

冶金设备系列教材之二

# 火法冶金设备

唐漠堂 主 编  
何 静 副主编

 中南大学出版社

封面设计 / 易红卫

ISBN 7-81061-798-2



9 787810 617987 >

ISBN 7-81061-798-2/TD · 008

定价: 38.00 元

冶金设备系列教材之二

# 火法冶金设备

主 编 唐谟堂  
副主编 何 静

中南大学出版社

## 火法冶金设备

主 编 唐谟堂

副主编 何 静

---

责任编辑 秦瑞卿

出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路 邮编:410083

发行科电话:0731-8876770 传真:0731-8710482

电子邮件:csucbs @ public. cs. hn. cn

经 销 湖南省新华书店

印 装 中南大学印刷厂

---

开 本 787×960 1/16 印张 22 字数 402 千字

版 次 2003年11月第1版 2003年11月第1次印刷

书 号 ISBN 7-81061-798-2/TD·008

定 价 38.00 元

---

图书出现印装问题,请与经销商调换

## 前 言

本教材是根据学校和冶金科学及工程学院对冶金工程专业的教学改革的要求,在本教材试用稿已试用4年的基础上而编写的,适于冶金工程专业本科生使用,也可供有关工程技术人员参考。在内容编排上,考虑到本专业以后的发展,书的内容较多,讲授时可酌情删减。

冶金设备系列教材共三本,将陆续出版。《冶金设备系列教材之一——冶金设备基础》主要介绍流体力学及传热、传质和动量传递的基本原理和应用基础,流体输送和热平衡计算;另外还讲述流体及颗粒物料输送设备及热交换设备。《冶金设备系列教材之二——火法冶金设备》主要介绍火法冶金设备的分类、结构尺寸、工作原理、应用范围、选择原则及发展趋势等内容;此外,还对耐热及保温材料、燃料与燃烧计算以及燃烧器等作了介绍;还要说明的是,与试用稿比较,本教材之二补充了炼铁高炉、炼钢转炉及电炉等钢铁冶金设备的内容。《冶金设备系列教材之三——湿法冶金设备》对反应槽、储槽、液固分离设备、水溶液电解设备、萃取及离子交换设备、蒸发及浓缩结晶设备等湿法冶金设备的内容作了详细介绍;并对防腐材料及设备防腐等有关知识给予讲述。书中按章附有思考题和习题,以利培养学生运用基本概念和解决实际问题的能力。

本教材将《冶金炉》和《化工原理及设备》两本教材合并,内容重组,是冶金工程专业课程体系的一大改革和首次尝试。这对加强冶金工程专业本科生的冶金设备基础和冶金设备工程知识将很有补益。

参加本教材编写工作的有中南工业大学唐漠堂(绪论、《火法冶金设备》的第二篇,《湿法冶金设备》第一、七篇),李运姣(《冶金设备基础》第一、二篇),曹别(《冶金设备基础》第三篇,《湿法冶金设备》第四、五、六篇),何静(《火法

金设备》第一篇的第一、二章，第三篇的第二、三章)，姚维义(《火法冶金设备》第三篇的第一、四、五章)，彭志宏(《火法冶金设备》第一篇的第三章，第四篇，《湿法冶金设备》第二、三篇)；另外曾德文参与了试用稿中篇第一、二章，第五章(部分)，下篇第七章的撰写工作。冶金设备系列教材全书由唐漠堂主编，李运姣、何静和曹判分别担任《冶金设备基础》、《火法冶金设备》和《湿法冶金设备》的副主编。

中南大学梅炽、任鸿九、李洪桂、刘道德、郭遼、彭容秋、张多默、张启修等老教师及冶金学院领导和原冶金系张传福、刘志宏等领导对本教材的编写提供了不少宝贵建议和组织领导工作，编者在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限，编写时间仓促，书中错误一定不少，恳请读者批评指正。

编 者

2002年10月

# 目 录

绪 论	(1)
0.1 冶金设备的内容	(1)
0.2 国际单位制和单位换算	(2)

## 第一篇 火法冶金设备工程基础

1 耐火及保温材料	(6)
1.1 概 述	(6)
1.1.1 耐火材料在冶金中的地位和作用	(6)
1.1.2 冶金炉对耐火材料的要求	(6)
1.2 耐火材料的分类、组成及性质	(7)
1.2.1 耐火材料的分类	(7)
1.2.2 耐火材料的一般化学矿物组成	(7)
1.2.3 耐火材料的物理性质	(8)
1.2.4 耐火材料的工作性能	(12)
1.3 常用耐火材料及其特性	(15)
1.3.1 硅酸铝质耐火制品	(15)
1.3.2 硅砖	(18)
1.3.3 镁质耐火制品	(20)
1.3.4 含碳耐火材料	(21)
1.3.5 不定形耐火材料	(22)
1.4 耐火材料的外形尺寸	(24)
1.5 水冷与挂渣保护	(24)
1.5.1 水冷挂渣机理	(24)
1.5.2 水套	(25)
1.5.3 热挂渣保护	(25)
1.6 绝热材料	(26)
1.6.1 概 述	(26)
1.6.2 常用绝热材料	(27)

习题及思考题 .....	(29)
<b>2 燃料与燃烧 .....</b>	<b>(30)</b>
2.1 概 述 .....	(30)
2.1.1 燃料的定义及种类 .....	(30)
2.1.2 组织燃烧过程和炉子工作关系 .....	(31)
2.2 燃 料 .....	(31)
2.2.1 燃料的组成与换算 .....	(31)
2.2.2 燃料发热量及计算 .....	(35)
2.2.3 常用燃料 .....	(37)
2.3 燃烧计算 .....	(41)
2.3.1 概 述 .....	(41)
2.3.2 空气需要量、燃烧产物量及其成分的计算 .....	(41)
2.3.3 燃烧温度的计算 .....	(46)
2.4 燃料的燃烧与燃烧器 .....	(53)
2.4.1 气体燃料的燃烧及烧嘴 .....	(53)
2.4.2 液体燃料的燃烧与烧嘴 .....	(58)
2.4.3 固体燃料的燃烧 .....	(63)
习题及思考题 .....	(69)
<b>3 气固分离设备 .....</b>	<b>(72)</b>
3.1 概 述 .....	(72)
3.2 重力收尘器与惯性收尘器 .....	(72)
3.2.1 重力收尘器 .....	(72)
3.2.2 惯性收尘器 .....	(74)
3.3 旋风收尘器 .....	(75)
3.3.1 旋风收尘器工作原理 .....	(75)
3.3.2 旋风收尘器的类型 .....	(76)
3.3.3 旋风收尘器型号选择与阻力损失计算 .....	(81)
3.4 过滤式收尘器 .....	(83)
3.4.1 过滤式收尘的原理 .....	(85)
3.4.2 过滤式收尘装置 .....	(85)
3.5 电收尘器 .....	(89)
3.5.1 电收尘器的工作原理 .....	(89)
3.5.2 电收尘器的类型与特点 .....	(89)
3.5.3 常用电收尘器结构尺寸与技术性能 .....	(93)



3.5.4 电收尘器选择计算 .....	(94)
3.6 湿式收尘器 .....	(94)
3.6.1 湿式收尘器的类型与特性 .....	(95)
3.6.2 快速收尘器 .....	(95)
习题及思考题 .....	(97)

## 第二篇 焙烧及干燥设备

1 干燥工程基础 .....	(99)
1.1 湿空气性质和焓湿图 .....	(99)
1.1.1 湿空气的性质 .....	(99)
1.1.2 焓湿( $I-X$ )图 .....	(101)
1.2 干燥计算 .....	(101)
1.2.1 确定干燥介质的状态参数 .....	(101)
1.2.2 干燥过程计算 .....	(103)
习题及思考题 .....	(107)
2 回转窑 .....	(108)
2.1 概 述 .....	(108)
2.2 回转窑的结构及结构参数 .....	(110)
2.2.1 回转窑的结构 .....	(110)
2.2.2 回转窑的结构参数 .....	(112)
2.3 回转窑的运转参数及生产能力 .....	(113)
2.3.1 运转参数 .....	(113)
2.3.2 生产能力 .....	(115)
2.4 主要尺寸及传动功率计算 .....	(116)
2.4.1 筒体直径的计算 .....	(116)
2.4.2 筒体长度的计算 .....	(116)
2.4.3 传动功率的计算 .....	(117)
2.5 回转窑的改进方向 .....	(118)
习题及思考题 .....	(119)
3 流态化焙烧(干燥)炉 .....	(120)
3.1 概 述 .....	(120)
3.2 流态化焙烧炉工作原理 .....	(122)

3.2.1	流化床的形成 .....	(122)
3.2.2	流态化范围与操作速度 .....	(123)
3.3	流态化焙烧炉构造及主要尺寸计算 .....	(123)
3.3.1	流态化焙烧炉的设备系统及一般构造 .....	(123)
3.3.2	炉体及主要部件 .....	(124)
3.3.3	主要尺寸的确定和生产率计算 .....	(128)
3.4	流态化焙烧炉的改进方向及发展趋势 .....	(131)
3.4.1	流态化焙烧的改进方向 .....	(131)
3.4.2	流态化焙烧炉的发展趋势 .....	(132)
	习题及思考题 .....	(132)
<b>4</b>	<b>多膛炉</b> .....	(133)
4.1	概  述 .....	(133)
4.2	多膛炉结构和工作原理 .....	(133)
<b>5</b>	<b>烧结设备</b> .....	(135)
5.1	概  述 .....	(135)
5.2	带式烧结机 .....	(137)
	习题及思考题 .....	(139)
<b>6</b>	<b>其他干燥设备</b> .....	(140)
6.1	概  述 .....	(140)
6.2	气流干燥器 .....	(141)
6.2.1	气流干燥装置 .....	(141)
6.2.2	气流干燥的特点 .....	(142)
6.3	喷雾干燥器 .....	(143)
6.3.1	概  述 .....	(143)
6.3.2	喷雾器 .....	(144)
6.3.3	喷雾室 .....	(145)
6.4	旋转快速干燥器 .....	(146)
6.5	盘式干燥器 .....	(147)
6.6	带式干燥器 .....	(148)
6.7	干燥器的选型 .....	(149)
	习题及思考题 .....	(150)

## 第三篇 熔炼设备

1 竖 炉 .....	(152)
1.1 概 述 .....	(152)
1.1.1 竖炉内物料下降运动 .....	(152)
1.1.2 竖炉内料层热交换的特点 .....	(153)
1.2 炼铁高炉 .....	(154)
1.2.1 概 述 .....	(154)
1.2.2 高炉本体结构 .....	(156)
1.2.3 高炉技术现状及发展趋势 .....	(165)
1.3 鼓风炉 .....	(168)
1.3.1 概 述 .....	(168)
1.3.2 鼓风炉结构 .....	(169)
1.3.3 鼓风炉操作参数与单位生产率 .....	(171)
1.3.4 鼓风炉的主要尺寸计算 .....	(174)
1.3.5 鼓风炉技术数据 .....	(177)
习题及思考题 .....	(179)
2 熔池熔炼设备 .....	(180)
2.1 概 述 .....	(180)
2.2 反射炉 .....	(180)
2.2.1 概 述 .....	(180)
2.2.2 反射炉的结构 .....	(181)
2.2.3 反射炉内热传递 .....	(185)
2.2.4 周期作业反射炉主要尺寸计算 .....	(186)
2.2.5 周期作业反射炉的技术参数 .....	(188)
2.2.6 反射炉的烘烤制度 .....	(189)
2.3 其他熔池熔炼炉 .....	(191)
2.3.1 诺兰达炉 .....	(191)
2.3.2 瓦纽柯夫炉 .....	(196)
2.3.3 白银法熔炼炉 .....	(202)
2.3.4 三菱法熔炼炉 .....	(206)
2.3.5 QSL 熔炼炉 .....	(210)
2.3.6 奥斯麦特炉 .....	(211)
习题及思考题 .....	(215)

3	塔式熔炼(精炼)设备 .....	(216)
3.1	概 述 .....	(216)
3.2	闪速炉 .....	(216)
3.2.1	概 述 .....	(216)
3.2.2	闪速炉的结构简介 .....	(217)
3.2.3	闪速炉的生产率及主要尺寸计算 .....	(219)
3.2.4	闪速炉主要结构参数及技术数据 .....	(222)
3.2.5	闪速炉的新发展 .....	(225)
3.3	基夫塞特炉 .....	(225)
3.3.1	概 述 .....	(225)
3.3.2	基夫赛特法的工作原理及特点 .....	(226)
3.3.3	基夫赛特炉主要设备选择 .....	(227)
3.4	锌精馏塔 .....	(228)
3.4.1	概 述 .....	(228)
3.4.2	精馏设备及炉座组合形式 .....	(229)
3.4.3	锌精馏塔的生产能力和塔盘的尺寸 .....	(231)
3.4.4	锌精馏法的现状和发展动向 .....	(234)
	习题及思考题 .....	(234)
4	转 炉 .....	(235)
4.1	概 述 .....	(235)
4.2	炼钢转炉 .....	(236)
4.2.1	炼钢转炉的分类及应用 .....	(236)
4.2.2	转炉炉型及其主要参数确定 .....	(236)
4.2.3	氧气顶吹转炉 .....	(240)
4.2.4	氧气底吹转炉 .....	(244)
4.2.5	氧气侧吹转炉 .....	(246)
4.2.6	氧气复合吹炼转炉 .....	(247)
4.3	炼铜转炉 .....	(251)
4.3.1	卧式转炉的结构及技术特性 .....	(251)
4.3.2	卧式转炉规格选择及尺寸和参数的计算 .....	(252)
4.3.3	炼铜转炉技术新发展 .....	(255)
4.4	其他转炉 .....	(256)
4.4.1	回转式精炼炉 .....	(256)
4.4.2	卡尔多转炉 .....	(259)
	习题及参考题 .....	(260)

5 电 炉 .....	(261)
5.1 概 述 .....	(261)
5.2 矿热电炉 .....	(262)
5.2.1 概 述 .....	(262)
5.2.2 矿热电炉结构 .....	(263)
5.2.3 矿热电炉的主要参数及尺寸计算 .....	(264)
5.2.4 矿热电炉的主要结构参数及技术经济指标 .....	(267)
5.3 感应电炉 .....	(269)
5.3.1 感应电炉的分类、用途、特点及工作原理 .....	(269)
5.3.2 工频铁芯感应电炉 .....	(270)
5.3.3 工频无芯感应炉 .....	(276)
5.4 其他电炉 .....	(280)
5.4.1 真空电弧炉 .....	(280)
5.4.2 等离子炉 .....	(282)
5.4.3 等电子束炉 .....	(284)
习题与思考题 .....	(286)

## 第四篇 融盐电解槽

1 概 述 .....	(287)
2 铝电解槽 .....	(288)
2.1 铝电解槽的工作原理 .....	(288)
2.2 铝电解槽的发展历史和现状 .....	(290)
2.3 铝电解槽的构造及技术参数 .....	(296)
2.3.1 预焙阳极电解槽 .....	(296)
2.3.2 自焙阳极电解槽 .....	(306)
2.4 未来铝电解槽的改进 .....	(311)
2.4.1 现有电解槽的改造 .....	(311)
2.4.2 新型电解槽 .....	(312)
习题及思考题 .....	(313)
3 镁电解槽 .....	(314)
3.1 镁电解槽结构 .....	(314)
3.1.1 上插阳极镁电解槽 .....	(314)

3.1.2	旁插阳极镁电解槽 .....	(317)
3.1.3	道屋型镁电解槽 .....	(318)
3.1.4	无隔板镁电解槽 .....	(319)
	习题及参考题 .....	(320)
4	稀土金属熔盐电解槽 .....	(321)
	习题及参考题 .....	(324)

## 附    录

I	耐火材料和固体材料的性质 .....	(325)
I - 1	中低温绝热材料的主要性能 .....	(325)
I - 2	耐火可塑料的性能 .....	(326)
I - 3	镁质和铬质耐火捣打料参考配比 .....	(327)
I - 4	常用固体材料的重要性质 .....	(328)
I - 5	耐火浇注料的理化指标(GB3712 - 83) .....	(329)
II	燃料燃烧 .....	(329)
II - 1	燃烧产物的平均比热及热含量的近似值 .....	(329)
II - 2	常用气体的平均恒压比热( $\times 4.187 \text{ kJ}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{C}^{-1}$ )(标准状态) .....	(330)
II - 3	烟气( $\text{CO}_2 = 13\%$ , $\text{H}_2\text{O} = 11\%$ , $\text{N}_2 = 76\%$ )物理参数(101325 Pa) .....	(331)
II - 4	烟气的主要物理参数(101325 Pa) .....	(331)
II - 5	各种不同发热量燃料燃烧需要的理论空气量和烟气量 .....	(332)
II - 6	空气及煤气的饱和水蒸气含量(101325 Pa) .....	(333)
II - 7	燃料在空气中的着火温度和燃气空气混合物的着火浓度 .....	(334)
II - 8	燃烧反应的热反应(标准状态) .....	(335)
II - 9	几种主要燃料的特性 .....	(336)
III	环境卫生及安全的有关数据 .....	(337)
III - 1	作业地带空气中粉尘的最高容许浓度 .....	(337)
III - 2	气体和蒸气爆炸浓度极限 .....	(337)
	主要参考文献 .....	(339)

# 绪 论

## 0.1 冶金设备的内容

可供开发利用的有64种有色金属,加上铁、锰、铬三种黑色金属共67种,每种金属的冶炼方法均不相同,而且同一种金属有的有多种生产流程。但从冶炼温度及物料干湿状态看,可归纳为火法(干法)及湿法两类过程。焙烧、煅烧、烧结、熔炼、吹炼、精炼、熔盐电解可视为火法过程,广义地讲,干燥及收尘也属此范畴。而湿法过程则包括搅拌及混合、浸出、沉淀、固液分离、溶液电解、蒸发及浓缩、精馏、萃取、离子交换、吸收及吸附、解吸等单元过程。

以上诸过程所遵循的基本原理只有四种,即流体动力学原理、传热原理、传质原理以及化学和物理化学原理。其中化学及物理化学原理在相关课程中已有详细介绍。前三种基本原理简称动量传递、热量传递和质量传递,为冶金设备系列教材之一(《冶金设备基础》)研究的主要内容。火法过程的设备主要是炉窑。冶金炉非常重要,在现代,一种新冶金炉往往就代表着一种新的冶炼方法,如闪速熔炼法,基夫赛特法、悉罗法等等。因此,冶金设备系列教材之二:《火法冶金设备》重点研究冶金炉(窑),并对燃料及燃烧、耐火及保温材料、收尘等与火法冶金密切相关的内容亦作系统介绍。冶金炉(窑)种类繁多,每种炉(窑)均是个大系统,它包括炉(窑)本体和炉(窑)热工辅助系统两大部分。炉(窑)本体包括炉基、耐火砌体(炉顶、炉墙、炉底等)、保温砌体、支撑加固结构、运转机构等。炉(窑)热工辅助系统通常包括供风排烟装置、加料装置、供配电装置、炉体强制冷却与余热利用装置、自动检测与过程控制装置等。冶金设备系列教材之三:《湿法冶金设备》研究的重点是湿法过程设备,它包括反应设备、固液分离设备、水溶液电解设备、萃取及离子交换设备、蒸发及浓缩设备、精馏设备等。这些设备的分类及用途、特点及选型、现状及发展、典型设备的结构及工作原理、主要尺寸计算等均作详细介绍。此外,还系统介绍设备腐蚀及防腐的有关知识。

通过上述内容的学习以及做习题、实验和课程设计等教学环节,要求学生达到:

(1) 掌握冶金设备的基础理论,学会分析与诊断冶金设备运行过程中出现的

有关“三传”、燃烧、耐火及保温、腐蚀及防腐等问题的方法。

(2) 学会一般冶金设备的计算方法,初步掌握选用标准设备的方法以及设计非标设备的一般方法和知识。

(3) 了解冶金设备节能及环保的基本知识,初步学会对现有冶金设备进行节能及环保为目的的技术改造。

## 0.2 国际单位制和单位换算

本书一律采用国家标准局制订的有关量和单位的国家标准。全套标准均用国际单位制(SI)。SI制由7个基本单位和2个辅助单位组成(见表0-1)。与本课程有关的具有专门名称的导出单位见表0-2。我国法定计量单位中还包括了15个非国际单位制单位,如时间单位制中的分(min)、时(h)、天(d)、质量单位中的吨(t)、体积单位中的升(L)、声级单位中的分贝(dB)等。工程计算中必须先将同一算式中所有物理量换算成同一种单位制,然后进行运算。常用单位换算关系见表3。

表0-1 SI单位制

物理量		单位名称	单位代号
基本单位	长度	米	m
	质量	公斤、千克	kg
	时间	秒	s
	电流(强度)	安培	A
	温度	开(尔文)	K
	光强	烛光	Cd
	物质的量	摩尔	mol
辅助单位	平面角	弧度	rad
	立体角	球面度	Sr



表 0-2 具有专门名称的导出单位

物理量	单位名称	单位代号	定义式
力	牛顿	N	$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \times 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
压强、压力	帕(斯卡)	Pa	$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$
能、功、热量	焦耳	J	$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \times 1 \text{ m}$
功率	瓦(特)	W	$1 \text{ W} = 1 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$
电位	伏(特)	V	$1 \text{ V} = 1 \text{ J} \cdot \text{A}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$
电阻	欧(姆)	$\Omega$	$1 \Omega = 1 \text{ V} \cdot \text{A}^{-1}$

表 0-3 常用单位换算关系

物 理 量	制 外 单 位	对应的国际单位
压力(压强、应力)	1 Bar(巴)	$10^5 \text{ Pa}$
	$1 \text{ Dyn} \cdot \text{cm}^{-2}$	0.1 Pa
	1 at( = $1 \text{ kgf} \cdot \text{cm}^{-2}$ )	98066.5 Pa
	1 atm(标准大气压)	101325 Pa
	$1 \text{ mm H}_2\text{O}$ ( = $1 \text{ kgf} \cdot \text{m}^{-2}$ )	9.80665 Pa
	1 mm Hg( = 1 托)	133.322 Pa
动力粘度	1 P(泊)( = $1 \text{ Dyn} \cdot \text{s} \cdot \text{cm}^{-2}$ )	$0.1 \text{ Pa} \cdot \text{s}$
	$1 \text{ kgf} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-2}$	$9.80665 \text{ Pa} \cdot \text{s}$
运动粘度	1 st(斯托克斯)	$10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
	$1 \text{ m}^2 \cdot \text{h}^{-1}$	$277.8 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
温度	$1 \text{ }^\circ\text{C}$	1 K
	$1 \text{ }^\circ\text{F}$ (华氏度)	$5/9 \text{ K}$
比热	$1 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	$4186.8 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
功、能、热量	$1 \text{ kg} \cdot \text{m}$	9.80665 J
	1 HP·h(马力·小时)	$2.648 \times 10^6 \text{ J}$
	1 kW·h	$3.6 \times 10^6 \text{ J}$
	1 W·h	$3.6 \times 10^3 \text{ J}$
	1 erg(尔格)	$10^{-7} \text{ J}$
	1 Btu( = 0.252 kcal)	1055.06 J