



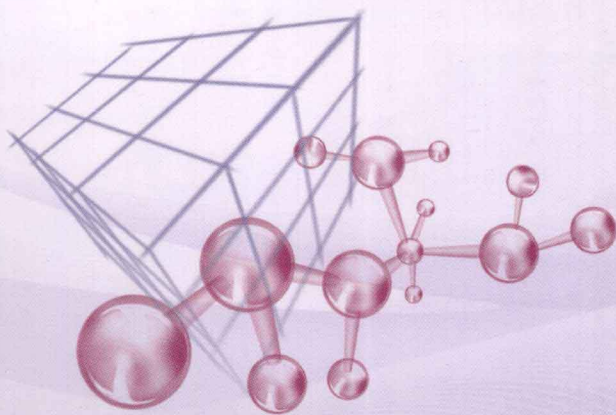
普通高等教育“十二五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU "12·5" GUIHUA JIAOCAI

冶金物理化学研究方法

(第4版)

王常珍 主编



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press



普通高等教育“十二五”规划教材

冶金物理化学研究方法

(第4版)

王常珍 主编

北 京

冶金工业出版社

2013

内 容 提 要

全书分两大篇共 20 章,第 I 篇介绍高温冶金物理化学研究所涉及的各种实验技术,内容包括:高温获得,温度测量,实验室用耐火材料,气体净化及气氛控制,真空技术,放射性同位素应用技术;第 II 篇介绍高温冶金物理化学研究的各种实验研究方法,内容包括:量热,固体电解质电池的原理及应用,化学平衡的研究,相平衡的研究,蒸气压,表面张力,表面点缺陷和密度,冶金熔体黏度,电导率测定,扩散系数的测定,热分析技术,夹杂物及物相分析,冶金动力学研究,冶金反应工程学研究,熔体物理化学性质的计算。此外,附录中简要介绍了有效数字计算规则及实验结果图示方法。

本书为高等学校冶金类专业教材,也可供相关专业的科研人员和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

冶金物理化学研究方法/王常珍主编. —4 版. —北京:冶金工业出版社, 2013. 10

ISBN 978-7-5024-6333-5

I. ①冶… II. ①王… III. ①冶金—物理化学—高等学校—教材 IV. ①TF01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013) 第 225858 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjcb@cnmip.com.cn

责任编辑 宋 良 王雪涛 美术编辑 吕欣童 版式设计 孙跃红

责任校对 石 静 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-6333-5

冶金工业出版社出版发行; 各地新华书店经销; 北京百善印刷厂印刷

1982 年 7 月第 1 版, 1992 年 4 月第 2 版, 2002 年 4 月第 3 版,

2013 年 10 月第 4 版, 2013 年 10 月第 1 次印刷

787mm × 1092mm 1/16; 36.75 印张; 893 千字; 569 页

69.00 元

冶金工业出版社投稿电话:(010)64027932 投稿邮箱:tougao@cnmip.com.cn

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100010) 电话:(010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

第4版前言

冶金和材料物理化学研究涉及物质结构、近代物理、热力学、动力学、电化学、反应工程学等多种实验技术和各种不同的研究方法。从实验所需设备来看,市场上多无现成装置销售,很多研究需要研究者针对课题研究性质,自行设计装备,自己确定试验方法。这就需要有一本系统介绍这方面知识的书籍,指导有关研究人员解决所遇到的问题,顺利达到预想目标。本书第1版就是依此目的编写的,自20世纪80年代初出版后,连续再版,受到冶金相关专业的高等学校师生和科研院所专业人员的欢迎,使读者对很多研究能无师自通,当工作工具书使用。本书第3版出版已逾12年,其间科学技术迅速发展,我国的经济建设突飞猛进,为了适应时代发展的需要,保持本书的生命力,帮助读者解决新的问题,我们对第3版做了修订。

本次修订,重点放在新方法、新技术和新理论上,新增了“熔体物理化学性质的计算”一章,由北京科技大学周国治院士撰写;其余各章都补充了新的内容,或增加了理论阐述,或增加了新的研究技术和方法,同时对原有内容做了适当的删减。某些章节原编者因年龄或身体原因不再参与修订工作,由主编做了增补工作。由原编者负责修改的情况为:王魁汉编写的“温度测量”,李福燊编写的“固体电解质电池原理及应用”,王常珍编写的“化学平衡的研究”和“相平衡的研究”,林勤编写的“热分析技术”和“夹杂物物相分析”,张延安编写的“冶金动力学研究”和“冶金反应工程学研究”,都做了很好的修改。“真空技术”一章由东北大学张以忱重新编写;其余各章,如“实验室的高温获得”、“实验室用耐火材料”、“气体净化及气氛控制”、“放射性同位素应用技术”、“量热”、“蒸气压测定”、“表面张力和密度测定”、“冶金熔体黏度测定”、“电导率测定”、“扩散系数测定”等章,则由主编予以增删。

全书由王常珍担任主编。

受编者水平所限,书中不足之处,诚请识者指正。

编者
2013年4月

第3版前言

本书修订版即第2版出版已逾10年，并于1997年荣获国务院国家级教学成果（教材）一等奖。编者感谢广大读者给予我们的支持与厚爱，它将鞭策我们把本书修订得更好。

这次修订的主要目的有二：一是适应该学科领域科学技术发展的需要；二是适应我国教育改革的需要。

这20多年来，冶金物理化学的研究已经不再局限于化学热力学及熔体性质的研究，为了适应生产发展的需要，人们把更多的注意力投向反应动力学领域，并对在冶金过程中物质和热量的传递过程给予更多的关注。故在这次修订中，我们重新改写了冶金动力学研究一章，并新增加冶金反应工程学研究一章，以期向读者提供必要的知识。

由于测试仪器精度的日益提高，热分析技术已在许多研究中采用，尤其在动力学研究中起着重要的作用，所以在这次修订中，增加了“热分析技术”一章。

在这次修订中，删除了一些陈旧的内容，增加了一些近年来颇受人们关注的内容，如铬酸钨炉、微波炉、红外辐射温度计、新型化学传感器以及扩散偶法研究相平衡等内容。

为了适应教学改革发展的需要，我们认为学生不仅要有在实验室中进行科学研究的素质和能力，而且还要有进行扩大实验和在现场中进行实验设计，整理实验结果并由此得出正确结论的能力。为此，我们在这次修订中特别注意加强了这方面的内容，并增写了“实验设计方法”一章。

参加本书编写与修订的人员：第1章铬酸钨炉和微波炉部分由李光强编写；第5章由车荫昌修订；由于研究方法相近，故将表面张力及界面张力的测定及熔体密度的测定两章合并为第12章，由毛裕文负责修订改编；第16章热分析技术由林勤编写；第18章和第19章由张廷安编写；第20章由关颖男编写；第15章扩散系数的测定由主编略作删减；其他各章仍由原编写者修订。全书由王常珍担任主编。

由于水平所限，本书中的错误和不足之处恳请广大读者批评指正。

编者
2000年10月

修订版前言

本书自 1982 年 7 月第一版问世以来，相继进行了两次重印，受到了广大读者的欢迎和鼓励，作者愿借此修订之机向广大读者致谢。

根据本书在使用过程中发现的不足之处和教学、科研发展的需要，在修订时做了必要的修改和补充。修改力求做到文字精练，图示规范，删掉陈旧的内容和与其他书籍重复的内容并缩短篇幅；补充了一些新的和必需的内容，以提高本书的质量并方便广大读者。增写了“动力学研究”一章，以使本书更加全面。“表面张力和界面张力的测定”一章给出了坐滴法研究所需要的 Bashforth 和 Adams 计算表（1883 年发表），以满足读者的需要。“电导率测定”一章增加了近代应用于固体电解质研究的交流频率响应阻抗谱法。其他各章也有相应的删减和补充。

书中除热力学研究和计算的有关部分外，其他章节的计量单位皆改用国家规定的法定计量单位制。这是因为许多热力学数据和图表，常涉及气相标准态问题，所以仍采用大气压，以便于理解。必要时可以进行换算， $1\text{ cal} = 4.184\text{ J}$ ， $1\text{ atm} = 101325\text{ Pa}$ 。

由于梁宁元先生已去世，所以第 4 章的修订工作由东北工学院车荫昌负责。第 14 章修订工作改由北京科技大学（原北京钢铁学院）毛裕文负责。新增加的第 18 章“动力学研究”由车荫昌编写。其他各章仍由原编者进行修订。全书由王常珍担任主编。

本书修订后肯定还会有不足之处，恳切希望广大读者提出宝贵意见。

编 者
1991 年 4 月

第1版前言

冶金过程是一个物理化学变化过程，因此如欲改进现有的冶金过程并探索新的冶金过程，以确定最佳的工艺流程，必须进行冶金物理化学的研究。除此之外，材料科学的发展也要求对材料生产过程的物理化学规律及材料的物理化学本性进行深入细致的研究。为了适应上述要求，设立了“冶金物理化学研究方法”课程，并编写了该教材。

本书分两篇共十七章。第一篇介绍进行高温冶金物理化学研究所需的基本技术，包括高温获得、温度测量、实验室用耐火材料、气体净化、真空技术及放射性同位素的应用技术。第二篇介绍高温冶金物理化学研究的实验研究方法，包括量热、固体电解质原电池的原理及应用、化学平衡的研究、相平衡的研究、蒸气压、电导率、黏度、表面张力及界面张力、密度、扩散系数的测定以及夹杂物和物相分析。附录部分介绍了实验数据处理的方法。

本书是由东北工学院、北京钢铁学院及中南矿冶学院三校联合编写。参加编写的有：第一、十三章刘亮，第二章王魁汉，第三、九、十章及附录王常珍，第四章车荫昌、梁宁元，第五章彭情强，第六章及第十六章第三节韩其勇，第七章及第八章第九节崔传孟，第八章第一至第八节李福荣，第十一章梅显芝，第十二章于世谦，第十四章毛裕文、叶杏圃，第十五章毛裕文，第十六章第一、二节冀春霖，第十七章林勤。全书由王常珍担任主编。

本书在编写过程中，孙骆生、纪延瑞同志提出了宝贵意见；在定稿过程中，冀春霖、洪彦若、张圣弼、潘德惠同志对有关章节分别进行了审查，在此表示衷心地感谢。

这本书的内容涉及面很广，由于编者水平有限，肯定会有不少缺点和错误，欢迎广大读者提出宝贵意见。

编 者
1981年10月

冶金工业出版社部分图书推荐

书 名	作 者	定价(元)
中国冶金百科全书·钢铁冶金	编委会 编	187.00
中国冶金百科全书·有色金属冶金	编委会 编	248.00
冶金过程数值模拟分析技术的应用	肖泽强 等编	65.00
冶金中单元过程和现象的研究	肖泽强 等著	96.00
冶金与材料热力学(本科教材)	李文超 等编	65.00
冶金工程实验技术(本科教材)	陈伟庆 主编	39.00
冶金物理化学(本科教材)	张家芸 主编	39.00
无机非金属材料研究方法(本科教材)	张 颖 主编	35.00
材料现代测试技术(本科教材)	廖晓玲 主编	45.00
材料现代研究方法实验指导书(本科教材)	祖国胤 主编	25.00
理科物理实验教程(本科教材)	吴 平 主编	36.00
材料现代测试技术(本科教材)	廖晓玲 主编	45.00
材料现代分析测试实验教程(本科教材)	潘清林 主编	25.00
相图分析及应用(本科教材)	陈树江 等编	20.00
物理化学(第4版)(本科教材)	王淑兰 主编	45.00
物理化学习题解答(本科教材)	王淑兰 主编	18.00
热工实验原理和技术(本科教材)	邢桂菊 等编	25.00
相图分析及应用(本科教材)	陈树江 等编	20.00
钢铁冶金原理(第4版)(本科教材)	黄希祐 编	82.00
有色冶金原理(第2版)(本科教材)	傅崇说 主编	35.00
冶金原理(本科教材)	赵俊学 主编	45.00
现代冶金工艺学(本科国规教材)	朱苗勇 主编	49.00
复合矿与二次资源综合利用(本科教材)	孟繁明 主编	36.00
耐火材料(第2版)(本科教材)	薛群虎 主编	35.00
有色冶金化工过程原理及设备(第2版)(国规教材)	郭年祥 主编	49.00
真空技术(本科教材)	巴德纯 等编	50.00

目 录

I 高温冶金物理化学研究的基本技术

1 实验室的高温获得	1
1.1 获得高温的方法	1
1.2 电阻丝炉的结构与热平衡分析	2
1.2.1 电阻丝炉结构	2
1.2.2 热平衡分析	3
1.3 电热体	4
1.3.1 金属电热体	4
1.3.2 非金属电热体	9
1.4 耐火材料与保温材料	12
1.4.1 耐火材料	12
1.4.2 保温材料	14
1.4.3 常用高温黏结剂与涂料	16
1.5 电阻丝炉设计	17
1.5.1 电炉功率的确定	17
1.5.2 电热体的选择	17
1.5.3 电热体的计算	18
1.6 电阻炉制作	21
1.7 电阻炉的恒温带	22
1.8 电阻炉温度的自动控制	24
1.9 微波加热原理	26
参考文献	27
2 温度测量方法	28
2.1 温标及温度的测量方法	28
2.1.1 温标	28
2.1.2 各种温标间温度值换算	29
2.1.3 温度测量方法与测温仪器的分类	29
2.2 热电偶	31
2.2.1 热电偶工作原理	31
2.2.2 热电偶材料	33

2.2.3 热电偶的绝缘管与保护管材料	39
2.2.4 铠装热电偶	43
2.2.5 补偿导线	44
2.2.6 热电偶的检定	46
2.2.7 热电偶的使用及其测量误差	49
2.3 辐射温度计	54
2.3.1 热辐射定律	54
2.3.2 光谱辐射温度计	55
2.3.3 辐射高温计的使用及测量误差	56
参考文献	59
3 实验室用耐火材料	60
3.1 耐火氧化物材料	60
3.1.1 实验室中常用的耐火氧化物材料	60
3.1.2 耐火氧化物材料在不同条件下的稳定性	61
3.1.3 复合氧化物耐火材料	67
3.2 碳化物、氮化物、硼化物、硅化物和硫化物	67
3.2.1 碳化物	67
3.2.2 氮化物、硼化物、硫化物、硅化物耐火材料	67
3.3 炭素材料	70
3.4 耐火材料制造工艺的一些问题	71
3.5 陶瓷与金属的组合材料	72
参考文献	73
4 气体净化及气氛控制	74
4.1 气体的制备、贮存和安全使用	74
4.2 气体净化的方法	76
4.2.1 吸收	76
4.2.2 吸附	77
4.2.3 化学催化	78
4.2.4 冷凝	78
4.3 常用气体净化剂	78
4.3.1 干燥剂	78
4.3.2 脱氧剂和催化剂	80
4.3.3 吸附剂	81
4.4 气体流量的测定	83
4.4.1 转子流量计	84
4.4.2 毛细管流量计	84
4.5 定组成混合气体的配制	85

4.5.1 静态混合法	85
4.5.2 动态混合法	85
4.5.3 平衡法	86
4.6 气体使用时应注意的一些技术问题	86
4.6.1 气体连接管道	86
4.6.2 装置中气体的切换	86
4.6.3 净化系统	88
参考文献	89
5 真空技术	91
5.1 概述	91
5.2 真空的获得	91
5.2.1 真空泵概述	91
5.2.2 真空泵的选择	92
5.2.3 粗低真空泵	92
5.2.4 中真空泵	94
5.2.5 高(超高)真空泵	95
5.2.6 无油清洁真空泵	96
5.3 真空的测量	97
5.3.1 热传导真空计	97
5.3.2 热阴极电离真空计	98
5.4 真空系统	98
5.4.1 真空系统组成形式	98
5.4.2 真空机组	98
5.4.3 真空材料	99
5.4.4 真空系统常用元件	101
5.4.5 真空密封连接	102
5.4.6 真空清洗	102
5.4.7 真空材料的放气	103
5.5 真空检漏	104
参考文献	105
6 放射性同位素应用技术	106
6.1 放射性同位素的基础知识	106
6.1.1 放射性同位素	106
6.1.2 射线与物质的相互作用	110
6.2 放射性的测量	114
6.2.1 放射性的探测原理	114
6.2.2 射线能谱仪	114

6.2.3 自射线照相	114
6.2.4 放射性测量	115
6.2.5 放射性强度测量的误差	116
6.3 放射性同位素的使用安全技术	117
6.3.1 辐射对人体的作用	117
6.3.2 照射量、吸收剂量和剂量当量	117
6.3.3 射线的防护	118
6.4 放射性同位素在冶金物理化学研究中的应用	119
6.4.1 射线应用	119
6.4.2 示踪剂应用	119
6.4.3 活化分析	127
参考文献	127

II 高温冶金物理化学的实验研究方法

7 量热	129
7.1 基本概念和量热方法的基本原理	129
7.1.1 热量的单位	129
7.1.2 量热计与量热体系	129
7.1.3 量热计的热当量及反应温度的规定	130
7.1.4 量热方法的基本原理	130
7.2 量热计和量热计热当量的标定	131
7.2.1 量热计的分类	132
7.2.2 等温量热计	132
7.2.3 绝热量热计	132
7.2.4 热流量热计	133
7.2.5 环境等温量热计	133
7.2.6 量热计热当量的标定	133
7.3 外套等温法量热实验及热交换校正值的确定	134
7.3.1 外套等温法量热实验	134
7.3.2 外套等温法量热体系的温度变化曲线	135
7.3.3 热交换校正值的计算	135
7.3.4 计算举例	136
7.4 绝热量热法	137
7.5 量热误差来源	139
7.5.1 由热交换作用的复杂性而产生的测量误差	139
7.5.2 液体的蒸发作用带来的误差	140
7.5.3 温度测量产生的误差	140

7.5.4 化学反应所带入的误差	140
7.5.5 测量仪器仪表的误差	140
7.6 溶解热的测定	140
7.6.1 测定溶解热的意义	140
7.6.2 溶解热的测定方法	141
7.7 燃烧热的测定	141
7.7.1 测定原理	142
7.7.2 样品的助燃和引燃	142
7.7.3 含硫、卤素等化合物及金属有机化合物的燃烧热	143
7.8 比热容的测定	143
7.8.1 用直接加热法测定固体及液体的比热容	144
7.8.2 高温投下法测比热容	145
7.9 混合热的测定	146
7.10 量热举例	147
参考文献	148
8 固体电解质电池的原理及应用	149
8.1 固体电解质	149
8.2 氧化物固体电解质的制备	155
8.2.1 氧化锆固体电解质的制备	155
8.2.2 β 氧化铝固体电解质的制备	157
8.3 氧化物固体电解质电池的工作原理	158
8.4 氧化物固体电解质的电子导电	160
8.4.1 电子导电产生的原因	160
8.4.2 存在电子(或电子空穴)导电时,对电池电动势的影响及修正公式	162
8.4.3 修正公式的使用条件	165
8.4.4 固体电解质电子导电性的实验测定	166
8.5 固体电解质传感器的设计与使用要求	169
8.6 固体电解质总电导率的测定	174
8.7 固体电解质分电导率的测定	176
8.8 固体电解质的应用	178
8.8.1 在电化学传感器中的应用	179
8.8.2 在化学电源中的应用	210
8.8.3 在物质提取中的应用	212
8.8.4 其他应用	212
8.8.5 固体电解质电池在冶金物理化学研究中的应用	212
8.8.6 动力学研究	219
8.9 质子导电固体电解质的研究	222
8.9.1 高温质子导体的制备、结构及性质的研究	222

VI	
8.9.2	钙钛矿型材料产生质子导电的原因 223
8.9.3	几种研究较多的质子导体 224
8.9.4	钙钛矿型质子导体的应用 225
8.9.5	新一代高温质子导体的研究略述 225
8.10	固体电解质电池组装和测量有关问题 225
	参考文献 226
9	化学平衡的研究 228
9.1	主要研究方法概述 229
9.1.1	气相-凝聚相反应 229
9.1.2	凝聚相-凝聚相反应 233
9.2	化学平衡法有关实验技术讨论 233
9.2.1	炉子和温度 233
9.2.2	建立所需要的化学位 234
9.2.3	常用的几种化学位的建立和控制方法 236
9.2.4	热扩散现象及其消除 253
9.2.5	气体循环和循环装置 256
9.2.6	平衡时间的确定 257
9.2.7	凝聚相的有关问题 258
9.3	化合物和熔体组元热力学数据的测定 260
9.3.1	化合物标准生成自由能的测定 260
9.3.2	炉渣体系组元活度的测定 261
9.3.3	金属溶液中溶质活度、元素之间相互作用系数等的测定 266
9.4	高阶相互作用系数、焓、熵相互作用系数 275
9.5	化学平衡法的测定误差 279
	参考文献 280
10	相平衡的研究 282
10.1	一般原理 282
10.1.1	相律 282
10.1.2	连续原理 283
10.1.3	对应原理 283
10.1.4	化学变化的统一性原理 283
10.2	用动态法(热分析和示差热分析法)研究相平衡 284
10.3	用静态法(淬冷法)研究相平衡 284
10.3.1	淬火炉、淬火剂和淬火样品的处理 285
10.3.2	相平衡的判断 287
10.3.3	淬火样品的微结构分析和性质研究 287
10.3.4	相平衡研究举例 289

10.4 扩散偶法	291
10.5 由热力学数据推测和校验相图	293
10.5.1 组成-自由能曲线的绘制	293
10.5.2 从自由能曲线推断相图	297
10.5.3 组成-活度曲线	302
10.6 三元系相图的研究方法概述	302
10.7 化学键参数——人工神经网络方法预报未知相图	303
参考文献	304
11 蒸气压	305
11.1 概述	305
11.1.1 蒸气压测定的意义	305
11.1.2 温度、组成和外压对蒸气压测定的影响	305
11.1.3 蒸气压测定方法	306
11.2 静态法测量蒸气压	306
11.2.1 直接法	307
11.2.2 补偿法	307
11.2.3 相变法	307
11.3 动态法测量蒸气压	309
11.3.1 气流携带法	309
11.3.2 自由蒸发法（朗格谬尔法）	310
11.3.3 喷射法（克努森法）	314
11.4 克努森喷射-高温质谱仪联合法	321
11.4.1 高温质谱仪的工作原理	322
11.4.2 K-M 联合法数据分析原理	325
11.4.3 K-M 联合法测试举例	326
11.5 气相色谱法测量蒸气压	331
11.5.1 气相色谱分析简介	331
11.5.2 保留值	331
11.5.3 气相色谱法测量蒸气压实例	333
参考文献	334
12 表面张力和密度及固体表面缺陷的测定	335
12.1 概述	335
12.2 气泡最大压力法	337
12.2.1 拉普拉斯方程和气泡最大压力法的原理	337
12.2.2 实验装置和方法	338
12.2.3 实验技术的讨论	339
12.3 静滴法	343

12.3.1	原理	344
12.3.2	实验装置和步骤	352
12.3.3	实验方法的探讨	353
12.4	阿基米德法	354
12.4.1	直接阿基米德法	354
12.4.2	间接阿基米德法	356
12.5	其他表面张力测定方法	357
12.5.1	毛细管上升法	357
12.5.2	滴重法	358
12.5.3	拉筒法	359
12.6	界面张力的测定方法	361
12.6.1	静滴法	361
12.6.2	测量铁液表面上“漂浮”渣滴的形状, 计算界面张力的方法	361
12.7	其他密度测量方法	363
12.7.1	比重计法	363
12.7.2	膨胀计法	363
12.7.3	压力计法	364
12.8	固体表面点缺陷的测定	364
12.8.1	衍射法	364
12.8.2	显微术	365
	参考文献	365
13	冶金熔体黏度的测定	367
13.1	概述	367
13.2	黏度与温度的关系	369
13.3	黏度的测定方法	371
13.3.1	细管法	371
13.3.2	旋转柱体法	374
13.3.3	扭摆振动法	377
13.3.4	垂直振动法	385
13.3.5	落球法与拉球法	386
13.3.6	工业生产中在线黏度测量	389
	参考文献	391
14	电导率测定	392
14.1	基本概念	392
14.2	测量电导率方法的原理	392
14.2.1	交流单电桥	393
14.2.2	交流双电桥	395

14.2.3 旋转磁场法	397
14.3 电导池和电导池常数	398
14.4 测量方法的选择和电导池的设计	399
14.4.1 电解质水溶液电导率的测定	400
14.4.2 熔盐和炉渣电导率的测定	402
14.5 阻抗谱法	404
参考文献	406
15 扩散系数的测定	408
15.1 扩散系数	408
15.2 液态金属中扩散系数的实验测定方法	409
15.2.1 毛细管法	409
15.2.2 转盘法 (溶解速度法)	425
15.2.3 固态电解质原电池法 (测定氧在液态金属中的扩散系数)	427
15.3 熔盐与熔渣中组元扩散系数的测定	430
15.3.1 浸渍介质自持片法	430
15.3.2 转盘法	431
15.3.3 外插实验数据到细丝 (或棒) 零直径法	434
参考文献	435
16 热分析技术	437
16.1 概述	437
16.1.1 热分析定义和分类	437
16.1.2 热分析的应用及发展	437
16.2 差热分析	438
16.2.1 差热分析原理与 DTA 曲线	438
16.2.2 差热曲线方程与影响因素	439
16.2.3 研究技术与实验条件选择	440
16.2.4 相图测定	442
16.3 差示扫描量热法	444
16.3.1 差示扫描量热法的基本原理	444
16.3.2 热焓和比热容的测定	445
16.3.3 调制温度式差示扫描量热法	447
16.4 热重法	449
16.4.1 热重分析仪	449
16.4.2 热重曲线及其表示方法	449
16.4.3 热重曲线的影响因素	450
16.4.4 反应动力学研究	451
16.5 联用技术	454