



高等学校“十二五”规划教材

GAODENG XUEXIAO "12.5" GUIHUA JIAOCAI

冶金工艺设计

厉英 马北越 编著



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press



高等学校“十二五”规划教材

冶金工艺设计

厉英 马北越 编著

北京

冶金工业出版社

2014

内 容 提 要

本书分为7章,分别是冶金工艺设计概述、高炉炼铁、高炉设计、高炉冶炼综合计算、炼钢、转炉炼钢设计及计算、电弧炉炼钢设计及计算。全书阐述了高炉炼铁、转炉炼钢、电炉炼钢的基本原理及工艺,介绍了 AutoCAD、Excel 软件在冶金设计及计算中的应用,并配有详细的实例介绍。通过学习,学生能很容易地掌握冶金设计的基本方法和技能。

本书既可作冶金工程专业“冶金课程设计”的教材,也可以供冶金工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

冶金工艺设计/厉英,马北越编著. —北京:冶金工业出版社,
2014. 11

高等学校“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5024-6761-6

I. ①冶… II. ①厉… ②马… III. ①冶金工业—工业设计
IV. ①TF

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 248634 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 yjcb@cnmp. com. cn

责任编辑 杨盈园 陈慰萍 美术编辑 彭子赫 版式设计 孙跃红

责任校对 禹蕊 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-6761-6

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;三河市双峰印刷装订有限公司印刷

2014 年 11 月第 1 版,2014 年 11 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 15 印张; 362 千字; 230 页

36.00 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

本书为冶金工程专业课程“冶金课程设计”的教材。其目的在于使学生了解钢铁冶金设计的程序和主要内容，掌握设计的基本方法和技能，培养学生分析和解决冶金工程实际问题的能力。

本书结合编者多年的教学实践与科研工作中积累的丰富经验，依据冶金工程学科的发展需要进行编写，力求既重视基础知识，又简明实用、通俗易懂，同时考虑到计算机的普及性和科学技术的发展，将绘图软件、试算表软件引入冶金工艺设计及平衡计算中，以提高学生未来工作的效率及水平。

按照课程要求，本书重点讲述高炉炼铁、转炉炼钢和电弧炉炼钢的原理、工艺、设计方法和计算方法等内容，包括高炉炉型设计、冷却器设计、高炉用耐火材料设计及高炉炼铁过程物料平衡和热平衡计算；转炉、电弧炉炉型设计，转炉氧枪设计，电弧炉变压器功率和电参数设计，转炉、电弧炉用耐火材料设计及炼钢过程物料平衡和热平衡计算。本书既可供冶金专业学生课堂教学及毕业设计使用，也可作为冶金工程专业的研究生、冶金企业的工程技术人员参考资料。

本书由厉英教授和马北越博士共同编写，由厉英教授统编定稿。沈峰满教授、钟良才教授和姜周华教授分别对部分章节进行了审阅和修改，本课题组的研究生王晓花、黄文龙、曾杰、卢刚、胡文兵、陈伟、张凯、赵龙、李宁、刘磊、周旭东等在搜集资料、绘图、制表等方面提供了许多的帮助，在此表示深深谢意。

由于现代技术发展日新月异、资料文献浩如烟海以及编者水平有限，书中的观点、方法及数据等存在的不足之处，敬请广大读者批评指正，以便再版时修改和完善。

编著者

2014年6月

冶金工业出版社部分图书推荐

书 名	作 者	定价(元)
工艺矿物学 (第3版) (本科教材)	周乐光	45.00
冶金物理化学教程 (第2版) (本科教材)	郭汉杰	45.00
冶金分析与实验方法 (本科教材)	刘淑萍	30.00
连续铸钢 (本科教材)	贺道中	30.00
环保机械设备设计 (本科教材)	江 晶	45.00
轧钢厂设计原理 (本科教材)	阳 辉	46.00
炉外处理 (本科教材)	陈建斌	39.00
炼铁设备及车间设计 (第2版) (高职高专教材)	万 新	29.00
通用机械设备 (第2版) (高职高专教材)	张庭祥	29.00
高炉炼铁设备 (高职高专教材)	王宏启	36.00
机械设备维修基础 (高职高专教材)	闫嘉琪	28.00
矿冶液压设备使用与维护 (高职高专教材)	苑忠国	27.00
铁合金生产工艺与设备 (高职高专教材)	刘 卫	39.00
矿热炉控制与操作 (高职高专教材)	石 富	37.00
金属热处理生产技术 (高职高专教材)	张文莉	35.00
炼铁工艺及设备 (高职高专教材)	郑金星	49.00
炼钢工艺及设备 (高职高专教材)	郑金星	49.00
机械制造工艺与实施 (高职高专教材)	胡运林	39.00
液压气动技术与实践 (高职高专教材)	胡运林	35.00
冶金工业分析 (高职高专教材)	刘敏丽	39.00
炼钢设备维护 (高职高专教材)	时彦林	35.00
炼铁设备维护 (高职高专教材)	时彦林	30.00
轧钢设备维护与检修 (高职高专教材)	袁建路	28.00
冶金机械保养维修实务 (高职高专教材)	张树海	39.00
冶炼设备维护与检修 (职业技能培训教材)	时彦林	49.00
干熄焦生产操作与设备维护 (职业技能培训教材)	罗时政	70.00
烧结生产设备使用与维护 (职业技能培训教材)	肖 扬	49.00
起重与运输机械 (高等学校教材)	纪 宏	35.00
连铸保护渣技术问答	李殿明	20.00

目 录

1 冶金工艺设计概述	1
1.1 冶金工艺设计的目的和内容	1
1.1.1 冶金工艺设计的目的	1
1.1.2 冶金工艺设计的内容	1
1.2 冶金工艺设计的要求及基本原则	2
1.2.1 冶金工艺设计的要求	2
1.2.2 冶金工艺设计的基本原则	2
1.3 冶金工艺设计中应注意的问题	3
2 高炉炼铁	4
2.1 高炉炼铁原料与产品	4
2.1.1 高炉炼铁原料及其要求	4
2.1.2 高炉炼铁产品及主要技术经济指标	6
2.2 高炉炼铁工艺流程与冶炼基本原理	9
2.2.1 高炉炼铁工艺流程	9
2.2.2 高炉冶炼基本原理	9
2.3 高炉强化与节能	26
2.3.1 高炉强化	26
2.3.2 高炉节能方向	28
2.3.3 燃料消耗及节焦途径	28
3 高炉设计	32
3.1 高炉构造及其附属设备	32
3.1.1 高炉构造	32
3.1.2 高炉附属设备	33
3.2 高炉容积及座数的确定	33
3.3 高炉炉型设计	34
3.4 高炉炉型设计实例	37
3.5 AutoCAD 软件在高炉炉型设计中的应用	40
3.5.1 AutoCAD 软件简介	40
3.5.2 用 AutoCAD 软件绘制高炉炉型	40
3.6 高炉用耐火材料设计	44

3.6.1 高炉炉衬的破损及耐火材料设计	44
3.6.2 高炉其他部位用耐火材料	47
3.7 高炉的冷却器设计	49
3.7.1 高炉冷却目的	49
3.7.2 冷却设备	49
3.7.3 冷却器的工作制度	50
4 高炉冶炼综合计算	52
4.1 配料计算概述	52
4.1.1 配料数据调整	52
4.1.2 配料计算步骤	53
4.2 物料平衡计算概述	54
4.2.1 风量的计算	54
4.2.2 煤气量的计算	54
4.2.3 物料平衡表的编制	56
4.3 热平衡计算概述	56
4.3.1 高炉的热量收入	57
4.3.2 高炉的热量支出	58
4.3.3 能量利用的评价	60
4.4 高炉冶炼综合计算实例	61
4.4.1 配料计算	61
4.4.2 物料平衡计算	66
4.4.3 热平衡计算	70
4.5 Excel 在高炉冶炼综合计算中的应用	75
4.5.1 Excel 简介	75
4.5.2 具体步骤	75
5 炼钢	84
5.1 炼钢原料与产品	84
5.1.1 炼钢原料及其要求	84
5.1.2 炼钢产品及主要技术经济指标	90
5.2 炼钢任务及工艺流程	94
5.2.1 钢中常见元素及其影响	94
5.2.2 炼钢的基本任务	95
5.2.3 炼钢的工艺流程	95
5.3 炼钢方法的发展历程	96
5.4 炼钢的基本原理	97
5.4.1 炼钢炉渣	97
5.4.2 传氧和元素的氧化次序	100

5.4.3 脱碳反应	103
5.4.4 硅和锰的氧化反应	104
5.4.5 脱磷、脱硫反应	106
5.4.6 脱氧和非金属夹杂	110
5.5 转炉炼钢法	113
5.5.1 顶吹氧气转炉炼钢法	113
5.5.2 底吹氧气转炉炼钢法	117
5.5.3 侧吹氧气转炉炼钢法	118
5.5.4 顶底复吹转炉炼钢法	119
5.6 电炉炼钢法	124
5.6.1 电弧炉炼钢	124
5.6.2 超高功率电弧炉炼钢	129
5.6.3 感应炉炼钢	130
5.6.4 电渣重熔	131
5.6.5 其他炼钢方法	132
6 转炉炼钢设计及计算	134
6.1 转炉构造及其附属设备	134
6.1.1 转炉构造	134
6.1.2 转炉附属设备	135
6.2 转炉座数及其公称容量的确定	137
6.2.1 转炉座数的确定	137
6.2.2 转炉公称容量及其确定方法	137
6.3 转炉炉型设计及计算	138
6.3.1 顶吹氧气转炉炉型设计及计算	138
6.3.2 顶底复吹转炉炉型和底部供气构件设计	144
6.4 转炉氧枪设计	148
6.4.1 转炉氧枪喷头设计	148
6.4.2 氧枪枪身设计计算	151
6.5 转炉用耐火材料设计	154
6.5.1 转炉炉衬的损毁	154
6.5.2 转炉内衬用耐火材料	154
6.5.3 转炉出钢口用耐火材料	155
6.5.4 复吹转炉底部用供气砖	155
6.5.5 转炉炉衬修补用耐火材料	156
6.5.6 转炉溅渣护炉用调渣材料	157
6.6 转炉炼钢物料平衡和热平衡计算	158
6.6.1 基本数据	158
6.6.2 未加废钢的物料平衡计算	160

6.6.3	热平衡计算	165
6.6.4	加入废钢的物料平衡计算	168
6.6.5	脱氧及合金化后的物料平衡计算	169
6.7	Excel 在转炉炼钢物料平衡和热平衡计算中的应用	172
7	电弧炉炼钢设计及计算	182
7.1	电弧炉构造及其附属设备	182
7.1.1	电弧炉炉体	182
7.1.2	炉体倾动机构	186
7.1.3	炉盖提升旋转机构	187
7.1.4	电极夹持器及电极升降机构	187
7.1.5	电弧炉的电气设备	188
7.2	电弧炉容量和座数的确定	192
7.2.1	电弧炉的容量	192
7.2.2	电弧炉的座数	192
7.3	电弧炉炉型设计及计算	193
7.3.1	熔池的形状和尺寸	193
7.3.2	熔炼室尺寸	196
7.3.3	炉衬及厚度的确定	197
7.3.4	炉壳及厚度	197
7.3.5	炉门尺寸的确定	198
7.3.6	出钢口和流钢槽尺寸设计	198
7.3.7	偏心炉底出钢电炉参数设计	198
7.4	电弧炉变压器功率和电参数的设计	200
7.4.1	变压器功率	200
7.4.2	电压级数	200
7.4.3	电极直径	200
7.4.4	电极极心圆直径	201
7.5	电弧炉用耐火材料设计	202
7.5.1	电炉炉顶用耐火材料	202
7.5.2	电炉侧墙用耐火材料	203
7.5.3	电炉炉底和出钢口用耐火材料	204
7.6	电弧炉炼钢物料平衡和热平衡计算	205
7.6.1	物料平衡计算	205
7.6.2	热平衡计算	220
附表	可压缩等熵流函数表 (理想气体 $\gamma=1.4$)	226
参考文献		230

1 冶金工艺设计概述

1.1 冶金工艺设计的目的和内容

1.1.1 冶金工艺设计的目的

冶金工艺设计是一门重要的实践课程,其目的在于培养学生的冶金设计能力。通过对学生进行冶金设计技能的基本训练,可以培养学生综合运用所学知识解决实际问题的能力,同时可为毕业设计打下基础。因此,冶金工艺设计是培养和提高学生独立工作能力的有益实践,其基本目的主要包括:

- (1) 使学生掌握冶金设计的基本方法和步骤,培养其综合分析设计任务及独立设计的能力。
- (2) 培养学生查阅和运用设计资料(如手册、标准和规范等)、计算冶金过程及设计主要设备工艺的能力。
- (3) 通过编写设计说明书,培养学生用文字和图表表达其设计思想及计算结果的能力。
- (4) 培养学生合理选用相关设计参数及其计算方法,分析工艺参数和结构尺寸间的相互影响,增强学生分析问题和解决问题的能力。
- (5) 使学生掌握一般冶金制图的基本要求,培养其运用计算机辅助绘图的能力。

1.1.2 冶金工艺设计的内容

冶金工艺设计涉及高炉、转炉和电炉等冶金主体设备、辅助设施及耐火材料的设计,并对各主要冶金过程的配料、物料平衡和热平衡进行衡算。冶金工艺设计的内容主要包括:

- (1) 设计准备。根据设计任务书,掌握设计要求和已知条件,明确设计的内容和方法步骤,查阅相关设计资料,并拟定设计计划。
- (2) 设备主要尺寸计算与设计。结合设计任务书及国内外实际生产中可行且技术上较为先进的技术经济指标,对设备的主要工艺尺寸和结构等进行基本计算,并进行相关设计。
- (3) 冶金过程计算。对冶金过程中物料平衡和热量平衡等进行计算,并编制相关平衡表。
- (4) 绘制设备图。绘制主要设备图,如高炉炉型、转炉炉型及电炉炉型等,包括设备的主要工艺尺寸、技术特性等。
- (5) 编写设计说明书。用精炼、简洁的文字写出设计的内容,加上清晰的图表即构成课程设计的说明书。

1.2 冶金工艺设计的要求及基本原则

1.2.1 冶金工艺设计的要求

冶金工艺设计要求每位学生完成设计说明书和图纸各一张。在撰写设计说明书时,其具体项目及要求如下:

- (1) 封面:包括设计题目、学生班级、姓名和学号、指导教师、日期。
- (2) 目录:包括标题和页数。
- (3) 设计任务书。
- (4) 设计方案说明。
- (5) 设计条件及主要物性参数表。
- (6) 工艺设计计算:包括物料平衡和热量平衡及主要设备尺寸计算。
- (7) 设计结果汇总表:包括物料衡算表、热量衡算表及设备的操作条件和结构尺寸表。
- (8) 结束语:介绍设计者对完成该设计的评价和体会。
- (9) 设备图:包括主体和辅助设备图。
- (10) 参考文献:列出设计引用文献、书籍的编号、名称、作者及年份等。

此外,本设计要求选用合适的比例并采用 A3 (420mm × 297mm) 或 A2 (594mm × 420mm) 图纸绘制设备图。对图纸的要求为:

- (1) 图面上应包括设备的主要尺寸、技术特性;
- (2) 字迹工整,图面整洁,布局美观;
- (3) 图表清晰,尺寸标注准确,各部分线型粗细符合国家冶金制图标准。

1.2.2 冶金工艺设计的基本原则

冶金工艺设计人员除了必须严格遵守国家的有关方针政策、法律法规和行业规范,尤其是国家的工业经济法规、环境保护法规和安全法规外,还应遵守以下基本原则:

(1) 设计的先进性和可靠性。设计人员不仅应具有丰富的技术知识和实践经验,较强的创新意识和精神及严谨的科学工作态度,还应掌握先进的设计工具和手段,运用先进的设计技术,进行可靠性和科学性设计。

(2) 设计的经济性。由于设计本身是一个多目标优化问题,对于同一个问题可有多种解决方法,因此,设计时应从降低生产者的投资,以获取最大的经济利润考虑,选用经济合理的设计方案。

(3) 设计的安全性。为确保生产人员的安全和健康,设计时应充分考虑冶金生产各环节可能出现的危险,并选用可有效防止发生危险的设计方案。

(4) 清洁冶金生产。设计人员应建立清洁冶金生产的理念,尽量选用冶金生产过程少产生“三废”的设计方案,以降低生产者对“三废”处理设备的投资和操作费用。

(5) 冶金生产的可操作性和可控制性。在冶金设备的设计时,应重点考虑冶金过程的可操作性和可控制性,以便进行安全、稳定的生产。

1.3 冶金工艺设计中应注意的问题

冶金工艺设计中应注意以下几个问题:

(1) 冶金工艺设计是在任课教师的指导下由学生独立完成的,在设计中学生需发挥其主观能动性,独立思考和分析问题,教师的作用则是指明设计思路,启发学生独立思考,解答疑难问题,并进行设计阶段审查;学生还应按照设计任务要求,认真阅读相关图书和文献资料,刻苦钻研,创造性地进行设计。

(2) 冶金工艺设计是首次对学生进行较全面的设计训练,应遵循“设计、计算—评价—再设计、再计算”的渐进与优化过程,学生在整个设计过程中应严肃认真、精益求精。

(3) 为了减轻设计的重复工作量,加快速度,提高质量,可继承前人的设计经验;但继承不是盲目、机械地抄袭,而是要具体分析,按照标准和规范进行创造性的设计。

(4) 设计过程中应注意随时整理计算结果,保证设计图纸和设计计算说明书的质量。要求设计图纸图面整洁,制图符合标准,设计计算说明书书写规范、条理清晰,说明书中的设计参数的选择与图纸反映的参数一致。

2 高炉炼铁

2.1 高炉炼铁原料与产品

高炉炼铁过程有投入量和产出量,简称高炉炼铁投入产出量,它包括两个方面,一是高炉炼铁投入产出的物质,另一是高炉炼铁投入产出的热量。高炉炼铁投入产出的物质中,投入物称为高炉炼铁原料,产出物称为高炉炼铁产品。高炉炼铁投入产出的热量中,投入热量称为高炉炼铁热收入,产出热量称为高炉炼铁热支出。

2.1.1 高炉炼铁原料及其要求

高炉炼铁所用的原料包括铁矿石、熔剂、燃料及其代用品,它是炼铁的物质基础。冶炼一吨生铁所需原料量应根据原料质量而定,一般情况下,冶炼每吨生铁需要 1.5 ~ 2.0t 铁矿石,0.4 ~ 0.6t 焦炭和 0.1 ~ 0.2t 熔剂。

为了实现高炉的高产、优质和低耗,达到较好的技术经济指标,应尽可能地为高炉炼铁提供质量好的原料。

2.1.1.1 铁矿石及其质量要求

高炉炼铁所用的矿石主要是铁矿石,此外还有用作炼锰铁或调节生铁成分的锰铁矿。铁矿石的化学成分,就元素来说,主要有 Fe、Mn、S、P、C 等,就化合物来说,主要有 FeO 、 Fe_2O_3 、 SiO_2 、 CaO 、 Al_2O_3 、 MgO 、 MnO 、 P_2O_5 、 FeS 、 FeSO_4 和 CaSO_4 等。

铁矿石可分为 4 种类型:磁铁矿、赤铁矿、褐铁矿和菱铁矿。其中含铁量高的为富矿,含铁量低的为贫矿。富矿经破碎成适宜块度即可直接入炉冶炼;贫矿必须经过处理后才能入炉冶炼。经过处理后的矿石称为熟矿(或人造富矿),未经处理的矿石称为生矿(或天然矿)。对铁矿石的质量要求如下:

(1) 矿石含铁量(即矿石品位)。它是衡量矿石质量的主要指标。若铁矿石含铁量低,则其冶炼价值低,不利于提高产量、降低焦比。铁矿石含铁量低到一定程度将失去冶炼价值,因此,铁矿石含铁量应愈高愈好。工业上使用的铁矿石,其含铁量在 23% ~ 70% 范围;一般情况下,铁矿石含铁量低于 45%,要进行冶炼前处理。

(2) 脉石成分。铁矿石中不含铁的矿物成分称为脉石,其常见的化学成分有 SiO_2 、 CaO 、 Al_2O_3 、 MgO 、 MnO 、 P_2O_5 、 FeS 等,通常以 SiO_2 为多。当铁矿石中碱性氧化物(CaO)与酸性氧化物(SiO_2)的比值跟炉渣中所要求的比值相近时,冶炼该类矿石时可以不加或少加熔剂,此种矿石称自熔性矿石;当精矿石中含酸性氧化物高时,就需要加入大量碱性熔剂,从而导致渣量增加、焦比升高。所以,希望铁矿石中的酸性氧化物含量越低越好,碱性氧化物含量越高越好。

(3) 有害元素。在铁矿石中常见的有害元素是硫(S)和磷(P)。含硫高的钢材在高温时强度低,轧制或锻压时会断裂,使钢材产生“热脆性”。因此各种钢材都有最高的

含硫限度。含硫量高于0.3%的矿石称为高硫矿石。虽然在冶炼过程中可以去硫，但要多消耗燃料和熔剂，这样提高了成本，降低了生产效率。所以要求铁矿石中含硫量越低越好。含硫高的矿石必须在入炉前进行脱硫处理。含磷高的钢材会产生“冷脆性”。除少数炼高磷铸造生铁允许有较高的含磷量外，一般生铁含磷量越低越好。由于高炉中无法脱磷，因此应尽量控制入炉矿石的含磷量。

(4) 矿石的还原性。它是指铁矿石中的氧化物被还原的难易程度。还原性好的矿石有利于降低焦比，因此冶炼时希望矿石的还原性好。铁矿石还原性好坏取决于矿石类型、孔隙度大小和粒度大小等因素。磁铁矿的组织致密，最难还原；赤铁矿有中等的气孔率，比较容易还原；最容易还原的是焙烧后的褐铁矿和菱铁矿，因为这两种矿石在失去结晶水和 CO_2 后，孔隙度增加。人造富矿比天然矿的还原性要好。目前人造富矿一般是用 FeO 的含量多少来表示其还原性， FeO 含量高的，其还原性不好。

(5) 矿石软化性。它是指矿石开始变形时的温度和开始变形到变形终了时的温度区间的大小。软化温度越低，软化区间越大，影响料柱透气性越严重。因此，矿石软化温度越高、软化区间愈小，对高炉冶炼就越有利。

(6) 矿石的强度和粒度组成。矿石强度不好则易产生粉末。矿石粉末多，粒度小或不均，都将恶化高炉内料柱透气性，导致炉况不顺，因此，一般规定小于5mm的粒度不能入炉。但是粒度过大又会影响炉料的加热和矿石的还原。粒度的上限与矿石的还原性有关，对于难还原的磁铁矿其粒度不大于40mm；较易还原的赤铁矿和褐铁矿不大于50mm；中小高炉一般不大于25~30mm。

(7) 矿石化学成分的稳定性。矿石化学成分波动，会引起炉温、炉渣碱度和生铁质量的波动，造成炉况不顺，使焦比升高，产量降低。因此，要保证高炉炉况的稳定，应首先要保证铁矿石化学成分的稳定。

2.1.1.2 熔剂及其质量要求

矿石中的脉石、焦炭中的灰分在高炉冶炼过程中都将进入熔渣，而其氧化物的熔点都很高（ SiO_2 1710℃， Al_2O_3 2050℃），为使它们形成低熔点物质，必须加入一定量熔剂（ CaO 、 MgO ）。如比例合适，则它们混合后熔化温度可降到1300℃以下，这使炉渣不仅完全熔化，而且具有良好的流动性，从而使渣铁容易分离。此外， CaO 还具有脱硫能力，能改善生铁质量和控制生铁含硅量。综上所述，熔剂的作用可概括为：

- (1) 降低炉渣熔化温度，促进渣铁分离；
- (2) 形成适宜炉渣碱度，以脱除生铁中硫；
- (3) 控制生铁成分，以改善生铁质量。

由于高炉用的熔剂主要是碱性熔剂，因此对碱性熔剂的质量有以下几点要求：

(1) 要求碱性氧化物含量高，酸性氧化物含量低（或有效熔剂性高）。评价熔剂常以有效熔剂性表示。有效熔剂性是指熔剂按炉渣碱度 $w(\text{CaO})/w(\text{SiO}_2)$ 的要求，扣除其本身酸性氧化物含量造渣所消耗的碱性氧化物外，剩余部分的碱性氧化物含量。它可用下式表示：

$$w_{\text{有效熔剂性}} = w(\text{CaO} + \text{MgO})_{\text{熔}} - w(\text{SiO}_2)_{\text{熔}} R \quad (2-1)$$

式中 $w(\text{CaO} + \text{MgO})_{\text{熔}}$ ， $w(\text{SiO}_2)_{\text{熔}}$ ——熔剂中 CaO 、 MgO 、 SiO_2 含量；

$$R \text{——炉渣碱度}, R = \frac{w(\text{CaO} + \text{MgO})_{\text{熔}}}{w(\text{SiO}_2)_{\text{熔}}}。$$

如果只考虑 CaO, 则式 (2-1) 可改写为:

$$w(\text{CaO})_{\text{有效}} = w(\text{CaO})_{\text{熔}} - w(\text{SiO}_2)_{\text{熔}} R'$$

式中, $w(\text{CaO})_{\text{有效}}$ 为有效氧化钙, $R' = \frac{w(\text{CaO})_{\text{熔}}}{w(\text{SiO}_2)_{\text{熔}}}。$

显然, 有效熔剂性 $w(\text{CaO})_{\text{有效}}$ 高比较好, 一般要求 $w(\text{CaO} + \text{MgO})_{\text{熔}} > 50\%$, $w(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)_{\text{熔}} \leq 3.5\%$, 否则熔剂消耗大, 降低其有效熔剂性。

(2) 有害杂质, 特别是 S、P 含量要低。

(3) 强度要高, 粒度适宜且均匀性好 (大型高炉 25 ~ 50mm、中小型高炉 10 ~ 30mm), 粉末要少。

目前高炉大多使用自熔性人造富矿 (在造块时已加入熔剂), 高炉直接加入熔剂只是作为临时调剂措施。

2.1.1.3 燃料及其质量要求

高炉使用的燃料主要是焦炭, 还有喷吹物 (如天然气、焦炉煤气、柴油和煤粉等), 它们在高炉冶炼过程中可作为发热剂和还原剂。此外, 由于焦炭在高温下不熔化、不软化, 在炉内可起着支撑料柱的骨架作用, 因此可以利用它来调节炉内煤气流分布。

对燃料的质量要求有以下几点:

(1) 含碳量和碳氢化物量要高, 灰分要低, 否则加入的熔剂量大, 导致渣量大、热耗量大, 燃料比升高。

(2) 含硫等有害杂质要少。高炉中的硫 70% ~ 80% 来自焦炭, 因此降低焦炭含硫量对降低生铁含硫量的意义很大。

(3) 化学成分要稳定, 即要求灰分、C、S 及 H_2O 等稳定。

(4) 要求焦炭强度好、粒度均匀、粉末少。焦炭强度差, 在炉内易粉化, 会恶化料柱透气性, 造成炉况不顺、炉缸堆积、风口烧坏等事故。

2.1.1.4 其他代用品

在钢铁工业和其他工业部门有一些废弃物含有一定量的铁, 可作为高炉炼铁铁矿石的代用品, 例如高炉炉尘、转炉炉尘、轧钢皮、硫酸渣、废铁以及一些有色金属矿经选矿后剩下的含铁尾矿和炉渣等。对这些代用品的质量要求主要是含铁量要高, 化学成分要稳定。

2.1.2 高炉炼铁产品及主要技术经济指标

2.1.2.1 高炉炼铁产品

(1) 生铁。生铁是铁元素与碳元素的合金, 其含碳量一般为 1.7% ~ 4.8%, 还含有少量硅、锰、硫和磷等。生铁质硬而脆, 不便轧制和焊接。

高炉生铁可分为炼钢生铁、铸造生铁、合金生铁和高炉铁合金 4 种。炼钢生铁含硅量不大于 1.75%, 在生铁产量中占 80% ~ 90%; 铸造生铁的含硅量较高, 在生铁产量中约占 10%; 合金生铁是利用铁矿的共生金属炼成含有少量铜、钒、镍等有益元素的生铁; 高炉铁合金是高炉炼铁时加入其他成分炼成含有多种合金元素的铁, 如硅铁、锰铁等。高

炉生铁的主要化学成分见表 2-1。

表 2-1 高炉生铁的主要化学成分 (w)

%

化学成分	Fe	C	Si	Mn	P	S
生 铁	①	3.0~4.5	0.2~2.0	0.2~2.5	0.02~0.05	0.01~0.05
钢	①	0.08~1.2	0.01~0.3	0.3~0.8	0.01~0.05	0.01~0.05

① $100\% - w[\text{C}] - w[\text{Si}] - w[\text{Mn}] - w[\text{P}] - w[\text{S}]$ 。

(2) 高炉渣。高炉渣是矿石中的脉石、焦炭中的灰分及熔剂等在高炉冶炼过程中熔化而形成的。以前, 炉渣往往作为废弃物扔掉, 如今它在工业上有着广泛的用途。液体炉渣用水急冷可粒化成水渣作为水泥原料。用蒸汽或压缩空气将液体炉渣吹成渣棉可作绝热材料。炉渣经过处理可以作建筑或铺路原料。总之, 合理地综合利用炉渣不仅可为国家创造财富, 同时也可降低生铁成本。高炉渣的主要化学成分见表 2-2。

表 2-2 高炉炉渣的主要化学成分 (w)

%

化 学 成 分	含 量	主 要 来 源	在炉渣中的作用
CaO	38~42	烧结料	改善流动性, 脱硫
SiO ₂	30~35	铁矿石和焦炭灰分	—
Al ₂ O ₃	12~16	铁矿石和焦炭灰分	含量增加, 则流动性降低
MgO	2~8	烧结料	改善流动性, 脱硫

(3) 高炉煤气。高炉煤气发热值为 $3553 \sim 4389 \text{ kJ/m}^3$, 它除用来烧热风炉加热鼓风, 还可供炼钢、炼焦、轧钢等车间或锅炉房使用。不同铁种时高炉煤气的化学成分见表 2-3。

表 2-3 不同铁种时高炉煤气的化学成分 (w)

%

成 分 铁 种	CO	CO ₂	N ₂	H ₂	CH ₄
炼钢生铁	21~26	14~21	55~57	1.0~2.0	0.2~0.8
铸造生铁	26~30	11~14	58~60	1.0~2.0	0.3~0.8
锰 铁	33~36	4~6	57~60	2.0~3.0	0.2~0.5

(4) 炉尘。炉尘是高炉煤气在炉内上升时带出的颗粒状固体炉料, 其中含铁为 30%~50%, 含碳为 5%~15%。炉尘量的多少与烧结矿和焦炭质量有关, 烧结矿和焦炭中粉粒越多, 则煤气带出的炉尘量越多。冶炼每吨生铁煤气带出的炉尘量一般为 10~30kg。炉尘经过回收后, 可供烧结厂作为烧结矿原料。高炉炉尘的主要化学成分见表 2-4。

表 2-4 高炉炉尘的主要化学成分 (w)

%

取样位置	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	P	S	Fe	烧损	Mn
除尘器	13.34	1.40	10.67	43.80	12.0	—	0.027	0.238	40.0	17.29	0.1
除尘器后	12.66	5.83	14.05	12.30	7.63	3.31	0.181	0.68	14.58	34.84	0.27

2.1.2.2 高炉生产技术经济指标

高炉生产的目的在于使用最低的原料消耗,获得产量最高、质量最好的生铁。评价高炉生产技术水平和经济效果常用的技术经济指标有:

(1) 高炉有效容积利用系数。它是指高炉每立方米有效容积 (V_u) 日产生铁的吨数 (P), 简称高炉利用系数 η_v , 其单位为 $t/(m^3 \cdot d)$, 其表达式为:

$$\eta_v = \frac{P}{V_u} \quad (2-2)$$

高炉利用系数是衡量高炉生产率的一个重要指标。高炉利用系数越大,表明高炉生产率越高。式 (2-2) 中生铁日产量是以炼钢生铁为校准计算的,其他各种牌号的生铁可按冶炼难易程度折合为炼钢生铁吨数。铸造生铁的折算系数随硅含量不同而存在差异,通常为 1.14 ~ 1.34。

高炉利用系数一般为 $2.3 \sim 2.8 t/(m^3 \cdot d)$, 先进高炉达 $3 t/(m^3 \cdot d)$ 以上。

(2) 焦比 (K) 或燃料比。焦比是指生产每吨生铁所消耗的焦炭量 (Q) 或燃料量,其表达式为:

$$K = \frac{Q}{P}, \text{kg/t}$$

焦比是衡量高炉燃料消耗的一个重要指标。焦比越低,表明高炉生产中焦炭消耗量越少。大中型高炉焦比一般为 400kg/t , 宝钢焦比最低达到 250kg/t 。

采用喷吹燃料的高炉,除向高炉加入焦炭外,还要在风口处向炉内喷吹天然气、煤粉等燃料。由此引出燃料比的概念。燃料比是指生产每吨生铁所消耗的燃料量 (包括焦炭和喷吹物的总和)。燃料比通常约为 500kg/t 。

(3) 冶炼强度 (I)。它是指高炉每立方米有效容积焦炭 (或燃料) 的日消耗量,其表达式为:

$$I = \frac{Q}{V_u}, t/(m^3 \cdot d)$$

冶炼强度是衡量高炉生产强化程度的一个重要指标。冶炼强度越高,表明高炉生产强化程度越高。它取决于高炉所能接受的风量,即高炉鼓风量越高,则燃烧的焦炭也越多,高炉生产强化程度越高。在喷吹情况下,其冶炼强度称为综合冶炼强度,它除焦炭外还考虑喷吹物在内。目前国内外的冶炼强度一般均在 1.0 左右。

高炉有效容积利用系数、焦比和冶炼强度之间的关系为:

$$\eta_v = \frac{I}{K}$$

对一定容积的高炉,产量与冶炼强度成正比,与焦比成反比,所以提高冶炼强度、降低焦比是提高产量的两个基本方面。

(4) 焦炭负荷。它是指每批料中矿石量与焦炭量的比值,即每吨焦炭承担的矿石量。焦炭负荷越高,表明每批料中的矿石量越多。其单位为 t/t , 其表达式为:

$$\text{焦炭负荷} = \frac{\text{矿石质量(批重)}}{\text{焦炭质量(批重)}}$$

(5) 生铁合格率。它是指化学成分 (主要是 Si 和 S) 符合国家标准生铁量占总生铁量的百分比。它是评价高炉优质生产的重要指标。