



国家中等职业教育改革发展示范学校精品课程系列教材

炼铁工艺

主 编 封国生
副主编 肖艳进 杨春生

Ironmaking process



河北科学技术出版社

图书在版编目（ C I P ） 数据

炼铁工艺 / 封国生主编. -- 石家庄: 河北科学技术出版社, 2014. 6
ISBN 978 - 7 - 5375 - 7015 - 2

I. ①炼… II. ①封… III. ①炼铁 - 生产工艺 - 中等
- 专业学校 - 教材 IV. ①TF5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 127636 号

炼铁工艺

封国生 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	18
字 数	418760
版 次	2014 年 6 月第 1 版
	2014 年 6 月第 1 次印刷
定 价	37.00 元

平山县职业教育中心
国家中等职业教育改革发展示范校建设精品课程系列教材
编写委员会

总主编 王尧琦 封均平

主 任 王尧琦

委 员 封均平 李贵良 杨志彦 焦彦波 许文忠

封国生 武占肖 杨春生 闫更国 李建伟

解东亮 陈庆宾

《炼铁工艺》编写人员

主 编 封国生

副主编 肖艳进 杨春生

编 者 封国生 肖艳进 杨春生 李玉杰 王玉利

安增卫（河北敬业集团）

吴利国（河北敬业集团）

前 言

QIAN YAN

“炼铁工艺”是钢铁冶炼专业的核心课程之一。其目的在于培养学生具备从事高炉炼铁生产、设计以及相关专业方向管理的职业能力,达到本专业学生应获得的职业资格证书的基本要求,为后续专门化方向课程的学习奠定基础,同时培养学生具有一定的逻辑思维和分析问题的能力。

本书是根据钢铁冶炼行业的需要编写的,书中系统地介绍了高炉炼铁的基本理论以及相关的设备系统,同时介绍了与高炉操作相关的内容,包括高炉炉内操作,高炉计算机控制,高炉异常炉况的处理,高炉开停炉操作,以及高炉炉前操作、热风炉操作、上料操作、冷却设备操作和喷煤操作等,较全面地反映了目前国内外炼铁技术的发展动向。

本书以科学发展观为指导,以服务为宗旨,以就业为导向,以能力为本位,以岗位需求和职业标准为依据,体现职业发展和职业教育发展趋势,满足学生未来职业生涯发展和适应社会经济发展的需要。

本书的主要特色有:

(1)根据专业职业能力分析,以工作项目为“项目”,以完成某一生产任务或理解某一原理为“活动”。活动内容基本以生产活动和工业生产原理为主。

(2)突出实践在课程中的主导地位,用工作任务来引领理论,以相应职业活动为单元组织教学,使理论从属实践。

(3)按照工作过程设计学习过程。以典型产品(服务)为载体来设计活动、组织教学,建立工作任务与知识、技能的联系,增强学生的直观体验,激发学生的学习兴趣。

(4)技能训练步骤详尽,并配合图示,可操作性强。典型案例帮助学生培养解决实际问题的能力和良好的思维习惯。

限于编者的经验和水平,错误之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编 者

二〇一三年十二月

项目 1 高炉炼铁概况	(1)
活动 1.1 了解高炉炼铁历史及现状	(1)
活动 1.2 高炉炼铁在钢铁联合企业中作用	(4)
活动 1.3 高炉冶炼过程概述	(6)
项目 2 高炉及其附属设备系统	(10)
活动 2.1 认识高炉本体结构	(10)
活动 2.2 认识高炉无料钟布料设备	(13)
活动 2.3 认识高炉喷煤系统设备	(16)
活动 2.4 认识高炉送风系统	(19)
活动 2.5 认识高炉渣铁处理系统	(24)
活动 2.6 认识高炉煤气处理系统	(28)
项目 3 高炉冶炼基本原理及对原燃料的要求	(34)
活动 3.1 高炉内的基本情况	(34)
活动 3.2 高炉内的还原反应	(38)
活动 3.3 炉料在高炉内的性状变化及造渣和渗碳	(41)
活动 3.4 炉况稳定顺行的标志和条件	(45)
活动 3.5 合理炉料结构和精料	(48)
活动 3.6 烧结矿及其质量要求	(50)
活动 3.7 球团矿及其质量要求	(53)
活动 3.8 焦炭及其质量要求	(55)
活动 3.9 辅助原料	(60)
项目 4 高炉冶炼基本制度与操作	(64)
活动 4.1 装料制度及操作	(64)
活动 4.2 造渣制度及操作	(69)
活动 4.3 热制度及操作	(72)

活动 4.4	送风制度及操作	(75)
活动 4.5	冷却制度及操作	(80)
活动 4.6	炉况判断及调节	(84)
项目 5	高炉开炉、停炉、封炉操作	(96)
活动 5.1	高炉休风与复风	(96)
活动 5.2	高炉大修停炉	(105)
活动 5.3	高炉开炉	(111)
活动 5.4	高炉封炉	(115)
项目 6	高炉炉况判断	(120)
活动 6.1	直接观测法	(120)
活动 6.2	仪器仪表监测	(127)
活动 6.3	炉况综合判断	(131)
项目 7	高炉异常炉况处理操作	(136)
活动 7.1	高炉低料线的危害及处理	(136)
活动 7.2	管道行程的识别及处理	(138)
活动 7.3	高炉连续崩料的特征及处理	(141)
活动 7.4	高炉悬料	(144)
活动 7.5	边缘气流过分发展、中心气流过重的特征及处理	(148)
活动 7.6	边缘负荷过重、中心煤气过分发展的特征及征兆	(150)
活动 7.7	炉缸堆积处理	(153)
活动 7.8	高炉大凉及炉缸冻结	(155)
活动 7.9	炉墙结厚及炉墙结瘤	(158)
活动 7.10	上部炉衬脱落	(162)
活动 7.11	高炉洗炉	(163)
项目 8	炉前操作及事故处理	(168)
活动 8.1	炉前操作指标	(168)
活动 8.2	出铁操作	(171)
活动 8.3	撇渣器操作	(178)
活动 8.4	放渣操作	(181)
活动 8.5	特殊炉况的炉前操作	(183)
活动 8.6	炉前用耐火材料	(189)
项目 9	热风炉操作与事故处理	(196)

活动 9.1 热风炉的结构和耐火材料 (196)

活动 9.2 热风炉的各种阀门和检测参数 (201)

活动 9.3 热风炉的烧炉操作 (206)

活动 9.4 热风炉的送风操作 (209)

活动 9.5 休风过程的事故和处理 (214)

活动 9.6 特殊情况下休风的煤气处理 (216)

项目 10 煤气除尘与煤气系统安全处理 (222)

活动 10.1 高炉煤气与其他气体燃料 (222)

活动 10.2 煤气袋式除尘 (225)

活动 10.3 煤气的安全管理 (230)

活动 10.4 煤气系统事故处理 (232)

活动 10.5 严密性试验 (236)

项目 11 高炉本体和辅助系统事故处理 (239)

活动 11.1 风口、风管严重灌渣的处理 (239)

活动 11.2 风管、风口烧穿事故 (242)

活动 11.3 高炉炉皮和炉缸、炉底烧穿事故 (245)

活动 11.4 突然停风事故 (249)

活动 11.5 高炉水压降低或停水事故 (251)

项目 12 高炉的生产组织 (256)

活动 12.1 高炉炉长的重点工作 (256)

活动 12.2 高炉工长当班生产组织 (259)

活动 12.3 副工长的作业要求 (263)

活动 12.4 炉前班长的作业组织 (271)

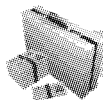
参考文献 (277)



项目 1 高炉炼铁概况



活动 1.1 了解高炉炼铁历史及现状



工作场景

你知道高炉炼铁是怎么发展起来的吗？你知道中国钢铁生产的历史吗？你知道现在我国的钢铁产量吗？你知道钢铁工业在国民经济中的重要性吗？



活动要求

- (1) 知道中国钢铁工业的发展历史。
- (2) 知道中国及世界当前的钢铁产量。
- (3) 对中国钢铁生产状况有整体的了解。
- (4) 明确钢铁工业在国民经济中的重要作用，以及钢铁工业的发展受哪些因素影响。



活动内容

中国是使用铁器最早的国家之一，春秋晚期（公元前 6 世纪）铁器已较广泛地得到应用。西汉时期盐铁官营，冶铁工业得到较大的发展，并在规模及生产技术等方面达到较先进的水平。据资料记载，当时已有了炉缸断面积 8.5m^2 的高炉。中国的这种领先的优势一直延续了两千年，直到明代中叶（约 17 世纪初）西方资本主义世界的产业革命兴起时为止。

近代由于封建主义的束缚，外加帝国主义的掠夺和摧残，中国工业生产及科学技术的发展极度缓促，到 1949 年，中国的钢铁工业技术水平及装备极其落后，钢的年产量只有 25 万 t。新中国成立后至 1960 年，我国逐步建立了现代化钢铁工业的基础，年产量比 1949 年增加了 40 多倍，达到了 1000 万 t 以上。某些生产指标接近了当时的世

界先进水平，中国具备了独立发展自己钢铁工业的实力。

1960 ~ 1966 年，在困难的条件下，我国的钢铁工业继续得到了发展，如炼铁方面以细粒铁精矿粉为原料的自熔性及超高碱度烧结矿，向高炉内喷吹煤粉以及成功地冶炼了一些特有的复合矿石等。1966 ~ 1976 年我国国民经济基本上处于停滞不前的状态，1976 年的粗钢产量仅为 2045 万 t。与迅速发展世界经济相比，我国与世界经济水平的差距扩大了，装备陈旧，机械化、自动化水平低，技术经济指标落后，效率低，质量差，成本高。

从 1977 年开始，特别是党的十一届三中全会以来，中国钢铁工业走向持续发展的阶段。1982 年，中国钢的年产量已接近 4000 万 t，仅次于苏、美、日跃居世界第四位。1996 年起中国年产钢已超过 1 亿 t，名列世界首位。进入 21 世纪，中国钢铁行业开始繁荣。钢铁产量的年增长量从 20 世纪最后 10 年的 583 万 t 增加到 21 世纪初前 10 年的 4529 万 t。从 1996 ~ 2011 年的 15 年时间里，中国的铁年产量从 1.0 亿 t 增加到 6.3 亿 t，翻了 6 翻以上，其比重也占到世界的半壁江山，近 12 年的钢铁产量如图 1-1 所示，中国钢铁产量占世界钢铁产量的比例变化如图 1-2 所示。中国大陆 2012 年粗钢产量 7.16 亿 t，占世界钢产量的 46.3%。

现代任何国家是否发达的主要标志是其工业化及生产自动化的水平，即工业生产在国民经济中所占的比重以及工业的机械化、自动化程度。而劳动生产率是衡量工业化水平极为重要的标志之一。为达到较高的劳动生产率需要大量的机械设备。钢铁工业为制造各种机械设备提供最基本的材料，属于基础材料工业的范畴。钢铁还可以直接为人民的日常生活服务，如为运输业、建筑业及民用品提供基本材料。故在一定意义上说，一个国家钢铁工业的发展状况也反映其国民经济发达的程度。

钢铁工业的发展需要多方面的条件，如稳定可靠的原材料资源，包括铁矿石、煤炭及某些辅助原材料，如锰矿、石灰石及耐火材料等；稳定的动力资源，如电力、水等。此外，由于钢铁企业生产规模大，每天原材料及产品的吞吐量大，需要庞大的运输设施为其服务。一般要有铁路或水运干线经过钢铁厂。对于大型钢铁企业来说，还必须有重型机械的制造及电子工业为其服务。此外，建设钢铁企业需要的投资大，建设周期长，而回收效益慢。故雄厚的资金是发展钢铁企业的重要前提。

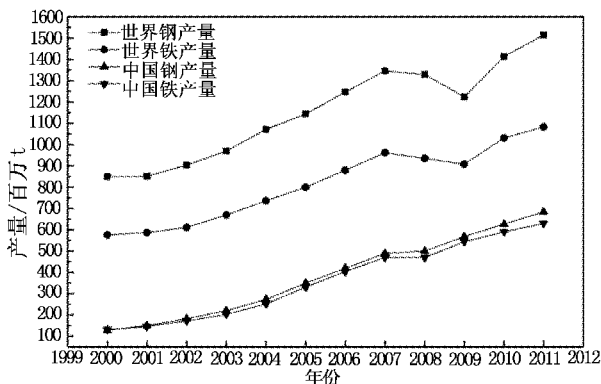


图 1-1 中国及世界近 12 年来钢铁产量变化情况

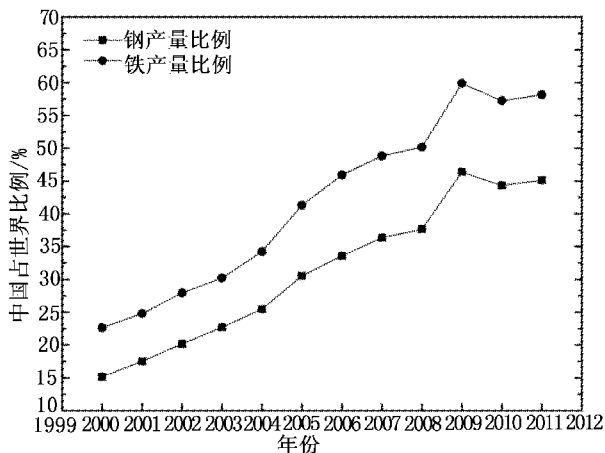


图 1-2 中国钢铁产量占世界钢铁产量比例近 12 年来变化情况



活动小结

- (1) 中国是使用铁器最早的国家之一，春秋晚期（公元前 6 世纪）铁器已较广泛地得到应用。
- (2) 1996 年起中国年产钢已超过 1 亿吨，名列世界首位。
- (3) 中国大陆 2012 年粗钢产量 7.16 亿吨，占全球钢产量的 46.3%。



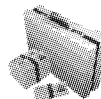
练习与思考

- (1) 中国钢铁工业的发展历史是什么？
- (2) 中国钢铁工业在历史的进步过程中发挥了什么作用？

- (3) 中国最近几年的钢铁产量是多少？占世界比重多少？
- (4) 钢铁工业在国民经济中的作用是什么？
- (5) 钢铁工业的发展受哪些因素的制约？



活动1.2 高炉炼铁在钢铁联合企业中的作用



工作场景

你知道当前的钢铁联合企业的生产流程吗？你知道高炉炼铁在钢铁联合企业中的作用吗？你知道钢铁产品是怎么生产出来的吗？



活动要求

- (1) 了解现在钢铁联合企业的生产流程？知道最主要的流程是什么？为什么？
- (2) 明确高炉炼铁在钢铁生产流程中的重要性？
- (3) 知道钢材生产的过程。



活动内容

由矿石到钢材的生产可分为两个流程，如图 1-3 所示：高炉—转炉—轧机流程；直接还原或熔融还原或废钢—电炉—轧机流程。前者被称为长流程，后者则被称为短流程。目前长流程是主要流程，但因它必须使用块状原料，需要配用质量好的炼焦煤在焦炉内炼成性能好的冶金焦，粉矿和精矿粉要制成烧结矿或球团矿，这两道生产工序不但能耗高，而且生产中产生粉尘、污水和废气等对环境造成污染。所以长流程面临能源和环保等的挑战。直接还原和熔融还原是用来替代高炉炼铁的两种工艺。

直接还原和熔融还原炼铁工艺（可以参考相关“非高炉炼铁”书籍）的特点是，用块煤或气体还原剂代替高炉炼铁工艺所必需的焦炭来还原天然块矿、粉矿或人造块矿（烧结矿或球团矿），具有相当大的适应性，特别适用于某些资源匮乏、环保要求特别严格的地区或国家。但其生产规模较高炉小，1997 年世界直接还原铁产量为 3620 万 t，而熔融还原铁产量不足 90 万 t，到 2006 年世界直接还原铁产量已增加到 59475 万 t，熔融还原铁产量也增加到了 45 万 t，有了较大发展。特别是世界最大可年产 150 万 t 铁水的 Corex3000 在中国宝钢建成，于 2007 年 11 月 8 日顺利投产出铁，为中国非高炉炼铁



开创新的阶段。但总的来讲,目前非高炉炼铁仍处于小规模生产或试验阶段,而且很多技术问题还有待解决或完善。故在今后很长一段时期内高炉炼铁仍将占据绝对优势。各种炼铁法的设备及生产方式差别很大,但其原理是相同的。

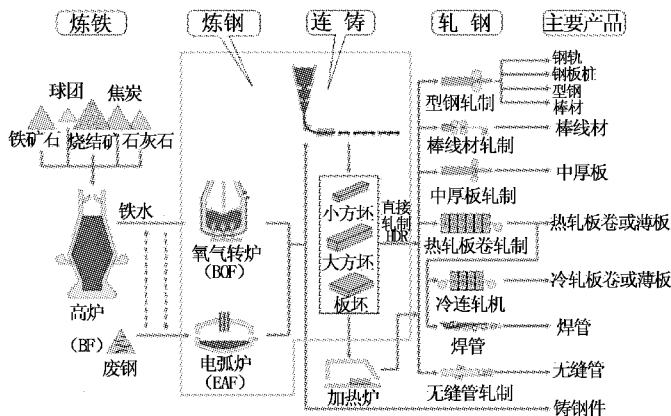


图 1-3 钢铁联合企业生产流程



活动小结

(1) 钢铁联合企业主要分为两个流程,长流程(高炉—转炉—轧机流程)和短流程(直接还原或熔融还原—电炉—轧机流程),其中以长流程为主。

(2) 长流程因它必须使用块状原料,需要配用质量好的炼焦煤在焦炉内炼成性能好的冶金焦,粉矿和精矿粉要制成烧结矿或球团矿,这两道生产工序不但能耗高,而且生产中产生粉尘、污水和废气等对环境造成污染。所以长流程面临能源和环保等的挑战。

(3) 目前非高炉炼铁仍处于小规模生产或试验阶段,而且很多技术问题还有待解决或完善,在今后很长一段时期内高炉炼铁仍将占据绝对优势。

(4) 各种炼铁法的设备及生产方式差别很大,但其原理是相同的。

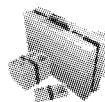


练习与思考

- (1) 钢铁生产的两个流程有何区别?
- (2) 哪个流程具备环保优势,哪个流程具备经济优势?
- (3) 中国当前为什么不能实现短流程?



活动1.3 高炉冶炼过程概述



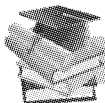
工作场景

你知道高炉炼铁的基本原理是什么吗？你知道铁水产生的过程是怎样的吗？高炉炼铁都需要哪些原料，生产过程中会发生哪些反应？



活动要求

- (1) 了解高炉炼铁所需的原料。
- (2) 熟悉炼铁厂的生产流程。
- (3) 对高炉炼铁厂的生产过程有整体的把握。
- (4) 熟悉高炉炼铁过程所需要的设备。



活动内容

为了深入理解并掌握高炉冶炼过程的原理，首先从宏观上对高炉应有个整体的概念，如了解其投入、产出以及总体上的特点等。要求能具体而形象地描述各种反应在高炉内动态变化的过程。如原料在下降过程中，其温度、成分及性状的变化；煤气的产生及在上升过程中温度、压力、成分及体积的变化；同时要了解在炉料与煤气逆流运动过程中热量、质量及动量的传递是如何发生的。冶炼过程的概述只能给出具体的、粗浅的感性认识，但它是深入的理性认识的基础。

图1-4示出的是典型的高炉炼铁生产工艺流程。图1-5是高炉炼铁生产过程中使用的主要设备简图。从中看出高炉炼铁具有庞大的主体和辅助系统，包括高炉本体、原燃料系统、上料系统、送风系统、渣铁处理系统和煤气清洗处理系统。在建设上的投资高炉本体占15%~20%，辅助系统占80%~85%。各个系统互相联系在一起，但又相互制约，只有相互配合才能形成巨大的生产能力。

炼铁工艺是将含铁原料（烧结矿、球团矿或铁矿）、燃料（焦炭、煤粉等）及其他辅助原料（石灰石、白云石、锰矿等）按一定比例自高炉炉顶装入高炉，并由热风炉在高炉下部沿炉周的风口向高炉内鼓入热风助焦炭燃烧（有的高炉也喷吹煤粉、重油、天然气等辅助燃料），在高温下焦炭中的碳同鼓入空气中的氧燃烧生成的一氧化碳和氢气。原

料、燃料随着炉内熔炼等过程的进行而下降，在炉料下降和上升的煤气相遇，先后发生传热、还原、熔化、脱炭作用而生成生铁，铁矿石原料中的杂质与加入炉内的熔剂相结合而成渣，炉底铁水间断地放出装入铁水罐，送往炼钢厂。同时产生高炉煤气、炉渣两种副产品，高炉渣铁主要矿石中不还原的杂质和石灰石等熔剂结合生成，自渣口排出后，经水淬处理后全部作为水泥生产原料；产生的煤气从炉顶导出，经除尘后，作为热风炉、加热炉、焦炉、锅炉等的燃料。炼铁工艺流程和主要排污节点见图 1-4。

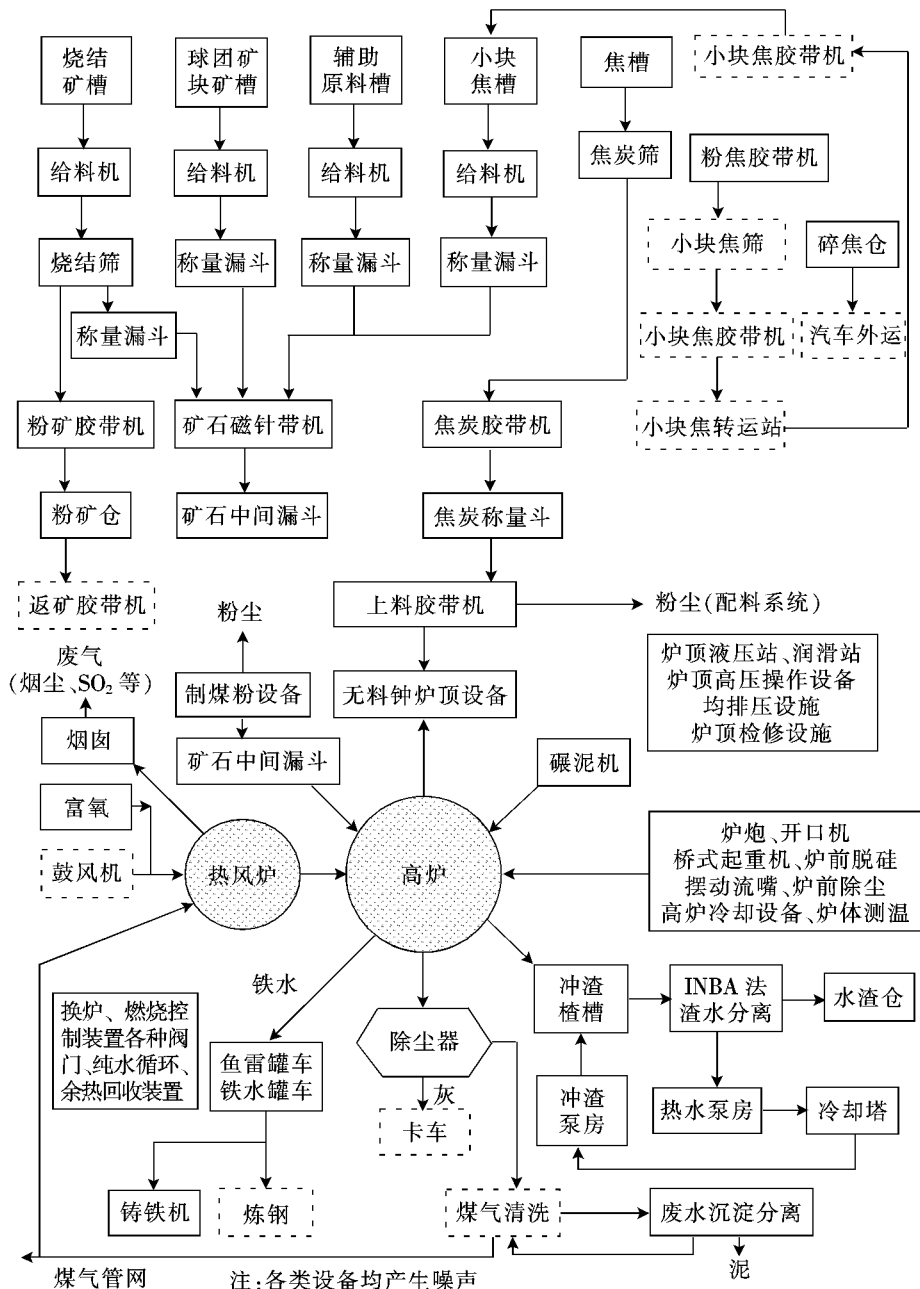


图 1-4 炼铁厂生产流程

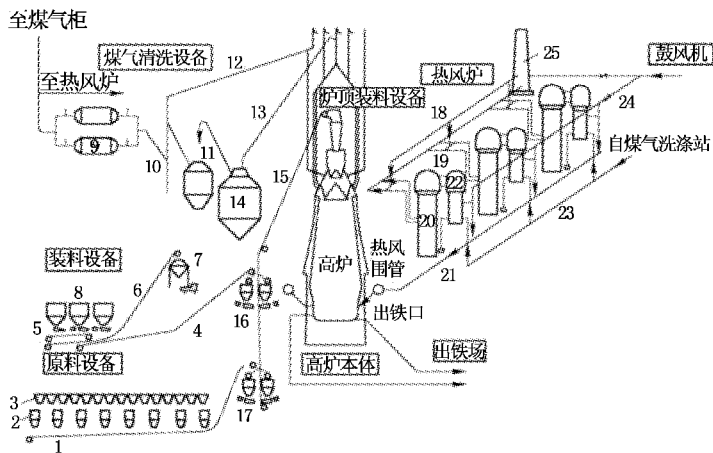


图 1-5 高炉炼铁生产流程主要设备图

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-焦粉输送皮带机; 7-粉焦仓; 8-贮焦槽; 9-电除尘器; 10-调节阀; 11-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-废铁称量漏斗; 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



活动小结

(1) 炼铁过程主要原料包括含铁原料（烧结矿、球团矿或铁矿）、燃料（焦炭、煤粉等）及其他辅助原料（石灰石、白云石、锰矿等）。

(2) 炼铁过程主要包括，将原料按一定比例自高炉炉顶装入高炉，并由热风炉在高炉下部沿炉周的风口向高炉内鼓入热风助焦炭燃烧，在高温下焦炭中的碳同鼓入空气中的氧燃烧生成一氧化碳和氢气。原料、燃料随着炉内熔炼等过程的进行而下降，在炉料下降和上升的煤气相遇，先后发生传热、还原、熔化、脱炭作用而生成生铁，铁矿石原料中的杂质与加入炉内的熔剂相结合而成渣，炉底铁水间断地放出装入铁水罐，送往炼钢厂。

(3) 高炉炼铁具有庞大的主体和辅助系统，包括高炉本体、原燃料系统、上料系统、送风系统、渣铁处理系统和煤气清洗处理系统。



练习与思考

- (1) 高炉炼铁过程有什么特点？为什么需要用烧结矿和焦炭？
- (2) 高炉的生产流程主要包括哪些主要部分？
- (3) 如果要建一个炼铁厂，主要投资包括哪些？



项目小结

(1) 中国是使用铁器最早的国家之一，春秋晚期（公元前 6 世纪）铁器已较广泛地得到应用。1996 年起中国年产钢已超过 1 亿 t，名列世界首位。中国大陆 2012 年粗钢产量 7.16 亿 t，占全球钢产量的 46.3%。

(2) 钢铁联合企业主要分为两个流程，长流程（高炉—转炉—轧机流程）和短流程（直接还原或熔融还原—电炉—轧机流程），其中以长流程为主。长流程因它必须使用块状原料，需要配用质量好的炼焦煤在焦炉内炼成性能好的冶金焦，粉矿和精矿粉要制成烧结矿或球团矿，这两道生产工序不但能耗高，而且生产中产生粉尘、污水和废气等对环境造成污染。所以长流程面临能源和环保等的挑战。

(3) 目前非高炉炼铁仍处于小规模生产或试验阶段，而且很多技术问题还有待解决或完善，在今后很长一段时间内高炉炼铁仍将占据绝对优势。各种炼铁法的设备及生产方式差别很大，但其原理是相同的。

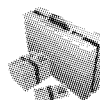
(4) 炼铁过程主要原料包括含铁原料（烧结矿、球团矿或铁矿）、燃料（焦炭、煤粉等）及其他辅助原料（石灰石、白云石、锰矿等）。

(5) 炼铁过程主要包括，将原料按一定比例自高炉炉顶装入高炉，并由热风炉在高炉下部沿炉周的风口向高炉内鼓入热风助焦炭燃烧，在高温下焦炭中的碳同鼓入空气中的氧燃烧生成一氧化碳和氢气。原料、燃料随着炉内熔炼等过程的进行而下降，在炉料下降和上升的煤气相遇，先后发生传热、还原、熔化、脱炭作用而生成生铁，铁矿石原料中的杂质与加入炉内的熔剂相结合而成渣，炉底铁水间断地放出装入铁水罐，送往炼钢厂。

项目2 高炉及其附属设备系统



活动2.1 认识高炉本体结构



工作场景

你知道高炉的主要构造是什么吗？怎么描述一个完整的高炉？你会画出高炉的轮廓吗？你知道高炉炼铁需要哪些附属设备系统吗？各个附属设备系统都有什么功能？



活动要求

- (1) 熟练掌握有关高炉结构描述的专业术语。
- (2) 能够画出高炉的外形轮廓以及内部结构。
- (3) 了解高炉炼铁所需要的5大附属系统，及其各自的主要功能。



活动内容

高炉本体是冶炼生铁的主体设备，是由耐火材料砌筑的竖立式圆筒形炉体，最外层是钢板制成的炉壳，在炉壳和耐火材料之间有冷却设备。在讨论高炉结构前，最好搞清与高炉的重要结构相关的术语，这些术语标于图2-1中，同时对以下术语进行详细解释。

- 炉缸直径——炉缸耐火内衬内表面直径，其中不考虑出铁口处炉墙厚度的加厚。
- 炉缸水平线——风口水套端部垂直线和炉腹斜线相交所得的水平线，对于陶瓷内衬的炉腹，由炉腹冷却板端部的直线确定炉腹坡度。
- 炉缸高度——炉缸水平线和铁口中心线之间的垂直距离，由铁口在炉缸外壳上开口的中心线确定铁口中心线。
- 炉腹角——炉腹和水平线间的夹角。
- 炉腹水平线——炉腹和炉身下部垂直段相交处的水平线，如果没有垂直段，则