

中华人民共和国国家标准

高炉炼铁工艺设计规范

Code for design of blast furnace ironmaking technology

GB 50427 - 2008

主编部门：中国冶金建设协会

批准部门：中华人民共和国建设部

施行日期：2008年7月1日

中国计划出版社

2008 北 京

中华人民共和国建设部公告

第 785 号

建设部关于发布国家标准 《高炉炼铁工艺设计规范》的公告

现批准《高炉炼铁工艺设计规范》为国家标准,编号为 GB 50427—2008,自 2008 年 7 月 1 日起实施。其中,第 6.0.11、13.1.1、15.0.4、16.0.7 条为强制性条文,必须严格执行。

本规范由建设部标准定额研究所组织中国计划出版社出版发行。

中华人民共和国建设部
二〇〇八年一月十四日

前 言

本规范是根据建设部建标函[2005]124号文《关于印发“2005年工程建设标准规范制订、修订计划(第二批)”的通知》的要求,由中冶赛迪工程技术股份有限公司(原重庆钢铁设计研究总院)会同有关单位共同编制而成的。

本规范在编制过程中,规范编制组学习了有关现行国家法律、法规、政策及标准;进行了调查研究,开展了必要的专题研究和技术论证;总结了多年高炉炼铁工艺设计的经验;广泛征求了有关生产、设计、大专院校的意见,对全面贯彻高炉炼铁技术方针和疑难问题进行了反复的研讨和修改,最后经审查定稿。

本规范共分16章,主要内容有:总则,术语,基本规定,原料、燃料和技术指标,能源和资源利用,矿槽、焦槽及上料系统,炉顶,炉体,风口平台及出铁场,高炉炉渣处理及其利用,热风炉,高炉煤气清洗及煤气余压发电,喷吹煤粉及富氧,检测和自动化,环境保护,节约用水。

本规范以黑体字标志的条文为强制性条文,必须严格执行。

本规范由建设部负责管理和对强制性条文的解释,由中冶赛迪工程技术股份有限公司负责具体技术内容的解释。本规范在执行过程中,请各单位注意总结经验,积累资料,随时将有关意见和建议反馈给中冶赛迪工程技术股份有限公司(地址:重庆市渝中区双钢路一号,邮政编码:400013),以便今后修订时参考。

本规范主编单位、参编单位和主要起草人:

主 编 单 位:中冶赛迪工程技术股份有限公司

参 编 单 位:宝山钢铁股份有限公司

鞍钢新钢铁有限责任公司

目 次

1	总 则	(1)
2	术 语	(2)
3	基本规定	(3)
4	原料、燃料和技术指标	(4)
4.1	原料和燃料要求	(4)
4.2	高炉技术指标	(6)
5	能源和资源利用	(9)
6	矿槽、焦槽及上料系统	(10)
7	炉 顶	(12)
8	炉 体	(13)
9	风口平台及出铁场	(15)
10	高炉炉渣处理及其利用	(17)
11	热 风 炉	(18)
12	高炉煤气净化及煤气余压发电	(20)
13	喷吹煤粉及富氧	(21)
13.1	喷吹煤粉	(21)
13.2	富氧鼓风	(22)
14	检测和自动化	(23)
15	环境保护	(24)
16	节约用水	(26)
	本规范用词说明	(27)
	附：条文说明	(29)

1 总 则

1.0.1 为贯彻科学发展观和《钢铁产业发展政策》，保证高炉炼铁工艺设计做到技术先进、经济合理、节约资源、安全实用、保护环境，制定本规范。

1.0.2 本规范适用于高炉炼铁的新建和改造工程的工艺设计。

1.0.3 新建高炉的有效容积必须达到 1000m^3 及以上。沿海深水港地区建设钢铁项目，高炉有效容积必须大于 3000m^3 。

1.0.4 高炉炼铁工艺设计应以精料为基础，采用喷煤、高风温、高压、富氧、低硅冶炼等炼铁技术。应全面贯彻高效、优质、低耗、长寿、环保的炼铁技术方针。

1.0.5 高炉炼铁工艺设计除应执行本规范的规定外，尚应符合国家现行有关标准、规范的规定。

2 术 语

- 2.0.1 高炉有效容积** effective volume of blast furnace
高炉有效高度内包容的容积。
- 2.0.2 高炉有效高度** effective height of blast furnace
指高炉零料线至出铁口中心线之间的垂直距离。
- 2.0.3 高炉有效容积利用系数** utilization coefficient of blast furnace, productivity coefficient, productivity
高炉日产量与高炉有效容积之比。
- 2.0.4 作业率** operation rate
指高炉实际作业时间占日历时间的百分数。
- 2.0.5 焦比** coke ratio, coke rate
高炉冶炼每吨生铁所消耗的干焦炭量,也称入炉焦比。
- 2.0.6 煤比** coal ratio, coal rate
高炉冶炼每吨生铁所消耗的煤粉量。
- 2.0.7 小块焦比** coke nut ratio, coke nut rate
高炉冶炼每吨生铁所消耗的干小块焦炭量。
- 2.0.8 燃料比** fuel ratio, fuel rate
高炉冶炼每吨生铁所消耗的焦炭、煤粉、小块焦炭等燃料的总和。
- 2.0.9 炼铁工序单位能耗** heat consumption per ton hot metal
高炉冶炼每吨生铁所消耗的各种能源量,包括工序耗用的燃料和动力等能源的总消耗量。炼铁工序单位能耗等于炼铁工序消耗能量除以生铁产量。
- 2.0.10 富氧率** oxygen enrichment
富氧后鼓风中氧气含量增加的百分数。

3 基本规定

- 3.0.1** 高炉应分为 1000m³、2000m³、3000m³、4000m³、5000m³ 炉容级别。每个级别应代表一个高炉有效容积范围。
- 3.0.2** 高炉炼铁工艺设计,应按本规范的要求落实原料、燃料的质量和供应条件。
- 3.0.3** 高炉炉容应大型化,新建高炉车间或炼铁厂的最终规模宜为 2~3 座。
- 3.0.4** 高炉炼铁工艺设计应结合国情、厂情进行多方案比较,经综合分析后,提出推荐方案。
- 3.0.5** 高炉炼铁工艺设计,必须设置副产物和能源的回收利用设施。节能、降耗和环保设施应与高炉主体工程同时设计,同时施工,同时投产。
- 3.0.6** 新建或改建的高炉及其附属设施应执行国家关于废气、废水、固体废弃物、噪声等有关法规和规定。
- 3.0.7** 在选择高炉设备时应提高设备的可靠性和监控水平。
- 3.0.8** 熔融状态的铁水、熔渣采用铁路或厂区道路运输。进入高炉的固体物料和运出的物料宜采用胶带运输。

4 原料、燃料和技术指标

4.1 原料和燃料要求

4.1.1 入炉原料应以烧结矿和球团矿为主。应采用高碱度烧结矿,搭配酸性球团矿或部分块矿,在高炉中不宜加入熔剂。

4.1.2 入炉原料含铁品位及熟料率,应符合表 4.1.2 的规定。

表 4.1.2 入炉原料含铁品位及熟料率要求

炉容级别(m ³)	1000	2000	3000	4000	5000
平均含铁	≥56%	≥58%	≥59%	≥59%	≥60%
熟料率	≥85%	≥85%	≥85%	≥85%	≥85%

注:平均含铁的要求不包括特殊矿。

4.1.3 烧结矿质量应符合表 4.1.3 的规定。

表 4.1.3 烧结矿质量要求

炉容级别(m ³)	1000	2000	3000	4000	5000
铁分波动	≤±0.5%	≤±0.5%	≤±0.5%	≤±0.5%	≤±0.5%
碱度波动	≤±0.08%	≤±0.08%	≤±0.08%	≤±0.08%	≤±0.08%
铁分和碱度波动的达标率	≥80%	≥85%	≥90%	≥95%	≥98%
含 FeO	≤9.0%	≤8.8%	≤8.5%	≤8.0%	≤8.0%
FeO 波动	≤±1.0%	≤±1.0%	≤±1.0%	≤±1.0%	≤±1.0%
转鼓指数+6.3mm	≥68%	≥72%	≥76%	≥78%	≥78%

注:碱度为 CaO/SiO₂。

4.1.4 球团矿质量应符合表 4.1.4 的规定。

表 4.1.4 球团矿质量要求

炉容级别(m ³)	1000	2000	3000	4000	5000
含铁量	≥63%	≥63%	≥64%	≥64%	≥64%
转鼓指数+6.3mm	≥86%	≥89%	≥92%	≥92%	≥92%
耐磨指数-0.5mm	≤5%	≤5%	≤4%	≤4%	≤4%
常温耐压强度(N/个球)	≥2000	≥2000	≥2000	≥2500	≥2500
低温还原粉化率+3.15mm	≥65%	≥80%	≥85%	≥89%	≥89%
膨胀率	≤15%	≤15%	≤15%	≤15%	≤15%
铁分波动	≤±0.5%	≤±0.5%	≤±0.5%	≤±0.5%	≤±0.5%

注:不包括特殊矿石。

4.1.5 入炉块矿质量应符合表 4.1.5 的规定。

表 4.1.5 入炉块矿质量要求

炉容级别(m ³)	1000	2000	3000	4000	5000
含铁量	≥62%	≥62%	≥64%	≥64%	≥64%
热爆裂性能	—	—	≤1%	<1%	<1%
铁分波动	≤±0.5%	≤±0.5%	≤±0.5%	≤±0.5%	≤±0.5%

4.1.6 原料粒度应符合表 4.1.6 的规定。

表 4.1.6 原料粒度要求

烧 结 矿		块 矿		球 团 矿	
粒度范围(mm)	5~50	粒度范围(mm)	5~30	粒度范围(mm)	6~18
粒度大于 50mm	≤8%	粒度大于 30mm	≤10%	粒度 9~18mm	≥85%
粒度小于 5mm	≤5%	粒度小于 5mm	≤5%	粒度小于 6mm	≤5%

注:石灰石、白云石、萤石、锰矿、硅石粒度应与块矿粒度相同。

4.1.7 焦炭质量应符合表 4.1.7 的规定。

表 4.1.7 焦炭质量要求

炉容级别(m ³)	1000	2000	3000	4000	5000
M ₁₀	≥78%	≥82%	≥84%	≥85%	≥86%
M ₁₀	≤8.0%	≤7.5%	≤7.0%	≤6.5%	≤6.0%
反应后强度 CSR	≥58%	≥60%	≥62%	≥64%	≥65%
反应性指数 CRI	≤28%	≤26%	≤25%	≤25%	≤25%
焦炭灰分	≤13%	≤13%	≤12.5%	≤12%	≤12%
焦炭含硫	≤0.7%	≤0.7%	≤0.7%	≤0.6%	≤0.6%
焦炭粒度范围(mm)	75~25	75~25	75~25	75~25	75~30
大于上限	≤10%	≤10%	≤10%	≤10%	≤10%
小于下限	≤8%	≤8%	≤8%	≤8%	≤8%

4.1.8 高炉喷吹用煤应根据资源条件进行选择。喷吹煤质量应符合表 4.1.8 的规定。

表 4.1.8 喷吹煤质量要求

炉容级别(m ³)	1000	2000	3000	4000	5000
灰分 A _{ad}	≤12%	≤11%	≤10%	≤9%	≤9%
含硫 S _{t,ad}	≤0.7%	≤0.7%	≤0.7%	≤0.6%	≤0.6%

4.1.9 入炉原料和燃料应控制有害杂质质量。其控制值应符合表 4.1.9 的规定。

表 4.1.9 入炉原料和燃料有害杂质质量控制值(kg/t)

K ₂ O+Na ₂ O	≤3.0
Zn	≤0.15
Pb	≤0.15
As	≤0.1
S	≤4.0
Cl	≤0.6

4.2 高炉技术指标

4.2.1 高炉的设计年平均利用系数、燃料比和焦比应符合表 4.2.1 的规定。

表 4.2.1 设计年平均利用系数、燃料比和焦比

炉容级别(m ³)	1000	2000	3000	4000	5000
设计年平均利用系数 [(t/m ³ ·d)]	2.0~2.4	2.0~2.35	2.0~2.3	2.0~2.3	2.0~2.25
设计年平均燃料比(kg/t)	≤520	≤515	≤510	≤505	≤500
设计年平均焦比(kg/t)	≤360	≤340	≤330	≤310	≤310

注:不包括特殊矿石炼铁的设计指标。

4.2.2 高炉设计年作业率宜为 96%。

高炉设计年产量应按下式计算:

$$\text{高炉设计年产量(t)} = \text{高炉有效容积(m}^3\text{)} \times \text{设计年平均利用系数[t/(m}^3\text{·d)]} \times \text{设计年作业率} \times \text{年日历日数(d)} \quad (4.2.2)$$

4.2.3 高炉设计最高设备能力应按正常设计年平均利用系数增加 0.1~0.2t/(m³·d) 预留。大于或等于 2000m³ 高炉最高设备能力不应超过 2.5t/(m³·d)。

4.2.4 炼铁工序单位能耗应符合表 4.2.4 的规定。

表 4.2.4 炼铁工序单位能耗

炉容级别(m ³)	1000	2000	3000	4000	5000
炼铁工序单位能耗(kgce/t)	≤430	≤425	≤420	≤415	≤410

注:不包括特殊矿石炼铁的设计指标。

4.2.5 高炉鼓风流量应根据高炉物料平衡计算确定。当不富氧时,冶炼每吨生铁消耗风量值应符合表 4.2.5 的规定。

表 4.2.5 冶炼每吨生铁消耗风量值(不富氧)

燃料比(kg/t)	540	530	520	510	500
消耗风量(m ³ /t)	≤1310	≤1270	≤1240	≤1210	≤1180

注:耗风量为标准状态。

4.2.6 在选择鼓风机风量时,应符合下列要求:

1 应按设计的高炉产量、燃料比,以及由富氧率折算的每吨生铁消耗风量来确定鼓风机的正常作业点。

2 应适当提高高炉的燃料比,或降低富氧率来计算鼓风机的

最大入炉风量。如采用鼓风机前富氧还要考虑氧气通过鼓风机的量。

3 计算鼓风机的最大标准风量时,如热风炉换炉采取定风压操作时,还应考虑增加的充风量,可不考虑漏风损失,计算结果应为鼓风机的最大能力点。如热风炉换炉采取定风量操作,且不考虑热风炉的充风量时,3000m³ 及以上高炉的鼓风漏风损失应小于 1.5%;3000m³ 以下高炉鼓风漏风损失应小于 2%。

4.2.7 鼓风机的出口压力应满足高炉炉顶压力、炉内料柱阻力损失和送风系统阻力损失的要求。

4.2.8 高炉均应采用高压操作,高炉的炉顶设计压力值宜符合表 4.2.8 的规定。

表 4.2.8 高炉的炉顶设计压力值

炉容级别(m ³)	1000	2000	3000	4000	5000
炉顶设计压力(kPa)	200	200~250	220~280	250~300	280~300

注:压力为表压。

4.2.9 高炉的料柱阻力损失、送风系统阻力损失及高炉鼓风机出口压力宜符合表 4.2.9 的规定。

表 4.2.9 高炉的料柱阻力损失、送风系统阻力损失及高炉鼓风机出口压力值

炉容级别(m ³)	1000	2000	3000	4000	5000
料柱阻损(MPa)	0.12~0.14	0.14~0.16	0.16~0.18	0.18~0.20	0.19~0.23
送风系统阻损(MPa)	0.025	0.025	0.03	0.035	0.035
炉顶压力(MPa)	0.20	0.20~0.25	0.22~0.28	0.25~0.30	0.28~0.30
鼓风机出口压力(MPa)	0.34~0.37	0.36~0.44	0.40~0.49	0.45~0.54	0.49~0.57

注:1 如果冷风管道长度较长,应适当增加送风系统阻力损失。

2 压力为表压。

4.2.10 在最终确定鼓风机最高出口压力时,还宜增加风压的波动值。小于或等于 3000m³ 级高炉可提高 0.02MPa,4000m³ 及以上高炉可提高 0.04MPa。

5 能源和资源利用

- 5.0.1 高炉炼铁设计应采取节约资源和能源的措施。
- 5.0.2 喷煤设施的喷煤量应按照最佳节能效果和经济效果来确定。
- 5.0.3 高炉炼铁设计应避免向大气排放高炉煤气。
- 5.0.4 高炉炼铁设计必须设置炉渣综合利用设施。
- 5.0.5 含铁尘泥必须回收利用,粗煤气灰和除尘灰应作为烧结原料,高锌煤气灰宜回收锌以后作炼铁原料。
- 5.0.6 高炉冷却水、煤气清洗用水、冲渣水、干渣冷却用水等均应设置循环用水系统,并应尽量少排放或不排放。
- 5.0.7 我国南方地区宜采用脱湿鼓风,北方地区宜采用调湿鼓风。
- 5.0.8 高炉炼铁设计应充分利用废热、废气和余压等。
- 5.0.9 高炉炼铁设计应采取防止能源介质泄漏和送风系统漏风的措施。

6 矿槽、焦槽及上料系统

6.0.1 矿槽、焦槽数目应根据原料品种、贮存时间及清槽、检修等综合因素确定,并应符合容积大、槽数少的要求。焦槽的贮存时间应为8~10h。高炉烧结矿槽贮存时间宜为10~14h。烧结矿分级入炉时,可采用上限值。其他原料和贮存时间应大于12h。

烧结矿槽的最大跌落高度不宜大于14m。每座高炉的烧结矿筛不得少于4台,小粒级烧结矿或焦炭筛不得少于2台。

6.0.2 矿槽和焦槽应进行炉料的在庫量管理。

6.0.3 烧结矿、焦炭在入炉前必须在矿槽、焦槽下进行过筛。

6.0.4 入炉原料、燃料均应设置称量误差补正和焦炭水分补正设施。

6.0.5 矿槽、焦槽的上下部均应采用胶带机运输设施,并应减少转运、跌落次数和落差。

6.0.6 上料形式应结合地形、总图运输、炉容大小和出铁场布置综合考虑。高炉的上料形式应符合表6.0.6的规定。

表 6.0.6 高炉的上料形式

炉容级别(m ³)	<2000	≥2000
上料形式	斜桥料车上料或胶带机上料	胶带机上料

6.0.7 上料系统的设计能力应满足不同料批装料制度和最高日产量时赶料的要求。新建高炉按年平均利用系数和正常料批计算的上料设备作业率宜采用65%~70%。

6.0.8 槽下矿石称量漏斗容积,按一台烧结矿筛检修时,其余烧结矿筛应保证正常供料设置。

6.0.9 高炉炼铁设计宜采用烧结矿分级入炉,且回收利用小粒度烧结矿,应回收利用小块焦炭。小块焦炭宜加入矿石料批中混装

入炉。

6.0.10 焦炭和矿石集中胶带运输机应设置金属检除装置。

6.0.11 上料料车或主胶带机下部设置车辆及人行通道时,必须设置防止物料高空坠落的防护设施。

7 炉 顶

7.0.1 高炉宜采用无料钟炉顶。

7.0.2 高炉装料设备的容积应根据矿石料批重量确定。高炉矿石料批重量宜符合表 7.0.2 的规定。

表 7.0.2 高炉矿石料批重量

炉容级别(m ³)	1000	2000	3000	4000	5000
正常矿石批重(t)	30~60	50~95	80~125	115~140	135~170
最大矿石批重(t)	35~70	60~100	90~140	126~160	150~190

7.0.3 高炉炉顶装料系统的设计能力必须与高炉上料设备的能力相匹配,并应满足不同料批装料制度和最高日产量时赶料的要求。

7.0.4 高炉炉顶设备应设置完善的检修维护设施。

8 炉 体

8.0.1 高炉一代炉役的工作年限应达到 15 年以上。在高炉一代炉役期间,单位高炉容积的产铁量应达到或大于 10000t。

8.0.2 高炉炼铁设计应按照长寿技术的要求,选用冷却设备结构型式、材质、冷却介质、耐火材料、砌体结构及监控技术。

8.0.3 高炉冷却设备应符合下列要求:

- 1 高炉炉底宜采用水冷。炉缸、炉底侧壁宜采用光面冷却壁。
- 2 炉腹宜采用铸铁或铜冷却壁,也可采用密集式铜冷却板。
- 3 炉腰和炉身中、下部的冷却设备宜采用强化型铸铁镶砖冷却壁、铜冷却壁或密集式铜冷却板,也可采用冷却板和冷却壁组合的形式。
- 4 炉身上部宜采用镶砖冷却壁。
- 5 高炉炉体宜采用全冷却壁薄炉衬炉体结构。

8.0.4 高炉炉体、炉底应采用软水密闭循环冷却。在水源充足、水质好的地区也可采用工业水开路循环冷却。

8.0.5 高炉砌体的设计应根据炉容和冷却结构,以及各部位的工作条件选用耐火材料。

风口带宜采用组合砖结构。

炉缸、炉底应采用全炭砖或复合炭砖炉底结构,并应采用优质炭砖砌筑。

8.0.6 高炉采用的优质炭砖和炭块除应提出常规性能指标的要求外,还应提出导热系数、透气度、抗氧化性、抗碱性、抗铁水侵蚀性等指标的要求。

8.0.7 高炉采用的优质碳化硅砖,除应提出常规性能指标的要求外,还应提出导热率、抗渣性、热震稳定性、抗氧化性、线膨胀系数等

适宜炉身中、下部工作的指标要求。

8.0.8 高炉应采用自立式结构,并应设置炉体框架。1000m³ 级高炉也可采用不设高炉炉体框架的集约型设计。

8.0.9 高炉风口数目的确定,应符合炼铁工艺的要求,并应符合风口区炉壳开孔和结构的要求。风口数目宜符合表 8.0.9 的规定。

表 8.0.9 风口数目

炉容(m ³)	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000
风口数目(个)	16~20	18~26	24~28	26~30	28~32	30~34	34~38	36~40	40~42

9 风口平台及出铁场

9.0.1 主沟长度应符合渣铁分离的要求,并应采用摆动流嘴缩短渣沟和支铁沟的长度,同时应选用大容量鱼雷罐车或铁水罐车。

9.0.2 高炉应减少渣口数目,渣量小于 350kg/t 时应取消渣口。出铁口和渣口数目应按高炉日产量计算,并应符合表 9.0.2 的规定。

表 9.0.2 高炉的出铁口和渣口数目

炉容级别(m ³)	1000	2000	3000	4000	5000
铁口数目(个)	1~2	2~3	3~4	4	4~5
渣口数目(个)	2~0	0	0	0	0

9.0.3 新建高炉的出铁场内设有两个出铁口时,两个出铁口之间的夹角应等于或大于 60°。

9.0.4 炉前泥炮和开口机的性能应满足高炉强化生产的要求,并应满足对出铁口管理的要求。

9.0.5 渣铁沟宜采用耐火浇注料或预制块。主沟宜采用固定式。

9.0.6 风口平台和出铁场应设置起重设备,以及专用机械。出铁场主跨起重机的起重量,不宜按主沟整体修理的要求设置。

9.0.7 出铁场平台和风口平台面积应满足炉前操作的要求,出铁场平台面积宜符合表 9.0.7 的规定。

表 9.0.7 高炉出铁场平台面积

炉容级别(m ³)	1000	2000	3000	4000	5000
出铁场平台面积(m ² /m ³)	≤2.2	≤2.2	≤2.1	≤2.0	≤1.8

9.0.8 风口平台设计应满足通风除尘、炉前设备检修的要求,宜

扩大风口平台的面积。

9.0.9 高炉炉前采用鱼雷罐车时,应设置铁水液位检测装置。

9.0.10 新建大于 2000m³ 级高炉宜采用道路上出铁场。

10 高炉炉渣处理及其利用

10.0.1 在炉前冲制水渣时,应保证水渣的质量,并应满足节水的要求,冲渣水必须循环使用。

10.0.2 水渣设施的能力应满足全部炉渣冲制水渣,并应设置干渣处理设施或其他备用设施。干渣处理设施的能力,宜满足开炉初期和水渣设施检修时高炉的正常生产。

10.0.3 炉前冲渣点宜设置在出铁场外,并应设置必要的安全设施。

11 热 风 炉

- 11.0.1** 热风炉系统应采取提高热效率、降低燃料消耗的措施。
- 11.0.2** 热风炉采用的燃料应根据全厂煤气平衡确定。宜采用高热值煤气,有条件的企业宜采用转炉煤气。
- 11.0.3** 采用单一高炉煤气作燃料时,热风炉可采用自身余热、蓄热热风炉和前置炉等方法预热助燃空气,也可采用各种换热器预热煤气。
- 11.0.4** 热风炉设计应同时满足加热能力和长寿的要求。不同炉容级别的设计风温及热风炉结构型式宜符合表 11.0.4 的规定。

表 11.0.4 不同炉容级别的设计风温及热风炉结构型式

炉容级别(m³)	1000	2000	3000	4000	5000
设计风温(℃)	1200~1250	1200~1250	1200~1250	1250	1250
热风炉型式	内燃或顶燃	内燃、顶燃 或外燃	内燃、顶燃 或外燃	外燃	外燃
热风炉座数	3	3~4	3~4	3~4	3~4
设计拱顶温度(℃)	1300~1400	1350~1450	1350~1450	1450	1450

- 11.0.5** 热风炉的设计寿命应达到 25~30 年。
- 11.0.6** 热风炉蓄热面积及格子砖重量,应按入炉风量为基准的传热计算确定,单位炉容的蓄热面积宜为 65~75m²,不得超过 85m²(不含球式热风炉)。
- 11.0.7** 热风炉应采用致密性耐火材料及组合砖。耐火材料除应提出常规性能指标要求外,还应提出抗蠕变性能指标要求。高温区的粘土质和高铝质耐火砖的蠕变率均应小于 0.7%(1200~1500℃,50h,0.2MPa)。硅质耐火砖应控制残余石英含量,不宜大于 1.0%,真比重不宜大于 2.34,蠕变率宜小于 0.5%(1500℃,

- 50h,0.2MPa)。
- 11.0.8** 采用常规材料的炉算子、支柱时,热风炉排出的烟气温度不得超过 350℃;采用耐热材料时,可采用 400~450℃。热风炉排出烟气的余热应回收利用,设计中应配置余热回收装置预热空气和煤气。采用干法除尘时,可不预热煤气。
- 11.0.9** 用于热风炉的助燃空气的含尘量宜小于 10mg/m³。确定助燃风机压力时,应包括余热回收装置在内的系统流路阻力损失。助燃空气压力值宜符合表 11.0.9 的规定。

表 11.0.9 助燃空气压力值

炉容级别(m³)	1000	2000	3000	4000	5000
助燃空气压力(kPa)	≥10		≥12		

注:当采用热风炉自身预热、蓄热式热风炉或换热器预热助燃空气时,还应增加助燃空气的压力。

- 11.0.10** 管道上应设置伸缩管。
- 11.0.11** 热风炉宜设置余压回收装置。

12 高炉煤气净化及煤气余压发电

12.0.1 高炉煤气发生量应根据高炉物料平衡计算确定,并应精确计算高炉的自耗用量。

12.0.2 炉顶煤气正常温度应小于 250℃,炉顶应设置打水措施,最高温度不宜超过 300℃。粗煤气除尘器的出口煤气含尘量应小于 10g/m³(标态)。

12.0.3 粗煤气除尘器必须设置防止炉尘溢出和煤气泄漏的卸灰装置。

12.0.4 高炉必须设置炉顶煤气余压发电装置,并应与高炉同步投产。

12.0.5 高炉煤气净化设计应采用高炉煤气干式除尘装置,并应保证装置的可靠运行。煤气干式除尘系统的作业率应与高炉一致。

12.0.6 高炉煤气清洗及炉顶煤气余压发电系统应有效控制炉顶压力,并应保证高炉安全正常运行。

12.0.7 净煤气含尘量不应大于 5mg/m³。净煤气机械水含量不应大于 7g/m³。

12.0.8 湿式煤气清洗装置的净煤气温度,在并入全厂管网前不宜超过 40℃。

12.0.9 确定热风炉净煤气接点压力时,应包括余热回收装置的阻损在内的系统流路阻力损失。净煤气接点压力值应符合表 12.0.9 的规定。

表 12.0.9 净煤气接点压力值的要求

炉容级别(m ³)	1000	2000	3000	4000	5000
煤气压力(kPa)	≥8		≥10		

13 喷吹煤粉及富氧

13.1 喷吹煤粉

13.1.1 新建或改造的高炉必须设置喷煤设施。

13.1.2 高炉喷吹煤粉量应根据原料、燃料、风温、富氧、鼓风含湿和炉顶压力等条件,以及煤粉的置换比确定。

13.1.3 高炉喷煤量宜符合表 13.1.3 的规定。

表 13.1.3 高炉喷煤量

富氧率(%)	0~1.0	1.0~2.0	2.0~3.0	≥3.0
每吨铁喷煤量(kg/t)	100~130	130~170	170~200	≥200

注:当采用自然湿度或加湿鼓风,风温为 1050~1100℃时,可采用表中下限值;当焦炭强度高、渣量低,并采用脱湿鼓风,热风温度为 1200~1250℃,炉顶压力超过 0.2MPa 时,可采用上限值。

13.1.4 喷煤设备的最大能力应以正常产量时的喷煤量为基础,富裕 20%。

13.1.5 小于 200 网目的煤粉粒度应大于 60%,含水量应小于 1.5%。

13.1.6 高炉喷煤宜采用直接喷吹方式,喷吹站宜靠近高炉。

13.1.7 煤粉仓的容积应与贮煤仓的容积统一考虑,煤粉仓的总容积应满足制粉系统发生故障时高炉变料的要求。

13.1.8 喷吹罐的容量宜按维持喷吹 25~40min 的量设计。

13.1.9 喷吹煤粉应计量准确,分配均匀。

13.1.10 粉煤收集应采用一级负压布袋收集系统。各卸粉点应设置捕集罩,并应经净化处理后,再经风机、消声器、烟囱向大气排放。排放气体含尘浓度应小于 50mg/m³。

13.1.11 输送介质可采用氮气或压缩空气,到达风口前的压力应高于热风压力 50~100kPa。

当采用压缩空气时,应单独设置喷煤专用空气压缩机组。压缩空气应以脱水、脱油处理。

13.1.12 当喷吹烟煤或混合煤时,煤粉制备、喷吹系统的设计应符合现行国家标准《高炉喷吹烟煤系统防爆安全规程》GB 16543的有关规定,并应设置安全设施。

13.2 富氧鼓风

13.2.1 高炉宜采用富氧鼓风,富氧率应经过技术经济比较确定。

13.2.2 高炉富氧氧气加入点可设置在鼓风机前,也可设置在鼓风机与放风阀之间的冷风管上。供给高炉的氧气压力,应根据鼓风站与氧气站的距离和加入点的压力确定。

新建钢铁企业宜采用鼓风机前富氧。

13.2.3 高炉富氧氧气的纯度应根据氧气供应条件确定,高炉可采用低纯度氧气。

14 检测和自动化

14.0.1 电气、仪表及计算机设计应根据生产工艺要求、工厂技术及管理水平和资金等条件,采用经济实用、互相协调的电气、仪表及计算机系统。

14.0.2 高炉应配置较为齐全测量仪表。

14.0.3 高炉应设置基础自动化和过程自动化两级控制系统,进行高炉的操作、管理和控制。有条件的高炉还可设置辅助生产管理计算机系统。

14.0.4 高炉应根据实际情况设置实用、有效的数学模型。高炉人工智能应总结本厂或本炉的操作经验,立足自主开发。

14.0.5 控制系统的设计应考虑系统结构的标准化及人机接口的统一化。

14.0.6 设备选型时,应考虑设备的先进性、实用性、可靠性、开放性。

14.0.7 高炉内衬、冷却设备和冷却系统,必须设置完善的监测和管理系统。

14.0.8 在高炉监测系统中,必须加强对能源介质的计量和管理,应设置炼铁厂级,以及单个高炉的各种能源介质的计量。

15 环境保护

15.0.1 高炉炼铁设计宜选用无毒、无害的原料,并应采用资源和能源消耗低、污染物排放少的清洁生产工艺、技术和设备。

15.0.2 高炉生产所产生的煤气、固体废弃物、废水等均应采取资源化措施予以利用。

15.0.3 高炉炼铁设计所产生的烟尘、粉尘的治理,应符合下列规定:

1 高炉出铁场烟尘、矿槽、焦槽、炉顶装料、煤粉制备、均排压放散等设备和物料输送系统的所有产生尘点的粉尘都必须采取除尘措施,并应回收利用,同时应防止无组织排放。烟气的排放必须符合现行国家标准《工业炉窑大气污染物排放标准》GB 9078 和《大气污染物综合排放标准》GB 16297 的有关规定。采用蒸汽透平鼓风机时,必须保证锅炉烟气排放符合现行国家标准《锅炉大气污染物排放标准》GB 13271 的有关规定。高炉炼铁区域的所有建构筑物均不宜考虑积灰荷载。

2 出铁场主铁沟及渣铁沟必须设置沟盖,产生的烟尘应采取除尘措施。应控制无组织的烟尘排放,对紧靠出铁口的主铁沟宜设置移动沟盖,并宜在打开或封堵出铁口时,收集和处理移动沟盖未盖上的瞬间所产生的烟尘。

3 采用不经水洗的原煤时,煤场到高炉制粉间原煤运输、破碎、筛分产生的粉尘必须采取除尘措施。磨煤机、喷吹罐压力排放等也应采取防止粉尘污染的措施,并应回收利用粉尘。

15.0.4 煤气清洗废水、冲渣废水、干渣冷却废水等含有毒有害物质的废水,必须处理后重复利用,不得外排。

15.0.5 在采用水冲渣时,应减少炉渣冲制过程和运输过程对环

境的污染。还应采取措施回收冲水渣产生的蒸汽。

15.0.6 高炉炼铁设计应采取下列防噪声措施:

1 高炉、鼓风、热风炉冷风放风阀、助燃风机、排压阀、炉顶煤气余压发电透平、调压阀组、煤气清洗、喷煤、除尘及其管道等系统,均应选用低噪声设备或采取噪声控制措施,并应达到有关噪声标准的要求。

2 高炉炉顶必须设置均压煤气排压消音器。高炉必须设置炉顶排压煤气除尘,宜设置炉顶排压煤气回收装置。

3 高炉喷煤系统中,磨煤机、喷吹罐压力排放阀和压缩空气机等,均应采取降低噪声的措施。

15.0.7 环保设备应具有足够的可靠性,并应设置维修设施。当环保设备停机或出现故障时,应采取避免对环境产生有害影响的措施。

15.0.8 高炉炼铁设计宜设置一定比例的绿化面积。

16 节约用水

16.0.1 高炉炼铁应符合国家有关节约用水法律法规和标准的要求,选择节约用水的工艺。

16.0.2 高炉设计应确保循环水水质稳定,并应减少水循环过程中的蒸发、风吹、泄漏损失。

16.0.3 沿海钢铁厂宜利用海水作间接冷却水。

16.0.4 以江河水、湖水等地表水为原水,经常规处理产生低硬度的水时,高炉可采用开路循环冷却水系统。在水质硬度高或较高的地区,应对生产新水进行软化,并应采用软水密闭循环冷却水系统。在气象条件允许的地区,宜采用空气冷却器冷却循环水。

16.0.5 高炉应根据不同用水水质和水压要求,分别设置供水系统,并应根据不同水质和水温的要求串级使用。

16.0.6 在正常生产时,高炉炉体冷却的闭路循环软水进口温度不宜超过 50℃。在高炉炉体峰值热负荷时,短时排水温度可提高到 70℃。

16.0.7 高炉必须设置安全供水系统。

16.0.8 安全供水系统宜采用柴油泵机组供水。对工业水冷却的高炉还可设置高位水池或高位水塔。安全供水量应减少到正常供水量的 50%~70%。应急柴油机泵的启动时间不应超过 10s。

16.0.9 炼铁区域消防系统的设置应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016 和《钢铁冶金企业设计防火规范》GB 50414 的有关规定。

本规范用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1)表示很严格,非这样做不可的用词:

正面词采用“必须”,反面词采用“严禁”。

2)表示严格,在正常情况下均应这样做的用词:

正面词采用“应”,反面词采用“不应”或“不得”。

3)表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的用词:

正面词采用“宜”,反面词采用“不宜”;

表示有选择,在一定条件下可以这样做的用词,采用“可”。

2 本规范中指明应按其他有关标准、规范执行的写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

中华人民共和国国家标准

高炉炼铁工艺设计规范

GB 50427 - 2008

条文说明

目 次

1 总 则	(33)
2 术 语	(34)
3 基本规定	(38)
4 原料、燃料和技术指标	(40)
4.1 原料和燃料要求	(40)
4.2 高炉技术指标	(46)
5 能源和资源利用	(60)
6 矿槽、焦槽及上料系统	(65)
7 炉 顶	(71)
8 炉 体	(73)
9 风口平台及出铁场	(76)
10 高炉炉渣处理及其利用	(80)
11 热 风 炉	(81)
12 高炉煤气净化及煤气余压发电	(92)
13 喷吹煤粉及富氧	(96)
13.1 喷吹煤粉	(96)
13.2 富氧鼓风	(98)
14 检测和自动化	(100)
15 环境保护	(102)
16 节约用水	(105)

1 总 则

1.0.1 本条是高炉炼铁工艺设计必须遵循的原则。

1.0.2 大修和改造高炉的情况复杂,应结合具体情况参照本规范执行。

1.0.3 本条按《钢铁产业发展政策》的规定。

1.0.4 本条规定了高炉炼铁工艺设计的指导思想和目标,体现了高炉炼铁全面贯彻科学发展观,转变增长方式。我国高炉炼铁长期生产实践总结的高产、优质、低耗、长寿“八字”方针,应当全面贯彻执行。在钢铁工业新的发展时期,将“高产”改为“高效”更为全面,并增加了环境保护,成为“十字”方针。

设计应全面贯彻以精料为基础,高效、优质、低耗、长寿、环保的炼铁方针,认真研究优化操作指标。

截至 2004 年底,我国已有高炉炼铁能力 37885 万 t,有富裕的生产能力。新建高炉必须具有优越的条件,投产后必须具有较强的竞争力,能迅速达到高效、优质、低耗、低成本的生产指标,具有淘汰落后生产能力的实力,依靠市场经济规律,达到产业升级的目标。

我国钢铁工业在生产数量规模上已居世界首位,但在产品品种质量,技术装备水平、资源消耗、环境保护等方面与先进国家仍有相当差距。今后我们的努力方向就是依靠技术创新缩小差距,赶超先进。

2 术 语

2.0.1 国内、国外衡量高炉产能的指标有：高炉有效容积、内容积、工作容积、总容积、炉缸断面积或直径等。我国和俄罗斯等国家多用高炉有效容积，日本用内容积，欧美用工作容积、总容积、炉缸断面积等。当高炉采用无料钟炉顶时，有效容积与内容积几乎相等。遵循我国的习惯，本规范采用有效容积作为高炉尺寸大小的标志。

在计算高炉有效容积时，高炉炉缸和炉喉部分容积按照设计内型的炉缸尺寸和炉喉尺寸计算，其余部分应将保护砖和保护喷涂层均计算在有效容积之内。当铜冷却壁热面不砌砖也不镶砖，只喷涂耐材时，可扣除 100mm 以下的喷涂层厚度，不计算在高炉有效容积之内。炉缸直径由风口带永久砖衬围砌成的内表面直径所决定。

国外在计算高炉工作容积、内容积时也与上述规定相似，不同点在于高炉下部的基准线不同，高炉工作容积是以风口中心线为基准，内容积是以设计内型的炉缸直径与出铁口底面的交点为基准引出的水平线为基准，国外薄壁高炉也如此计算。

2.0.2 高炉有效高度的定义为高炉零料线至出铁口中心线之间的垂直距离。

料钟式高炉的零料线是指大钟下降下沿位置。无料钟式高炉的零料线可设置在炉喉钢砖上沿位置。

出铁口中心线的定义是指设计内型的炉缸直径与出铁口通道中心线的交点为基准点引出的水平线。

2.0.3 高炉设备效用指标有：高炉年平均利用系数、作业率和高炉寿命。高炉年平均利用系数、作业率和高炉寿命是衡量高炉炼

铁操作、管理、工艺技术水平 and 设备利用程度的综合技术经济指标。高炉利用系数还受企业经营、销售状况和前后工序之间平衡的支配。在合理范围内的利用系数对高炉长寿和节焦、节能、降耗有利，过度强化高炉冶炼对寿命、节焦、节能和降耗有影响。

我国采用的是高炉有效容积利用系数，是指高炉每立方米高炉有效容积一昼夜的生铁产量。高炉有效容积利用系数的计算式为：

$$\begin{aligned} & \text{高炉有效容积利用系数} [(t/(m^3 \cdot d))] \\ & = \text{高炉日产量}(t/d) / \text{高炉有效容积}(m^3) \end{aligned} \quad (1)$$

国内、外在计算高炉的利用系数时，经常使用高炉有效容积利用系数、内容积利用系数、工作容积利用系数、总容积利用系数、炉缸断面积利用系数等。与 2.0.1 的有效容积相对应，本规范采用高炉有效容积利用系数作为衡量设备效用的主要指标之一。

欧美按工作容积和规定年作业率来计算利用系数，因此他们的利用系数较高。在今后市场多变的情况下，高炉生产的弹性是很重要的。

近来有些炼铁专家建议，用炉缸断面积利用系数来作为高炉设备的效用指标。理由如下：

(1) 高炉有效容积利用系数与高炉炉缸断面积利用系数的着重点不同，前者着重容积的效用率，后者着重于炉缸断面积的效用率。当使用炉缸断面积利用系数时，大小高炉的差别就不明显了。

(2) 由于采用薄壁高炉一代的设计内型几乎不变，不像厚壁高炉那样在操作中内型扩大。如果严格按照本规范和国际上定义的高炉容积计算，容积利用系数会有所下降，而对同样直径的高炉，无论厚壁或薄壁，其炉缸断面积利用系数没有影响。

但是我们目前仍习惯用高炉容积利用系数评价高炉的效用率。此外，关键是要对利用系数有正确认识。应该认为，此项指标还与整个企业前后生产工序的配套、产品的销售情况等有关，不能完全代表高炉炼铁的技术水平。

2.0.4 欧美国家经常采用作业率,在《中国钢铁工业生产统计指标体系》中衡量其他设备的效用指标时,均采用了作业率。唯有衡量高炉设备的效用指标中没有采用作业率指标,而采用原苏联高炉炼铁设计的年工作天数。本规范使用作业率。

原苏联设计计算高炉年产量时,在年日历天中扣除高炉大、中修分摊到每年的时间,从而引入了年工作天数。而高炉寿命很长,如何分摊到每年,无法统计,因此各厂在设计和计算的天数也不统一,有按 355 天计算,也有按 350 天计算的,相当于作业率 96%~98%。

2.0.5~2.0.8 在高炉炼铁中燃料比、焦比、煤比有突出的作用,是衡量高炉生产水平和技术水平的重要技术经济指标,能够全面衡量炼铁过程的优劣。

本规范按照中国钢铁工业协会《中国钢铁工业生产统计指标体系》定义焦比和煤比。焦比的计算式如下:

$$\text{焦比}(\text{kg}/\text{t}) = \text{入炉干焦炭耗用量}(\text{kg}) / \text{生铁产量}(\text{t}) \quad (2)$$

煤比的计算式如下:

$$\text{煤比}(\text{kg}/\text{t}) = \text{煤粉耗用量}(\text{kg}) / \text{生铁产量}(\text{t}) \quad (3)$$

小块焦比的计算式如下:

$$\text{小块焦比}(\text{kg}/\text{t})$$

$$= \text{入炉干小块焦炭耗用量}(\text{kg}) / \text{生铁产量}(\text{t}) \quad (4)$$

燃料比为高炉冶炼每吨生铁所消耗的燃料总用量。包括入炉焦比、煤比、小块焦比等之和。燃料比的计算式如下:

$$\text{燃料比}(\text{kg}/\text{t})$$

$$= \text{焦比}(\text{kg}/\text{t}) + \text{煤比}(\text{kg}/\text{t}) + \text{小块焦比}(\text{kg}/\text{t}) \quad (5)$$

设计指标中全部以生产合格炼钢生铁来计算。焦比、煤比、小块焦比和燃料比均不考虑折算系数。本规范不采用综合焦比或折算焦比等不能真实反映燃料消耗量的指标并与国外的计算方法相同,以便比较。

2.0.9 用炼铁工序单位能耗来衡量生产每吨合格生铁所消耗的

各种能源量,是炼铁生产十分重要的指标。炼铁工序单位能耗用标准煤来计量时,计算式如下:

$$\text{炼铁工序单位能耗}(\text{kg 标准煤}/\text{t})$$

$$= \text{炼铁工序净耗能量}(\text{kg 标准煤}) / \text{生铁产量}(\text{t}) \quad (6)$$

在研究建设高炉的可行性和初步设计时,应当着重研究降低燃料比、降低焦比、节能、降耗及回收利用的技术和装备。要把降低炼铁工序单位能耗放在重要的地位。

3 基本规定

3.0.1 本规范采用 1000m^3 、 2000m^3 、 3000m^3 、 4000m^3 、 5000m^3 炉容级别的高炉来进行管理。每个级别代表一个高炉有效容积范围。例如, 1000m^3 级代表有效容积从 1000m^3 至 1999m^3 范围的高炉; 2000m^3 级代表有效容积从 2000m^3 至 2999m^3 范围的高炉; 3000m^3 级代表有效容积从 3000m^3 至 3999m^3 范围的高炉; 4000m^3 级代表有效容积从 4000m^3 至 4999m^3 范围的高炉; 5000m^3 级代表有效容积 5000m^3 以上范围的高炉。

据不完全统计,我国 2001 年底只有 1000m^3 以上的高炉 50 座,2003 年底有 57 座,2004 年底有 77 座,其构成如表 1。

表 1 中国高炉构成(至 2004 年底)

炉容级别(m^3)	1000	2000	3000	4000	总数
高炉座数	44	25	5	3	77
占总数	57.1%	32.5%	6.5%	3.9%	100%
高炉容积(m^3)	55792	58393	16000	12476	142661
占总数	39.1%	40.9%	11.2%	8.8%	100%
平均炉容($\text{m}^3/\text{座}$)	1268.0	2335.7	3200.0	4158.7	1852.7

大于 1000m^3 高炉的平均炉容仍然是偏小的,高炉的平均炉容还不到 2000m^3 。有效容积 3000m^3 以上高炉的座数约占 10%。

由于我国高炉大型化的发展迅猛,过去高炉划分档次的概念已经完全不能适用,而且建立新的高炉档次的概念又会很快过时,故本规范不作大、中、小高炉档次的规定。

最近高炉大型化的发展趋势喜人。O 厂日前有 11 座高炉,总容积 17295m^3 ,平均每座高炉炉容为 1572.3m^3 。O 厂将有两座

3200m^3 高炉投产,在新 2 号投产前已经在 2005 年 8 月拆除能耗高的一排 1 号 633m^3 高炉,2 号 888m^3 高炉,4 号 1000m^3 高炉,9 号 983m^3 高炉;二排高炉也将在另一座 3200m^3 高炉投产时拆除 3 号 831m^3 高炉,5 号 970m^3 高炉,6 号 1050m^3 高炉。将这些高炉合成两座 2580m^3 高炉。总计有 8 座高炉,高炉容积为 22500m^3 ,平均每座高炉容积为 2812.5m^3 。平均每座高炉增加容积 1240.2m^3 。

H 厂 3 号 1070m^3 高炉已经停炉,还将淘汰 4 号高炉,平均炉容将达到 2950m^3 。平均每座高炉容积增加 1370m^3 。

K 厂 5 号 1036m^3 高炉已于 2005 年 6 月拆除。

3.0.2 原料、燃料是高炉炼铁工艺设计的先决条件,精料对高炉生产的影响起着至关重要的作用。大型高炉更以高质量的原料、燃料为基础,其质量和供应条件必须落实,应严格禁止原料、燃料条件不落实的高炉建设。对供应原料、燃料质量差,达不到规定要求而拟建设高炉者,必须进行技术经济专题论证,并请主管部门专题审批确认。

3.0.3 本条规定的目的是促使高炉大型化,有利于管理、物料运输和少占土地。

3.0.4 本条规定了设计应进行多方案比较,严禁只搞单一方案。在比较优缺点时要客观、实事求是。在方案比较中,应尽量推荐使用国内自主技术和设备的方案。经过全面综合分析比较后,提出推荐方案报请上级机关核准或备案。

3.0.6 新建或改造的高炉必须注重环境保护。严格控制排放量,改造的高炉总排放量应低于原先的排放量。新建项目必须经过环保评估合格后方可进行建设。

3.0.8 采用胶带运输的运费低,花费的人力少,在条件允许的情况下宜尽量采用胶带运输。

4 原料、燃料和技术指标

4.1 原料和燃料要求

4.1.1 高炉炼铁需大量利用矿产资源,利用国内和国外的矿产资源是重要的国家政策。按照《钢铁产业发展政策》要求:“内陆地区钢铁企业应结合本地市场和矿石资源状况,以矿定产,……以可持续生产为主要考虑因素”。因此,在高炉炼铁工程规划阶段就必须落实矿石质量和供应能力。

沿海地区企业所需的铁矿石可尽量依靠海外市场解决。国外矿产资源丰富、品位高,可以提高高炉的操作指标,在价格合适的条件下,作为补充国内资源的不足,应予以利用。国内资源和国外资源的性能不同,要尽量利用和发挥两种资源各自的优势。

近年来,铁矿石的进口情况见表 2。

表 2 近年来生铁产量和铁矿石进口情况(亿 t)

年份(年)	2000	2001	2002	2003	2004
生铁产量	1.31	1.43	1.71	2.02	2.52
进口铁矿石量	0.70	0.92	1.11	1.48	2.08

4.1.2 根据我国富矿少、贫矿多的资源现状,铁矿石的原矿品位平均仅在 30%左右,必须细磨、精选才能得到高品位的铁精矿,适宜生产球团矿,并且生产球团矿的能耗较烧结矿低(2004 年烧结平均工序能耗为 66.38kg 标准煤/t,球团工序能耗为 32~50kg 标准煤/t),有利于炼铁系统节能。故入炉原料应以烧结矿和球团矿为主。为了提高烧结矿的强度,应采用高碱度烧结矿,搭配酸性球团矿或部分块矿,使高炉不加熔剂。

《钢铁产业发展政策》规定:“企业应积极采用精料入炉、富氧喷吹、大型高炉……先进工艺技术和装备。”精料是基础。

提高入炉铁矿石含铁品位和熟料率是精料的主要内容。近年来,随着国外矿使用的增多,以及国内选矿技术的提高,入炉矿石含铁品位不断提高。2004 年入炉铁矿石品位见表 3。

表 3 2004 年度 1000m³ 以上高炉入炉品位

炉容级别(m ³)	4000	3000	2000	1000*
TFe	60.17%	59.99%	58.86%	58.2%

注: * 表示已扣除 W 厂使用的特殊矿石。

如果个别国内铁矿石选矿后仍达不到规定品位,必须经过专题论证,企业的经济效益合适,方可降低入炉品位。

4.1.3 烧结矿是高炉使用最多的人造块矿。2004 年我国各厂烧结矿质量指标见表 4~表 6。

表 4 拥有 3000m³ 以上高炉的厂家烧结矿指标

厂家	R 厂	O 厂	N 厂
转鼓指数	82.58%	78.16%~79.96%	76.67%~77.41%
FeO	7.63%	8.22%~8.61%	6.66%~8.23%

表 5 拥有 2000~3000m³ 以上高炉的厂家烧结矿指标

厂家	K 厂	M 厂二铁	J 厂北铁	H 厂二铁	A 厂
FeO	9.25%~9.77%	8.03%	7.88%~8.93%	7.24%~8.98%	7.63%
转鼓指数	77.14%~77.31%	82.3%	78.96%~79.06%	79.55%~81.25%	78.07%
厂家	Sa 厂	U 厂	P 厂	T 厂	Q 厂
FeO	7.9%~8.02%	8.88%~8.96%	7.72%~10.47%	8.76%	7%
转鼓指数	75.23%~75.36%	74.79%~75.6%	71%~71.08%	74.49%	72.86%

表 6 拥有 1000~2000m³ 以上高炉的厂家烧结矿指标

厂家	D 厂	E 厂	B 厂	F 厂	C 厂	G 厂
FeO	8.09%	10.63%~13.13%	10.51%~10.91%	8.14%~8.29%	8.6%~8.95%	8.74%
转鼓指数	77.51%	65.61%~72.09%	70.2%~73.19%	81.97%~82.13%	80.06%~82.72%	76.46%
厂家	Z 厂	L 厂二	W 厂	V 厂	I 厂	Y 厂
FeO	9.41%	9.07%~9.27%	7.51%	9.57%	7.98%~8.8%	8.85%
转鼓指数	73.89%	75.68%~75.82%	68.85%	76.6%	75.18%	67.66%

原料进入烧结之前均应经过混匀料场混匀。均应保证烧结矿

的铁分、碱度和 FeO 的波动值。考虑到不同级别高炉的原料场装备水平的差异,不同炉容的高炉达到要求波动值的达标率也不同。

4.1.4 近年来 N 厂、K 厂、O 厂等厂都在建设大型球团厂,球团矿的使用比例将不断提高。2004 年国内主要球团厂球团矿的质量见表 7。

表 7 国内主要球团厂球团矿的质量

厂家	O 厂	K 厂	P 厂	H 厂	M 厂	Q 厂
TFe	64.33%	65.06%~ 65.22%	61.17%~ 62.45%	61.99%	62.23%	63.73%
成品球抗压强度 (N/个)	2545	2096~2218			2678~2700	2275
转鼓指数	93.14%		86.55%~ 87.42%	92.18%	92.28%~ 92.33%	90.65%
厂家	T 厂	M 厂	D 厂	L 厂	V 厂	G 厂
TFe	62.67%	62.49%	64.08%	63.35%	62.44%	63.25%
成品球抗压强度 (N/个)	1990	3029	3143	2328.6	2975	
转鼓指数	93.08%	92.09%	92.02%	86.69%	91.2%	

进口球团矿有酸性和自熔性两种,由合同规定看,全铁品位都在 64% 以上,常温耐压强度在 2000~2450,还原后耐压强度 294~300,膨胀率 16%~20%。

4.1.5 国内高品位入炉块矿数量较少,国外入炉块矿品位有下降趋势。入炉块矿宜采用还原性能好的赤铁矿。

4.1.6 在进入高炉车间之前必须进行筛分、整粒,粒度和含粉率合格的原料、燃料方可进入高炉矿槽和焦槽。烧结矿应在烧结厂运往高炉之前进行整粒处理。

4.1.7 高炉大型化、高喷煤比,对焦炭质量提出了更高和更全面的要求。由于炼焦技术的进步,通过改善炼焦工艺能够大幅度提高焦炭的质量。近年各级高炉焦炭质量的统计数据如表 8~表 11。

表 8 4000m³ 级高炉的焦炭质量指标

年份(年)	2002	2003	2004
A _h	11.29%	11.32%	11.71%
S	0.51%	0.55%	0.56%
M ₄₀	89.31%	88.9%	89.5%
M ₁₀	5.44%	5.55%	

表 9 3000m³ 级高炉的焦炭质量指标

年份(年)	2002	2003	2004
A _h	12.60%	12.50%	12.75%
S	0.50%	0.54%	0.59%
M ₄₀	80.36%	80.03%	80.74%
M ₁₀	7.37%	7.44%	7.20%

表 10 2000m³ 级高炉的焦炭质量指标

年份(年)	2002	2003	2004
A _h	12.46%	12.46%	13.02%
S	0.60%	0.61%	0.67%
M ₄₀	81.04%	81.47%	81.12%
M ₁₀	7.57%	6.69%	7.20%

表 11 1000m³ 级高炉的焦炭质量指标

年份(年)	2002	2003	2004
A _h	12.29%	12.26%	12.90%
S	0.61%	0.60%	0.64%
M ₄₀	79.97%	79.85%	80.1%
M ₁₀	7.33%	7.76%	7.50%

对焦炭强度的要求方面,各厂增添了热强度性能指标。M 厂 1 号高炉着力改善焦炭质量,特别是焦炭的高温性能。焦炭高温性能改善的同时,降低焦比,增加负荷的情况见表 12。

表 12 M 厂焦炭高温性能及焦炭负荷的情况

年份(年)	1996	1998	2000	2001	2002	2003	2004
CRI	29.3%	27.6%	27.5%	26.3%	24.8%	24.47%	22.7%
CSR	60.8%	62.8%	64.4%	65.1%	66.2%	67.67%	69.5%
O/C	3.6	4.0	4.2	4.3	4.24	4.43	4.72
灰分	13.29%	12.69%	12.30%	12.31%	12.00%	12.18%	12.30%
硫分	0.72%	0.72%	0.68%	0.70%	0.68%	1.19%	0.68%

4.1.8 高炉喷吹煤粉是节约资源、降低成本、实现持续发展的重要技术。在高炉的燃料消耗中,随着喷吹用煤比重增大,喷吹用煤的质量对冶炼过程的影响也将增大,因此提出了较高的要求。

4.1.9 硫、磷等杂质影响生铁的质量,钾、钠、锌等杂质加剧了焦炭的破损和炉底、炉体砖衬侵蚀,既影响生产,又影响高炉寿命,有必要加以控制。

1998 年 F 厂 1 号高炉第三代炉体进行破损调查,发现有害元素金属锌、红锌矿、锌尖晶石,除了在沉积碳、耐火砖边缘及裂缝中富集外,几乎所有的裂隙中都有 ZnO 充填。F 厂高炉中上部红锌矿富集的试样中 ZnO 高达 46.57%~88.3%,炉缸试样中 ZnO 含量达 42%。炉内有大量钾霞石形成,还有碳酸钾和硅酸钾存在,表明碱金属也是炉衬破损的主要原因之一。因此提出要减少入炉碱金属负荷,提高炉渣排碱能力,减少原料、燃料碱金属含量,控制含锌炉料的使用。

1999 年 N 厂 1 号高炉第二代,入炉原料含碱金属及锌负荷较高,分别为 7kg/t 和 0.45kg/t,碱金属和锌的危害较突出,该高炉中修后只使用了不到 4 年。

S 厂 8 号 1050m³ 高炉 2003 年 5 月 2 日投产,生产一年多风口大套开裂,冷却设备损坏,其原因之一是碱金属负荷高,2003 年为 4.18kg/t,2004 年高达 7.89kg/t。

T 厂 6 号 2000m³ 高炉风口普遍发生严重上翘,主要原因是入炉有害元素量过大。逐年有害元素的入炉量的变化见表 13。

高炉所有 26 个风口 2002 年上翘幅度为 2.4°~8.26°,平均 5.79°;由于控制了有害元素,2003 年情况有所好转,2004 年的上翘幅度为 0°~3.78°,平均为 1.31°。控制入炉有害元素起到了一定的作用。

表 13 T 厂 6 号高炉历年有害元素的变化

年份(年)	碱负荷(kg/t)	铅负荷(kg/t)	锌负荷(kg/t)
1999	4.75	0.328	0.831
2000	4.58	0.345	0.748
2001	4.79	0.339	0.786
2002	4.60	0.251	0.835
2003	4.41	0.176	0.885
2004	4.36	0.156	0.764

R 厂入炉碱金属控制在 2.0kg/t,日本、法国和比利时西德马厂为 3.0kg/t。新日铁锌的控制指标为 0.15kg/t,奥钢联为 0.11kg/t。一般铅控制在 0.15kg/t。国外高炉的入炉的碱金属量和锌量见图 1 和图 2。

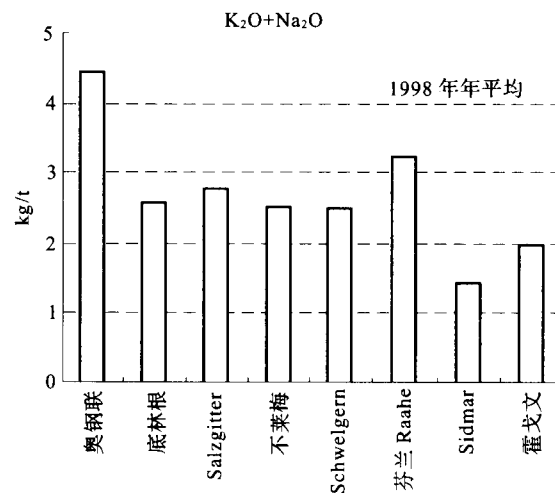


图 1 国外高炉入炉的碱金属量数据

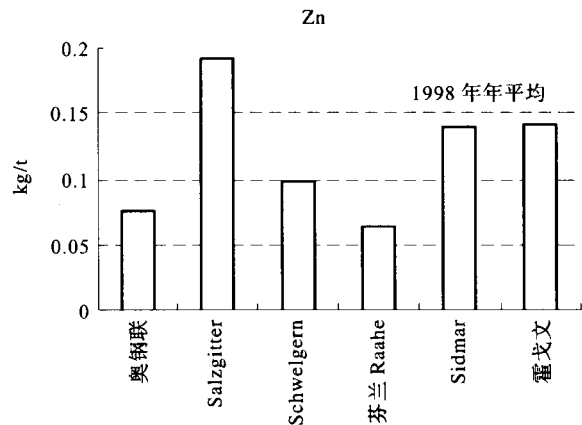


图2 国外高炉入炉的锌量数据

日本君津等厂烧结机曾经使用钾、钠高的原料,发生烧结机电除尘效率大幅度下降等负面影响。

4.2 高炉技术指标

4.2.1 高炉设计选用的年平均利用系数、燃料比、焦比等主要设计指标,应根据原料、燃料条件、风温、富氧率、高炉装备水平等综合因素,并参照条件基本相同且操作较好的高炉的生产指标来选取。

根据炼铁信息网提供的统计数据,按高炉炉容级别列出了近年来各高炉的利用系数、焦比和燃料比的数据,见表14~表17。

表14 4000m³级高炉年平均利用系数、燃料比和焦比(含小块焦)

厂名,炉号	高炉容积(m ³)	操作指标	年份(年)				
			2000	2001	2002	2003	2004
R厂3号高炉	4350	利用系数(t/m ³ ·d)	2.293	2.300	2.338	2.353	2.425
		焦比(kg/t)	289	294	290	290	303
		燃料比(kg/t)	495	500	493	493	497

续表14

厂名,炉号	高炉容积(m ³)	操作指标	年份(年)				
			2000	2001	2002	2003	2004
R厂2号高炉	4063	利用系数(t/m ³ ·d)	2.174	2.172	2.121	2.164	2.251
		焦比(kg/t)	326	331	324	325	327
		燃料比(kg/t)	499	498	493	489	497
R厂1号高炉	4063	利用系数(t/m ³ ·d)	2.290	2.281	2.293	2.221	2.237
		焦比(kg/t)	269	263	262	286	287
		燃料比(kg/t)	497	497	496	495	499

表15 3000m³级高炉年平均利用系数、燃料比和焦比

厂名,炉号	高炉容积(m ³)	操作指标	年份(年)				
			2000	2001	2002	2003	2004
N厂5号高炉	3200	利用系数(t/m ³ ·d)	2.185	2.230	2.310	2.208	2.156
		焦比(kg/t)	399	396	387	377	363
		燃料比(kg/t)	521	520	511	515	500
N厂6号高炉	3200	利用系数(t/m ³ ·d)					2.043
		焦比(kg/t)					471
		燃料比(kg/t)					569
O厂新1号高炉	3200	利用系数(t/m ³ ·d)					2.312
		焦比(kg/t)					366
		燃料比(kg/t)					515

表16 2000m³级高炉年平均利用系数、燃料比和焦比

厂名,炉号	高炉容积(m ³)	操作指标	年份(年)				
			2000	2001	2002	2003	2004
O厂10号高炉	2580	利用系数(t/m ³ ·d)	2.134	2.240	2.280	2.140	2.180
		焦比(kg/t)	390	377	357	357	374
		燃料比(kg/t)	537	522	506	517	510

续表 16

厂名, 炉号	高炉 容积(m ³)	操作指标	年份(年)				
			2000	2001	2002	2003	2004
O厂7号 高炉	2557	利用系数(t/m ³ ·d)	1.627	1.720	1.560	大修	2.102
		焦比(kg/t)	438	422	408		418
		燃料比(kg/t)	562	555	542		508
J厂3号 高炉	2560	利用系数(t/m ³ ·d)	1.900	2.070	2.240	2.115	2.154
		焦比(kg/t)	501	430	362	438	399
		燃料比(kg/t)	524	496	471	507	506
K厂1号 高炉	2536	利用系数(t/m ³ ·d)	2.254	2.119	2.327	2.211	2.164
		焦比(含小块焦) (kg/t)	395	392	373	430	467
		燃料比(kg/t)	517	528	520	517	526
K厂3号 高炉	2536	利用系数(t/m ³ ·d)	2.190	2.310	2.290	2.237	2.270
		焦比(含小块焦) (kg/t)	400	374	370	427	427
		燃料比(kg/t)	515	515	509	520	508
N厂4号 高炉	2516	利用系数(t/m ³ ·d)	2.120	2.090	2.020	2.118	2.123
		焦比(kg/t)	405	403	400	383	376
		燃料比(kg/t)	518	518	518	518	520
A厂2号炉	2500	利用系数(t/m ³ ·d)	1.995	2.170	2.050	2.223	2.446
		焦比(kg/t)	377	343	367	382	363
		燃料比(kg/t)	478	459	492	507	478
M厂四铁 1号炉	2500	利用系数(t/m ³ ·d)	1.900	2.190	2.340	2.180	2.330
		焦比(kg/t)	390	362	361	396	340
		燃料比(kg/t)	505	488	489	503	483
N厂1号 高炉	2200	利用系数(t/m ³ ·d)		2.030	2.080	2.212	2.146
		焦比(kg/t)		457	445	410	413
		燃料比(kg/t)		539	539	518	529

续表 16

厂名, 炉号	高炉 容积(m ³)	操作指标	年份(年)				
			2000	2001	2002	2003	2004
K厂4号 高炉	2100	利用系数(t/m ³ ·d)	2.150	2.240	2.200	2.055	2.288
		焦比(含小块焦) (kg/t)	437	408	406	460	442
		燃料比(kg/t)	550	523	514	537	504
U厂7号 高炉	2000	利用系数(t/m ³ ·d)	1.463	1.860	2.088	2.258	2.467
		焦比(kg/t)	487	397	355	376	400
		燃料比(kg/t)	544	511	515	525	544

表 17 1000m³ 级高炉年平均利用系数、燃料比和焦比

厂名, 炉号	高炉 容积(m ³)	操作指标	年份(年)				
			2000	2001	2002	2003	2004
K厂2号 高炉	1780	利用系数(t/m ³ ·d)	2.126	2.120	2.280	2.580	2.163
		焦比(含小块焦) (kg/t)	401	416	358	373	403
		燃料比(kg/t)	522	531	503	492	475
B厂4号 高炉	1650	利用系数(t/m ³ ·d)	1.936	2.120	2.230		2.247
		焦比(kg/t)	413	362	353	357	341
		燃料比(kg/t)	503	483	472	477	484
N厂2号 高炉	1536	利用系数(t/m ³ ·d)	2.024	1.970	1.920	1.889	1.754
		焦比(kg/t)	409	411	420	410	414
		燃料比(kg/t)	516	522	534	520	528
N厂3号 高炉	1513	利用系数(t/m ³ ·d)	1.800	1.840		1.813	1.845
		焦比(kg/t)	454	453		426	420
		燃料比(kg/t)	544	546		517	514
U厂5号 高炉	1260	利用系数(t/m ³ ·d)	1.879	1.870	2.080	2.063	2.007
		焦比(kg/t)	375	410	367	377	453
		燃料比(kg/t)	509	520	491	518	561

续表 17

厂名、炉号	高炉 容积(m^3)	操作指标	年份(年)				
			2000	2001	2002	2003	2004
J厂1号 高炉	1260	利用系数($\text{t}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$)	1.660	2.100	2.220	2.245	2.240
		焦比(kg/t)	415	399	349	397	371
		燃料比(kg/t)	513	524	481	502	500
C厂3号 高炉	1250	利用系数($\text{t}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$)	2.122	2.146	2.252	2.320	2.194
		焦比(kg/t)	405	393	396	392	412
		燃料比(kg/t)	507	503	492	491	500
C厂1号 高炉	1250	利用系数($\text{t}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$)	2.083	2.088	2.104	2.244	2.208
		焦比(kg/t)	400	396	407	399	391
		燃料比(kg/t)	504	505	506	492	494
B厂3号 高炉	1200	利用系数($\text{t}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$)	1.930	2.030	2.070	2.159	1.921
		焦比(kg/t)	472	406	399	375	494
		燃料比(kg/t)	569	511	501	485	500
H厂4号 高炉	1070	利用系数($\text{t}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$)	1.928	1.950	2.080	2.014	2.199
		焦比(kg/t)	485	486	454	489	438
		燃料比(kg/t)	592	597	556	567	526
O厂6号 高炉	1050	利用系数($\text{t}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$)	1.710	1.820	2.000	1.853	2.139
		焦比(kg/t)	436	418	444	444	428
		燃料比(kg/t)	568	554	572	559	531

在对表中的数据分析后,得知 1000m^3 级和 2000m^3 级高炉的利用系数参差不齐,不见得能与 3000m^3 级和 4000m^3 级高炉媲美。

我国的能源、矿产资源和环境状况对经济发展已构成严重的制约。高炉炼铁应把节约资源作为基点,发展循环经济,建设资源节约型、环境友好型的高炉。切实走新型炼铁工业的发展道路,坚持节约发展、清洁发展、安全发展,实现可持续发展。

制约我国高炉指标改善的主要因素是高炉燃料比高,大型高炉的优势在于燃料比较低。各级高炉的燃料比统计见图3。

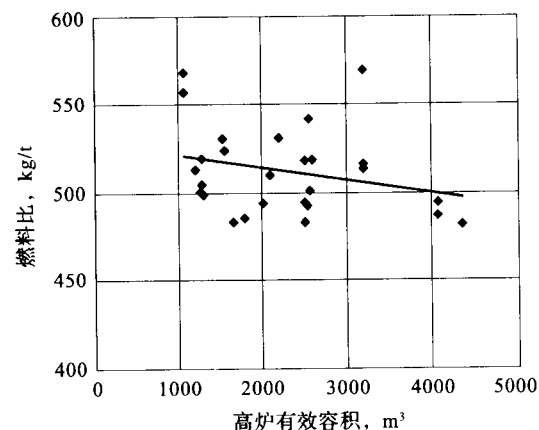


图3 高炉炉容与燃料比的统计数据

我国炼铁技术已经进入世界先进行列,但在高炉寿命、能耗指标、燃料比以及设备效率等方面,仍与世界先进水平存在一定的差距。我国是能源和焦煤缺乏的国家,在燃料比、焦比、能耗指标方面必须引起炼铁界的高度重视。重视能耗指标应当超过对利用系数的追求。

从20世纪50年代引进了原苏联的“冶炼强度”指标。由于50多年来,不断地对冶炼强度的合理值进行争论。炼铁界虽然已经不再使用冶炼强度,然而高炉炼铁设计仍然使用原苏联的设计体系。因此不得不再次研究冶炼强度与燃料比和利用系数之间的关系。

根据炼铁信息网提供的表14~表17中的高炉操作指标作成冶炼强度与燃料比的关系图,见图4。图中由计算机作出了趋势线,得到与过去研究相符的结果。

强化高炉和提高利用系数是提高企业经济效益的手段之一,而更重要的提高效益的办法是降低消耗。提高利用系数一定要从降低燃料比着手。改善原料、燃料条件和采取各种降低燃料比的

措施,提高利用系数才能获得最大的经济效益。这是近年来,高炉提高利用系数和提高经济效益的宝贵经验。由图 4 可知,实践证明,低的燃料比才能有高的利用系数,两者有着明显的关系。

在一定的原料、燃料条件和技术措施的情况下,冶炼强度与燃料比和焦比的关系存在一个燃料比最低的区域。经过研究分析,认为这个最低焦比的冶炼强度区域在 $1.0 \sim 1.1 \text{ t}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 范围内。高炉强化需要降低燃料比和提高冶炼强度并重,特别要把措施用在降低焦比上。

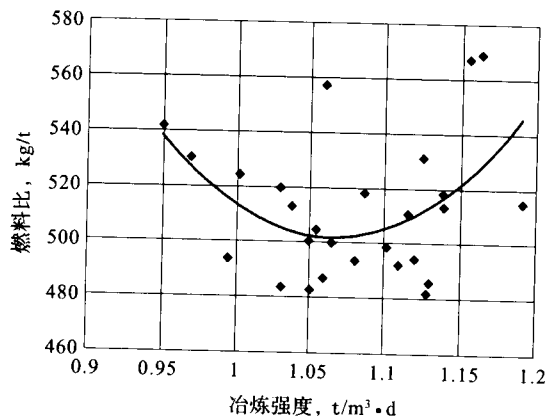


图 4 各厂高炉冶炼强度与燃料比的关系

由图 4 可知,我国高炉的冶炼强度与燃料比之间的关系可以分成三类:图中冶炼强度在 $1.05 \sim 1.15 \text{ t}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 区域的中间区域,各方面条件比较好,获得了低的燃料比;低于 $1.05 \text{ t}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 的区域原料、燃料及其他条件差,高炉难以强化,而且燃料比高;高于 $1.15 \text{ t}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 的区域的高炉强化程度超过原料、燃料的容许范围,引起燃料比的升高。根据分析,虽然这批高炉的冶炼强度很高,而利用系数却不高,因为利用系数是冶炼强度除以燃料比。当燃料比的升高超过冶炼强度的升高时,提高冶炼强度,利用系数反而下降。由此,更应以降低燃料比为中心环节。

中间区域的高炉,如 R 厂 1、2 号高炉、M 厂 1、2 号高炉、A 厂

2 号高炉、C 厂 1、3 号高炉、U 厂 7 号高炉、B 厂 4 号高炉等都是中等冶炼强度和燃料比低的高炉。R 厂 3 座高炉富氧率较高,冶炼强度也较高,而燃料比又低。由于目前高炉强化的技术措施比较多,如高炉顶压力、高富氧率等因素,使得数据比较分散,要花费更多的力量才能寻求其规律。但是,对几十座高炉的分析可知,几乎所有高炉的冶炼强度与燃料比关系都呈图 4 的 U 字形。而增加冶炼强度由于燃料比升高得更快,亦即在利用系数与燃料比的图表中,高冶炼强度、高燃料比区域的那些数据点的位置处于低利用系数的区域之内,使得利用系数与燃料比往往不呈 U 字形。因此,选择合适的利用系数还应由冶炼强度与燃料比的关系曲线确定。

由于目前高炉强化的技术措施比较多,如提高炉顶压力、提高富氧率等,冶炼强度确实不能作为高炉强化的指标。我国应建立自己的高炉强化指标和自己的设计体系,建议应建立以炉腹煤气量作为指标的体系。

根据以降低燃料比来提高利用系数的观点,在进一步确定合适的上、下限值时,研究了各级高炉的燃料比与冶炼强度的关系。图 4 的 U 字形曲线有普遍性,设计的年平均利用系数的上、下限应选取燃料比低的区域。

本规范研究了历年的生产统计数据,规定的设计年平均利用系数应该是正常年份所能达到的,用一代高炉的平均利用系数的统计数据来选择设计年平均利用系数则太低,也不够恰当。为了能较早的回收投资,必须有较高的利用系数,因此设定了下限值。在改善了原料、燃料的条件下,高炉的年平均利用系数仍然存在着上限值。本规范设定了年平均利用系数的上限值,只要降低燃料比、提高炉顶压力、提高富氧率,完全能够取得更高的利用系数。本规范设置上限值的目的是为了克服过高的年平均利用系数引起的如下弊端:

(1)对全面贯彻高炉炼铁的技术方针不利。如果过分利用提高冶炼强度的方法,而不是以降低燃料比的方式来提高利用系数,不符合钢铁产业发展政策的要求,不符合钢铁工业可持续发展的道路。

(2)不利于炼铁车间综合设备能力的发挥。设计过程一般根据总体规模先定产量,高炉的上料能力、送风系统和煤气除尘系统的能力,渣铁处理系统的能力等,都是直接按铁产量定的,唯有炉容有较大弹性。

高炉本体的投资在总投资中的比重一般为10%~15%。在设计时很有必要考虑设备综合能力的利用效率,防止出现“大马拉小车”现象。

(3)不利于企业的生产平衡,使高炉生产始终处于被动状态。炼铁经常处于生产的“瓶颈”,使得整个企业的投资和设备能力难以发挥。

(4)从我国的钢铁产业政策和能源政策来看,首先要抓的是能耗,利用系数将在次要位置。只有以降低能耗而得到的高利用系数才是值得推崇的。

(5)过高的利用系数将导致燃料比、能耗上升,高炉寿命缩短,对降低成本不利。

总之,设计要反对设定过高的、不易达到的利用系数,造成能力的长期积压,避免在低的设备利用率、高的空运转率下运行;防止宽打窄用。

4.2.2 为了与钢铁企业其他生产单元相衔接,与国外高炉指标一致,为了生产统计方便,本规范采用作业率,而不采用原苏联的年规定工作日数。过去对规定工作日数定义为日历日数减掉大、中修休风日数。

高炉寿命已延长至15年以上,并取消了中修。高炉大修期限又取决于生产组织和大修规模等不确定因素,无法分摊到每年中。

4.2.3 高炉应保持在合适的利用系数下操作,以达到绩效的最佳化。高炉的强化、生产能力的提高主要依靠改善原料、燃料条件、降低燃料比和焦比,以及提高炉顶压力、提高富氧率降低单位生铁炉腹煤气量和鼓风消耗量来达到。R厂高炉就是以此理念进行设计的,高炉在不同利用系数下操作,对应有不同的操作指标。1985

年设计R厂2号高炉时采用的操作指标见表18。

表18 R厂2号高炉原设计的操作水平

项目(单位)	[A]高炉阶段	[B]高炉最终	[C]设备能力	备注
利用系数[t/(m ³ ·d)]	2.02	2.19	2.46	
燃料比(kg/t)	540	502	484	
焦比(kg/t)	480	430	400	
煤比(kg/t)	60	80	100	
湿度(g/Nm ³)	15	10	平均6	夏季9
富氧率	≤3%	≤3%	最高4%	
热风温度(℃)	≥1200	≥1250	最高1310	
鼓风风量(Nm ³ /min)	7210	6770		

4.2.6 最大入炉标态风量和鼓风机量大出口标态风量的计算例见表19。

表19 最大入炉标态风量和鼓风机最大出口标态风量计算例

指标单位	高 炉									
炉容级别(m ³)	1000		2000		3000		4000		5000	
炉容(m ³)	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500
利用系数[t/(m ³ ·d)]	2.3	2.3	2.25	2.25	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.15
燃料比(kg/t)	540	540	530	530	520	520	505	505	505	505
冶炼强度[t/(m ³ ·d)]	1.24	1.24	1.19	1.19	1.14	1.14	1.11	1.11	1.11	1.09
焦比(kg/t)	360	360	340	340	330	330	310	310	310	310
富氧率	0	0	0	0	1%	1%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%
不富氧耗风量(Nm ³ /t)	1311	1311	1275	1275	1242	1242	1196	1196	1196	1196
耗风量(Nm ³ /t)	1311	1311	1275	1275	1186	1186	1116	1116	1116	1116
最大入炉风量(Nm ³ /min)	2093	3140	3985	4982	5434	6339	6821	7673	8526	9165
热风炉充风量(Nm ³ /min)	300	400	400	500	600	700	850	900	900	950
风机出口风量(Nm ³ /min)	2393	3540	4385	5482	6034	7039	7671	8573	9426	10115
较正常增加率 炉容/风量	37.9 2.39	36.0 2.36	30.8 2.19	30.8 2.19	24.3 2.01	24.3 2.01	20.0 1.92	19.2 1.91	17.9 1.89	17.7 1.84

热风炉换炉时采取定风压操作,不考虑漏风损失;采用定风量

操作的鼓风机,漏风损失按 $\leq 2\%$ 考虑。

在选择高炉鼓风机时,高炉正常入炉风量点应在鼓风机的高效率区域。

由于日前大多数高炉没有采用新的送风系统,管道漏风损失严重。而采用了新的送风系统,克服了漏风,鼓风机的设备能力得以正常发挥,并减少了能量损失。如 R 厂、O 厂新 1 号高炉等采用了新的送风系统,几乎看不出漏风。

本规范预留的鼓风机富裕能力,主要在如下方面:首先,从单位耗风量取的值较计算要高;其次,计算时降低了富氧量,采用设计或更高的富氧率计算鼓风机的能力就有了富裕;第三,考虑了热风炉的充风量;第四,若采用冷却脱湿,鼓风机的能力就更富裕了。因此在选择鼓风机时,风量不宜大于本计算例。例如,R 厂 4 号高炉炉容为 4747m^3 ,仍采用 $8800\text{Nm}^3/\text{min}$ 鼓风机。单位炉容的风量仅为 $1.85\text{Nm}^3/\text{min}$,以后 R 厂高炉大修都要扩容。

统计了国内、欧洲和日本高炉鼓风机的实际配置情况进行了比较,得知欧洲和日本的单位炉容鼓风机风量较我国小得多。欧洲和日本高炉单位炉容的鼓风机风量为 $1.5\sim 1.9\text{Nm}^3/\text{min}$ 。

过去我国由原苏联进口的大型高炉鼓风机,以及我国早期制造的鼓风机均未采用标准状态的风量标示,如 K-3250、K4250、Z3250 等。因此鼓风机的单位炉容的风量偏高,误导了鼓风机风量的选择,造成目前新配鼓风机的风量普遍偏高的现象。

C 厂高炉原设计采用 Z3250 汽动鼓风机,因风量有余,后将高炉炉容增大 18% ,同时调整鼓风机叶轮。蒸汽耗用量也由 $53\sim 55\text{t/h}$ 降低到 45t/h 。实践证明,C 厂高炉生产中对贯彻高效、优质、低耗、长寿的方针比较好。

R 厂高炉鼓风机不是由冶炼强度确定的,而是由高炉炉腹煤气量的上限值和高炉透气阻力系数确定的。这种方法比较科学,正确地指引了提高利用系数必须降低燃料比。而我国沿用原苏联的方法,用冶炼强度来确定高炉鼓风机。冶炼强度是一把双刃剑,

高炉不能靠提高冶炼强度——多烧燃料来强化。在新的条件下,高富氧和提高炉顶压力,使得高炉的强化不单纯依靠鼓风。R 厂 3、4 号高炉单位炉容鼓风机的风量分别为 2.023 和 $1.854\text{Nm}^3/\text{min}$ 。3 号高炉 2004 年利用系数达 $2.425\text{t}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$,11 月月平均利用系数达到 $2.624\text{t}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 。

N 厂改变了鼓风机与高炉炉容不匹配的矛盾,杜绝了“大马拉小车”现象,减少了放风操作,使吨铁耗风量下降,每吨生铁的动力消耗降低了 $2\sim 3\text{kgce/t}$ 。

日前反映 1000m^3 高炉的风压不够高,有可能因选取过大的鼓风机,风机长期在低风量区域运行时,靠近了鼓风机的喘振线,因而被迫降低风压运行。

4.2.8 炉顶压力应随炉容的扩大而增加,尤其在 3000m^3 以上的高炉必须采用更高的炉顶压力来强化操作。随着炉顶压力的提高,对操作、设备维修和管理都有更高的要求。

各厂新建和改造的高炉均采用了高压操作,历年高炉炉顶压力的实际值见表 20。

表 20 高炉炉顶压力实际值(kPa)

厂名、炉号	高炉 容积(m^3)	年份(年)				
		2000	2001	2002	2003	2004
R 厂 3 号高炉	4350	224	231	234	233	233
R 厂 2 号高炉	4063	212	216	225	228	226
R 厂 1 号高炉	4063	214	207	229	232	222
N 厂 5 号高炉	3200	210	208	203	208	206
O 厂新 1 号高炉	3200					216
H 厂 5 号高炉	2600	69	72	75	139	156
O 厂 7 号高炉	2557	116	116	128	119	147
O 厂 10 号高炉	2580	160	166	171	167	150
O 厂 11 号高炉	2580	140	153	152	176	152

续表 20

厂名, 炉号	高炉 容积(m ³)	年份(年)				
		2000	2001	2002	2003	2004
J厂3号高炉	2560	184	195	197	164	193
K厂1号高炉	2536	185	188	187	188	185
K厂3号高炉	2536	152	186	189	188	188
N厂4号高炉	2516	177	182	186	185	190
A厂2号高炉	2500		172.0	181.0	170.0	185
M厂1号高炉	2500	165	153	171	171	202
N厂1号高炉	2200	101		186	191	203
P厂3号高炉	2200	141	138	132	159	156
P厂4号高炉	2200	147	145	144	144	161
K厂4号高炉	2100	188	181	183	183	183
T厂6号高炉	2000	130	150	99	143	139
U厂7号高炉	2000		116	137	136	149
J厂2号高炉	2000	165	164	167	169	189
K厂2号高炉	1780	152	152	153	158	175
N厂2号高炉	1536	145	149	148	147	158
N厂3号高炉	1513	131	133	132		136
W厂4号高炉	1350	135	134	132	131	118
U厂5号高炉	1260	100	158	158	159	163
J厂1号高炉	1260		157	168	170	161
L厂8号高炉	1260	149	149	150	147	159
C厂3号高炉	1250	139	139	144	148	138
C厂2号高炉	1250	137	137	133	135	137
W厂1号高炉	1200	119	121	117	118	118
W厂2号高炉	1200	119	119	119	110	118

高压操作是强化高炉冶炼、提高产量、降低焦比的先进技术。

均应采用。目前除R厂、N厂等厂大型高炉的炉顶压力已长期稳定在220kPa以上,K厂、C厂、N厂(含2516m³)、W厂等大型高炉的炉顶压力一般为200kPa以上,其他高炉只维持在150kPa左右。在500~1000m³的中型高炉中,顶压均在80~150kPa。本规范提出宜提高炉顶压力值。

4.2.9 从国内、欧洲和日本高炉鼓风机的实际配置比较来看,我国高炉鼓风机的能力都比较大,高炉风压和炉顶压力也有提高的余地。1000m³级高炉鼓风机的额定出口压力在0.31~0.46MPa之间,有的高炉已经具备炉顶压力达到0.25MPa的条件;2000m³级高炉鼓风机的额定出口压力在0.40~0.52MPa之间;3000m³级高炉鼓风机的额定出口压力在0.45~0.49MPa之间;4000m³级高炉鼓风机的额定出口压力为0.51MPa。

4.2.10 在确定高炉鼓风机轴功率时,如果以包括充风时的鼓风量来计算功率,则不应取鼓风机的最高出口压力计算。因为鼓风机在热风炉换炉时应保持正常的送风压力。如果包括充风风量时,则鼓风机的电动机功率及配套设施容量都将增加8%~10%,是不合适的。因此当计算鼓风机轴功率时,考虑了热风炉换炉的风量就不再增加风压的波动值。

5 能源和资源利用

5.0.1 钢铁企业的能源和资源消耗主要在高炉炼铁系统,同样约有 70% 的排放物来自炼铁系统,因此高炉炼铁工艺设计应遵循环境保护设计的理念和指导思想。循环经济理念是一种新的经济发展模式,也是一种新的污染治理方式。设计必须重视从源头抓起,充分重视资源和能源的“减量化”——降低原料、燃料消耗。将“减量化”的理念在高炉的生产工艺、技术装备、技术经济指标和具体的设计中体现出来,才能提高资源和能源利用率,有效地降低污染物的发生量,降低“三废”治理的资金投入和运行费用,扭转污染末端治理产生的弊端。

资源和能源的综合利用是实施循环经济的主要手段之一,是“减量化”措施的下一个层次。首先要从源头抓起,在采用先进工艺不能“减量化”的条件下,再通过回收综合利用,减小资源和能源的消耗,达到低消耗、低排放、减小环境不良影响的目的。

在我国钢铁工业产能高速增长的同时,能源增长的幅度低于产量增幅约 5 个百分点。说明钢铁工业对节能降耗作出了贡献。但是,在能耗方面与发达国家相比还有相当差距,国外主要产钢国家(英、日、法、德)2000 年的平均吨钢可比能耗为 642kgce。2004 年我国重点钢铁企业平均吨钢可比能耗为 705kgce,与主要产钢国家相比高出 9.81%。2004 年重点钢铁企业炼铁工序能耗为 469.93kgce/t。主要是由于我国钢铁工业装备的能耗水平差,约有 70% 的装备落后于国际水平。

我国钢铁工业节能必须以炼铁系统为重点。炼铁系统能耗占整个钢铁企业总能耗的 70% 左右,高炉炼铁工序能耗占总能耗的 48%~58%。R 厂 2004 年的炼铁工序能耗为 395.41kgce/t。只有

少数钢铁企业的炼铁工序能耗达到世界先进水平,见表 21、表 22。

表 21 钢铁企业炼铁工序单位能耗(kgce/t)

厂名 \ 年份(年)	2001	2002	2003	2004
R 厂	402.30	395.35	394.27	395.41
A 厂	446.61	456.22	445.26	414.39
C 厂	447.94	447.85	424.12	428.46
S 厂	430.07	421.91	436.89	420.26
X 厂	453.28	433.98	418.67	426.92
B 厂	437.13	426.71	433.70	434.69

表 22 各高炉的炼铁工序单位能耗(kgce/t)

厂名、炉号	高炉容积	2002 年	2003 年	2004 年
R 厂 1 号高炉	4063	399.60	403.70	403.14
R 厂 2 号高炉	4063	396.42	389.09	394.71
R 厂 3 号高炉	4350	390.40	392.02	392.30
O 厂新 1 号高炉	3200			416.12
O 厂 10 号高炉	2580			453.47
O 厂 11 号高炉	2580			472.79
O 厂 7 号高炉	2557			447.61
H 厂 6 号高炉	2600			472.2
K 厂 1 号高炉	2536	440.98	448.14	467.94
K 厂 3 号高炉	2536	450.13	468.81	455.39
K 厂 4 号高炉	2100	464.13	466.96	437.46
K 厂 2 号高炉	1780	447.28	435.50	416.51
B 厂 4 号高炉	1650		426	413
L 厂 8 号高炉	1260	439.09	438.94	
C 厂 1 号高炉	1250	459.93	426.64	426.75
C 厂 3 号高炉	1250	444.33	425.42	423.53
O 厂 6 号高炉	1050			470.60
O 厂 4 号高炉	1000			452.84

在炼铁工序能耗中,支出项主要是还原剂——焦炭和煤粉等,以燃料比作为指标的消耗,回收项主要是高炉煤气和余压发电等回收的能量。工序能耗中的燃料消耗超过整个高炉的炼铁工序能耗约 20%~30%,因此在炼铁节能和治理污染的源头,都必须紧紧抓住降低燃料比和焦比这个中心环节。

高炉耗用大量能量,应积极推广节能措施,加强节能管理。高炉又为整个钢铁厂提供二次能源,高炉煤气的平衡对企业的生产有重大的影响。

我国钢铁工业的电能消耗大,日本钢铁厂外购电力占总购入能源的 11.9%,而我国平均在 26%左右。其中原因之一是我国钢铁企业利用余热、余能发电率低;其次是设备的选择富裕量大,设备效用率低,设备设计的节能观念不强。在高炉的工序能耗中,电能消耗约占 3%~5%。高炉设备设计和设备选择中应当采取多种节约能源的方案和措施。

目前我国资材消耗(如炉前炮泥、沟泥消耗,备品备件和材料的消耗)指标落后,引起维修费用的提高。R 厂高炉的维修费用和资材的消耗与国外先进高炉相比有一定的差距。按照《钢铁产业发展政策》和《中华人民共和国节约能源法》中的规定,节能项目必须与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用。

5.0.2 喷煤改变了高炉炼铁用能结构,是高炉炼铁系统结构优化的中心环节,是国内、外炼铁技术发展的趋势。高炉喷吹煤粉是有效的节焦、节能措施(2004 年全国平均焦化工序能耗为 142.21 kgce/t,煤粉制备能耗 20~35kgce/t),以煤代焦减少炼焦对环境的污染,有良好的经济效益和社会效益。

大量喷吹煤粉需要许多条件的支持,如提高原料、燃料质量、提高风温、降低鼓风湿度、提高富氧率、降低渣量等等,因此是高炉结构调整的中心环节,应进行详细研究提高喷煤量的各项措施。

5.0.3 我国钢铁工业的煤气利用率较低,根据 2004 年的统计,重点钢铁企业的高炉煤气放散率为 4.4%,其中有 18 个企业的高炉

煤气放散率大于 10%,有 5 家企业高于 20%,最高达 24.88%。

高炉煤气作为一种低热值二次能源应尽可能予以利用,减少放散率。

高炉开炉、停炉和休风及非正常状态下直接排放煤气对环境影响很大,烟尘浓度超过排放标准 200~300 倍,排出的 CO 经大气扩散到达地面时的浓度大大超过环境标准,因此应考虑有效措施,尽量减少高炉煤气直接排放。

5.0.4 按目前全国铁产量估算,高炉渣年产量在 1 亿 t 左右,综合利用率在 85%~90%,除了含稀土铁矿和高钛高炉渣目前的综合利用尚待解决外,高炉渣的综合利用技术现已很成熟,主要用于建筑材料行业,以高炉水渣用于水泥厂生产矿渣水泥最为广泛。

5.0.5 高炉工程的含铁尘泥指粗煤气除尘灰、煤气清洗污泥(或干式除尘灰)、其他除尘系统排灰。含铁尘泥应进行分类收集以便于利用,设计中应考虑收集、运输、贮存和利用设施。含铁尘泥的利用一般作为烧结配料使用。煤气清洗污泥(灰)中易富集锌元素,锌在高炉冶炼中是有害元素,会对高炉炉衬产生破坏作用,因此煤气清洗污泥(灰)宜尽可能考虑脱锌后再利用。

5.0.6 国家对钢铁工业水资源消耗的要求逐年提高,高炉工程用水设置循环系统是节水措施的最基本要求,应在此基础上提高用水管理装备水平,增加水质稳定和水质保证措施,进一步提高重复利用率。根据 R 厂的统计,铁前工序新水耗量占全厂 30%左右,是耗水最大的二级生产厂,R 厂通过提高浓缩倍数、强化计量管理、加强水质稳定、采取串接水再利用和改造失水点等措施,高炉吨铁工业新水消耗已降低到 0.7m³ 以下。

5.0.7 采用脱湿鼓风,可提高干风温度,利于稳定炉况,是增加煤粉喷吹量、降低焦比的有效技术措施之一。采取冷却脱湿可降低鼓风机吸入的空气温度,改善吸入条件,增加鼓风量,减少鼓风机能源消耗量,也是一种有效的节能措施。

5.0.8 高炉的废热、废气、余压均应充分利用。高炉冲水渣水的

热量、炉顶均压排压煤气、热风炉排风的风量均应利用。高炉鼓风的冷风温度在 200℃左右,热风炉废气温度在 250℃左右,均有大量热量可以利用。

6 矿槽、焦槽及上料系统

6.0.1 焦槽、矿槽主要的作用是满足高炉生产和配料方面的调节。为了在烧结设备检修时能向高炉正常供料,一般应考虑原料、燃料的落地贮存设施。矿槽、焦槽的贮存时间主要是考虑供料系统皮带检修及高炉生产波动时,能确保高炉正常生产。矿槽的数目要满足矿种及矿槽倒换和检修的要求。由于供矿系统的皮带比运焦皮带容易损坏,焦炉的生产也比较稳定,因此,矿槽的贮存时间多于焦槽时间。

在编制《炼铁设计参考资料》时对各级高炉烧结矿槽和焦槽的贮存时间作了长时间的调查研究,实践证明《炼铁设计参考资料》的推荐意见是合适的。但因目前高炉焦比的降低,焦槽的实际贮存时间已经延长,故作了适当放宽。

《炼铁设计参考资料》推荐的烧结矿槽和焦槽贮存时间见表 23。

表 23 矿槽、焦槽的贮存时间

高炉容积(m³)	烧结矿槽贮存时间(h)	焦槽贮存时间(h)
2500	9~14	6~8
2000	9~14	6~8
1500	10~16	6~8
1000	14~22	6~8

R 厂高炉矿槽、焦槽的设计容积及贮存时间见表 24。

表 24 R 厂高炉矿槽、焦槽的容积及贮存时间

厂名,炉号	炉容(m³)	焦槽总容积(m³)	焦槽数目(个)	焦炭贮存时间(h)	矿槽总容积(m³)	矿槽数目(个)	烧结矿槽容积(m³)	烧结矿贮存时间(h)
R 厂 1 号高炉	4063	2700	6	6.0	4696	16	3396	10.0
R 厂 2 号高炉	4063	2700	6	6.0	4696	16	3396	10.0

由于 R 厂高炉喷吹煤粉,焦比大幅度下降,焦槽实际贮存时间延长至 10h 以上,能够满足高炉生产的要求。而矿槽略显不足。

R 厂高炉能够采用较小的烧结矿槽容积是成功地使用了落地烧结矿的缘故。近年来,C 厂高炉总结经验,也成功地使用了落地烧结矿。在使用落地烧结矿时保持高槽位;加强槽下筛分,调整高炉操作。

P 厂 3 号高炉矿槽和焦槽偏小,其贮存时间如表 25。

表 25 P 厂 3 号高炉矿槽、焦槽容积及贮存时间

厂名、炉号	炉容 (m ³)	焦槽总 容积 (m ³)	焦槽 数目 (个)	焦炭贮 存时间 (h)	矿槽总 容积 (m ³)	矿槽 数目 (个)	烧结矿 槽容积 (m ³)	烧结矿 贮存时 间(h)
P 厂 3 号高炉	2200	920	2	3.28	2800	24	1440	7.45

P 厂实际使用比较紧张,特别是焦炭槽的容量小,以及装满系数的影响更显得紧张。

6.0.2 矿槽和焦槽在库量的管理能保证原料、燃料的贮存量,从而减少矿槽和焦槽的贮存时间,发挥计算机的管理功能和效益。

6.0.3 为了减少焦粉及矿粉入炉量,改善炉内透气性,烧结矿槽及焦槽下必须设置筛分设施。在选择筛分设备时应重视筛分效率。

R 厂高炉充分发挥槽下焦炭筛和矿石筛的能力,尽量减少每台筛子的给料量,采用减薄筛面上的料层,精细筛除粉末。烧结矿经槽下筛分后,烧结矿中小于 3mm 的粉末量要求小于 3%。I 厂 3 号高炉在 2001 年底改造了烧结矿振动筛,使入炉烧结矿中小于 5mm 的粉末减少了 45.23%,5mm 的粉末量下降到 4.896%。改善了料柱透气性,利用系数由 2001 年的 2.207t/(m³·d)提高至 2002 年的 2.320t/(m³·d),综合焦比由 506.1kg/t 下降至 497.44kg/t。

M 厂 2500m³ 高炉加强了焦炭筛的筛网管理,2001 年以来入炉焦炭中<10mm 的焦粉含量小于 0.8%,对提高利用系数和降低燃烧比起了很大的作用。

R 厂 1 号高炉 2005 年 12 月 6 日入炉焦炭粒度分析见表 26。

表 26 R 厂 1 号高炉入炉焦炭粒度

<15mm	15~25mm	25~50mm	50~75mm	>75mm
1.6%	2.6%	41.3%	45.1%	9.4%

6.0.4 本条规定对入炉原料应设置称量误差补正和焦炭水分补正设施,这是稳定高炉操作的有效措施,这一技术目前已普遍采用。

6.0.5 由于已经普遍采用冷烧结矿,因此本条规定矿槽、焦槽的上、下部均采用胶带运输,减少烧结矿和焦炭的破碎。

6.0.6 我国传统设计高炉均为斜桥料车上料,其优点是占地面积小、能耗低、投资少,比较适宜单出铁场布置的高炉。皮带上料的主要优点是矿槽、焦槽布置远离高炉,炉前广阔,有利于除尘环保设施的设置,但资金和用地紧张的小于或等于 2000m³ 级高炉也可以采用料车上料。国内部分高炉上料形式及主要装备水平见表 27、表 28。

表 27 国内 2000m³ 以上高炉的主要工艺装备水平

厂名、炉号	炉容 (m ³)	上料 形式	炉顶设 备形式	炉体冷却形式		出铁场 数目	渣铁口数目	
				水系统	冷却设备		铁口	渣口
T 厂 6 号高炉	2000	皮带	无钟	密闭	冷却板	2	3	0
E 厂 1 号高炉	2000	皮带	无钟	密闭	冷却壁	2	3	0
P 厂 3 号高炉	2200	料车	无钟	开路	冷却板壁		3	0
P 厂 4 号高炉	2200	皮带	无钟	开路	冷却板壁		4	0
O 厂 7 号高炉	2503	料车	钟式	密闭	冷却壁	2	2	2
O 厂 11 号高炉	2580	皮带	无钟	密闭	冷却壁	2	3	0
O 厂 10 号高炉	2580	皮带	无钟	密闭	冷却壁	圆形	4	0
O 厂新 1 号高炉	3200	皮带	无钟	密闭	冷却板	2	4	0
K 厂 1 号高炉	2536	皮带	无钟	密闭	冷却壁	圆形	3	0
K 厂 3 号高炉	2536	皮带	无钟	两种	冷却壁	圆形	3	0

续表 27

厂名, 炉号	炉容 (m ³)	上料 形式	炉顶设 备形式	炉体冷却型式		出铁场 数目	渣铁口数目	
				水系统	冷却设备		铁口	渣口
J 厂 3 号高炉	2560	皮带	无钟	密闭	冷却壁	2	3	0
N 厂 4 号高炉	2516	料车	无钟	密闭	冷却壁	2	2	0
N 厂 1 号高炉	2200	料车	无钟	密闭	冷却壁	2	2	0
N 厂 5 号高炉	3200	皮带	无钟	密闭	冷却壁	圆形	4	0
M 厂 1 号高炉	2500	皮带	无钟	开路	冷却壁	2	3	0
A 厂 2 号高炉	2500	皮带	无钟	开路	冷却板	2	3	0
H 厂 5 号高炉	2600	皮带	无钟	密闭	冷却壁	2	3	0
H 厂 6 号高炉	2600	皮带	无钟	密闭	冷却壁	2	3	0
R 厂 1 号高炉	4063	皮带	钟阀式	开路	冷却板	2	4	0
R 厂 2 号高炉	4063	皮带	无钟	开路	冷却板	2	4	0
R 厂 3 号高炉	4350	皮带	无钟	密闭	冷却壁	2	4	0
R 厂 4 号高炉	4747	皮带	无钟	开路	冷却板壁	2	4	0

注: 开路为工业水开路循环水冷却; 密闭为软水密闭循环水冷却。

冷却设备型式主要是炉身的冷却设备型式。

表 28 国内 1000m³ 级高炉的主要工艺装备水平

厂名, 炉号	炉容 (m ³)	上料 形式	炉顶设 备形式	炉体冷却形式		出铁场 数目	渣铁口数目	
				水系统	冷却设备		铁口	渣口
K 厂 2 号高炉	1780	皮带	无钟	密闭	冷却壁	圆形	2	0
P 厂 2 号高炉	1800	料车		开路	冷却壁	1	2	
B 厂 3 号高炉	1200	料车	钟式	密闭	冷却壁	1	1	—
V 厂 5 号高炉	1200	皮带	无钟	开路	冷却壁	1	1	
H 厂 3 号高炉	1070	料罐	钟式	开路	冷却壁	1	1	
H 厂 4 号高炉	1070	料罐	钟式	开路	冷却壁	1	1	
C 厂 1 号高炉	1250	料车	无钟	开路	冷却板壁	1	1	
C 厂 3 号高炉	1250	皮带	无钟	开路	冷却板壁	2	2	

续表 28

厂名, 炉号	炉容 (m ³)	上料 形式	炉顶设 备形式	炉体冷却形式		出铁场 数目	渣铁口数目	
				水系统	冷却设备		铁口	渣口
W 厂 1 号高炉	1200	料车	无钟	开路	冷却壁	1	1	2
W 厂 2 号高炉	1200	料车	钟式	开路	冷却壁	1	1	2
W 厂 3 号高炉	1200	料车	钟式	开路	冷却壁	1	1	2
W 厂 4 号高炉	1350	皮带	无钟	密闭	冷却壁	2	2	2
Y 厂 2 号高炉	1200	料车	钟式	密闭	冷却板壁	1	1	2
J 厂 2 号高炉	1260	皮带	无钟	密闭	冷却壁	2	2	
L 厂 8 号高炉	1260	皮带	无钟	密闭	冷却壁	2	2	
Z 厂 5 号高炉	1080	料车	无钟	密闭	冷却壁	1	1	2
Z 厂 6 号高炉	1380	料车	无钟	密闭	冷却壁	1	2	0

注: 开路为工业水开路循环水冷却; 密闭为软水密闭循环水冷却。

冷却设备形式主要是炉身的冷却设备形式。

6.0.7 上料设备富裕能力的确定与高炉生产指标、焦炭批重和赶料要求等因素有关。设备富裕能力主要是满足高炉最高日产铁量, 以及低料线时能满足赶料的要求。富裕能力过大, 将使设备效率不能发挥; 富裕能力过小, 将不能满足高炉高产和赶料的需要。按年平均设计指标计算作业率为 65%, 是考虑低于正常料线 1.5m 时, 20min 内恢复料线; 作业率 75%, 低于正常料线 0.8m 时, 在 1h 内恢复料线。如果低料线在 1h 内还不能恢复正常料线时, 则应采取减风操作。

本条规定作业率为 65%~70%, 对改造高炉可根据实际条件不超过 75%。

6.0.9 为节约焦炭充分利用资源, 目前大部分高炉已经采用小块焦的回收利用, 一般回收的小块焦粒度为 10~25mm。有的高炉采用了烧结矿分级入炉; 有的高炉还使用了小粒度烧结矿(一般为 3~5mm), 避免重复烧结, 以节约能源。

例如, O 厂新 1、2 号高炉采用了烧结矿分级入炉, 烧结矿分为

5~12mm 和大于 12mm 两级。

又如,M 厂 1 号高炉 2001 年至 2004 年使用小块焦和小粒度烧结矿的用量见表 29。

表 29 M 厂 1 号高炉小块焦和小粒度烧结矿使用量

年份(年)	2001	2002	2003	2004
小块焦(kg/t)	25	34	34	29
小粒度烧结矿(kg/t)	23	22	25	34

向高炉装入小粒度烧结矿时,要单独成批加入高炉。为了更好地改善透气性,应防止小粒度烧结矿对透气性的不良影响。

6.0.10 为了生产安全和人身安全必须采用的安全措施。在 M 厂和 R 厂生产初期发生过铁件划伤主胶带的事故,因此规定了应设置金属检除装置。

6.0.11 上料料车或主胶带机在运输矿石、焦炭等炉料时,可能发生摔落伤人的事故,故规定此条。

7 炉 顶

7.0.1 为了改善布料技术,我国大部分高炉已经采用无料钟炉顶装料设备,见表 27、表 28。

7.0.2 由于高炉广泛采用了喷煤,在高喷煤量的条件下,随着喷煤量的提高,炉内焦核比的大幅度上升,高炉焦炭料批的重量迅速下降,焦炭料批容积不再是决定高炉装料设备料斗容积的因素,而是受矿石批重和高炉透气性的限制。本条文提出应根据用矿石批重来决定装料设备的容积。见表 30。

表 30 高炉矿批重量的统计资料

厂名、炉号	炉容 (m ³)	矿批重量 (t)	炉喉矿石 层厚(m)	平均风量 (m ³ /min)	批重/风量 (之比)	料速 批数(h)
R 厂 3 号高炉	4350	132	0.915	6750	1.96%	5.63
R 厂 2 号高炉	4063	119	0.933	6230	1.91%	5.10
R 厂 1 号高炉	4063	123	0.964	6220	1.98%	5.08
N 厂 5 号高炉	3200	70	0.670	6000	1.17%	7.15
H 厂 5 号高炉	2600	48	0.505	5271	0.91%	
O 厂 11 号高炉	2580	58	0.606	5600	1.04%	6.75
K 厂 1 号高炉	2536	55	0.631	4933	1.11%	7.36
M 厂 1 号高炉	2500	61	0.626	4132	1.48%	7.08
P 厂 4 号高炉	2200	40	0.495	3900	1.03%	6.66
F 厂 1 号高炉	1800	39	0.614	3740	1.04%	6.98
L 厂 8 号高炉	1260	25.5	0.481	2400	1.06%	7.40
U 厂 5 号高炉	1260	24	0.451	2300	1.04%	7.28
C 厂 3 号高炉	1250	25	0.519	2407	1.04%	7.77
Y 厂 2 号高炉	1200	24	0.515	2390	1.00%	6.40
F 厂 2 号高炉	1000	30	0.634	2380	1.26%	5.74

7.0.3 本条文的说明与 6.0.7 条相关联,并且应与槽下系统统一考虑,保证 6.0.7 条规定的设备作业率。

7.0.4 国内、外均对高炉炉顶的除尘十分重视,目前胶带上料的高炉炉顶均已设置炉顶除尘装置;料车上料的高炉炉顶也应采取除尘措施,重视环境保护。

8 炉 体

8.0.1 高炉寿命的定义和指标是指导高炉设计和生产管理的重要指标,也是指导高炉技术进步的方向。高炉长寿能节约大修费用,提高设备效用指标,增产生铁,减少人力物力消耗,降低吨铁固定资产投资。

长寿高炉应是一代炉龄(无中修)的时间与单位炉容一代炉龄的产铁量,两个指标均应同时达到本条的规定。某些高炉的大修情况见表 31。

表 31 高炉大修情况及单位炉容一代炉役的产铁量

厂名,炉号	炉代	高炉容积(m³)	炉寿(d)	中修次数	炉役开始时间	炉役终止时间	一代产铁量(万 t)	单位炉容产铁量(t/m³)	平均利用系数[t/(m³·d)]
R 厂 1 号高炉	1	4063	3853	0	1985.9.15	1996.4.2	3229.7	7949	2.064
R 厂 2 号高炉	1	4063	>5160	0	1991.6.29	生产中	>4100	>10000	~2.09
R 厂 3 号高炉	1	4350	>3650	0	1994.9.20	生产中	>3810	>8700	~2.18
N 厂 5 号高炉	1	3200	>5100	0	1991.10.19	生产中	>3000	>9400	~1.90
O 厂 10 号高炉		2557	4135	0			1592.6	6228.5	1.506
K 厂 1 号高炉	1	2536	>4094	0	1994.8.9	生产中	2233	>8806	2.15
K 厂 3 号高炉	1	2536	>4527	0	1993.6.2	生产中	2516	>9920	2.19
W 厂 4 号高炉	1	1350	5302	0	1989.9.25	2004.4.1	1282	9496.3	1.791
C 厂 2 号高炉	2	1250	3913	0	1986.12.27	1997.9.12	877.7	7022	1.795
C 厂 1 号高炉	2	1080	3602	0	1986.1.15	1995.11.25	753.6	6978	1.937

到 2004 年底,大于 1000m³ 高炉已有 24 座寿命超过 8 年。目前已有两座生产的高炉一代寿命即将超过 15 年和单位炉容产铁量已经达到或即将达到 11000t。

8.0.2 高炉长寿是一项系统工程,要注重整体的长寿优化设计,进行全方位的改进,实行综合治理。高效冷却设备与优质耐火炉衬的有效匹配,确保高炉各部同步长寿;使用质量稳定的优质原料、燃料,保证高炉稳定运行;在降低燃料比的前提下取得高产;采用有效的监测和维护手段是实现高炉长寿的重要保证。

8.0.3 高炉冷却设备是决定高炉一代寿命的关键,特别是高炉炉腹、炉腰和炉身下部。20 世纪 90 年代以后,国外已有 50 多座高炉采用了铜冷却壁,对延长高炉寿命会有很好的效果。国内近期投产或在建高炉,有 20 多座大于 2500m³ 高炉采用了铜冷却壁。

铜冷却壁的导热性好,冷却强度大,冷却壁体温度均匀,表面工作温度很低,能快速形成稳定的渣皮。淡化了高炉内衬的作用,有利于采用薄壁结构。

8.0.4 软水密闭循环冷却技术有较快发展,如 N 厂、O 厂、H 厂、B 厂、J 厂、R 厂、W 厂等一些大型高炉均已采用。因此,本条规定设计应根据水源、水质情况选用软水密闭循环冷却或工业水开路循环冷却。

8.0.5 不同容积的高炉和高炉的不同部位应选用不同的耐火材料。提高炉缸、炉底和炉身中、下部砌体质量是延长高炉寿命的重要条件。

20 世纪 80 年代以后,我国高炉炉缸、炉底采用综合炉底,结构和冷却得到了改进,寿命大幅度延长。R 厂 1 号(第一代)、2 号高炉炉缸、炉底采用日本炭砖,炉底设陶瓷垫;N 厂 5 号高炉采用日本炭砖,炉底设陶瓷垫;H 厂 5 号高炉、O 厂新 2、3 号高炉及 R 厂 3 号高炉采用了美联炭热压小块炭砖,炉底设陶瓷垫都达到了长寿的目的。但是目前国产炭砖的性能较差,迫切需提高国产炭砖的质量。

碳化硅砖具有导热系数高,抗热震性好的特点,适宜在炉体中下部使用。

8.0.6、8.0.7 大型高炉用炭砖、SiC 砖对延长高炉寿命极为重

要。目前,耐火材料标准理化性能指标不全,甚至缺少一些极为重要的指标,难以满足本规范中对高炉长寿的要求。因此,本规范中根据工艺特点提出应增加的一些主要性能项目要求,今后修订耐材标准时应该考虑。

9 风口平台及出铁场

9.0.1 设计风口平台出铁场应适当延长主沟长度,改善渣铁分离。为了缩短渣、支铁沟长度,减少劳动强度,减少沟料消耗,采用摆动流嘴,选用大容量鱼雷罐车或铁水罐车,减少铁罐配置数量。

9.0.2 当出铁口的操作、维护良好时,一般每个出铁口的昼夜出铁量约 3500t。新建 1000m³ 级高炉采用 2 个出铁口能减轻炉前作业强度。而出铁场数目是影响总图布置、占地面积和投资的重要因素,从节约用地的角度出发,1000m³ 高炉采用 2 个出铁口,也可设一个出铁场。

国外高炉随着炮泥质量的提高,改善了出铁口的维护,延长出铁时间和每次铁量。生产实践证明,高炉有减少出铁口的趋势,如君津 4 号高炉第一代炉容 4930m³ 采用 5 个出铁口,第二代为 5150m³ 高炉出铁口改为 4 个,第三代为 5555m³ 仍为 4 个出铁口。福山 3 号高炉和君津 2 号高炉为 3000m³ 高炉出铁口由 3 个改为 2 个。新建高炉出铁口数目应与炉容和每个出铁口所能承受的日出铁量相适应,尽量减少出铁口的数目。

目前吨铁渣量为 300kg/t 左右,已不放上渣,所以没有必要设置渣口。若采用复合矿冶炼时,可设渣口。

N 厂 3 号 1513m³ 高炉,经大修后,设有 2 个出铁口,1 个渣口,1 个出铁场,两个出铁口呈 40°布置。由于入炉矿品位提高,渣量减少,一般堵出铁口 50min 后才来上渣,且渣中带铁多,放渣速度慢,放上渣量只有 30t 左右。另外,渣口容易损坏,平均每月坏渣口 11.4 个。渣口损坏后,严重影响生产。经过研究后,决定加强出铁口维护,不放上渣,实践证明是可行的。K 厂 4 号 2100m³ 高炉设置 2 个出铁口,还设有 1 个备用渣口,自 1992 年投产以来,

已连续生产 13 年,该备用渣口从未使用过。

9.0.3 我国大多数高炉,采用矩形出铁场、矩形框架。有 2 个以上出铁口的高炉也可采用圆形出铁场,均可保证出铁口间的夹角在 60°~120°之间。

9.0.4 新建或改造的高炉,都采用了液压泥炮、液压开口机。除了要求提高泥炮推力和开口机的能力以外,建议增加检测和自动化的功能,以加强对出铁口的监控和维护。

对于大于 3000m³ 高炉要求减少出铁次数,控制出铁速度,延长出铁时间。高质量的炮泥对出尽渣铁、确保出铁口深度有重要作用。

R 厂投产 20 年来不断调整炮泥的配料,改善炮泥质量,在高产、高压、低硅的生产条件下,日出铁次数控制在 12~14 次。

N 厂 5 号 3200m³ 高炉,1991 年建成投产,随着生产的发展,原配置的电动泥炮、开口机不能满足生产要求,后来更换为 BG-500 液压泥炮并对原开口机不断改造,满足了生产要求,并开发和使用高强度的出铁口炮泥。通过研究,又成功开发出一种高强度的环保型树脂出铁口炮泥,消除了沥青所造成的污染,它在保证出铁口深度、出铁口稳定性、出铁速度、出铁口可钻性和可塑性方面,均可满足 0.25MPa 炉顶压力的要求。

M 厂 1 号 2500m³ 高炉用炮泥质量控制出铁,根据高炉生产情况不同,渣铁流速要求不同,以及随着季节的变化,对炮泥马夏值进行调节,优化出铁操作。

N 厂 6 号 3200m³ 高炉,出铁场设备的控制采用了便携式遥控器、操作台和现场操作箱三种操作控制形式,提高了炉前设备操作的自动化水平。

9.0.5 自 20 世纪 90 年代以来,N 厂、K 厂、O 厂、R 厂、P 厂等都采用了固定主沟,有利于延长主沟寿命,采用了摆动流嘴,缩短了支铁沟的长度。主沟内衬用浇注料现场制作,在浇注设备难于工作的位置采用了预制沟,接头处采用捣打。R 厂 1、2 号高炉曾经

使用过活动主沟,目前均已改为固定主沟。

R厂高炉的浇注料的固定主沟一次通铁量达12万t以上。

N厂为满足4号2516m³高炉2个出铁口和2条主沟的炉前操作要求,成功开发出一种高强度的快干浇注料,硬化时间由原来的200min以上缩短为40~60min,抗热爆裂温度提高到550℃以上,从而收到了快速干燥的效果,满足了生产要求。随后,为解决在浇注过程中的偏析问题,又研制成功自流快干浇注料,减轻了操作人员的劳动强度,降低了噪声污染,满足了高炉强化冶炼要求。

M厂1号2500m³高炉用浇注料制作泥套取代原来使用捣打料制作的泥套,改进后的工艺具有易喷补,粘结好,成型快,修补时间短,强度高的优点。

9.0.6 风口平台和出铁场的起重设备及专用机械,包括主跨和副跨起重机、悬臂起重机、主沟沟盖揭盖机等。由于采用固定主沟主跨起重机不应考虑整个主沟(包括耐火材料)的起吊荷载,可能的最大荷载将是修理炮泥的荷载。

9.0.7 由于采用固定主沟,在原地修理,出铁场内不必考虑主沟修理场地,为减少出铁场面积创造了条件。

圆形出铁场布置紧凑,环形吊车作业面大,出铁场的建筑面积小。N厂6号高炉出铁场直径80m,汽车可直接上出铁场平台。设置4个铁口,铁口之间的夹角为90°,出铁场下方有6条铁路线,每2个铁口共用2条铁水罐车停放线、一条走行线,呈岛式布置。

9.0.8 扩大风口平台面积,方便更换风口操作。目前K厂、T厂6号高炉、O厂新1高炉,以及新建的一批高炉均加大了风口平台面积,特别是在出铁口上方设置了活动平台,方便检修。

9.0.9 为加强计量、控制和核算,大于2000m³高炉一般在炉前每个鱼雷罐车停放位置下设置铁水计量设施,小于4000m³高炉也可以集中设置铁水计量设施。

9.0.10 M厂1号2500m³高炉设2个对称纵向布置的矩形出铁场,3个出铁口成Y型布置,为了便于出铁场物料的装卸作业,采

用公路与出铁场连通,汽车可以直接驶入出铁场平台。出铁场与风口平台通过坡道连接,2t叉车可以上风口平台,这给更换风口装置带来很大方便。

10 高炉炉渣处理及其利用

10.0.1 目前,新建高炉一般采用底滤法、轮法、螺旋法、英巴法等
在炉前冲制水渣(特殊矿渣除外)。冲制水渣的设备均能保证水渣
的质量,玻璃化程度可以达到 90%~95%,水渣平均粒度为 0.2~
3.0mm,水渣含水 $\leq 15\%$ 的要求,应尽量提高冲渣设施的脱水能
力,控制渣中带水小于 12%。在选择炉渣粒化装置时要考虑选用
节约用水、能满足环保要求的工艺。冲渣水全部循环使用,不外排
污染物,以保护环境。

10.0.2 高炉炉渣冲制成水渣是综合利用的好方法,目前已经普
遍用于制造或代替水泥,先进的高炉水渣设施已经 100%得到利
用。新建或改造高炉水渣设施的能力,应能满足全部高炉炉渣冲
制水渣的要求。在此情况下,仍需设置干渣处理设施或渣罐运输
等备用设施,以满足开炉初期和水渣设施检修时高炉的正常操作。
此时产生的干渣,大多数厂用于做道碴等铺路材料,也已得到了充
分利用。

10.0.3 目前,新建或改造高炉炉前冲渣点一般设在出铁场外边
缘,在此处设有操作平台、检修用单轨吊车、排烟罩、双路走梯等必
要的安全设施。

11 热 风 炉

11.0.1 热风炉的设计指导思想是尽量提高热风炉热效率,降低
燃料消耗,提高风温。这是高炉炼铁技术的重要内容,是降低能
耗,创建资源节约型企业的重要手段。

提高热风炉热系统热效率应从以下几个方面入手:一、合理的
热风炉结构设计,减少热损失;二、回收热风炉废气余热;三、采用
高效陶瓷燃烧器。

11.0.2 根据各厂煤气平衡,选择符合本厂的燃料,大致可分为三
种情况:一、高炉煤气配加少量焦炉煤气作为热风炉燃料;二、高炉
煤气配加适量转炉煤气作为热风炉燃料;三、100%高炉煤气作为
热风炉燃料。

在钢铁联合企业中焦炉煤气十分紧张。但根据 2004 年金属
学会统计,华南是缺乏能源的地区,还有两个企业的焦炉煤气的放
散量超过 20%,全国还有 4 个企业超过 15%。

随着煤气利用率的提高,高炉煤气 CO 含量和热值不断下降。
有些高炉,煤气 CO 含量约为 21%,煤气热值约为 3100kJ/m³,热
风炉全烧高炉煤气时,风温只能达到 1050℃左右,不能满足高炉
的要求。大多数厂缺乏焦炉煤气,转炉煤气热值一般为 6700kJ/
m³,应尽量用转炉煤气来代替,可以全部置换焦炉煤气,获得
1200~1250℃的高风温。许多厂转炉煤气尚未利用,十分可惜。

自 1995 年开始,R 厂 3 号高炉用转炉煤气全部置换焦炉煤气
的年平均风温见表 32。

表 32 R 厂 3 号高炉历年平均风温

年份(年)	1999	2000	2001	2002	2003	2004
年平均风温(℃)	1246.1	1246.2	1248.7	1248.5	1248.0	1239.1

目前 N 厂也已使用转炉煤气。

11.0.3 当缺乏高热值煤气富化高炉煤气时,可考虑采取热风炉自身余热预热助燃空气、助燃空气蓄热装置和前置炉等装置利用高炉煤气提高风温。

为实现 1200℃ 以上风温, O 厂炼铁厂 10 号高炉和 7 号高炉(两座高炉有效容积均为 2580m³)采用的就是这种预热工艺。O 厂 7 号高炉于 2004 年进行改造大修,对热风炉系统进行了改造,采用 4 座外燃式热风炉,两烧一送一预热工作制度,即用送风先行炉在转入燃烧期之前预热助燃空气至 400℃ 以上,利用管式换热器和热风炉废气预热煤气至 200℃ 以上。O 厂 7 号高炉于 2004 年 9 月 11 日建成投产,采用单一高炉煤气作为热风炉燃料,自 2004 年 12 月起,风温水平一直保持在 1200℃。

O 厂 11 号高炉热风炉于 1998 年采用了带有附加加热装置的双预热工艺,由附加燃烧炉产生的高温烟气与热风炉低温烟气混合,混合烟气(温度一般控制在约 450℃)经过换热器分别将空气和煤气预热至 250℃ 以上,从而在单烧高炉煤气条件下月平均风温达到了 1170℃,目前保持在 1120℃。B 厂 4 号高炉带有附加加热装置,自 2000 年 12 月投入运行以来一直正常工作,空气、煤气预热温度均控制在 200~250℃,在单烧高炉煤气条件下,风温达到 1150℃ 以上。

K 厂 2 号高炉在大修时新建了内燃热风炉,将原有的 2 座顶燃式热风炉作为预热助燃空气的热风炉。2004 年 10 月份预热助燃空气温度达到 600℃,月平均风温达到了 1250℃。O 厂新 2 号高炉采用了专用球式预热炉预热助燃空气。

2004 年使用单烧高炉煤气预热助燃空气获得高风温的方法和效果见表 33。

表 33 预热方法及风温

厂名、炉号	O 厂 7 号高炉	O 厂 10 号高炉	K 厂 2 号高炉	O 厂 11 号高炉	B 厂 4 号高炉
预热方法	自身余热	自身余热	预热热风炉	前置炉	前置炉
风温(℃)	1144	1129	1118*	1048	1159

注:★为 2003 年的数据。

11.0.4 我国重点钢铁企业 2001 年、2002 年、2003 年和 2004 年的年平均风温分别为 1081℃、1066℃、1082℃ 和 1074℃。较 1991 年提高了约 100℃。近年来,我国使用球式热风炉的高炉风温也有大幅度的提高,有一批球式热风炉的年平均风温达到 1100℃ 以上。

R 厂外燃式热风炉的风温不但在国内处于领先地位,而且在上世界上也名列前茅。

我国近年来 50 座 1000m³ 及以上高炉热风炉基本特性和风温水平状况,见表 34。

表 34 近年来 1000m³ 及以上高炉热风炉风温水平状况

厂名、炉号	炉容 (m ³)	热风炉基本特性			风温(℃)			备注
		配置 数目 (座)	形式	单位炉容 蓄热面积 (m ² /m ³)	1999 年	2002 年 2 月~ 4 月	2004 年	
O 厂 10 号高炉	2580	4	外燃	88.85	1122	1140	1120	1995.2.12 投产
O 厂 11 号高炉	2580	4	内燃	91.0	1035	1000	1049	2001.12.16 大修后投产
O 厂新 1 号高炉	3200	3	内燃	74.8			1173	2003.4.9 投产
P 厂 1 号高炉	1513 2200	4	内燃	3 86.9	1180	1180	1105	
P 厂 3 号高炉	2200	4	外燃	82.54	1212	1210	1115	
P 厂 4 号高炉	2200	4	外燃	92.53	1201	1210	1071	
R 厂 1 号高炉	4063	4	外燃	75.12	1245	1247.8	1246	1985.9.15 投产
R 厂 2 号高炉	4063	4	外燃	75.12	1232	1243	1225	1991.6.29 投产
R 厂 3 号高炉	4350	4	外燃	70.16	1246	1248.7	1246	1994.9.20 投产
H 厂 5 号高炉	2000 2600	4	外燃	110	990	1150	1047	2001 年改造 后投产
A 厂 2 号高炉	2500				899		1154	1999.10.8 投产
K 厂 1 号高炉	2536	4	顶燃	95.58	1071	1100	1004	1994.8.9 投产
K 厂 3 号高炉	2536	4	顶燃	95.58	1088	1100	1055	1993.6.2 投产
K 厂 4 号高炉	2100	4	顶燃	97.64	1059	1069	1041	1992.5.15 投产
J 厂 3 号高炉	2560	3	内燃	73.08	1053	1160	1108	1998.9.26 投产

续表 34

厂名、炉号	炉容 (m ³)	热风炉基本特性			风温(℃)			备注
		配置 数目 (座)	形式	单位炉容 蓄热面积 (m ² /m ³)	1999 年 2 月~ 4 月	2002 年 2 月~ 4 月	2004 年	
N 厂 1 号高炉	1386	3	内燃	77	970		1151	改造后 2001 年 投产
	2200		内燃					
N 厂 4 号高炉	2516	4	内燃	90	1117		1138	1996.9.28 投产
N 厂 5 号高炉	3200	4	内燃	85.6	1125		1097	1991.10.19 投产
N 厂 6 号高炉	3200	3	内燃				1085	2004.7 投产
U 厂 7 号高炉	2000	4	外燃	66.54		1150	1099	2000.6.29 投产
T 厂 6 号高炉	2000				982		1035	1998.12.25 投产
Q 厂 6 号高炉	2200						1099	2003 年投产
K 厂 2 号高炉	1780	3	内燃	82.38			1041	2003.5.23 大修后投产
O 厂 6 号高炉	1050	3	外燃	66.97		970	1031	1976 年投产
C 厂 1 号高炉	1250	3	内燃	87.45	1136	1100	1141	1997.10.8 投产
C 厂 2 号高炉	1250	3	内燃	89.88			1131	2004.3.28 投产
C 厂 3 号高炉	1250	4	内燃	87.45	1115	1100	1127	1995.12.16 投产
W 厂 1 号高炉	1200	3	内燃	72.97	1034	1080		
W 厂 2 号高炉	1200	3	内燃	85.04	1104	1100	1115	
W 厂 3 号高炉	1200	3	内燃	80.14	1107	1070	1093	
W 厂 4 号高炉	1350	4	外燃	88.41	1175	1180	1153	
K 厂 2 号高炉	1726	4 3	顶燃 内燃	67.21	1038	1024	1012	
N 厂 2 号高炉	1536	3	内燃	85.0	1070		1085	
M 厂 8 号高炉	2500	4	外燃	92.8	1065	1150 (1085)	1163	1994.4.25 投产 () 为年平均
L 厂 8 号高炉	1260	4	内燃	86.7	1007	1010	1078	引进
U 厂 5 号高炉	1260	3	外燃	90	1040	1070	1073	
J 厂 3 号高炉	1260	4	内燃	88.5		1080	1082	

续表 34

厂名、炉号	炉容 (m ³)	热风炉基本特性			风温(℃)			备注
		配置 数目 (座)	形式	单位炉容 蓄热面积 (m ² /m ³)	1999 年 2 月~ 4 月	2002 年 2 月~ 4 月	2004 年	
J 厂 4 号高炉	1260	4	内燃	88.5	1041	1045		
F 厂 1 号高炉	1513 1800	3	内燃	85	1007	1000~ 1200	1172	
F 厂 2 号高炉	1000	4	内燃	88.99		1000~ 1100	954	
V 厂 5 号高炉	1200	4	内燃	84	975	842	897	
Y 厂 2 号高炉	1200	3	内燃	67.2	1063	1060	1061	
B 厂 3 号高炉	1200	3	内燃	82.01	847	1022	1070	
B 厂 4 号高炉	1350 1650	4	内燃	73.64	1011	1137	1159	2000.10 大修扩容
I 厂 1 号高炉	1000	3	内燃	85.04	1033	1097		
I 厂 3 号高炉	1000	3	内燃	86.35	938	1092		

我国高炉配置 3 座或 4 座热风炉的情况及占高炉座数的比例见表 35。

表 35 高炉配置热风炉座数的统计

年份	高炉 座数	热风炉 总数	配置 4 座热风炉		配置 3 座热风炉		备注
			高炉座数	%	高炉座数	%	
1999 年	41	144	21	51.22	20	48.78	
2002 年 2 月~4 月	46	164	26	56.52	20	43.48	

我国高炉热风炉的结构型式及占热风炉总座数的比例见表 36。

表 36 国内高炉配置的热风炉结构形式

年份	内燃式		外燃式		顶燃式		球式		备注
	座数	%	座数	%	座数	%	座数	%	
1999 年	79	54.86	49	34.03	16	11.11	0	0	
2002 年 2 月~4 月	95	57.93	53	32.32	16	9~7.5	1	1	

近年来,我国高炉风温范围及占高炉比例的统计数据见表 37。

表 37 高炉风温的统计数据

年份	高炉座数	≥1200℃		1200~1100℃		1100~1000℃		<1000℃		备注
		座数	%	座数	%	座数	%	座数	%	
1999 年	41	5	12.20	10	24.39	17	41.46	9	21.95	
2002 年 2 月~4 月	46	9	19.57	15	32.61	19	41.30	3	6.52	
2004 年	57	3	5.26	21	36.84	26	45.62	7	12.28	

目前我国高炉风温,只有 R 厂高炉的风温达到了国际先进水平,个别企业的个别高炉风温接近国际先进水平。我国乃至全世界的焦煤资源是十分有限的,按日前高炉炼铁规模、发展速度及能耗水平计算,全世界已经探明的焦煤储量仅能维持几十年,这种严峻的现实要求高炉炼铁工作者必须以务实负责的态度,一方面要积极研究开发焦煤的替代能源,另一方面则要不断的采取降低焦比的措施,而提高热风炉风温正是降低焦比的有力措施之一,这也正是制订本条规范的出发点。本规范对设计风温制定了较高的标准,符合国内外炼铁工艺技术的发展趋势和要求,尽管在具体操作中实现上述设计风温有一定难度,但经过努力是完全可以实现的。

热风炉的形式和座数影响投资较大,我国 1000~2000m³ 的高炉大多采用 3~4 座内燃式或顶燃式热风炉。2000~3000m³ 的高炉采用内燃式或外燃式热风炉为主,少数高炉采用了顶燃式热风炉。我国大于 4000m³ 高炉全部采用了 4 座外燃式热风炉,如 R 厂 4 座 4000m³ 级高炉全部采用了 4 座外燃式热风炉,自 1998 年起,风温一直保持在 1230℃ 以上,特别是 1 号高炉热风炉自 1985 年 9 月投入运行以来,一直稳定工作,热风炉一代寿命预计可达 25 年以上。

外燃式热风炉与内燃式热风炉相比,具有整体结构稳定、烟气在蓄热室格孔中分布均匀,有利于热能的充分利用,有利于延长寿

命等优点,其缺点是占地大,异型砖多,投资高,适宜 2000m³ 及更大炉容级别高炉采用。内燃式热风炉具有结构紧凑、占地少、投资省等优点,对于 4000m³ 及以上的大型高炉,内燃式热风炉拱顶明显大于外燃式热风炉拱顶,拱顶尺寸较大,拱顶砌砖的整体稳定性就较差。另外,由于内燃式热风炉自身结构的限制,烟气流在蓄热室中的分布也不如外燃式热风炉均匀。顶燃式热风炉具有与内燃式热风炉类似的优点,如结构紧凑、占地少、投资省和热损失少等,其缺点是燃烧入口砌砖不稳定。

设置 4 座热风炉与设置 3 座热风炉相比,其优点是当一座热风炉损坏检修时,降低风温值较少,有利于交错并联操作,提高风温;其缺点是投资高。因此,可以采用 3~4 座热风炉。

11.0.5 热风炉的设计寿命应满足高炉两代炉役(25~30 年)的规定,符合当代炼铁技术的发展要求和国内外高炉热风炉的实际运行情况,高温长寿热风炉技术是一项成熟技术,在世界范围内已得到应用,这些成熟技术是热风炉实现高温长寿目标的重要保证。在世界范围内高温长寿热风炉并不乏例,日本、欧洲的许多大型高炉热风炉的工作年限都已超过 20 年,国内 R 厂 1 号高炉、O 厂 6 号高炉热风炉等也超过了 20 年,这些高炉的热风炉在长期的实际运行中积累了大量的高温长寿经验。在热风炉设计中,要充分借鉴这些成功经验,同时配合健全完善的生产管理和检修维护制度,本规范制定的长寿目标是能够实现的。

通过提升技术装备水平、采用高质量耐火材料、建立健全生产检修制度等措施可以实现本规范制定的长寿目标。R 厂高炉热风炉(特别是 1 号高炉热风炉)实现了长寿的目标。

热风炉寿命主要与设计、设备与耐材的制造与施工质量、生产操作与运行维护等因素有关。

高温长寿热风炉设计的主要内容包括:各部位温度区间的计算与划分、各部位耐材的选择、薄弱易损部位(如热风出口、热风管道路各三叉口、拱顶与拱顶联络管)的耐材结构设计、高效陶瓷燃烧

器的设计、送风管系的设计(包括合理设置波纹膨胀节及合理的管道砌砖等)、合理的墙体结构设计(设置适宜的膨胀缝和滑动缝)以及热风炉炉壳结构设计。

有了好的热风炉设计,不等于热风炉就一定会长寿,好的热风炉设计仅仅是热风炉实现长寿的必要条件之一,还必须对设备和耐材的制造与施工质量、生产操作与运行维护等影响热风炉长寿的因素给予充分重视,并按照相应的规范和标准对这些因素进行严格控制。

11.0.6 热风炉蓄热面积及格子砖重量与燃烧和送风周期、操作制度、烟气流速、废气温度等因素有关,蓄热面积和砖重过大,将导致基建投资增加,过小将影响风温。因此,一般应根据条件计算确定。设计原则应是适当提高拱顶温度和废气温度,适当缩短送风周期,不混风,适当缩小格孔和余热利用有助于减少蓄热面积和砖重。

我国单位炉容的热风炉蓄热面积统计见表 38,表中同时统计了相应蓄热面积的高炉座数占高炉总数的比例。我国单位炉容的热风炉蓄热面积比欧洲和日本高很多,国外单位炉容的蓄热面积多为 $60\sim 80\text{m}^2/\text{m}^3$ 之间,还有一批高炉小于 $60\text{m}^2/\text{m}^3$ 。

表 38 高炉单位炉容蓄热面积(m^2/m^3)的统计

年份	高炉座数	<70		70~80		80~90		90~100		100~110		备注
		座数	%	座数	%	座数	%	座数	%	座数	%	
1999 年	41	3	7.32	13	31.71	17	41.46	7	17.07	1	2.44	
2002 年 2 月~4 月	46	4	8.7	15	32.61	19	41.30	7	15.22	2	4.34	

热风炉蓄热面积及格子砖质量是热风炉基建费用和热风炉性能的重要参数,本条文规定了热风炉单位炉容的蓄热面积的上、下限。规定上限的目的是保证热风炉能够满足提供设计规定风温的要求。下限是根据理论计算和热风炉操作实践,增加更多的热风炉蓄热面积起不到提高风温的目的,反而增加很多投资。

根据 45 座高炉 1999 年至 2004 年 6 年间的平均风温统计数据,做成高炉单位炉容的蓄热面积与风温的关系图(见图 5)。由图可知,风温不完全取决于蓄热面积,热风炉的蓄热面积对风温的影响不大,蓄热面积超过 $100\text{m}^2/\text{m}^3$ 的风温低于蓄热面积小的热风炉,甚至还低于蓄热面积 $75\text{m}^2/\text{m}^3$ 的热风炉。这是由于蓄热面积大,废气温度不容易升高。热风炉换炉周期长,导致风温降落在大,风温低。

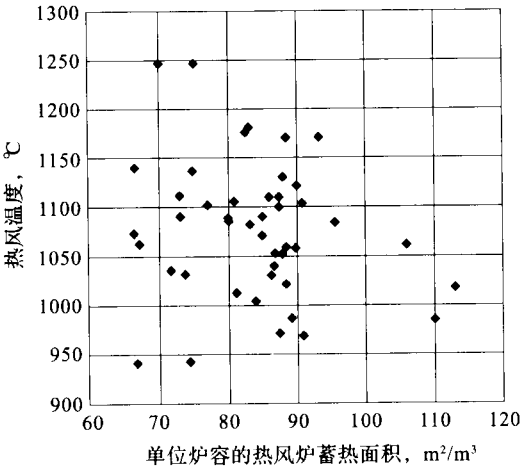


图 5 1999 年至 2004 年我国高炉平均风温与蓄热面积的关系

靠增大热风炉蓄热面积来提高风温的办法是不全面的。因为决定风温高低不是依靠蓄热量,而是依靠高温区的蓄热量。因此,在单位炉容蓄热面积 $65\sim 75\text{m}^2$,甚至蓄热面积更低的条件下,改善热风炉操作,例如缩短换炉周期,就能获得高风温。

R 厂 3 和 4 号高炉单位炉容蓄热面积分别为 70m^2 和 68.1m^2 ,风温达 $1220\sim 1250^\circ\text{C}$ 。

11.0.7 热风炉实现高温、长寿,耐火材料质量是最重要的条件。耐火材料蠕变性能是表示耐材在温度和应力长期作用下的变形趋势,是衡量耐材承受热风炉工况条件的一个重要指标。本条在参

照国内外的某些行业标准和国内近期大型高温长寿热风炉设计中通常采用的蠕变率数据的基础上,确定了不同材质低蠕变砖的蠕变率。

11.0.8 采用常规材料(如普通耐热铸铁)制作热风炉炉箅子、支柱时,由于受到炉箅子、支柱材质工作温度的限制,热风炉排出的烟气温度不得超过 350°C 。因为 350°C 是常规材料的最高安全工作温度,超过该温度后,常规材料的抗压强度、抗弯强度等机械性能将显著下降,直至失效。热风炉炉箅子、支柱长期承受高温荷载及周期性温度波动的作用,工况条件较为恶劣,因此须严格控制热风炉烟气温度,使之低于炉箅子及支柱的最高安全工作温度。

当采用常规材料制作热风炉炉箅子、支柱时,热风炉烟气温度可控制在 $250\sim 300^{\circ}\text{C}$;当采用耐热铸铁时,烟气温度可控制在 $350\sim 400^{\circ}\text{C}$,O厂新1、2、3号,N厂7号高炉已经采用。热风炉的烟气热量必须进行回收利用,既可提高风温,又可节能,国内已广泛采用。因此,本条规定应配置余热回收装置预热助燃空气和煤气。采用全干法除尘时,可不预热煤气。

11.0.9 本规范规定热风炉助燃空气的含尘量宜小于 $10\text{mg}/\text{m}^3$,是为了确保热风炉格孔不渣化、不堵塞,延长寿命。

热风炉助燃风机压力应能克服整个热风炉系统(包括预热系统)的阻力损失,本规范规定的助燃空气压力是根据通常的计算结果及国内各厂实际采用的数据确定的。当采用热风炉自身预热、蓄热式热风炉预热助燃空气时,根据O厂的实践经验,应在表11.0.9规定的基础上适当增加助燃空气的压力。如O厂7号高炉、O厂10号高炉采用热风炉自身预热方式,O厂新2号高炉和O厂新3号高炉采用蓄热式热风炉预热助燃空气方式,这4座高炉热风炉助燃风机压力均为 15kPa 。

11.0.10 随着热风炉风温水平的逐步提高,热风炉设计和使用寿命的不断延长,热风炉管系,特别是热风管道工作条件越来越苛刻,如热风各出口、三叉口扭曲变形,焊缝开裂漏风等,热风管道正

在成为热风炉实现长寿的一个限制环节。在热风炉管系上广泛应用了各种形式的伸缩管来吸收各个方向上的膨胀,从而消除热风炉各管道钢壳的高温膨胀应力和结构应力,允许管道在径向和轴向上出现一定程度的变形,以期实现热风炉各管道长期平稳运行。设置伸缩管的另一个作用是方便各阀门的安装和拆卸,如O厂新2号、新3号高炉热风炉热风阀和煤气燃烧阀附近管道上均安装了相应的伸缩管。

11.0.11 M厂高炉热风炉换炉时利用了送风热风炉废风的剩余压力,作为即将送风热风炉的充风量,减少风量波动,节约充风量约40%,减少能量损失。

12 高炉煤气净化及煤气余压发电

12.0.1 钢铁企业的能源来源由两部分组成。一部分是外购煤、电等;另一部分是由炼焦或冶炼过程转变产生的可燃气体。前者占钢铁企业总能源的 55% 左右;后者约占 35%, 数额很大, 高炉煤气占据相当大的份额。回收高炉煤气的能量占炼铁工序能耗的 40%~45%, 自耗量约 40%~50%, 对钢铁企业的能源平衡和能源设施的配置影响很大。

准确计算高炉煤气的参数十分重要, 如煤气发生量、温度、压力、成分、含水量等。应避免煤气量计算的偏差, 影响企业能源设施的配置和高炉余压发电装置 TRT 的能力。

由于在计算煤气量时, 与每吨生铁的耗风量有关, 因此吨铁耗风量应准确计算。

12.0.2 考虑炉顶设备的安全, 制订了炉顶温度的上限。正常操作时, 煤气温度应小于 250℃, 超过 300℃ 应采取炉顶打水措施。

12.0.3 随着炉顶压力的提高, 粗煤气卸灰装置也应注意安全。

12.0.4 《钢铁产业发展政策》规定新建高炉必须同步配套高炉余压发电装置 TRT。高炉炉顶压力提高后, 煤气余压能源应予回收。

目前, 我国高炉, 除了 K 厂、R 厂、C 厂、N 厂一些高炉设置了余压回收装置以外, 还有部分有条件设置 TRT 装置的企业尚未设置, 应尽快设置。2004 年部分高炉炉顶余压发电装置的情况见表 39。

表 39 高炉炉顶余压发电装置 TRT 回收的电量

厂名、炉号	炉顶压力 (kPa)	TRT 型式	型号	发电机容量 kW(MVA)	回收电量 kW·h/a (kW·h)	占工序能耗	备注
R 厂 1 号高炉	226.8	湿	MES70-3-3000	17440	109821350	2.76%	
R 厂 2 号高炉	230.8	湿	KSA-140HA	18000	124070620	2.81%	
R 厂 3 号高炉	238.9	干湿	KDA-200HA	18000/25200	132365888	2.88%	
R 厂 4 号高炉		湿	KSA-140	24400			
N 厂 1 号高炉	230	湿	TP2657/2.87-1.319	(12.50)	(4591.0)		
N 厂 2 号高炉	169	湿	TP1778/2.585-1.136	(7.50)	(647.9)		
N 厂 3 号高炉	136	湿	TP1920/2.03-1.15	4500	(1157.16)		
N 厂 4 号高炉	191	湿	TP2781/2.717-1.166	(12.50)	(5063.6)		
N 厂 5 号高炉	206	干湿		(25.00)	(4851.0)		
O 厂新 1 号高炉	215.75	湿	TP4050/2.773-1.161	15000	54049090	1.90%	
O 厂 7 号高炉	147	湿	TP3470/2.204-1.191	10000		0.07%	大修
P 厂	148	湿	TP33801	10000	39420000	1.53%	
W 厂 4 号高炉	118	干/湿	KDY-80H	7520	46000000		
C 厂 1 号高炉	137	湿	QFR-6-2-6.3	6000	588480	0.05%	大修
C 厂 2 号高炉	139	湿	QFR-6-2-6.3	6000	9403340	0.78%	大修
C 厂 3 号高炉	138	湿	QF-3-2	3000	10564760	0.98%	

注: 括号内的数据对应于括号的单位。

2004 年 R 厂三座高炉 TRT 每年共发电约 3.6 亿 kW·h, 高炉每吨生铁的耗电量为 54.53kW·h, 每吨生铁通过 TRT 回收的电量为 35.2kW·h。回收的电能占消耗电能的 64.55%。R 厂 1 号高炉 TRT 装置从 1986 年 3 月投产到 1990 年 2 月累计发电 4.1 亿 kW·h, 取得巨大经济效益。

2000年至2004年R厂高炉TRT年平均吨铁回收的电量见表40。

表 40 R 厂高炉历年 TRT 吨铁回收的电量(kW·h)

年份(年)	2000	2001	2002	2003	2004
R 厂 1 号高炉	32.42			32.27	33.02
R 厂 2 号高炉	35.81	39.80	39.20	36.84	37.06
R 厂 3 号高炉	35.30	37.48	36.61	36.39	34.31

近年来,N厂也由少数高炉配置TRT,普及到每座高炉都设置了TRT,发电量上升到1.35亿kW·h,提高了炼铁工序整体能源回收水平。N厂高炉配置的TRT设备概况,见表41。

表 41 N 厂高炉配置的 TRT 设备概况

高炉炉号	1	2	3	4	5	6
高炉容积(m ³)	2200	1536	1513	2516	3200	3200
透平型式	湿法轴流反动式	湿法轴流反动式	湿法轴流反动式	湿法轴流反动式	干湿两用轴流反动式	湿法轴流反动式
顶压控制方式	二级静叶可调	二级静叶可调	调速阀控制	二级静叶可调	调速阀及全静叶控制	全静叶控制
发电机功率(kW·h)	10000	3256	2770	9000	25000	15000
制造厂家	陕鼓	陕鼓	陕鼓	陕鼓	日本	日本
投产年月	2001.10	2000.10	1989.11	2003.11	1991.10	2005.9

O厂新1号高炉2003年4月投产,在2004年TRT回收电量20.29kW·h。

12.0.5 高炉煤气干式除尘能使炉顶余压发电装置多回收36%左右的能量,因此本规范希望能积极采用。但是由于过去煤气清洗系统不能只用煤气干式除尘,还要用湿式除尘备用,因此没有得到广泛推广。从1974年至今的30余年中,我国高炉煤气干法滤袋除尘工艺的技术发展迅速,技术日趋势完善。

采用高炉煤气干式煤气除尘装置的具体要求:

(1)1000m³级高炉必须采用全干式煤气除尘和干式TRT发

电,不得备用湿式除尘;

(2)2000m³级高炉应采用全干式煤气除尘和干式TRT发电,不宜备用湿式除尘;

(3)3000m³级和大于3000m³级的高炉研究开发采用全干式煤气除尘和干式TRT发电,为稳妥起见可备用临时湿式除尘,并采用干湿两用TRT发电装置。

国内K厂、G厂、So厂等的高炉全干式除尘煤气试验效果良好,有了成功的经验。G厂2580m³高炉开发了高炉煤气干法滤袋除尘的关键,即高炉煤气快速升、降温的技术,部分解决了由于煤气温度突然升高而烧毁滤袋的问题。日前国内、外投产的高炉都能达到投产后2~4h即引入煤气清洗系统,而高炉煤气温度要在近10h以后才能达到80℃以上,期间有大量煤气放散,应予解决。如果高炉煤气的放散率控制在湿式除尘的水平,满足环保要求,安全、可靠,高炉煤气全干式除尘将迅速推广。

13 喷吹煤粉及富氧

13.1 喷吹煤粉

13.1.1 高炉喷煤是改变高炉用能结构的关键技术,是一项有效的节能措施。高炉以煤代焦,可以缓解焦煤的资源短缺,降低生铁成本。国内外都在发展这项技术。我国从20世纪60年代开始发展喷煤技术,随着喷煤技术的发展,一些企业相应增加富氧量,取得良好效果。R厂富氧2%左右,每吨生铁的喷煤量已达到200kg/t以上;O厂、N厂等企业喷煤量也达到150kg/t铁以上。

13.1.2 高炉喷煤技术是一项综合性的技术。提高喷煤量必须提高原料、燃料的质量、风温、富氧率、炉顶压力,以及相应降低鼓风湿度。一般来说,无烟煤固定碳高,喷煤后置换比高;烟煤挥发分高,燃烧性能好;喷吹混合煤既可提高置换比,又能提高煤粉的燃烧性能。

R厂采用了脱湿鼓风,脱湿鼓风对提高喷煤的效果是显著的。

13.1.3 高炉喷煤量应根据原料、燃料和富氧条件来确定。喷煤设施能力的确定应根据高炉的喷煤量合理确定。

R厂2000年至2004年实际生产中,在富氧率2%~3%时,每吨生铁的平均喷煤量达到200~260kg。R厂2号高炉受喷煤设备能力的限制喷煤量较低,平均富氧率接近2%,平均喷煤量达到170kg/t。

图6统计了2000年至2004年我国高炉的平均风温、富氧率和喷煤量的关系。显然,喷煤量高低与富氧率和风温有密切的关系。

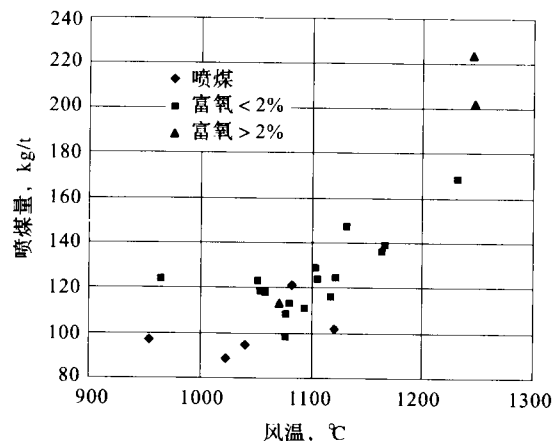


图6 喷煤量与风温和富氧率关系的统计数据
(2000~2004年平均)

13.1.4 由于增加吨铁喷煤量是一项系统工程,而增加喷煤设备的能力比较容易,实际上除了各方面条件好的高炉一段时间内能够达到每吨生铁的最高喷煤量250kg/t外,绝大多数高炉还存在差距,因此作了富裕率的限制。

13.1.5 高炉喷吹煤粉的粒度有两类:粒煤的粒度较粗,<2mm的粒度在95%以上;细磨煤粉的粒度应达到一定的粒度。过去对细磨煤粉粒度的要求沿用发电厂的要求;小于200网目(0.074mm)大于80%。本规范作了调查,欧洲一些国家要求煤粉粒度大于0.09mm(R_{90})的应小于20%。为此对煤粉粒度的要求作了适当放宽。

根据C厂、R厂等厂的实际生产情况,本条对煤粉粒度作了调整。C厂、R厂等厂的煤粉粒度见表42、表43。

表42 C厂的煤粉粒度

网 目						备 注
>40	40~60	60~120	120~140	140~180	180~200	
0.04%	0.57%	1.36%	5.84%	9.54%	22.15%	61.00%

表 43 2004 年 R 厂煤粉粒度

网 目					备 注
>50	50~100	100~200	200~325	<325	
1.3%	16.9%	63.1%	16.2%	2.4%	

O 厂曾经对煤粉粒度的筛分方法进行过一系列的研究,煤粉的吸水性很强,干燥的煤粉在冷却过程中放置 2h,含水量达到 10%以上,影响粒度分析。虽然采取了一系列措施,2005 年 12 月上、中旬平均,小于 200 网目粒度的煤粉在 70.0%~77.7%范围内。

13.1.6 制粉、喷吹合并的集中喷吹系统,不仅节省基建投资,节约能耗,也可简化操作和维修。目前国内外很多企业采用这种流程,因此,本条规定制粉间布置尽量靠近高炉,实现一次直接喷吹流程。

13.1.7 煤粉仓主要是考虑制粉设备出现故障时起缓冲作用。在制粉设备出现故障时,煤粉仓能满足 4~6h 的需要。

13.1.8 喷吹罐为高压容器,在满足倒换罐的条件下,其容量应尽量小一些。目前已经提高了喷煤系统的自动化水平,煤粉在喷吹罐内的流化状态改善,倾向于按 25min 设计。

R 厂 1 号高炉喷吹罐的容量只考虑了满足喷吹 17.3min 的要求。

13.2 富氧鼓风

13.2.1 高炉富氧鼓风是强化高炉冶炼,提高产量,提高理论燃烧温度的日常调剂手段。但富氧鼓风主要受制氧的能耗高和氧气价格的限制,提倡低富氧,多喷煤,具体的富氧程度需要技术经济比较后确定。

13.2.2 关于氧气供给的位置也需根据具体条件确定。新建钢铁企业最好把高炉鼓风站和氧气站布置在相邻的位置,氧气站产生的氧气不必加压,直接由鼓风机吸入口吸入,可以减少氧气加压的

能耗。

13.2.3 高炉可以使用低纯度氧气,低纯度氧气的成本较低,但需全厂统一考虑。C 厂采用了低浓度氧气,氧气含量为 90%。U 厂采用了变压吸附法制取低纯度的氧气。单独的氧气系统,有利于高炉的富氧,高炉富氧率能够保证。

14 检测和自动化

14.0.1 高炉自动化的程度必须与高炉操作水平、管理水平相适应,采用自动化系统后应有实际效果。自动化的效益必须体现在高炉生产的技术经济指标、生产效益、节约投资等方面。

14.0.2 高炉自动化控制一般划分 3 个功能层次:

1 基础自动化级(L1):主要完成生产过程的数据采集和初步处理,数据显示和记录,数据设定和生产操作,执行对生产过程的连续调节控制和逻辑顺序控制。

2 过程控制级(L2):主要完成生产过程的操作指导、作业管理、数学模型与高炉专家系统、数据处理和存储、报表、通信等。

3 生产控制级(L3):主要从企业管理(ERP)系统接受生产计划,一直到各铁、焦、烧生产单元作业计划的编制、生产调度、物流管理、库存管理、生产技术标准、设备管理、生产管理、数据管理等整个铁前三厂各车间的生产控制与管理。

高炉自动化水平应与高炉和企业自身的总体装备水平及管理需要相适应,新建高炉一般应设置基础自动化级(L1)和过程控制级(L2)。是否上生产控制级(L3),要由企业现有管理水平和自身需要决定。

我国高炉自动化水平已有很大提高,新建大型高炉一般均设置了基础自动化和过程自动化。目前,国内一些主要企业高炉还配置计算机管理系统,从实际生产使用情况看,只有基础自动化级(L1)的检测手段齐备,检测精度高、可靠、实用,过程控制级(L2)和生产控制级(L3)的功能才能有效发挥。

14.0.4 过程控制级(L2)和生产控制级(L3)的装备水平依赖于基础自动化级(L1)。

应根据企业的实际使用情况选择有实效的数学模型。新建或改造的高炉可以根据实际需要选择有实效的数学模型,如炉底侵蚀模型,热风炉燃烧模型等。至于高炉专家系统,应在大量积累技术和经验的条件下,最好选择基础条件好、管理水平高的高炉,总结本厂或本高炉的操作经验进行研究开发。依靠外人经验通过计算机来指导高炉具体操作的方法,能否取得实效,值得商榷。

14.0.5 电气顺序控制和仪表调节控制宜采用同一种控制装置以减少备件种类,更好地利用控制系统资源。宜充分利用 PC 操作终端多视窗、多任务的特性,尽量减少操作终端,节省操作室占地,减少操作人员。

14.0.6 在自动化控制设备的选型上,应立足国产设备为主。在确保先进性的前提下,还要考虑经济性、实用性、可维护性、开放性等因素。

14.0.7 提出了计算机和自动化系统需要进行大量的实时管理和历史资料的管理,如高炉冷却系统的运行状态直接关系到高炉寿命,应针对冷却水的温度、压力、流量等设置较为齐全的检测装置,并进行适时监视和跟踪管理。对延长高炉寿命和热风炉寿命,降低资材消耗能起巨大的作用。

R 厂高炉强调计算机的管理作用,在这方面有许多成功的经验。

14.0.8 为节约能源,应该加强能源介质的测量,为企业能源调配、协调和管理提供基础。R 厂炼铁工序能耗低,有赖于能源介质的测量和管理系统的完备。

15 环境保护

15.0.1 污染物的发生量与采用的原料、燃料和生产工艺直接有关。应将环境保护作为原料、燃料选择及处理和生产工艺选择,以及设备选型必须考虑的条件之一,是“减量化”措施的下一个层次。首先要从源头抓起,在采用先进工艺不能“减量化”的条件下,采用降低能源消耗和清洁的原料、燃料,清洁的生产工艺和清洁的生产设备,从源头减少污染物的发生量,尽可能减少在“三废”治理设施上的不必要投入。

《中华人民共和国环境保护法》规定“必须对建设项目产生的污染和对环境的影响作出评价”。环境影响评价及其环境保护行政主管部门的审批意见应在可行性研究和初步设计中体现。建设项目的环境保护措施必须与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用。

15.0.2 污染物必须做到达标排放,这是环境保护设计的最基本要求,新建和改造的高炉环境保护治理设施应采用先进的工艺和设备,使排放的污染物浓度和数量低于标准要求。力争实现“零排放”。

15.0.3 烟尘是高炉工程的主要环境污染物,本条规定了高炉工程中几个主要的烟尘污染源的治理,除此之外的其他产尘设施如铁水预处理、碾泥机室、铸铁机和高炉工程的其他设施均必须设置除尘。出铁场的除尘包括了铁口、铁沟、渣沟、撇渣器、摆动流嘴、铁水罐等,对出铁场二次烟尘也必须采取除尘措施。

现代高炉设计均考虑设置沟盖,避免无组织的烟尘逸散,对环境要求高的高炉还设置了揭盖机,应予推广。K厂高炉、R厂3号高炉、N厂6号高炉均设有揭盖机,并有多钟型式。如,K厂揭盖

机传动装置安装在炉体框架柱上;R厂揭盖机安装在风口平台之下,沿风口平台下面的轨道走行;N厂揭盖机安装在风口平台之下,通过旋转臂架和升降装置可将沟盖盖到主沟前段,实现出铁过程中主沟全封闭,且不影响开铁口、堵铁口等炉前操作。该机所带沟盖能将主沟前段全部盖上,实现出铁过程中主沟全封闭、无烟尘排放操作,改善出铁场操作环境。出铁场应设有较为完善的通风除尘设施,其中铁口、砂口、渣铁沟、摆动流嘴等处都应设置强力抽风除尘点,能有效地防止出铁过程烟尘对环境的污染;铁口区域不仅设置侧抽还设置了顶抽,极大地提高了除尘效率。

热风炉排放的污染物浓度和数量取决于使用的燃料质量,若排放的污染物超过现行国家标准《工业炉窑大气污染物排放标准》GB 9078的要求,也应采取措施使烟气达标排放。向鼓风机提供蒸汽的锅炉,应根据锅炉房的使用功能执行相应的污染物排放标准,并根据国家和地方的环境保护政策设置燃煤烟气脱硫装置。

根据国家标准《工业炉窑大气污染物排放标准》GB 9078,高炉烟(粉)尘排放浓度三级标准为 $150\text{mg}/\text{m}^3$,二级标准为 $100\text{mg}/\text{m}^3$,目前国内先进钢铁企业采用布袋除尘器时,烟(粉)尘排放浓度能够稳定在 $35\text{mg}/\text{m}^3$ 以下。

15.0.4 高炉煤气清洗废水除含有大量悬浮物外,还含有挥发酚和氰化物,现有的煤气清洗废水处理工艺不具有脱除挥发酚和氰化物的功能,因此即便外排废水量不大,对环境容量较小的水体的不良影响也是不容忽视的。在采用水冲渣工艺的高炉上,通过串接排污的用水方式能够达到炼铁废水不外排,这已经在国内有多年的成功经验。

15.0.5 水冲渣蒸汽中含有 H_2S 和 SO_2 成分,对环境产生污染,对钢结构等产生腐蚀作用,可通过采取冷水喷淋或其他方法降低危害。

15.0.6 高炉工程最大的噪声源声级可达到 $125\text{dB}(\text{A})$,是钢铁企业中对声环境影响最大的生产单元之一。声环境污染控制必须

保证钢铁企业的厂界达到厂界噪声标准,厂界噪声标准根据环境功能区类别确定,一般为Ⅱ类 60dB(A)(昼间)、50dB(A)(夜间)或Ⅲ类 65dB(A)(昼间)、55dB(A)(夜间)。本条所指噪声控制措施包括 3 个方面,在总图布置上尽可能使高噪声源远离厂界,在设备选型上尽可能选用低噪声设备,采取消声、隔声、阻尼、减振等措施。此外,还应考虑工作岗位的噪声控制要求,保护操作人员的健康。

15.0.7 1980 年国外曾经有邻近环境保护区的钢铁厂,因高炉除尘设备出现故障,不符合与当地签订的协议,为了遵循法规而被迫高炉停产、全厂停工的情况。我国环保法规日益严格,对环境保护设备应提高可靠性,特别是在采用干法煤气净化工艺时要充分考虑可能产生的环境风险,设计中应在技术上考虑避免或减小风险的措施,防止污染事故的发生。

15.0.8 绿化主要用以补偿高炉炼铁工程建设和生产时对生态的影响,具有调节小气候、吸收有毒有害气体、滞尘、抑尘、降低噪声的功能,能够降低无组织排放粉尘的扩散,还有美化和改善工作环境,调节心理的作用。绿地面积大小应遵守地方政府的绿化相关规定。

16 节约用水

16.0.1 中国是个水资源缺乏的国家,我国水资源分布极不平衡,大部分水资源集中在中部及东南部地区,广大的西北、华北以及河南、山东等地区严重缺水,不但影响了工农业的生产,甚至直接影响了广大居民的生活。然而,中国又是水资源浪费比较严重的国家,节水意识淡薄和工农业技术落后造成水资源的浪费,因此,节约用水是关系我国可持续发展的紧迫任务,为此,国家专门颁布了《中国节水技术政策大纲》,要求我国广大群众和各行各业加强节水意识,采取多种措施和办法,节约用水。

冶金行业节约用水迫在眉睫,而高炉炼铁又是冶金行业的用水大户,因此,高炉节约用水,是整个冶金行业节约用水的重要环节。

16.0.2 高炉炼铁主要用水为冷却设备冷却用水、二次冷却水、炉渣处理用水、煤气清洗除尘用水以及生活用水、消防用水等。其中,冷却设备冷却用水、二次冷却水、炉渣处理用水、煤气清洗除尘用水占绝大部分,因此,在这些方面采用新工艺、新技术对于高炉节约用水尤为重要。

1 新建和改造高炉时,应采取循环冷却方式。循环冷却分开路循环和密闭循环两种,开路循环一般采用普通工业水或工业净化水冷却,冷却效果相对较差,用水量大,补水量多,只适合在少部分水资源特别丰富的地区使用。

密闭循环一般采用软水或脱盐水,冷却水量小,冷却效果好,补充水量少,应在今后的高炉建设中大量推广应用。软水密闭循环系统具有安全可靠、耗水量少、占地小、投资省等优点。

联合软水密闭循环系统采用串联与并联的方式,将独立软水

密闭循环系统的三个独立系统合并成一个系统,在保证冷却效果提高的情况下,水量大幅度减少,节省投资,降低能耗。

目前,高炉净循环水开路循环系统,其循环率一般应大于98%,高炉软水密闭循环系统,其循环率应大于99.8%,N厂采用软水密闭循环的高炉其循环率已高达99.9%以上。

2 密闭循环冷却的冷却水一般还需进行二次冷却,以置换出热量。二次冷却的主要方式有:喷淋、水—水换热器、喷淋换热器、空冷换热器等冷却方式。喷淋冷却水的蒸发量较大,水的损耗较多;水—水换热器冷却效果好,但需要较多的二次冷却水量,水的损耗仍然较大;喷淋换热器冷却效果较好,用水相对较少;空冷换热器冷却是最节水的方式。因此今后应在气象条件适合的缺水地区,推广喷淋换热器冷却和空冷换热器冷却。T厂6号高炉使用了空冷换热器冷却,效果良好。

3 我国目前采用的节水型炉渣处理工艺有:轮法、明特法、英巴法和带冷凝回收的英巴法。轮法和英巴法吨渣耗水约0.4t,带冷凝回收的英巴法,由于其蒸汽得到冷凝回收,耗水量减少到约0.3t,今后应大力推广类似工艺。目前,我国R厂、N厂、O厂、H厂、Sa厂等部分高炉采用了此工艺,节水效果明显。

其他方法也应采用蒸汽冷凝回收技术,以改善环境和节约用水。

4 煤气除尘分湿式和干式两类:我国大部分高炉采用湿式煤气除尘工艺,在湿式煤气除尘高炉中,二文一洗涤塔工艺,耗水量大应逐步淘汰。蒸喷塔文工艺和环缝洗涤塔工艺用水量只有传统工艺的一半左右,节水效果较明显。干式煤气除尘几乎不用水,应予推广。目前已有一批炉容 1000m^3 以上的高炉使用全干式煤气除尘,是今后发展的方向。

5 应采取保证水质,提高循环水的浓缩倍数、减少排污和泄漏等非蒸发水量的措施。

16.0.3 沿海钢铁企业的高炉应积极采用海水作为二次冷却介

质,以节约淡水资源。但利用海水时,水—水热交换器需使用钛金属制造,以及海水输送管道防腐,增加了基建投资,因此需要进行综合比较确定。

16.0.4 高炉选用循环水系统时应根据当地具体取水和水质条件确定,采用节约用水的系统。以江河水、湖水等地表水为原水,经常规处理水的硬度(以 CaCO_3 计) $\leq 140\text{mg/l}$ 时,高炉可采用开路循环水系统。

16.0.5 对于采用工业水冷却的高炉,应采取串联供水冷却,特别在热负荷小的地方,要尽量采用多级串联方式。

采用软水和脱盐水密闭循环冷却的高炉,也应采取串联方式冷却。N厂4、5号高炉冷却壁冷却软水采用全串联方式,节水效果较好;N厂1、6号采用联合软水方式,进一步将炉底、风口、热风阀等串联,节水效果更加明显。

16.0.6 提高炉体冷却的软水温度,可以节约用水,减少二次冷却水水量,同时也是选用空冷换热器的必要条件之一。

T厂6号高炉采用空冷换热器,节约了全部二次冷却水,正常运行时,进水温度约为 56°C ,高炉生产近7年,冷却板只损坏了1块。

16.0.7 高炉为高温、高压设备,高炉的正常运行和安全运行全靠冷却水维持。高炉炼铁设计必须设置安全供水系统,以保证人身和设备的安全。