

· 高职高专“十二五”规划教材 ·



矿热炉控制与操作

KUANGRELU KONGZHI YU CAOZUO

石 富 王 鹏 孙振斌 主 编



冶 金 工 业 出 版 社
Metallurgical Industry Press

高职高专“十二五”规划教材

矿热炉控制与操作

石 富 王 鹏 孙振斌 主编

北 京
冶金工业出版社
2010

内 容 提 要

为了适应电石和铁合金企业生产过程技术进步的需要,本书以电石和铁合金生产过程为切入点,侧重于介绍矿热炉的机械设备、电气设备、电热原理与电气参数、碳质还原剂、电极和炉衬,分别论述了电石、硅系铁合金、锰系铁合金的矿热炉冶炼工艺、生产操作,并给出了矿热炉工艺计算示例。

本书可以作为高等职业技术教育冶金技术专业、材料工程专业的教学用书,也可作为相关企业技术人员职业资格和岗位技能培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

矿热炉控制与操作/石富,王鹏,孙振斌主编. —北京:冶金工业出版社,2010. 10

高职高专“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5024-5362-6

I. ① 矿… II. ① 石… ② 王… ③ 孙… III. ① 电弧炼钢炉
—高等学校:技术学校—教材 IV. ① TF748. 41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第196932 号

出 版 人 曹胜利

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 yjcs@cnmip.com.cn

责任编辑 王 优 美术编辑 李 新 版式设计 葛新霞

责任校对 石 静 责任印制 张祺鑫

ISBN 978-7-5024-5362-6

北京印刷一厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2010 年 10 月第 1 版,2010 年 10 月第 1 次印刷

787 mm×1092 mm 1/16;18.5 印张;446 千字;282 页

37.00 元

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)

前 言

本书是根据教育部高职院校培养高素质高级技能型专门人才的任务,为满足电石和铁合金产业发展培养人才的需要,由学校专业教师和企业工程技术人员合作编写的用于高职教育和企业职工培训的教材。内蒙古机电职业技术学院校企合作办学理事会冶金分会及材料与能源教学指导委员会、鄂尔多斯电力冶金集团冶金人才共育基地和大唐国际再生资源开发公司冶金人才共育基地的专家、工程技术人员、生产一线工作人员共同审定了本书的编写大纲,确定以矿热炉设备控制及维护、冶炼生产操作方法为本书主要内容,并确定了编写人员及编写内容分工,初稿完成后集体进行了审阅。

矿热炉是生产电石和铁合金的主体设备。经过“十一五”期间的治理整顿,我国电石和铁合金行业的产能、产量都跃居世界首位,并呈高速上升态势。我国目前新建的矿热炉均向高效率、大型化方向发展,并且能利用计算机的最优数学模型来计算确定大型矿热炉的最优参数和最佳工作状态。矿热炉电极的自动调节技术也已投入实际应用,在规定任务条件下,可保证冶炼过程的最优电力条件。鉴于矿热炉装备的技术进步,生产过程中对于实现矿热炉优化控制和操作的要求日趋迫切。

本书力求系统而完整地展示现代矿热炉领域的科技内涵,共分9章。第1章以电石和铁合金生产过程为切入点,介绍矿热炉的发展及应用、冶金原理、车间组成与布置等内容。第2章叙述矿热炉组成、电极把持器、电极液压系统等机械设备。第3章讨论矿热炉供电系统组成、无功补偿技术、三相功率不平衡的预防以及电气控制等内容。第4章阐述矿热炉的电热原理与电气参数,以矿热炉中的电弧现象产生的高温反应区为基础,进行矿热炉电路分析和电气特性分析,导出矿热炉参数计算及选择方法,并给出矿热炉全电路分析例解。第5章集中介绍矿热炉的碳质还原剂、电极与炉衬以及矿热炉的开炉方法。第6~8章分别阐述矿热炉生产电石、硅系铁合金、锰系铁合金的冶炼原理和工艺操作。第9章给出典型的矿热炉工艺计算示例,分别为20 MV·A电石炉物料平衡与热平衡计算、冶炼硅铁75的物料平衡及热平衡计算、冶炼锰硅合金的物料平衡及热

平衡计算。编者在编写过程中,编入了各自企业的生产技术和经验,吸收了国内外相关先进技术成果,充实了必要的基础知识和基本操作技能;在叙述上由浅入深,理论联系实际,内容充实,标准规范,实用性强。

本书由内蒙古机电职业技术学院石富、鄂尔多斯电力冶金集团公司王鹏、大唐国际再生资源开发公司孙振斌任主编,其他参编人员还有内蒙古机电职业技术学院高岗强、贾锐军、李青录,鄂尔多斯电力冶金集团公司马海疆、苗全旺、孟长海,大唐国际再生资源开发公司车俊江。具体编写分工如下:第1章由高岗强、王鹏、孙振斌共同编写,第2章由高岗强、苗全旺共同编写,第3章由石富、孟长海、孙振斌共同编写,第4章由石富、马海疆、车俊江共同编写,第5章由高岗强、苗全旺、车俊江共同编写,第6章由贾锐军、王鹏共同编写,第7章由贾锐军、苗全旺共同编写,第8章由李青录、孟长海、孙振斌共同编写,第9章由李青录、马海疆、车俊江共同编写。全书由石富负责统稿,由王鹏和孙振斌负责审阅、修改并定稿。在编写和审稿过程中,得到了电石和铁合金产业界及兄弟院校许多同仁的大力支持和热情帮助,在此表示衷心的感谢。对所有为本书提供资料、建议和帮助的各方人士,也借此表示诚挚的谢意。

限于编者水平,书中不妥和疏漏之处,恳请读者批评指正。

编 者
2010年6月

冶金工业出版社部分图书推荐

书 名	作 者	定价(元)
物理化学(第3版)(国规教材)	王淑兰 主编	35.00
相图分析及应用(本科教材)	陈树江 等编	20.00
热工测量仪表(本科国规教材)	张 华 等编	38.00
传热学(本科教材)	任世铮 编著	20.00
冶金原理(本科教材)	韩明荣 主编	40.00
传输原理(本科教材)	朱光俊 主编	42.00
冶金热工基础(本科教材)	朱光俊 主编	36.00
钢铁冶金学教程(本科教材)	包燕平 等编	49.00
钢铁冶金原燃料及辅助材料(本科教材)	储满生 主编	59.00
冶金过程数值模拟基础(本科教材)	陈建斌 编著	28.00
炼铁学(本科教材)	梁中渝 主编	45.00
炼钢学(本科教材)	雷 亚 等编	42.00
炉外处理(本科教材)	陈建斌 主编	39.00
连续铸钢(本科教材)	贺道中 主编	30.00
冶金设备(本科教材)	朱 云 主编	49.80
冶金设备课程设计(本科教材)	朱 云 主编	19.00
冶金过程数学模型与人工智能应用(本科教材)	龙红明 编	28.00
炼铁厂设计原理(本科教材)	万 新 主编	38.00
炼钢厂设计原理(本科教材)	王令福 主编	29.00
物理化学(高职高专规划教材)	邓基芹 主编	28.00
物理化学实验(高职高专规划教材)	邓基芹 主编	19.00
冶金专业英语(高职高专国规教材)	侯向东 主编	28.00
烧结矿与球团矿生产(高职高专规划教材)	王悦祥 主编	29.00
冶金原理(高职高专规划教材)	卢宇飞 主编	36.00
金属材料及热处理(高职高专规划教材)	王悦祥 等编	35.00
冶金生产概论(高职高专国规教材)	王明海 主编	28.00
炼铁技术(高职高专规划教材)	卢宇飞 主编	29.00
高炉炼铁设备(高职高专规划教材)	王宏启 主编	36.00
铁合金生产工艺与设备(高职高专规划教材)	刘 卫 主编	39.00
稀土冶金技术(高职高专规划教材)	石 富 主编	36.00
稀土永磁材料制备技术(高职高专规划教材)	石 富 主编	29.00
火法冶金——粗金属精炼技术(高职高专规划教材)	刘自力 等编	18.00
湿法冶金——净化技术(高职高专规划教材)	黄 卉 主编	15.00
湿法冶金——浸出技术(高职高专规划教材)	刘洪萍 主编	18.00
氧化铝制取(高职高专规划教材)	刘自力 等编	18.00
氧化铝生产仿真实训(高职高专规划教材)	徐 征 等编	20.00
金属铝熔盐电解(高职高专规划教材)	陈利生 等编	18.00
冶金过程检测与控制(第2版)(职业技术学院教材)	郭爱民 主编	30.00
干熄焦生产操作与设备维护(职业技能培训教材)	罗时政 等编	70.00
高炉炼铁基础知识(第2版)(职业技能培训教材)	贾 艳 主编	40.00
炼钢基础知识(职业技能培训教材)	冯 捷 主编	39.00
炼铁计算辨析	那树人 编著	40.00

目 录

1 矿热炉生产过程	1
1.1 矿热炉的发展及应用	1
1.1.1 矿热炉的用途	1
1.1.2 电石炉的发展	1
1.1.3 铁合金电炉的发展	2
1.1.4 我国矿热炉的类型	3
1.1.5 矿热炉的新进展	4
1.2 矿热炉的冶金原理	5
1.2.1 还原反应的通式	5
1.2.2 反应的热效应	6
1.2.3 反应的标准自由能变化 $\Delta G^\ominus$	7
1.2.4 氧化物的稳定性	8
1.2.5 平衡常数与选择还原	10
1.2.6 化学反应速率	12
1.3 矿热炉生产电石过程	12
1.4 矿热炉生产铁合金过程	13
1.5 矿热炉车间	15
1.5.1 矿热炉车间组成	15
1.5.2 矿热炉车间布置	16
1.5.3 车间主要技术经济指标	20
2 矿热炉的机械设备	23
2.1 矿热炉组成	23
2.1.1 炉体	23
2.1.2 烟罩与炉盖	24
2.1.3 加料系统	29
2.1.4 排烟通风设施及除尘装置	29
2.2 矿热炉电极把持器	30
2.2.1 电极把持器的抱紧装置	31
2.2.2 把持筒	35
2.2.3 导电装置	36
2.2.4 电极水冷系统	36
2.2.5 电极升降装置	37

2.2.6 电极压放装置	37
2.3 电极液压系统	39
3 矿热炉的电气设备	43
3.1 矿热炉供电系统	43
3.1.1 矿热炉供电系统组成	43
3.1.2 矿热炉变压器	45
3.1.3 矿热炉短网	49
3.2 矿热炉的无功补偿及谐波治理	53
3.2.1 矿热炉电气系统的单相等效电炉	53
3.2.2 无功补偿方法	55
3.2.3 低压就地补偿	56
3.3 矿热炉三相电极功率不平衡的预防	58
3.3.1 产生功率不平衡的原因	58
3.3.2 功率不平衡对冶炼操作的影响	59
3.3.3 影响矿热炉功率平衡的因素	59
3.3.4 功率不平衡的监测和预防	61
3.3.5 矿热炉的经济运行	61
3.4 矿热炉的电气控制	62
3.4.1 供电自动控制	62
3.4.2 工厂电能需要量控制	63
3.4.3 电极压放自动控制	64
3.4.4 电极深度控制	64
3.4.5 上料及称量控制	66
3.4.6 过程计算机控制	66
4 矿热炉的电热原理与电气参数	68
4.1 矿热炉的电热原理	68
4.1.1 矿热炉中的电弧现象	68
4.1.2 电弧特性	70
4.1.3 矿热炉中的高温反应区	71
4.2 矿热炉电路分析	74
4.2.1 炉内电流回路解析	74
4.2.2 矿热炉操作电阻	75
4.2.3 矿热炉电流的交互作用	78
4.2.4 矿热炉的电抗和高次谐波分量	78
4.3 矿热炉的电气特性	79
4.3.1 电流圆图	79
4.3.2 特定电压级下矿热炉的特性曲线	80

4.3.3 特性曲线组和恒电阻曲线	81
4.4 矿热炉参数计算及选择	81
4.4.1 变压器功率的确定	82
4.4.2 二次电流及二次电压的确定	82
4.4.3 矿热炉几何参数的确定	84
4.4.4 计算例解	88
4.5 矿热炉全电路分析例解	89
4.5.1 简化电路	89
4.5.2 电气参数计算	91
4.5.3 变压器规范的拟订	91
4.5.4 矿热炉特性曲线的绘制	92
5 碳质还原剂、电极与炉衬	96
5.1 碳质还原剂	96
5.1.1 对碳质还原剂的要求	96
5.1.2 碳质还原剂的冶金性能	96
5.1.3 铁合金专用焦的种类与性能	99
5.2 电极	102
5.2.1 电极的种类和性质	102
5.2.2 自焙电极的制作	105
5.2.3 自焙电极的烧结	110
5.2.4 电极的使用和维护	114
5.3 炉衬	118
5.3.1 筑炉材料的种类、要求及其选择	118
5.3.2 炉体砌筑	120
5.4 矿热炉的开炉	125
5.4.1 新开炉电极焙烧	125
5.4.2 电烘炉、投料冶炼	128
5.4.3 出铁时间的确定	129
5.4.4 合金成分的控制	129
6 矿热炉生产电石	130
6.1 概述	130
6.1.1 电石的质量指标及生产方法	130
6.1.2 电石的主要性质	130
6.1.3 电石的主要用途	132
6.2 电石炉炉内反应	133
6.2.1 电石生成反应	133
6.2.2 炉内反应状况	133

6.2.3 碳化钙的反应速度与稀释速度	134
6.3 影响电石炉操作的因素	136
6.3.1 石灰的影响	136
6.3.2 炭素原料的影响	139
6.3.3 炉料的影响	144
6.3.4 炉料配比的计算	145
6.4 电石炉操作	147
6.4.1 电石炉投料方法	147
6.4.2 电石炉闭弧操作及运行工艺指标	148
6.4.3 明弧与干烧操作的应用	149
6.4.4 调炉操作	151
6.4.5 进出料平衡操作	155
6.4.6 出炉操作	156
6.4.7 处理故障操作	156
6.5 电石炉开炉、停炉与清炉	158
6.5.1 新炉开炉	158
6.5.2 正常停炉与开炉	161
6.5.3 事故停炉与开炉	161
6.5.4 清炉操作	162
6.6 密闭电石炉尾气干法净化系统及操作	163
6.6.1 密闭电石炉尾气净化系统工艺流程	163
6.6.2 净化系统置换方案	165
6.6.3 净化系统开停车操作	165
6.6.4 净化系统报警及联锁说明	166
6.6.5 净化系统易出现的问题及故障处理	167
7 矿热炉生产硅系铁合金	169
7.1 概述	169
7.1.1 硅铁的牌号和用途	169
7.1.2 硅及其化合物的物理化学性质	170
7.1.3 冶炼硅铁的原料	173
7.2 硅铁冶炼原理	175
7.2.1 硅铁冶炼的炉内反应	175
7.2.2 硅铁炉内的温度分布和反应区	177
7.3 硅铁冶炼操作	179
7.3.1 硅铁冶炼的加料方法	179
7.3.2 料面形状及高度控制	180
7.3.3 扎透气眼及捣炉	181
7.3.4 异常炉况的处理	182

7.3.5 电极控制	183
7.3.6 密闭炉操作	185
7.3.7 出铁及浇注	186
7.3.8 出铁口维护	189
7.3.9 改变冶炼品种操作	191
7.3.10 降低电耗措施	192
7.3.11 物料平衡和简易配料计算	192
7.4 工业硅	194
7.4.1 工业硅的牌号和用途	194
7.4.2 工业硅的原材料及其要求	195
7.4.3 工业硅的冶炼原理	195
7.4.4 工业硅的生产设备	196
7.4.5 工业硅的冶炼操作	197
7.4.6 工业硅的配料计算	199
7.5 硅钙合金	200
7.5.1 硅钙合金的牌号和用途	200
7.5.2 钙及其化合物的物理化学性质	201
7.5.3 硅钙合金的生产方法及原材料	202
7.5.4 硅钙合金冶炼过程中的基本反应	203
7.5.5 混合加料法操作	203
7.5.6 分层加料法操作	204
7.5.7 出铁及浇注	205
7.5.8 硅钙合金的简易配料计算	205
7.6 硅铝合金	206
7.6.1 硅铝合金的牌号和用途	206
7.6.2 铝及其化合物的物理化学性质	206
7.6.3 硅铝合金的原料及要求	207
7.6.4 硅铝合金冶炼的基本反应	208
7.6.5 硅铝合金的冶炼操作特点	208
7.7 硅钡合金	209
7.7.1 硅钡合金及其应用	209
7.7.2 硅钡合金的生产方法及原料要求	210
7.7.3 硅钡合金的冶炼反应	210
7.7.4 硅钡合金的冶炼操作要求	211
7.7.5 硅钡铁合金的配料计算	212
7.8 硅铝钡合金	213
7.8.1 硅铝钡合金及其用途	213
7.8.2 硅铝钡合金的生产方法及原材料要求	214
7.8.3 冶炼硅铝钡合金的基本反应	215

7.8.4 硅铝钡合金的冶炼操作要点	215
7.8.5 硅铝钡合金的配料计算	216
7.9 硅钙钡合金	217
7.9.1 硅钙钡合金及其用途	217
7.9.2 冶炼硅钙钡合金的基本反应	218
7.9.3 硅钙钡合金的冶炼操作要点	219
7.9.4 硅钙钡铁合金的配料计算	219
8 矿热炉生产锰系铁合金	221
8.1 概述	221
8.1.1 锰铁的牌号和用途	221
8.1.2 锰及其化合物的主要物理化学性质	223
8.1.3 锰矿	224
8.1.4 冶炼锰铁合金对锰矿的要求	227
8.2 高碳锰铁	228
8.2.1 高碳锰铁的生产方法	228
8.2.2 冶炼高碳锰铁的基本反应	229
8.2.3 高碳锰铁的冶炼操作	230
8.2.4 高碳锰铁的配料计算	234
8.3 锰硅合金	236
8.3.1 生产锰硅合金的原料	236
8.3.2 锰硅合金的冶炼原理	238
8.3.3 影响锰硅合金冶炼的因素	239
8.3.4 锰硅合金的冶炼操作	242
8.3.5 锰硅合金的配料计算	244
8.4 富锰渣	246
8.4.1 富锰渣的牌号和用途	246
8.4.2 富锰渣冶炼的基本原理	247
8.4.3 矿热炉生产富锰渣	248
9 矿热炉工艺计算示例	250
9.1 20MV·A 密闭电石炉的物料平衡及热平衡计算	250
9.1.1 工况测定及体系模型	250
9.1.2 物料平衡计算	252
9.1.3 热平衡数据及数据处理	256
9.1.4 热平衡数据分析	264
9.2 冶炼硅铁 75 的物料平衡及热平衡计算	267
9.2.1 炉料计算	267
9.2.2 物料平衡计算	271

9.2.3 热平衡计算	272
9.3 冶炼锰硅合金的物料平衡及热平衡计算	275
9.3.1 炉料计算	275
9.3.2 物料平衡计算	277
9.3.3 热平衡计算	278
参考文献.....	282



矿热炉生产过程

1.1 矿热炉的发展及应用

1.1.1 矿热炉的用途

矿热炉是一种用途广泛、具有不同类型的电炉,由于主要用于金属氧化矿石的还原冶炼,所以称为矿热炉或还原电炉。此外,由于这类电炉的电弧通常是深埋于炉料之中,又称为潜弧炉或埋弧炉。

图 1-1 为矿热炉示意图。供电系统提供的低压大电流通过三相碳质电极输入炉内,在电极末端产生的电弧将电能转换成热能,从而在炉体内的炉料中形成高温反应区,进行氧化矿石的还原反应。通常使用焦炭等碳质还原剂,将焦炭和被还原的矿石原料持续不断地加入炉内,反应区的还原反应连续进行,得到的液态产品积存在熔池内,定期打开出炉口将其放出,浇注后得到产品。

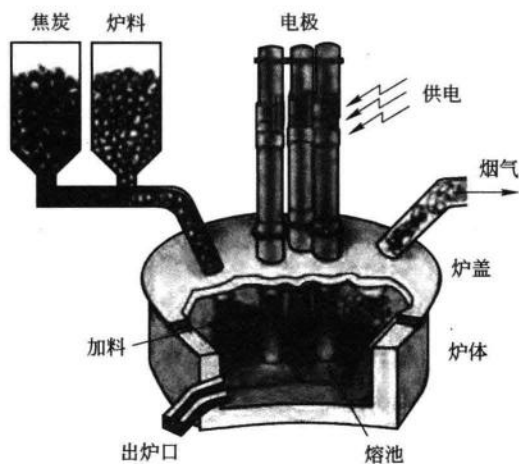


图 1-1 矿热炉示意图

矿热炉用于生产电石时称为电石炉,用于生产铁合金时称为铁合金电炉,用于生产黄磷时称为黄磷炉,用于生产冰铜时则称为冰铜炉。生产电石时,以焦炭作还原剂,石灰(氧化钙)作原料,经过炉内冶炼得到电石(主要成分为碳化钙)产品。生产铁合金时,仍以焦炭作还原剂,根据生产品种的不同采用不同的原料,例如以硅石、氧化锰矿、氧化铬矿作原料,则分别得到硅铁、锰铁、铬铁等系列的铁合金产品。

1.1.2 电石炉的发展

电石是生产乙炔的原料,同时也用于生产石灰氮或作为冶炼钢铁的脱硫剂。乙炔有

“有机合成之母”之称,主要用于生产聚氯乙烯、氯丁橡胶、醋酸及醋酸乙烯等;同时,乙炔还大量用于金属切割、生产乙炔炭黑。

矿热炉生产电石的工业诞生于 19 世纪末,当时电炉容量很小,只有 $0.1 \sim 0.3 \text{ MV} \cdot \text{A}$,而且是单相,采用间歇操作,生产技术处于萌芽阶段,所生产的电石只用于照明、金属的切割与焊接。进入 20 世纪,随着生产石灰氮(氰氨化钙)的工艺问世,电石生产向前迈进了一步。1909 年,挪威索得别尔格(C. T. Soederberg)发明了自焙电极,此后相继采用了敞口式矿热炉、低烟罩式的半密闭矿热炉,电炉容量得以扩大。第二次世界大战以后,挪威和联邦德国先后发明了埃肯(Elekm)型和德马格(Demag)型密闭炉,此后世界上许多国家均采用这两种形式设计并建设密闭矿热炉。20 世纪 60 年代,世界上建成了 28 座密闭炉,电石总产量达到 1000 万吨,70% 用于有机合成工业。工业发达国家的电石企业均采用大容量的全密闭矿热炉(20 世纪 70 年代容量已达 $75 \text{ MV} \cdot \text{A}$,个别甚至达到 $96 \text{ MV} \cdot \text{A}$),配套气烧石灰窑,用回收炉气作燃料生产石灰,供电石生产之用。

我国电石行业的发展已有 50 多年的历史,取得了举世瞩目的成绩,目前产能、产量均居世界首位,并呈高速上升态势。2008 年,电石产能达到 3400 万吨以上,产量突破 2640 万吨。近年来,我国加快淘汰落后产能速度,电石产量增速放缓。目前电石的产能已远远大于需求,但是整体水平不高,布局也不很合理。经过治理整顿和经济发展政策的引导,电石行业的整合倾向已日益明显,开始从煤矿-电石及电力-电石的简单一体化,发展成煤、盐、电、碱、电石、聚氯乙烯、水泥、CO 利用的大型一体化项目,电石生产企业规模都在数十万吨以上,甚至建设了超百万吨级电石生产厂,这无疑将会给行业的整合、规范和健康带来巨大影响。

为推动国内电石行业的技术进步,我国于 80 年代末从德国、挪威、日本等国引进 8 套 $25.5 \text{ MV} \cdot \text{A}$ 全密闭矿热炉及中空电极、气烧窑、组合式把持器、干法除尘、计算机控制五项新技术,经过多年来消化吸收,已基本掌握了这些先进的生产技术。目前,我国电石生产装置向技术先进、综合利用率高、容量大的全密闭矿热炉方向发展,自主设计研发的 $48 \text{ MV} \cdot \text{A}$ 全密闭矿热炉已投入生产使用。

1.1.3 铁合金电炉的发展

铁合金主要用于钢铁工业,作脱氧剂、添加剂等。

矿热炉生产铁合金的方法是与低烟罩式矿热炉生产电石的工艺同时发展起来的。1890 年,法国的西蒙(Simon)用电热法,使用氧化锰和萤石的混合料,获得 $w(\text{Mn}) = 84\%$ 、 $w(\text{Fe}) = 8\%$ 、 $w(\text{C}) = 7.1\%$ 、 $w(\text{Si}) = 0.20\%$ 的高碳锰铁。1899 年,美国在西弗吉尼亚州的霍尔库姆罗克厂首次炼制了含硅 25% ~ 50% 的硅铁。高碳铬铁的电热法始于法国,1900 年转入工业规模生产。20 世纪 50 年代前,炉容一般为 $10 \text{ MV} \cdot \text{A}$,60 年代矿热炉向大型化发展,到 70 年代初炉容扩大为 $20 \sim 40 \text{ MV} \cdot \text{A}$,当时一些主要生产铁合金的国家,如苏联、美国、日本、法国、瑞典、冰岛和南非等国相继建造了一批大型矿热炉车间。20 世纪 80 年代后,新建全密闭和半密闭矿热炉的容量通常为 $30 \sim 70 \text{ MV} \cdot \text{A}$ 。迄今世界上最大的硅铁、工业硅、硅钙合金、锰铁及铬铁矿热炉的容量分别为 $96 \text{ MV} \cdot \text{A}$ 、 $48 \text{ MV} \cdot \text{A}$ 、 $48 \text{ MV} \cdot \text{A}$ 、 $102 \text{ MV} \cdot \text{A}$ 及 $105 \text{ MV} \cdot \text{A}$ 。最大的铁合金企业年产能力为 120 万吨。

我国于 1940 年前后建造了较小容量的矿热炉车间生产铁合金。1956 年,建设了容量

为 $12.5 \text{ MV} \cdot \text{A}$ 敞口式矿热炉车间。20 世纪 60 ~ 70 年代,建成了一批较大型的铁合金车间。随着世界铁合金矿热炉大型化、密闭化、机械化和自动化的发展,在 80 年代中期至 90 年代初期,除建成一批新的 $6.3 \sim 16.5 \text{ MV} \cdot \text{A}$ 半密闭和全密闭矿热炉车间外,还建成了具有当今世界先进技术和装备水平的 $25 \sim 50 \text{ MV} \cdot \text{A}$ 的大型现代矿热炉车间。与此同时,我国还向菲律宾、伊朗等国出口 $12.5 \text{ MV} \cdot \text{A}$ 矿热炉车间的全套工程技术和设备。现在,我国铁合金工业总体设计水平已跨入国际先进技术的行列。

铁合金生产与钢铁工业发展有着密切联系。2009 年,我国粗钢产量达到了 5.678 亿吨,占全球总产量的 47%。钢铁工业持续走强,促进了铁合金工业的迅猛发展,2001 ~ 2008 年,我国铁合金产量由 451 万吨增长到 1825 万吨,无论在产品品质还是品种、数量方面,都取得了飞跃性的进步。我国铁合金工业正向电力充足、矿产资源丰富的西北、西南地区发展。根据原料和电力的情况,我国的宁夏、内蒙古、山西的硅铁合金将有很大发展,西南将发展锰铁合金,沿海地区则将发展铬铁合金和特殊合金。

1.1.4 我国矿热炉的类型

矿热炉按照封闭形式,划分为敞口式矿热炉、半密闭矿热炉和密闭矿热炉;按照炉容量大小,划分为 $9 \text{ MV} \cdot \text{A}$ 以下的小型矿热炉、 $9 \sim 25 \text{ MV} \cdot \text{A}$ 的中型矿热炉、 $25 \text{ MV} \cdot \text{A}$ 以上的大型矿热炉。

小型敞口式矿热炉的上口是敞开的,炉面上的燃烧火焰较大,不便于操作。在炉口上方放置一个烟罩(即高烟罩炉),可使炉面上燃烧的烟气从烟罩上面的烟囱排出去。该类型矿热炉各项消耗高,能源利用率低;生产过程所释放的烟气没有经过除尘而直接排放,粉尘对周围的大气环境影响大;装备技术水平低,劳动强度大,工业卫生状况差,安全生产没有保障,因此是国家要求强制淘汰的生产装置。

半密闭中型矿热炉用烟罩将炉口密闭起来(即低烟罩炉),仅在烟罩侧面开设操作门,机械加料系统和排烟除尘系统如同密闭炉,故称为半密闭炉。这种炉子炉面上的燃烧火焰仍较大,但减少了炉面上的辐射散热。根据生产企业的管理水平及炉子设计参数的选择差异性,该类型矿热炉各项消耗指标差别较大,能源的利用率存在着较大差距,生产过程所释放烟气的治理水平也不同。一部分企业的烟气净化装置可利用高温烟气生产蒸汽以实现余热利用,能源利用率有了较大的提高。

密闭矿热炉由于炉盖与炉体完全密闭而隔绝了空气,所以炉面上不发生燃烧,炉内产生的气体用抽气设备抽出后加以净化。密闭炉炉容普遍较大,自动化程度高,烟气量由于炉子的密闭而大大减少,从而烟气除尘的功耗低、生产电耗低;一般都进行烟气的综合利用,或用于生产蒸汽,或用于烘干原料及气烧石灰,因此综合能耗低。

我国的电石工业和铁合金工业在发展的同时,一些问题也日益显露出来。我国电石工业运行的矿热炉中,中型半密闭炉的产能占总产能的 80% 以上,大型密闭炉的产能还不到总产能的 10%。铁合金电炉容量的选择由产品品种、规模以及炉型等而定,仍在大量使用 $6.3 \text{ MV} \cdot \text{A}$ 、 $9 \text{ MV} \cdot \text{A}$ 等小型矿热炉。这些中、小型矿热炉的工艺装备水平低下、资源消耗偏高、环保治理落后,严重制约了行业的进一步发展和品质的提高。

我国目前新建的矿热炉均向高效率、大型化方向发展。大型化矿热炉具有热效率高、单位产品投资低、产品质量高、节省劳动力、合金元素挥发损失少、操作稳定、电耗低、运行成本

低以及有利于烟尘净化和余热利用的优点。

1.1.5 矿热炉的新进展

1.1.5.1 德马格矿热炉

德国曼内斯曼-德马格公司生产的矿热炉,包括铁合金炉、生铁炉、有色金属炉、电石炉、炼钢炉以及为特殊工艺服务的炉子。近年来,开发了三电极和六电极埋弧炉、圆形和矩形炉体矿热炉、旋转炉体和倾动炉体矿热炉、敞口式和密闭矿热炉、冷装料和热装料矿热炉、空心电极加料及高洁操作工艺,而且矿热炉带有能源回收系统。曼内斯曼-德马格公司在最近20年内生产出300多台矿热炉,其中包括世界上最大的矿热炉,已经供给30多个国家,简介如下:

(1) 镍铁炉,变压器容量 $84 \text{ MV} \cdot \text{A}$, 密闭式,矩形炉壳,六电极式且电极布置在一条直线上。

(2) 硅铬合金炉,变压器容量 $60 \text{ MV} \cdot \text{A}$, 密闭式,圆形炉壳,三电极式。

(3) 硅铁炉,变压器容量 $67 \text{ MV} \cdot \text{A}$, 密闭式,圆形炉壳,三电极式。

(4) 金属硅(工业硅)炉,一种为变压器容量 $45 \text{ MV} \cdot \text{A}$, 圆形炉壳,三电极式;另一种为变压器容量 $46 \text{ MV} \cdot \text{A}$, 密闭式,矩形炉壳,六电极式且电极布置在两条直线上。

(5) 电石炉,变压器容量 $70 \text{ MV} \cdot \text{A}$, 密闭式,圆形炉壳,三电极式。

1.1.5.2 矿热炉控制技术的发展

俄罗斯的矿热炉向大型化发展,已运行的黄磷炉由 $48 \text{ MV} \cdot \text{A}$ 发展到 $80 \text{ MV} \cdot \text{A}$, 成功研制了世界上最大的密闭矩形高锰合金炉 ($63 \text{ MV} \cdot \text{A}$), 成功试制了变压器容量超过 $100 \text{ MV} \cdot \text{A}$ 的巨型矿热炉,并开发出冶炼硅锰合金的 $2 \text{ MV} \cdot \text{A}$ 等离子竖式炉。在大型炉子的设计中,全部利用计算机的最优数学模型来计算确定大型矿热炉的最优参数和最佳工作状态。矿热炉电极的自动调节按照恒电导率的原理控制。在规定任务条件下,最优系统是保证冶炼的最优电力条件,即在规定的金属消耗和低电能消耗条件下,要保证炉子的电导率恒定(设定值),稳定电功率,控制熔池面高度,自动升降电极。

南非矿热炉采用新型调节系统,调节器的控制对象(工作设定点)是炉料(熔池)的电阻,即该调节器的工作原理是采用恒电阻控制来移动电极;而且该电阻同炉料电阻率成正比,也就是说应控制炉料电阻率为恒定值。功率控制是靠改变变压器抽头来实现的,操作手可以随时改变的设定量有:炉子工作点(炉子电阻值)的设定、炉子功率的设定(依靠改变变压器抽头来实现)、调节器不灵敏区(死区)的设定、最大允许电流的设定等。

1.1.5.3 矿热炉采用先进技术的新进展

矿热炉采用先进技术的新进展主要有:

(1) 矿热炉向高功率、大型化方向发展,以提高热效率、生产率和满足高功率集中冶炼的工艺要求。

(2) 采用低频($0.3 \sim 3 \text{ Hz}$)电流冶炼,可节省能源和提高产品质量。

(3) 设置排烟除尘及能源回收装置,如硅铁企业开发的新式布袋除尘系统,既能起到排烟除尘作用,又能有效地从烟尘中回收价值昂贵的微硅粉,使环境得到了保护,资源得到了回收利用。

(4) 开发空心电极系统,较小颗粒精细料可从空心电极中加入,能够节能、降低电极消