

冶金职业  
技能培训 丛书

# 高炉生产 知识问答

(第3版)

王筱留 编著

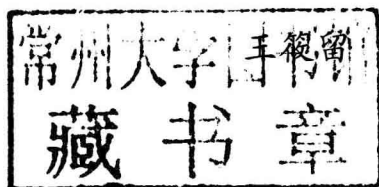


冶金工业出版社  
Metallurgical Industry Press

冶金职业技能培训丛书

# 高炉生产知识问答

(第3版)



编著

北 京  
冶 金 工 业 出 版 社

2013

## 内 容 简 介

本书简要介绍了高炉炼铁和铁矿粉烧结的基本理论知识,并结合高炉生产中的生产特点和实际问题,用基本理论分析了主要的冶炼过程和生产现象,介绍了一些生产操作经验。全书共7章,主要内容包括:高炉生产概述,高炉用原燃料,高炉炼铁过程基本知识,高炉操作与事故处理,高炉开、停炉与休、复风,高炉高效、低耗、实现低碳冶炼的技术及其进步,高炉及其主要设备的选型和操作维护。

本书第3版在基本保持第2版原貌的基础上,删除部分陈旧内容,增补了新的技术知识,包括:喷吹煤粉、计算机控制、人工智能专家系统、高炉设备及选型、高炉长寿技术、铜冷却壁技术等,并列生产实例,解答实际问题,使本书更适合现代高炉生产的炼铁、铁矿粉造块工人、技术人员和管理人员使用;本书也可作为冶金中等专业学校学生的培训教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

高炉生产知识问答/王筱留编著. —3版. —北京:冶金工业出版社, 2013. 1

(冶金职业技能培训丛书)

ISBN 978-7-5024-6053-2

I. ①高… II. ①王… III. ①高炉炼铁—问题解答  
IV. ①TF53—44

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第220170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 李 梅 李 臻 美术编辑 李 新 版式设计 孙跃红

责任校对 卿文春 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-6053-2

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

1991年3月第1版,2004年1月第2版,2013年1月第3版,2013年1月第1次印刷

850mm×1168mm 1/32;16印张;427千字;479页

46.00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，我们深深地感觉到要适应这一持续走强要求的人员素质差距之感。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，更需要适应这新一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，感谢你们为行业发展做出的无私奉献，希望不断学习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3版前言

2010年,中国的炼铁工业已达到年产6.2亿吨以上,产能已达饱和状态,根据国家产业政策,将淘汰炉容 $400\text{m}^3$ 以下、装备落后、能耗高、环保达不到要求的高炉。与此同时,炼铁生产也进入低碳冶炼时期,要大力降低燃料比、减少排放,为适应这些进展,需要对本书进行再次修订。本着贯彻指导炼铁生产的“高效、优质、低耗、长寿、环保”的技术方针,修订中将不符合这“十字”技术方针的内容,被淘汰高炉使用的设备、操作技术的内容,不利于贯彻技术方针,特别是燃料比高、排放量多的有关内容进行了删改。而对有利于贯彻国家产业政策,符合“十字”技术方针的内容进行了必要的补充。作者力争以科学发展观、理论联系实际为出发点来回答和阐述生产中的实际问题,以帮助和促进生产第一线的炼铁工作者提高素质,适应新形势的要求,同时也帮助新参加炼铁生产的工人、工程技术人员、大专院校的学员和毕业生提高专业知识水平,掌握实际生产技术和技能。如能在这几个方面起到一定作用,就达到本次修订的目的了。

在第3版修订过程中选用了国内同行发表的新专著、新论文的资料和图表,在此表示感谢;特别感谢北京科技大学前校长杨天钧教授,冶金与生态工程学院副院长张建良教授,钢冶系副主任左海滨副教授的支持;衷心感谢祁成林博士、马超硕士在修改手稿的完成过程

中所付出的辛勤劳动；还要感谢冶金工业出版社对本次修订工作的支持。

在第2版出版发行后，许多读者表达了热情的支持，也提出了不少宝贵建议，对此表示感谢。由于作者水平有限，书中疏漏及不妥之处恳请广大炼铁同行和读者批评指正。

王筱留

2012年4月

## 第2版前言

由董一诚教授等人编写的《高炉生产知识问答》一书，自1991年出版以来已发行了万余册，颇受炼铁工作者，尤其是中小高炉工长们的欢迎，为我国炼铁工业的发展，起到积极的作用。10余年来，我国炼铁工业技术有了长足的进步，为适应当前炼铁工业发展的形势，满足企业培训工作的需要，受冶金工业出版社和董一诚教授的委托，我对本书进行了修订。商定的修订原则是：读者主要对象是在高炉炼铁岗位上工作的炼铁工作者；将一些目前已不适应炼铁生产实际的观点和技术做必要的删改，并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：在第2章中增加了有关烧结矿、球团矿性能的知识，删去一些烧结矿和球团矿生产的细节，生产中如需要这方面的知识，可查阅《烧结生产技能知识问答》等相关书籍；在第3章中删去了繁琐的工艺计算，读者在需要时可查阅相关教材或炼铁生产技术手册；第4、5章基本保持原貌；在第6章中增加了喷吹煤粉、计算机控制方面的知识；第7章改动较大，因为现在炼铁生产是“四分原料、三分设备、三分操作”，设备方面的问题往往成为限制高炉生产率提高的因素，因此在修订中根据需要，对高炉及其设备选型方面的基础知识做了补充。

在修订过程中选用了国内同行们编写的有关专著、手册、教材的资料和图表，在此表示感谢。魏升明教授

级高级工程师审阅了修订书稿，提出了宝贵意见；炼铁设计大师、教授级高级工程师吴启常提供了有关铜冷却壁性能的国内外资料，对他们给予本书修订的支持也表示衷心的感谢。同时还要感谢冶金工业出版社对本书修订工作给予的帮助。修订过程中尽管已付出较大努力，但因时间紧促，书中疏漏之处恳请广大读者批评指正。

王筱留

2003年6月

# 第1版前言

为了满足广大炼铁和烧结工人以及中等专业学校的青年技术人员的要求，我们根据近年来各类炼铁技术培训的学员提出的有关问题，以问答形式编写了本书。

本书简要地介绍了高炉炼铁和铁矿粉烧结的基本理论知识，并结合生产中的实际问题用基本理论分析了一些主要的冶炼过程和生产现象。同时，结合大、中、小高炉生产特点，介绍了一些生产操作经验。全书分八章共440问，书后还附有与高炉生产过程有关的一些主要参考数据。

高炉生产过程极其复杂，并且受到诸多因素的限制，要想以问题形式将生产知识逐一提出并作解答，并不是一件很容易的事；而且试想在一本基础读物中把高炉生产问题解答明白并且做到深浅适度，更是一件难事。我们编写本书，只是进行了一个初步尝试。希望广大读者和同行提出宝贵意见，以便我们有条件时做进一步修改。

全书由北京科技大学董一诚、余绍儒同志总编纂。其中炼铁原料、原理部分由唐山工程技术学院全泰铨、陈德泰同志编写，生产操作和强化冶炼部分由首钢魏升明同志编写，炼铁设备选型和高炉技术进步部分由董一诚、余绍儒同志编写。

河北省冶金厅副总工程师李振华同志对书中内容进行了审阅，并提出了宝贵意见。本书在编写过程中还得

到其他一些同志的帮助和支持，在此一并致以诚挚的谢意。

由于水平有限，加之经验不足，书中错误和不妥之处敬请广大读者批评指正。

编 者

1989年10月



## 第1章 高炉生产概述

|      |                         |   |
|------|-------------------------|---|
| 1-1  | 什么叫生铁？ .....            | 1 |
| 1-2  | 生铁有哪些种类？ .....          | 1 |
| 1-3  | 高炉炼铁的工艺流程由哪几部分组成？ ..... | 1 |
| 1-4  | 上料系统包括哪些部分？ .....       | 2 |
| 1-5  | 装料系统包括哪些部分？ .....       | 3 |
| 1-6  | 送风系统包括哪些部分？ .....       | 3 |
| 1-7  | 煤气回收与除尘系统包括哪些部分？ .....  | 3 |
| 1-8  | 渣铁处理系统包括哪些部分？ .....     | 4 |
| 1-9  | 喷吹系统包括哪些部分？ .....       | 4 |
| 1-10 | 动力系统包括哪些部分？ .....       | 4 |
| 1-11 | 高炉生产有哪些特点？ .....        | 4 |
| 1-12 | 高炉生产有哪些产品和副产品？ .....    | 5 |
| 1-13 | 高炉渣有哪些用途？ .....         | 5 |
| 1-14 | 高炉煤气有什么用途？ .....        | 5 |
| 1-15 | 高炉炉尘有什么用途？ .....        | 6 |
| 1-16 | 高炉炼铁有哪些技术经济指标？ .....    | 6 |

## 第2章 高炉用原燃料

|     |                           |    |
|-----|---------------------------|----|
| 第1节 | 矿石、熔剂和燃料 .....            | 11 |
| 2-1 | 高炉生产用哪些原料？ .....          | 11 |
| 2-2 | 高炉常用的铁矿石有哪几种，各有何特点？ ..... | 11 |
| 2-3 | 评价铁矿石质量的标准是什么？ .....      | 12 |
| 2-4 | 高炉为什么要用熔剂，常用的熔剂有哪几种，      |    |

|                                          |           |
|------------------------------------------|-----------|
| 对熔剂的要求是什么? .....                         | 16        |
| 2-5 高炉用哪些燃料, 各有何优缺点? .....               | 17        |
| 2-6 焦炭在高炉生产中起什么作用? .....                 | 18        |
| 2-7 高炉冶炼过程对焦炭质量提出哪些要求? .....             | 19        |
| 2-8 什么是焦炭的工业分析和元素分析, 其主要<br>内容有哪些? ..... | 21        |
| 2-9 什么是焦炭的机械强度和热强度, 测定的方法<br>是什么? .....  | 23        |
| 2-10 焦炭在高炉冶炼过程中性能有什么变化? .....            | 24        |
| 2-11 焦炭质量对高炉冶炼有何影响? .....                | 26        |
| 2-12 什么是捣固焦, 有何特点? .....                 | 28        |
| 2-13 铁矿石入炉前需要经过哪些加工处理? .....             | 30        |
| 2-14 选矿的目的和基本原理是什么, 有哪几种选矿<br>方法? .....  | 32        |
| 2-15 什么叫精料, 它的目标是哪些? .....               | 33        |
| 2-16 什么叫高炉炉料结构, 如何选定合理的炉料<br>结构? .....   | 34        |
| 2-17 什么叫矿石的冶金性能, 它们是如何测定的? .....         | 35        |
| <b>第2节 烧结矿的基本知识 .....</b>                | <b>39</b> |
| 2-18 什么是含铁矿粉烧结? .....                    | 39        |
| 2-19 铁矿粉烧结生产有何意义? .....                  | 40        |
| 2-20 现代烧结生产的工艺流程是什么样的? .....             | 40        |
| 2-21 铁矿粉是怎样在烧结机上烧结成烧结矿的? .....           | 40        |
| 2-22 抽风烧结生产的特点是什么? .....                 | 43        |
| 2-23 烧结矿层中发生哪些物理、化学变化? .....             | 45        |
| 2-24 烧结料层中固体炭的燃烧有何特点? .....              | 46        |
| 2-25 烧结矿生产中为什么混合料中要配加熔剂? .....           | 47        |
| 2-26 烧结矿生产中使用哪些熔剂, 对它们有什么<br>要求? .....   | 47        |

|      |                                              |    |
|------|----------------------------------------------|----|
| 2-27 | 为什么自熔性烧结矿和高碱度烧结矿的成品矿上有时会出现“白点”？ .....        | 48 |
| 2-28 | 烧结矿由哪些矿物组成，它们是怎样影响烧结矿性能的？ .....              | 49 |
| 2-29 | 烧结矿的宏观结构和微观结构对烧结矿质量有何影响？ .....               | 51 |
| 2-30 | 正硅酸钙对烧结矿质量有何影响？ .....                        | 52 |
| 2-31 | 什么叫铁酸钙理论，发展铁酸钙液相需要什么条件？ .....                | 53 |
| 2-32 | 什么是高碱度烧结矿，它的冶金性能如何？ .....                    | 54 |
| 2-33 | 什么叫 SFCA 烧结矿，它有什么特点，生产 SFCA 应具备什么条件？ .....   | 56 |
| 2-34 | 烧结过程能去除哪些有害元素？ .....                         | 57 |
| 2-35 | 对烧结矿进行冷却的目的是什么？ .....                        | 58 |
| 2-36 | 冷却烧结矿的方法有哪几种？ .....                          | 59 |
| 2-37 | 烧结矿有哪些质量指标？ .....                            | 60 |
| 2-38 | 什么是烧结矿品位、“扣 CaO 品位”和“扣有效 CaO 品位”？ .....      | 62 |
| 2-39 | 烧结矿中 FeO 含量对烧结矿质量有何影响？如何选定烧结矿中 FeO 含量？ ..... | 63 |
| 2-40 | 影响烧结矿强度的因素有哪些？ .....                         | 63 |
| 2-41 | 改善烧结矿质量可采取哪些技术措施？ .....                      | 64 |
| 2-42 | 什么是烧结精料？ .....                               | 64 |
| 2-43 | 什么叫低硅烧结矿，生产它应采取哪些技术措施？ .....                 | 65 |
| 2-44 | 什么叫小球/球团烧结？ .....                            | 66 |
| 2-45 | 什么叫热风烧结，它有什么好处？ .....                        | 67 |
| 2-46 | 什么叫烧结矿热处理，它有什么好处？ .....                      | 67 |
| 2-47 | 什么是烧结矿整粒，其对高炉冶炼有什么意义？ .....                  | 68 |

|            |                                   |           |
|------------|-----------------------------------|-----------|
| 2-48       | 如何改善入高炉烧结矿的粒度? .....              | 68        |
| 2-49       | 烧结生产的能耗如何, 如何降低? .....            | 69        |
| <b>第3节</b> | <b>球团矿的基本知识 .....</b>             | <b>71</b> |
| 2-50       | 什么是球团矿, 它有何特点? .....              | 71        |
| 2-51       | 精矿粉是怎样成为 8~16mm 的生球的? .....       | 72        |
| 2-52       | 生球是怎样焙烧成合格球团矿的? .....             | 73        |
| 2-53       | 球团矿的生产和焙烧过程是怎样进行的? .....          | 74        |
| 2-54       | 目前主要有哪几种球团焙烧方法, 各有<br>什么特点? ..... | 75        |
| 2-55       | 国产球团与进口球团相比有何特点? .....            | 79        |
| 2-56       | 什么叫橄榄石球团矿和白云石球团矿? .....           | 79        |
| 2-57       | 什么叫金属化球团矿, 高炉使用它有何特点? .....       | 80        |
| 2-58       | 什么是冷固球团矿? .....                   | 81        |

## 第3章 高炉炼铁过程基本知识

|            |                                             |           |
|------------|---------------------------------------------|-----------|
| <b>第1节</b> | <b>高炉内的分解和还原过程 .....</b>                    | <b>82</b> |
| 3-1        | 高炉原料中的游离水对高炉冶炼有何影响? .....                   | 82        |
| 3-2        | 高炉原料中的结晶水对高炉冶炼有何影响? .....                   | 82        |
| 3-3        | 高炉内碳酸盐分解的规律如何, 对高炉冶炼<br>有何影响? .....         | 83        |
| 3-4        | 什么是高炉炼铁的还原过程, 使用什么<br>还原剂? .....            | 84        |
| 3-5        | 在高炉炼铁过程中铁矿石所含氧化物哪些可以<br>被还原, 哪些不能被还原? ..... | 85        |
| 3-6        | 铁氧化物在高炉内的还原反应有哪些规律? .....                   | 87        |
| 3-7        | 什么是碳素溶解损失反应, 什么是水煤气反应,<br>什么是水煤气置换反应? ..... | 90        |
| 3-8        | 什么叫铁的间接还原, 什么叫铁的直接还原? .....                 | 90        |

|                           |                                          |     |
|---------------------------|------------------------------------------|-----|
| 3-9                       | 什么叫一氧化碳利用率和氢利用率? .....                   | 91  |
| 3-10                      | 什么叫铁的直接还原度和高炉直接还原度? .....                | 92  |
| 3-11                      | 高炉炼铁中铁的直接还原和间接还原发展<br>程度与碳消耗有什么关系? ..... | 93  |
| 3-12                      | 高炉炼铁中煤气利用程度与碳消耗有什么<br>关系? .....          | 95  |
| 3-13                      | 高炉内除了铁以外还有哪些元素还原进入<br>生铁? .....          | 95  |
| 3-14                      | 从铁氧化物中还原铁和从复杂化合物中还原<br>铁有什么区别? .....     | 102 |
| 3-15                      | 铁矿石是如何被还原剂还原的? .....                     | 103 |
| 3-16                      | 哪些因素影响铁矿石的还原速度? .....                    | 104 |
| 3-17                      | 生铁生成过程中渗碳反应是如何进行的? .....                 | 107 |
| <b>第2节 高炉内的造渣过程</b> ..... |                                          | 109 |
| 3-18                      | 高炉内炉渣是怎样形成的? .....                       | 109 |
| 3-19                      | 炉渣的主要成分是什么? .....                        | 111 |
| 3-20                      | 炉渣在高炉冶炼过程中起什么作用? .....                   | 111 |
| 3-21                      | 什么叫炉渣碱度? .....                           | 112 |
| 3-22                      | 什么叫碱性炉渣和酸性炉渣? .....                      | 112 |
| 3-23                      | 炉渣的软熔特性对高炉冶炼有什么影响? .....                 | 113 |
| 3-24                      | 什么叫炉渣的熔化温度, 它对高炉冶炼有<br>什么影响? .....       | 113 |
| 3-25                      | 什么叫炉渣熔化性温度, 它对高炉冶炼有<br>什么影响? .....       | 117 |
| 3-26                      | 什么叫炉渣黏度, 它对高炉冶炼有什么影响? .....              | 118 |
| 3-27                      | 什么叫长渣, 什么叫短渣? .....                      | 120 |
| 3-28                      | 哪些因素影响炉渣黏度? .....                        | 121 |
| 3-29                      | 关于炉渣结构有哪两种理论? .....                      | 123 |
| 3-30                      | 现代炉渣离子结构理论如何解释炉渣碱度与                      |     |

|              |                                         |            |
|--------------|-----------------------------------------|------------|
|              | 黏度之间的关系? .....                          | 126        |
| 3-31         | 什么叫炉渣的稳定性, 它对高炉冶炼有什么影响? .....           | 127        |
| 3-32         | 什么叫炉渣的表面性质, 它对高炉冶炼有什么影响? .....          | 128        |
| 3-33         | 什么叫高炉内硫的循环富集? .....                     | 129        |
| 3-34         | 炉渣是如何脱硫的? .....                         | 129        |
| 3-35         | 什么叫硫的分配系数, 影响它的因素有哪些? .....             | 131        |
| 3-36         | 哪些因素影响炉渣的脱硫能力? .....                    | 132        |
| 3-37         | 什么叫渣铁间的耦合反应? .....                      | 133        |
| 3-38         | 什么叫碱害, 如何利用炉渣排碱? .....                  | 134        |
| <b>第 3 节</b> | <b>碳的气化与煤气和炉料运动</b> .....               | <b>136</b> |
| 3-39         | 高炉内碳的气化反应有什么规律? .....                   | 136        |
| 3-40         | 高炉炉缸燃料的燃烧反应有什么特点, 燃烧产物的成分和数量如何计算? ..... | 138        |
| 3-41         | 炉缸燃烧反应在高炉冶炼过程中起什么作用? .....              | 139        |
| 3-42         | 什么叫风口燃烧带和风口回旋区? .....                   | 140        |
| 3-43         | 什么叫风速, 什么叫鼓风动能, 如何计算风速和鼓风动能? .....      | 142        |
| 3-44         | 什么叫风口前理论燃烧温度, 它与炉缸温度有什么区别? .....        | 143        |
| 3-45         | 哪些因素影响理论燃烧温度? .....                     | 145        |
| 3-46         | 煤气上升过程中量、成分和温度发生什么变化? .....             | 147        |
| 3-47         | 哪些因素影响炉顶煤气成分? .....                     | 150        |
| 3-48         | 什么叫炉料与煤气的水当量? .....                     | 150        |
| 3-49         | 煤气上升过程中的热交换有什么规律? .....                 | 154        |
| 3-50         | 高炉料柱有哪些散料特性? .....                      | 155        |
| 3-51         | 高炉煤气是怎样从炉缸向上运动到达炉顶的? .....              | 157        |