1 国外喷煤现状

日本于1981年开始采用高炉喷煤技术,到1992年末喷煤高炉已发展到27座,占全部33座高炉的81.8%,据报道,到1995年全部高炉都将喷吹煤粉。在喷煤量方面,1984年日本高炉喷煤量仅9kg/t铁,其中新日铁公司为70kg/t铁,神户钢铁公司为100kg/t铁以上。1991年,新日铁、川崎制铁、日本钢管、住友金属、以及神户制钢等五大公司高炉平均喷煤70kg/t铁。在以上五大公司的21座喷煤高炉中,喷煤量超过100kg/t铁的有9座,其中喷煤量最大的神户3号高炉(1845m³)平均喷煤量达到175.5kg/t铁,月平均最高喷煤量达到187.8kg/t铁。目前,日本高炉喷煤量有继续增加的趋势,今后经改造或新建的喷煤设备,喷煤量都要达到100kg/t铁以上,如1991年6月投产的千叶6号高炉(4500m³),喷吹能力为120kg/t铁,投资36亿日元;福山4号高炉(4288m³)设计喷吹能力为180kg/t铁;水岛3号高炉(4359m³)将建喷煤能力为200kg/t铁的喷煤系统,各企业都在积极开发大喷吹量的操作技术^[1,6,7]。

德国蒂森钢铁公司汉伯恩厂4号高炉于1985年首次采用喷煤技术,该公司1991年末有11座高炉喷煤。施韦尔根厂4084m³高炉于1987年开始喷煤,1988年创造了煤比173.33kg/t铁、焦比306.52kg/t铁的好成绩,1990年全年平均喷煤163.1kg/t铁,焦比为312.76kg/t铁。另外,迪林根公司5号高炉(2790m³)也于1986年设置了喷煤装置,设计能力为140kg/t铁,1988年喷吹量达104kg/t铁。1992年蒂森钢铁公司的五座高炉(汉伯恩厂4号和9号高炉、施韦尔根厂1号高炉、鲁劳特厂6号和9号高炉)1~9月的平均喷煤量大于140kg/t铁,其中施韦尔根1号高炉最大喷煤量达180kg/t铁。喷煤后的利用系数为2.07~2.53t/(m³·d),平均在2.4t/(m³·d)左右,焦比下降到350kg/t铁左右,最低达320kg/t铁,燃料比为478~499kg/t铁,高炉鼓风含氧21.26~24%,平均富氧率约为2%。其中施韦尔根1号高炉日平均喷煤量

达到 200kg/t 铁,约占总燃料的 40%。另外,蒂森钢铁公司的汉伯恩 4 号高炉(1860m³)进行了不同煤种的喷吹试验,如 1986 年进行了喷吹褐煤粉 110~140kg/t 铁的试验。该公司近期将作吨铁喷吹 250kg 煤粉的试验,他们的目标是达到燃料消耗中,煤和焦炭各占一半^[6]。

英国于 1983 年正式开始采用喷煤技术,至 1991 年末已有 9 座高炉喷煤。英国钢铁公司现有 6 座高炉采用粒煤喷吹技术(GCI),粒度上限为 2~3mm。该公司斯肯索普厂共有 4 座高炉,容积为 1397~1626m³,于 1982 年开始喷吹粒煤,至 1991 年末平均喷煤量达 125~130kg/t 铁。1984 年,维多利亚女王号高炉(容积 1537m³,炉缸直径 9m,24 个风口)开始喷吹粒煤,1990 年底 5 天时间喷煤量曾达到 200kg/t 铁,并于 1992 年 1~2 月,创下焦比为 289kg/t 铁的最低记录。其操作指标见表 1-1。

表 1-1 1992 年 1~2 月维多利亚女王号高炉的操作指标

日 期	1. 11	1. 18	1. 25	2. 1	2. 8	2. 15
产量, t/d	3532	3538	3547	3605	3479	3324
作业率, %	99. 95	99. 30	99. 90	100. 00	98. 60	98. 60
利用系数, t/(m ³ ·d)	2. 29	2. 30	2. 31	2. 35	2. 26	2. 16
冶金焦, kg/t 铁	283	284	266	265	264	280
焦丁, kg/t 铁	19	20	21	20	20	21
粒煤, kg/t 铁	183	189	213	205	208	205
风量, km ³ /h	121. 0	122. 7	126. 0	134. 3	125. 8	120. 8
富氧, %	8. 0	7. 8	8. 1	8. 0	7. 9	7. 9
风温, C	1132	1136	1140	1129	1103	1108
湿分, g/m ³	30	25	18	19	15	22

续表 1-1

日 期	1. 11	1. 18	1. 25	2. 1	2. 8	2. 15
风压, MPa	0. 277	0. 270	0. 268	0. 264	0. 269	0. 269
顶压, MPa	0. 170	0. 168	0. 170	0. 170	0. 169	0. 165
η_{co} , %	51. 6	51. 3	51. 0	51. 2	51. 6	50. 5
[Si], %	0. 55	0. 51	0. 54	0. 49	0. 51	0. 68
[S], %	0. 022	0. 031	0. 026	0. 026	0. 030	0. 023
温度(铁水沟), C	1490	1478	1462	1480	1474	1475
渣量, kg/t 铁	258	259	262	274	271	270

自 1988 年 4 月起,在欧洲铁钢联盟的资助下,英国钢铁公司和荷兰霍戈文钢铁公司及意大利依尔瓦公司联合,共同在克里夫兰炼铁厂进行了氧煤喷吹试验。头两年在中试炉上试验,炉况稳定,配加部分直接还原球团时,最大喷煤量曾达到 420kg/t 铁,焦比降到 250kg/t 铁以下。从 1990 年起,开始在克里夫兰 4 号高炉上进行试验。该高炉容积为 600m³,炉缸直径为 5.6m,共有 12 个风口,正常生产能力为 1000t/d。在富氧喷吹粒度上限为 3mm 的粒煤的过程中,高炉炉况稳定,冶炼[Si]为 2.5%的铸造生铁时,喷煤量达到 300kg/t 铁,焦比为 303kg/t 铁;冶炼低硅铁时,喷煤量达到 270kg/t 铁,焦比降为 271kg/t 铁。试验中最大喷煤量达到 318kg/t 铁,煤粒得到充分燃烧,置换比为 0.85,风口和喷枪使用情况良好。该试验计划将喷煤量提高到 400kg/t 铁,鼓风中含氧气浓度预计达到 51%^[6,8]。部分试验结果见表 1-2。

法国 1982 年开始采用高炉喷煤技术,现已有 9 座高炉喷吹煤粉。于齐诺尔公司于 1983 年在敦克尔克厂 2 号高炉(1586m³)上设置了喷煤装置,平均喷煤量为 100kg/t 铁,1985 年实现了煤比为 143kg/t 铁,焦比为 313kg/t 铁的当时最好水平。法国最大的敦克

尔克4号高炉(4802m³)也于1988年5月大修时建设了喷煤装置,喷吹量为100kg/t铁左右。1990年7月,敦克尔克4号高炉喷煤量达到180kg/t铁,焦比降为295kg/t铁(大块焦270kg/t铁+小块焦25kg/t铁),这一水平持续了几个月。其间热风含氧量为25%,风口前火焰温度保持在2050℃以上,小块焦和烧结矿混合装入,炉况非常稳定。另外,索拉克公司福斯厂于1990年2月起在两座高炉上喷吹煤粉和焦炉煤气,高炉利用系数达到2.02t/(m³·d)。洛尔丰特公司近几年也在4座高炉(1200~1434m³)上安装了喷煤装置,喷吹粒度为2mm左右的烟煤,喷吹量为100kg/t铁^[1,6]。

表 1-2 克里夫兰4号高炉喷煤试验结果^[8]

周	风量 m ³ /min	风温 ℃	氧量 m ³ /min	富氧量 %	焦比 kg/t	煤比 kg/t	η_{CO} %	铁水温度 ℃	[Si] %	产量 t/d
1	616	1065	36.5	4.5	442	149	45.2	1531	3.53	776
2	560	1070	50.0	6.5	408	196	42.7	1496	2.62	765
3	550	1072	62.7	8.0	415	216	40.5	1547	3.11	703
4	549	1074	72.3	9.2	375	236	40.6	1511	2.73	779
5	527	1080	102.1	12.8	385	252	40.6	1497	2.45	848
6	516	1085	93.7	12.1	373	247	41.9	1569	3.49	718
7	526	1095	94.4	12.0	373	235	41.9	1488	2.46	813

荷兰霍戈文钢铁公司艾莫伊登厂的两座高炉,1992年高炉喷煤为124~175kg/t铁,其中6号高炉年平均吨铁喷煤量为176kg,焦比为307kg,而6~11月平均喷煤量高达192.5kg/t铁,11月份,小块焦(36kg/t铁)与矿石混装并布料至炉喉边缘区,喷煤量加大到204kg/t铁,焦比降至240kg/t铁,总燃料比则为480kg/t