

宝钢大型高炉 操作与管理

BAOGANG DAXING GAOLU CAOZUO YU GUANLI

朱仁良 等编著



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

宝钢大型高炉操作与管理

朱仁良 等编著

北 京

冶 金 工 业 出 版 社

2015

内 容 提 要

本书立足宝钢高炉炼铁三十年的生产实践,重点叙述大型高炉稳定顺行最主要的操作管理理念和方法。书中包含的宝钢大型高炉所采用的新成果、新技术及其实现过程和效果,有助于读者移植借鉴,提高炼铁操作与管理水平。

本书分四篇共 17 章,其中原燃料生产与质量控制篇介绍了原料、烧结、炼焦如何服务于大型高炉的生产要求及高炉的精料技术;高炉操作与管理篇介绍了大型高炉的炉况判断、煤气流调节、操作炉型管理、高煤比操作、低硅冶炼、休送风管理、开停炉操作及炉前作业管理等;高炉长寿与维护篇介绍了高炉的选型与配置、炉体维护及炉缸维护等;工艺装备技术发展篇介绍了炉顶装料系统、煤气净化系统及高炉专家系统的发展趋势。

本书可供高炉炼铁相关生产、管理、设计、科研和教学人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

宝钢大型高炉操作与管理/朱仁良等编著. —北京:冶金工业出版社, 2015. 9

ISBN 978-7-5024-6962-7

I. ①宝… II. ①朱… III. ①高炉炼铁 IV. ①TF53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015) 第 192543 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](http://www.cnmp. com. cn) 电子信箱 yjcbbs@cnmp. com. cn

责任编辑 刘小峰 曾 媛 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 牛晓波

ISBN 978-7-5024-6962-7

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

2015 年 9 月第 1 版, 2015 年 9 月第 1 次印刷

169mm×239mm; 37 印张; 722 千字; 575 页

160.00 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)

前言

钢铁业既是社会能耗重点行业，也是温室气体排放大户，受节能减排的影响，钢铁业已开始向绿色环保的低碳型改造升级，由此会积极推进清洁生产、大力发展循环经济，不断提高劳动生产率。钢铁业中炼铁工序是能耗大户，能源消耗比例占钢铁业的70%左右，而其中高炉工序能耗约占总能耗的50%。相对于容积小的高炉，大型高炉具有单位炉容投资经济、能耗低、环境负荷低、劳动生产率高等优点。因此，国内外对大型高炉的发展非常重视。

高炉大型化发展遵循的是炼铁界普遍认同的基本原则：优质、高效、低耗、环保及长寿。随着经济的高速发展，钢铁需求量的迅猛增加，一批大型高炉在国外相继涌现，最早出现的4000m³级大型高炉诞生在日本。为进一步提高生产率，降低铁水成本，各国高炉的有效容积都在由2000m³级向5000m³级发展。其中最具代表性的是日本高炉大型化的发展进程，截至2005年，其平均炉容已达到3814m³，最大高炉有效容积为5775m³。国内首座4063m³高炉自1985年在宝钢诞生以来，至2005年宝钢4号高炉建成投产，国内仅有宝钢4座4000m³级高炉生产。但近十年来，随着经济发展对钢铁需求量的猛增，高炉大型化发展浪潮方兴未艾，国内4000m³级高炉如雨后春笋般出现，截至2014年，4000m³级高炉达到18座，最大高炉有效容积为5800m³。一批大型高炉建成投产，极大地改变了我国高炉结构，对促进我国高炉炼铁整体工艺装备的发展，提升钢铁业效率和效益发挥着无可替代的作用。

尽管高炉大型化对钢铁业又好又快的发展有着积极的推进作用，但是其发展进程必须基于一定的条件和基础，如大型高炉需要比中小型高炉更加优质的原燃料、高效的管理和综合操作技术。当前，大型高炉对优质原燃料资源的需求越来越多，而可供使用的资源供应则日

趋紧张，从而引发了高炉大型化和资源紧缺的矛盾，也导致了高炉炉况的波动、生产技术指标的下降，给高炉操作者带来了巨大的挑战。

大型高炉具有生产效率高、能源利用率高、单位炉容投资低等特点，与此同时，大型高炉需要更加严格、科学、系统的操作与管理及相应配套的生产技术。只有良好的管理与高超的操作技术结合在一起，才能充分发挥大型高炉的优势。否则，大型高炉会在波动中产生巨大的产量、成本、能耗、环境等方面的损失，成为制约企业发展进步的不稳定因素。大型高炉的操作与管理是高炉大型化发展的保障，是充分发挥大型高炉优势的前提，也是钢铁厂竞争力的体现。

高炉大型化受到下列因素的挑战：

基本操作制度选择；

调节思路及操作方法；

原燃料条件的把握（目标化管理）；

上下游工序之间的稳定管理。

宝钢目前拥有4座有效容积为 5000m^3 级的现代化高炉，其中1号高炉第一代是国内第一座投产的 4000m^3 级现代化高炉。经过三十年的发展，已形成有效容积为 4966m^3 的1号高炉（第三代）、有效容积为 4706m^3 的2号高炉（第二代）、有效容积为 4850m^3 的3号高炉（第二代）、有效容积为 4747m^3 的4号高炉（第二代），这4座大型高炉总有效容积达到 19269m^3 。高炉铁水产量从投产初期的300万吨，到1991年的400万吨、1995年的800万吨，再到1999年一举突破1000万吨大关，2007年实现1500万吨的突破，预计在宝钢高炉投产30年时，将累计生产铁水2.9亿吨。

虽然宝钢是国内最早引进 4000m^3 级大型高炉的企业，在投产初期也得到了外部的技术支持，但由于对大型高炉的操作认识不足，再加上每座高炉的装备各不相同，原燃料质量波动、设备不稳定等因素，给高炉顺行带来了巨大的挑战。如1号高炉第一代采用双钟四阀式结构，不太容易掌握导料板档位变化带来的炉料的落点变化和径向矿焦比的分布，炉墙反复出现结厚现象，导致高炉顺行不好、崩滑料多，

强化冶炼难以实现；如2号高炉投产初期缺乏对冷却水质管理经验，导致了在1994~1995年期间2号高炉冷却板多次大面积烧坏等问题；如3号高炉采用的全冷却壁矮胖型高炉，操作上无现成的经验可循，由于过多地考虑长寿问题，边缘气流压得过重，导致软熔带根部低，崩滑料次数多，炉况波动大，甚至发生炉凉等事故。

尽管宝钢高炉生产三十年来，在操作上碰到过各种各样的问题和难题，但宝钢炼铁人始终以“掌握新技术，要善于学习，更要善于创新”为指引，把技术落实到创新上、创世界一流水平上，以创新求发展，在“引进、消化、跟踪、创新”的道路上，取得了一系列可喜的成果，主要表现在：4座高炉全部实施强化冶炼，并长期保持稳定顺行；成功实现了高煤比、高利用系数、低硅低硫、优质低耗的冶炼操作，喷煤比、燃料比、工序能耗、利用系数等一些主要经济技术指标达到世界一流水平或世界领先水平。例如，1号高炉在1999年6月月均煤比达到260.6kg/t；3号高炉在2005年3月月均利用系数最高达到2.636t/(m³·d)；4座高炉工序能耗（标煤）“破4见3，小于400kg/t”；铁水含硅长期控制在0.3%左右；高炉长寿维护、开炉、停炉等技术取得重大突破；2号高炉一代炉龄达到15年，单位炉容产铁量超过1万吨/立方米，而3号高炉一代炉龄更是达到19年，单位炉容产铁量达到1.57万吨/立方米，步入世界长寿高炉行列；实现了高炉工作者一直追求的“优质、低耗、高效、长寿、环保”的目标，为宝钢整个生产和物流平衡走上良性循环做出了贡献。这一质的飞跃，在宝钢炼铁的发展史上，写下浓墨厚重的一笔。

本书重点叙述了大型高炉稳定顺行最主要的操作管理理念和方法。一是必要的“精料”是高炉生产顺行、指标先进的基础。大型高炉的稳定顺行，不仅仅是高炉炉况的日常调剂，而是必须从原燃料的选择以及对料场管理、烧结、炼焦全过程加以控制，在优质炼焦煤和铁矿石资源日益紧张的情况下，应及时调整高炉原燃料结构、品种和质量，为高炉提供质量稳定且能满足大型高炉冶炼需要的原燃料，以实现炼铁系统效益最大化。二是高炉操作上从传统的调节炉温、气流应逐步

过渡到以稳定日常操作炉型为目标的炉体热负荷管理,强调“三段式”的煤气流管理,并结合高炉工艺装备的不同,做到高炉煤气流上、中、下的合理匹配,通过煤气流合理分布来获得稳定的操作炉型,同时还应关注炉前作业及设备状态,达到高炉炉况长期稳定运行。

纵观宝钢4座大型高炉生产实绩,我们愿意将多年来通过不断探索而形成的一套宝钢大型高炉操作技术与管理经验与读者分享,供炼铁同行参考,共同提高大型高炉的操作水平和管理水平。相信本书的出版对我国大型高炉的操作与管理取得更大的进步会有所裨益。

本书分四篇共17章。原燃料生产与质量控制篇介绍了原料、烧结、炼焦如何服务于大型高炉的生产要求及高炉的精料技术;高炉操作与管理篇介绍了大型高炉的炉况判断、煤气流调节、操作炉型管理、高煤比操作、低硅冶炼、休送风管理、开停炉操作及炉前作业管理等;高炉长寿与维护篇介绍了高炉的选型与配置、炉体维护及炉缸维护等;工艺装备技术发展篇介绍了炉顶装料系统、煤气净化系统及高炉专家系统的发展趋势。

本书编写人员都长期工作在宝钢生产第一线,有丰富的生产和管理实践经验,也是宝钢炼铁大工序的主要技术骨干。参与编写工作的人员有:王跃飞、鲁健、曹银平、华建明、林成城、夏欣鹏、俞樟勇、朱锦明、王波、朱勇军、杨俊、程乐意、王臣、朱怀宇、徐辉等,全书编写工作由朱仁良组织并负责篇章结构安排和调整、审稿、修改、定稿工作。

在本书编写过程中,还得到了宝钢集团有限公司有关部门及炼铁厂相关人员的大力支持和帮助,在此一并表示感谢。

由于作者水平所限,不足之处敬请批评指正。

朱仁良

2015年6月于上海

目 录

第一篇 原燃料生产与质量控制

1 原料管理	3
1.1 原料管理概述	3
1.1.1 原料管理的意义	3
1.1.2 宝钢原料管理的特点	3
1.1.3 原料管理的主要内容	4
1.2 原料及料场管理	5
1.2.1 原料质量管理	5
1.2.2 原料数量管理	10
1.2.3 料场管理	14
1.3 原料堆积技术	21
1.3.1 料场堆积技术	21
1.3.2 混匀矿堆积技术	29
1.4 原料质量管理标准	42
1.4.1 破碎筛分质量管理标准	42
1.4.2 混匀矿质量管理标准	42
1.4.3 用户槽位管理标准	43
2 烧结生产与质量控制	45
2.1 概述	45
2.2 烧结质量管理及控制	46
2.2.1 烧结矿质量管理标准	46
2.2.2 烧结矿质量控制措施	47
2.3 烧结配矿技术	57
2.3.1 铁矿石的质量控制	57
2.3.2 熔剂的质量控制	57
2.3.3 燃料的质量控制	59
2.3.4 混匀矿配矿技术	60

2.4 烧结生产控制技术	64
2.4.1 低硅烧结	64
2.4.2 厚料层烧结	68
2.4.3 高褐铁矿配比烧结	71
3 炼焦生产与焦炭质量控制	77
3.1 焦炭质量控制原则和方式	77
3.1.1 焦炭质量指标体系	77
3.1.2 焦炭质量综合指标的控制	79
3.2 炼焦煤质控制与配煤技术	88
3.2.1 炼焦单种煤使用策略	88
3.2.2 进厂单种煤质量控制	90
3.2.3 新品种的开发和使用	94
3.2.4 配煤技术发展思路及配煤结构变化	95
3.2.5 配煤生产中的煤种替代	98
3.2.6 非炼焦煤在炼焦配煤生产中的使用	103
3.2.7 焦炭质量预测与配煤专家系统	110
3.3 炼焦用煤准备及处理	117
3.3.1 炼焦煤料场管理	117
3.3.2 焦炉装入煤处理过程	118
3.4 焦炉及熄焦生产及过程控制	128
3.4.1 焦炉干馏过程焦饼中心温度控制	128
3.4.2 焦炉火落管理	129
3.4.3 焦炉火落管理与炉温管理日常应用方式	132
3.4.4 焦炉作业计划对焦炭质量的影响	133
3.4.5 干法熄焦	134
参考文献	137
4 高炉精料技术	138
4.1 高炉原燃料质量要求	138
4.1.1 原料的质量要求	140
4.1.2 燃料的质量要求	144
4.2 入炉原燃料管理	150
4.2.1 槽位管理	151
4.2.2 筛分管理	152

4.2.3 水分管理	156
4.2.4 成分管理	157
4.2.5 渣比控制	167
4.3 炉料结构	167
4.3.1 炉料在高炉内的性状变化	168
4.3.2 合理炉料结构优化途径	182
参考文献	192

第二篇 高炉操作与管理

5 宝钢高炉生产工艺概述	195
5.1 高炉概况	195
5.2 各系统情况简介	196
6 高炉炉况顺行的判别及煤气流调节	197
6.1 炉况顺行的判别	197
6.1.1 炉况顺行的定义	197
6.1.2 炉况顺行的表征特点	197
6.1.3 炉况顺行的判别方法及标准	198
6.2 高炉合理煤气流控制	202
6.2.1 煤气流形成过程、类型及影响因素	202
6.2.2 观察和评判气流分布方法	206
6.2.3 合理煤气流特征	210
6.2.4 合理煤气流的调剂与控制	211
6.2.5 日常气流变化时的应对	224
6.2.6 炉况失常处理方法及预案	227
7 操作炉型管理	243
7.1 炉型管理的概念及内容	243
7.1.1 炉型管理概念	243
7.1.2 管理内容	243
7.2 炉型管理方法及异常处理	245
7.2.1 正常生产时炉型的管理	246
7.2.2 炉墙结厚处理	249
7.2.3 热负荷频繁波动处理	252

参考文献	257
8 高煤比操作	258
8.1 高煤比操作的意义	258
8.2 高炉喷煤发展历程及近年来喷煤情况	259
8.3 高喷煤比操作特点及对高炉冶炼过程的影响	261
8.3.1 高煤比喷煤操作特点	261
8.3.2 高煤比喷煤对高炉冶炼过程的影响	262
8.4 高煤比操作的措施与对策	267
8.4.1 调剂及控制煤气流分布	267
8.4.2 控制炉热制度和造渣制度	270
8.4.3 提高煤焦置换比	272
8.4.4 保证稳定的外围条件	276
参考文献	278
9 低硅冶炼	279
9.1 低硅冶炼的理论	279
9.1.1 低硅冶炼的意义	279
9.1.2 国内外低硅冶炼水平	279
9.1.3 低硅冶炼的机理分析	280
9.1.4 降低铁水硅含量的措施	288
9.2 高炉低硅冶炼实践	288
9.2.1 低硅冶炼特点	289
9.2.2 低硅冶炼技术措施	290
参考文献	297
10 休风管理和送风管理	298
10.1 休风管理	298
10.1.1 预定休风准备工作	298
10.1.2 休风操作	308
10.2 送风管理	313
10.2.1 送风准备工作	313
10.2.2 送风操作	314

11 开炉操作与停炉操作	324
11.1 开炉操作	324
11.1.1 概述	324
11.1.2 开炉前准备工作	324
11.1.3 高炉烘炉	325
11.1.4 枕木填充及计算	336
11.1.5 炉料填充及料面测试	338
11.1.6 开炉点火操作	344
11.2 停炉操作	350
11.2.1 概述	350
11.2.2 停炉前准备工作	351
11.2.3 空料线停炉	356
11.2.4 打水凉炉	362
11.2.5 高炉停炉异常情况处置（停炉前和停炉过程中各种 事故预案）	366
12 炉前作业与管理	370
12.1 炉前作业管理的目的和意义	370
12.2 炉前作业管理内容及方法	371
12.2.1 出渣铁状态管理	371
12.2.2 铁口状态管理	376
12.2.3 宝钢高炉炉前作业情况	382
12.3 炉前作业状态异常的处理	384
12.3.1 铁口深度过深	384
12.3.2 铁口深度过浅	384
12.3.3 漏铁事故处理	386
12.3.4 铁口煤气火大	386
12.3.5 打泥压力连续高	387
12.3.6 跑大流	390
12.3.7 出铁喷溅大	390
12.3.8 侧壁温度高时炉前作业应对	391
12.4 定修及开、停炉炉前作业	392
12.4.1 定修炉前作业管理	392
12.4.2 开炉作业管理	393
12.4.3 停炉作业管理	396

参考文献	398
------------	-----

第三篇 高炉长寿与维护

13 选型与配置	401
13.1 高炉炉型	401
13.1.1 宝钢高炉炉型演变	401
13.1.2 合理炉型选型	423
13.2 冷却配置	427
13.2.1 炉体冷却结构	428
13.2.2 炉缸冷却结构	435
13.2.3 冷却水系统	439
13.3 耐火材料	447
13.3.1 炉缸耐火材料	448
13.3.2 炉体耐火材料	452
13.3.3 炮泥	454
参考文献	456
14 长寿维护	457
14.1 高炉内衬及冷却设备的诊断	457
14.1.1 炉体检测系统	458
14.1.2 炉缸侵蚀模型	459
14.2 炉缸、铁口及风口区域的维护	464
14.2.1 炉缸区域维护	464
14.2.2 铁口区域维护	466
14.2.3 风口区域维护	472
14.3 炉体内衬的维护	474
14.3.1 炉体内衬维护的必要性	474
14.3.2 炉身喷涂	475
14.3.3 封罩喷涂	480
14.3.4 上升管下降管维护	481
14.3.5 硬质压入	481
14.4 冷却设备的维护	489
14.4.1 冷却设备维护简介	489
14.4.2 冷却壁的整体更换	489

14.4.3 冷却板的更换	492
14.4.4 微型冷却器的安装	493
参考文献	496

第四篇 工艺装备技术发展

15 炉顶装料系统	499
15.1 宝钢钟式炉顶装料设备	499
15.2 串罐式无料钟炉顶	499
15.2.1 早期的旋转受料罐式串罐无料钟炉顶	501
15.2.2 固定受料罐式串罐无料钟炉顶	510
15.2.3 新型旋转受料罐式串罐无料钟炉顶	514
15.3 并罐式无料钟炉顶	517
15.3.1 设备构成	517
15.3.2 炉顶设备的装料过程	517
15.3.3 主要性能及结构特点介绍	517
16 煤气净化系统	525
16.1 双文洗涤塔式的煤气净化系统	525
16.1.1 工艺流程简述	525
16.1.2 主要设备及结构特点	526
16.2 环缝洗涤系统	529
16.2.1 工艺流程简述	529
16.2.2 主要设备及结构特点	533
16.3 煤气干法除尘系统	536
16.3.1 工艺流程简述	536
16.3.2 主要设备及结构特点	538
17 高炉专家系统	545
17.1 高炉专家系统简介	545
17.1.1 高炉专家系统的功能	545
17.1.2 高炉专家系统的总体要求	546
17.1.3 高炉专家系统的实践	546
17.2 早期高炉专家系统	547
17.2.1 早期高炉专家系统的特点	547

17.2.2 早期高炉专家系统的应用实践	547
17.3 现有高炉专家系统	549
17.3.1 现有高炉专家系统的特点	550
17.3.2 现有高炉专家系统的应用实践	550
17.4 展望	574

第一篇

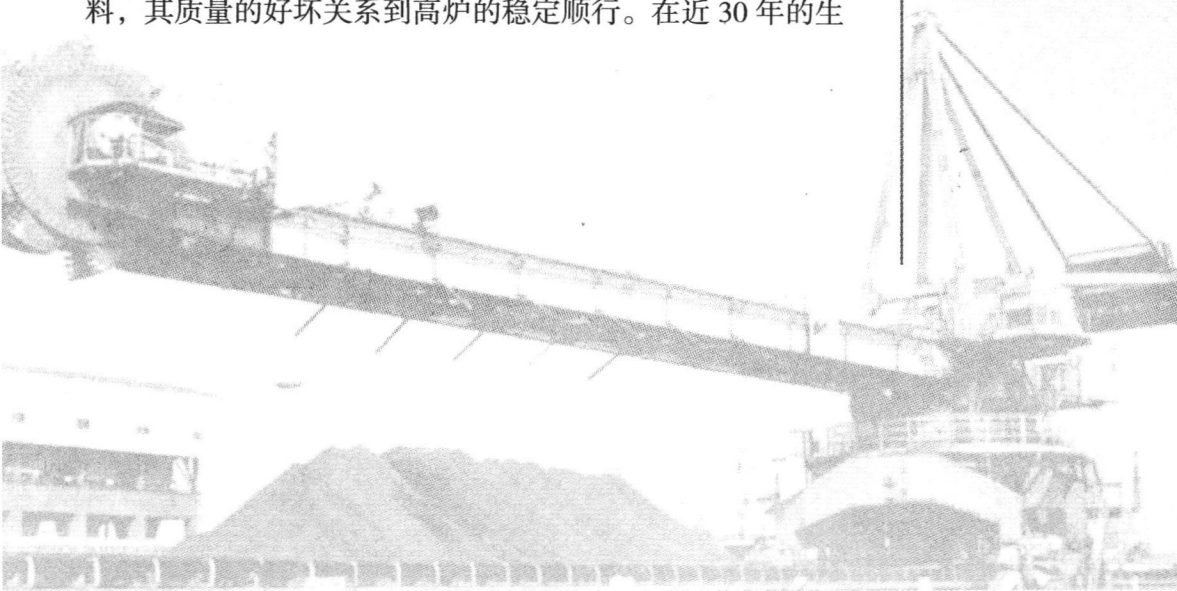
原燃料生产与质量控制

炼铁工作者常说的“七分原料、三分操作”，表明了原燃料在高炉炼铁中对高炉顺行和技术经济指标的重要性。随着高炉的大型化、现代化、高利用系数、低成本操作、高煤比和长寿需求，高炉对原燃料的质量要求越来越高。炼铁原燃料管理是以高炉对原燃料的要求为目标，确保高炉各前道工序产品烧结矿、焦炭、混匀矿等既满足大高炉需要又实现炼铁系统效益最大化。

本篇主要介绍了原料管理、烧结和炼焦的生产与质量控制以及高炉精料技术等四个方面内容：

(1) 原料管理。宝钢拥有大型的现代化料场，对原料进行预处理、破碎筛分等，通过混匀堆积作业，给烧结输送稳定的原料。为满足宝钢高炉精料方针的要求，矿石系统和煤焦系统都实行“集中统一——贯和计划统一——贯”的管理原则，使高炉、烧结、焦炭生产与原料供需统一起来考虑，在每个环节上的管理都趋向标准化，减少由于外部因素变化所引起的原燃料波动，确保原燃料的库存、质量和数量达标，稳定高炉生产。

(2) 烧结生产与质量控制。烧结矿作为高炉的主要原料，其质量的好坏关系到高炉的稳定顺行。在近 30 年的生



产实践中，宝钢烧结一直在改善配矿结构、降低配矿成本、提高烧结矿产质量等方面进行技术攻关，逐步形成了低硅烧结、高褐铁矿配比烧结、厚料层烧结、液密封环冷等高效节能环保等核心技术，确保了烧结矿成分比较稳定，理化指标和冶金性能等质量指标优良，为高炉生产的稳定顺行和降本增效提供了有力保障。

（3）炼焦生产与焦炭质量控制。根据高炉对焦炭的要求，炼焦配煤技术以焦炭质量控制为核心，注重选煤、配煤和用煤等多个环节。炼焦煤的预处理包括预破碎、煤的配合、二次破碎、成型煤及煤调湿等工艺过程，将配合好的煤装入炼焦炉的炭化室，在隔绝空气的条件下通过燃烧室加热干馏形成焦炭，并采用全干熄方式处理高温焦炭。焦炭质量管理除关注化学成分、粒度外，更主要的是其常规力学性能（转鼓强度、耐磨指数等）和高温冶金性能，如反应性（*CRI*）和反应后强度（*CSR*），确保焦炭的各项性能指标满足宝钢高炉质量要求。

（4）高炉精料技术。宝钢以高炉为中心组织生产，使用自产的烧结矿和焦炭，球团矿和精块矿均为外购。由于世界钢铁产量大幅增长，致使优质炼焦煤和铁矿石资源紧张，而且原燃料的质量和性能呈下降趋势。受市场影响，宝钢高炉原料结构、品种和质量也在不断调整和优化，对高炉稳定产生一定的影响。宝钢一贯坚持高炉精料方针，日常生产过程中不仅重视原燃料管理（槽位管理、筛分管理、水分管理和成分管理），也注重高炉炉料的合理搭配，优化高炉炉料结构一直是宝钢高炉坚持的生产技术路线。在炉料结构中化学成分是基础，物理性能是保证，冶金性能是关键。合理炉料的结构不仅要提升炉料理化性能、改善冶金性能，关键是保持炉料结构的稳定性。

