

高炉炼铁技术

中国金属学会

冶金继续工程教育丛书

冶金工业出版社



邓守强 主编

76.213

141

C.2

冶金继续工程教育丛书

高炉炼铁技术

邓守强 主编

76.213/141

冶金工业出版社

1990



冶金继续工程教育丛书

高 炉 炼 铁 技 术

邓守强 主编

冶金工业出版社出版发行

(北京北河沿大街崇文门北巷33号)

新华书店总店科技发行所经销

冶金工业出版社印刷厂印刷

787×1092 1/32 印张 16 5/8 字数 381 千字

1991年2月第一版 1991年2月第一次印刷

印数00,001~5,000册

ISBN 7-5024-0780-4

TF·175 定价 10.30元

序

中国金属学会组织编写了“冶金继续工程教育丛书”，为大家办了一件好事。积极开展继续教育，对于提高冶金科技人员水平，促进冶金工业的发展具有重要意义。希望冶金战线各级领导重视这项工作，努力创造条件，为科技人员在职学习提供方便；同时也殷切希望广大冶金科技工作者坚持学习，不断吸收新知识，学习新技术，为实现四化、振兴中华做出更大贡献。

中国继续工程教育协会理事
冶金工业部副部长



一九八八年十二月

前 言

本书是中国金属学会组织编写的“冶金继续工程教育丛书”中的一种。本书着重介绍了近年来本专业出现的最新理论观点，最新研究成果和近期国内外采用的最新炼铁技术和工艺。书中各章内容相对独立，是以专题形式编写的。本书力求内容新颖，带有探讨性，希望它能对读者有所启发。

全书由邓守强教授主编。参加编写工作的有：邓守强（第3、7^①、11章）、杜鹤桂（第5、8章）、李永镇（第4、6章）、杨兆祥（第1、2章）、王文忠（第9章）、周世倬（第10章）、糜克勤（第13章）、赵超和蔡信可（第14章）、李业惇（第12章）。

由于编写时间仓促，书中不当之处，望读者批评指正。

邓守强

1989.1.

① 刘新参加了第7章的部分计算工作。

目 录

1 焦炭在高炉内的行为及其性能	1
1.1 焦炭的常规冷态质量	2
1.2 焦炭在高炉内的性状变化	10
1.3 焦炭的热性能	18
1.4 结论	22
2 铁矿石的热性能及合理炉料结构	24
2.1 高炉内炉料性状的变化	24
2.2 还原强度	27
2.3 软熔性能	38
2.4 矿石的还原性	45
2.5 高炉炉料结构的合理化	49
3 高炉内非铁元素还原迁移	55
3.1 硅的还原迁移	55
3.2 锰的还原迁移	85
3.3 生铁渗碳	94
3.4 金属铁吸硫	97
4 高炉内煤气运动规律	101
4.1 散料的基本参数	101
4.2 气体在散料层中的压力降	195
4.3 散料层中气体运动的理论解析	109
4.4 不同形状散料体的气体运动	113
4.5 高炉内的煤气运动	132
5 高炉炉顶布料控制技术	140
5.1 高炉合理的煤气流分布	141
5.2 布料规律和作用	144

5.3	装料制度的作用	161
5.4	变径炉喉和无钟炉顶	163
5.5	矿石和焦炭混合装料	177
6	高炉内的渣铁运动	183
6.1	高炉内的液泛与流态化现象	183
6.2	成渣带(软熔带)中渣的运动	191
6.3	炉腹和风口带的液相流动	205
6.4	出渣出铁时炉缸中的渣铁运动	210
7	高炉冶炼过程计算分析	218
7.1	高炉冶炼综合计算	219
7.2	两种热平衡方法的比较	229
7.3	高炉区域热平衡	232
7.4	高炉操作线图	235
7.5	高炉操作调剂简易计算	252
8	高炉富氧喷吹技术	264
8.1	高富氧大喷吹煤粉	264
8.2	高富氧,大喷吹天然气——综合鼓风冶炼技术	282
9	含钛炉料护炉	290
9.1	用于护炉的含钛物料	290
9.2	钛在高炉内的行为	291
9.3	含钛炉渣的特性	294
9.4	含钛粘结物及其形成过程	300
9.5	含钛物料用量及操作特点	303
10	高炉内的碱金属	305
10.1	碱金属在高炉内的循环和积累	305
10.2	碱金属对高炉内焦炭性能的影响	317
10.3	碱金属对烧结矿(球团矿)冶金性能的影响	323
10.4	碱金属对硅铝质耐火材料的侵蚀	331
10.5	抑制碱金属的对策	339
11	小高炉冶炼	346

11.1	合理强化小高炉冶炼	346
11.2	小高炉炉缸工作分析	356
11.3	小高炉合理炉料结构	361
11.4	改善小高炉煤气利用的方向	365
11.5	小高炉能量利用分析	368
11.6	小高炉喷吹燃料	385
12	高炉检测技术的发展	399
12.1	块状带检测仪表	402
12.2	软熔带的检测	420
12.3	料面上煤气流速、温度分布及成分的检测	423
12.4	煤粉喷吹量的单管计量	427
12.5	焦炭水分的检测	431
12.6	炉衬侵蚀的检测	437
13	高炉数学模型与微机应用	443
13.1	静态模型的建立	444
13.2	动态模型	450
13.3	高炉热平衡模型	454
13.4	高炉系统的微机控制	460
13.5	高炉人工智能系统	467
13.6	判断炉况用的参数的确定	472
13.7	结束语	476
14	现代高炉操作管理	478
14.1	主要生产操作参数的设计	478
14.2	原燃料管理	483
14.3	煤气流分布管理	486
14.4	炉温控制管理	510
14.5	炉况的综合判断	516

焦炭在高炉内的行为及其性能

焦炭在高炉冶炼中起着发热剂，还原剂和料柱骨架的三大作用。因此，焦炭质量对冶炼过程有很重要的影响。

对焦炭质量的要求和评价标准，有一个认识过程。早先，对焦炭的质量要求，主要是要求其灰分低，含硫少，强度高（落下强度和耐磨强度），挥发分低和水分稳定等。此后，对风口焦粒度的研究发现焦炭在炉内有粉化现象，提出了热强度的要求和多种测定热强度的方法。焦炭在炉内粉化的原因，是在70年代大高炉解剖研究之后才被真正阐明。这就是碳的气化反应（ $C + CO_2 = 2CO$ 反应或碳的溶损反应）的反应性。早先也提出过反应性的要求，但主要是从煤气化学能的利用来考虑，即考虑发挥其发热剂和还原剂的作用，而现在则考虑其对强度的影响和发挥其骨架的作用。由于碱金属对碳气化反应的催化作用，又提出焦炭抗碱性的要求。因此，对焦炭质量的基本要求是：

- 1) 在化学成分上，要求硫低；此外还要求灰分低和水分稳定；
- 2) 在机械强度上，要求冷态和热态的抗磨、抗打击和落下强度好；
- 3) 在物理化学性质上，要求合适的反应性；
- 4) 在粒度上要求均匀并且大小合适。

应当指出，根据地区煤资源条件的不同，对焦炭质量要求的侧重面也不同。如在美国，因煤中灰分和硫很低，而粘结性很强，用这种煤炼出的焦炭裂纹多而疏松，所以强调大于25mm的稳定程度和大于6mm的坚固程度。在西德鲁尔区，焦煤丰富，焦炭强度很好，因此常常要求改善焦炭的反应性。在日本，由于使用进口煤，可以在硫、灰分和强度上选用最佳配煤比，而重点要求抑制焦炭的反应性。

1.1 焦炭的常规冷态质量

目前我国对焦炭常规质量的要求主要是灰分、硫和转鼓强度。关于它们对高炉冶炼的影响，已为大家所熟知。一般灰分增加1%，焦比升高2%，产量降低3%。而焦炭中硫增加0.1%，焦比增加约1.5%，产量下降约2%，在焦炭含硫高的条件下，焦炭含硫量变化对焦比的影响较含硫低时的影响要大。

1.1.1 焦炭转鼓强度的检测

测定焦炭转鼓强度的方法有以下几种：米库姆（micum）转鼓试验；JIS转鼓试验；ASTM转鼓试验等。

1. 米库姆转鼓试验

该转鼓试验系国际标准化组织（ISO）推荐用来测定焦炭强度的转鼓试验：取50kg大于60mm的焦炭装于直径和宽皆为1m的封闭转鼓中，鼓内壁每隔90°焊角钢（100×50×10mm）一块，共四块，以25r/min的转速转100转，试验后用 $\phi 40$ 及 $\phi 10$ mm圆孔筛筛分，以大于40mm的百分数（用 M_{40} 表示）作破碎强度指标，以小于10mm的百分数（ M_{10} ）作

磨损强度指标。

2. JIS (日本国家标准) 转鼓试验

用系统取样法, 取40kg粒度约为50mm的焦炭, 用空气干燥后经50mm筛孔过筛缩分到10kg。将试样放入内径和宽度均为1500mm转鼓内, 在圆筒内表面均匀固定六根宽250mm厚9mm的扁钢刀刃, 以 $15 \pm 0.5 \text{ r/min}$ 的转速转动2min (30转) 和20min (150转), 用15mm筛孔过筛, 用其中大于15mm的百分数表示其转鼓强度, 以 D_{15}^{30} 和 D_{15}^{150} 表示。

3. ASTM (美国材料试验协会) 转鼓试验

取11.34kg粒度为50.8—76.2mm的焦炭, 置于内径为

表 1-1 焦炭强度的几种试验方法

试 验	试 样		转鼓尺寸		试验特性		总 转 数	转 鼓 指 数	
	重量 kg	粒度 mm	长, m	直径 m	转速 r/ min	转动 时间 min		破碎强度	耐磨强度
米库姆(小转鼓)	50.0	>60	1.0	1.0	25	4	100	M_{40}	M_{10}
半一米库姆	25.0	>60	0.5	1.0	25	4	100	同上	同上
IRSID(法国钢铁研究院)	50.0	>20	1.0	1.0	25	20	500	I_{20}	I_{10}
ASTM(美国材料试验协会)	10.0	51.76	0.46	0.9	24	588	400	大于25mm的百分数	大于6mm的百分数
D_{15}^{30} (日本国家标准)(JIS)	10	>50	1.5	1.5	15	2	30	大于15mm的百分数	
D_{15}^{150} (日本国家标准)	10	>50	1.5	1.5	15	10	150		
松格林(大转鼓) (苏联)	410	>25	0.8	2.0	10	15	150	鼓内>25mm, 公斤数	鼓外<10mm, 公斤数

914.4mm宽为457.4mm的转鼓中，鼓壁固定有等边角钢，以24r/min的转速转1400转，产物用50.8mm、38.1mm、25.4mm、12.7mm和6.4mm的方孔筛过筛。用大于25.4mm的百分数作“稳定性指标”，用大于6.4mm的百分数作“硬度指标”。

此外，还有其它一些测定焦炭转鼓强度的方法，其主要参数列于表1-1。

虽然测试方法很多，但还没有一种试验方法能确切预示焦炭强度和高炉操作之间的定量关系。重要的原因是，常温转鼓试验只能反映焦炭从焦炉运到高炉前的抗碎性，而不能完全反映焦炭在高炉内因受各种化学的和热作用而引起的破碎。可见，研究一种受化学和热作用的高温热转鼓的测试方法是很有意义的。

1.1.2 机械强度对冶炼的影响

焦炭强度对高炉冶炼的影响是十分明显的。图1-1示出了焦炭转鼓强度指数 DI_{10}^{100} 和 DI_{10}^{50} 同高炉操作指标的关系。随强度降低，燃料比升高，崩悬料增加，炉况不顺，洗炉次数增加。强度升高，高炉产量明显增加（图1-2）。

对焦炭强度的要求，随炉容加大而相应提高，因为随炉容扩大，焦炭所受的破坏功增加，破碎比增加（图1-3）。因此，一般对于2000m³级高炉，要求 DI_{10}^{100} 大于81%（相当于 M_{40} 大于74%和 M_{10} 小于9%），对于4000m³级高炉， DI_{10}^{100} 大于83%（相当于 M_{40} 大于78%， M_{10} 小于8%）。

焦炭的抗压强度，一般可满足要求。在4000m³高炉内，其最低层的焦炭所受的静压力不会超过4MPa，而一般焦炭的耐压强度在14.7MPa以上。

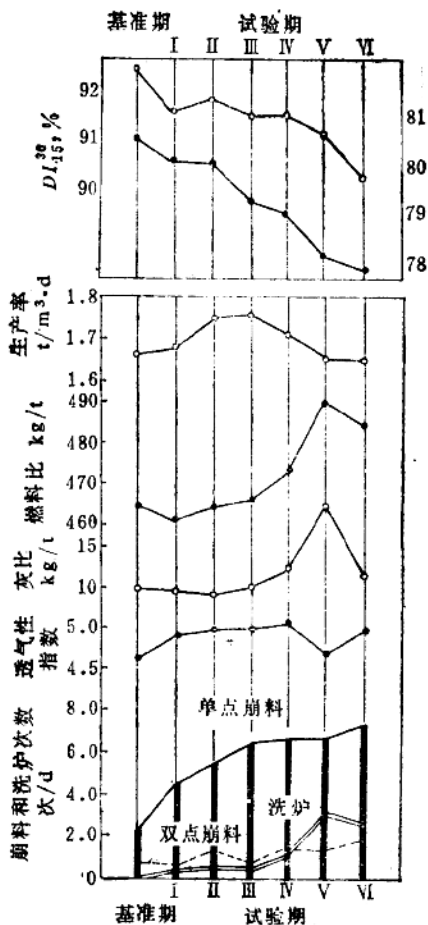


图 1-1 焦炭强度和高炉操作指标的关系

1.1.3 焦炭水分

焦炭水分大小，不会影响焦比，而只能影响炉顶温度。

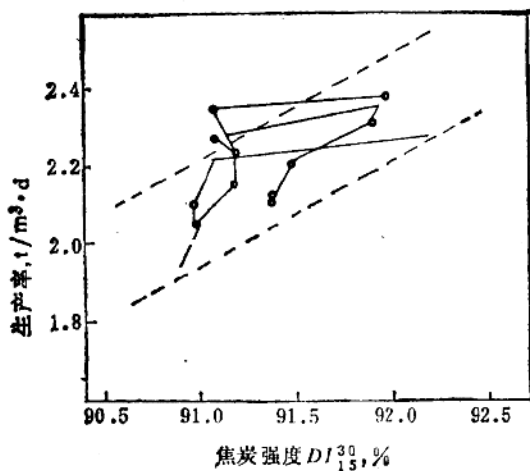


图 1-2 某厂几座高炉的焦炭强度同高炉生产率的关系

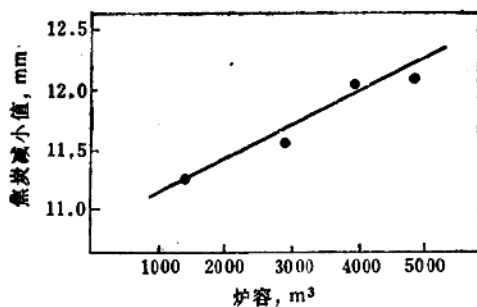


图 1-3 高炉炉容与焦炭粒度减小值的关系 (减少值 = 入炉焦炭平均粒度 - 风口焦的平均粒度)

但是，焦炭水分的波动会影响入炉干焦量，引起炉温波动。所以一般要求水分稳定。目前，不少工厂采用红外法或中子法自动测定焦炭水分，根据焦炭水分变化自动调整焦炭称量。这对稳定炉温起到良好作用。

采用干法熄焦可以使焦炭不含水分。它是将从焦炉生产出的红热焦炭用惰性气体循环冷却（从1000—1050℃冷至180—200℃）并回收其热量，生产高参数蒸汽。所以，它的更重要的优点还在于回收红热焦炭的80%显热，消除湿法熄焦时产生的 SO_2 及 NO_x 的污染，使焦炭强度改善。但是，干熄焦的自用电耗较大，还要消耗一定量的氮气、低压蒸汽和纯水等。

1.1.4 合适的粒度

入炉焦炭的粒度及其分布，也是对焦炭质量的一项重要要求，因为它在整个料柱中所占的体积在一半以上，尤其是在高炉下部高温区，只有焦炭以固态存在。所以，合适的焦炭粒度是保证其发挥料柱骨架作用的基本条件。

在块状带，由于焦炭层透气性比矿石层高，体积比矿石层大，所以对炉身部分料柱透气性影响很大。随炉料中焦炭体积的减小，料柱透气性降低（图1-4）。

在软熔带，焦炭粒度增大可以提高“焦窗”的透气性。在滴落带，渣铁熔化通过固体焦炭层，当焦炭粒度变小和粒度不均时，则焦炭层中焦炭的比表面积增大和空隙度减少，增加了渣铁液体流过焦炭层的阻力和产生“液泛”的可能性。根据以上分析，增加焦炭粒度有助于改善料柱透气性（图1-5）和增加高炉产量（图1-6）。但是，入炉焦炭粒度的允许下限控制过高，对合理利用焦炭资源不利。在国外，不少高炉的焦炭粒度下限已降到15—20mm，只有一些

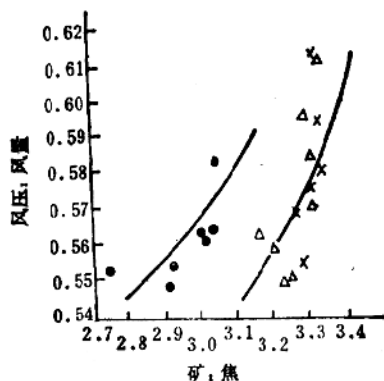


图 1-4 矿焦比与透气性阻力的关系
矿石粒度, mm

●—8—40; △—8—30; ×—8—25

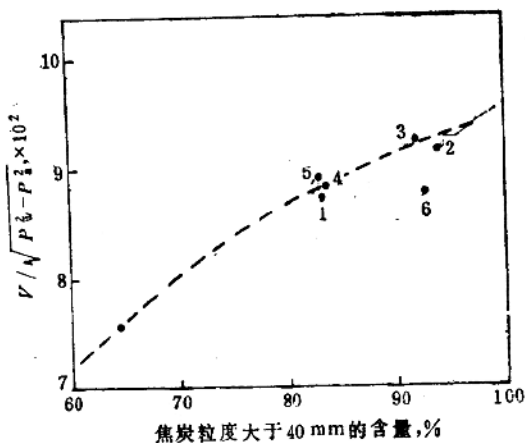


图 1-5 高炉内焦炭粒度 (大于40mm部分) 同透气性的关系

试验期	焦炭粒度, mm
1	+ 25
2	+ 40
3	40—80
4	25—80
5	25—80
6	40—80
7	25—60

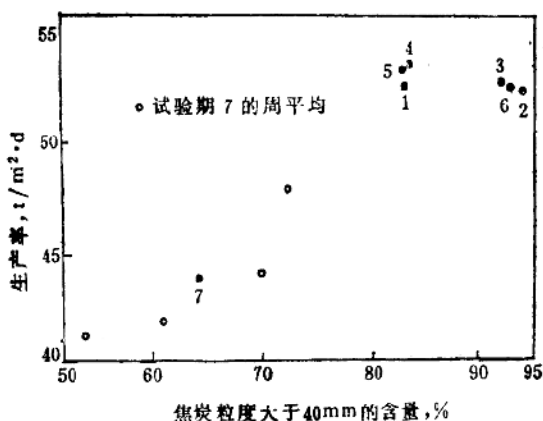


图 1-6 焦炭粒度（大于40mm部分）同高炉生产率的关系
（图中序号同图1-5）

2000m³以上的大高炉的焦炭粒度为40—80mm。我国一些800—1000m³的高炉曾用25—40mm的中块焦进行试验，证明是可行的。一般焦炭中25—40mm的中块焦约占全部焦炭产品的14—15%，所以利用中块焦对节约焦炭资源很有意义。

为了适当降低入炉焦炭的粒度下限而又不过分恶化料柱透气性，采用焦炭按粒度分级入炉的措施是合理的，即将25—80mm焦炭分成25—40mm和40—80mm两级。1959年本钢一铁厂采用大于65mm和40—65mm两级焦炭分级入炉，结果使产量增加7—15%。

适当降低入炉焦炭的粒度下限，并不等于可以忽视碎焦和焦炭粉末（小于10mm）的不良影响。焦炭粉末和碎焦进入高炉，将导致高炉结瘤、炉缸堆积和大量风渣口烧坏等事故。所以入炉前焦炭必须过筛。