

018776

高炉炉前工

冶金工业出版社



高 炉 炉 前 工

张殿友 编

冶金工业出版社

内 容 提 要

本书以通俗简明的语言着重介绍了高炉炉前工操作经验,叙述了高炉生产的基本过程,炉前机械、设备的操作与维护,并结合生产中的一些常见事故讲述了对事故的预防和消除的措施和方法。可供高炉炉前工阅读,对炼铁专业的技术人员也有参考价值。

高 炉 炉 前 工

张殿友 编

*

冶金工业出版社出版

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092 1/32 印张5字数 108 千字

1978年9月第一版 1978年9月第一次印刷

印数00,001~16,400册

统一书号: 15062·3367 定价(科二) 0.36元

目 录

第一章 高炉生产概述	1
第一节 高炉生产的工艺流程	1
第二节 高炉冶炼的基本过程	2
第三节 高炉冶炼的产品	8
第四节 高炉冶炼的经济技术指标	10
第二章 炉前工作平台和炉前操作指标	14
第一节 炉前工作平台	14
第二节 炉前操作的任务	20
第三节 炉前操作指标	20
第四节 出铁次数的确定	23
第三章 出铁	26
第一节 出铁口的构造	26
第二节 铁口的工作条件和维护好铁口的重要性	30
第三节 铁口的维护	34
第四节 出铁操作	41
第五节 出铁事故及其处理	50
第四章 砂口操作	60
第一节 砂口的构造与原理	60
第二节 砂口操作	62
第三节 砂口的事故及其处理	68
第五章 放渣	73
第一节 渣口装置	73
第二节 水力冲渣	75
第三节 放渣操作	77
第四节 渣口装置的维护	80

第五节	渣口事故及处理	82
第六章	开炉、停炉、休风和复风的炉前操作	88
第一节	开炉的炉前操作	88
第二节	中修和封炉后复风的炉前操作	93
第三节	停炉的炉前操作	99
第七章	更换风、渣口装置	104
第一节	更换风口装置	104
第二节	更换渣口装置	111
第八章	炉前设备和辅助工具	115
第一节	电动泥炮	115
第二节	液压泥炮	124
第三节	开口机	128
第四节	堵渣机	131
第五节	炉前吊车	134
第六节	炉前常用的辅助工具和机械	135
第九章	炉前常用的耐火材料	139
第一节	耐火材料的使用性能	139
第二节	炮泥的性能与制备	140
第三节	铺沟泥的性能与制备	144
第四节	套泥的制备	146
第十章	特殊情况下的处理操作	147
第一节	风口风管严重灌渣时的处理	147
第二节	突然停水停电停风的处理	148
第三节	风管烧穿和风口爆炸的处理	149
第四节	风口连续破损时的炉前操作	150
第五节	炉缸冻结的处理	151

第一章 高炉生产概述

第一节 高炉生产的工艺流程

高炉是一个竖式的近似圆筒形炉子。高炉本体（如图1—1所示）包括炉基、炉壳、炉衬、及其冷却设备和高炉框架或支柱。

高炉炉型即高炉内部空间形状，一般分为五段：炉喉、炉身、炉腰、炉腹和炉缸。炉缸部分设有铁口、渣口和风口。

炉基由上下两部分组成。下面的钢筋混凝土块体称为基座，上面是用耐热混凝土制做的圆形块体，称为基墩。

炉壳是用钢板焊接成的，它起着承受负荷、强固炉体、密封炉墙等作用。

炉衬用耐火砖砌成，它是在高温条件下工作的。根据炉衬各部位的工作条件而选用不同的耐火材料。为了延长炉衬的使用寿命，通常对其进行冷却，冷却介质一般都用水。

冷却设备种类很多，有光面冷却壁、镶砖冷却壁、铸钢水平冷却板、支梁式冷却水箱等。它们都是内有通水管子的金属铸件。冷却的方式多采用循环水冷却（炉底为通风冷却）。近几年来汽化冷却有很大发展。设计时根据高炉各段热负荷的大小和砖衬的结构要求，选用不同类型的冷却设备。

高炉框架或支柱主要是支持炉顶设备的装置。旧式高炉多采用由炉缸支柱、炉腰支圈、炉身支柱和炉顶框架组成的

支柱结构，以支持炉顶和炉身重量。新型高炉采用四根立柱组成的框架结构支持炉顶重量，取消了围绕炉缸和炉身的炉缸支柱和炉身支柱。

工艺流程除高炉本体外还有以下几个系统：

1. 上料系统 包括贮矿场、贮矿槽、焦仓、焦炭滚筛、称量漏斗、称量车、料车坑、料车或料罐、斜桥、卷扬机。

2. 炉顶装料系统 主要包括受料漏斗、旋转布料器、大、小钟、大小钟平衡杆、探料尺。高压操作的高炉还有均压阀和均压放散阀。

3. 送风系统 主要包括鼓风机、冷风管道、热风炉、热风总管、热风围管等。

4. 煤气除尘系统 一般包括煤气上升管、煤气下降管、重力除尘器、洗涤塔、文氏管、脱水器等。高压操作的高炉还有高压阀组。

5. 渣铁处理系统 包括炉前工作平台、渣铁沟、渣铁罐车、铸铁机，冲水渣的有炉前水力冲渣系统。

6. 喷吹系统 喷煤有煤粉收集罐、贮煤罐、喷吹罐、混合器、输送管道、喷枪等。喷油的有卸油泵、贮油罐、过滤器、送油泵、稳压罐、调压装置、输油管、喷枪等。

高炉生产流程如图1—2所示。

第二节 高炉冶炼的基本过程

高炉生产所用的原料：矿石（烧结矿、球团矿、天然矿和碎铁）、焦炭、熔剂（石灰石、白云石），经过上料系统和炉顶装料系统，按照一定的配料比和上料程序，分批地装入炉内。冷风经热风炉预热到一定的温度（900~1200℃）后，

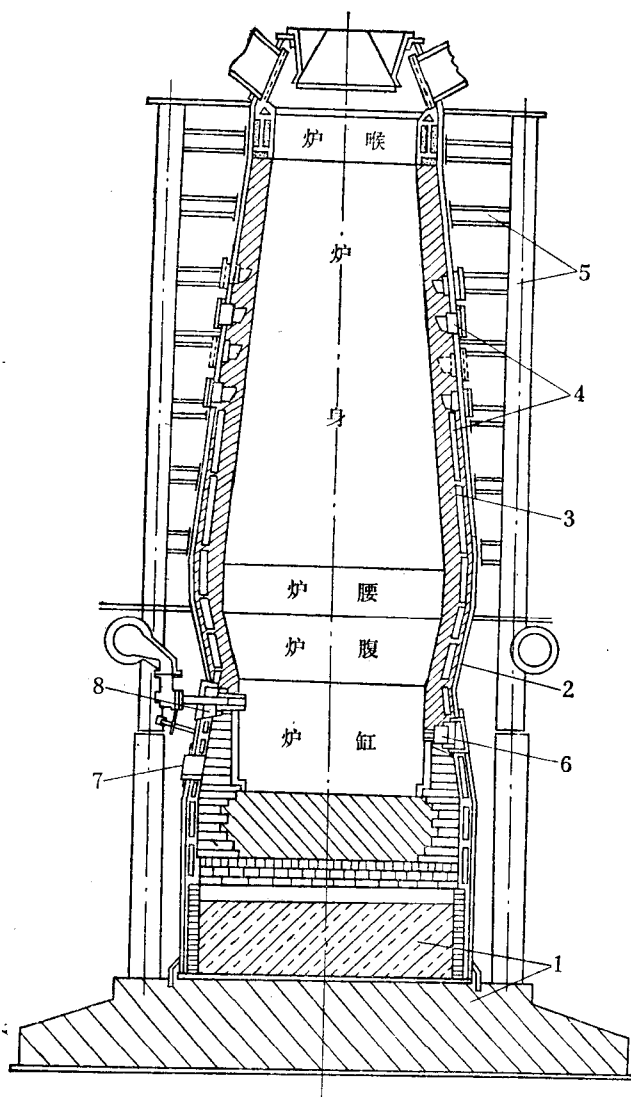


图 1—1 高炉本体结构

1—炉基；2—炉壳；3—炉衬；4—冷却壁；5—支柱；6—渣口；7—铁口；8—风口

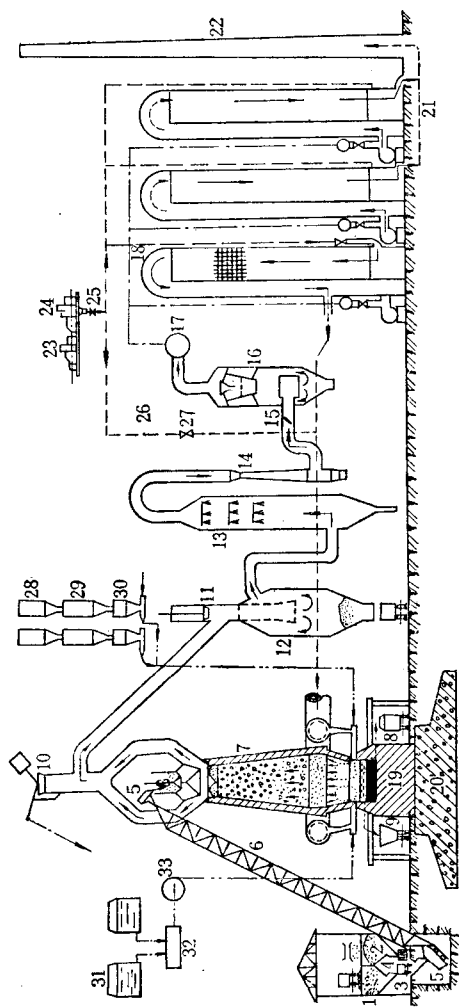


图 1—2 高炉生产流程简图

1—贮矿槽；2—焦炭；3—称量车；4—焦炭滚筛；5—料车；6—斜桥；7—高炉本体；8—铁水罐；9—渣罐；10—放散阀；11—切断阀；12—除尘器；13—洗涤塔；14—文氏管；15—高压调节阀组；16—灰泥捕集器（脱水器）；17—净煤气总管；18—热风炉（三座）；19—炉基基座；20—热风炉地下烟道；22—烟囱；23—蒸汽透平；24—鼓风机；25—放风阀；26—混风调节阀；27—混风大闸；28—收集罐（煤粉）；29—储煤管；30—喷吹罐；31—储油罐；32—过滤器；33—油加压泵

经由热风总管、围管和风口装置吹入炉内。热风 and 焦炭（喷吹的高炉还有煤粉或重油）在风口前接触，发生激烈的燃烧反应，放出大量的热并生成高温还原性气体（主要是 CO ，还有少量的 H_2 ）。焦炭体积约占炉料总体积的一半左右，焦炭燃烧气化后穿过料层上升到炉顶，通过煤气除尘系统离开高炉。矿石和熔剂经过一系列的物理化学反应后变成液态的渣铁积存在炉缸中，通过渣、铁口被定期放出炉外。上部的炉料不断下降，焦炭和喷吹燃料燃烧时放出的大量热量满足其分解、还原和渣铁熔化等过程的需要。燃烧反应是高炉冶炼的基础和关键。

焦炭燃烧反应生成的还原性气体温度约为 $1800\sim 1900^\circ\text{C}$ 。高温煤气在上升的过程中把热量传给炉料，同时与炉料进行一系列的物理化学反应，煤气成分不断变化， CO 减少， CO_2 增加，自身温度逐渐降低。煤气上升到炉顶时温度降低到 $200\sim 500^\circ\text{C}$ 左右，最后经过上升管离开高炉。

一、炉料的分解

焦炭和矿石（天然矿）中的吸附水受热后变成水蒸气进入煤气中。焦炭中的挥发分（ $0.8\sim 1.3\%$ ）受热后逐渐挥发出去。矿石中以化合物状态存在的化合水，如 $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ （褐铁矿）在 200°C 左右开始分解， $400\sim 500^\circ\text{C}$ 时分解速度最大。有的水化物分解时需要的温度还要高些。

部分在较高温度下分解出来的水蒸气可与 CO 和 C 起反应，生成 H_2 和 CO_2 ，这一反应在 500°C 以上时才进行，在 1000°C 以上时， H_2O 和 C 作用生成 CO 和 H_2 ，同时吸收大量的热。因此，当炉腹和炉缸的冷却设备漏水时，水分的分解消耗炉缸中大量的热量，造成炉凉。

熔剂（石灰石和白云石）的主要成分为 CaCO_3 和 Mg

CO_3 ，在温度 $600\sim 700^\circ\text{C}$ 时开始分解成 CaO 和 MgO 与 CO_2 ，到炉身下部 $900\sim 1000^\circ\text{C}$ 时分解反应激烈进行。

二、氧化物的还原

铁矿石中的铁元素绝大多数和氧结合在一起，构成许多化合物。高炉冶炼的目的就是靠 CO 、 H_2 和 C 在一定的温度条件下夺取和铁相结合的氧，把铁还原出来。

一般在温度高于 400°C 以后铁的氧化物开始被还原，高价氧化物(Fe_3O_4 和 Fe_2O_3)被还原成低价氧化物(FeO)和金属铁。矿石在下降的过程中，随着温度的逐渐升高，铁氧化物的还原反应也越来越激烈，在 CO 和 H_2 的作用下， Fe_3O_4 和 Fe_2O_3 大量被还原。到炉身下部，温度达 800°C 以上时，铁的高级氧化物基本上被还原成 Fe 和 FeO 。炉料继续下降，温度进一步升高，在 $800\sim 1000^\circ\text{C}$ 的范围内， FeO 被 CO 和 C 还原成 Fe ，在温度高于 1100°C 时，剩下的未被还原的 FeO ，被 C 直接还原成 Fe 并生成 CO ，同时吸收大量的热。因此，当煤气分布失常、崩料以及低料线时间长时，还原不好，大量的 FeO 在炉腰下部、炉腹和炉缸的高温区被 C 直接还原，消耗炉缸的大量热量而造成炉凉。

三、生铁的形成及其成分的控制

被还原出来的金属铁最初为海绵状，称为海绵铁。这种早期出现的海绵铁比较纯，几乎不含碳。海绵铁在下降过程中不断吸收碳，渗碳后熔点降低，渗碳越多，熔点越低，含碳达 4.3% 时熔点最低，只有 1130°C 。铁的渗碳过程主要在液态时进行。

其他元素对生铁的含碳量也有很大影响。如锰与碳结合成碳化锰溶于生铁，使生铁中的含碳量增加。而 Si 、 P 、 S 能与 Fe 生成化合物，它们促使生铁中的含碳量降低。

P 和 S 都是有害杂质，必须加以控制。铁水的脱硫过程是在铁水穿过熔渣时进行的。在铁水穿过炉渣的过程中，以 FeS 状态存在于铁水中的 S，在 FeS 与炉渣中的 CaO、MgO 发生反应生成 CaS、MgS 和 Fe 之后，使生铁中的 S 被脱除。因此，提高炉渣碱度有利于脱硫。除此之外，还和其他因素有关。而 P 必须通过氧化反应生成磷的氧化物后从铁水中除去，但是在高炉内除风口前循环区是氧化气氛外，其他区域都是还原性气氛。因此，在高炉冶炼中不能去磷，只能通过控制原料中的磷含量来控制生铁的含磷量。

生铁中的 Si 主要是从炉渣中还原出来的。炉渣和炉缸的温度越高，对硅的还原越有利。因此，当炉况向热时生铁中的 Si 含量增加。另一方面，炉渣中 SiO_2 含量越多，越有利 Si 的还原。所以，炼制钢铁时选择碱性渣 ($\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 1.05 \sim 1.10$)，炼铸造铁时选择酸性渣或中性渣 ($\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 0.95 \sim 1.0$)。

四、炉渣的形成过程

矿石里除铁的氧化物外还有熔点很高的以 SiO_2 和 Al_2O_3 等为主要成分的脉石，焦炭灰分也主要是由这些酸性氧化物组成的。这些高温熔点的氧化物和熔剂中的碱性氧化物 (CaO、MgO 等)，在一定的温度条件下相互接触后生成低熔点的化合物，即初成渣。初成渣中有较多的 FeO 和 MnO。在下降过程中，初成渣中的 MnO、FeO 和 SiO_2 部分被还原，CaO、MgO 不断增多，因而炉渣的熔化温度和粘度不断变化。到达风口氧化带时，焦炭中的灰分进入炉渣。进入炉缸中的熔渣最后完成了还原和脱 S 的任务后成为终渣。由于其比重小于铁水，浮在铁水的上面，定期由渣口放出。一部分在出铁时从铁口放出。

第三节 高炉冶炼的产品

1. 生铁

熟铁、钢和生铁都是铁碳合金。我们以它含碳的多少来区别。一般含碳小于0.2%的称熟铁，含碳0.2~1.7%的称钢，含碳1.7%以上的称生铁。

炼钢用生铁 (GB 717—75)

表 1-1

铁 种			碱性平炉 炼钢生铁		氧气顶吹转炉 炼钢生铁		碱性转炉 炼钢生铁	
铁 号	牌 号		碱平08	碱平10	氧顶转08	氧顶转10	碱转08	碱转13
	代 号		P 08	P 10	D 08	D 10	J 08	J 13
化 学 成 分 (%)	Si		≤0.85	>0.85 ~1.25	≤0.80	>0.80 ~1.25	0.60 ~1.10	>1.10 ~1.60
	Mn	1 组	不 规 定		≤0.60		>0.50~1.50	
		2 组			>0.60		≤0.50	
	P	1 级	≤0.15				—	≤0.40
		2 级	≤0.20				>0.40 ~0.80	>0.40 ~0.80
		3 级	≤0.40				>0.80 ~1.60	—
S	1 类	不 大 于	0.03				0.04	
	2 类		0.05				0.06	
	3 类		0.07				0.07	

注：1. MG生产的平炉炼钢生铁含磷量允许不大于0.70%，BG生产的平炉炼钢生铁含磷量允许不大于0.85%，QJ矿石生产的平炉炼钢生铁含磷量允许不大于0.85%。

MG、BG生产的及用QJ矿石生产的氧气顶吹转炉炼钢生铁含磷量允许不大于1.3%。根据供需双方协议，碱转08生铁含磷量允许大于1.60%或不大于0.40%，其含硅量由供需双方协议。BG碱性转炉炼钢生铁含锰量允许大于1.5%。

2. 用含铜矿石冶炼时，各号生铁的含铜量不得大于0.30%。

生铁是高炉冶炼的主要产品，按其成分和用途可分为三类。一类是供炼钢用的制钢铁，一类是供铸造用的铸造铁，还有一类是铁合金。高炉冶炼的铁合金主要是锰铁和硅铁。

制钢铁又可分为碱性平炉炼钢生铁、碱性转炉炼钢生铁和氧气顶吹转炉炼钢生铁。其标准见表1-1。

2. 炉渣

炉渣是高炉冶炼的副产品，在工业上用途很广泛。按其处理方法可分为：

(1) 水渣 用水急冷使熔渣粒化后成为水渣。水渣是良好的水泥原料，还可以用其做矿渣砖等用于建筑。

(2) 渣棉 用压缩空气或水蒸气（压力大于5公斤/厘米²）将液体炉渣吹成棉絮状的渣棉，作绝热材料，用于建筑和生产中。

(3) 干渣块 炉渣未经任何处理冷凝后的渣块，破碎成一定规格的粒度，可代替碎石做建筑材料或铺路用。

3. 高炉煤气

高炉煤气是高炉冶炼的另一副产品，其化学成分一般为： CO_2 14~17%， CO 24~26%， H_2 3~4%， CH_4 0.6%， N_2 56%左右。随着焦炭负荷、喷吹燃料的种类、喷吹量的大小，煤气流在炉内的分布等因素的变化，炉顶煤气成分也随之不断变化。

高炉冶炼时，每吨生铁可产煤气2000~3000立方米。煤气的发热值为850~1000千卡/米³，可做燃料用。除高炉热风炉用掉一部分外，其余可供炼钢、炼焦、均热炉使用。

4. 炉尘（瓦斯灰）

炉尘是煤气上升时带出的细颗粒的固体炉料。炉尘中含铁30~50%，碳5~15%。炉尘回收后可供烧结厂做烧结料

铸造用生铁 (GB 718—65)

表 1-2

铁 种			普 通 铸 造 生 铁					冷铸车 轮生铁	
铁号	牌 号		铸35	铸30	铸25	铸20	铸15	冷08	
	代 号		Z 35	Z 30	Z 25	Z 20	Z 15	L08	
化 学 成 分 (%)	硅		>3.25 ~3.75	>2.75 ~3.25	>2.25 ~2.75	>1.75 ~2.25	1.25 ~1.75	0.50~1.00	
	锰	1 组	≤ 0.500					0.50~1.00	
		2 组	>0.5~0.9						
		3 组	>0.9~1.30						
	磷	1 级	低磷	≤ 0.10					0.15~0.35
		2 级	普通	>0.10~0.20					
		3 级	普通	>0.20~0.40					
		4 级	高磷	>0.40~0.70					
		5 级	高磷	>0.70~1.00					
	硫	1 类	不大于	0.03			0.04	0.07	
		2 类	不大于	0.04			0.05		
		3 类	大于	0.05			0.06		

- 注：1. 各铁号用于可锻铸铁时，含铬量不大于0.04%；用于汽车铸件时，含铬量不大于0.10%。
2. 根据供需双方协议，可供应化学成分范围较窄或含其他合金元素的特殊铸造生铁。
3. 根据供需双方协议，Z 35 号生铁含硅量可允许 3.75~6.00%，但装入一个车厢内的生铁，其含硅量的差别不得大于0.50%。
4. 根据需方要求，才能供应第一组含锰量的生铁。
5. 各号生铁应作含碳量的分析，用含铜矿石冶炼的生铁亦应分析含铜量，但其结果均不作报废依据。

用。

第四节 高炉冶炼的经济技术指标

高炉生产的技术水平和经济效果可用经济技术指标来衡量。其主要指标有：

1. 高炉有效容积利用系数 (η_v)

有效容积利用系数是指每立方米高炉有效容积一昼夜产生铁的吨数，即高炉每昼夜的产铁量 (P) 与有效容积 (V_n) 的比值。

$$\eta_v = \frac{P}{V_n}, \text{ 吨/米}^3 \cdot \text{昼夜}$$

η_v 是衡量高炉生产率的一个重要指标。 η_v 愈高说明高炉的生产率愈高。

2. 焦比 (K)

焦比是指炼一吨生铁所需的焦炭量。用公式表示如下：

$$K = \frac{Q_K}{P}, \text{ 公斤/吨生铁}$$

式中 Q_K ——高炉一昼夜消耗的干焦量 (公斤)。

焦比的高低在很大程度上标志着每吨生铁成本的高低，某厂生铁成本中焦炭费用约占30~40%。在高炉生产中我们要求 η_v 愈高愈好， K 愈低愈好。

3. 冶炼强度 (I)

冶炼强度是指每昼夜、每立方米高炉有效容积消耗的焦炭量，即高炉一昼夜内装入的焦炭量 (Q_K) 与有效容积 (V_n) 的比值：

$$I = \frac{Q_K}{V_n}, \text{ 吨/米}^3 \cdot \text{昼夜}$$

冶炼强度表示高炉作业强化程度的高低，它取决于高炉所能接受的风量。鼓风愈多，燃烧的焦炭也就愈多，在焦比不变或增加不多的情况下，高炉利用系数也就愈高。

$$\eta_v = \frac{I}{K}, \text{ 吨/米}^3 \cdot \text{昼夜}$$

喷吹煤粉或重油时，计算冶炼强度还应包括下部喷入燃料的炭素所相当的焦炭量，这种冶炼强度叫做综合冶炼强度。

4. 焦炭负荷

焦炭负荷是指每吨焦炭所配的矿石量。一般说来，焦炭负荷愈大焦比愈低。

$$\text{焦炭负荷} = \frac{\text{矿石批重}}{\text{焦炭批重}}$$

生产中加锰矿时，计算焦炭负荷时矿石批重还应加上锰矿的重量。

5. 冶炼周期 (t)

炉料从装入至下降到风口所经过的时间称为冶炼周期。它说明炉料下降速度的快慢。显然，冶炼周期愈短，产量愈高。通常按下式计算：

$$t = \frac{24V_n}{PV'(1-\xi)} = \frac{24}{\eta_v V'(1-\xi)}, \text{ 小时}$$

式中 V' ——生产一吨生铁所需炉料的体积 (米³)；

ξ ——炉料压缩率(%), 与高炉容积有关。根据某厂的炉料条件，500~600立方米的高炉 ξ 为 6.0~6.5%，900~1000 立方米的高炉为 11~12%，1513 立方米的高炉为 14.5%，2025 立方米的高炉为 16.3%。

6. 休风率

休风时间占规定作业时间 (即日历时间减去按计划进行大、中修的时间) 的百分数叫休风率。休风率反映了设备维护和高炉操作的水平。实践证明，休风率降低 1%，高炉产量可提高 2%。