

KUANGRELU SHEJI YU YINGYONG

矿热炉设计与应用

杨树明 石富 李峰 杨洋 岳广明 编著



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

矿热炉设计与应用

杨树明 石富 李峰 杨洋 岳广明 编著



北京
冶金工业出版社
2014

内 容 提 要

本书从矿热炉冶炼工艺角度剖析了矿热炉装备,以通过优化矿热炉装备提升冶炼工艺的水平,全面介绍了矿热炉冶金原理、设备及自动化,着重介绍了矿热炉电热原理和熔池结构、矿热炉工艺计算、矿热炉参数计算和选择,并给出了矿热炉计算示例,探讨了矿热炉的节能技术以及余热余能的利用。

本书可作为矿热炉设计、建设、研发单位技术人员,矿热炉冶炼生产企业技术人员,岗位操作人员的参考用书;也可作为高等职业院校相关专业的教学用书。

图书在版编目(CIP)数据

矿热炉设计与应用/杨树明等编著. —北京:冶金工业出版社, 2014. 3

ISBN 978-7-5024-6493-6

I. ①矿… II. ①杨… III. ①埋弧电炉—研究
IV. ①TF748. 41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 031618 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 yjcbcs@cnmip.com.cn

责任编辑 杨秋奎 常国平 美术编辑 吕欣童 版式设计 孙跃红

责任校对 禹蕊 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-6493-6

冶金工业出版社出版发行; 各地新华书店经销; 北京慧美印刷有限公司印刷

2014 年 3 月第 1 版, 2014 年 3 月第 1 次印刷

169mm × 239mm; 20.5 印张; 397 千字; 314 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)

序



获悉西安电炉研究所有限公司杨树明高级工程师编著的《矿热炉设计与应用》一书即将面世，深感欣慰！

我国虽然是矿热炉设备和产品的生产大国，但用户分散、小炉子多、装备水平较低、资源消耗大，因此，非常有必要对国内的矿热炉现状进行系统地研究和总结。

本书作者根据多年从事矿热炉冶炼设计、生产及研发工作的经验，并结合国内外相关的研究成果，对矿热炉设计与实用进行了系统地整理，提出矿热炉冶炼工艺是设计及建设好矿热炉的基础，而熟悉矿热炉冶炼工艺和设备是操作好矿热炉的关键。本书全面介绍了矿热炉冶金原理、设备及自动化等内容，着重围绕建立合理的熔池结构和节能减排、综合利用来指导矿热炉的优化设计，以达到矿热炉生产的产品取得最佳技术经济指标这一目标，既有学术价值，又有实用意义。

本书对矿热炉的冶金及电热原理、工艺计算、设备组成及特点、排放物的处理和节能减排等方面做了详细的介绍，并将矿热炉冶炼工艺与设备有机地联系在一起，以工艺剖析设备，以优化设备更好地服务于工艺，视角独特，实用性强。

推动我国矿热炉行业的持续发展，不断提高行业的整体水平，提高企业的经济效益和社会效益，是我们每位从业者责无旁贷的义务和责任。我相信，本书的出版将对提高我国矿热炉行业的整体水平起到积极的推动作用。

全国工业电热设备标准化技术委员会主任

2014. 1

前 言



矿热炉生产的产品已多达上百种，涉及钢铁冶金、有色冶金、化工、机械、电子、航空航天、军工等诸多行业。虽然矿热炉炉体容量、炉型随冶炼产品的不同各有差异，但其产品都属于高耗能、具有高污染可能性的资源型产品，能否合理有效利用资源、保持与改善生态环境，是关系到人类可持续发展的根本，意义重大，也是每位矿热炉相关工作者的责任和义务。

本书是作者在三十多年的矿热炉设计、建设、改造、维护、生产管理及研究、试验的基础上，参考国内外文献资料编写而成的。本书全面介绍了矿热炉冶炼的冶金原理、机电设备、自动化控制等内容，同时还着重介绍了矿热炉冶炼的电热原理、熔池结构，列举了部分工艺计算，探讨了矿热炉参数的计算与选择、矿热炉节能技术和余热余能的利用，以期在矿热炉设计、建设过程中将冶炼品种的冶炼工艺贯穿于整个过程之中，建成或改造成功符合此种产品冶炼工艺要求的矿热炉，指导操作者在满足冶炼工艺要求的同时合理发挥设备效能，准确驾驭设备，使矿热炉在冶炼生产中取得最佳技术经济指标的同时取得良好的社会效益。

本书在编写过程中参考了国内外文献资料，得到了多个厂家、有关院所的多位专家和同仁的鼎力相助，在此深表感谢，恕不一一列出。

本书是否符合或接近矿热炉的本质，请明辨以鉴并积累完善，若如此，我国矿热炉行业之大幸也，当不胜感激之至。书中不妥之处，也恳请广大读者及同行批评、指正。

西安电炉研究所有限公司

(邮箱: yangsm5276@163.com)

2014. 1

目 录



1 矿热炉概述	1
1.1 矿热炉的用途	1
1.2 矿热炉的基本结构	1
1.3 矿热炉的发展	3
2 矿热炉的冶金原理	6
2.1 还原反应的通式	6
2.2 反应的热效应	7
2.3 反应的标准自由能变化	8
2.4 氧化物的稳定性	9
2.4.1 氧化物的分解压	9
2.4.2 氧化物的 $\Delta G^\ominus - T$ 图	9
2.5 平衡常数与选择还原	11
2.6 化学反应速率	13
3 矿热炉的电热原理	15
3.1 矿热炉中的电弧现象	15
3.2 电弧特性	18
3.3 电弧传热过程	20
3.4 矿热炉电路分析	21
3.4.1 矿热炉炉内电流回路解析	21
3.4.2 矿热炉操作电阻	22
3.4.3 矿热炉的电抗和高次谐波分量	26
3.4.4 矿热炉内各部位电压梯度	27
3.4.5 矿热炉功率分布	28
3.5 矿热炉中的高温反应区	28
3.5.1 矿热炉高温区的形成	28
3.5.2 矿热炉反应区	29
3.5.3 炉膛温度和炉膛功率密度	32

II >>>>> 目 录

3.5.4 矿热炉热稳定性	32
4 矿热炉的熔池结构	34
4.1 矿热炉熔池分类	34
4.1.1 无渣法熔池	34
4.1.2 有渣法熔池	35
4.2 熔池物理模型	39
4.2.1 物理模拟方法	39
4.2.2 熔池电场	39
4.2.3 电极电流在熔池内的分布	44
4.2.4 利用电流踪影研究的熔池电场	45
4.2.5 输入功率在熔池内的分布	47
4.2.6 熔池电阻	52
4.2.7 熔池电抗	59
4.3 熔池热动特性	62
4.3.1 熔池温度场	62
4.3.2 熔池流场	64
4.4 熔池冶金特性	72
4.4.1 熔池中炉料熔化特性	72
4.4.2 渣流特性与加料、布料制度的关系	73
4.4.3 熔池反应区模型	77
4.4.4 熔池反应区功率密度	80
4.4.5 电阻电热和电弧电热在熔池内的分配	81
4.4.6 电极插入深度与熔池电气特性的关系	82
4.4.7 极心圆直径与熔池电气特性的关系	83
4.4.8 熔池的抗热震性	86
4.4.9 电极电流密度及电极载流能力	86
4.5 矿热炉的电气特性	89
4.5.1 电流圆图	89
4.5.2 特定电压级下矿热炉的特性曲线	89
4.5.3 特性曲线组和恒电阻曲线	90
4.6 电极	91
4.6.1 预焙电极	92
4.6.2 自焙电极	95
4.6.3 电极的使用和维护	105

4.7 矿热炉熔池砌筑	111
4.7.1 筑炉材料的种类、要求及其选择	111
4.7.2 熔池砌筑方法	113
4.8 矿热炉的开炉	118
4.8.1 新开炉电极焙烧	119
4.8.2 电烘炉、投料冶炼	122
4.8.3 出铁时间的确定	123
4.8.4 合金成分的控制	123
5 矿热炉的机械设备	125
5.1 炉体	125
5.1.1 圆形炉壳	126
5.1.2 矩形炉壳	127
5.1.3 炉壳底部	128
5.1.4 炉体冷却	129
5.2 烟罩与炉盖	131
5.2.1 烟罩演化	131
5.2.2 低烟罩结构	132
5.2.3 密闭炉炉盖	135
5.2.4 矩形炉炉盖	136
5.3 加料系统	137
5.4 排烟通风设施及除尘装置	139
5.5 矿热炉电极把持器	140
5.5.1 电极把持器的抱紧装置	140
5.5.2 把持筒	145
5.5.3 导电装置	145
5.5.4 电极水冷系统	146
5.5.5 电极升降装置	147
5.5.6 电极压放装置	148
5.6 电极液压系统	148
6 矿热炉的电气设备	153
6.1 矿热炉供电系统	153
6.1.1 高压配电设备	154
6.1.2 二次配电设备	154

IV >>>> 目 录

6.1.3	继电保护回路	155
6.1.4	矿热炉变压器	155
6.1.5	矿热炉短网	160
6.2	矿热炉的无功补偿及谐波治理	166
6.2.1	矿热炉电气系统的单相等效电路	166
6.2.2	无功补偿方法	168
6.2.3	低压就地补偿	169
6.3	矿热炉三相电极功率不平衡的预防	171
6.3.1	产生功率不平衡的原因	172
6.3.2	功率不平衡对冶炼操作的影响	172
6.3.3	影响矿热炉功率不平衡的因素	173
6.3.4	功率不平衡的监测和预防	175
6.4	矿热炉的经济运行	175
6.4.1	矿热炉运行条件的改进	175
6.4.2	矿热炉的经济负荷运行	176
6.5	矿热炉的自动控制	176
6.5.1	供电自动控制	176
6.5.2	工厂电能需要量控制	178
6.5.3	电极压放自动控制	178
6.5.4	电极深度控制	179
6.5.5	上料及称量控制	180
6.5.6	过程计算机控制	181
7	矿热炉工艺计算示例	183
7.1	电石炉的物料平衡及热平衡	183
7.1.1	工况测定及体系模型	183
7.1.2	物料平衡计算	185
7.1.3	热平衡数据及数据处理	191
7.1.4	热平衡数据分析	201
7.2	冶炼硅铁 75 的物料平衡及热平衡计算	205
7.2.1	炉料计算	205
7.2.2	物料平衡计算	210
7.2.3	热平衡计算	211
7.3	冶炼锰硅合金的物料平衡及热平衡计算	214
7.3.1	炉料计算	214

7.3.2	物料平衡计算	217
7.3.3	热平衡计算	218
7.4	钛渣生产物料平衡和热平衡计算	223
7.4.1	原料成分及计算参数设定	223
7.4.2	物料平衡	225
7.4.3	热平衡计算	236
8	矿热炉参数计算及选择	246
8.1	安德烈公式与凯利图解	246
8.2	珀森公式	251
8.3	威斯特里计算法	251
8.4	斯特隆斯基计算法	253
8.5	马尔克拉麦模型	254
8.6	海斯模型	255
8.7	埃肯公司计算法	256
8.8	矿热炉几何参数的相似计算法	257
8.9	我国常用的矿热炉参数计算及选择	258
8.9.1	圆形矿热炉参数计算	258
8.9.2	矩形矿热炉参数计算	269
8.9.3	计算例解	281
8.9.4	矿热炉全电路分析例解	283
9	矿热炉防公害和综合利用与节能减排技术	291
9.1	炉气的产生、治理与综合利用	291
9.1.1	炉气的产生	291
9.1.2	我国大气环境质量标准	292
9.1.3	炉气的治理	294
9.1.4	炉气余热、余能的综合利用技术	296
9.2	废水的产生、治理与综合利用	299
9.2.1	废水的产生	299
9.2.2	污水排放及地面水水质卫生标准	299
9.2.3	废水的治理与综合利用	301
9.3	固体废弃物的产生、治理与综合利用	304
9.3.1	固体废弃物的产生	304
9.3.2	固体废弃物的主要物理化学性能	304

VI >>>> 目 录

9.3.3 固体废弃物的治理与综合利用	307
9.4 噪声的产生与治理	308
9.4.1 噪声的产生	308
9.4.2 我国工业企业噪声控制设计标准	308
9.4.3 矿热炉冶炼企业噪声的治理技术	309
9.5 矿热炉节能减排技术	309
9.5.1 精料入炉	310
9.5.2 革新冶炼工艺	310
9.5.3 选择矿热炉合理参数、优化设备、降耗提效	311
9.5.4 选择合适的功率补偿方式	311
9.6 国外矿热炉余热余能利用	311
参考文献	314

1 矿热炉概述



1.1 矿热炉的用途

矿热炉是一种利用电极端部的电弧热和炉料或炉渣的电阻热将电能转变成热能，使金属等有用元素从矿石或氧化物中被还原出来的电冶金设备，由于它主要用于金属氧化矿石的还原冶炼，所以称为矿热炉或矿热还原电炉。此外，由于矿热炉的电弧大多是深埋于炉料之中，又称为潜弧炉或埋弧炉。

矿热炉用于生产铁合金时称为铁合金炉；用于生产电石时称为电石炉；用于生产黄磷时称为黄磷炉；用于生产冰铜时称为冰铜炉；用于铁合金精炼时称为矿热精炼炉；用于将预还原炉料进行熔化、金属与渣分离时，则称为熔分炉。

矿热炉生产铁合金时，大多数以焦炭作还原剂，根据生产品种的不同采用不同的原料，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。矿热炉生产电石时，仍以焦炭作还原剂，氧化钙（石灰）作原料，经过炉内冶炼得到电石（主要成分为碳化钙）产品。矿热炉以钒钛磁铁矿为原料，煤基作还原剂时，经过炉内冶炼在得到钛渣的同时得到含钒铁水等产品。因此，矿热炉是涵盖铁合金、化工、黑色金属、有色金属等多个行业的冶炼设备。

1.2 矿热炉的基本结构

矿热炉是一种复杂的电冶金设备，它由电炉本体、炉用变压器、大电流导体（短网）、电极系统、矿热炉加料系统、冷却系统、高低压配电系统、监控及自动化系统、出铁和出渣系统、排烟除尘等系统组成。

矿热炉的基本结构如图 1-1 所示。电网提供的高压电能经过矿热炉用特种变压器转化成低电压、大电流，经过大电流导体将电流送到电极上，通过炭质电极输入炉内，在电极周围的炉料间产生电阻热和电极末端产生的电弧热将电能转换成热能，从而在炉体内形成高温反应区，进行金属氧化物矿石的还原反应。通常使用焦炭等炭质还原剂，将焦炭和被还原的金属氧化物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，将金属液浇注、精整后得到合金产品，将炉渣水淬或浇注后再利用。

矿热炉主要分为圆形矿热炉与矩形矿热炉。由于矿热炉冶炼生产时要产生大

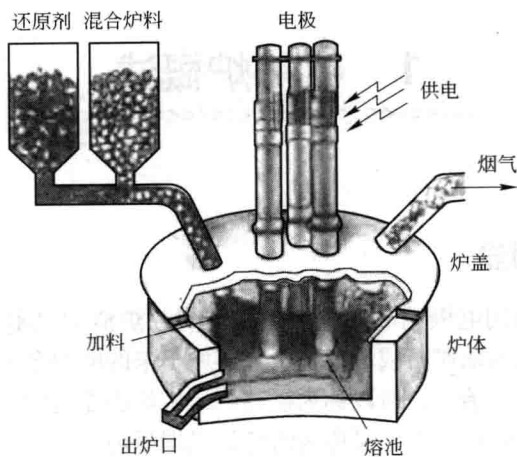


图 1-1 矿热炉基本结构

量的炉气（即烟气），根据烟气捕集方式，圆形矿热炉又分为高烟罩敞口炉、半密闭炉和密闭炉，炉体又有固定和旋转之分。矩形矿热炉一般为固定炉体的密闭结构。

高烟罩敞口炉由于烟罩高悬在炉体上方，环境污染严重，能源消耗高，不符合国家劳动安全卫生相关规定，现已逐步被淘汰。

半密闭矿热炉（即低烟罩炉）用烟罩将炉口密闭起来，仅在烟罩侧面开设操作门，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的差异性，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，因此炉面上不发生燃烧，炉内产生的气体用抽气设备抽出后加以净化。密闭炉炉容量普遍较大、自动化程度高，烟气量由于炉子的密闭而大大减少，从而使烟气除尘系统的能耗降低，一般都进行烟气的综合利用，如生产蒸汽、余热发电、烘干原料、作为燃气使用，除尘器收集的粉尘可以重新利用，因此综合能耗低、元素回收率高。

高烟罩敞口式、矮烟罩半密闭式、密闭式圆形矿热炉分别如图 1-2a ~ c 所示。矩形矿热炉如图 1-3 所示。

矿热炉的大小以矿热炉专用的特种变压器额定容量来衡量，如变压器额定容量为 $25.5\text{MV} \cdot \text{A}$ 的矿热炉，生产硅铁时就称为 $25.5\text{MV} \cdot \text{A}$ 硅铁炉、生产电石时

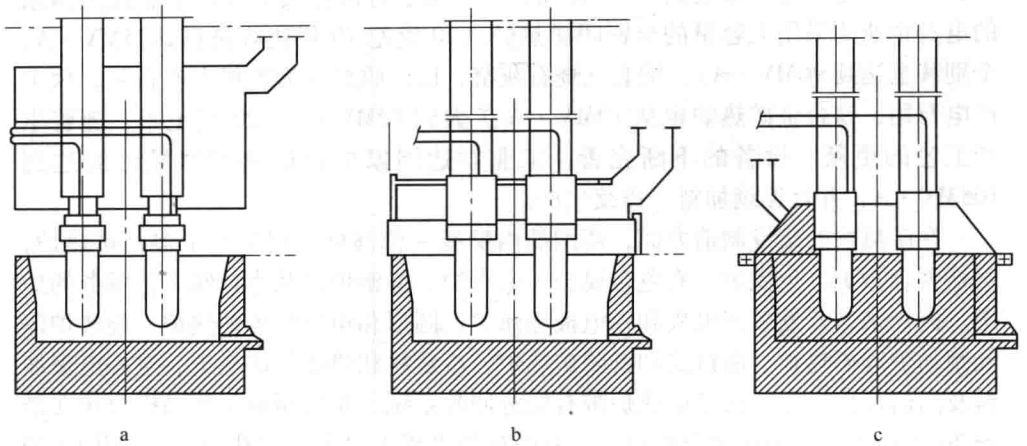


图 1-2 圆形矿热炉示意图

a—高烟罩敞口式；b—矮烟罩半密闭式；c—密闭式

就称为 25.5MV·A 电石炉、用预还原后的炉料产生铁时就称为 25.5MV·A 生铁熔分炉。

矿热炉通过炉体形式（圆形或矩形，烟气捕集方式，炉体是否旋转），变压器及短网布置形式（一次电压，单相变压器或三相变压器，板式短网或管式短网，是否对称布置），电极柱系统（自焙电极或预焙电极，铜瓦或导电元件与电极的接触方式，电极升降、压放形式），自动化控制程度，出炉方式及其浇铸形式，可以基本反映出该矿热炉的基本装备水平。

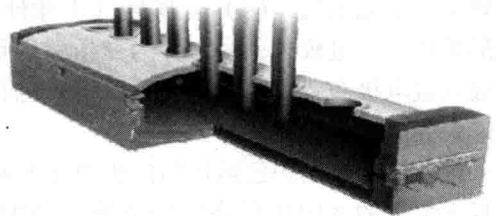


图 1-3 矩形矿热炉示意图

就称为 25.5MV·A 电石炉、用预还原后的炉料产生铁时就称为 25.5MV·A 生铁熔分炉。

1.3 矿热炉的发展

矿热炉诞生于 19 世纪末，主要生产电石和部分铁合金，当时炉容量很小，只有 0.1~0.3MV·A，而且是单相，间歇操作，生产技术处于萌芽阶段。进入 20 世纪，随着生产氰氨化钙（石灰氮）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 世纪中

叶,全世界电石总产量达到 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,以回收炉气为燃料生产石灰,供生产电石用,铁合金矿热炉也从 $10\text{MV}\cdot\text{A}$ 扩大到 $70\text{MV}\cdot\text{A}$ 。20 世纪末,随着生产工艺的更新、设备的不断完善,工业发达国家单台矿热炉容量已经达到 $105\text{MV}\cdot\text{A}$,并且连续加料、连续生产。

在矿热炉的研发制造方面,德国曼内斯曼-德马格公司生产了多台矿热炉,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,分为:(1) 镍铁炉,变压器容量 $84\text{MV}\cdot\text{A}$,密闭式,矩形炉体,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,圆形炉体,三电极式。(3) 硅铁炉,变压器容量 $67\text{MV}\cdot\text{A}$,密闭式,圆形炉体,三电极式。(4) 金属硅(工业硅)炉,一种为变压器容量 $45\text{MV}\cdot\text{A}$,圆形炉体,三电极式;另一种为变压器容量 $46\text{MV}\cdot\text{A}$,密闭式,矩形炉体,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。

俄罗斯的矿热炉已运行的黄磷炉由 $48\text{MV}\cdot\text{A}$ 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,操作者可以随时改变的设定量包括炉子工作点(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。

我国矿热炉行业也经历了从小到大、从敞口式到密闭式的发展过程,目前已有各种容量的矿热炉 3000 多座,成为矿热炉冶炼产品生产大国。矿热炉冶炼产

品消耗的电能已占全国电能的 4% 左右。进入 21 世纪后,新建的矿热炉正在向大型化、密闭化、机械化、自动化、高效、低耗、清洁生产方面发展,使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。

目前,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 ~ 3Hz) 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、降低电极消耗,使炉子熔池工作稳定;

(5) 采用炉体旋转结构,对于生产高纯度硅铁的大型炉子必须采用此结构;

(6) 开发水冷炉体结构,延长熔池使用寿命;

(7) 研制开发适合各种矿热炉工艺要求的计算机工艺软件系统,以指导冶炼,使冶炼达到最优状态,从而提高产品质量、降低能耗及提高产量。

2 矿热炉的冶金原理



矿热炉生产的基本任务就是把金属等有用元素从矿石或氧化物中提取出来。矿热炉生产过程中的化学反应主要是氧化物的还原反应，同时也有元素的氧化反应。

矿热炉生产的基本原理是基于选择性氧化还原反应热力学，其本质是所需元素的氧化物与还原剂反应生成所需元素和还原剂中主要元素的氧化物。

2.1 还原反应的通式

矿热炉冶炼产品的品种十分繁杂，其冶炼方法也比较多样。但从其根本上讲，矿热炉冶炼就是利用适当的还原剂，在一定温度范围内，从含有所需元素氧化物的矿石中还原出所需元素的氧化还原过程。

例如，冶炼电石、硅铁、高碳锰铁和高碳铬铁时，基本反应式分别为：



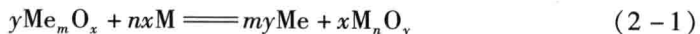
以上产品在矿热炉中用电热法生产，都是以炭作还原剂，炭分别夺取了氧化物 CaO 、 SiO_2 、 MnO 、 Cr_2O_3 中的氧而生成 CO ，元素 Ca 、 Si 、 Mn 、 Cr 从各自的氧化物中被还原出来，组成化合物或适当的合金。

再如，冶炼中低碳锰铁和金属铬时，基本反应式分别为：



此时则分别用 Si 和 Al 作还原剂，冶炼方法也不同。生产中低碳锰铁用硅质还原剂，在精炼电炉中冶炼，采用电热法和金属热法；生产金属铬用铝质还原剂，在筒式炉中冶炼，采用金属热法。

尽管各种冶炼产品的生产方法不同、选用的还原剂性质不同，但其冶炼实质相同，可用一通式表达：



式中 Me_mO_x ——矿石中含所需元素的氧化物；

M ——所用的还原剂；