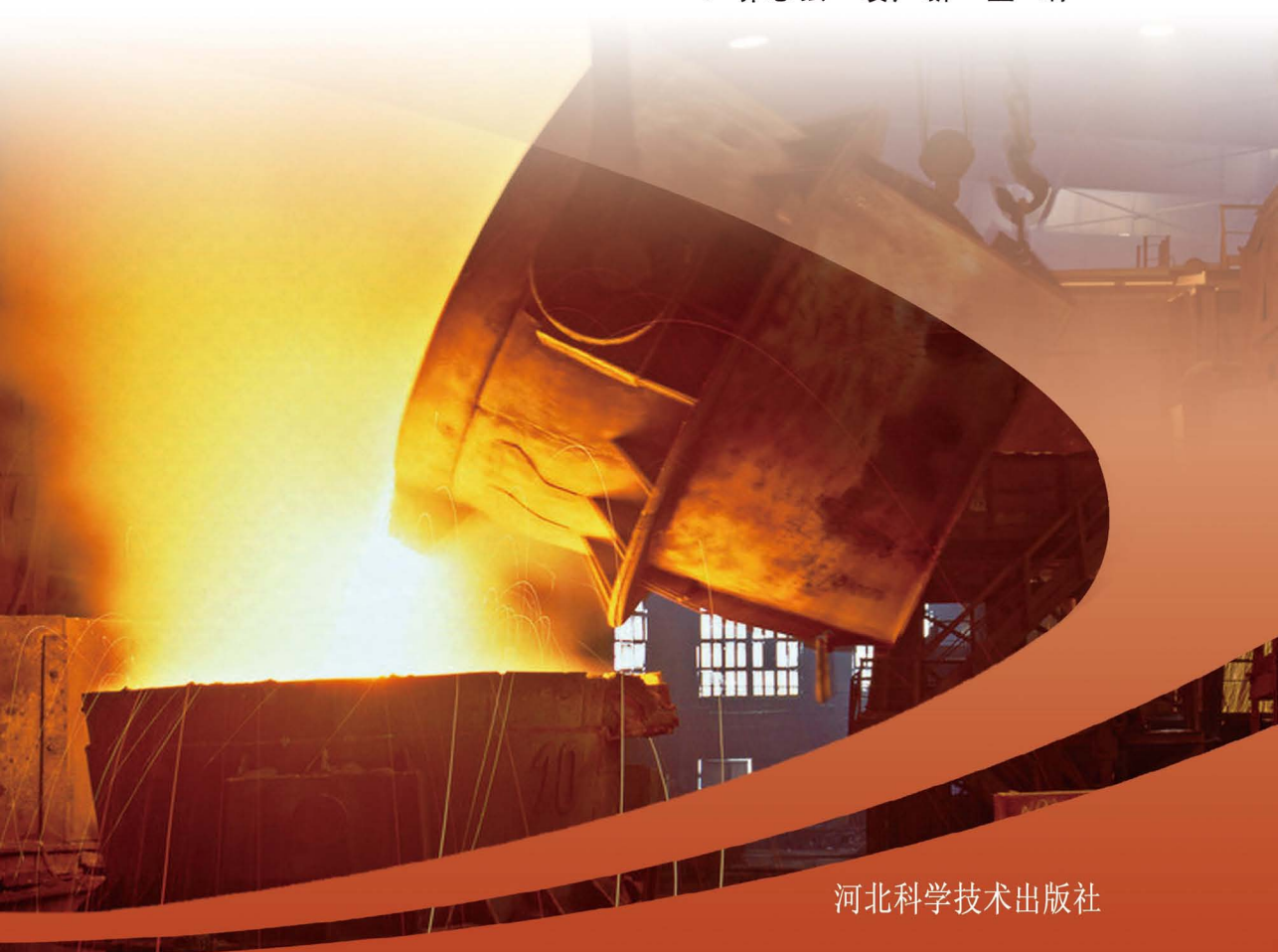


国家中等职业教育改革发展示范校建设系列教材

高炉炼铁生产 与操作

◎ 郭志强 凌广新 主 编

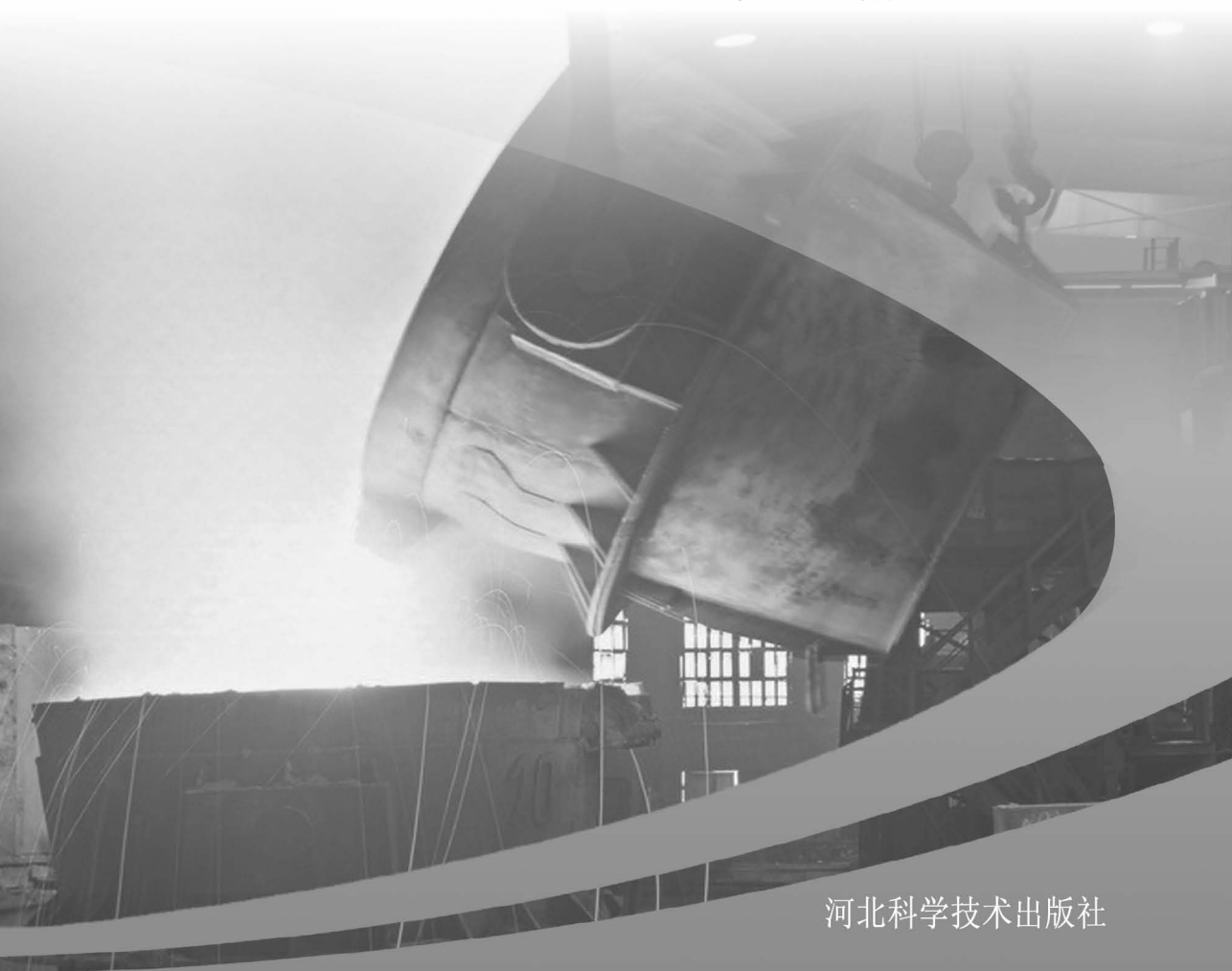


河北科学技术出版社

国家中等职业教育改革发展示范校建设系列教材

高炉炼铁生产 与操作

◎ 郭志强 凌广新 主 编



河北科学技术出版社

图书在版编目 (C I P) 数据

高炉炼铁生产与操作 / 郭志强, 凌广新主编. -- 石家庄 : 河北科学技术出版社, 2015. 5
ISBN 978 - 7 - 5375 - 7604 - 8

I. ①高… II. ①郭… ②凌… III. ①高炉炼铁 - 中等专业学校 - 教材 IV. ①TF53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 097261 号

高炉炼铁生产与操作

郭志强 凌广新 主编

出版发行	河北科学技术出版社
地 址	石家庄市友谊北大街 330 号 (邮编: 050061)
印 刷	石家庄燕赵创新印刷有限公司
开 本	787 × 1092 1/16
印 张	13
字 数	270 000
版 次	2015 年 5 月第 1 版
	2015 年 5 月第 1 次印刷
定 价	26.00 元

《高炉炼铁生产与操作》

编写人员

主 编 郭志强 凌广新

副主编 邓占英 刘文合

编 委 郭志强 凌广新 邓占英 刘文合 李秋生
郝秀红 马国存 姚玉军 张爱军 杨建荣
何丽霞 冯 磊 张国斌 马 宽 朱长春



前言

QIANYAN

2001 年，迁安市委、市政府提出“建设钢铁迁安、构筑中等城市”的两大目标，首次把钢铁行业确立为迁安经济发展的支柱产业，钢铁行业的发展为迁安职教中心钢铁冶炼专业的大发展提供了难得的历史机遇。

我校自 1992 年开设钢铁冶炼专业以来，经二十余年的努力探索，钢铁冶炼专业已经成为唐山市骨干专业，河北省特色专业，中央财政重点支持建设专业，是迁安职教中心的拳头专业。通过二十余年的教学实践，取得了一定成绩，也显现出了一些问题，如没有一套即贴近本地钢铁企业生产实际，又适合中职学生特点的钢铁冶炼专业教材，这成了制约本专业科学发展的重要因素。鉴于此，我们邀请了河北钢铁集团燕山钢铁有限公司、九江线材有限公司、天津轧一钢铁集团等钢铁企业的专家、工程技术人员和上海钢联的专家教授及我校部分钢铁冶炼专业教师成立了迁安职教中心钢铁冶炼专业教材编写委员会，在深入调查迁安及周边钢铁冶炼企业生产实际情况和各岗位群对员工能力要求的基础上，结合本校钢铁冶炼专业学生实际，共同开发和编写了本教材，供中等职业学校钢铁冶炼专业学生、教师及钢铁企业工程技术人员参考。

本教材在具体内容的组织安排上，力求少而精，通俗易懂，理论联系实际，着重应用，便于学生学习掌握钢铁冶炼各工种生产的一些基本知识、基本技能。

本教材由迁安市职教中心郭志强、凌广新主编，参编人员还有迁安市职

教中心刘文合、邓占英、李秋生、郝秀红、马国存、姚玉军、张爱军、杨建荣、何丽霞，河北联合大学冯磊，九江线材有限公司张国斌，迁安轧一集团马宽，松汀钢铁有限公司朱长春。

在编写过程中参考了多种专业书籍、资料，在此，对以上各书及资料的编写者一并表示由衷的感谢。

由于我们水平有限，经验不足，书中难免有疏漏及不尽如人意之处，敬请批评指正。

编 者

2014 年 12 月

目 录

MULU

绪论	(1)
一、高炉炼铁生产工艺流程	(1)
(一) 高炉炼铁设备	(1)
(二) 高炉炼铁生产流程	(1)
二、高炉炼铁车间平面布置	(2)
(一) 高炉炼铁车间平面布置应遵循的原则	(2)
(二) 高炉炼铁车间平面布置形式	(2)
三、高炉冶炼产品及其用途	(4)
(一) 生铁	(4)
(二) 高炉炉渣	(6)
(三) 高炉煤气	(6)
四、高炉生产主要技术经济指标	(6)
第一章 高炉炼铁原燃料	(9)
一、铁矿石	(9)
(一) 天然铁矿石	(9)
(二) 人造富矿	(12)
二、燃料	(13)
(一) 焦炭	(13)
(二) 喷吹燃料	(14)
三、熔剂	(15)
第二章 高炉操作基本理论	(17)
一、高炉解剖研究	(17)
(一) 高炉解剖研究的意义及现状	(17)



(二) 软熔带及其对高炉行程的影响	(18)
二、炉料的蒸发、挥发与分解	(19)
(一) 水分的蒸发与水化物的分解	(19)
(二) 挥发物的挥发	(20)
(三) 碳酸盐的分解	(20)
三、还原过程与生铁的生成	(21)
(一) 还原反应的基本理论	(21)
(二) 铁氧化物的还原	(21)
(三) 非铁元素的还原	(24)
(四) 铁氧化物的直接还原和间接还原对焦比的影响	(26)
(五) 生铁的形成与渗碳过程	(28)
四、炉渣与脱硫	(28)
(一) 高炉渣的成分与作用	(29)
(二) 高炉渣的性质及其影响因素	(30)
(三) 高炉内的成渣过程	(32)
(四) 高炉内的脱硫	(34)
(五) 生铁的炉外脱硫	(37)
(六) 炉渣成分的选择	(38)
五、炉缸燃烧与煤气在上升过程中的变化	(39)
(一) 焦炭和其他燃料的燃烧	(39)
(二) 理论燃烧温度与炉缸内的温度分布	(42)
(三) 燃烧带的大小及影响因素	(43)
(四) 煤气在上升过程中的变化	(45)
(五) 高炉内的热交换	(46)
六、炉料和煤气运动及其分布	(47)
(一) 炉料运动	(47)
(二) 煤气运动及分布	(51)
三、上下部调剂的综合运用	(57)
第三章 高炉本体	(58)
一、高炉炉型	(58)
(一) 炉型的发展过程	(58)
(二) 五段式高炉炉型	(58)
(三) 炉型计算例题	(63)

二、高炉炉衬	(65)
(一) 炉衬的作用	(65)
(二) 高炉各部位炉衬的工作条件及破损机理	(65)
(三) 高炉用耐火材料	(67)
(四) 高炉炉衬的设计与砌筑	(70)
三、高炉冷却	(76)
(一) 冷却设备的作用	(76)
(二) 冷却介质	(77)
(三) 高炉冷却设备	(77)
(四) 冷却设备的工作制度	(83)
(五) 高炉给排水系统	(85)
(六) 高炉冷却系统	(85)
四、高炉钢结构	(87)
(一) 高炉本体钢结构	(87)
(二) 炉壳	(88)
五、高炉基础	(89)
(一) 高炉基础的负荷	(89)
(二) 对高炉基础的要求	(90)
第四章 供上料系统	(92)
一 原燃料供应系统	(92)
(一) 槽上运输	(92)
(二) 贮矿槽、贮焦槽及槽下运输称量	(92)
(三) 料车坑	(94)
(四) 上料设备	(95)
二 炉顶装料设备	(98)
(一) 钟式炉顶装料设备	(98)
(二) 无钟炉顶装料设备	(101)
(三) 均压装置	(104)
(四) 探料装置	(104)
第五章 送风系统	(107)
一、高炉用鼓风机	(107)
(一) 高炉冶炼对鼓风机的要求	(107)
(二) 高炉鼓风机工作原理及特性	(108)



二、内燃式热风炉	(110)
(一) 传统型内燃式热风炉	(110)
(二) 改进型内燃式热风炉	(118)
三、外燃式热风炉	(118)
四、顶燃式热风炉	(119)
五、球式热风炉	(120)
六、提高风温的途径	(120)
第六章 高炉炉况的判断与处理	(124)
一、高炉炉况判断	(124)
(一) 直接观测法	(124)
(二) 仪器仪表监测 (间接观察法)	(129)
(三) 炉况综合判断	(132)
二、正常炉况特征和失常炉况的类型	(132)
(一) 正常炉况特征	(133)
(二) 异常炉况类型	(133)
第七章 高炉强化冶炼操作	(143)
一、提高高炉生产率的途径	(143)
二、精料	(144)
三、高压操作	(146)
四、高风温	(149)
五、喷吹燃料	(151)
六、富氧与综合鼓风	(154)
七、加湿与脱湿鼓风	(156)
八、低硅生铁的冶炼	(157)
第八章 高炉炉前操作	(159)
一、风口平台及出铁场	(159)
(一) 风口平台及出铁场	(159)
(二) 铁口、渣铁沟和撇渣器	(159)
(三) 摆动溜嘴	(161)
二、炉前主要设备	(161)
(一) 开铁口机	(162)
(二) 堵铁口泥炮	(163)
(三) 堵渣口机	(164)

(四) 炉前吊车	(165)
三、铁水处理设备	(165)
(一) 铁水罐车	(165)
(二) 铸铁机	(166)
四、炉渣处理设备	(167)
(一) 水淬渣生产	(167)
(二) 干渣生产	(170)
(三) 渣棉生产	(171)
(四) 膨渣生产	(171)
(五) 冲渣注意事项	(171)
第九章 高炉煤气处理系统	(175)
一、煤气除尘设备及原理	(176)
(一) 粗除尘设备	(176)
(二) 半精细除尘设备	(177)
(三) 精细除尘设备	(178)
二、脱水器	(179)
(一) 重力式脱水器	(180)
(二) 挡板式脱水器	(180)
(三) 填料式脱水器	(181)
三、煤气除尘系统附属设备	(181)
(一) 荒煤气管道	(181)
(二) 煤气切断阀	(182)
(三) 煤气放散阀	(182)
(四) 煤气切断阀	(182)
(五) 调压阀组	(182)
第十章 高炉特殊炉况操作	(186)
一、高炉休、复风操作	(186)
(一) 高炉短期休风操作	(186)
(二) 高炉短期休风的复风操作	(187)
(三) 高炉长期休风操作	(187)
(四) 高炉长期休风后复风操作	(188)
二、高炉开炉操作	(188)
(一) 高炉烘炉操作	(188)



(二) 高炉开炉准备	(189)
(三) 高炉开炉操作	(190)
三、高炉停炉操作	(192)
(一) 充填料停炉操作	(192)
(二) 空料线停炉操作	(193)
(三) 放残铁操作	(194)
四、高炉封炉操作	(195)
(一) 封炉料	(195)
(二) 封炉前高炉操作	(195)
(三) 休风	(196)
(四) 停风后操作	(196)

绪 论

☆学习目标

1. 了解炼铁生产的工艺流程。
2. 了解高炉炼铁车间平面布置形式。
3. 掌握高炉炼铁产品及用途。
4. 掌握高炉炼铁的技术经济指标的计算。

一、高炉炼铁生产工艺流程

（一）高炉炼铁设备

高炉生产是借助高炉本体和其辅助设备来完成的。

1. 高炉本体

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，最外层是由钢板制成的炉壳，在炉壳和耐火材料之间有冷却设备。

2. 高炉附属系统

（1）送料系统：包括贮矿槽、贮焦槽、称量与筛分等一系列设备，其任务是将高炉冶炼所需原燃料通过上料系统装入高炉。

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

（3）煤气除尘系统：包括煤气管道、重力除尘器、洗涤塔、文氏管、脱水器等，其任务是将高炉冶炼所产生的煤气，经过一系列的净化使其含尘量降至 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 以下，以满足用户对煤气质量的要求。

（4）渣铁处理系统：包括出铁场、开铁口机、堵渣口机、炉前吊车、铁水罐车及水冲渣设备等，其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。

（5）喷吹燃料系统：包括原煤的储存、运输、煤粉的制备、收集及煤粉喷吹等，其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。

（二）高炉炼铁生产流程

生产时从炉顶分批装入各种炉料，从高炉下部风口不断鼓入热风，在连续熔炼过程中得到液态渣铁，定期从炉缸渣铁口排出炉外，与炉料进行一系列作用的煤气从炉顶溢出。其生产工艺流程如图 0-1 所示。

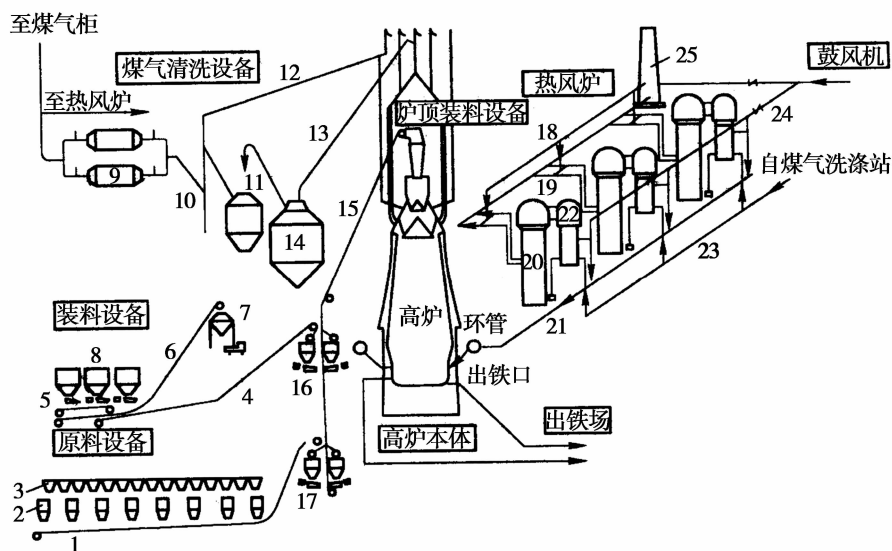


图 0-1 高炉炼铁生产工艺流程

1 - 矿石输送皮带机; 2 - 称量漏斗; 3 - 贮矿槽; 4 - 焦炭输送皮带机; 5 - 给料机; 6 - 粉焦输送带; 7 - 粉焦仓; 8 - 贮焦槽; 9 - 电除尘器; 10 - 调节阀; 11 - 文氏管除尘器; 12 - 净煤气放散管; 13 - 下降管; 14 - 重力除尘器; 15 - 上料皮带机; 16 - 焦炭称量漏斗; 17 - 矿石称量漏斗; 18 - 冷风管; 19 - 烟道; 20 - 蓄热室; 21 - 热风主管; 22 - 燃烧室; 23 - 煤气主管; 24 - 混风管; 25 - 烟囱

二、高炉炼铁车间平面布置

高炉炼铁车间平面布置直接关系到相邻车间和公用设施是否合理，也关系到原料和产品的运输能否正常连续进行，设施的共用性及运输线、管网线的长短，对产品成本及单位产品投资有一定影响。因此规划车间平面布置时一定要考虑周到。

(一) 高炉炼铁车间平面布置应遵循的原则

合理的平面布置应符合下列原则：

- (1) 在工艺合理、操作安全、满足生产的条件下，应尽量紧凑，并合理地共用一些设备与建筑物，以求少占土地和缩短运输线、管网线的距离。
- (2) 有足够的运输能力，保证原料及时入厂和产品（副产品）及时运出。
- (3) 车间内部铁路、道路布置要畅通。
- (4) 要考虑扩建的可能性，在可能条件下留一座高炉的位置。在高炉大修、扩建时施工安装作业及材料设备堆放等不得影响其他高炉正常生产。

(二) 高炉炼铁车间平面布置形式

高炉炼铁车间平面布置形式可分为以下 4 种：

1. 一列式布置

一列式高炉平面布置如图 0-2 所示，其主要特点是：高炉与热风炉在同一列线，出铁场也布置在高炉列线上成为一列，并且与车间铁路线平行。这种布置可以共用出铁场和炉前起重机，共用热风炉值班室和烟囱，节省投资；热风炉距高炉近，热损失少。

但是运输能力低，在高炉数目多，产量高时，运输不方便，特别是在一座高炉检修时车间调度复杂。

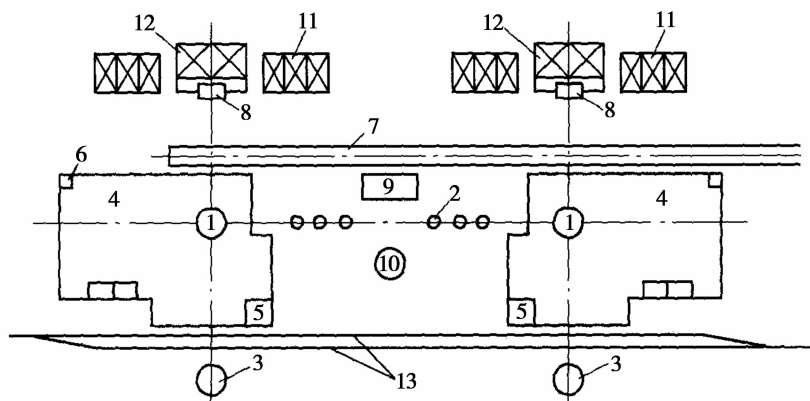


图 0-2 一列式高炉平面布置图

1 - 高炉；2 - 热风炉；3 - 重力除尘器；4 - 出铁场；5 - 高炉计器室；6 - 休息室；7 - 水渣沟；8 - 卷扬机室；9 - 热风炉计器室；10 - 烟囱；11 - 贮矿槽；12 - 贮焦槽；13 - 铁水罐车停放线

2. 并列式布置

并列式高炉平面布置如图 0-3 所示，其主要特点是：高炉与热风炉分设于两条列线上，出铁场布置在高炉列线，车间铁路线和高炉列线平行。这种布置可以共用一些设备和建筑物，节省投资；高炉间距离近。但是热风炉距高炉远，热损失大，并且热风炉靠近重力除尘器，劳动条件不好。

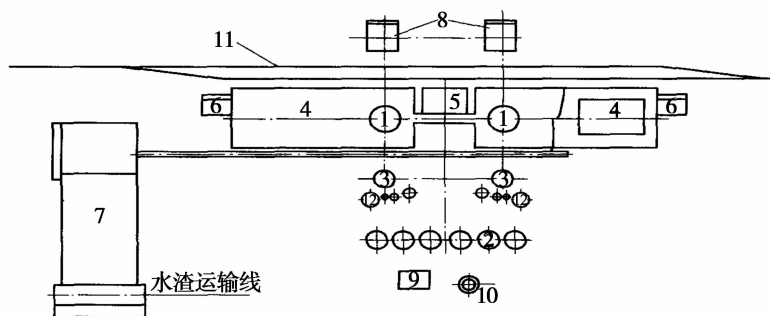


图 0-3 并列式高炉平面布置图

1 - 高炉；2 - 热风炉；3 - 重力除尘器；4 - 出铁场；5 - 高炉计器室；6 - 休息室；7 - 水渣池；8 - 卷扬机室；9 - 热风炉计器室；10 - 烟囱；11 - 铁水罐车停放线；12 - 洗涤塔

3. 岛式布置

岛式高炉平面布置如图 0-4 所示，其主要特点是：每座高炉和它的热风炉、出铁场、铁水罐车停放线等组成一个独立的体系，并且铁水罐车停放线与车间两侧的调度线成一定的交角，角度一般为 $11^{\circ} \sim 13^{\circ}$ 。岛式布置的铁路线为贯通式，空铁水罐车从一端进入炉旁，装满铁水的铁水罐车从另一端驶出，运输量大，并且设有专用辅助材料运输线。但是高炉间距大，管线长；设备不能共用，投资高。

现代高炉炼铁车间的特点是高炉数目少，容积大。为了适应这种大型高炉的需要，岛式布置又有了新的发展如图 0-4 所示。这种布置采用皮带机上料、圆形出铁场，高炉两侧各有两条铁水罐车停放线，配用大型混铁炉式铁水罐车和摆动流嘴。在炉子两侧还各有一套炉前水冲渣设施，水渣外运用皮带机。前苏联新里别斯克的 3200m³ 高炉和我国武钢 4 号高炉的布置均与此相似。

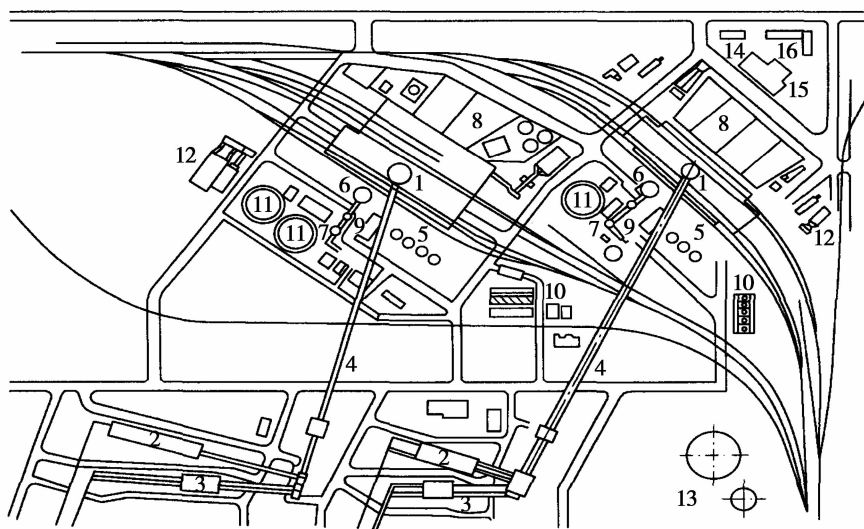


图 0-4 岛式高炉平面布置图

1 - 高炉及出铁场；2 - 贮焦槽；3 - 贮矿槽；4 - 上料皮带机；5 - 热风炉；6 - 重力除尘器；
7 - 文氏管；8 - 干渣坑；9 - 计器室；10 - 循环水设施；11 - 浓缩池；12 - 出铁场除尘设施；
13 - 煤气罐；14 - 修理中心；15 - 修理场；16 - 总值班室

4. 半岛式布置

半岛式布置是岛式布置与并列式布置的过渡，高炉和热风炉列线与车间调度线间的交角增大到 45°，因此高炉距离近，并且在高炉两侧各有三条独立的有尽头的铁水罐车停放线，和一条辅助材料运输线，如图 0-5 所示。出铁场和铁水罐车停放线垂直，缩短了出铁场长度，设有摆动流嘴，出一次铁可放置多个铁水罐车，近年来新建的大型高炉多采用这种布置形式。

三、高炉冶炼产品及其用途

高炉生产的产品是生铁，副产品有炉渣和煤气及煤气带出的炉尘。

(一) 生铁

生铁按化学成分和用途可分为 3 种。

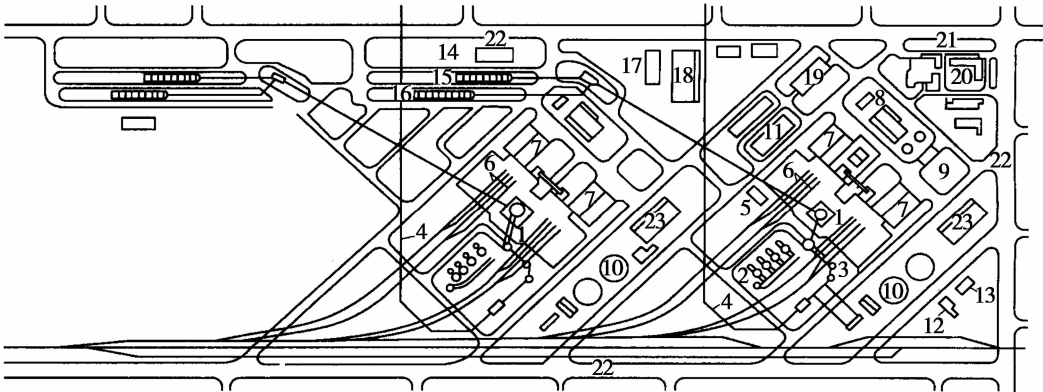


图 0-5 半岛式高炉平面布置示意图

1 - 高炉；2 - 热风炉；3 - 除尘器；4 - 净煤气管道；5 - 高炉计器室；6 - 铁水罐车停放线；7 - 干渣坑；8 - 水淬电器室；9 - 水淬设备；10 - 沉淀室；11 - 炉前除尘器；12 - 脱水机室；13 - 炉底循环水槽；14 - 原料除尘器；15 - 贮焦槽；16 - 贮矿槽；17 - 备品库；18 - 机修间；19 - 碾泥机室；20 - 厂部；21 - 生活区；22 - 公路；23 - 水站

1. 炼钢生铁

它是炼钢的主要原料。表 0-1 列出了炼钢生铁标准。一般情况下生产炼钢生铁主要是控制其硅、硫含量。

表 0-1 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	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		
化 学 成 分	锰	一组	≤0.03		
		二组	>0.03~0.05		
		三组	>0.05		
化 学 成 分	磷	一级	≤0.15		
		二级	>0.15~0.25		
		二级	>0.25~0.4		

2. 铸造生铁

用于铸造生铁铸件，主要用于机械行业。要求含硅高含硫低，以便工件硬度低易于加工，又要含一定量的锰，以利于铸造，且固态有一定韧性。如表 0-2 列出了铸造生铁标准。