

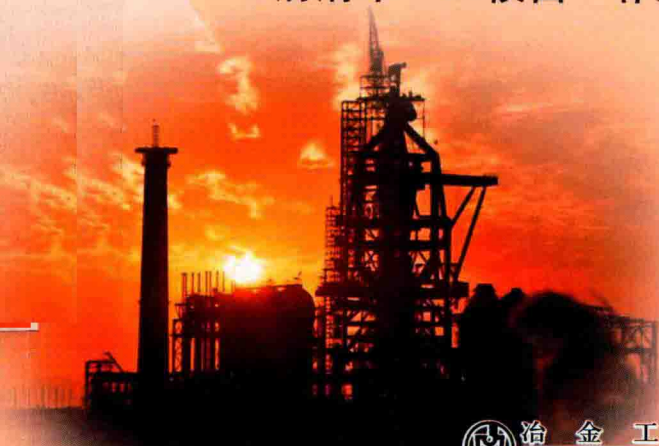
**冶金职业
技能培训** | **丛书**

中国金属学会组织

高炉喷吹煤粉 知识问答

(第2版)

汤清华 王筱留 祁成林 等编著



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

冶金职业技能培训丛书

高炉喷吹煤粉知识问答

(第2版)

汤清华 王筱留 祁成林 等编著

北京

冶金工业出版社

2016

内 容 提 要

本书总结了我国高炉喷吹煤粉实践经验,共分10章、528问,包括:煤的基础知识,煤粉储运、干燥、制备、输送、喷吹工艺和设备,高炉富氧喷煤冶炼,高炉喷煤设计计算、自动控制、安全操作等内容;附录汇总了我国80余种高炉喷吹用煤的煤粉性质以及高炉喷吹煤粉的安全环保控制指标。

本书可作为高炉喷吹煤粉培训用书,也可作为高炉喷煤生产、设计和科研相关领域工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

高炉喷吹煤粉知识问答 / 汤清华, 王筱留, 祁成林
等编著. —2版. —北京: 冶金工业出版社, 2016. 1
(冶金职业技能培训丛书)

ISBN 978-7-5024-7054-8

I. ①高… II. ①汤… ②王… ③祁… III. ①高
炉炼铁—喷煤—问题解答 IV. ①TF538. 6-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 010707 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 刘小峰 杜婷婷 美术编辑 彭子赫 版式设计 孙跃红

责任校对 王永欣 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-7054-8

冶金工业出版社出版发行; 各地新华书店经销; 固安华明印业有限公司印刷

1997年6月第1版, 2016年1月第2版, 2016年1月第1次印刷

850mm×1168mm 1/32; 15.375印张; 410千字; 450页

39.00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)

参加编写人员

(按姓氏笔画为序)

马树涵 王月秋 王筱留 汤清华

祁成林 苏东学 苏继武 吴 炽

张万仲 张建良 罗汝泉 高光春

丛书序言

新的世纪刚刚开始，中国冶金工业就在高速发展。2002年中国已是钢铁生产的“超级”大国，其钢产总量不仅连续7年居世界之冠，而且比居第二位和第三位的美、日两国钢产量总和还高。这是国民经济高速发展对钢材需求旺盛的结果，也是冶金工业从20世纪90年代加速结构调整，特别是工艺、产品、技术、装备调整的结果。

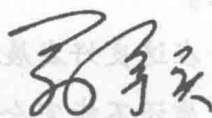
在这良好发展势态下，我们深深地感觉到我们的人员素质还不能完全适应这一持续走强形势的要求。当前不仅需要运筹帷幄的管理决策人员，需要不断开发创新的科技人员，也需要适应这新变化的大量技术工人和技师。没有适应新流程、新装备、新产品生产的熟练技师和技工，我们即使有国际先进水平的装备，也不能规模地生产出国际先进水平的产品。为此，提高技工知识水平和操作水平需要开展系列的技能培训。

冶金工业出版社根据这一客观需要，为了配合职业技能培训，组织国内有实践经验的专家、技术人员和院校老师编写了《冶金职业技能培训丛书》，以支持各钢铁企业、中国金属学会各相关组织普及和培训工作的需

要。这套丛书按照不同工种分类编辑成册，各册根据不同工种的特点，从基础知识、操作技能技巧到事故防范，采用一问一答形式分章讲解，语言简练，易读易懂易记，适合于技术工人阅读。冶金工业出版社的这一努力是希望为更好地发展冶金工业而做出的贡献。感谢编著者和出版社的辛勤劳动。

借此机会，向工作在冶金工业战线上的技术工人同志们致意，感谢你们为冶金行业发展做出的无私奉献，希望不断学习，以适应时代变化的要求。

原冶金工业部副部长
中国金属学会理事长



2003年6月18日

再版说明

本书从编写出版至今快 20 年了, 先后 5 次印刷发行, 作为原冶金工业部和中国金属学会为推广与普及高炉喷吹煤粉技术的培训教材, 本书受到了广大读者的欢迎。

1995 年全国炼铁高炉大部分是不喷煤的, 平均喷煤比不到 40kg/t 铁, 重点企业喷煤比也仅为 60kg/t 铁, 全国喷煤总量不足 400 万吨/年。这些年来我国高炉炼铁生产发展迅速, 生铁产量突破 7 亿吨, 占世界生铁总产量的 60%, 高炉喷煤技术也不断地得以提升, 全国 1480 余座高炉几乎找不到不喷吹煤粉的高炉, 已连续多年全国平均喷煤比为 150kg/t 铁, 年喷煤总量达到 1 亿多吨, 每年为炼铁生产节约了大量优质炼焦煤。喷吹煤粉后改善了高炉顺行条件, 提高了操作技能。在这一伟大的进步中, 本书也发挥了应有作用, 受到了读者好评。

本次受邀对第 1 版进行修订, 仍保留原有格式, 仍分 10 章, 由原来的 478 问增加到 528 问, 原始数据多数做了保留, 以期留下技术发展足迹。新版增加并更新了引用标准, 删除了一些过时数据以及与新工艺不相匹配的操作理念, 增加了近年喷吹煤粉的新技术和先进企业的成功经验, 探讨了与冶炼条件相适应的经济喷煤比, 同时也增加了一定冶炼条件下的经济富氧率等问答。此外, 本次修订还增加了附录, 汇总

了我国 80 余种高炉喷吹用煤的煤粉性质，以及高炉喷吹煤粉的安全环保指标。

参与第 1 版编写的 8 名主要同志都早已退休，且不在工作第一线。参与本次修改工作的有王筱留、汤清华、祁成林、吴炽、王月秋等，并且北京科技大学冶金生态工程学院副院长张建良教授、前唐山国丰钢铁有限公司苏东学高级工程师也参与了部分修改工作，由王筱留、汤清华任主编。本次编写中还引用了有关企业的生产数据和国内外资深专家、学者的研究资料、数据。在此致以衷心感谢。

本次参与修改的同志因新的成功经验积累整理不够，技术发展日新月异，修改后的全书内容还难以代表最新的发展趋势，加之编者水平有限，疏漏之处难免，恳请同行、专家和广大读者批评指正。

编著者

2015 年 10 月

第1版序言

高炉是生产率和热效率都很高的炼铁设备。随着高炉大型化，其劳动生产率不断提高，但由于高炉对原燃料的要求很高，需要人造块矿和优质焦炭，由原料、铁、烧、焦系统组成的炼铁系统庞大。目前，炼铁系统正受到投资、资源、成本、能源、环境和运输等方面的巨大压力，面临着严峻的挑战。利用技术进步减轻这些压力是高炉炼铁系统继续生存和发展的关键。高炉喷煤技术可以使高炉大幅度降低焦炭消耗，缓解各方面的压力，提高高炉的竞争力。高炉喷煤是炼铁系统结构优化的中心环节，有着重大战略意义。因此，目前世界各钢铁工业发达国家竞相大力发展高炉喷煤技术。

高炉喷煤技术的应用始于本世纪60年代，我国首都钢铁公司在喷煤技术开发初期曾作出很大贡献。但由于能源价格因素和技术成熟性不足，此技术并没有得到大的发展。70年代末，发生了第二次石油危机，世界范围内逐步停止使用向高炉内喷油的技术。为了避免全焦操作，大量的高炉开始采用喷煤技术。进入90年代，西欧、美国和日本的一批焦炉开始老化，由于环保及投资等原因，很难新建和改造焦炉，为保持原有的钢铁生产

能力，必须大幅度降低焦炭消耗，喷煤已不仅是高炉的调剂手段，而成为了弥补焦炭不足的主要措施。另外，就全世界范围来说，炼焦用煤的资源日益短缺，全球都感到了炼焦用煤资源的危机。因此，增加喷煤量减少焦炭用量已成为高炉技术发展必然趋势，并且发展越来越快。

西欧从1980年第一座高炉开始采用喷煤技术以来，现已有50余座高炉实施喷煤技术。日本自1981年第一座高炉开始采用喷煤，现在已有30余座高炉实行喷煤技术。美国、韩国等国家近年也迅速发展了高炉喷煤技术。目前高炉喷煤量大幅度提高，焦比大幅度下降，西欧、日本的高炉喷吹煤比达到 $140 \sim 180\text{kg/t}$ 铁，有些高炉月平均喷煤比达到了 200kg/t 铁，焦比 300kg/t 铁，喷煤比正在向 250kg/t 铁目标迈进。

我国从1964年开始在高炉上喷煤，是世界上开发应用喷煤技术较早的国家之一。在我国发展高炉喷煤技术有更深刻的背景：(1) 我国煤炭资源虽然丰富，但炼焦煤资源状况并不乐观，炼焦煤占煤炭资源的27%左右，其中强粘结性焦煤占炼焦煤19%左右，粘结性好的肥煤占13%左右。(2) 我国的炼焦煤分布不均匀，产地集中在华北等地，与钢铁企业的布局不协调，炼焦用煤需长距离运输，这在我国是十分困难的，并且很难缓解。(3) 目前，我国煤的产量虽然较高，但洗煤能力缺口较

大，目前的洗煤能力已不适应钢铁工业发展的需要。今后，为了发展钢铁工业，必须在增加洗煤能力的同时减少炼焦洗精煤的消耗。(4) 我国钢铁企业的焦炉，近1/3者炉龄已达20~25年，将陆续进行大修，这势必影响到焦炭供应。目前，一些企业焦炭生产能力已经不足，由于投资、资源和环保等问题大量新建和改造焦炉也将十分困难。采用大量喷煤来弥补焦炭缺口是一个最经济实用的措施。(5) 目前我国钢铁工业正在推进结构优化，目的在于降低成本和投资，提高劳动生产率，改善冶金生产的环保条件，从而提高钢铁联合企业的竞争力。对高炉大量喷煤，可以较大幅度地降低焦炭消耗，少建焦炉和降低炼铁系统的投资，减少污染，大幅度降低生铁成本。因此，当前炼铁系统工艺结构优化的核心是大量喷煤。这也应是钢铁工业结构优化的重要内容。

从本世纪80年代以来，我国就已经开始大力发展喷煤技术。近几年来，我国高炉喷煤技术取得了长足的进步。全国高炉的喷煤总量逐年提高，1990年为218万吨，1996年达到500万吨。1996年重点企业喷煤比达70kg/t铁。我国在高炉高喷煤量操作、烟煤喷吹安全、喷煤工艺装备、喷煤计量和控制以及氧煤燃烧技术等方面都有重大突破，为我国今后喷煤技术的发展打下了良好基础。

鞍山钢铁公司3号高炉在1995年9月至11月实现了连续3个月喷煤量达到203kg/t铁的目标，成为当时世

界上高喷煤量连续操作时间最长的高炉之一。工业试验高炉喷煤比平均达到 203kg/t 铁，焦比降到 367kg/t 铁，利用系数达到 $2.185\text{t}/(\text{d} \cdot \text{m}^3)$ ，各项技术经济指标良好，达到了国际先进水平。1995 年和 1996 年 3 号高炉全年喷煤比达到 150kg/t 铁以上。这标志着我国已掌握了高炉高喷煤时高炉操作调剂、喷吹工艺设备和相关条件等全套技术。

喷吹系统的连续计量、流化喷吹，制粉系统采用的一次布袋收粉技术等，我国也有新突破。我国已成功地开发了一次布袋收粉的制粉新流程，系统全惰化烟煤喷吹工艺，串罐单管路加分配器喷煤流程，煤粉的计量和控制系统，浓相输送、分配和控制新技术，氧煤强化燃烧和安全技术等一系列成套技术。我国喷煤技术总体水平已跃居世界前列。几年前，宝山钢铁公司喷煤系统引进国外技术，现在我国的喷煤技术已完全可以立足国内，并能达到国际先进水平。今后，要高起点发展高炉喷煤技术，促进我国高炉炼铁生产集约化。

高炉高喷煤量工业试验的成功、喷煤关键工艺设备的过关，对提高我国高炉的喷煤量有重大意义，高炉喷煤技术已成为我国钢铁联合企业炼铁系统结构优化的中心环节。“九五”期间，宝山钢铁公司和首都钢铁公司将利用高喷煤量技术，使喷煤量达到 200kg/t 铁。鞍山钢铁公司、武汉钢铁公司等一些企业也将利用富氧喷煤

技术,建设和改造喷煤设施,大幅度提高高炉的喷煤量,以达到不建或少建焦炉的目的。我国高炉富氧喷煤技术将会取得更大的进展,发展高炉喷煤技术,对促进冶金工业结构优化,加速增长方式的根本性转变和保证冶金工业可持续发展具有重要意义。

为了促进高炉喷煤技术的发展,冶金工业部和中国金属学会将要举办系列喷煤技术学习班,以提高喷煤的管理和操作水平。本教材总结了我国高炉喷煤技术的最新进展,相信它的出版一定会促进我国高炉喷煤技术的发展。

祝高炉喷煤技术学习班取得圆满成功!

冶金工业部副部长
中国金属学会常务副理事长

翁宇庆

1997年1月

1996年10月

第1版编者的话

为了进一步推动高炉喷吹煤粉技术发展,遵照冶金部科技司和中国金属学会的指示,我们以问答形式编写了本书,供全国高炉喷煤培训班及从事高炉喷煤生产、设计和科研等单位的工程技术人员参考。

本书总结了我国高炉喷吹煤粉实践经验,共分10章、478问,内容包括:煤的一般特性,煤粉制备、输送,喷吹工艺和设备,高炉富氧喷煤冶炼,特殊仪表及自动控制,喷煤设计及有关计算,生产操作,事故处理等。因高炉冶炼过程十分复杂,喷煤技术涉及诸多专业知识,要想以问答形式逐一提出并作解答并非一件容易的事,而且要做到内容广阔、深浅适度更是一件难事,加之编者水平有限,经验不足,疏漏一定会很多,恳请专家和广大读者批评指正。

本书在编写过程中选用了国内同行部分专著的有关数据及资料,在此表示衷心感谢。书中插图原稿由刘兴惠、李志华、高畅绘制。本书还得到了冶金工业部、中国金属学会及鞍山钢铁公司多位领导和同志的支持,在此表示感谢。

编 者

1996年10月

目 录

第一章 高炉炼铁和喷吹煤粉概述

1-1 什么是高炉？	1
1-2 高炉炼铁有哪些过程？	1
1-3 高炉炼铁工艺流程由哪些主要辅助系统和设备组成？	4
1-4 为什么高炉炼铁选用焦炭作为燃料？	4
1-5 高炉用冶金焦是怎样炼成的？炼焦生产对环境有何影响？	6
1-6 为什么高炉炼铁喷吹煤粉可以代替部分焦炭？	7
1-7 高炉生产用焦炭质量对冶炼过程和喷吹煤粉有何影响？	8
1-8 什么是高炉喷吹煤粉？	10
1-9 高炉喷吹煤粉有哪些重要意义？	10
1-10 国外高炉喷吹煤粉的发展历程是怎样的？	11
1-11 我国高炉喷吹煤粉的发展历程是怎样的？	14
1-12 近年来高炉喷煤技术发展情况如何？	16
1-13 高炉喷吹煤粉工艺系统由哪些方面组成？	22
1-14 高炉喷吹煤粉工艺有几种模式？	22
1-15 连续喷吹有几种形式？	23

第二章 原煤性能及储运

第一节 煤的形成和分类	24
2-1 煤是怎样形成的？	24

2-2	煤是如何分类的?	25
2-3	什么叫黏结性煤? 什么叫不黏结性煤?	27
2-4	什么叫炼焦煤? 什么叫非炼焦煤?	27
2-5	什么叫肥煤? 什么叫焦煤? 什么叫瘦煤?	28
2-6	什么叫气煤? 为什么炼焦配煤中加入一定数量的 气煤?	28
2-7	高炉喷吹的煤属于哪类煤?	29
第二节 煤的组成和分析		29
2-8	煤由哪些组分组成?	29
2-9	什么是煤的工业分析?	30
2-10	什么是煤的元素分析?	30
2-11	煤质分析中的各种“基”是什么? 各用什么 符号来表示?	30
2-12	煤质分析中不同基准如何换算?	31
2-13	煤质分析中常用符号新旧标准是怎样规定的?	33
2-14	煤质分析采用哪些方法及标准?	35
2-15	煤的有机物成分主要有哪些元素?	40
2-16	煤中的硫以什么形态存在? 为什么说硫是 有害元素?	41
2-17	为什么说煤中的氮既有害又有利?	42
2-18	什么是煤的灰分? 它的成分有哪些?	42
2-19	煤的灰分对喷煤有何影响?	43
2-20	什么是煤的全水? 水分对煤的性质有何影响?	43
2-21	什么是煤的外在水分? 什么是煤的内在水分? 实际测定的外在水分和内在水分与理论上的 定义有何不同?	44
2-22	全水分等于内水和外水之和, 计算时为什么不能 将它们直接相加?	44
2-23	煤中水分按其结合状态分有哪两类? 它们有什么 区别?	45

2-24	什么是煤的矿物质? 矿物质与煤的灰分之间有什么联系和区别?	45
2-25	煤中矿物质来源于哪些方面?	46
2-26	什么是煤的挥发分?	46
2-27	什么是煤的固定碳含量?	47
2-28	什么是煤的发热量? 表示单位是什么? 相互间怎样进行换算?	47
2-29	什么是弹筒发热量? 什么是高位发热量? 什么是低位发热量?	48
2-30	喷入高炉的煤粉在风口前燃烧气化放出的热量与煤的 $Q_{\text{高}}$ 或 $Q_{\text{低}}$ 有什么差别?	50
2-31	什么是煤粉在风口前燃烧放出的有效热量? 如何计算?	50
2-32	煤的质量热容和导热系数是多少?	51
2-33	标准煤的概念是什么?	52
第三节	煤的物理性质	53
2-34	什么是煤的视(相对)密度? 测定其值有什么意义?	53
2-35	什么是煤的真(相对)密度? 测定其值有什么意义?	53
2-36	煤的真(相对)密度和视(相对)密度的区别是什么?	53
2-37	测定煤的孔隙率的意义是什么?	54
2-38	什么是煤的可磨性和可磨性指数?	54
2-39	什么是煤的比表面积? 如何测定?	56
第四节	高炉喷吹用煤的工艺性能	58
2-40	什么是煤的着火温度? 测定其值有什么意义?	58
2-41	煤的着火点测定方法有哪几种? 试验室测出的着火点能否直接代表日常生活和工业燃烧条件	58