

YEJIN YUANLI

冶金原理

主 编◎周兰花

副主编◎刘松利 向国齐

陈绿英 丁满堂



重庆大学出版社

<http://www.cqup.com.cn>

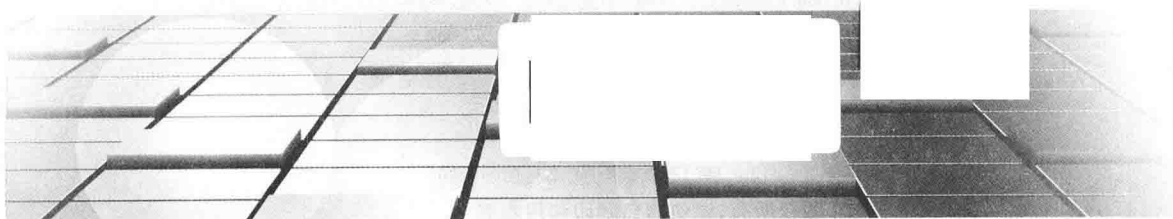
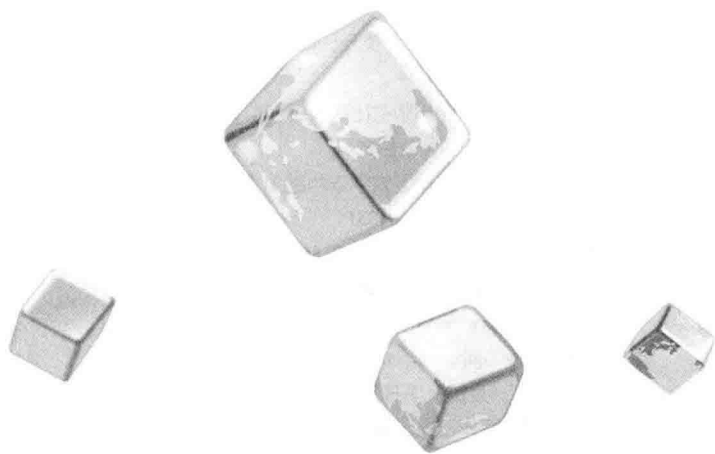


冶金原理

主 编◎周兰花

副主编◎刘松利 向国齐

陈绿英 丁满堂



重庆大学出版社

内容简介

本书根据全日制高等教育冶金工程专业教育计划的要求而编写。全书共 12 章,以物理化学原理为基础,有机结合黑色金属和有色金属冶金基本原理,包含热力学基础知识、动力学基础知识、冶金熔体的物理化学性质、金属氧化物的还原、粗金属氧化精炼、有色金属的湿法提纯、熔盐电解过程的特殊现象等内容。每章后均附有一定量的复习思考题。

本书可作为高等工科院校冶金工程专业、材料科学与工程、化工专业的参考用书,也可作为高职高专、成人高校相关专业的教材,还可供从事冶金的研究人员、工程技术及管理人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

冶金原理/周兰花主编. —重庆:重庆大学出版社,2016.10

ISBN 978-7-5689-0171-0

I. ①冶 II. ①周… III. ①冶金—高等学校—教材

IV. ①TF01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 235123 号

冶金原理

主 编 周兰花

副主编 刘松利 向国齐

陈绿英 丁满堂

策划编辑:杨粮菊

责任编辑:文 鹏 版式设计:杨粮菊

责任校对:谢 芳 责任印制:赵 晟

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:易树平

社址:重庆市沙坪坝区大学城西路 21 号

邮编:401331

电话:(023)88617190 88617185(中小学)

传真:(023)88617186 88617166

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn(营销中心)

全国新华书店经销

万州日报印刷厂印刷

*

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:19.5 字数:487千

2016 年 10 月第 1 版 2016 年 10 月第 1 次印刷

印数:1—1 000

ISBN 978-7-5689-0171-0 定价:39.80 元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究

前言

冶金原理以普通化学、高等数学、物理化学等为基础,与物理化学相比,更接近于实际应用。它是冶金工程专业基础课程,是重要的核心课程,是衔接冶金工程专业的基础课与专业课的桥梁和纽带。通过该课程的学习,能了解冶金生产过程的基本方法、基本过程、基本理论和基本规律,进一步设计开发出冶金工艺流程,解决冶金生产问题等。

本书以冶金物理化学原理为基础,重点将热力学知识融入高温火法冶金、湿法冶金、电冶金中,涵盖了黑色金属和有色金属的冶金原理,形成了一个有机体系。内容编排上,本书以热力学基础知识、动力学基础知识、冶金熔体的物理化学性质、金属氧化物的还原、粗金属氧化精炼、有色金属的湿法提纯、熔盐电解过程的特殊现象为个体形成独立的章节。每个章节包含学习内容、学习要求、主体内容和课后复习四个部分,并穿插了部分例题,为读者知识和技能的提高提供了方便。

本书包含了钢铁冶金原理和有色金属冶金原理两大部分,共12章。第1章由周兰花编写,第2章由周兰花、刘松利、向国齐、苟淑云编写,第3章由周兰花、刘松利编写,第4章由周兰花、张士举、向国齐编写,第5、6、7章由周兰花编写,第8章由陈绿英、丁满堂编写,第9章由周兰花、孙艳编写,第10章由周兰花、陈绿英编写,第11章由周兰花、刘松利、朱奎松编写,第12章由冯向琴、丁虎标编写。全书由周兰花统一修改定稿。

本书的出版得到了攀枝花学院自编教材项目、攀枝花学院重点学科建设项目的资助。本书在编写过程中,参考了大量资料,作者在此表示衷心的感谢。由于作者水平有限,书中难免存在一些错误和不妥之处,敬请读者批评指正。

编者

2016年7月

目 录

1 绪论	1
1.1 提取冶金的含义、冶金用原料及其产品	1
1.2 冶金方法与现代冶金生产过程	2
1.3 冶金原理基本任务、研究内容	6
1.4 学习冶金原理课程的目的、意义	6
1.5 冶金原理的发展	7
复习思考题	7
2 溶液热力学基础	8
2.1 溶液热力学性质	8
2.2 几种溶液	14
2.3 含多组分稀溶液中组分活度相互作用系数	22
2.4 化学反应的方向与限度(化学平衡)	26
2.5 冶金反应标准吉布斯自由能变化($\Delta_r G_m^\theta$)	30
2.6 溶液中组分活度测定与计算	37
2.7 标准溶解吉布斯自由能	47
2.8 有溶液组分参与的反应的 $\Delta_r G_m^\theta$ 及 ΔG 计算	49
复习思考题	51
3 冶金过程动力学	53
3.1 化学反应动力学基础	54
3.2 扩散动力学基础	58
3.3 多相反应基本理论	60
3.4 稳定态或准稳定态原理	65
3.5 冶金动力学模型	65
3.6 速率限制环节的确定方法	71
3.7 反应过程速率的影响因素	72
3.8 金属液结晶过程动力学	73

复习思考题	76
4 冶金熔体相图	79
4.1 相图基础知识	79
4.2 二元相图	82
4.3 主要二元渣系相图	92
4.4 三元系相图	96
4.5 主要三元系渣系相图	124
复习思考题	129
5 冶金熔体结构及性质	131
5.1 金属熔体	131
5.2 冶金熔渣	136
复习思考题	157
6 化合物生成-分解反应及碳氢的燃烧反应	159
6.1 氧化物的生成-分解反应	160
6.2 碳酸盐生成-分解反应	170
6.3 硫化物生成-分解反应	172
6.4 氯化物的生成-分解反应	174
6.5 碳氢燃烧反应	175
复习思考题	178
7 还原过程	180
7.1 还原反应的热力学	181
7.2 简单氧化物被 CO/H_2 还原	182
7.3 简单氧化物被 C 还原	185
7.4 复杂体系的还原	187
7.5 金属热还原反应的热力学	189
7.6 真空还原	191
复习思考题	192
8 氧化过程	194
8.1 氧化熔炼反应的热力学原理	194
8.2 脱碳反应	198
8.3 锰、硅、铬的氧化	206
8.4 脱磷反应	211
8.5 脱硫反应	213
8.6 气体的溶解与脱气、气泡冶金	218

8.7 脱氧反应·····	221
8.8 钢液的合金化·····	225
复习思考题 ·····	225
 9 硫化矿的火法冶金基础·····	227
9.1 硫化矿的热力学性质及处理方法·····	227
9.2 硫化物焙烧过程热力学·····	229
9.3 硫化矿的造钼熔炼及钼的吹炼·····	235
复习思考题 ·····	240
 10 粗金属的高温分离提纯过程 ·····	241
10.1 熔析与凝析精炼 ·····	242
10.2 区域精炼 ·····	244
10.3 蒸馏与升华精炼 ·····	247
复习思考题 ·····	252
 11 湿法分离提纯 ·····	253
11.1 浸出的热力学 ·····	253
11.2 影响浸出速率的因素 ·····	264
11.3 净化的热力学 ·····	265
复习思考题 ·····	281
 12 熔盐电解 ·····	282
12.1 熔盐的特点 ·····	282
12.2 熔盐结构 ·····	284
12.3 熔盐的物理化学性质 ·····	284
12.4 熔盐电解过程的基本规律 ·····	291
12.5 熔盐电解过程的特殊现象 ·····	296
复习思考题 ·····	302
 参考文献 ·····	303

1

绪 论

学习内容:

冶金方法,冶金用原料,冶金原理研究内容,学习冶金原理课程意义。

学习要求:

- 了解冶金方法、冶金用原料、提取冶金过程、学习冶金原理课程意义。
- 理解并掌握冶金原理研究内容。

1.1 提取冶金的含义、冶金用原料及其产品

从历史发展来看,广义的冶金可理解为金属矿物的勘探、开采、选矿、冶炼和有色金属及其合金、化合物的加工等过程,它与冶炼在内涵上有一定区别。冶炼是指从含有金属的物料(如矿石、精矿)或冶炼过程中间产物中提取纯金属或制取金属化合物,乃至生产合金的过程。狭义的冶金是指矿石或精矿的冶炼,即提取冶金。由于科学技术的进步和工业的发展,采矿、选矿和金属加工已各自形成独立的学科。

提取冶金研究从矿石中提取金属或金属化合物的生产过程,由于该过程伴有化学反应,故又称化学冶金。

从矿石和其他含有金属的产品中提炼出金属,除去杂质,并制成合金,以及经处理使之成为标准中间产物的工业,叫作冶金工业。

冶金工业使用的主要原料是矿石或精矿。矿石是矿物的集合体,一般是指在现代技术经济技术条件下能从中提取有用成分的岩石。矿物是指在地壳中具有固定化学组成和物理化学性质的天然化合物或天然元素。自然界中的矿物大部分是以化合物形式存在的。矿石一般由有用矿物和脉石组成,能够被经济有效地利用的矿物称为有用矿物,不能被利用的矿物称为脉石。由于地质成矿作用,有用矿物可以富集在一起,形成矿石堆积。在地壳内或地表上矿石大量积聚形成具有开采价值的区域叫作矿床。矿石可分为金属矿石和非金属矿石两类。按金属存在的化学状态分类,金属矿石可分为自然矿石、硫化矿石、氧化矿石和混合矿石。有用矿物是自然元素的金属矿石称为自然矿石,如自然金、银、铂等;有用矿物为矿化物的金属矿石称为硫化矿石,如黄铜矿、方铅矿等;有用矿物是氧化物的矿石称为氧化矿石,如磁铁矿、赤铁矿、赤

铜矿等。根据矿石中所含有用元素种类分类,矿石可分为单一矿石和复合矿石。复合矿石是指在现代技术经济条件下能够从中提出两种或两种以上有用化合物或金属的矿石,如钒钛磁铁矿石。为经济有效地提取矿石中有用成分,矿石中主要成分的品位(含量)应达到一定要求。自然界中品位高、能直接用于冶炼的富矿较少,品位低、不能用于直接冶炼的贫矿较多。直接用贫矿冶炼时,每吨金属的费用很高,为此需要通过选矿等方法提高贫矿品位,使其成为精矿。随着冶金工业的发展,高品位的富矿越来越少,精矿使用比例将越来越高。

冶炼的主要产品是金属。金属在强度、导电性、导热性、延展性等方面具有优良的性能。冶炼过程中,矿石中的一些氧化物能同时发生还原,因此得到的金属一般不是纯金属,往往含有一定量的杂质元素。现代工业习惯把金属分为黑色金属和有色金属两大类,铁、铬、锰三种金属属于黑色金属,其余的金属都属于有色金属。黑色金属中常见的有生铁和钢。生铁是指其中C元素的质量分数 $\geq 2\%$ 的铁基合金,钢是指其中C元素的质量分数 $< 2\%$,并含有其他种类元素、能通过塑性加工成型的铁基合金。铁是现代工业中应用最广、产量最大的金属。有色金属又分为重金属、轻金属、贵金属和稀有金属四类。

重金属包括铜、铅、锌、锡、镍、钴等,密度很大,一般为 $7 \sim 11 \text{ g/cm}^3$ 。轻金属包括铝、镁、钙、钠和钡等,密度一般小于 5 g/cm^3 。贵金属包括金、银、铂以及铂族元素金属,这些金属在空气中不会被氧化,因此它们的价值比一般的金属高。稀有金属指那些发现较晚、在自然界中分布较分散以及在提炼方法上比较复杂、在工业上应用较迟、用途有限的金属,包括钛、钒、锆、锂、铪等。许多稀有金属在地壳中的含量很少,但含量少并不是稀有金属的共同特征,有一些稀有金属在地壳中的含量较普通金属的含量高得多。随着科学技术的发展,人们对稀有金属的研究、生产、应用日益增加,对某些稀有金属而言,“稀有”二字已失去了其原有的涵义,也有许多稀有金属被划入普通金属之列,如某些国家不将钛、钨列为稀有金属。

1.2 冶金方法与现代冶金生产过程

1.2.1 冶金方法

绝大多数矿石在自然状态下以固体形式存在,矿石中有用矿物和脉石性质不同。所有的金属除汞以外,在常温下都是以固体状态存在。使用矿石或精矿提炼金属时,一般先将矿中金属氧化物还原至金属,然后将还原得到的金属与其他脉石成分熔化为两个不相溶的相或转入两个不相溶的相中,前者往往需要高温,后者所需温度相对较低。根据上述冶炼特点以及高温获取方式,提取冶金的方法可分为三大类:火法冶金、湿法冶金和电冶金。

火法冶金是指矿石在高温下发生一系列物理化学变化,使其中的金属和杂质分开,获得较纯金属的过程。火法冶金过程所需的能源主要由燃料燃烧提供,个别的靠自身反应放热(如金属热还原)。火法冶金具有生产率高、流程短、设备简单及投资省的优点,但不利于处理成分结构复杂的矿石或贫矿。

湿法冶金是指在低温下(一般低于 100°C ,现代湿法冶金开发的高温高压过程,其温度可达 $200 \sim 300^\circ\text{C}$)用熔剂处理矿石或精矿,使所要提取的金属溶解于溶液中,而其他杂质不溶解,通过液固分离制得含金属的净化液,然后再从净化液中将金属提取和分离出来。湿法冶金

主要包括的环节有:浸取、净化、金属制取(电解、置换等方法制取金属)。湿法冶金能弥补火法冶金的一些缺点,但其有流程较长、占地面积大、设备设施需要耐酸或耐碱材料等缺点。

电冶金是利用电能获得高温来提取、精炼金属。按电能转换形式不同,电冶金又可分为电热冶金和电化学冶金两类。电热冶金是利用电能转变为热能,在高温下提炼金属。电冶金与火法冶炼在冶炼过程中的物理反应相似,所不同的是冶金过程的热能来源不同。电化学冶金是利用电化学反应,使金属从含金属盐的溶液或熔体中析出。电化学冶金又分为水溶液电化学冶金和熔盐电化学冶金两类。水溶液电化学冶金是指在低温水溶液中进行电化反应,使金属从含金属盐类的溶液中析出的过程,如铅电解精炼。熔盐电化学冶金(也可称熔盐电解)是指在高温熔融体中进行电化反应,使金属从含金属盐类的熔体中析出的过程,如铝电解。熔盐电解中不仅需要利用电能转变为电化反应,而且也利用电能转变为热能,加热金属盐类使其成为熔体。

1.2.2 现代冶金生产过程

(1) 火法冶金

火法冶金生产主要包括的环节有:原料准备(破碎、磨粉、筛分、配料等),原料冶炼前处理(干燥、煅烧、焙烧、烧结、造球或制球团等),熔炼(氧化、还原、造锍、卤化等),吹炼,蒸馏,熔盐电解,火法精炼等。图 1.1 为钢铁冶金主要生产过程。钢铁冶金多采用火法过程,主要包括 3 个工序:炼铁、炼钢、二次精炼。

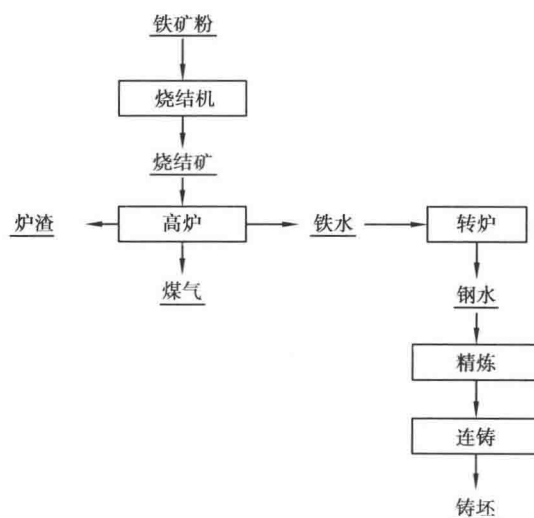


图 1.1 钢铁冶金流程

1) 炼铁

炼铁是用还原剂(如 C)将矿石中铁氧化物还原至金属铁,溶入部分还原杂质元素,成为生铁,并熔化为液态铁,与未还原化合物组成的液态炉渣分离。生铁中含有较高的杂质成分和有害成分(如 S、P 等),可称为粗金属,一般作为炼钢原料,少部分用作铁合金或铸造生铁。

2) 炼钢

炼钢是以粗金属-液态生铁为主要原料,利用氧化剂将液态生铁中过多的杂质元素通过氧化作用去除的过程。

3) 二次精炼

二次精炼是将在常规炼钢炉中完成的精炼任务,如去除杂质(包括不需要的元素、气体和夹杂)、调整和均匀成分和温度的任务,部分或全部地移到真空、惰性气体或还原性气氛下的容器中进行,变一步炼钢为二步炼钢。炉外精炼可提高钢的质量,缩短冶炼时间,优化工艺流程。

(2) 湿法冶金

湿法冶金生产主要包括的环节有:原料准备(破碎、磨粉、筛分、配料等),原料预处理(干燥、煅烧、焙烧等),浸出或溶出,净化,沉降,浓缩,过滤,洗涤,水溶液电解或水溶液电解沉积等。图 1.2 为湿法炼锌主要生产过程。

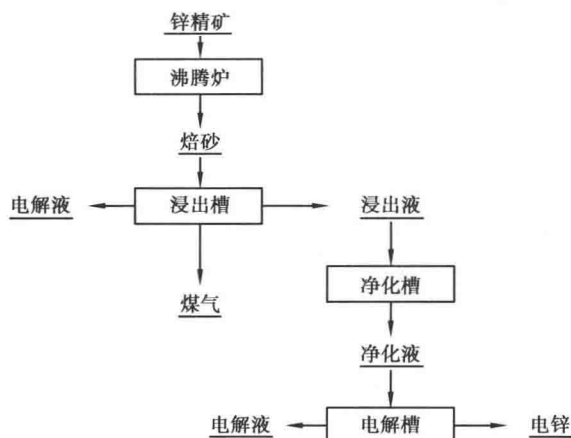


图 1.2 湿法炼锌流程

1) 焙烧

焙烧是指在一定的气氛中,将矿石(或精矿或冶炼过程的伴生物)加热到一定温度,使之发生物理化学变化,所产物料能适应下一冶炼过程的要求。焙烧一般是熔炼或浸出过程的准备作业。

2) 熔炼

熔炼是将矿石(或精矿或烧结块)与造渣剂一起进行高温熔化,使物料中各组分发生一系列物理化学变化,结果得到两种以上互不相溶的熔体产物——铕或粗金属与炉渣,由于它们的密度不同而分离。

3) 吹炼

吹炼的实质是氧化熔炼,将氧化剂吹入熔池,使粗金属中杂质成分发生氧化,转变为不溶解于金属熔体的物质进入炉渣,以降低金属中杂质成分含量。

4) 蒸馏

蒸馏是指将冶炼的物料在间接加热的条件下利用在某一温度下各种物质挥发度不同的特点,使冶炼物料中某些组分分离的方法。

5) 火法精炼

火法精炼是根据主体金属与其中杂质元素的物理化学性质,如溶解度、沸点等的不同,采用不同的方法(如熔析法、精馏法等),除去粗金属中的杂质元素。

6) 浸出

浸出(有的也叫溶出)就是将固体物料(例如矿石、精矿等)加到液体溶剂中,使固体物料中的一种或几种有价金属溶解于溶液中,而脉石和某些非主体金属入渣,使提取金属与脉石和某些杂质分离。

7) 净化

净化是用于处理浸出溶液或其他杂质超标的溶液,除去溶液中杂质至合标的过程。净化也是综合利用资源、提高经济效益、防止污染环境的有效方法。

8) 水溶液电解

水溶液电解是在水溶液电解质中,插入两个电极——阴极与阳极,通入直流电,使水溶液电解质发生氧化-还原反应的过程。

水溶液电解时,因使用的阳极不同,有可溶阳极与不可溶阳极之分,前者称为电解精炼,后者叫作电解沉积。

9) 熔盐电解

熔盐电解是用熔融盐作为电解质的电解过程。熔盐电解主要是用于提取轻金属,如铝、镁等。这是由于这些金属的化学活性很高,电解这些金属只能得到水溶液,得不到金属。为了使固态电解质成为熔融体,所以过程是在高温条件下进行的。

在现代金属生产工艺流程中,往往几种冶金方法联用,采用单一冶金方法的生产工艺流程越来越少,其中最常见的是火法与湿法联用,如利用硫化铜矿冶炼金属铜(见图 1.3)。

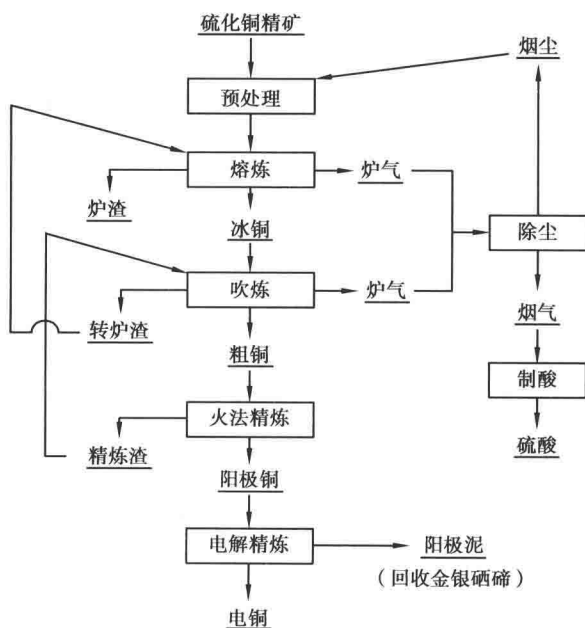


图 1.3 硫化铜矿冶炼金属铜流程

1.3 冶金原理基本任务、研究内容

冶金原理就是应用物理化学的原理及研究方法去分析和探讨冶金过程的物理化学变化。冶金原理是冶金学的理论基础,是物理化学的一个分支,其基本任务是研究和确定各种冶金过程中所遵循的具有普遍意义的物理化学规律,从而为发展新工艺和改造老工艺以及有预见性地控制现有生产提供理论依据。

开展任何一个冶金生产过程均需解决以下三个基本问题:第一,冶金过程在热力学上能否进行;第二,冶金过程能以什么速度进行;第三,冶金过程何时停止或达到平衡。

冶金原理主要研究内容包括冶金过程热力学、冶金过程动力学、冶金溶液三大部分。

研究冶金反应和研究其他反应一样,首先必须研究在给定条件下,反应进行的可能性、方向和限度(平衡),影响反应平衡因素(如温度、浓度、压力、催化剂等)。如何利用影响因素创造条件使反应沿着预期的方向进行,达到预期的限度,这是冶金过程热力学的主要研究内容。

热力学只涉及判断反应进行的方向,而不探讨实现这种可能性所需的时间,即不涉及反应速度问题;热力学只注意始末态,而不管中途经历的具体步骤,即不涉及反应机理问题。冶金反应的机理、速率、速率限制环节、速率影响因素,以及如何创造条件加速反应的进行,这是冶金过程动力学的主要研究内容。

冶金溶液是许多冶金反应进行的介质。金属熔炼过程涉及的物质有熔融合金、熔融炉渣、熔硫和熔盐等熔体。熔体的相平衡、结构及性质直接控制着冶金反应的进行。冶金熔体的结构、物理化学性质、相平衡条件、溶解性质等是冶金溶液的主要研究内容。

1.4 学习冶金原理课程的目的、意义

冶金原理以普通化学、高等数学、物理化学为基础,与物理化学相比,更接近于实际应用。它是冶金工程专业基础课程,是重要的核心课程,是衔接冶金工程专业的基础课与专业课的桥梁。学习这门课是十分必要的。

学习冶金原理这门课程,能使学生了解冶金生产过程的基本方法、基本过程、基本理论和基本规律,其次还具有以下一些目的与意义:

①能帮助学生为下一步深入学习冶金工艺学等专业课程做好必要的衔接和过渡,奠定必要的理论基础。

②能培养学生持续的自学和再学习能力,为学生毕业后根据工作需要进一步自学打下良好的基础,提高学生的自学能力。

③能培养学生理论联系实际的能力,以及分析和解决问题的能力。

④为毕业生在冶金企业中有效地控制生产工艺、改造旧工艺、发展新工艺、提高产品质量、改善技术经济指标、扩大产品种、增加产品产量等提供理论指导和技术帮助。

1.5 冶金原理的发展

冶金原理也可以说成是冶金物理化学。1920—1932 年,黑色冶金中引入物理化学理论,标志着冶金物理化学的开始。其后,国内外许多研究者进行了冶金物理化学方面的工作,促进了冶金原理的发展。在这方面作出重要贡献的代表人物有 J. Chipman、C. Wagner、S. Darken、李公达、魏寿昆、邹元熾、陈新民、周国治等。

冶金原理发展到目前还存在一些问题,主要有:

①不能将物理化学方面的成就完全应用于冶金反应的研究。

②应用热力学的方法研究系统的平衡状态较为广泛,但是,由于冶金反应多系高温作用下的多相系统,因而难于进行精确的实验。有些反应的热力学数据不够完全,特别是有色金属冶炼过程的反应。

③相界面的热力学研究不多,用动力学方法来讨论冶金问题则显得更加不够,距离广泛应用尚有一定距离。已经应用的方面,也多系定性分析,缺乏定量分析,数据还相当贫乏。

因此,冶金原理今后的任务有:进一步充实热力学资料;更详细地研究最重要的冶金反应机理;以及研究相界面的分子结构,特别是熔融体炉渣和金属分子相互作用的详细情况。

复习思考题

1. 解释冶金、冶炼、提取冶金、火法冶金。
2. 火法冶金有哪些特点?
3. 冶金原理基本内容有哪些?
4. 冶金原理基本任务是什么?
5. 学习冶金原理这门课程有何意义?
6. 确定化学反应在标准状态下究竟向哪个方向进行,需要()。
 - A. 计算出化学反应在标准状态下进行的吉布斯自由能变化
 - B. 化学反应的标准摩尔焓变
 - C. 化学反应的平衡常数
 - D. 化学反应的标准摩尔熵变
7. 确定化学反应进行的限度,需要()。
 - A. 计算出化学反应在标准状态下进行的吉布斯自由能变化
 - B. 化学反应的标准摩尔焓
 - C. 化学反应的平衡常数
 - D. 化学反应的标准摩尔熵变

2

溶液热力学基础

学习内容:

溶液中组元浓度表示方法,几种溶液及其热力学性质,活度与活度系数,冶金化学反应的标准吉布斯自由能计算方法,多组元溶液中组元活度系数计算方法,标准溶解吉布斯自由能。

学习要求:

- 了解冶金熔体类型及作用,溶液中组元浓度表示方法,标准溶解吉布斯自由能,多组元溶液中组元活度系数计算方法。
- 理解三种标准态下的活度与活度系数。
- 掌握炉渣(熔渣)在冶金过程中的作用,活度三种标准态及其转换关系,活度系数几种计算方法;冶金化学反应的标准吉布斯自由能几种计算方法。

2.1 溶液热力学性质

2.1.1 溶液组分的浓度的单位及其相互换算关系

(1) 溶液定义

溶液是一个广泛的概念,它包括水溶液、金属熔体、熔渣、熔盐、熔铈等。广义地说,两种或两种以上的物质彼此以分子或离子状态均匀混合形成的均相体系称为溶液。按照物质聚集状态不同,溶液可分为气态溶液、固态溶液和液态溶液。根据溶液中溶质导电性不同,溶液又要分为电解质溶液和非电解质溶液。

通常将液态组分称为溶剂,气态或固态组分称为溶质。如果溶液的物质均为液态,则把含量较高的组分称为溶剂,含量较低的组分称为溶质。

(2) 冶金熔体含义及分类

在高炉炼铁、转炉炼钢、硫化铜精矿的造钼熔炼等火法冶炼过程中,得到的是熔融状态产物或中间产品。在火法冶炼过程中,处于熔融状态的反应介质和反应产物(或中间产品)称为冶金熔体。冶金熔体中往往含有多种组成成分,根据其主要成分的不同,冶金熔体一般可分为

金属熔体(金属液)、熔渣、熔盐和熔铈四种。

金属熔体是指液态的金属和合金,如高炉炼铁中的铁水、转炉炼钢中的钢水、火法炼铜中的铜液等。金属熔体中的组成是单质元素,一般由冶炼过程中氧化物经还原剂还原得到的产物熔合而成。它是火法冶炼过程的主要产品,也是冶炼过程中多相反应的参与者。

熔渣是指由各种氧化物熔合而成的熔体。在火法冶炼过程中,原料中的主金属一般以金属、合金或熔铈的形态产出,而其中的脉石、燃料中灰分与熔剂一起熔合成主要成分为氧化物的熔体,即为熔渣。炉渣组成往往非常复杂,除含 CaO 、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 MgO 、 FeO 等氧化物外,还可能含有少量的氟化物、硫化物、氯化物等其他类型的化合物,有些还夹带少量的金属。钢铁冶金及有色金属冶金中常见炉渣的主要化学成分见表 2.1。熔渣是金属冶炼过程的重要产物,在冶炼中起着重要的作用,在许多火法冶炼过程中是必不可少的物质。

表 2.1 常见冶炉渣的主要化学成分($\omega_B/\%$)

炉渣类别	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	FeO	MnO	其 他
高炉炼铁渣	35 ~ 50	30 ~ 40	10 ~ 20	5 ~ 10	< 1	0.5 ~ 1	Si 1 ~ 2
转炉炼钢渣	37 ~ 59	9 ~ 20	0.1 ~ 2.5	0.6 ~ 8	5 ~ 20	1.3 ~ 10	P ₂ O ₅ 1 ~ 6
电炉炼钢渣	20 ~ 65	10 ~ 25	0.7 ~ 8.3	0.6 ~ 2.5	0.5 ~ 35	0.3 ~ 11	
电渣重熔渣	0 ~ 20	0 ~ 10	0 ~ 30	0 ~ 15			CaF ₂ 45 ~ 80
铜闪速炉熔炼渣	5 ~ 15	28 ~ 38	2 ~ 12	1 ~ 3	38 ~ 54		Fe ₃ O ₄ 12 ~ 15 S 0.2 ~ 0.4 Cu 0.5 ~ 0.8
铅鼓风炉熔炼渣	0 ~ 20	19 ~ 35	3 ~ 5	3 ~ 5	28 ~ 40		Pb 1 ~ 3.5
锡反射炉熔炼渣	1.5 ~ 6	19 ~ 24	8 ~ 10		45 ~ 50		Sn 7 ~ 9

熔盐是指盐的熔融态,通常说的熔盐是指无机盐的熔融体。最常见的熔盐是由碱金属或碱土金属的卤化物、硝酸盐、碳酸盐及磷酸盐等组成。在冶金领域中,熔盐主要用于金属及其合金的电解生产与精炼。对于不能从水溶液中电解沉积出来的金属,熔盐电解往往是唯一或占主导地位的生产方法。

熔铈是多种金属硫化物(FeS 、 Cu_2S 、 Ni_3S_2 、 CoS 、 Sb_2S_3 、 PbS 等)的共熔体,同时往往含有少量金属氧化物及金属,工业生产中习惯称作冰铜。熔铈是铜、镍、钴等重金属硫化矿火法冶金过程的重要中间产物。几种工业熔铈的主要化学成分见表 2.2。

表 2.2 几种工业熔铈的主要化学成分($\omega_B/\%$)

熔铈类别	Cu	Fe	Ni	S	Pb	Zn	Au ^①	Ag ^①
反射炉熔铈	43.6	26.7		24.8				
电炉熔铈	42.4	25.9		23.3				
闪速炉熔铈	59.3	16		22.8	0.59	0.57	28.4	243
诺兰达熔铈	72.4	3.5		21.8	1.8	0.7		
瓦纽科夫炉铜铈	40 ~ 52	20 ~ 27		23 ~ 24				

续表

熔铈类别	Cu	Fe	Ni	S	Pb	Zn	Au ^①	Ag ^①
三菱法铜铈	64.6	10.6		22				
低镍熔铈	6 ~ 8	47 ~ 49	13 ~ 16	23 ~ 28				
高镍熔铈	22 ~ 24	2 ~ 3	49 ~ 54	22 ~ 23				

表中①单位为 $\text{g} \cdot \text{t}^{-1}$

(3) 溶液中组分 B 浓度的表示方法

溶液中组元浓度表示方法很多,常用的方法有质量分数、摩尔分数、物质的量浓度等。

1) 质量分数

质量分数是指溶液中组元 B (也可称为组分 B) 的质量与溶液中所有组分的质量总和之比,可用 ω_B 表示,其表达式可表示如下:

$$\omega_B = m_B / \sum m \times 100\% \quad (2.1)$$

式中, m_B 为溶液中组分 B 的质量, g 或 kg; $\sum m$ 为溶液中所有组分的质量总和, g 或 kg。

为了热力学公式表达方便,可引入质量分数的另一表示符号 [% B] 或 $\omega_{B\%}$, 其值等于 ω_B 的 100 倍。如溶液中某一组分的质量分数 $\omega_B = 10\%$ 时, 其 [% B] = $\omega_{B\%} = 10$ 。

2) 摩尔分数

摩尔分数是指溶液中组元 B 物质的量与溶液中所有组分物质的量总和之比,可用 x_B 表示,其表达式可表示如下:

$$x_B = n_B / \sum n \times 100\% \quad (2.2)$$

式中, n_B 为溶液中组分 B 物质的量, mol; $\sum n$ 为溶液中所有组分物质的量总和, mol。

3) 物质的量浓度

物质的量浓度是指每升溶液中所含组元 B 的物质的量,可用 c_B 表示,单位为 mol/L 或 mol/m^3 , 其表达式可表示如下:

$$c_B = n_B / V \quad (2.3)$$

式中, V 为溶液的体积, L 或 m^3 。

根据各浓度定义可得出溶液中组分 B 不同浓度之间的换算关系,其中最常用的 x_B 与 ω_B 之间换算关系如下:

多元系中,

$$\omega_B = x_B M_B \sum n \quad (2.4)$$

式中, M_B 为溶液中组分 B 的摩尔质量, g/mol 或 kg/mol。

A-B 二元溶液中,

$$\omega_B = \frac{100}{\frac{M_A}{M_B} \times \frac{1}{x_B} + \left(1 - \frac{M_A}{M_B}\right)} \quad (2.5)$$

式中, M_A 为溶液中溶剂 A 的摩尔质量, g/mol 或 kg/mol。