

高等院校教材

冶金原理

高等院校教材

冶金原理

李洪桂 主编



科学出版社
www.sciencep.com

TF01
19

高等院校教材

冶金原理

李洪桂 主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是根据全日制高等教育冶金工程专业教育计划的要求编写的,供作该专业基础课“冶金原理”或“冶金过程物理化学”的教材。全书共分三篇十六章,全面介绍冶金过程的物理化学原理,包括冶金熔体、冶金过程热力学、冶金过程动力学。此外,为弥补学生在基础课学习中的不足,单独编写了“溶液的热力学性质”一节;为了配合双语教学,编写了中英文对照的索引。全书注重了打破过去人为的“钢铁冶金原理”及“有色金属冶金原理”的界限,视冶金过程为一个整体,将其共同的理论基础作为主线,结合典型的工艺过程阐述。

本书主要作为冶金工程专业学生的专业基础课教材,亦可作为化工专业、材料专业的学生、研究生以及从事上述专业技术工作的人员的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

冶金原理 / 李洪桂主编. —北京: 科学出版社, 2005

高等院校教材

ISBN 7-03-014917-3

I. 冶… II. 李… III. 冶金-物理化学-理论-高等学校-教材
IV. TF01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 010045 号

责任编辑: 刘俊来 刁传云 马志春 / 责任校对: 包志虹

责任印制: 钱玉芬 / 封面设计: 陈 敬

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005年6月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2005年6月第一次印刷 印张: 24 1/2

印数: 1—2 500 字数: 469 000

定价: 38.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈环伟〉)

前 言

本书是根据冶金工程专业(本科)教育计划中“冶金原理”课的要求编写的,主要阐述冶金过程的物理化学基础。全书共分三篇:第一篇为冶金熔体,全面地介绍熔渣、金属熔体、熔盐、熔铈等熔体与冶金过程密切相关的物理化学性质;第二篇介绍冶金过程的热力学基础;第三篇介绍冶金过程的动力学基础。

根据原钢铁冶金专业、有色金属冶金专业、冶金过程物理化学专业合并成冶金工程专业后新形势的需要,根据学科的发展及多年的教学实践经验,作为改革的一种尝试,本书在内容的组织及取舍方面较国内已有的各种版本的冶金原理教材有较大的调整,主要包括:

1. 以全面介绍冶金过程的共同理论为主线,结合分析各具体冶金过程的原理。综观国内各种版本的冶金原理教材,其共同特点是以冶金过程或主要冶金反应为主线,介绍其热力学和动力学原理。许多冶金过程在工艺技术和处理对象方面尽管千差万别,但它们的物理化学原理均大同小异。孤立地、逐一地介绍各冶金过程的原理,虽能使學生掌握具体冶金过程的理论,但不利于其举一反三,不利于启迪思维,同时在教学过程中亦存在严重重复、脱节。为此本书力图打破火法冶金、湿法冶金或钢铁冶金、有色金属冶金在工艺技术、工艺过程上的界限,按照冶金过程理论的体系,力争在深入介绍共同理论的基础上,适当介绍其在有关冶金过程中的应用,使学生掌握理论的要领,灵活运用。同样在介绍冶金熔体时,摒弃了过去分别介绍熔渣、金属熔体等的物理化学性质的体系,而是充分注意到它们都为液体的不同种类,性质上有着共同的规律性,因此将各种熔体组合在一起,着重介绍其与冶金过程密切相关的共性,兼顾其特性。

2. 根据近年来冶金动力学研究十分活跃并卓有成效的形势,以及生产实践中强化冶金过程、提高冶金过程效率的需要,适当增加了有关冶金过程动力学基础的内容所占的比例。

3. 为了适应当前用提取冶金方法直接制取无机非金属材料的前驱体发展动向,本书的内容选择适当地兼顾了这方面的要求。

4. 为弥补学生在热力学基础方面的不足,本书编有“溶液的热力学性质”一节;为了便于检索及便于进行双语教学,本书编有中英文对照的索引,二者均作为附录列在书后。

参加本书编写的有周雍茂(第一篇)、李洪桂、霍广生(第二篇第六章~第十章、第十一章第一节、附录一)、郑清远(第二篇第十一章第二节)、肖连生(第二篇第十

一章第三节)、赵中伟(第三篇),全书由李洪桂统一修改定稿。

本书在编写过程中充分参阅了多种版本的冶金原理教材。这些教材中对有关问题的精辟分析,使我们受益匪浅,特此表示感谢。在本书的框架设计和具体编写过程中,中南大学冶金科学与工程学院的有关老师提出了很好的建议,一并表示感谢。

由于编者水平有限,书中错误在所难免,恳请广大读者予以指正。

编 者

2004年12月

目 录

前言

绪言	(1)
----	-----

第一篇 冶金熔体

第一章 概述	(5)
1.1 金属熔体	(5)
1.2 熔渣	(5)
1.3 熔盐	(8)
1.4 熔铈	(9)
思考题	(9)
第二章 冶金熔体的相平衡图	(10)
2.1 三元系相图基础知识	(10)
2.2 熔渣的相平衡图	(32)
2.3 熔盐的相平衡图	(43)
2.4 熔铈的相平衡图	(45)
思考题	(51)
第三章 冶金熔体的结构	(54)
3.1 金属熔体的结构	(55)
3.2 熔盐的结构	(57)
3.3 熔渣的结构	(58)
思考题	(76)
第四章 冶金熔体的物理性质	(78)
4.1 熔化温度	(78)
4.2 密度	(80)
4.3 黏度	(83)
4.4 导电性	(89)
4.5 熔体组分的扩散系数	(91)
4.6 表面性质与界面性质	(94)
思考题	(102)

第五章 冶金熔体的化学性质与热力学性质	(104)
5.1 熔渣的碱度与酸度	(104)
5.2 熔渣的氧化性	(106)
5.3 熔渣与气体的反应	(109)
5.4 熔渣与液态金属的反应	(112)
5.5 冶金熔体中组元的活度	(113)
思考题.....	(121)
第一篇主要参考资料	(122)

第二篇 冶金过程的热力学基础

第六章 概述	(125)
第七章 化合物的生成-分解反应	(128)
7.1 基本概念	(128)
7.2 化合物生成反应的热力学分析	(128)
7.3 化合物分解反应的热力学分析	(139)
思考题.....	(149)
第八章 热力学平衡图在冶金中的应用	(151)
8.1 基本概念	(151)
8.2 绘制热力学平衡图的理论基础	(153)
8.3 热力学平衡图的绘制与应用(Ⅰ)——二组元体系, Fe-O系及多 价金属-氧系的热力学平衡图.....	(156)
8.4 热力学平衡图的绘制与应用(Ⅱ)——三组元体系, 金属-硫-氧系 及金属-氯-氧系的热力学平衡图	(159)
8.5 热力学平衡图的叠加	(170)
8.6 电势-pH图(φ -pH图)及其在湿法冶金中的应用	(172)
8.7 浓度对数($\lg[\text{Me}]$ 或 $\lg C$)-pH图及其在湿法冶金中的应用	(186)
思考题.....	(188)
第九章 还原过程	(190)
9.1 基本概念	(190)
9.2 金属氧化物的碳还原及氢还原	(192)
9.3 金属热还原	(213)
9.4 真空还原	(216)
思考题.....	(218)
第十章 高温分离提纯过程	(219)

10.1	基本概念	(219)
10.2	氧化精炼	(220)
10.3	硫化精炼	(232)
10.4	熔析(或凝析)精炼	(233)
10.5	区域精炼(区域熔炼、区域提纯)法及定向凝固法	(235)
10.6	蒸馏(升华)精炼	(238)
	思考题	(242)
第十一章	湿法分离提纯过程	(244)
11.1	沉淀法与结晶法	(244)
11.2	离子交换法	(254)
11.3	有机溶剂萃取法	(264)
	思考题	(283)
第二篇	主要参考资料	(285)

第三篇 冶金过程的动力学基础

第十二章	概述	(289)
第十三章	冶金过程的气(液)/固相反应动力学	(291)
13.1	气(液)/固相反应的动力学基础(收缩核模型)	(291)
13.2	化学反应控制	(295)
13.3	外扩散控制	(299)
13.4	内扩散控制	(300)
13.5	混合控制	(303)
13.6	影响气(液)/固相反应速率的因素	(305)
13.7	液(气)/固反应过程的强化	(311)
	思考题	(316)
第十四章	冶金过程的液(气)/液相反应动力学	(318)
	思考题	(321)
第十五章	结晶过程	(322)
15.1	新相成核	(322)
15.2	晶粒的长大	(325)
15.3	结晶过程的综合速率	(326)
15.4	影响产物化学组成、粒度和形貌的因素	(328)
	思考题	(330)
第十六章	电极过程动力学	(331)

16.1	扩散动力学	(332)
16.2	电化学过程动力学	(334)
16.3	全极化	(340)
16.4	阴极过程	(341)
16.5	阳极过程	(347)
	思考题	(351)
第三篇主要参考资料		(353)
附录		(355)
附录一	溶液的热力学性质	(355)
附录二	本书使用的主要符号	(373)
附录三	中英文对照索引	(376)

绪 言

按照传统的概念,提取冶金主要是由原料(含矿物原料和二次原料)产出化学成分合格的金属锭或化合物,提供给金属加工部门或材料制造部门进一步加工成合格的材料,因而它仅是一个提供中间原料的部门。但是随着科学技术的发展,提取冶金的领域得到大幅度的扩展,一方面是由于技术的发展对金属及其化合物制品品种的要求越来越多样化,其结构越来越复杂化,如有的要求为形状各异的坯锭,有的为超细粉等。这些仅依靠材料加工的现有技术是难以实现的,而发挥提取冶金技术的优势,在冶炼过程中直接制取,则能收到事半功倍的效果;另一方面为适应高科技发展的需要,许多以金属或其化合物为基的新材料,如能源材料、功能材料、生物材料等应运而生。但在研制这些材料的过程中,人们发现采用发展了的提取冶金技术更容易保证这些材料在成分、结构、性能方面的严格要求。例如,在制备某些复合材料时,采用湿法冶金中的共沉淀技术就能实现各组分在分子水平上的均匀混合,因此提取冶金技术也扩展到上述新材料的研制与开发。另外在提取冶金过程中控制适当条件,以直接得到上述合格材料或其前驱体,较之先制成传统的冶金产品后,再加工成有关材料而言,无论在技术上或经济上都将带来显著的效益。综上所述,现代提取冶金已不仅是由原料制备化学成分合格的金属锭或化合物,也包括用提取冶金的方法在冶金过程中直接制备某些合格的材料或其前驱体。

在提取冶金过程中,为实现将原料中的有价金属与伴生物质分离、同时转化为符合用户要求的金属或其化合物产品,应将一系列物理的或化学的手段有机结合,但最主要是采用化学的手段,通过各种化学反应,如氧化、还原、焙烧、萃取等而实现的,因此提取冶金又称化学冶金。

冶金原理是提取冶金的主要基础学科,它主要是应用物理化学的理论和研究方法研究提取冶金过程,为解决有关技术问题、开拓新的冶金工艺、推进冶金技术的发展指明方向,它对提取冶金的发展起着关键性的作用。纵观冶金发展史,三四千年以前人们已经先后掌握了制备青铜技术、炼铁技术,根据考古的发现,当时的某些冶金技术的水平令当代的冶金学家赞叹不已。但到 19 世纪末以前的 3000 多年中,它每一个小的进步和发展都是在实践中经过长期的、基本上是盲目的摸索,遭受到无数次失败而取得的。整个 3000 多年中冶金还仅是一种技艺而不是科学,知其然而不知其所以然,因而发展十分缓慢。经过人们数千年的共同努力,到 19 世纪末才摸索成功转炉炼钢技术和电解精炼铜技术。一直到 20 世纪 20 年代,人们

认识到冶金过程实质上是物理化学原理和方法在提取金属中的应用,开始用物理化学理论研究冶金过程,冶金原理学科得以诞生,从而使提取冶金正式成为科学,冶金技术才得到较迅速的发展,可见冶金原理对提取冶金的快速发展起着关键性的作用。

冶金原理研究的主要内容包括:

1. 冶金过程热力学

主要是应用化学热力学的理论研究冶金反应进行的可能性、进行的限度、以及各种参数(如温度、压强、浓度(活度)等)对反应进行的影响,从而查明促使反应向有利方向进行、提高理论转化率的可能途径,与此同时热力学研究的成果往往能启迪思维,为进一步开拓新的冶金工艺指明方向。

2. 冶金过程动力学

主要运用宏观化学动力学原理研究冶金反应进行的机理,揭示其控制性步骤,研究各种参数(如比表面积、温度、传质及传热速率等)对冶金反应速率的影响,找出提高冶金过程的速率、充分提高反应器效率的有效措施,同时从反应动力学的角度为改进反应器的结构、开发新型的高产低能耗反应器指明方向。

3. 冶金溶液

包括各种冶金熔体和水溶液,它们为许多冶金反应进行的介质,同时许多冶金熔体(如熔渣、熔铕)本身又是冶金过程的产物,因此其成分、结构和性能将直接影响到冶金过程的平衡情况、金属的产出率以及原材料和能源消耗,进而直接影响冶金过程的效果。因此对冶金溶液的物理化学性质、相平衡条件进行深入研究,将为正确选择冶炼过程的参数、有关设备的结构和材质指明方向。

冶金原理涉及所有 68 种自然界存在的金属和半金属的诸多冶金方法的理论基础,按所研究的具体冶金过程的工作条件往往分为火法冶金原理、湿法冶金原理、电化冶金原理,按具体的冶金对象分为钢铁冶金原理及有色金属冶金原理,但是其核心内容是一致的,都是应用物理化学的理论和方法去研究冶金过程,仅所研究的具体对象或其所处的工作条件不同而已,尽管各自有其某些特殊性,但其应用的基础理论、方法和手段是一致的。

本书将打破上述界限,将有关内容融合为一个整体,从冶金过程热力学、冶金过程动力学及冶金熔体三方面介绍冶金过程的原理。

第一篇 冶金熔体

第一章 概 述

许多高温冶金过程,如炼钢、铝电解、粗铜的火法精炼等,都是在熔融的反应介质中进行的。另一方面,在诸如高炉炼铁、硫化铜精矿的造钼熔炼、铅烧结块的鼓风炉熔炼等众多冶炼过程中,人们得到的是熔融状态的产物或中间产品。我们把这些在火法冶金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。根据组成熔体的主要成分的不同,一般将冶金熔体分为如下四种类型:

- a) 金属熔体;
- b) 熔渣;
- c) 熔盐;
- d) 熔钼。

由于熔渣、熔盐和熔钼的主要成分均为各种金属或非金属的化合物,而不是金属,因此通常又将这三类熔体统称为非金属熔体。

冶金熔体的性质直接影响到冶炼过程的进行、冶炼工艺的指标以及冶金产品的质量等诸多方面。因此,了解冶金熔体的物理化学性质及其与温度、压力和组成等因素之间的关系,对于有效地控制和调节冶金过程、提高冶金产品的质量都具有十分重要的意义。

本篇主要介绍冶金熔体中的相平衡知识、冶金熔体的结构理论以及冶金熔体的物理、化学及热力学性质。

1.1 金属熔体

金属熔体指的是液态的金属和合金,如高炉炼铁中的铁水、各种炼钢工艺中的钢水、火法炼铜中的粗铜液、铝电解得到的铝液等。金属熔体不仅是火法冶金过程的主要产品,而且也是冶炼过程中多相反应的直接参加者。例如,炼钢中的许多物理过程和化学反应都是在钢液与熔渣之间进行的。因此,金属熔体的物理化学性质对相关冶炼过程的各项工艺指标有着非常重要的影响。

1.2 熔 渣

熔渣是指主要由各种氧化物熔合而成的熔体。在许多火法冶炼过程中,矿物原料中的主金属往往以金属、合金或熔钼的形态产出,而其中的脉石成分及伴生的

杂质金属则与熔剂一起熔合成一种主要成分为氧化物的熔体,即熔渣。实际上,熔渣通常是一种非常复杂的多组分体系,除含有 CaO 、 FeO 、 MnO 、 MgO 、 Al_2O_3 、 SiO_2 、 P_2O_5 、 Fe_2O_3 等氧化物外,还可能含有少量的氟化物(如 CaF_2)、氯化物(如 NaCl)、硫化物(如 CaS 、 MnS)等其他类型的化合物,甚至还夹带少量的金属。钢铁冶金及有色金属冶金中常见炉渣的主要化学成分如表 1-1 所示。

表 1-1 常见冶金炉渣的主要化学成分($w_b/\%$)

炉 渣	SiO_2	Al_2O_3	CaO	FeO	MgO	MnO	其他
高炉炼铁渣	30~40	10~20	35~50	< 1	5~10	0.5~1	S 1~2
转炉炼钢渣	9~20	0.1~2.5	37~59	5~20	0.6~8	1.3~10	P_2O_5 1~6
电炉炼钢渣	10~25	0.7~8.3	20~65	0.5~35	0.6~2.5	0.3~11	
电渣重熔渣	0~10	0~30	0~20		0~15		CaF_2 45~80
铜闪速炉熔炼渣	28~38	2~12	5~15	38~54	1~3		Fe_3O_4 12~15, S 0.2 ~ 0.4, Cu 0.5~0.8
铅鼓风炉熔炼渣	19~35	3~5	0~20	28~40	3~5		Pb 1~3.5
锡反射炉熔炼渣	19~24	8~10	1.5~6	45~50			Sn 7~9
高 钛 渣	1.8~5.6	1~6	0.3~1.2	2.7~6.5	1.5~5.6	1~1.5	TiO_2 82~92

熔渣是金属提炼和精炼过程的重要产物之一,大多数冶炼过程中产出的熔渣按质量计约为熔融金属或熔铕产量的 1~5 倍。熔渣不仅产量大,而且在冶炼过程中常常起着非常重要的作用。然而,不同的熔渣所起的作用是不完全一样的。以下分别介绍主要熔渣在冶炼过程中的作用。

冶炼渣 这种炉渣是在以矿石或精矿为原料、以粗金属或熔铕为冶炼产物的熔炼过程中生成的,其主要作用在于汇集炉料(矿石或精矿、燃料、熔剂等)中的全部脉石成分、灰分以及大部分杂质,从而使其与熔融的主要冶炼产物(金属、熔铕等)分离。例如,高炉炼铁的铁矿石中含有大量的脉石,在冶炼过程中,脉石成分(如 Al_2O_3 、 CaO 、 SiO_2 等)与燃料(焦炭)中的灰分以及为改善熔渣的物理化学性能而加入的熔剂(石灰石、白云石、硅石等)反应,形成炉渣,从而与金属铁分离。在硫化矿的造铕熔炼中,铜、镍等的硫化物与炉料中铁的硫化物熔融在一起,形成熔铕;铁的氧化物(FeO 、 Fe_3O_4)则与造渣熔剂(SiO_2)及其他脉石成分形成熔渣;二者由于密度不同而实现分离。

实际上,冶炼过程中生成的金属或熔铕的液滴最初都是分散在熔渣中的,这些分散的微小液滴的汇集、长大和沉降等过程都是在熔渣中进行的。因此熔渣的物理化学性质(如黏度、密度等)对金属或熔铕与脉石成分的分离程度有着决定性的影响。

此外,在竖炉(如鼓风炉)冶炼过程中,炉渣的熔化温度(或化学组成)直接决定了炉缸的最高温度。因为对于熔化温度低的炉渣,增加燃料消耗量只能增大炉料的熔化量而不能进一步提高炉子的最高温度。因此,若要提高冶炼过程的最高温度,必须选择熔化温度适当的渣型。

精炼渣 精炼渣是粗金属精炼过程的产物,其主要作用是捕集粗金属中杂质元素的氧化产物,使之与主金属分离。例如,在炼钢时,原料(生铁或废钢)中杂质元素的氧化产物(FeO 、 Fe_2O_3 、 MnO 、 TiO_2 、 P_2O_5 等)与加入的造渣熔剂(如 CaO 等)融合成炉渣,从而除去钢液中的硅、锰、磷等有害杂质,同时吸收钢液中的非金属夹杂物。

另一方面,在金属和合金的精炼时,熔渣覆盖在金属熔体表面,可以防止金属熔体被氧化性气体氧化,减小有害气体(如 H_2 、 N_2)在金属熔体中的溶解。

富集渣 富集渣的作用在于使原料中的某些有用成分富集于炉渣中,以便在后续工序中将它们回收利用。例如,以钛铁矿精矿($\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$)为原料提取金属钛时,精矿中主要伴生物质为氧化铁(约占 40%~80%);为了将钛与铁分离并富集钛,生产中一般先将钛铁矿精矿在电弧炉中进行还原熔炼,使氧化铁还原成生铁而除去, TiO_2 则造渣,得到含 TiO_2 80%~85%的高钛渣;然后从高钛渣中进一步提取金属钛。

合成渣 合成渣是指由为达到一定的冶炼目的、按一定成分预先配制的渣料熔合而成的炉渣,如铸钢用保护渣、电渣重熔用渣等。这些炉渣所起的冶金作用差别很大。例如,保护渣的主要作用是覆盖在熔融金属表面,将其与大气隔离开来,防止其二次氧化,从而使金属免受污染。而电渣重熔渣一方面作为发热体,为精炼提供所需要的热量;另一方面还能脱除钢液中的杂质、吸收非金属夹杂物。例如,在电渣重熔法炼钢时,常以 $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ 系渣为熔剂,一方面作为电阻发热体,另一方面钢液中的夹杂物(如 FeO 等)熔入渣中而被除去;同时,此熔渣亦具有保护钢液不被空气氧化的作用。

当然,熔渣对冶炼过程也会有一些不利的影响。例如,熔渣对炉衬的化学侵蚀和机械冲刷,大大缩短了炉子的使用寿命;产量很大的炉渣带走了大量热量,因而大大地增加了燃料消耗;渣中含有各种有价金属,降低了金属的直收率。

综上所述,熔渣在冶炼过程中起着非常重要的作用,俗话说“冶炼在于炼渣”,生动地说明了熔渣对于冶炼过程的重要性。冶金过程的正常进行及技术经济指标在很大程度上取决于熔渣的物理化学性质,而熔渣的物理化学性质主要是由熔渣的组成决定的。在生产实践中,必须根据各种冶炼过程的特点,合理地选择熔渣成分,使之具有符合冶炼要求的物理化学性质,如适当的熔化温度和酸碱性、较低的黏度和密度等。例如,在造钽熔炼过程中,为了使钽的液滴在熔渣中更好地沉降、降低主金属在渣中的损失,要求熔渣具有较低的黏度、密度和合适的渣-钽界面张力。

1.3 熔 盐

熔盐是盐的熔融态液体,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、碳酸盐、硝酸盐以及磷酸盐等组成的。熔盐一般不含水,具有许多不同于水溶液的性质。例如,熔盐的高温稳定性好,蒸气压低,黏度低,导电性能良好,离子迁移和扩散速度较快,热容量高,具有溶解各种不同物质的能力等。

在冶金领域,熔盐主要用于金属及其合金的电解生产与精炼。以熔盐为介质的熔盐电解法已广泛应用于铝、镁、钠、锂等轻金属和稀土金属的电解提取或精炼。这些金属都属于负电性金属,不能从水溶液中电解沉积出来,熔盐电解往往成为惟一的或占主导地位的生产方法。例如,铝的熔盐电解是目前工业上生产金属铝的惟一方法。其他的碱金属、碱土金属以及钛、铌、钽等高熔点金属也适合用熔盐电解法生产。利用熔盐电解法也可制取某些合金或化合物,如铝锂合金、铅钙合金、稀土铝合金、WC、TiB₂等。

此外,熔盐还在一些氧化物料(如 TiO₂、MgO)的熔盐氯化工艺以及某些金属(如镁)的熔剂精炼法提纯过程中获得了广泛应用。

表 1-2 列举了应用于冶金工业的一些熔盐体系的主要化学组成。

表 1-2 一些冶金熔盐体系的主要化学组成($w_B/\%$)

熔 盐	化 学 组 成
铝电解的电解质	Na ₃ AlF ₆ 82~90, AlF ₃ 5~6, Al ₂ O ₃ 3~7, 添加剂 (CaF ₂ 、MgF ₂ 或 LiF) 3~5
镁电解的电解质 (电解氯化镁)	MgCl ₂ 10, CaCl ₂ 30~40, NaCl 50~60, KCl 10~6
锂电解的电解质	LiCl 60, KCl 40
铝电解精炼的电解质 (氟氯化物体系)	AlF ₃ 25~27, NaF 13~15, BaCl ₂ 50~60, NaCl 5~8
镁熔剂精炼熔剂	MgCl ₂ 32~38, KCl 31~37, NaCl 4~10, CaCl ₂ 4~10, BaCl ₂ 5~11, CaF ₂ 6~10

总之,熔盐在冶金工业上获得了非常广泛的应用,不同的冶金过程对熔盐的物理化学性能有着显著不同的要求。为了有效地选择所需性能的熔盐体系,除了需要大量地实验测定各种熔盐体系的各种物理化学性质之外,还必须深入研究各种熔盐的微观结构及其与物理化学性质的关系,以便人们能从理论上掌握和预报未知熔盐体系的性质。