

冶金职业技能鉴定理论知识培训教材

YEJIN ZHIYE JINENG JIANDING LILUN ZHISHI PEIXUN JIAOCAI

高炉炼铁工培训教程

GAOLU LIANTIEGONG PEIXUN JIAOCHENG

时彦林 曹淑敏 主编

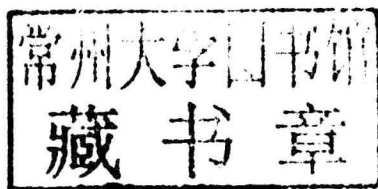


冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

冶金职业技能鉴定理论知识培训

高炉炼铁工培训教程

时彦林 曹淑敏 主编



北 京

冶金工业出版社

2014

内 容 提 要

本书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而成。

本书介绍了高炉炼铁工所必须掌握的基本知识和技能,其主要内容包括高炉炼铁生产概况,高炉炼铁原燃料,高炉炼铁基本原理,高炉操作制度的选择与调整,高炉炉况判断,高炉冶炼过程失常和处理,高炉休风、送风、开炉、停炉、封炉操作,炼铁简易计算,高炉本体设备,供料设备,上料设备,炉顶设备,铁、渣处理设备,煤气除尘设备,送风系统设备。

本书可作为冶金企业和相关院校高炉炼铁工职业技能鉴定培训教材以及冶金技术专业学生教材,也可作为冶金技术人员、企业员工学习专业知识的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

高炉炼铁工培训教程/时彦林,曹淑敏主编. —北京:
冶金工业出版社, 2014. 7

冶金职业技能鉴定理论知识培训教材

ISBN 978-7-5024-6281-9

I. ①高… II. ①时… ②曹… III. ①高炉炼铁—
技术培训—教材 IV. ①TF53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 149714 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷39号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcs@cnmp.com.cn

策 划 俞跃春 责任编辑 俞跃春 贾怡雯 美术编辑 彭子赫

版式设计 孙跃红 责任校对 郑 娟 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-6281-9

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;北京印刷一厂印刷

2014年7月第1版,2014年7月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16; 20.5印张; 491千字; 312页

46.00元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街46号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgy.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

前 言

推行职业技能鉴定和职业资格证书制度不仅可以促进社会主义市场经济的发展和完善,促进企业持续发展,而且可以提高劳动者素质、增强就业竞争能力。实施职业资格证书制度是保持先进生产力和社会发展的必然要求,取得了职业技能鉴定证书,就取得了进入劳动市场的“通行证”。

本书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,介绍了高炉炼铁工所必须掌握的基本知识和技能;在具体内容的安排上注意融入新技术,考虑了岗位工学习的特点,深入浅出,通俗易懂,理论联系实际,强调知识的运用;将相关知识要点进行了科学的总结提炼,形成了独有的特色,易学、易懂、易记,便于职工掌握高炉炼铁的专业知识和技能。

本书由时彦林、曹淑敏担任主编,贾艳、刘燕霞、潘晓东任副主编。参加编写还有李鹏飞、刘杰、李秀娜、何红华、郝宏伟、王丽芬、齐素慈、张士宪。

本书由北京科技大学包燕平担任主审,包燕平教授在百忙中审阅了全文,提出了许多宝贵的意见,在此谨致谢意。本书在编写过程中参考了相关书籍、资料,在此对其作者表示衷心的感谢。

由于编者水平所限,书中不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

2014年3月

目 录

第 1 篇 高炉炼铁工艺与操作

1 高炉炼铁生产概况	1
1.1 高炉炼铁生产的工艺流程	1
1.2 高炉冶炼产品	4
1.2.1 生铁	4
1.2.2 高炉炉渣	6
1.2.3 高炉煤气	6
1.2.4 高炉炉尘	6
1.3 高炉生产技术经济指标	6
1.3.1 高炉生产的主要经济技术指标	6
1.3.2 提高高炉生产经济技术指标的途径	8
1.4 高炉座数和容积确定	8
1.4.1 生铁产量的确定	8
1.4.2 高炉炼铁车间总容积的确定	9
1.4.3 高炉座数的确定	9
1.5 高炉炼铁车间平面布置	9
1.5.1 高炉炼铁车间平面布置应遵循的原则	10
1.5.2 高炉炼铁车间平面布置形式	10
2 高炉炼铁原燃料	13
2.1 铁矿石的种类及使用标准	13
2.1.1 铁矿石的种类	13
2.1.2 高炉冶炼对铁矿石的质量要求	14
2.1.3 烧结矿、球团矿国家标准	14
2.2 燃料及质量要求	15
2.2.1 焦炭的工业分析	15
2.2.2 焦炭的元素分析	16
2.2.3 焦炭强度	16
2.2.4 焦炭的反应性 (CRI)	16
2.2.5 焦炭的燃烧性	17
2.2.6 焦炭抗碱性	17

II 目 录

2.2.7	焦炭在高炉内的作用	17
2.2.8	焦炭在高炉内的变化	17
2.2.9	焦炭质量对高炉冶炼的影响	18
2.3	熔剂的种类及使用要求	20
2.3.1	熔剂的种类	20
2.3.2	熔剂的使用标准	20
2.4	辅助原料	20
2.4.1	护炉料	20
2.4.2	其他辅助原料	21
3	高炉炼铁基本原理	22
3.1	炉料蒸发、分解和挥发	22
3.1.1	水分蒸发	22
3.1.2	结晶水分解	22
3.1.3	碳酸盐分解	22
3.1.4	碱金属挥发与危害	23
3.1.5	析碳反应	25
3.2	高炉内还原理论	26
3.2.1	铁氧化物的还原反应	26
3.2.2	铁氧化物的间接还原和直接还原比较	31
3.2.3	硅、锰、磷的还原	35
3.2.4	渗碳和生铁的形成	40
3.3	高炉内造渣过程及脱硫	41
3.3.1	高炉炉渣的成分和作用	41
3.3.2	高炉炉渣的性质及影响因素	42
3.3.3	炉渣性质对高炉冶炼的影响	47
3.3.4	造渣制度的选择和调整	48
3.3.5	高炉内的成渣过程	48
3.3.6	高炉内脱硫	50
3.4	炉缸燃料的燃烧	54
3.4.1	风口前燃料的燃烧反应	55
3.4.2	理论燃烧温度	56
3.4.3	回旋区和燃烧带	58
3.4.4	煤气上升过程中的变化	61
3.5	炉料和煤气的相向运动	63
3.5.1	炉料运动	63
3.5.2	煤气运动及分布	67

4 高炉操作制度的选择与调整	73
4.1 送风制度	73
4.1.1 正确选择风速或鼓风动能	73
4.1.2 控制适宜的理论燃烧温度	76
4.1.3 日常操作调节	76
4.2 装料制度	77
4.2.1 影响炉料分布的因素	77
4.2.2 装料制度的调剂	81
4.3 造渣制度	82
4.3.1 对造渣制度的要求	82
4.3.2 造渣制度的选择	82
4.4 热制度	82
4.4.1 影响热制度的因素	83
4.4.2 热制度的选择	83
4.4.3 热制度的调剂	84
4.5 基本制度间的关系	85
4.6 冶炼制度的调整	86
5 高炉炉况判断	87
5.1 直接观察判断炉况	87
5.1.1 看出铁	87
5.1.2 看出渣	88
5.1.3 看风口	88
5.1.4 看料速和探尺运动状态	89
5.2 间接观察(利用仪器仪表)判断炉况	89
5.2.1 利用 CO_2 曲线判断高炉炉况	90
5.2.2 利用热风压力、冷风压力、煤气压力、压差判断炉况	91
5.2.3 利用冷风流量判断炉况	91
5.2.4 利用炉顶、炉喉、炉身温度判断炉况	92
5.2.5 利用透气性指数判断炉况	92
5.2.6 利用炉顶摄像、炉顶煤气成分分析仪判断炉况	93
5.3 综合判断炉况	93
6 高炉冶炼过程失常和处理	95
6.1 影响炉况波动的因素	95
6.2 正常炉况的表现	95
6.3 失常炉况的判断和处理	95
6.3.1 炉温失常	96
6.3.2 煤气分布失常	97

6.3.3 偏料	100
6.3.4 低料线	101
6.3.5 悬料和恶性悬料	101
6.3.6 崩料和连续崩料	103
6.3.7 炉缸冻结	104
6.3.8 炉墙结厚	107
6.3.9 高炉结瘤	108
6.4 高炉事故处理	112
6.4.1 风口灌渣	112
6.4.2 炉缸、炉底烧穿	113
6.4.3 高炉上部炉衬脱落	114
6.4.4 鼓风机突然停风	115
6.4.5 突然停水	115
6.4.6 突然停电	116
7 高炉休风、送风、开炉、停炉、封炉操作	117
7.1 高炉休风、送风操作	117
7.1.1 高炉短期休风与送风	117
7.1.2 高炉长期休风与送风	119
7.1.3 高炉特殊休风	122
7.2 高炉开炉	123
7.2.1 烘炉	123
7.2.2 开炉准备	125
7.2.3 开炉料	126
7.2.4 开炉操作	127
7.3 高炉停炉	130
7.3.1 停炉要求	130
7.3.2 停炉前的准备	130
7.3.3 停炉方法	131
7.4 高炉封炉	131
7.4.1 封炉前准备	131
7.4.2 封炉操作	131
8 炼铁简易计算	133
8.1 出铁量计算	133
8.2 石灰石用量的计算	134
8.3 出渣量计算	134
8.4 变料计算	135
8.4.1 矿石成分变化时的计算	135

8.4.2 焦炭成分变化时的计算	136
8.4.3 其他因素变化时的计算	136

第 2 篇 高炉炼铁设备操作与维护

9 高炉本体设备	139
9.1 高炉炉型	140
9.1.1 炉缸	141
9.1.2 炉腹	141
9.1.3 炉腰	141
9.1.4 炉身	141
9.1.5 炉喉	141
9.2 高炉钢结构	141
9.2.1 炉壳	142
9.2.2 炉体支柱	143
9.2.3 炉顶框架	145
9.2.4 炉体平台与走梯	145
9.3 高炉炉衬	146
9.3.1 高炉炉衬破损原因	146
9.3.2 高炉用耐火材料	146
9.4 高炉基础	148
9.4.1 高炉基础的负荷	148
9.4.2 高炉基础的要求	149
9.5 高炉风口、渣口、铁口	149
9.5.1 风口装置	149
9.5.2 渣口装置	151
9.5.3 铁口装置	151
9.6 高炉冷却设备	152
9.6.1 冷却的作用与冷却介质	152
9.6.2 冷却设备	153
10 供料设备	158
10.1 供料系统基本概念	158
10.1.1 对供料系统的要求	158
10.1.2 供料系统的形式和布置	158
10.2 贮矿槽、贮焦槽及给料机	160
10.2.1 贮矿槽与贮焦槽	160
10.2.2 给料机	161
10.3 槽下筛分、称量、运输	163

10.3.1	槽下筛分	163
10.3.2	槽下称量	164
10.3.3	槽下运输	166
10.4	料车坑	166
11	上料设备	168
11.1	料车上料机	168
11.1.1	斜桥和绳轮	168
11.1.2	料车	171
11.1.3	料车卷扬机	174
11.1.4	料车在轨道上的运动	177
11.2	带式上料机	178
11.2.1	带式上料机组成	179
11.2.2	带式上料机的维修	181
12	炉顶设备	183
12.1	炉顶设备概述	183
12.1.1	对炉顶设备要求	183
12.1.2	炉顶设备形式分类	183
12.2	料钟式炉顶设备	184
12.2.1	炉顶设备组成及装料过程	184
12.2.2	固定受料漏斗	186
12.2.3	布料器组成及基本形式	186
12.2.4	装料器组成及维护	194
12.2.5	料钟操纵设备	198
12.3	钟阀式炉顶设备	204
12.3.1	双钟四阀式炉顶	204
12.3.2	变径炉喉	205
12.4	无钟式炉顶设备	207
12.4.1	无钟式炉顶特点及分类	207
12.4.2	并罐式无钟式炉顶结构	209
12.4.3	无钟式炉顶布料与控制	225
12.4.4	无钟式炉顶维护与检修	228
12.4.5	均压系统设备	229
12.4.6	探料设备	236
13	铁、渣处理设备	240
13.1	风口平台与出铁场	240
13.1.1	风口平台与出铁场	240

13.1.2	铁沟与撇渣器	242
13.1.3	流嘴	243
13.1.4	出铁场的排烟除尘	244
13.2	开铁口机	245
13.2.1	钻孔式开口机	246
13.2.2	冲钻式开铁口机	247
13.3	堵铁口机	249
13.3.1	液压泥炮特点	249
13.3.2	矮式液压泥炮	250
13.3.3	液压泥炮维护	252
13.3.4	液压泥炮常见故障及处理方法	253
13.4	堵渣口机	253
13.4.1	渣口装置	253
13.4.2	堵渣口机	254
13.5	换风口机与换弯管机	257
13.5.1	换风口机	257
13.5.2	换弯管机	259
13.6	铁水处理设备	260
13.6.1	铁水罐车	260
13.6.2	铸铁机	263
13.7	炉渣处理设备	266
13.7.1	渣罐车	266
13.7.2	水淬渣生产	267
13.7.3	干渣生产	270
13.7.4	渣棉生产	270
13.7.5	膨渣生产	270
14	煤气除尘设备	272
14.1	煤气处理的要求	272
14.2	煤气除尘设备	272
14.2.1	煤气除尘设备分类	272
14.2.2	评价煤气除尘设备的主要指标	273
14.2.3	常见煤气除尘系统	273
14.2.4	粗除尘设备	275
14.2.5	半精除尘设备	277
14.2.6	精除尘设备	279
14.3	煤气除尘附属设备	286
14.3.1	煤气输送管道	286
14.3.2	脱水器	287

14.3.3 喷水嘴	289
14.3.4 煤气除尘系统阀门	289
15 送风系统设备	292
15.1 热风炉设备	292
15.1.1 热风炉工作原理	292
15.1.2 热风炉的形式	293
15.1.3 热风炉检修和维护	295
15.1.4 燃烧器	297
15.1.5 热风炉阀门	298
15.2 高炉鼓风机	303
15.2.1 高炉鼓风机的要求	303
15.2.2 高炉鼓风机类型	303
15.2.3 高炉鼓风机的选择	308
15.2.4 提高风机出力措施	309
15.2.5 富氧和脱湿鼓风	309
参考文献	312

第 1 篇 高炉炼铁工艺与操作



高炉炼铁生产概况

1.1 高炉炼铁生产的工艺流程

炼铁就是通过冶炼铁矿石，从中得到金属铁的过程。现代炼铁法包括高炉炼铁法和非高炉炼铁法。高炉炼铁法，即传统的以焦炭为能源的炼铁法。高炉炼铁是目前获得大量生铁的主要手段。

高炉生产时，铁矿石、燃料（焦炭）、熔剂（石灰石等）由炉顶装入，热风从高炉下部的风口鼓入炉内。燃料中的炭素和热风中氧发生燃烧反应后，产生大量的热和还原性气体，将炉料加热并还原。铁水从铁口放出，铁矿石中的脉石和熔剂结合成炉渣从渣口排出。

要实现高炉冶炼，除了需要高炉本体系统外，还要有与之相匹配的供料系统、上料系统、装料系统、渣铁处理系统、煤气除尘系统、送风系统和喷吹系统。图 1-1 为高炉生产流程简图。

（1）高炉本体系统。高炉本体是冶炼生铁的主体设备，它是由耐火材料砌筑的竖立式圆筒形炉体。包括炉基、炉衬、炉壳、冷却设备、支柱及炉顶框架。其中炉基为钢筋混凝土和耐热混凝土结构，炉衬用耐火材料砌筑，其余设备均为金属构件。高炉内部的空间称为炉型，从上至下可分为五段，即炉喉、炉身、炉腰、炉腹和炉缸。炉缸部分设有风口、铁口、渣口。

（2）供料系统。包括贮矿槽、贮焦槽、振动筛、给料机、称量等设备，主要任务是保证连续、均衡地供应高炉冶炼所需的原料，及时、准确、稳定地将合格原料送入高炉炉顶装料系统。

（3）上料系统。包括料车、斜桥和卷扬机（或皮带上料机）等设备。主要任务是把料仓输出的原料、燃料和熔剂经筛分、称量后按一定比例一批一批有程序地送到高炉炉顶，并卸入炉顶装料设备。

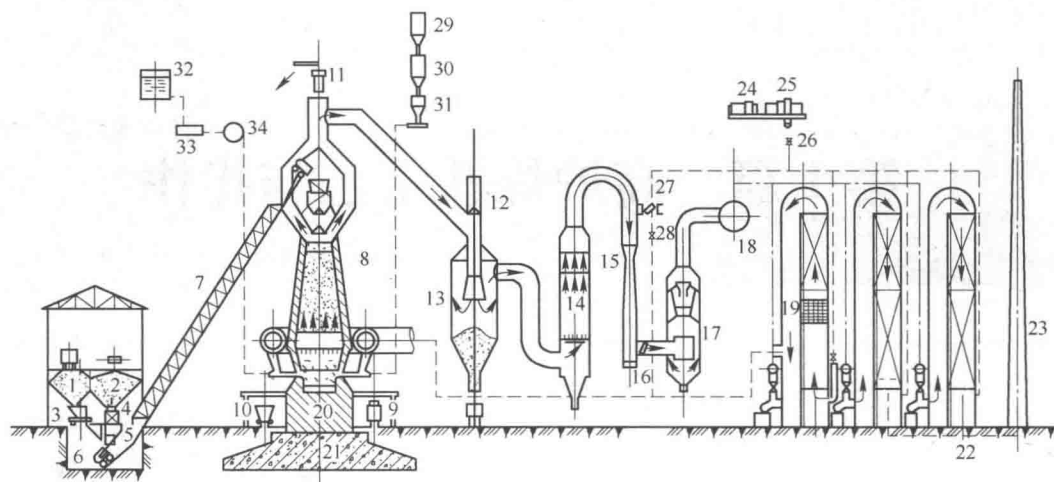


图 1-1 高炉生产流程简图

- 1—贮矿槽；2—焦仓；3—称量车；4—焦炭筛；5—焦炭称量漏斗；6—料车；7—斜桥；8—高炉；
 9—铁水罐；10—渣罐；11—放散阀；12—切断阀；13—除尘器；14—洗涤塔；15—文氏管；
 16—高压调节阀组；17—灰泥捕集器（脱水器）；18—净煤气总管；19—热风炉；20—基墩；
 21—基座；22—热风炉烟道；23—烟囱；24—蒸汽透平；25—鼓风机；26—放风阀；27—混风调节阀；
 28—混风大闸；29—收集罐；30—贮煤罐；31—喷吹罐；32—贮油罐；33—过滤器；34—油加压机

(4) 装料系统。钟式炉顶包括受料漏斗、旋转布料器、大小料钟和大小料斗等一系列设备；无料钟炉顶有料罐、密封阀与旋转溜槽等一系列设备。主要任务是将炉料装入高炉并使之合理分布，同时防止炉顶煤气外逸。

(5) 渣铁处理系统。包括出铁场、开铁口机、泥炮、堵渣口机、炉前吊车、铁水罐车及水冲渣设备等。主要任务是及时处理高炉排放出的渣、铁，保证高炉生产正常进行。

(6) 煤气除尘系统。包括煤气管道、重力除尘器、洗涤塔、文氏管、脱水器、布袋除尘器等设备。主要任务是回收高炉煤气，使其含尘量降至 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 以下，以满足用户对煤气质量的要求。

(7) 送风系统。包括鼓风机、热风炉及一系列管道和阀门等设备。主要任务是连续可靠地供给高炉冶炼所需的热风。

(8) 喷吹系统。包括原煤的储存、运输、煤粉的制备、收集及煤粉喷吹等设备。主要任务是均匀稳定地向高炉喷吹大量煤粉，以煤代焦，降低焦炭消耗。

图 1-2 为高炉生产工艺流程和主要设备方框图。

炉料装入高炉内，上半部是固相区，也称块状带。下降过程中温度不断升高，达到矿石软化温度时，出现软熔带。焦炭则仍保持固体状态作为透气窗。软熔带的下部是液体滴下带，这时只有焦炭仍是固体，矿石则以液态渣铁形态沿焦炭表面向下滴落，风口前端为近似球形的焦炭循环区，称作燃烧带，入炉的焦炭一部分以固体状态直接参加对矿石的还原，大部分在这里燃烧生成 CO 。高炉的底部为渣铁积聚层，称作渣铁带。五带分布如图 1-3 所示。高炉各区功能见表 1-1。

为使高炉冶炼过程正常进行，必须及时、准确、迅速地纠正外部条件变化引起的炉况

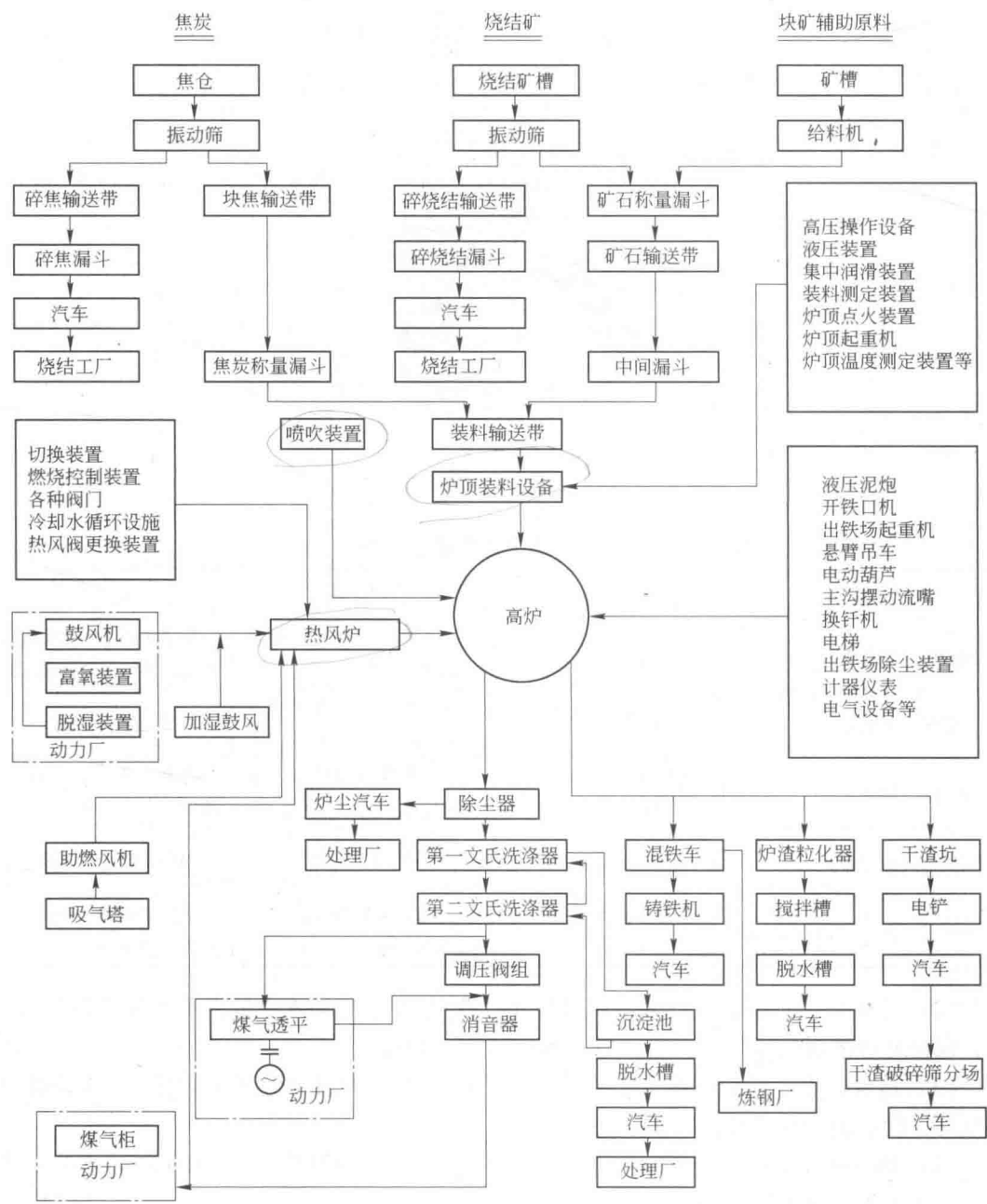


图 1-2 高炉生产工艺流程（湿法）和主要设备方框图

波动、渣碱度变化和炉内煤气流分布失常等现象，从而就形成了一系列的高炉操作制度。基本操作制度有：

(1) 装料制度。指炉料装入炉内的方法，具体指通过改变装料方法来改变炉料在炉喉断面上的分布，以达到控制炉内煤气流分布的目的。

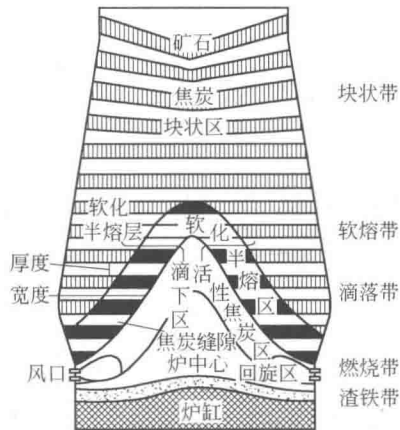


图 1-3 炉内五带分布图

表 1-1 高炉各区域的功能

区 域	相 对 运 动	热 交 换	反 应
固相区（块状带）	固体炉料下降煤气上升	上升煤气对固体炉料进行加热和干燥	间接还原、气化反应碳酸盐分解、部分直接还原
软熔区（软熔带）	煤气通过焦炭夹层	矿石软化、半熔、煤气对半熔层进行传热	直接还原、渗碳
滴下区（滴落带）	固体焦炭下降，向回旋区供给焦炭，熔铁下流	上升的煤气与滴下的熔渣进行热交换	合金元素还原、脱硫、渗碳、直接还原
回旋区（燃烧带）	鼓风使焦炭回旋运动	焦炭燃烧放热，产生高温煤气	燃烧反应、部分再氧化
炉缸区（渣铁带）	铁水和熔渣的储存，定期放出	上部的热辐射、渣铁与焦炭的换热	最终的精炼、渣铁间的还原、脱硫、渗碳

(2) 送风制度。指在一定的冶炼条件下，保持适宜的鼓风数量，质量和风口进风状态，保证合理的煤气流初始分布，以达到炉况顺行的目的。

(3) 造渣制度。指选择适合于特定冶炼条件下的炉渣成分和碱度，使其性能满足高炉顺行、脱硫能力较强和稳定炉温的要求。

(4) 热制度。指通过调节焦炭负荷、风温和喷吹量控制炉温，以保证高炉热量充足、稳定，生产出合格生铁。

1.2 高炉冶炼产品

高炉冶炼的主要产品是生铁，炉渣和高炉煤气为副产品。

1.2.1 生铁

生铁的最终成分是在炉缸内确定完成的。矿石中的铁几乎全部被还原（99.5%），生铁中含铁约为 92%~94%， SiO_2 和 MnO 部分被还原，生铁中硅和锰的含量视铁的标号而异。此外生铁中还含有一定数量的碳，一般为 4% 左右，以及微量的磷、硫等有害元素。

简而言之，生铁就是以铁为基础，含有一定量碳和少量硅（Si）、锰（Mn）、磷（P）、硫（S）等元素的合金。

生铁可分为炼钢生铁、铸造生铁。炼钢生铁供转炉、电炉炼钢使用，约占生铁产量的80%~90%。铸造生铁又称为翻砂铁或灰口铁，主要用于生产耐压铸件，约占生铁产量的10%左右。铸造生铁的主要特点是含硅较高，在1.25%~4.25%之间。

炼钢生铁和铸造生铁成分的国家标准见表1-2、表1-3。

表 1-2 炼钢用生铁铁号及化学成分

铁 种			炼 钢 用 生 铁		
铁号	牌 号		炼 04	炼 08	炼 10
	代 号		L04	L08	L10
化学成分 (质量分 数) /%	硅		≤0.45	0.45~0.85	0.85~1.25
	硫	特类	≤0.02		
		一类	0.02~0.03		
		二类	0.03~0.05		
		三类	0.05~0.07		
	锰	一组	≤0.03		
		二组	0.03~0.05		
		三组	≥0.05		
	磷	一级	≤0.15		
		二级	0.15~0.25		
		三级	0.25~0.4		

表 1-3 铸造用生铁铁号及化学成分

铁 种			铸 造 用 生 铁					
铁号	牌 号		铸 34	铸 30	铸 26	铸 22	铸 18	铸 14
	代 号		Z34	Z30	Z26	Z22	Z18	Z14
化学成分 (质量分数) /%	碳		>3.3					
	硅		3.2~3.6	2.8~3.2	2.4~2.8	2.0~2.4	1.6~2.0	1.25~1.6
	硫	一类	≤0.03					≤0.04
		二类	≤0.04					≤0.05
		三类	≤0.05					≤0.06
	锰	一组	≤0.50					
		二组	0.50~0.90					
		三组	0.90~1.20					
	磷	一级	≤0.06					
		二级	0.06~0.10					
三级		0.10~0.20						
四级		0.20~0.40						
五级		0.40~0.90						