

冶金职业
技能培训 丛书

高炉热风炉操作与 煤气知识问答

(第2版)

刘全兴 编著



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

冶金职业技能培训丛书

高炉热风炉操作与 煤气知识问答

(第2版)

刘全兴 编著

北 京

冶金工业出版社

2013

内 容 简 介

本书从实际生产操作出发,在简要介绍了高炉热风炉基本知识的基础上,着重介绍了热风炉的结构,热风炉的附属设备,热风炉用耐火材料,热风炉燃料与燃烧,高炉煤气知识与安全操作,高炉煤气除尘清洗与煤气取样,煤气事故案例,热风炉有关计算实例,附录中列出了冶金生产工人技术等级标准、晋级考题及参考答案。本书共分10章,每章又分若干节,层次清晰,叙述简洁。

本书可作为高炉热风炉操作技术工人的职业技能培训教材,也可供炼铁专业的工程技术人员、高炉管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

高炉热风炉操作与煤气知识问答/刘全兴编著.—2版.

—北京:冶金工业出版社,2013.4

(冶金职业技能培训丛书)

ISBN 978-7-5024-6209-3

I. ①高… II. ①刘… III. ①高炉—热风炉—炉前
操作(冶金炉)—问题解答 ②高炉煤气—问题解答
IV. ①TF578-44 ②TQ542.7-44

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第059634号

出 版 人 谭学余

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷39号,邮编100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjchs@cnmip.com.cn

责任编辑 王雪涛 张 卫 美术编辑 李 新 版式设计 孙跃红

责任校对 石 静 刘 倩 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-6209-3

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

2005年3月第1版,2013年4月第2版,2013年4月第1次印刷

850mm×1168mm 1/32;13.5印张;362千字;395页

39.00元

冶金工业出版社投稿电话:(010)64027932 投稿信箱: tougao@cnmip.com.cn

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街46号(100010) 电话:(010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

序

新世纪刚刚开始，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七年居世界之冠，而且比居第二和第三位的美、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，更需要适应这一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

第2版前言

去年末，得知《高炉热风炉操作与煤气知识问答》一书受到行业内读者认可，出版社要修订再版此书，我欣然同意，因为这本书是我炼铁职业生涯的结晶，凝聚了我太多的心血。书中有我的身影，有我的青春时光，有我艰辛的脚印；有我的理想，有我的奋斗经历，也有我成功的喜悦。

回想起来，我本人从事热风炉生产与科研已经整整30年了。30年来，从一个踌躇满志的热风炉技术员变成一个年近花甲的工程师，参与和亲历了多座高炉热风炉的技术改造、热风炉模型试验以及引进俄罗斯卡鲁金顶燃式热风炉的工作，并担任过国家“八五”重大科技攻关项目“鞍钢高炉氧煤强化炼铁新工艺——1200℃高风温研究工业试验”和国家“九五”重大科技攻关项目“长寿高效高炉综合技术——高效预热技术”的专题负责人等。

《高炉热风炉操作与煤气知识问答》一书的雏形始于1983年，当时我是鞍钢炼铁厂的一名热风炉技术员，也是一名从事热风炉生产的新人，虚心求教于师傅们，整理出的小册子《热风炉100问》，深受现场工友的欢迎，晋级、考试都用得上，这一切大大地鼓舞了我。经过不断地补充与修改，首先在鞍钢炼铁厂铅印，后来到冶金工业出版社正式出版发行，前后历时22年。2005年公开出版发行之后，在受到读者欢迎的同时，也收到一

些朋友、同行善意的指正。

热风炉是神奇的。在人们的眼中，她高大，富有强大的生命力；她热烈，拥有巨大的能量；她温顺，像老黄牛一样，吃的是“草”，挤出来的是“奶”；她是企业的“摇钱树”，带来滚滚财源；她魅力无穷，使我为之倾倒，为之奋斗，不懈追求，相伴一生。

（一）热风炉是有灵魂的。理解和追求热风炉的灵魂是我们共同理想。

热风炉技术在发展，热风炉科研人员队伍不断壮大。改革开放以来，特别是近20年以来，随着我国经济的高速发展，高炉炼铁技术进步非常快，高炉热风炉大型化、多样化、高效化，大大缩小了我们与世界先进水平的差距。一大批炼铁及相关科技工作者开发出了一系列世界水平的具有自主知识产权的领先技术，填补了国内外热风炉技术的空白，引起世人关注。主要表现在：霍戈文高风温热风炉的引进、大型外燃式热风炉或大型外燃式热风炉加辅助小热风炉的组合、顶燃式热风炉（俄卡鲁金顶燃式的引进，球式顶燃式、逆旋流顶燃式的开发）、大型外燃式热风炉自身预热式在大型高炉上的成功应用、高炉热风炉烟气余热预热助燃空气和煤气技术及其附加加热换热技术组合等，所有这些，都取得了高风温的实效。现在我国可以自主设计、制造不同类型的高炉热风炉，而且各交叉口采用的组合砖也能自主设计、制造和砌筑。高炉热风炉烘炉技术，凉炉与保温技术，耐火材料和耐火涂料的研发，冶金设备国产化、系列化等，大大推动了热风炉的技术成熟与发展。

在高炉热风炉的理论研究方面我国也取得了骄人的

业绩。例如，高炉热风炉燃烧、流动与传热三大理论与实验研究，计算机技术的应用，数值模拟仿真技术开发，高效燃烧器及冷态、热态实验，冷风与烟气分配技术都有我国自己的专利。

我对热风炉的理解是热风炉的关键技术包括四方面：（1）燃烧技术（包括燃烧介质，燃烧器结构、材质，燃烧空间，空燃比，热工参数的选择，温度场、浓度场，燃烧效率等）；（2）传热技术（燃烧速率，传热系数，蓄热体的材质、结构等）；（3）气流流动（高温烟气的均匀分布和冷风的均匀分布）；（4）结构稳定（炉体与管道结构强度，管道的长短与膨胀，交接口组合砖，绝热保温）。实现高风温的主要技术路线有：利用低热值煤气获得高风温的工艺方法；热工设备的组合；工艺技术材料优化与创新；国内也有人提出了1400℃超高风温的设想。可以说，我国高炉热风炉的发展成绩是全体热风炉工作者努力的结果。

（二）热风温度和喷煤已转化成为提升钢铁企业核心竞争力的主角。

2011年我国重点大中型钢铁企业高炉平均温度为1179℃，有较大提高，达到国际先进水平。随着当前铁矿石和焦炭价格的飙升，炼铁原燃料消耗占炼铁制造成本大幅度增长，高炉热风温度和喷煤工序的降耗作用愈加凸显。热风温度和喷煤不再是工艺技术的“细节”问题，已转化为提升钢铁企业核心竞争力的主角。为了应对炼铁工序高成本压力，进一步研究探讨未来我国炼铁技术的发展方向，全国炼铁专业的科研单位、院校、机关和企业的专家、学者和企业家们共同关注节能减排、

环境友好、低碳经济，实现我国炼铁生产可持续发展。目前，国内已有首钢京唐、山西建邦等钢铁厂 1300℃ 超高风温热风炉的成功实践，并且，大有扩展趋势。

利用低热值煤气获得高风温的工艺方法主要有：(1) 高炉煤气富化法；(2) 金属换热器法；(3) 自身预热法；(4) 富氧助燃法；(5) 掺入热风法；(6) 辅助热风炉法等，其中最具典型意义的金属换热器法、热风炉自身预热法和辅助热风炉法，基本上代表了当今高温空气燃烧技术在利用低热值煤气获得高风温方面的发展新趋势。

作为高效预热技术的典型工艺，自身预热技术创新点是：(1) 以利用劣质燃料为基本点，经工艺转化后使低价值的高炉煤气变成高价值的高温热量。这是热价值理论，值得人们深思和理解。(2) 突破了低温余热回收的传统观念的界限，大幅度地预热燃烧介质温度。虽然在系统中增加了一定的能量和投资，但效果显著。高效预热技术不再是余热回收那样的“小打小闹”，要“做大事”。(3) 燃烧介质预热后带入的物理热比同样数量的化学热更有用。(4) 预热燃烧介质不仅可以节约燃料，而且还可以提高燃烧温度和改善燃烧过程。

自身预热技术对工况要求：(1) 燃烧能力要大；(2) 预热温度要高；(3) 热风温度要高；(4) 操作维护要简；(5) 结构稳定要好；(6) 节能减排要好；(7) 投资占地要省；(8) 工作寿命要长。

自身预热技术解决了三大问题：低热值高炉煤气过剩；高热值煤气缺乏；热风温度较低，而且它还改变了工艺流程，改变了设备组成，改变了供热方式，改变了

传热机理，改变了操作方法，改变了能源结构，改变了经济效益。

(三) 提高风温可实现高效、低耗、环保，“一举多得”。

炼铁系统直接消耗的能源占钢铁生产总耗能的70%左右，一直被视为钢铁企业节能的重点。由于近年来原燃料大幅度涨价，炼铁生产已经进入了高成本时代。然而，炼铁工作者一直没有放松对高炉节能减排、环境友好，实现我国炼铁生产可持续发展的新技术的关注、研究、引进与应用。提高风温和喷煤工序的作用愈加突现，采用先进的高风温技术和富氧喷煤技术已成为许多钢铁厂的首选。在比较投资回报率的观点方面，许多钢铁厂已不在乎喷煤和热风炉新建和改造的“投入”问题。新建的高炉热风炉全部采用高效的设计风温为1250℃的高温热风炉，例如俄罗斯卡鲁金顶燃式高温热风炉、外燃式或高风温内燃式热风炉，设计风温1250℃；一些旧高炉热风炉的大修改造，设计风温也要在1200℃以上；提高富氧率和煤粉助燃技术，进一步提高煤比。这些新技术的应用为高炉稳定顺行、高产稳产、降低成本提供了可靠保障。

高风温具有明显的节能作用，热风温度每升高100℃，可节焦比20~30kg/t，可允许多喷25~30kg/t煤粉。经过近年来的努力，我国高炉风温水平进步较大，2009年我国大中型企业热风温度平均1158℃，比上年提高25℃，与国际先进水平差距缩小。特别是新建设的一批大高炉（大于2000m³）热风温均超过1200℃，达到国际先进水平。其次，热风炉形式也向多样化发展，大高

炉多用外燃式和内燃式（首钢京唐钢铁公司 5500m^3 高炉用卡鲁金顶燃式），小高炉用石球式，都可实现高风温。热风炉从设计制造到施工投产等均可实现国产化，只是在使用材料、结构设计、送风系统的保障和送风操作制度的科学性等方面存在一些缺陷，需要继续改进。采用对空气、煤气双预热技术，即使用低热值的高炉煤气，也可以获得高于 1200°C 以上的风温。

在利用冶金工厂产生的二次能源，大力推动循环经济的同时，努力建设“资源节约型、环境友好型”社会。控制温室气体排放方面，热风炉发挥着极其重要的作用，可以称其为生态热风炉或绿色热风炉。其主要特征为：（1）使用低热值煤气作为主要燃料，经工艺转化后以低价值的高炉煤气获取高价值的高温热量。减少煤气的放散量，节省昂贵的高热值煤气供给更急需的部门，达到能源合理配置，创造更大的经济效益和社会效益，真正做到“资源节约型”工序。（2）实现系统优化、合理燃烧。（3）尽最大努力回收利用烟气余热，如采用金属换热器预热煤气和助燃空气；还利用这部分烟气供煤粉车间作为干燥、惰化气，以及供解冻库和焦炭除水烘干等作为热气源用。（4）开发减排温室气体总量和回收的有效措施和相关技术。

热风炉与煤气综合利用密切相关。热风炉与煤气历来就是一对“孪生兄弟”，热风炉离不开煤气，煤气是热风炉的主要燃烧介质。这是因为：（1）煤气综合利用技术系一门特殊的“交叉学科”，涉及到能源、燃气、燃烧、工程热物理、冶炼工艺、耐火材料等专业。（2）煤气综合利用技术已经应用到所有钢铁生产工序，

要很好地解决煤气综合利用技术中气-固相检测和监测问题。高炉煤气、转炉煤气的干式除尘净化,余热、余压回收,干熄焦、节水技术、钢铁企业发电技术、渣的综合利用技术是国家6类32项技术中重点推进项目,是建立资源节约型、环境友好型社会,实现可持续发展和和谐社会的需要。(3) 钢铁工业快速发展。2011年,我国的钢铁企业总数已达871家之多,产能达约8.5亿吨/年。由于原、燃料的涨价,制造成本压力越来越大,节能潜力巨大,煤气综合利用技术引起普遍关注。企业渴望应用节能降耗的新工艺、新技术、新材料,以解决应用中的技术问题,获得可观的经济效益。

对于钢铁厂煤气事故的频发,在扼腕痛心的同时,我们必须反思和认真总结,吸取血的教训。在《冶金企业煤气事故产生原因分析及防范对策》(《中国冶金报》,2004.10.21)一文中我提出尊重规程、尊重技术人员、不要作业程序简单化、提高自我安全素养,加强科学防范与施救,才是有效途径。我相信:我所编写的这本书,对读者,无论是钢铁厂领导还是操作者不无裨益。

有时候,我们真心呼唤“海力布”。很久以前,有一个猎人名叫海力布。海力布不顾自己变成了一块僵硬石头的危险,在山要崩塌,洪水要淹没大地的灾难来临之时,勇敢地站出来,拯救乡亲们。我们的工厂,无论是生产管理者还是一线操作人员,哪怕有一个人在煤气事故发生之前,尽职尽责,认真研究煤气作业方案,按照规程作业,落实安全责任(例如某厂的“看管好水封阀”,某厂的“不要盲目施救”),就可以完全避免一场事故或减轻灾害损失。

人们世代纪念海力布。

这次修订，我增加和补充了煤气事故防范与救护知识。对生产中可供参考的经验、技术进行增补。修订的主要内容有：增加了有关热风炉新技术的知识，删去了一些落后、老旧的细节；增补了热风炉常用的操作有关知识；在第6章中增加了煤气设备维护的特殊操作方法，即所谓的“诀窍”；在第10章中增补了第一版遗漏的热风炉常用的工艺计算，使得本书更加丰满和完整，读者在需要时可查阅参考。

整理的过程，完全是一个学习提高的过程。要想给人一杯水，自己要有一桶水。无论读者是从事哪方面工作的朋友，只要您从本书受益，哪怕有一个问题对您有所启发和帮助，对我都是非常欣慰的事情。

在修订过程中，选用了国内同行们编写的有关专著、手册、教材中相关的资料和图表，在此表示感谢。尽管已付出较大努力，书中疏漏不当之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

刘金兴

2012年8月于青岛

第1版前言

为了进一步推动高炉热风炉技术的应用与发展,满足广大炼铁工作者的需要,作者立足于生产实际和技术发展,以及高炉炼铁的丰富实践经验,以一问一答的形式,系统而简明地介绍了高炉热风炉的生产工艺概况、热风炉结构、热风炉操作技术、煤气安全技术、热风炉常用耐火材料、高炉煤气除尘和煤气取样技术与操作,以及有关的热工简易计算实例和煤气事故的案例。此外,为便于读者掌握基本知识要点,书后还附有高炉热风炉工技术晋级考试试题和参考答案,供学习时参考。

本书可作为高炉热风炉工的培训用书,也可供从事炼铁专业的工程技术人员参考。

在本书的编写过程中,作者参考了国内同行部分专著的有关数据及资料;张万仲、吕鲁平两位同志对本书初稿进行了审阅、修改和补充;冶金工业出版社杨传福总编对本书章节安排提出了很好的建议,在此一并表示感谢。

本书初稿曾于1988年和1999年两次油印,于企业

内部使用，并得到了鞍钢炼铁厂领导和工程技术人员的
支持和欢迎，在此表示感谢。

由于时间仓促，加之水平所限，书中不妥之处，愿
望读者批评指正。

编 者
2004 年 10 月

目 录

第1章 高炉热风炉基本知识

第1节 高炉炼铁基本知识	1
1-1 高炉生产的工艺过程是怎样的?	1
1-2 高炉生产有哪些特点?	2
1-3 热风炉在高炉生产中的地位如何?	3
1-4 高炉生产有哪些产品和副产品?	4
1-5 热风炉的发展过程是怎样的?	4
1-6 什么是高炉有效容积?	6
1-7 什么是高炉有效容积利用系数?	6
1-8 什么是焦比,什么是综合焦比?	6
1-9 什么是冶炼强度和综合冶炼强度?	6
1-10 什么是焦炭负荷?	7
1-11 什么是休风率?	7
1-12 什么是标准燃料?	7
1-13 钢与铁有何区别?	8
1-14 什么是灰口铁,什么是白口铁?	9
1-15 什么是球墨铸铁?	10
1-16 什么是能量和能源,能源分哪几类?	10
1-17 各种能量单位是什么,它们之间怎样换算?	10
1-18 什么是能量守恒定律,什么是热平衡?	11
1-19 质量、面积、体积是如何定义的?	11
1-20 什么是质量分数?	12
1-21 什么是压强,其单位是什么?	12

1-49	蓄热式热风炉的基本工作原理是怎样的？	35
1-50	如何用图示法说明热风炉的工艺过程？	37
1-51	一座高炉为什么要配备三座或四座热风炉？	37
1-52	什么是传热，传热有几种方式？	38
1-53	热量在热风炉内是怎样传热的，哪种传热方式 占主要地位？	39
1-54	什么是热风炉传热过程数学模型？	39
1-55	国内外对热风炉传热过程数学模型的研究 现状如何？	40
1-56	计算机技术在热风炉传热过程研究中的应用 如何？	41

第2章 热风炉结构

第1节	热风炉炉体结构	43
2-1	传统内燃式热风炉的通病是什么？	43
2-2	什么是改造内燃式热风炉？	43
2-3	改造内燃式热风炉是如何克服传统内燃式热风炉的 弊病的？	45
2-4	内燃式热风炉的火井有几种类型，各种类型火井的 优缺点是什么？	45
2-5	热风炉的蓄热室是如何构成的？	47
2-6	热风炉的拱顶是如何构成的？	47
2-7	热风炉的隔墙是如何构成的？	48
2-8	热风炉的炉壳是如何构成的？	48
2-9	热风炉的炉基是如何构成的？	49
2-10	热风炉的支柱、炉算子的材质和用途如何？	49
2-11	烟囱的作用是什么，其工作原理如何？	50
2-12	什么是热风炉炉壳晶间应力腐蚀？	51
2-13	如何预防热风炉炉壳晶间应力腐蚀？	52