



劳动和社会保障部培训就业司推荐
冶金行业职业教育培训规划教材

高炉炉前操作技术

GAOLU LUQIAN CAOZUO JISHU

胡先 主编

冶金工业出版社

劳动和社会保障部培训就业司推荐
冶金行业职业教育培训规划教材

高炉炉前操作技术

胡 先 主编

朱嘉禾 主审

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2006

内 容 提 要

本书为冶金行业职业技能培训教材,是参照冶金行业职业技能标准和职业技能鉴定规范,根据高炉炉前操作特点和岗位群的技能要求编写的,并经劳动保障部职业培训教材工作委员会办公室组织专家评审通过。

书中主要包括高炉生产概述,炉前常用耐火材料,出铁操作及设备,高炉放渣操作及设备,更换风口和渣口操作,特殊炉况的炉前操作等;书末附有炉前工鉴定试题及答案,可供参考。

本书也可作为职业技术学院相关专业的教材,或工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

高炉炉前操作技术/胡先主编. —北京:冶金工业出版社,
2006.4

冶金行业职业教育培训规划教材

ISBN 7-5024-3921-8

I. 高… II. 胡… III. 高炉炼铁—炉前操作(冶金炉)
—技术培训—教材 IV. TF546

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 008449 号

出版人 曹胜利(北京沙滩嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009)

责任编辑 王秋芬 宋 良 美术编辑 王耀忠

责任校对 朱 翔 李文彦 责任印制 牛晓波

北京兴华印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2006 年 4 月第 1 版,2006 年 4 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 9 印张; 236 千字; 130 页; 1—5000 册

25.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100711) 电话:(010)65289081

(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

冶金行业职业教育培训规划教材

编辑委员会

主 任 王子林 中国钢协人力资源与劳动保障工作委员会教育培训研究会
主任委员;唐山钢铁公司 副总经理

曹胜利 冶金工业出版社 社长

副主任 董兆伟 河北工业职业技术学院 院长

鲁启峰 中国钢协人力资源与劳动保障工作委员会教育培训研究会
副主任委员;中国钢协职业培训中心 副主任

顾 问 北京科技大学 曲 英 王筱留 袁 康 施东成
委 员

首钢总公司	舒友珍	何智广	宝山钢铁公司	杨敏宏
太原钢铁公司	贾宝林	孟永钢	武汉钢铁公司	孙志桥
马鞍山钢铁公司	王茂龙	陈 宣	本溪钢铁公司	张春雨
唐山钢铁公司	宋润平	冯柄晓	江苏沙钢公司	黄国刚
济南钢铁公司	陈启祥	赵树俭	天津天铁公司	王金铭
南京钢铁联合公司	陈龙宝	朱朝全	钢协培训中心	宋 凯
承德钢铁公司	魏洪如	高 影	济源钢铁公司	靳沁萍
石家庄钢铁公司	侯 敏	冷学中	滦河集团公司	王爱民
首钢迁安钢铁公司	王宝军	王 蕾	河北冶金研究院	彭万树
邯郸钢铁公司	张晓力	李 阳	河北冶金设计院	周建宏
宣化钢铁公司	张聪山	李豪杰	港陆钢铁公司	赵福桐
淮阴钢铁公司	刘 瑾	王灿秀	邯钢衡水薄板厂	魏虎平
邢台钢铁公司	张力达	孙汉勇	半壁店钢铁公司	刘春梅
纵横钢铁公司	王建民	阚永梅	鹿泉钢铁公司	杜会武
河北工业职业技术学院	袁建路	李文兴	河北立国集团	郭志敏
山西工程职业技术学院	王明海	史学红		
冶金工业出版社	宋 良	(010-64027900, 3bs@cnmip.com.cn)		

序

吴溪淳

改革开放以来,我国经济和社会发展取得了辉煌成就,冶金工业实现了持续、快速、健康发展,钢产量已连续数年位居世界首位。这期间凝结着冶金行业广大职工的智慧 and 心血,包含着千千万万产业工人的汗水和辛劳。实践证明,人才是兴国之本、富民之基和发展之源,是科技创新、经济发展和社会进步的探索者、实践者和推动者。冶金行业中的高技能人才是推动技术创新、实现科技成果转化不可缺少的重要力量,其数量的迅速增长、素质的不断提高与否,关系到冶金行业核心竞争力的强弱。同时,冶金行业作为国家基础产业,拥有数百万从业人员,其综合素质关系到我国产业工人队伍整体素质,关系到工人阶级自身先进性在新的历史条件下的巩固和发展,直接关系到我国综合国力能否不断增强。

强化职业技能培训工作,提高企业核心竞争力,是国民经济可持续发展的重要保障,党中央和国务院给予了高度重视。在 2003 年的全国人事工作会议上,中央再一次明确了人才立国的发展战略,同时国家已开始着手进行终身学习法的制定调研工作。结合《职业教育法》的颁布实施,职业教育工作将出现长期稳定发展的新局面。

为了搞好冶金行业职工的技能培训工作,河北工业职业技术学院同冶金工业出版社和中国钢协职业培训中心密切协作,联合有关的冶金企业和职业技术学院,编写了这套冶金行业职业教育培训规划教材,并经劳动和社会保障部职业培训教材工作委员会办公室组织专家评审通过,给予推荐。河北工业职业技术学院的各级领导和教师在时间紧、任务重的情况下,克服困难,辛勤工作,在有关单位的工程技术人员和教师的积极参与和大力支持下,出色地完成了前期工作,为冶金行业的职业技能培训工作的顺利进行,打下了坚实的基础。相信本套教材的出版,将为企业生产一线人员的理论水平、操作水平和管理水平的进一步提高,企业核心竞争力的不断增强,起到积极的推进作用。

随着近年来冶金行业的高速发展,职业技能培训工作也取得了巨大的成绩,

大多数企业建立了完善的职工教育培训体系,职工素质不断提高,为我国冶金行业的发展提供了强大的人力资源支持。我个人认为,今后的培训工作重点,应注意继续加强职业技能培训工作者的队伍建设,继续丰富教材品种,加强对高技能人才的培养,进一步加强岗前培训,加强企业间、国际间的合作,开辟新的局面。

展望未来,任重而道远。希望各冶金企业与相关院校、出版部门进一步开拓思路,加强合作,全面提升从业人员的素质,要在冶金企业的职工队伍中培养一批刻苦学习、岗位成才的带头人,培养一批推动技术创新、实现科技成果转化的带头人,培养一批提高生产效率、提升产品质量的带头人;不断创新,不断发展,力争使我国冶金行业职业技能培训工作跨上一个新台阶,为冶金行业持续、稳定、健康发展,做出新的贡献!

前 言

本书是按照劳动和社会保障部的规划,受中国钢铁工业协会和冶金工业出版社的委托,在编委会的组织安排下,参照冶金行业职业技能标准和职业技能鉴定规范,根据冶金企业的生产实际和岗位群的技能要求编写的。书稿经劳动和社会保障部职业培训教材工作委员会办公室组织专家评审通过,由劳动和社会保障部培训就业司推荐作为冶金行业职业技能培训教材。

书中内容主要包括高炉生产概述,炉前常用耐火材料,出铁操作及设备,高炉放渣操作及设备,更换风、渣口操作,特殊炉况的炉前操作等;书末附有炉前工鉴定试题及答案,可供参考。书中内容紧密结合生产操作实际,既考虑了工艺知识的系统性,又考虑了工人技能知识的需要和提高,有很强的针对性。

本书由首钢工学院朱嘉禾教授(高级工程师)主审,首钢高级技工学校胡先主编,其中第1章、第3章和第6章由胡先编写,第2章由首钢炼铁厂余鸿林编写,第4章、第5章由首钢高级技工学校杨彦娟编写,附录由胡先和杨彦娟编写。

在编写过程中,参阅了有关炼铁方面的著作、杂志以及有关人员提供的资料与经验总结,在此向有关作者和出版单位致谢。同时,在编写过程中,得到王雅贞老师的支持和帮助,在此表示感谢。

本书亦可供冶金类高职高专师生、现场从事炼铁工作的技术人员、技工学校师生参考。

由于编者水平和知识面有限,加之编写时间紧,不足之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

2005年12月

目 录

1 高炉生产概述	1
1.1 高炉炼铁的工艺流程	1
1.1.1 高炉炼铁的工艺流程	1
1.1.2 高炉本体	1
1.1.3 高炉的附属系统	3
1.2 高炉冶炼的基本过程	5
1.2.1 高炉炼铁生产过程	5
1.2.2 高炉冶炼的主要反应	6
1.3 高炉冶炼的产品	8
1.3.1 生铁	8
1.3.2 炉渣	9
1.3.3 高炉煤气	9
1.3.4 炉尘	9
1.4 高炉生产的主要技术经济指标	9
1.4.1 高炉有效容积利用系数	9
1.4.2 焦比	9
1.4.3 冶炼强度	10
1.4.4 焦炭负荷	10
1.4.5 休风率	10
1.4.6 生铁合格率	11
1.4.7 生铁成本	11
1.5 炼铁技术发展趋势	11
复习思考题	12
2 高炉常用耐火材料	13
2.1 耐火材料的性能及分类	13
2.1.1 耐火材料的性能	13
2.1.2 耐火材料的分类	15
2.2 炉前用泥料的种类及理化性能	16
2.2.1 炮泥的理化性能与制备	16
2.2.2 铺沟料的理化性能和分类	20

2.2.3 撇渣器用耐火材料的理化性能和分类	22
2.2.4 泥套用耐火材料的理化性能和分类	23
2.3 炮泥配方中各种原料的作用和性能	24
复习思考题	27
3 出铁操作及设备	28
3.1 炉前工作平台	28
3.1.1 风口平台	28
3.1.2 放渣平台	28
3.1.3 出铁场	28
3.1.4 渣、铁口的数目	30
3.2 出铁设备与铁沟	31
3.2.1 开口机	31
3.2.2 泥炮	35
3.2.3 炉前吊车	45
3.2.4 铁沟与下渣沟	45
3.3 炉前操作任务与指标	48
3.3.1 炉前操作的任务	48
3.3.2 炉前操作指标	48
3.3.3 出铁次数的确定	50
3.4 炉前安全生产知识	51
3.4.1 高炉煤气安全知识	51
3.4.2 炉前操作安全	53
3.5 出铁操作	54
3.5.1 出铁口的维护	54
3.5.2 出铁操作	58
3.5.3 出铁事故及其处理	61
3.5.4 撇渣器操作	67
3.5.5 撇渣器的事故及其处理	70
3.5.6 铁沟操作及事故处理	72
复习思考题	74
4 放渣操作及设备	76
4.1 炼铁生产对放上渣的要求	76
4.1.1 放好上渣的意义	76
4.1.2 上渣操作指标	76
4.2 渣口构造及堵渣口机	77

4.2.1 渣口	77
4.2.2 堵渣口机	77
4.2.3 渣沟	80
4.3 上渣操作及渣口维护	80
4.3.1 上渣操作	80
4.3.2 渣口的维护	81
4.4 上渣事故及其处理	81
4.4.1 渣口爆炸	82
4.4.2 渣口冒渣	82
4.4.3 渣口泥套维护不好造成的事故	82
4.4.4 渣口连续破损	83
4.4.5 渣口内有凝铁堵不上渣口	83
4.4.6 渣口自动流渣	83
4.4.7 渣中带铁过多烧坏渣罐或渣罐爆炸	83
4.5 炉渣处理系统	84
4.5.1 渣罐车	84
4.5.2 高炉炉渣的处理工艺	84
复习思考题	90
5 更换风口、渣口装置的操作	91
5.1 更换风口装置	91
5.1.1 风口装置	91
5.1.2 风口破损的判断	94
5.1.3 更换风口装置的准备工作	95
5.1.4 更换操作	95
5.2 更换渣口装置	97
5.2.1 更换渣口	97
5.2.2 更换渣口三套	97
5.2.3 更换渣口二套	98
5.2.4 更换渣口大套	98
复习思考题	99
6 特殊炉况的炉前操作	100
6.1 大修开炉的炉前操作	100
6.1.1 烘炉前炉前的准备工作	100
6.1.2 送风前的准备工作	101
6.1.3 出铁操作	101

6.2 大修停炉的炉前操作	102
6.2.1 残铁口位置的确定	102
6.2.2 放残铁的准备工作的	102
6.2.3 放残铁操作	103
6.3 长期休风、复风的炉前操作	103
6.3.1 休风时的炉前操作	103
6.3.2 休风期间的炉前操作	103
6.3.3 复风前的准备工作	104
6.3.4 复风后的出铁操作	105
6.4 炉缸冻结时的炉前操作	105
复习思考题	106
 附 录	107
附录 1 炉前工自测试题	107
附录 2 常用数据	125
 参考文献	130

高炉本体是冶炼生铁的主要设备,它是一个竖式圆筒形冶炼炉,由炉基、炉壳、炉衬、冷却设备和支柱或框架等部分组成。内衬用耐火材料砌筑,砌筑后的高炉内部形成的工作空间形状称

为高炉炉型或高炉内型。

1.1.2.1 炉型

现代高炉炉型由炉缸、炉腹、炉腰、炉身和炉喉等组成,在炉缸部位设有风口、铁口、渣口等设备。中小型高炉一般设两个渣口和一个铁口;大型高炉采用多个铁口出铁,不设渣口。如图 1-2 所示。

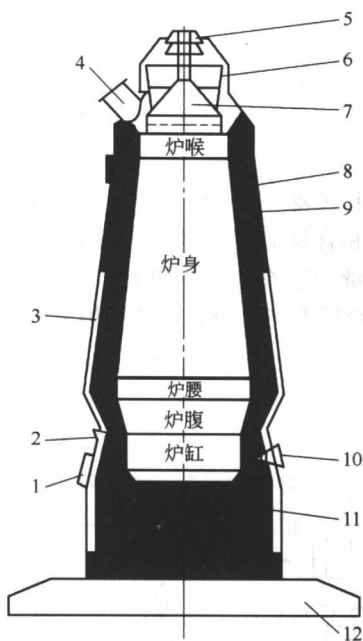


图 1-2 高炉内型结构示意图

- 1—铁口;2—风口;3—冷却器;4—煤气导出管;
5—小料钟;6—大料钟;7—大料钟;8—炉壳;
9—炉衬;10—渣口;11—炉底;12—炉基

高炉大小用“有效容积”表示。高炉有效容积是炉料在炉内实际占有的体积,由五段容积之和组成。高炉有效容积指从高炉出铁口中心线水平面到(钟式布料时)大料钟下行位置下缘水平面或(无钟布料时)布料溜槽垂直位置底部水平面之间的容积。我国最大的高炉是宝钢三号高炉,有效容积为 4350 m³。目前世界上最大的高炉是德国蒂森公司的高炉,有效容积为 6183 m³。

1.1.2.2 高炉炉壳、炉衬及冷却设备

高炉炉壳由锅炉钢板或低合金高强度钢板焊接而成,其作用是承受载荷,强固炉体,密封炉墙,并固定冷却设备。

炉衬由耐火材料砌筑而成,其作用是构成高炉工作空间,减少高炉热损失,并保护炉壳和其他金属构件免受热应力和化学侵蚀作用。由于高炉炉体各部位炉衬的工作条件及炉衬本身的结构不相同,即各种因素对不同部位炉衬的破损作用也是有差异的,因此,各部位炉衬使用的耐火材料也有区别,应选择具有抵抗破坏能力强,且适应其工作条件的耐火材料砌筑。一般炉身上部砌筑黏土砖,炉身下部用高铝砖砌筑,高炉下部的炉腰、炉腹用高铝砖或新型耐火材料

砌筑如氮化硅砖、碳化硅砖等,炉缸和炉底部位用炭砖。

高炉炉体的冷却是否合理,对保护砖衬和金属构件、维护合理的炉型有决定性作用,在很大程度上决定着高炉寿命的长短,并对高炉技术经济指标也有重要影响。其主要作用是:降低炉衬温度,使砖衬保持一定的强度,维护炉型,延长寿命;形成保护性渣皮,保护炉衬;保护炉壳、支柱等金属结构,免受高温影响;有些冷却设备对部分砖衬还可以起到支撑的作用。

高炉的冷却方式有强制冷却和自然冷却两种。强制冷却具有冷却强度大的优点,而自然冷却具有设备简单的长处,因此,小高炉常用外部喷水冷却,大中型高炉采用强制冷却。目前,强制冷却有水冷、风冷和汽化冷却三种,当前风冷主要用于炉底,水冷是高炉最通用的冷却方法,汽化冷却是利用接近沸点的软水吸收冷却设备的热量用于自身的蒸发,通过汽化潜热带走受热部件的热量。汽化冷却应用并不广泛,目前主要应用在高炉风口冷却上,并且逐渐被软水闭路强制循环冷却所代替,主要是因为汽化冷却还存在一些具体问题不好解决,如热负荷高时蒸汽循环不稳定,冷却设备易烧坏,损坏后不易检漏,对炉衬侵蚀情况反应不敏感等。

高炉用的冷却设备有冷却水箱(扁水箱和支梁式水箱)、冷却壁(光面冷却壁和镶砖冷却壁)和冷却板三种。炉底、炉缸一般都采用光面冷却壁工业水冷却;炉腹、炉腰高热负荷区域采用镶

砖冷却壁和冷却板的软水冷却;炉身中下部采用支梁式水箱或带凸台的镶砖冷却壁的软水冷却。

1.1.3 高炉的附属系统

高炉除本体外,还包括供料和上料系统、炉顶装料系统、送风系统、煤气净化系统、渣铁处理系统、喷吹系统及动力系统等附属系统。

1.1.3.1 供料和上料系统

供料和上料系统的任务是储存、混匀、筛分、称量原料和燃料,并将其运送到炉顶受料漏斗;本系统包括贮矿场、贮矿槽、贮焦槽、筛分设备、称量设备、运料设备等。

贮矿槽是主要的供料设备,它起到短期贮料的作用。贮矿槽的容积与数目,根据料种多少、高炉容积大小、强化程度和运输设备可靠性确定。槽下供料目前有两种方式,即称量车供料或带式运输机供料。由于称量车设备庞大,投资多,维护困难,也不容易实现自动化,因此新建大型高炉均不再使用。当前高炉大量使用冷烧结矿,带式运输机供料已得到广泛应用。其优点是设备简单、投资少,容易实现自动化;缺点是只适应于原料品种少和冷烧结矿的高炉。

向炉顶上料有料车上料和皮带上料两种方式。我国早期兴建的高炉采用料车上料。当前高炉向大型化发展,容积已达 $3000 \sim 5000 \text{ m}^3$,料车上料已不能满足生产的要求,所以大型高炉均采用皮带运输机向炉顶供料。皮带上料机的优点是上料能力大,可连续上料,效率高;设备简单,重量轻,投资少;容易实现自动化。缺点是必须使用冷矿和使用的原料品种要少。

1.1.3.2 炉顶装料系统

炉顶装料系统的任务是按工艺要求将上料系统运来的炉料均匀地装入炉内。炉顶装料系统分为钟式炉顶和无钟炉顶两种。

早期多采用双钟炉顶布料,它包括受料漏斗、旋转布料器、大小钟漏斗、大小钟、大小钟平衡杆和探尺等。若高压操作的高炉还有均压阀和放散阀。双钟炉顶布料不均,而双钟一阀式和双钟四阀式体积大,重量也大,且制造、安装、维修困难。因此在 20 世纪 70 年代出现了无钟炉顶,即用一个旋转溜槽取代了大料钟,溜槽可以绕高炉中心线旋转,也可以在径向上摆动。溜槽正上方有一个气密齿轮箱,用以控制溜槽旋转与摆动。溜槽上面有两个料仓,轮换装料与卸料,每个料仓的上下各有一个密封阀。当料仓的上密封阀开启下密封阀关闭时,则处在装料状态,反之则为卸料。

1.1.3.3 送风系统

送风系统的任务是将鼓风机房送出的冷风加热并送入高炉。高炉送风系统的设备是由鼓风机、冷风管道、热风炉、热风管道、煤气管道、废气管道以及设置在上述管道上的各种阀门和烟囱、烟道等所组成。

(1) 鼓风机:高炉鼓风机是向高炉供给空气的设备。高炉用鼓风机有轴流式风机和离心式风机两种。目前国内外使用轴流式风机者居多,我国小高炉多采用罗茨风机。为适应高炉大型化发展和超高压操作的需要,鼓风机也向着大流量、高压、高转速、大功率、高自动化水平的方向发展。

当前轴流鼓风机的能力已达到:风量 $10000 \text{ m}^3/\text{min}$,风压 0.7 MPa ($7.0 \times 10^5 \text{ N/m}^2$),功率为 70000 kW 。

(2) 热风炉:蓄热式热风炉是用于加热冷风的关键设备,它由蓄热室和燃烧室组成。蓄热式热风炉有内燃式、顶燃式和外燃式三种。由于蓄热式热风炉只能交替加热和送风,因此一座高炉

一般配备 3~4 座热风炉。由于内燃式热风炉限制了风温的进一步提高,所以新建的大中型高炉都采用外燃式热风炉或顶燃式热风炉。新型热风炉已能向高炉提供 1400℃ 高温的热风。

1.1.3.4 煤气净化系统

煤气净化系统的任务是将炉顶引出的含尘量很高的煤气净化成符合要求的气体燃料。高炉煤气是炼铁的副产品,每炼 1 t 生铁大约可产生 2000 m³ 煤气,其中 CO、H₂ 和少量的 CH₄ 等为可燃成分,它们的含量随高炉生产的波动而波动,一般不超过 50%。高炉煤气的发热值很低,可与焦炉煤气混合使用。高炉煤气可作为热风炉、锅炉和各种冶金炉的燃料。煤气里含有大量尘埃,含尘量达 10~40 g/m³,这种煤气称为粗煤气或荒煤气,必须经除尘处理净化后才能作为燃料使用。除尘方法有湿法除尘和干法除尘两种。

(1) 湿法除尘:中小型高炉煤气采用湿法除尘,其流程如下:炉顶荒煤气→重力除尘器→洗涤塔→文氏管(或静电除尘器)→脱水器→净煤气。大型高炉煤气净化的流程为:炉顶荒煤气→重力除尘器→一级文氏管洗涤器→二级文氏管洗涤器→脱水器→净煤气。高压高炉还设有高压阀组。

(2) 干法除尘:干法除尘有袋式除尘和电除尘两种。高压操作的大型高炉多用电除尘。

1.1.3.5 渣铁处理设备

渣铁处理系统的任务是定期将炉内的熔渣、铁水出净,保证高炉连续生产。随着高炉大型化和冶炼的强化,生产量猛增,一座高炉日产渣、铁逾万吨,处理这些渣、铁不仅要有足够的运输能力,同时还要有高度机械化、自动化的处理设备,以及良好的劳动环境。目前高炉渣铁处理的一般流程如图 1-3 所示。

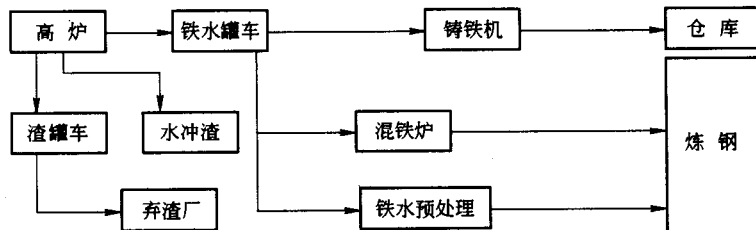


图 1-3 渣铁处理系统

高炉渣铁处理设备包括出铁平台、泥炮、开口机、炉前吊车、铁水罐、铸铁机、堵渣机、渣罐、水渣池以及炉前水力冲渣设施等。除巨型高炉采用多铁口连续出铁外,中小型高炉一般约一个多小时出一次铁。铸造生铁的铁水送入铸铁机铸成生铁块或送铸造车间浇铸成铸件。炼钢生铁送入炼钢厂炼钢。高炉炉渣的处理根据对其的利用途径来选择。传统的渣罐车一弃渣场处理法已被淘汰。目前广泛采用的是水淬处理,其次是干渣块利用,此外还有少量的渣棉及其他用途。

1.1.3.6 高炉喷吹系统

高炉喷吹燃料是强化冶炼、降低焦比的有效措施,喷吹的燃料有煤粉、重油、天然气等。高炉喷吹系统任务包括磨制、收存和计量,并把煤粉或重油从风口喷入炉内。目前我国的喷吹系统是以喷煤粉为主,喷煤系统由制粉、输送和喷吹三部分组成,主要设备包括制粉机、煤粉输送设备、收集罐、贮存罐、喷吹罐、混合器和喷枪等。喷油系统有卸油泵,贮油罐,过滤器,送油泵,稳压罐,调整装置及喷枪等设备。

1.1.3.7 动力系统

动力系统的任务是为高炉各系统提供保障服务。该系统包括水、电、压缩空气、氮气、蒸汽等生产供应部门。

1.2 高炉冶炼的基本过程

1.2.1 高炉炼铁生产过程

1.2.1.1 高炉炼铁生产过程

高炉生产过程就是将铁矿石在高温下冶炼成生铁的过程。全过程是在炉料自上而下、煤气自下而上的运动、相互接触过程中完成的。

高炉生产所用的原料是含铁的矿石,包括烧结矿、球团矿和天然富矿石;燃料主要是焦炭;辅助原料为熔剂和洗炉剂等。通过上料系统和炉顶装料系统按一定料批、装入顺序从炉顶装入炉内,从风口鼓入经热风炉加热到 $1000 \sim 1300^{\circ}\text{C}$ 的热风,炉料中的焦炭在风口前与鼓入热风中的氧发生燃烧反应,产生高温和还原性气体,这些还原性气体在上升过程中加热缓慢下行的炉料,并将铁矿石中的铁氧化物还原成为金属铁。矿石温度升高到软化温度后,已熔融的液滴向下滴落,矿石中未被还原的成分形成熔渣,实现渣铁分离。已熔化的渣铁聚集于炉缸内,发生诸多反应,最后调整铁液的成分和温度达到终点,定期从炉内排放熔渣和铁水。上升的高炉煤气流,由于将热量传递给炉料而温度逐渐降低,最终形成高炉煤气从炉顶导出管排出。整个过程取决于风口前焦炭的燃烧,上升煤气流与下行炉料间进行的一系列的传热、传质以及干燥、蒸发、挥发、分解、还原、软熔、造渣、渗碳、脱硫等物理化学变化。因此,高炉实质是一个炉料下行、煤气上升两个逆向流运动的反应器。

1.2.1.2 高炉冶炼过程的主要区域

高炉冶炼过程可分为五个主要区域,这五个区域称为五带或五层,即块状带、软熔带、滴落带、风口带及渣铁带。在下行的炉料与上升的煤气流相向运动的过程中,原料的吸热、熔化、还原,渣铁的形成,各种热交换等在五个区域中依次进行,如图 1-4 所示。现分述如下:

(1) 块状带:炉料以块状存在的区域。在炉内料柱的上部,矿石与焦炭始终保持着明显的固态层次而缓缓下行,但层状逐渐趋于水平,且厚度也逐渐变薄。

(2) 软熔带:炉料由开始软化到软化终了的区域。此区域是由许多固态焦炭层和粘结在一起的半熔融的矿石层组成,焦炭与矿石相间层次分明。由于矿石呈软熔状透气性极差,上升的煤气流主要从像窗口一样的焦炭层通过,因此又称其为“焦窗”。软熔带的上缘是软化线,即矿石开始软化的温度;下缘是熔化线,即矿石熔化的温度,它和矿石的软熔温度区间相一致;其最高部位称为软熔带顶部,其最低部位与炉墙相连接,称为软熔带的根部。

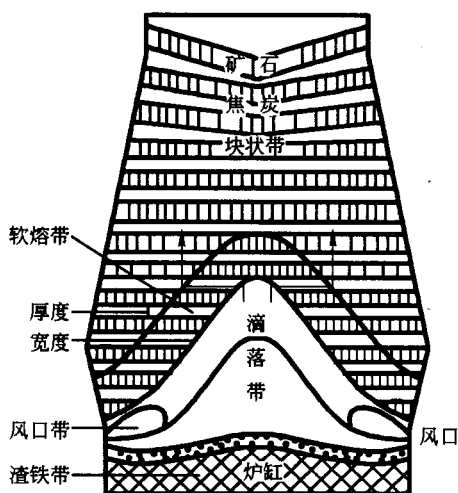


图 1-4 高炉内固体炉料形态变化示意图

(3) 滴落带:矿石熔化后呈液滴状滴落的区域。它位于软熔带之下,矿石熔化后形成的渣铁像雨滴一样穿过固态焦炭层而滴落进入炉缸。

(4) 风口带:风口前端的区域,也称燃烧带。风口前的焦炭受到鼓风动能的作用在剧烈地回旋运动中燃烧,形成一个半空状态的焦炭回旋区,这个小区域是高炉中唯一存在的氧化性气氛的区域。

(5) 渣铁带:液体渣铁贮存的区域,位于炉缸的下部,主要是液态渣铁以及浸入其中的焦炭。铁滴穿过渣层及渣铁界面后最终完成必要的渣铁反应,得到合格的生铁。

高炉冶炼过程中各区域的主要反应和热交换情况列于表 1-1。

表 1-1 炉内各区域的反应和热交换情况

区域	相向运动	热交换	反 应
块状带	炉料(矿石、焦炭)在重力作用下下行;煤气因鼓风压力作用而上升	上升的煤气流对固体炉料进行热交换	焦炭的挥发,水分的蒸发、分解,氧化物的间接还原,碳酸盐的分解
软熔带	焦炭间的缝隙影响煤气流的分布	矿石软化半熔,上升的煤气对软化半熔层进行传热	矿石进行直接还原和渗碳
滴落带	固体(焦炭)、液体(渣铁液)下行;煤气上升	上升煤气使焦炭、渣铁液升温,滴下的渣铁液和焦炭进行热交换	合金元素的还原,脱硫和渗碳
风口带	鼓风使焦炭回旋运动	反应放热使煤气温度升高	燃料的燃烧
渣铁带	铁水、熔渣临时贮存,从渣、铁口放出	铁水、熔渣和炉缸中的焦炭进行热交换	完成必要的渣铁反应(如脱硫、直接还原反应)得到合格的生铁

1.2.2 高炉冶炼的主要反应

高炉炉内的反应如图 1-5 所示。

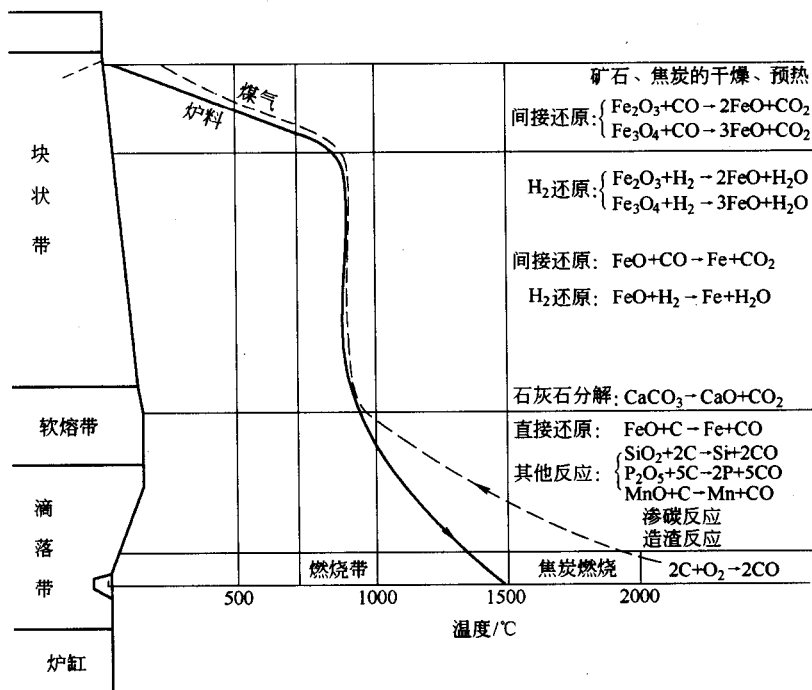


图 1-5 高炉炉内各部位的状态和炉内反应