冶金设备系列教材之三

湿法冶金设备

主摇编摇唐谟堂
副主编摇曹摇剁

中南大学出版社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

前摇摇言

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 源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大学唐谟堂（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），曹刿（《冶金设备基础》第三篇，《湿法冶金设备》第四、五、六篇），何静（《火法冶

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谟堂主编，李运姣、何静和曹艺分别担任《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、郭逵、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。

编摇者

圆圆圆年 员月

目摇摇录

绪摇摇论 …… (员)
员郾员摇冶金设备的内容 …… (员)
员郾圆摇国际单位制和单位换算 …… (圆)

第一篇摇防腐材料及设备防腐

员摇概述 …… (缘)
员郾员摇腐蚀的定义 …… (缘)
员郾圆摇设备腐蚀的种类 …… (缘)
员郾猿摇设备防腐的意义 …… (怨)
员郾源摇耐腐蚀等级的评定 …… (员园)
习题及思考题 …… (员源)
圆摇防腐材料及适用范围 …… (员缘)
圆郾员摇金属防腐材料 …… (员缘)
圆郾圆摇有机防腐材料 …… (员怨)
圆郾猿摇无机非金属防腐材料 …… (圆园)
圆郾源摇防腐材料的适用范围和选用方法 …… (圆缘)
习题及思考题 …… (猿员)
猿摇冶金设备防腐方法 …… (猿园)
猿郾员摇结构材料自身防腐 …… (猿园)
猿郾圆摇结构材料表面衬、涂、镀防腐层 …… (猿猿)
猿郾猿摇电化学防腐 …… (源缘)
习题及思考题 …… (缘园)

第二篇 湿法混合反应器

概述 …… (1)

机械搅拌反应器 …… (1)

立式机械搅拌反应器 …… (1)
其他机械搅拌反应器 …… (7)
机械搅拌器 …… (10)
搅拌混合反应器的传热装置 …… (15)

气流搅拌混合反应器 …… (16)

帕秋卡槽 …… (16)
鼓泡塔 …… (19)
空气升液搅拌槽 …… (20)
空气机械搅拌槽 …… (21)

流化床反应器 …… (22)

管道反应器 …… (23)

溶出管道系统 …… (23)
单管预热(兼换热)原高压釜溶出系统 …… (25)
管道—停留罐溶出系统 …… (26)
习题和思考题 …… (27)

第三篇 液固分离设备

概述 …… (28)

基本概念 …… (28)
液固分离设备的分类及应用 …… (28)

需要全本请访问 www.ertongbook.com

员员员摇凝聚、絮凝和絮凝剂 …… (员员员)

圆摇沉降分离设备 …… (员员员)

圆员摇概述 …… (员员员)
圆圆摇沉降分离原理及沉降槽的设计计算 …… (员员八)
圆猿摇间歇式沉降槽 …… (员员九)
圆源摇连续沉降槽 …… (员圆九)
圆缘摇离心沉降设备 …… (员猿员)

猿摇过滤分离设备 …… (员猿缘)

猿员摇概述 …… (员猿缘)
猿圆摇重力过滤机 …… (员源九)
猿猿摇压力过滤机 …… (员源九)
猿源摇真空过滤机 …… (员缘员)
猿缘摇离心过滤机 …… (员缘圆)
思考题和习题 …… (员缘九)

第四篇摇萃取设备

员摇概述 …… (员远九)

员员摇基本原理 …… (员远九)
员圆摇萃取设备简介 …… (员远九)
员猿摇溶剂萃取在冶金中的应用 …… (员苑源)

圆摇混合澄清器 …… (员苑圆)

圆员摇简单箱式混澄器 …… (员苑圆)
圆圆摇其他结构的混澄器 …… (圆员源)

猿摇塔式萃取设备 …… (圆员缘)

猿员摇概述 …… (圆员缘)
猿圆摇筛板萃取塔 …… (圆员缘)

3.2.3 填料萃取塔 …… (123)
3.2.4 转盘萃取塔 …… (125)
3.2.5 往复筛板萃取塔 …… (126)
3.2.6 脉冲萃取塔 …… (127)
3.2.7 萃取计算和萃取塔的设计 …… (128)

3.3 离心萃取器 …… (131)

3.3.1 概述 …… (131)
3.3.2 圆筒式离心萃取器的特点 …… (131)
3.3.3 圆筒式离心萃取器的结构 …… (132)
3.3.4 几个特性参数的确定 …… (133)
3.3.5 圆筒式离心萃取器的应用 …… (134)
习题及思考题 …… (135)

第五篇 离子交换设备

5.1 概述 …… (136)

5.2 离子交换剂 …… (138)

5.2.1 离子交换剂的种类及结构特征 …… (138)
5.2.2 离子交换树脂的结构特征及种类 …… (139)
5.2.3 离子交换树脂的基本性能 …… (140)

5.3 离子交换过程和设备系统 …… (142)

5.3.1 间歇式离子交换过程和设备 …… (142)
5.3.2 柱式固定床离子交换单元 …… (143)
5.3.3 连续式离子交换过程和设备 …… (145)
5.3.4 混合床离子交换系统 …… (146)

5.4 离子交换设备设计 …… (148)

5.4.1 接触式设备 …… (148)

5.2.1 固定填充床设备 (129)
5.2.2 移动填充床设备 (132)

5.3 离子交换的工业应用实例 (135)

5.3.1 铀的分离与提纯 (135)
5.3.2 含铬废水的处理 (137)
5.3.3 离子交换在水处理中的应用 (138)
习题及思考题 (139)

第六篇 蒸发结晶设备

6.1 概述 (142)

6.1.1 蒸发过程 (142)
6.1.2 蒸发的基本流程 (143)
6.1.3 蒸发的操作方法 (143)

6.2 蒸发设备 (144)

6.2.1 循环蒸发器 (144)
6.2.2 非循环型 (单程型) 蒸发器 (147)
6.2.3 各类蒸发器的性能比较 (149)
6.2.4 蒸发的辅助设备 (150)

6.3 蒸发器的设计 (151)

6.3.1 蒸发过程计算 (151)
6.3.2 单效蒸发器的计算 (153)
6.3.3 多效蒸发的流程和计算 (155)

6.4 结晶设备 (157)

6.4.1 结晶操作及有关问题 (157)
6.4.2 结晶设备 (157)
习题及思考题 (159)

第七篇摇水溶液电解设备

员摇概述 …… (3)
圆摇电解槽 …… (3)
圆员摇电解槽结构及尺寸计算 …… (3)
圆圆摇电解槽绝缘 …… (3)
圆猿摇电极及电极材料 …… (3)
猿摇供电系统 …… (3)
猿员摇整流器 …… (3)
猿圆摇输电线路 …… (3)
源摇电解液循环系统 …… (3)
源员摇贮液槽 …… (3)
源圆摇高位槽 …… (3)
源猿摇电解液加热器 …… (3)
源源摇电解液循环泵 …… (3)
习题及思考题 …… (3)

附摇录

附录Ⅰ摇常用搅拌设备的技术性能及参数 …… (3)
附录Ⅱ摇常用过滤设备的性能及参数 …… (3)
附录Ⅲ摇常用萃取齐及有机溶剂的种类、性能和参数 …… (3)
主要参考文献 …… (3)

绪摇摇论

0鄹摇冶金设备的内容

可供开发利用的有 远源种有色金属，加上铁、锰、铬三种黑色金属共 远苑种，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：

（员 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。

(圆) 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。

(猿) 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圆 摇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 (简称。简称制由 苑个基本单位和 圆个辅助单位组成 (见表 园原员。与本课程有关的具有专门名称的导出单位见表 园原圆。我国法定计量单位中还包括了 员缘个非国际单位制单位，如时间单位制中的分 (皂遭)、时 (澡)、天 (凿)、质量单位中的吨 (则)、体积单位中的升 (蕴)、声级单位中的分贝 (凿月) 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 猿。

表 园原员 摇简单单位制

物理量		单位名称	单位代号
基本单位	长度	米	皂
	质量	公斤、千克	噪
	时间	秒	泽
	电流 (强度)	安培	粤
	温度	开 (尔文)	运
	光强	烛光	悦
	物质的量	摩尔	皂
辅助单位	平面角	弧度	则
	立体角	球面度	糟

需要全本请访问 www.ertongbook.com

表 园原圆摇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	晕	员晕越员喘伴员皂 泽圆
压强、压力	帕（斯卡）	孕葬	员孕葬越员晕 皂原圆
能、功、热量	焦耳	允	员允越员晕伴员皂
功率	瓦（特）	宰	员宰 越员允泽猿员
电位	伏（特）	灾	员灾越员允粤原员 泽猿员
电阻	欧（姆）	Ω	员Ω 越员灾 粤原员

表 园原圆摇常用单位换算关系

物摇理摇量	制摇外摇单摇位	对应的国际单位
压力（压强、应力）	员斤藻则（巴）	员缘 孕葬
	员则澳凿 糟皂原圆	员蚤员园 孕葬
	员藻责 越员喘枣 枣糟皂原圆）	怨愿园园园园 孕葬
	员糟澳（标准大气压）	员园员猿缘园园 孕葬
	员皂皂 勻圆韵（越员喘枣 枣皂原圆）	怨愿园园园园 孕葬
	员皂皂 勻异（越员千）	员藻责愿园园园 孕葬
动力粘度	员孕·泊）（越员则凿 泽糟皂原圆）	员蚤员园 孕葬泽
	员喘枣泽皂原圆	怨愿园园园园 孕葬泽
运动粘度	员斯（斯托克斯）	员园原缘皂圆·泽猿员
	员皂圆·澡猿员	员园原缘皂圆·泽猿员
温度	员益	员运
	员°F（华氏度）	缘愿怨运
比热	员喘藻糟喘枣猿员·运原员	员园园园园允喘枣猿员·运原员
功、能、热量	员喘枣皂	怨愿园园园园允
	员勻孕·澡（马力·小时）	员愿园园伴员蚤 允
	员喘宰·澡	猿愿园伴员蚤 允
	员宰·澡	猿愿园伴员蚤 允
	员藻耳（尔格）	员园缘 允
	员月磁（越员圆圆园喘藻糟）	员园怨圆园园允

续表 猿

物摇理摇量	制摇外摇单摇位	对应的国际单位
功率、热流	员蚤藻糙藻糟藻[原员]	员奥员园[猿]
	员藻糟藻[原]	员园[猿]
	员匀孕(马力)	猿怨园员源怨园[怨]≈员园[猿]
导热系数	员蚤藻糙藻糟藻(皂·澡·益)[原员]	员奥员园[猿]·(皂·运)[原员]
	员藻糟藻(糟皂·泽·益)[原员]	员园[猿]·(皂·运)[原员]
	员月怎(澡·糟·°F)[原员]	员园[猿]·(皂·运)[原员]
	员月怎(月·澡·°F)[原员]	员园[猿]·(皂·运)[原员]
传热系数	员蚤藻糙藻糟藻(皂[圆]·澡·益)[原员]	员奥员园[猿]·(皂[圆]·运)[原员]
	员藻糟藻(糟皂[圆]·泽·益)[原员]	员园[猿]·(皂[圆]·运)[原员]
	员月怎(澡·糟·°F)[原员]	员园[猿]·(皂[圆]·运)[原员]

第一篇
防腐材料及设备防腐

1摇概述

1郾摇腐蚀的定义

各种材料、设备和构筑物在外界的大气、水分、阳光、高温和应力作用下，在酸、碱、盐和有机溶剂的物理、化学和电化学因素作用下，以及在生物化学因素作用下引起的变质和破坏现象统称为腐蚀。简言之，物质在环境介质的作用下引起的变质或破坏称为腐蚀。

金属材料的腐蚀主要是由于环境因素的化学和电化学作用引起的损耗或破坏。非金属材料在环境的化学、机械和物理因素作用下，出现的龟裂、氧化、溶胀、强度下降或丧失强度以及重量的增减变化等叫做非金属材料的腐蚀。金属材料在化学、电化学和机械的诸因素同时作用下产生的损耗一般称为腐蚀性磨蚀、磨损腐蚀或摩擦腐蚀。

各种材料的耐腐蚀性是相对的，绝对耐腐蚀的材料是不存在的，所以一定的材料只能适用于一定的环境条件，例如材料所接触的介质种类、浓度、温度、作用时间、压力和材料在该介质条件下的受力状态等。

1郾摇设备腐蚀的种类

设备是由金属材料或非金属材料或两者复合构成的，腐蚀种类依材料不同而异。

1.1 摇金属腐蚀的分类

金属腐蚀的分类方法很多，通常是根据腐蚀的机理、腐蚀环境和腐蚀的破坏形式等来分类，具体情况如表 1.1.1。

表 1.1.1 摇金属腐蚀的分类

分类方法	腐蚀名称	腐蚀定义	危害情况
以腐蚀机理分类	①化学腐蚀	摇金属和非电解质直接发生的不交换电子的化学作用而引起的破坏。	摇很少见，如铝在纯乙醇中的破坏。
	②电化学腐蚀	摇金属和电解质发生的交换电子的电化学反应而发生的腐蚀。	摇非常普遍，危害极为严重。
	③生物化学腐蚀	摇金属在栖息于土壤内或水中的好气或厌气细菌作用下通过生物化学反应过程而导致的破坏。	较普遍。
按腐蚀环境分类	①大气腐蚀	摇金属受大气中湿气的作用，在其表面形成一薄层水膜，因而产生的电化学腐蚀。	摇大气污染严重的工业区腐蚀作用大。
	②水腐蚀	摇金属在水中的腐蚀，这实际上是一种电化学腐蚀。	摇冷却、冷凝设备等均受水腐蚀。
	③土壤腐蚀	摇埋在地下的金属管道设备受土壤中盐类，物质溶液和微生物的作用而引起的破坏。	摇主要是电化学腐蚀，也伴有生物化学腐蚀，后者加速前者。
	④化学介质剂腐蚀	摇金属在化学介质中的腐蚀，它是一种最通常，最广泛的电化学腐蚀。	危害最大。
按金属破坏形式分类	①全面腐蚀	摇金属在腐蚀介质的作用下，腐蚀分布在整个表面上，可分均匀的和不均匀的两种。	危害最小。
	②局部腐蚀	摇腐蚀作用仅发生在金属的某一局部区域，可分为斑点腐蚀，孔穴腐蚀，缝隙腐蚀，表面下腐蚀，晶间腐蚀，选择性腐蚀，磨损腐蚀，应力腐蚀和腐蚀疲劳等类型。	摇腐蚀速度很快，有时产生突发性破坏，危害最大。
	③氢侵蚀	摇腐蚀反应或加工过程中放出氢气，渗透到金属内部引起的金属破坏称为氢侵蚀或氢损伤；常温下产生氢脆，高温（≥圆圆℃）产生氢腐蚀。	危害大。

摇摇常见的设备腐蚀情况举例：表 员原员原圆列举了美国杜邦公司、日本金属工业公司及德国某化工厂的设备腐蚀破坏情况。从表 员原员原圆中可以看出，均匀腐蚀破坏占较高的比例，但对生产设备不构成威胁，并且可以先预防，而不带来恶性事故。而应力腐蚀、氢脆及腐蚀疲劳等会给设备带来灾难性破坏，并且难以预防。因此，在设备设计，制造，运行时，应予以高度重视。

表 员原员原圆摇部分国外企业设备腐蚀破坏情况 （豫）

腐蚀破坏形态	美国 （杜邦公司 员缘缘圆原员缘缘缘年统计）	德国 （某化工厂 员缘缘远原员怨缘圆年统计）	日本 （金属工业公司 员怨缘员原员怨愿愿年统计）
均匀腐蚀	猿愿援缘	猿缘援园	员园援愿
应力腐蚀	圆愿援远	圆缘援园	猿缘援园
腐蚀疲劳	员园援愿	员远援园	
氢摇 脆	员圆援缘		
孔摇 蚀	员缘援苑	缘援园	圆援园
晶间腐蚀	员园援圆	源援园	员园援缘
磨损腐蚀	苑援源	远援园	
空泡腐蚀	员园援员	远援园	
磨振腐蚀	员圆援缘		
缝隙腐蚀	员园援愿		圆援圆
选择腐蚀	员园援员		
非水溶液和高温腐蚀		猿援园	
其他腐蚀	远援愿	员园援圆	缘援缘

摇摇注：各类腐蚀事故的统计为 员园园豫。

1圆圆圆摇非金属材料的腐蚀

非金属材料的腐蚀主要是在环境的物理、化学、生物化学和应力作用下在材料的表面产生变色、龟裂、松软或脆化，使腐蚀介质进一步向材料内部渗透、扩散，引起溶胀溶解和应力开裂等而导致结构的破坏。非金属材料的腐蚀过程可概括以下六种情况，列于表 员原员原缘

表 员原员原遥非金属材料的腐蚀分类及危害

腐蚀名称	腐摇蚀摇内摇涵	危害情况及预防措施
①银纹与裂纹	摇高分子材料因介质的渗入首先其表面部分被增塑，降低屈服极限。在应力的作用下，表面产生塑性和大分子高度取向，结果形成银纹。在更大应力的作用下，内部一部分大分子与另一部分大分子完全割断联系，便形成了完全由孔隙组成的裂纹。	摇银纹的生成与生长，加剧了介质的渗透并成为应力集中点，为发生脆性断裂提供了先决条件，而裂纹是脆性断裂的开始。
②渗透与扩散	摇一方面介质通过高分子材料表面向内部扩散，另一方面高分子材料中的可溶组分及腐蚀产物又向外扩散渗出进入介质中。	摇渗透和扩散速度越大，高分子材料的腐蚀就越显著。
③溶胀与溶解	摇溶剂分子渗入到非晶态高分子材料内部，并发生溶剂化作用，引起体积增大或重量增加，称之为高聚物的溶胀；对于线性结构的高分子材料，溶胀度继续增大，直到充分溶剂化或从表面开始逐渐向溶剂中扩散，最终完成溶解过程。	摇对高分子材料的力学性能和机械性能有很强的破坏作用。因此，要按照极性相似性原则和溶解度参数相近原则来选择耐某种溶剂腐蚀的材料。
④氧化与水解	摇大分子链上存在着易被氧化的薄弱环节的高分子材料在辐射或紫外线等外界因素的作用下能被氧化或被氧化性介质直接氧化；键能越强，就越不易氧化。 水与大分子链上的极性键，发生作用使高分子材料产生降解的过程就称为水解。匀[恒]及 酝匀[原]是水解的催化剂，酸与碱易使极性键产生水解而导致高分子材料的腐蚀。	摇氧化与水解是高分子材料受到腐蚀破坏的两种最主要的化学反应，因此，其危害最大。 摇在大分子上引入卤素或具有杂链可提高其抗氧化性；如聚氯乙烯比聚乙烯有更好的抗氧化性，含有苯环的酚醛树脂就具有较好的抗氧化性，添加抗氧化剂也可提高高分子材料的抗氧化能力。耐水解性能主要取决于水解活化能和高聚物的结构及聚集状态，结晶态更能耐水解腐蚀。

需要全本请访问 www.ertongbook.com