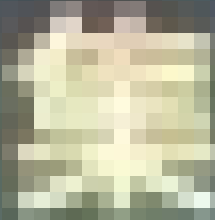
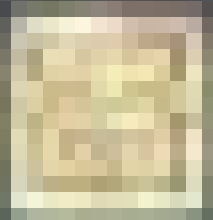
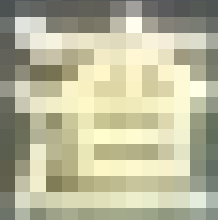


渣圖集

冶金工业出版社



THE UNIVERSITY OF CHICAGO

渣 图 集

〔西德〕德国钢铁工程师协会 编

王 俭 彭情强 毛裕文 译

王 鉴 校

冶金工业出版社

116460

内 容 提 要

本书对炉渣性质的有关研究成果做了全面的汇集,其中包括相图,活度和硫化物容量,气体在渣中的溶解度,密度,粘度,表面张力和界面张力,电导率等,并简要论述了炉渣结构理论,炉渣组成和结构以及炉渣性质的测量方法。

本书适用于从事生产,科研的冶金工作者以及冶金院校的师生。此外,对铸造,焊接,玻璃,陶瓷工作者也有一定参考价值。

渣 图 集

(西德)德国钢铁工程师协会 编

王 俭 彭情强 毛裕文 译

王 鉴 校

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街嵩祝院北巷39号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

787×1092 1/16 印张 24 3/4 字数 584 千字

1989年2月第一版 1989年2月第一次印刷

印数00,001~1,800册

ISBN 7-5024-0150-4

TF·57 定价11.65元

译者的话

众所周知，炉渣性质在冶金过程中的作用十分重要，而测定炉渣性质又是一项相当困难的工作，如果有一本炉渣性质的汇编资料，对冶金工作者无疑会有很大帮助。西德钢铁工程师协会冶金基础研究委员会组织了十几位冶金专家编辑的《Schlackenatlas Slag atlas》(1981年由杜塞尔多夫钢铁出版社出版)，相当全面地收集了炉渣主要性质的有关资料，它与苏联和日本出版的有关汇编相比，内容要丰富得多。为此，我们将它翻译出来，希望它能成为我国广大冶金工作者的有用工具。

本书原版采用德、英两种文字对照编写，我们是根据其中英文部分翻译的，只在个别地方参照了德文。鉴于原书中某些计量单位属于非法定计量单位，本书后附有单位换算表，以供读者参考。

本书的翻译分工如下：王俭负责第2、3章，彭情强负责第7、8、9章，毛裕文负责1、4、5、6章。全书由王鉴校对。翻译过程中得到魏寿昆教授的指导，在此表示衷心感谢。由于译者水平所限，译文中难免有不当之处，望读者指正。

1987年3月

前 言

自生铁冶炼到钢包冶金和特殊熔炼过程，整个钢铁生产中出现的各种反应均与实际采用的冶金炉渣有着密切的关系。必须了解所用炉渣的各种性质，才能估计各种反应和控制最佳工艺过程。与金属熔体相比，液态炉渣的性质是多种多样的，而且这些性质随成分和温度的改变变化很大。关于渣系和炉渣性质的文献数量既多涉及的范围又广，对此是不容忽视的。

冶金基础研究委员会早在六十年代根据当时的主席、杜伊斯堡的工学博士、L.冯·博格丹迪教授的建议，便领导了一个小组开始了炉渣资料的汇编工作。由于公开发表的数据不足，而要收集的数据总量又不断增加，人们很快就认识到，若不借助于较大的学会的力量，要对现有的全部数据进行严格的审定是非常困难的，甚至是不可能的。

所以在随后的资料汇编工作中，往往未能对数据进行严格地挑选。以柏林的哲学博士E.奥特斯教授和工学博士M.G.弗罗贝格教授的初步工作为基础，阿亨的工学博士T.埃尔加玛教授及其合作者：工学博士I.冯·哈根、工学博士M.哈尤杜克、工学博士T.洛伦茨、工学博士F.P.普勒修尼希和工学博士K.普罗哈斯卡等，又进一步对炉渣性质的文献广为搜集。对上述诸位先生所提供的帮助和合作在此一并表示谢意。

同样要感谢工学博士G.开斯勒、克劳斯塔-策勒菲尔的工学博士E.舒曼教授和杜伊斯堡的工学博士W.菲克斯教授。他们分别为本书写了绪言——“液态炉渣的结构”，“多元系图解法”，“钢铁冶金炉渣的成分和结构”等章节。此外对舒曼教授及其合作者为相图所作的严格分类也表示感谢。最后还应感谢杜伊斯堡的工学博士F.巴尔登霍伊尔、多特蒙德的工学博士R.舍尔，工学博士U.卡劳和杜塞尔多夫的学士工程师R.斯特芬等先生，因为他们提供了部分文稿和讨论文章。

在渣图集涉及800多篇已发表的参考文献，这表明其工作量是巨大的，但仍然是不完整的。但愿此书的出版有助于科学家和实际工作者的工作。本书也可以说是一部综合性的炉渣要略集，通过对炉渣各种性质的比较，人们可以考察现有炉渣数据的一致性和指出其不足之处。为了使本书内容更加完善，尚须增加扩散和导热数据汇编。

欧洲共同体委员会根据欧洲煤钢联营的科研促进计划提供了财政帮助，对此致以衷心的感谢。

1981·2 杜塞尔多夫
德国钢铁工程师协会
K.纽伦堡

目 录

1. 液态炉渣的结构	1
参考文献	7
2. 相图	9
2.1 二元、三元、四元和多元系的图示法	9
二元系	9
三元系	9
四元系	12
四元系的三维图象表示法	13
四元系的二维表示法	13
1. 垂直投影法	13
2. 中心投影法	14
3. 平行投影法	18
五元系	19
2.2 渣系	25
2.2.1. 二元系	25
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{—CaF}_2$	25
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{—CaO}$	26
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{—Cr}_2\text{O}_3$	27
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{—FeO}$	27
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{—Fe}_2\text{O}_3$	28
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{—MgO}$	28
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{—MnO}$	29
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{—SiO}_2$	29
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{—TiO}_2$	30
$\text{B}_2\text{O}_3\text{—CaO}$	30
$\text{B}_2\text{O}_3\text{—FeO}$	31
$\text{B}_2\text{O}_3\text{—MgO}$	31
$\text{B}_2\text{O}_3\text{—SiO}_2$	32
$\text{CaF}_2\text{—CaO}$	33
$\text{CaF}_2\text{—FeO}_n$	34
$\text{CaF}_2\text{—MgO}$	34
$\text{CaO—Cr}_2\text{O}_3$	35
CaO—FeO_n	36
$\text{CaO—Fe}_2\text{O}_3$	38
CaO—MgO	40
$\text{CaO—P}_2\text{O}_5$	40
√ CaO—SiO_2	41
CaO—TiO_2	42
$\text{Cr}_2\text{O}_3\text{—FeO}_n$	42
$\text{Ca}_2\text{O}_3\text{—MgO}$	43
Fe—O	44
FeO—FeS	46
FeO—MgO	47
$\text{Fe}_2\text{O}_3\text{—MgO}$	47
FeO—MnO	48
$\text{FeO—P}_2\text{O}_5$	49

FeO—SiO ₂	50
FeO—TiO ₂	51
FeS—MnS	51
K ₂ O—B ₂ O ₃	52
K ₂ O—P ₂ O ₅	52
K ₂ O—SiO ₂	53
K ₂ O—TiO ₂	54
MgO—SiO ₂	54
MgO—TiO ₂	55
MnO—Mn ₃ O ₄	55
MnO—MnS	56
MnO—P ₂ O ₅	56
MnO—SiO ₂	57
Na ₂ O—Al ₂ O ₃	58
Na ₂ O—B ₂ O ₃	58
Na ₂ O—Fe ₂ O ₃	59
Na ₂ O—P ₂ O ₅	59
Na ₂ O—SiO ₂	60
Na ₂ O—TiO ₂	60
SiO ₂ —TiO ₂	61
2.2.2 三元系	61
Al ₂ O ₃ —CaF ₂ —CaO	61
Al ₂ O ₃ —CaO—CaS	62
Al ₂ O ₃ —CaO—K ₂ O	62
Al ₂ O ₃ —CaO—MgO	63
Al ₂ O ₃ —CaO—Na ₂ O	64
✓ Al ₂ O ₃ —CaO—SiO ₂	64
Al ₂ O ₃ —Cr ₂ O ₃ —MgO	66
Al ₂ O ₃ —FeO _n —MnO	66
Al ₂ O ₃ —FeO—SiO ₂	68
Al ₂ O ₃ —K ₂ O—SiO ₂	69
Al ₂ O ₃ —MgO—SiO ₂	70
Al ₂ O ₃ —MgO—TiO ₂	71
Al ₂ O ₃ —MnO—SiO ₂	71
Al ₂ O ₃ —Na ₂ O—SiO ₂	72
Al ₂ O ₃ —SiO ₂ —TiO ₂	73
B ₂ O ₃ —CaO—FeO	73
✓ B ₂ O ₃ —CaO—SiO ₂	74
CaF ₂ —CaO—FeO	75
✓ CaF ₂ —CaO—SiO ₂	76
CaF ₂ —FeO—SiO ₂	76
CaF ₂ —FeO—CaO·SiO ₂	76
CaO—FeO—Fe ₂ O ₃	77
CaO—FeO _n —MgO	78
CaO—Fe ₂ O ₃ —MgO	78
CaO—FeO—MnO	79
CaO—FeO—P ₂ O ₅	80
CaO—FeO—SiO ₂	81
CaO—Fe ₂ O ₃ —SiO ₂	85
CaO—K ₂ O—SiO ₂	86
CaO—MgO—SiO ₂	87
CaO—MnO—P ₂ O ₅	88

CaO—MnO—SiO ₂	88
CaO—Na ₂ O—SiO ₂	89
CaO—P ₂ O ₅ —SiO ₂	90
CaO—SiO ₂ —TiO ₂	92
Cr ₂ O ₃ —MgO—SiO ₂	93
Fe—S—O	93
FeO—Fe ₂ O ₃ —MgO	94
FeO—Fe ₂ O ₃ —SiO ₂	95
FeO—K ₂ O—SiO ₂	96
FeO—MgO—SiO ₂	96
FeO—MnO—MnS	97
FeO—MnO—SiO ₂	97
FeO—MnO—TiO ₂	98
FeO—Na ₂ O—SiO ₂	98
FeO—SiO ₂ —ZrO ₂	99
Fe ₃ O ₄ —MgO—SiO ₂	99
MgO—MnO—SiO ₂	100
MgO—SiO ₂ —TiO ₂	101
2.2.3 四元系和多元系	102
√ Al ₂ O ₃ —CaO—MgO—SiO ₂	102
Al ₂ O ₃ —CaO—SiO ₂ —TiO ₂	109
B ₂ O ₃ —CaO—FeO—SiO ₂	110
CaO—FeO—Fe ₂ O ₃ —SiO ₂	111
CaO—FeO—MgO—SiO ₂	114
CaO—FeO—MnO—P ₂ O ₅	116
CaO—FeO—MnO—SiO ₂	117
CaO—FeO—P ₂ O ₅ —SiO ₂	117
CaO—MgO—P ₂ O ₅ —SiO ₂	119
FeO—Fe ₂ O ₃ —MgO—SiO ₂	121
Ca—Fe—O—S	122
FeO—FeS—MnO—MnS	123
FeO—FeS—MnO—MnS—SiO ₂	124
Na ₂ O—Al ₂ O ₃ —CaO—SiO ₂	125
K ₂ O—Al ₂ O ₃ —CaO—SiO ₂	127
K ₂ O—Al ₂ O ₃ —MgO—SiO ₂	128
参考文献	129
3. 炼铁和炼钢炉渣的组成和结构	135
3.1 高炉渣	135
3.2 炼钢炉渣	137
3.2.1 磷酸盐炉渣	137
3.2.2 硅酸钙渣	142
3.3. 电渣重熔渣	145
参考文献	146
4. 活度和硫化物容量	147
4.1 炉渣组元的活度	147
Al ₂ O ₃ —CaO	147
CaF ₂ —CaO	147
CaF ₂ —FeO	148
CaO—FeO	148
CaO—SiO ₂	148
FeO—SiO ₂	150

MnO—SiO ₂	151
Al ₂ O ₃ —CaF ₂ —CaO	152
Al ₂ O ₃ —CaO—CaS	152
Al ₂ O ₃ —CaO—SiO ₂	152
Al ₂ O ₃ —MgO—SiO ₂	153
CaF ₂ —CaO—FeO	154
CaF ₂ —CaO—SiO ₂	156
CaO—CaS—SiO ₂	157
CaO—FeO—Fe ₂ O ₃	159
CaO—FeO—MnO	161
CaO—FeO—P ₂ O ₅	162
CaO—FeO—SiO ₂	163
CaO—MgO—SiO ₂	164
CaO—MnO—SiO ₂	165
FeO—Fe ₂ O ₃ —SiO ₂	166
FeO—MnO—SiO ₂	168
Al ₂ O ₃ —CaO—MnO—SiO ₂	169
CaO—FeO—MgO—SiO ₂	171
CaO—FeO—MgO—MnO—P ₂ O ₅ —SiO ₂	171
炼钢渣	172
参考文献	173
4.2 硫化物容量和硫酸盐容量	175
参考文献	182
5. 气体在液态渣中的溶解度	183
5.1 氢	183
5.1.1 二元系	183
Al ₂ O ₃ —CaO	183
CaO—SiO ₂	183
CaO—FeO _n	185
MnO—SiO ₂	185
5.1.2 三元系	186
Al ₂ O ₃ —CaF ₂ —CaO	186
Al ₂ O ₃ —CaO—SiO ₂	187
CaF ₂ —CaO—SiO ₂	189
CaO—FeO—SiO ₂	189
CaO—MgO—SiO ₂	193
CaO—MnO—SiO ₂	193
CaO—Na ₂ O—SiO ₂	194
CaO—P ₂ O ₅ —SiO ₂	194
CaO—SiO ₂ —TiO ₂	195
FeO _n —Fe ₂ O ₃ —SiO ₂	195
5.1.3 四元系	195
Al ₂ O ₃ —CaO—MgO—SiO ₂	195
CaF ₂ —CaO—FeO _n —SiO ₂	196
CaO—FeO—MgO—SiO ₂	196
5.1.4 工业炉渣	196
5.1.4.1 电弧炉渣	196
5.1.4.2 平炉渣	197
5.1.4.3 合成渣	198
5.2 氮	201
5.2.1 二元系	201
Al ₂ O ₃ —CaO	201

5.2.2 三元系	208
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{—CaF}_2\text{—CaO}$	208
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{—CaO—SiO}_2$	209
5.2.3 四元和多元系	211
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{—CaO—MgO—SiO}_2$	211
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{—CaF}_2\text{—CaO—MgO—SiO}_2$	213
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{—CaO—Fe}_3\text{O}_4\text{—FeS—MgO—MnO—SiO}_2$	214
5.2.4 工艺渣	216
高炉渣	216
电弧炉渣	217
参考文献	217
6. 熔渣密度	219
6.1 定义	219
6.2 方法	219
称重法(比重计法)	219
浮力法(阿基米德法)	219
测体积法(膨胀计法)	220
测压法	220
液滴法	220
悬浮法	221
6.3 密度	222
6.3.1 纯物质	222
CaF_2	222
FeO	222
6.3.2 二元系	222
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{—CaF}_2$	222
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{—CaO}$	223
$\text{CaF}_2\text{—CaO}$	224
$\text{CaF}_2\text{—MgO}$	225
$\text{CaF}_2\text{—SiO}_2$	225
$\text{CaF}_2\text{—TiO}_2$	225
CaO—FeO	226
CaO—SiO_2	226
$\text{FeO—Fe}_2\text{O}_3$	227
FeO—SiO_2	227
MgO—SiO_2	228
MnO—SiO_2	228
6.3.3 三元系	228
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{—CaF}_2\text{—CaO}$	228
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{—CaO—MgO}$	230
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{—CaO—SiO}_2$	230
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{—MnO—SiO}_2$	232
$\text{CaF}_2\text{—CaO—SiO}_2$	232
$\text{CaF}_2\text{—FeO—SiO}_2$	233
$\text{CaO—FeO—Fe}_2\text{O}_3$	233
$\text{CaO—FeO—P}_2\text{O}_5$	233
CaO—FeO—SiO_2	234
$\text{FeO—Fe}_2\text{O}_3\text{—SiO}_2$	235
FeO—MnO—SiO_2	236
6.3.4 四元系	237
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{—CaF}_2\text{—CaO—MgO}$	237

Al ₂ O ₃ —CaF ₂ —CaO—MnO	237
Al ₂ O ₃ —CaF ₂ —CaO—SiO ₂	237
Al ₂ O ₃ —CaO—MgO—SiO ₂	237
CaF ₂ —CaO—MnO—SiO ₂	238
CaO—Cr ₂ O ₃ —(FeO+MnO)—SiO ₂	238
CaO—FeO—Fe ₂ O ₃ —SiO ₂	239
CaO—FeO—MnO—SiO ₂	240
FeO—Fe ₂ O ₃ —MnO—SiO ₂	240
6.3.5 多元系	241
Al ₂ O ₃ —CaF ₂ —CaO—MgO—SiO ₂	241
CaO—FeO—Fe ₂ O ₃ —MnO—SiO ₂	241
其他 多元系	241
参考文献	243
7. 炉渣粘度	245
7.1 单位符号	245
7.2 粘度测定方法, 物理关系和量纲述评	245
静态法	245
毛细管法或溢流法	245
落球法	246
旋转法	247
扭摆法	248
柱体扭摆法	248
坩埚扭摆法	249
工业粘度计	250
赫尔蒂粘度计	250
克拉比尔浸入式粘度计	250
7.3 炉渣粘度	251
7.3.1 纯组元的粘度	251
Al ₂ O ₃	251
B ₂ O ₃	251
CaF ₂	252
CaO	253
FeO	253
SiO ₂	253
7.3.2 二元系的粘度	254
Al ₂ O ₃ —CaF ₂	254
Al ₂ O ₃ —CaO	254
CaF ₂ —CaO	255
CaF ₂ —MgO	255
CaF ₂ —Na ₃ AlF ₆	256
CaF ₂ —NaF	256
CaF ₂ —V ₂ O ₅	257
CaO—Fe ₂ O ₃	257
CaO—P ₂ O ₅	257
CaO—SiO ₂	258
FeO—SiO ₂	259
MgO—SiO ₂	260
MnO—SiO ₂	260
7.3.3 三元系	260
Al ₂ O ₃ —CaF ₂ —CaO	260
Al ₂ O ₃ —CaF ₂ —V ₂ O ₅	261

$\text{Al}_2\text{O}_3\text{—CaO—MgO}$	261
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{—CaO—SiO}_2$	263
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{—CaO—TiO}_2$	264
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{—FeO—SiO}_2$	265
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{—MgO—SiO}_2$	266
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{—SiO}_2\text{—TiO}_2$	266
$\text{CaF}_2\text{—CaO—SiO}_2$	267
CaO—CaS—SiO_2	268
$\text{CaO—Cr}_2\text{O}_3\text{—SiO}_2$	268
CaO—FeO—SiO_2	269
$\text{CaO—Fe}_2\text{O}_3\text{—SiO}_2$	269
CaO—MgO—SiO_2	270
CaO—MnO—SiO_2	270
$\text{CaO—SiO}_2\text{—TiO}_2$	271
FeO—MnO—SiO_2	272
$\text{FeO—SiO}_2\text{—TiO}_2$	272
7.3.4 四元系和多元系	273
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{—CaF}_2\text{—CaO—SiO}_2$	273
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{—CaO—CaS—SiO}_2$	275
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{—CaO—FeO—SiO}_2$	275
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{—CaO—MgO—SiO}_2$	276
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{—CaO—MnO—SiO}_2$	279
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{—CaO—SiO}_2\text{—TiO}_2$	280
$\text{CaO—FeO—Fe}_2\text{O}_3\text{—SiO}_2$	281
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{—CaF}_2\text{—CaO—MgO—SiO}_2$	281
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{—CaO—FeO—MgO—SiO}_2$	282
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{—CaO—CaS—MgO—MnO—SiO}_2$	282
7.3.5 钢铁冶金炉渣	282
高炉渣	282
平炉渣	288
氧气炼钢渣	292
电渣重熔渣	295
参考文献	298
8. 炉渣的表面张力和界面张力	301
8.1. 定义	301
8.2 高温下的测量方法	302
毛细管上升法	302
静滴法	303
悬滴法	303
滴重法	304
滴的分离法	304
圆筒脱离法	305
振动法	305
最大气泡压力法	305
8.3 表面张力	306
8.3.1 纯组元	306
B_2O_3	307
CaF_2	307
SiO_2	307
8.3.2 二元系	303

Al ₂ O ₃ —CaF ₂	308
Al ₂ O ₃ —CaO	308
B ₂ O ₃ —CaO	309
CaF ₂ —CaO	309
CaF ₂ —MgO	310
CaF ₂ —SiO ₂	310
CaF ₂ —TiO ₂	311
CaF ₂ —Me _x O _y	311
CaO—SiO ₂	312
FeO—SiO ₂	313
FeO—Me _x O _y	314
MnO—SiO ₂	314
SiO ₂ —Me _x O _y	315
各种二元系	316
8.3.3 三元系	318
Al ₂ O ₃ —CaF ₂ —CaO	318
Al ₂ O ₃ —CaO—SiO ₂	319
Al ₂ O ₃ —MnO—SiO ₂	321
Al ₂ O ₃ —MeO—SiO ₂	322
BaO—B ₂ O ₃ —SiO ₂	322
B ₂ O ₃ —CaO—K ₂ O	323
CaF ₂ —CaO—SiO ₂	323
CaO—FeO—SiO ₂	323
CaO—P ₂ O ₅ —SiO ₂	324
FeO—MnO—SiO ₂	324
8.3.4 四元系	324
Al ₂ O ₃ —CaF ₂ —CaO—MgO	324
Al ₂ O ₃ —CaF ₂ —CaO—MnO	324
Al ₂ O ₃ —CaF ₂ —CaO—SiO ₂	325
Al ₂ O ₃ —CaO—MgO—SiO ₂ —(S)	326
Al ₂ O ₃ —FeO—Fe ₂ O ₃ —SiO ₂	327
8.3.5 五元系和多元系	328
Al ₂ O ₃ —CaF ₂ —CaO—MgO—SiO ₂	328
Al ₂ O ₃ —CaF ₂ —CaO—MnO—SiO ₂	329
CaO—FeO—Fe ₂ O ₃ —MgO—SiO ₂	329
五个组元以上的炉渣	329
8.4 渣铁熔体间的界面张力	331
8.4.1 铁熔体	331
8.4.2. 二元系	331
Al ₂ O ₃ —CaF ₂	331
Al ₂ O ₃ —CaO	332
CaF ₂ —CaO	332
CaF ₂ —Me _x O _y	333
CaO—SiO ₂	333
8.4.3 三元系	333
Al ₂ O ₃ —CaF ₂ —CaO	333
Al ₂ O ₃ —CaO—SiO ₂	334
Al ₂ O ₃ —MnO—SiO ₂	336
8.4.4 三元以上的炉渣和工业熔体	337
Al ₂ O ₃ —CaF ₂ —CaO—Cr ₂ O ₃	337

$\text{Al}_2\text{O}_3\text{—CaF}_2\text{—CaO—MgO—SiO}_2$	338
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{—CaO—FeO—Fe}_2\text{O}_3\text{—MgO—SiO}_2$	338
工业熔体	338
8.5 炉渣和耐火材料之间的润湿角	339
参考文献	340
9. 电导率	345
9.1 液态熔融物质电导率的测定	343
9.2 纯组元	344
Al_2O_3	344
CaF_2	345
FeO	346
SiO_2	346
9.3 二元系	346
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{—CaF}_2$	346
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{—CaO}$	347
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{—FeO}$	348
$\text{CaF}_2\text{—CaO}$	348
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{—SiO}_2$	348
$\text{CaF}_2\text{—FeO}$	348
BaO—SiO_2	349
$\text{CaF}_2\text{—SiO}_2$	349
CaO—FeO	350
$\text{CaO—Fe}_2\text{O}_3$	350
CaO—SiO_2	351
FeO—MnO	351
FeO—SiO_2	352
FeO—TiO_2	352
MgO—SiO_2	353
MnO—SiO_2	353
$\text{Na}_2\text{O—SiO}_2$	354
$\text{SiO}_2\text{—SrO}$	354
9.4 三元系	355
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{—CaF}_2\text{—CaO}$	355
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{—CaO—SiO}_2$	356
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{—CaO—MgO}$	357
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{—CaO—TiO}_2$	358
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{—MgO—SiO}_2$	358
$\text{CaF}_2\text{—CaO—NaF}$	359
$\text{CaO—Cr}_2\text{O}_3\text{—SiO}_2$	359
CaO—FeO—SiO_2	360
$\text{CaO—Fe}_2\text{O}_3\text{—SiO}_2$	361
CaO—MnO—SiO_2	361
$\text{CaO—SiO}_2\text{—TiO}_2$	362
$\text{FeO—Fe}_2\text{O}_3\text{—TiO}_2$	364
FeO—MnO—SiO_2	364
FeO—MnO—TiO_2	365
$\text{FeO—Na}_2\text{O—SiO}_2$	365
9.5 四元系	366
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{—CaO—FeO—SiO}_2$	366
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{—CaO—MgO—SiO}_2$	368

$\text{Al}_2\text{O}_3\text{—CaO—SiO}_2\text{—Me}_x\text{O}_y$	370
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{—CaO—SiO}_2\text{—Me}_x\text{F}_y$	373
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{—CaO—SiO}_2\text{—Me}_x\text{Cl}_y$	375
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{—CaO—SiO}_2\text{—Me}_x\text{O}_y$ ($\text{Me}_x\text{F}_y, \text{Me}_x\text{Cl}_y$)	376
$\text{CaO—FeO—Fe}_2\text{O}_3\text{—SiO}_2$	376
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{—Cr}_2\text{O}_3\text{—MgO—SiO}_2$	377
9.6 多元系	378
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{—CaF}_2\text{—CaO—MgO—SiO}_2$	378
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{—CaF}_2\text{—CaO—Fe}_2\text{O}_3\text{—MgO—SiO}_2$	379
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{—CaF}_2\text{—CaO—FeO—MgO—MnO—SiO}_2$	379
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{—CaF}_2\text{—CaO—FeO—MgO—SiO}_2\text{—TiO}_2$	380
参考文献	380

1. 液态炉渣的结构

液态炉渣的性质与熔融金属相比有很大差异，随化学成分和温度的不同，熔渣性质可在很大范围内变化。其原因在于各种炉渣结构上有很大的差别。

为了说明其它物质同炉渣进行的各种反应以及在炉渣内部进行的反应，已经提出了两种理论：分子理论和离子理论。

以经典化学的化学计量方法为根据，分子理论认为，液态炉渣是由单独的氧化物，硫化物或氟化物所组成，例如 FeO 、 CaO 、 MnO 、 SiO_2 、 P_2O_5 、 Fe_2O_3 、 FeS 、 MnS 、 CaF_2 等。这些分子可以化合成为诸如 $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ 、 $2\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$ 、 $2\text{CaO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ 之类的复杂化合物，这些复杂化合物与相应的化合物平衡共存。这种处理问题的方法引出了组元“自由成分”的概念^[1]，然后结合热力学理论导出“活度”并用以表示熔渣中某一物质所起作用的特点。分子理论之所以有用，在于它对炉渣反应提供了一个具体的说明形式；但不能认为化合物生成反应的平衡常数 K 值不变就证明炉渣中存在着上述一些分子和由其组成的化合物。根据凝固后炉渣中存在的晶体结构就认为液态炉渣中也存在着这样的分子排布，这同样是不可靠的。按照液态金属合金的情况推断，液态炉渣不可能有均匀的长程结构，因此改变炉渣组成和温度，炉渣的性质也不会随之连续变化。

炉渣的电导率、电解和粘度实验数据最有力地冲击了分子理论。炉渣熔化时电导率显著增大，其电导率的数量级接近于熔盐，这种情况连同温度和浓度因素的作用，都表明炉渣是由带正电荷的阳离子和带负电荷的阴离子所组成。

炉渣电解时离子迁移数的测定结果指出，硅酸盐炉渣中有着单纯的离子导电，电流由阳离子单独携带。只有在高 FeO 和 MnO 渣中才在一定程度上出现电子导电。

P.海拉塞门科^[2]首先把液态硅酸盐的离子结构原理用于冶金，他认为炉渣全部解离为离子，实际上是由下面几部分组成的：

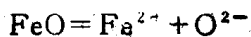
- a) 简单的可以自由迁移的阳离子，如 Ca^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Mn^{2+} 、 Mg^{2+} 。
- b) 非金属阴离子，如 O^{2-} 、 S^{2-} 、 F^- 。
- c) 络合阴离子，如 SiO_4^{4-} 、 PO_4^{3-} 、 AlO_4^{5-} 、 FeO_4^{4-} 、 $\text{Fe}_2\text{O}_4^{6-}$ 。

络合阴离子的形成是以如下事实为根据的：尺寸较小、多电荷的 Si^{4+} 、 P^{5+} 和 Al^{3+} 离子可以比其它阳离子优先与尺寸较大的氧离子形成更为稳定的四面体排列[●]（图1）。

在这个基础上，M.捷姆金^[4]正式提出了“理想离子溶液”的概念。这个理论指出，离子的活度等于该离子的摩尔数与所有同号离子摩尔数之和的比值。这样，就将“活度”的表达式与浓度联系起来：

$$a_{K^+} = n_{K^+} / \sum n_{+}; \quad a_{A^-} = n_{A^-} / \sum n_{-}.$$

将这些假设用于碱性渣，可以计算出熔体中各种离子的浓度。氧离子浓度可以根据产生氧离子的解离反应



● Al^{3+} 与 O^{2-} 形成的是三角形排列。——译者注