

# 高炉富氧喷煤

—— 氧煤混合与燃烧

杨天钧 刘应书 杨 珉 著

38.6

3

科学出版社

高炉富氧喷煤  
——氧煤混合与燃烧

杨天钧 刘应书 杨 珉 著

科学出版社

1998

## 内 容 简 介

高炉富氧喷煤是高炉炼铁节焦降耗、提高劳动生产率的重大新技术。本书是关于高炉富氧喷煤时氧煤混合与燃烧过程的专著。全书共分十二章，内容包括高炉富氧喷吹煤粉时直吹管内气体的三维流场、氧浓度场、煤粉浓度场和煤粉停留时间分布，高氧喷吹煤粉的气-固两相流动及传热数值模拟，不同煤种的显微结构，煤粉的富氧燃烧，喷吹方式对燃烧的影响，煤粉的混合燃烧，煤粉的催化燃烧，高炉炉前供氧及安全控制技术。

本书可供冶金专业、热能工程专业的研究人员、工程师和生产管理人员以及有关专业的大学教师、研究生阅读参考。

### 高炉富氧喷煤

#### ——氧煤混合与燃烧

杨天钧 刘应书 杨珉 著

责任编辑 陈菊华

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码：100717

新世纪印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

\*

1998年10月第一版 9787·850×1168 1/32

1998年10月第一次印刷 印张：7 1/4 插页：4

印数：1-1500 字数：195000

ISBN 7-03-006784-3/T F · 44

定 价：19.00 元

(如有印装质量问题，我社负责调换〈环伟〉)



图 7.1 结构镜质体 1 (光片,油浸)

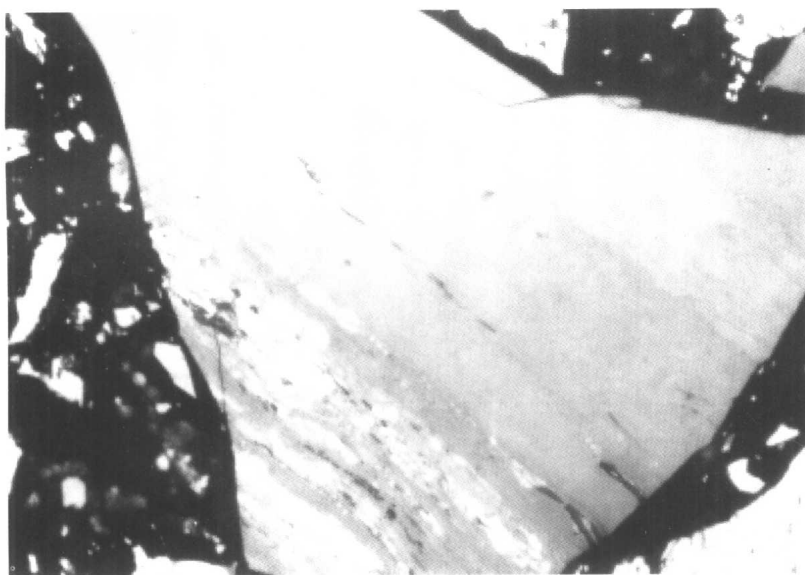


图 7.2 均质镜质体 (光片,油浸)

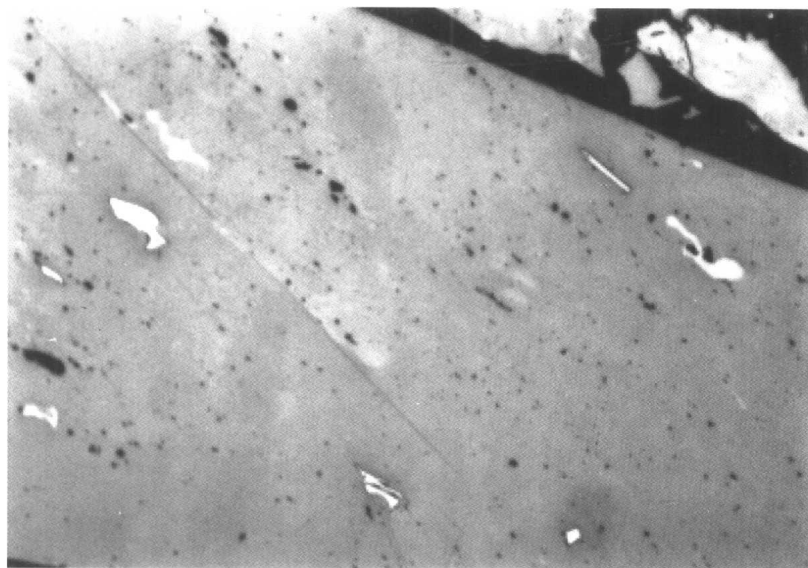


图 7.3 非均一基质镜质体 (光片, 油浸)

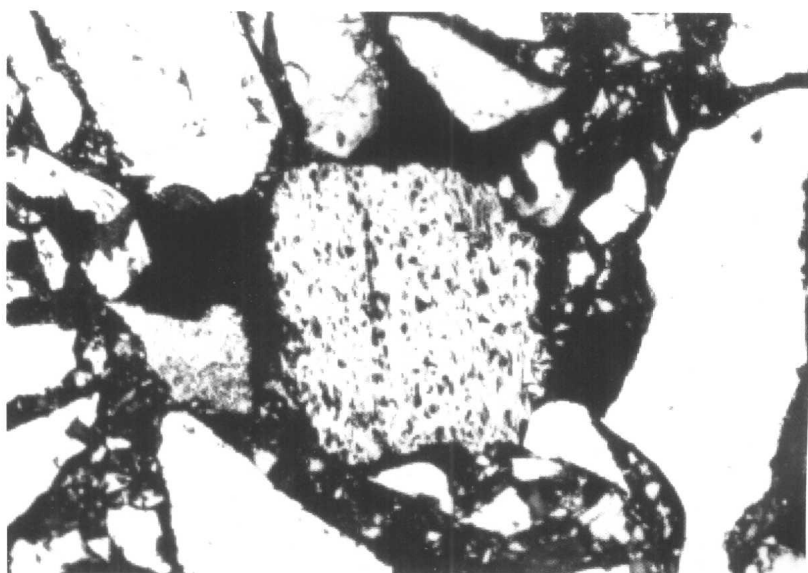


图 7.4 结构丝质体 1 (光片, 油浸)

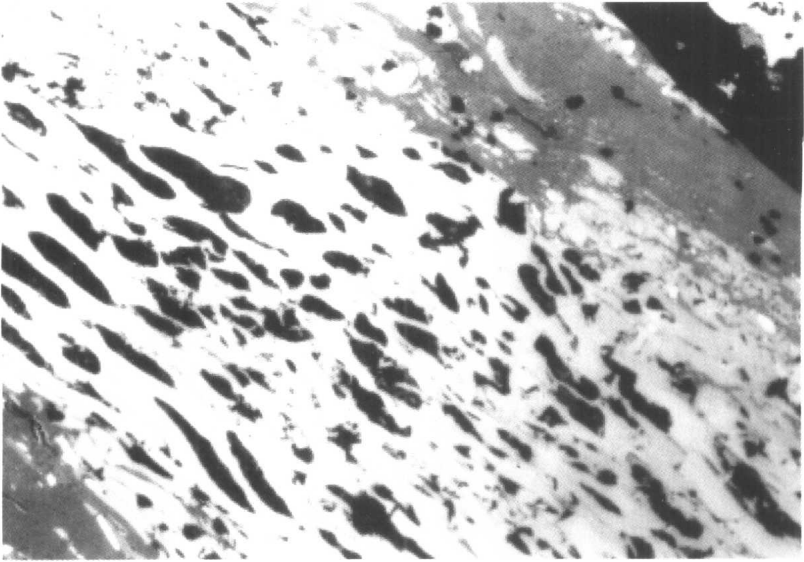


图 7.5 结构丝质体 2 (光片,油浸)

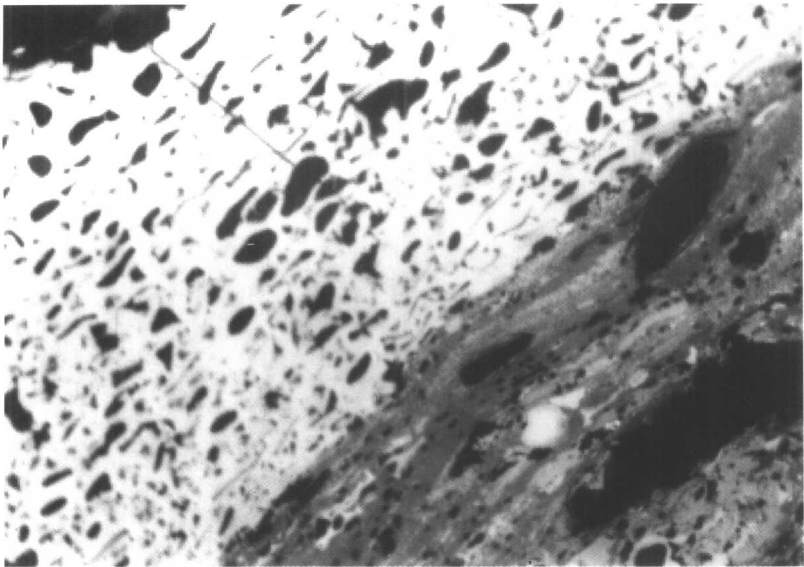


图 7.6 微粒丝质体 (光片,油浸)

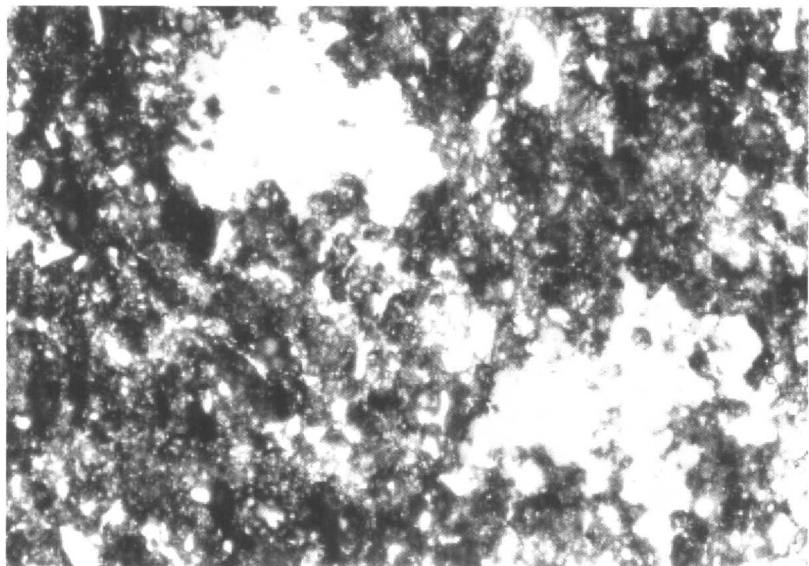


图 7.7 粘土矿物 (光片,油浸)

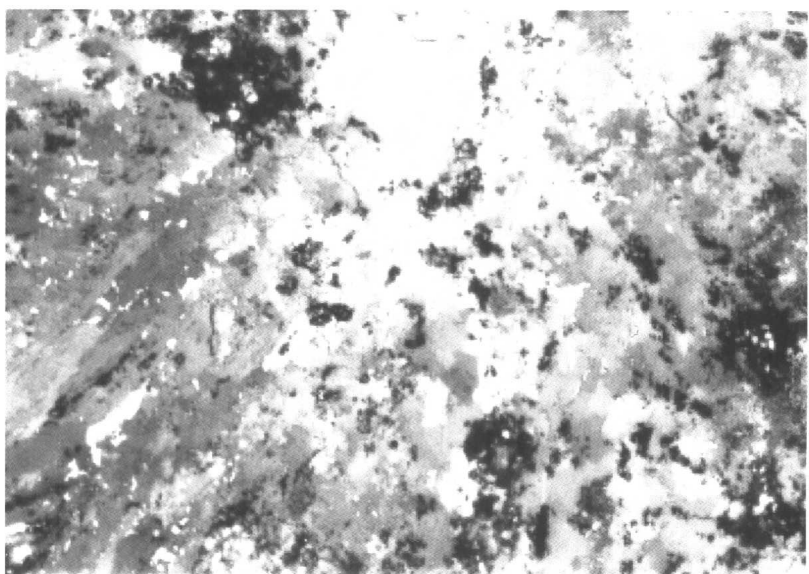


图 7.8 碳酸盐矿物 (光片,油浸)

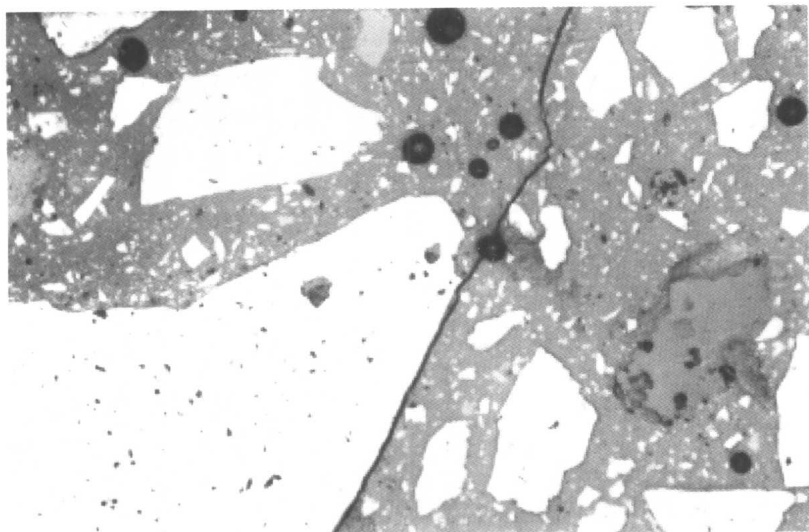


图 7.9 烟煤的主要组分——结构镜质体 (光片)

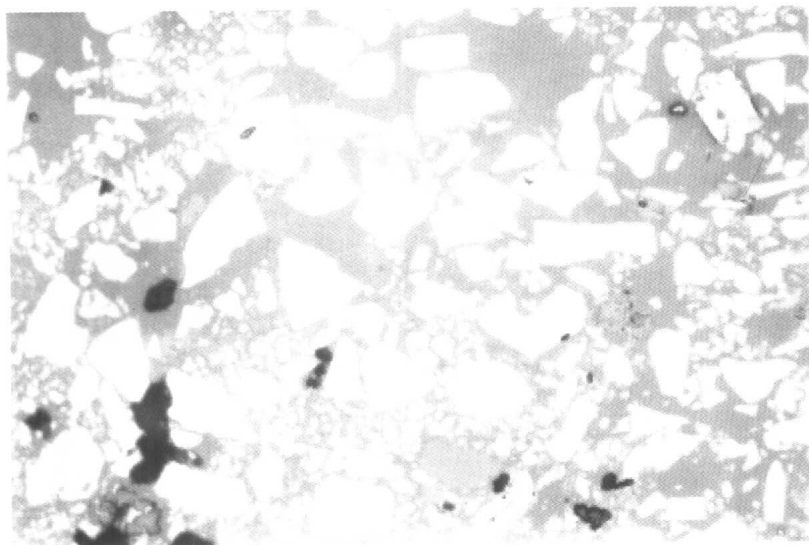


图 7.10 无烟煤的主要组分——无结构镜质体 (光片)



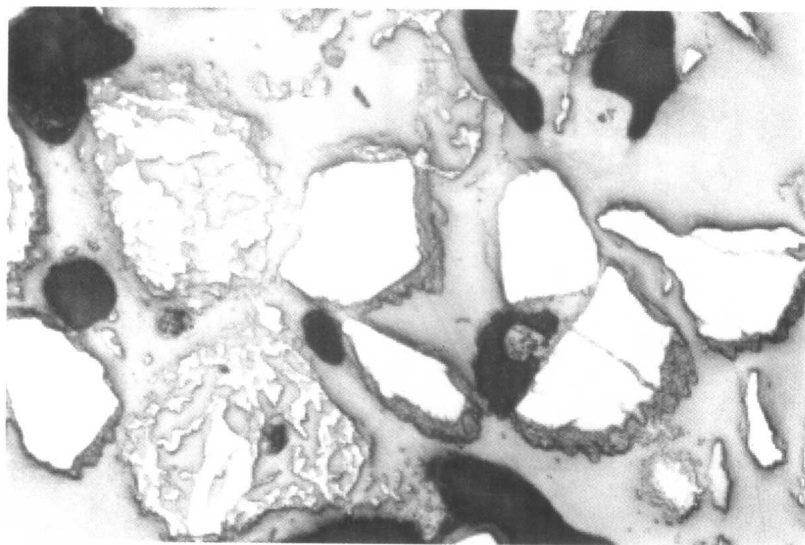


图 7.11 煤粉颗粒的层状燃烧方式(1) (光片)

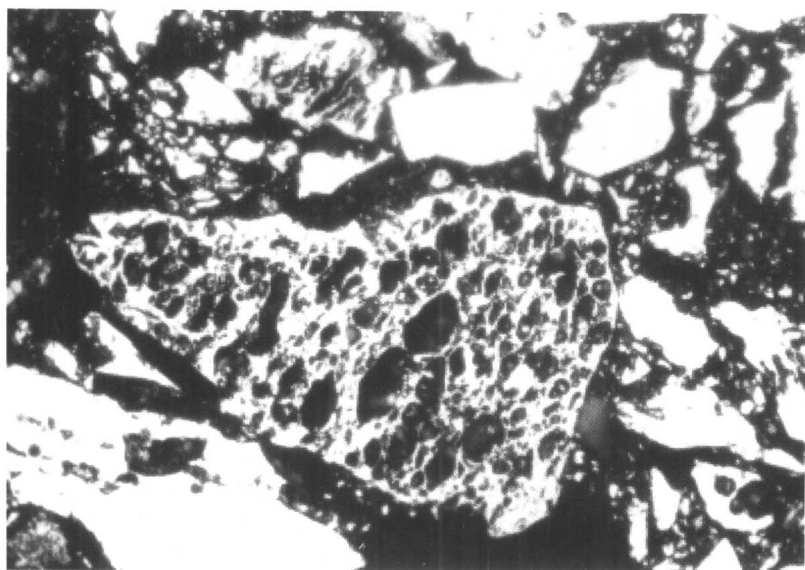


图 7.12 煤粉颗粒的内孔燃烧方式(1) (光片)

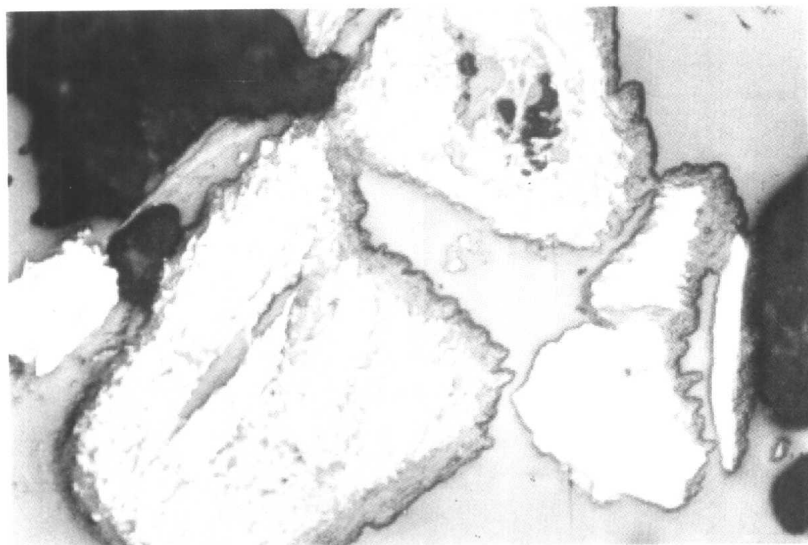


图 7.13 煤粉颗粒的内外同时燃烧方式 (光片)

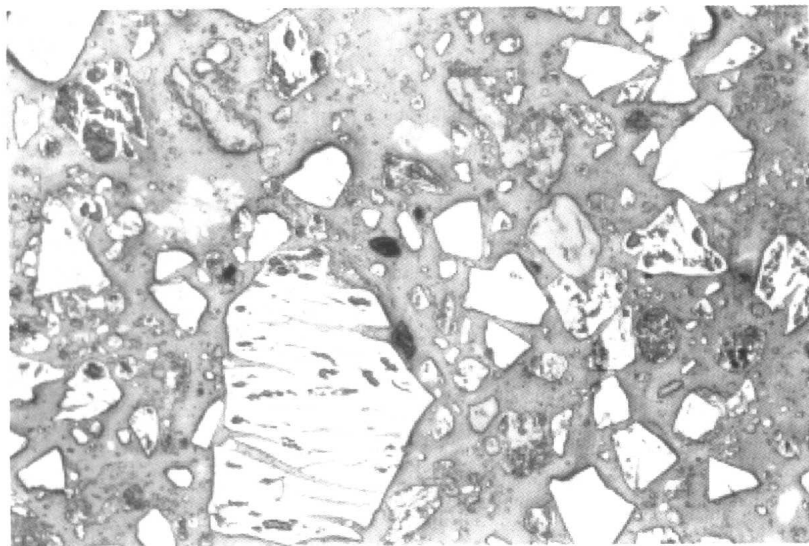


图 7.14 煤粉颗粒的裂隙燃烧方式 (光片)

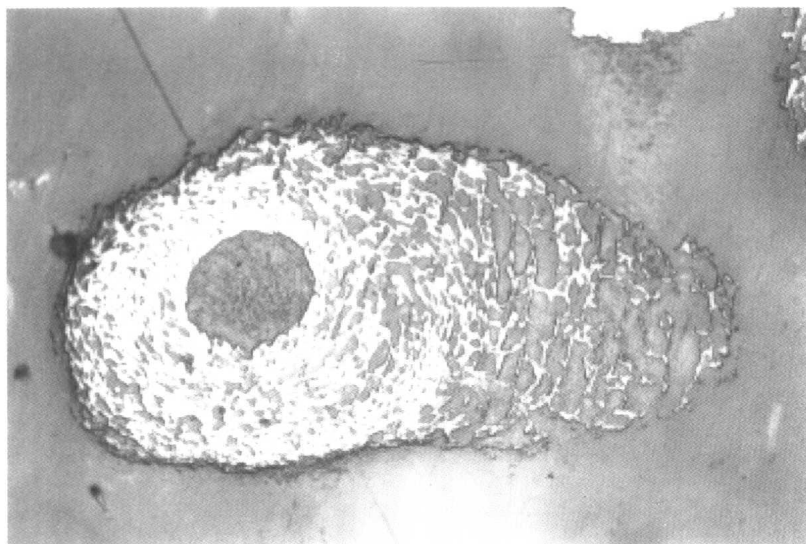


图 7.15 煤粉颗粒的内孔膨胀燃烧方式(1) (光片)

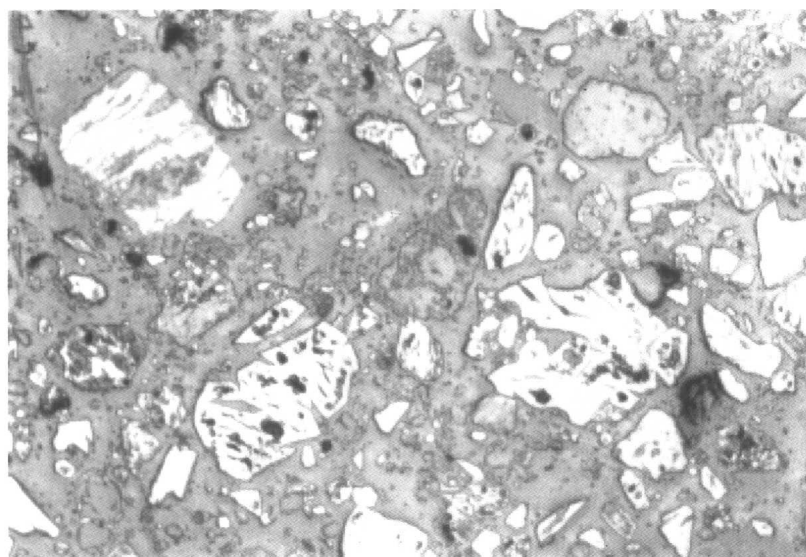


图 7.16 煤粉颗粒的碎裂燃烧方式 (光片)

TF538.6

## 序 言

高炉喷煤技术产生于 19 世纪,然而,直到 20 世纪 60 年代,这一技术才真正开始大规模地应用于工业生产.这一时期,由于能源价格等因素的限制,高炉喷煤技术并未得到很快的发展.70 年代末,发生第二次石油危机以后,为了避免全焦操作,高炉喷煤技术充分显示出它的潜力,才有了迅速发展.近年来,国外工业发达国家一批焦炉老化,由于环保和投资方面的原因,新建和改建焦炉十分困难,为了保持已有的钢铁生产能力,必须大规模降低焦炭消耗.在这种情况下,喷煤已不仅是高炉调剂的一项重要手段,而且是弥补焦炭不足的主要措施.就世界范围而言,炼焦用煤资源日益短缺,富氧喷煤已成为高炉技术发展的必然趋势.

自从 80 年代初开始工业上大量喷吹煤粉以来,目前,西欧有 50 余座高炉、日本有 30 余座高炉在大力喷吹煤粉.美国和韩国近年来也在大力发展喷煤技术.

喷煤技术的发展趋势是喷煤量大幅度提高,焦比大幅度降低.欧洲和日本高炉的喷煤比一般已达到 140—180kg/t 铁,在有些高炉上,则达到了 200kg/t 铁,而且,正在向 250kg/t 铁的目标迈进.高炉喷煤技术的又一个发展趋势是富氧喷煤.富氧喷煤可以改善煤粉燃烧过程,提高置换比,并保证高炉顺行.在国外,许多高炉富氧量已达到 40—70m<sup>3</sup>/t 铁.此外,国外许多高炉喷吹烟煤或把烟煤、无烟煤甚至褐煤混合在一起喷吹.

我国从 1964 年开始在大型高炉上喷吹煤粉,是世界上应用喷煤技术较早的国家.在我国发展高炉喷煤技术有着较为深刻的技术和经济背景.我国煤炭资源虽然丰富,但炼焦煤资源状况并不乐观.炼焦煤仅占煤炭资源的 27% 左右;而其中强粘结性焦煤

又只占炼焦煤的 19%左右,而粘结性肥煤仅占 13%左右,经过连年开采,上述比例正在逐年下降.目前,我国采用散状煤装炉的炼焦法.为获得强度高的焦炭,焦煤和肥煤在配比上通常要争取达到 65%左右,实际资源状况已难以满足.此外,我国炼焦煤的资源分布也不均匀,产地多集中在华北地区,与钢铁企业布局极不协调,炼焦用煤需要长距离运输,才能到达使用地,成为铁路交通的重负.然而,我国非炼焦煤资源却十分丰富,而且分布较广,质量也有保证.把这些煤种应用于高炉,将会产生巨大的社会效益.

我国高炉用焦面临的另一个问题是我国煤产量虽然不低,但是洗煤能力存在较大的缺口.为了发展钢铁工业,我国必须在增加洗煤能力的同时尽量减少炼焦洗精煤的消耗.由于我国炼焦煤大部分可选性差,而且质量已呈下降趋势,优质炼焦洗精煤供应的紧张局面很难得到扭转.此外,我国钢铁工业三分之一的焦炉的炉龄已达 20—25 年,需要陆续进行大修,这也势必会影响到焦炭的供应.目前,我国一些钢铁企业的焦炭生产能力已显不足,但由于焦炉建设投资大、污染严重且难以治理,而且又需要依赖优质炼焦煤的供应,因而难以大量建设新的焦炉和改造旧的焦炉.面对我国钢铁工业出现的焦炭缺口,大量喷吹煤粉技术是一项最为经济实用的措施.

近年来,我国炼铁生产得到较大发展.1990 年生铁产量为 6 237 万吨,1995 年达到 10 171 万吨.自 1992 年以来,我国生铁产量一直列居世界首位.目前,我国钢铁企业正在推进结构优化,目的在于降低成本和投资,提高生产率.采用高炉大量喷吹煤粉技术,可以大幅度降低焦炭成本,少建焦炉,从而降低炼铁系统投资,大幅度降低生铁成本.高炉大量喷吹煤粉,需要富氧和提高风温,这有利于加速煤粉燃烧过程,维持高炉顺行,因而还能提高产量.总之,发展高炉喷煤技术对于我国钢铁工业的发展是一项具有重要战略意义的措施.它可以充分利用我国煤炭资源,缓解优质

煤的供需矛盾,使我国钢铁工业少建焦炉,减少污染,降低炼铁系统的投资和生产成本,因而能带来巨大的社会效益和经济效益.此外,由于我国高炉生产的焦比本来就高,迅速发展喷煤技术更显示出它的必要性和迫切性.

北京科技大学冶金系对高炉富氧喷煤的基本理论和工艺设备等方面进行了多年的科学研究,取得了一些成果.本书反映作者研究高炉富氧喷煤时氧煤混合与燃烧过程的成果和心得体会.全书共分十二章.第一章为绪论,在阐述高炉喷煤的意义和发展概况的基础上,分析了高炉富氧喷吹煤粉所要解决的技术问题.第二章至第五章,分别从高炉富氧喷吹煤粉时直吹管内气体的三维流场、氧浓度场、煤粉浓度场和煤粉停留时间分布等方面,系统地分析了氧煤的混合特性.第六章对高炉富氧喷吹煤粉的气-固两相流动及传热进行了数值模拟.第七章到第十一章,在研究不同煤种的显微结构的基础上,分别从煤粉的富氧燃烧、喷吹方式对燃烧的影响、煤粉混合燃烧、煤粉催化燃烧等方面介绍了作者在煤粉燃烧方面的研究成果.最后第十二章介绍与高炉富氧喷吹煤粉紧密相关的高炉炉前供氧及安全控制技术,着重介绍了高炉炉前氧气供应及安全控制综合系统.

作者的研究工作曾得到北京科学技术大学的前辈杨永宜、倪学梓、高仲龙、张先棹、刘述临和董一诚等老师以及课题组成员苍大强、顾飞、周渝生、丁玉龙等老师的支持.陈立东、廖东生、杨绍利、张艳允等研究生先后参加过试验工作.在多年的国际合作中还得到德国亚琛工业大学 H. W. 古登纳教授(Gudenau)、德国蒂森钢铁公司 B. 柯塔斯(Korthas)博士、克来比西(Kreibich)博士、瑞典 MEFOS 研究所 J. O. 韦兆祥(Wikstrom)先生的帮助.科学出版社王鸣阳、陈菊华等同志为本书的出版付出了很多心血.时值本书出版之际,并致衷心谢忱.作者学识有限,疏忽之处肯请专家学者批评指正.

作者谨识

## 主要符号说明

$A$	频率因子
$A_0$	煤原始灰分
$A_1$	煤残渣灰分
$A_p$	颗粒有效燃烧面积
$B$	壁面函数中 Von Karman 常数
$C$	浓度
$\bar{C}$	平均浓度
$C_p$	比热
$d$	煤粉颗粒直径
$d'$	颗粒内孔直径
$D$	扩散系数
$E$	反应活化能
$e$	颗粒碰撞系数
$F$	作用力
$G_r$	Grashof 数
$g$	重力加速度
$I$	光强
$J$	总流量密度(对流+扩散)
$k$	消光系数
$k_1$	络合速度常数
$k_2$	撞击下离解的速度常数
$k_d$	扩散反应速率系数
$k_m$	氧化剂向反应表面的扩散系数

# 目 录

## 序 言

## 主要符号说明

<b>第一章 绪论</b> .....	1
§ 1.1 引言 .....	1
§ 1.2 我国采用高炉喷煤技术的意义 .....	3
§ 1.3 高炉喷煤发展概况 .....	5
§ 1.4 高炉富氧喷煤及其发展 .....	9
§ 1.5 本书主要内容 .....	13
<b>第二章 高炉氧煤喷吹射流动力学</b> .....	16
§ 2.1 三维流场五孔探针计算机测量系统 .....	16
§ 2.1.1 五孔探针测速原理 .....	17
§ 2.1.2 计算机测量系统 .....	18
§ 2.2 高炉氧煤喷吹射流动力学试验研究 .....	19
§ 2.2.1 试验模型的相似准则 .....	19
§ 2.2.2 氧煤枪及直吹管模型 .....	21
§ 2.2.3 试验参数的确定 .....	22
§ 2.2.4 试验系统的建立 .....	24
§ 2.2.5 试验内容及主要结果 .....	25
§ 2.3 氧煤喷吹射流动力学特性 .....	27
§ 2.3.1 直吹管横截面上的三维速度分布 .....	27
§ 2.3.2 轴向速度最大值沿直吹管轴线方向的变化 .....	35
§ 2.3.3 氧煤枪射流动力学特性 .....	38
<b>第三章 高炉氧煤喷吹的氧浓度场</b> .....	41
§ 3.1 氧浓度场试验研究 .....	41
§ 3.1.1 试验设备 .....	41



§ 3.1.2	试验内容及主要结果 .....	42
§ 3.2	直吹管内氧浓度分布的主要规律 .....	44
§ 3.2.1	直吹管横截面上的氧浓度分布 .....	44
§ 3.2.2	氧浓度在直吹管轴线方向上的衰减变化 .....	49
§ 3.2.3	氧浓度等值线分布 .....	55
§ 3.2.4	局部富氧区域 .....	56
<b>第四章</b>	<b>高炉氧煤喷吹的煤粉浓度场 .....</b>	<b>61</b>
§ 4.1	红外透射法计算机测量系统 .....	61
§ 4.1.1	红外透射法测量原理 .....	61
§ 4.1.2	计算机测量系统 .....	62
§ 4.2	氧煤喷吹煤粉浓度场试验研究方法 .....	64
§ 4.2.1	气-固两相流动模化技术 .....	64
§ 4.2.2	氧煤喷吹气-固两相流试验装置 .....	67
§ 4.2.3	试验方法及主要内容 .....	69
§ 4.3	直吹管内煤粉浓度的分布特性 .....	70
§ 4.3.1	直吹管横截面上的煤粉浓度分布 .....	70
§ 4.3.2	煤粉浓度最大值在直吹管轴线方向上的变化 .....	75
§ 4.3.3	煤粉富集区域与局部富氧区域的匹配 .....	80
<b>第五章</b>	<b>煤粉在高炉直吹管内的停留时间分布 .....</b>	<b>85</b>
§ 5.1	测量原理及测量装置 .....	85
§ 5.1.1	测量原理 .....	85
§ 5.1.2	测量装置 .....	86
§ 5.2	直吹管内煤粉停留时间测定 .....	87
§ 5.3	结果与分析 .....	89
§ 5.4	实际喷吹过程煤粉停留时间的推算 .....	91
<b>第六章</b>	<b>高炉氧煤喷吹气-固两相流动及传热数值模拟 .....</b>	<b>94</b>
§ 6.1	高炉氧煤喷吹气-固两相流动及传热数学模型 .....	94
§ 6.1.1	物理模型 .....	94
§ 6.1.2	控制方程组 .....	95