

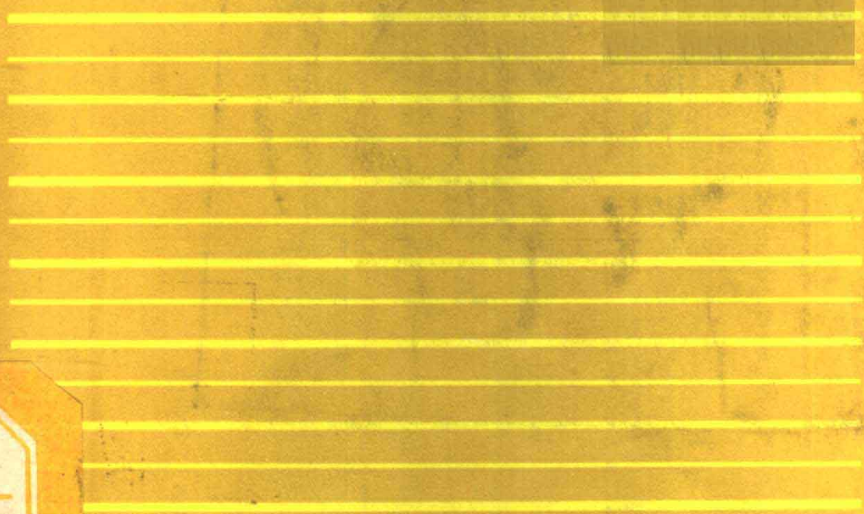
966964

TF6
7732

• 高等学校教学用书 •

铁 合 金

GAODENG XUEXIAO JIAOXUE YONGSHU



冶金工业出版社

高等学校教学用书

铁 合 金

北京科技大学 周进华 主编

冶金工业出版社

内
包

(京)新登字 036 号

高等学校教学用书

铁合金

北京科技大学 周进华 主编

*

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街嵩祝院北巷39号)

新华书店总店科技发行所发行

北京市梓星电脑激光照排

标准出版社印刷厂印刷

*

787×1092 1/16 印张12.5 字数297千字

1993年4月第一版 1993年4月第一次印刷

印数 00,001 ~ 3,600 册

ISBN 7-5024-1149-6

TF·273 (课) 定价 3.35 元

前 言

铁合金是炼钢的主要原料之一，是钢中合金元素的添加剂和炼钢过程中的脱氧剂。当前，钢铁工业发展的特点之一是合金钢生产比例和连铸比不断增加，其结果导致铁合金产量与钢产量之比例不断增大。现代工业的飞速发展要求钢铁工业生产出品种更多、质量更高的钢材，这就要求有品种多、质量高的铁合金。因此，铁合金的生产和我国钢铁工业的发展有着直接的关系。

铁合金的品种繁多，但其生产方法类似。铁合金的生产大都是从氧化物还原成金属的过程，其冶炼原理主要是与还原过程有关的理论。

本书第2、3、6章由西安冶金建筑学院许传才编写，第7、8、9章由东北工学院杨怀编写，其余各章由北京科技大学周进华、赵玉祥编写，全书由周进华主编。

1991年春，杨德鑫、王希廉等教师对本书进行了审查，提出了许多宝贵的意见，编者表示衷心的感谢。

书中有不妥和错误之处，恳请读者批评指正。

编者

1992年9月

EAC83/07

目 录

第1章 概述	1
1.1 铁合金的质量对钢材质量的影响	1
1.2 铁合金的加入方式	1
1.3 铁合金的生产方法简介	2
第2章 铁合金冶炼车间和设备	4
2.1 铁合金厂概述	4
2.2 还原电炉主要机械设备	7
2.3 电极及其使用	10
2.4 还原电炉电气参数及炉衬	14
第3章 原料及冶炼前准备	18
3.1 碳质还原剂及其要求	18
3.2 含硅原料及其要求	21
3.3 锰矿及冶炼前的准备	22
3.4 铬矿及冶炼前的准备	24
3.5 其它原材料	29
第4章 铁合金生产原理	30
4.1 铁合金熔体	30
4.2 铁合金熔渣	52
4.3 选择氧化还原反应热力学	61
4.4 铁合金冶炼过程动力学	83
第5章 高炉冶炼锰铁	94
5.1 高炉冶炼锰铁概述	94
5.2 锰及其化合物的物理—化学性质	95
5.3 高炉冶炼锰铁原料	100
5.4 高炉冶炼锰铁基本原理	103
5.5 提高锰回收率的途径	114
5.6 锰铁高炉强化冶炼	115
5.7 锰铁高炉内型和结构	118
5.8 锰铁高炉煤气净化	122
第6章 电热法	128
6.1 硅铁	128
6.2 硅钙合金	138
6.3 硅锰合金	144
6.4 铬铁	147
第7章 精炼电炉冶炼铁合金	154
7.1 精炼电炉设备、炉衬及电气制度	154

7.2	电硅热法冶炼中、低碳锰铁	156
7.3	电硅热法冶炼精炼铬铁	161
第8章	转炉吹炼铁合金	167
8.1	转炉吹炼中碳铬铁的设备 and 原料	167
8.2	转炉法吹炼中碳铬铁原理	170
8.3	转炉吹炼中碳铬铁工艺	177
第9章	炉外法冶炼铁合金	179
9.1	钼及其化合物的物理化学性质	179
9.2	钼铁的牌号和用途	180
9.3	钼矿	181
9.4	钼精矿的氧化焙烧	184
9.5	金属热法生产钼铁	188
9.6	钼粒的生产	193
	主要参考文献	194

第1章 概述

铁合金是铁与其它元素的合金，它主要用作炼钢的脱氧剂和合金元素的添加剂。

解放前，我国钢铁工业非常落后，铁合金的产量也不大。解放后，随着钢铁工业的迅速发展，对铁合金的需求量不断增加，从1954年起，陆续建成与扩建了许多铁合金厂。铁合金的总生产能力已达300多万吨，每年还可出口数十万吨。

现代科技的发展要求钢铁工业生产出品种更多、质量更好的钢材，因此对铁合金生产也提出了类似的要求，即多品种、高质量，以满足钢铁工业发展的需要。

1.1 铁合金的质量对钢材质量的影响

钢的质量在很大程度上取决于冶炼、浇注及其它工序的工艺水平，而铁合金在钢的生产过程中，对铁水的脱硫、钢的脱氧、调整钢的成分及合金化、降低杂质含量和控制夹杂物的形态、钢水的浇注及凝固，都有重要的影响。

众所周知，低杂质含量是确保钢的高性能所必不可少的前提。工作在复杂而恶劣条件下的钢材，对钢中杂质含量的限制更为苛刻。近年来，国内外对生产“洁净钢”的呼声日益增长，而洁净钢的生产是离不开低杂质含量的铁合金的。很难想像没有低杂质含量的铁合金，却能生产出优质的洁净钢的。

例如对于深冲高强度冷轧钢板，要求有极低的碳含量 ($\leq 0.004\%$)，这只有使用含碳量极低的微碳铁合金才能生产。为了提高不锈钢抗晶间腐蚀能力，要求其 $(C+N) < 100\text{ppm}$ ，这也要求使用微碳、氮的铁合金来生产。有的厚板要求硫含量低于 0.001% ，这就要求铁合金中含硫极低。据报导，90年代对HSLA（高强度低合金）钢的要求是硫、磷、氮、氧含量不超过45ppm，冶炼这种高纯净钢势必要求提高铁合金的纯度。钢琴弦用钢的含氮量要求 $\leq 10\text{ppm}$ ，很显然冶炼如此低氮的钢必须使用含氮量极低的铁合金。

由于铁水脱磷技术的发展，已能生产低磷 ($P \leq 0.010\%$) 和超低磷 ($P \leq 0.002\%$) 的钢种。铁水经脱磷处理后 ($P = 70 \sim 200\text{ppm}$)，在转炉中可以生产出含磷在 $15 \sim 40\text{ppm}$ 的钢种。如再使用低磷的铁合金，可使钢中磷含量降到 $10 \sim 20\text{ppm}$ 。

另外铁合金的成分与质量稳定，消除或减少在凝固过程中的严重偏析现象，对于保证钢材质量，也是至关重要的。

1.2 铁合金的加入方式

冶炼的钢种不同，加入的铁合金的数量及方式也不相同。有的铁合金直接加在炉内，有时加在钢包中，还有的铁合金在中间包、结晶器、中注管或钢锭模中加入。这不仅与铁合金的加入量有关，而且还和铁合金中合金元素的脱氧能力、溶解度有关。铁合金的激冷指数（每吨钢液加入1kg铁合金时，钢液温度的下降值）不同，铁合金的溶解与均匀化的速度也就不相同。

铁合金的密度与钢液的密度往往有较大的差异。密度小的铁合金在钢液中的浮力大，可能在完全溶化之前就已浮出液面，起不到应有的作用。例如硅铁及铝是炼钢中应用最普遍

的脱氧剂，但它们的密度都大大低于钢液的密度，易浮出钢液表面，故脱氧效率低。为此人们常使用硅铁铝、低硅硅铁、锰铝等合金，脱氧效果大为改善。

为了保证获得最佳的合金化，当需要加入的铁合金数量较多时，应将铁合金破碎成合适的粒度，然后再加到钢液中，以使其能够完全溶解。

利用气体做载体，将合金粉剂直接喷射到钢液的深部，可以避免粉剂与空气或熔渣接触，扩大反应界面，加速传质过程，是提高合金元素收得率极有效的手段。

对于在钢液中易沸腾气化的合金元素，常把它做成外包钢带的合金线。这种包芯线虽然比其它形式的铁合金价格昂贵，但它可以很方便地直接喂入钢包、中间包或连铸结晶器中。例如像钙那样反应性强的元素，制成包芯线后可在一定的速度下，直接插入到钢液的一定深度处。在钢液温度为 1600℃ 时，当插入深度为 1.5m 时，钢液的静压力便可以抑制钙的沸腾气化。如采用 180m/min 的喂丝速度，包芯线至少可穿透钢液 3m 以上。在该处钙熔化呈液滴缓慢上浮，同周围钢液充分反应。当液滴上升到达其沸腾深度时，才成为气泡快速上浮，故钙的有效作用大大提高。另外，喂丝法可使合金元素受钢包中炉渣氧化损失的可能性大为减少，所以可以进行钢液的精确合金化。对于钒、铌等微量的合金元素，采用喂丝法可以很方便地生产出不同成分范围的、屈服强度极高的低合金高强度钢。

这里还需要指出，用氧化物对钢液直接处理以使其合金化，是一种降低成本、节约电能、提高经济效益的有效措施。为此可将氧化物制成压块或混有相应还原剂的压块，再将其加到钢液中。

1.3 铁合金的生产方法简介

铁合金的种类繁多，生产方法各异，但归纳起来主要有以下五种生产方法。

(1) 高炉法。高炉冶炼铁合金与高炉冶炼生铁相似，是利用高炉的高温及还原性气氛使合金矿石还原制成铁合金的。在高炉中生产的铁合金主要是高碳锰铁。高炉锰铁的产量约占高碳锰铁产量的 20%。在高炉中冶炼锰铁要消耗大量昂贵的冶金焦，故降低焦比是生产高炉锰铁的中心问题。目前采用富氧鼓风、喷射固体或液体燃料、采用自熔性烧结矿等措施，都取得了较好的效果。除高碳锰铁外，用高炉还可冶炼低硅硅铁 (Si 约 10%) 与镜铁，前者供铸造使用。

用高炉冶炼铁合金，劳动生产率高，成本低。但因高炉内氧化带的存在和温度较低，高熔点或难还原的氧化物不能还原，所以其它一些铁合金不能用高炉冶炼，只能用电炉生产。

(2) 电热法。电热法是铁合金生产的主要方法。由于碳的还原能力随着温度的升高而增强，故很多难还原的氧化物如 CaO 、 Al_2O_3 、稀土氧化物等都可在还原电炉里还原出来。在还原电炉内以电能为热源，用碳作还原剂，还原矿石生产铁合金。电热法冶炼铁合金消耗电能多，故应注意降低电耗与合理利用能源。此法的缺点是很多金属极易和碳生成碳化物，故用碳作还原剂生产的合金 (除硅质外) 含碳都很高。为了得到低碳合金，就不能用碳作还原剂，而只能用低碳硅质合金作还原剂。因此低碳铁合金不能用电热法，而只能用电硅热法生产。

(3) 电硅热法。此法是在电炉内用硅 (如硅铁或中间产品硅锰或硅铬合金) 还原矿石、氧化物或炉渣，并以石灰作熔剂生产铁合金的，因此获得的产品含碳量较低。目前，用这种方法生产微碳铬铁、中低碳铬铁、中低碳锰铁、钒铁和稀土硅合金等。成品的含碳量主

要取决于原料的含碳量。

在用电硅热法生产铁合金时，电极会使合金增碳，故生产含碳量极低的或纯的金属，不能使用电炉。熔点很高而不能从炉内流出的铁合金也不能用电炉生产，而只能采用炉外法（也称金属热法）生产。

（4）金属热法。金属热法是用还原反应产生的化学热来加热合金与炉渣，并使反应自动进行。这种方法又叫“炉外法”。此法常用的还原剂有铝、硅铁（75%Si）、铝镁合金等。得到的铁合金或纯金属含碳量极低。此法耗铝多，成本高。目前用这种方法生产钛铁、钼铁、硼铁、铌铁、高钨铁、高钒铁与金属铬等。

（5）转炉法。此法是将液态的高碳合金（如高碳铬铁）兑入转炉，吹氧脱碳，得到中低碳合金。转炉法生产率高，不用电，能耗低，是生产中低碳铁合金的方法之一。

铁合金的品种虽多，但99%的铁合金是用上述五种方法生产的。本书是按生产方法（而不是按铁合金品种）编写的。各种生产方法都能生产出多种铁合金，本书每种方法只阐述一、二种铁合金的生产过程，读者可通过归纳出每一种方法各自的一般规律，再运用这些规律去生产、掌握其它铁种。

人们对事物的认识总是从个别的事物逐步扩大到一般事物，总是首先了解许多不同事物的特殊性，然后再进一步地概括，认识诸种事物的共同本质，再以这种共识为基础，继续向尚未研究过的或者尚未深入研究过的各种具体事物进行探讨，找出其特殊的规律。这是两个认识的过程，即由特殊到一般，由一般到特殊。本教材的编写就是根据这一思想进行的。

第 2 章 铁合金冶炼车间和设备

铁合金品种繁多, 车间布置和使用的设备各不相同, 现将一些铁合金厂设计要求及主要设备特点概述如下。

2.1 铁合金厂概述

2.1.1 铁合金厂的布置和运输

一个完整的铁合金厂, 除了冶炼车间外, 根据铁合金厂的规模还设有变电站、水泵房、循环水池、原料场、原料准备车间、机修车间、成品库及运输设施等。

铁合金厂内各车间都相互联系与配合, 在进行全厂总平面图和运输设计时, 必须全面考虑。图 2-1 示出一个大型铁合金厂总平面布置和运输简图。

现代化铁合金厂在一年中不仅需要从厂外运入大量的原料, 运出生产成品和废渣, 而且在厂内的车间之间, 原材料的运转也很频繁。就以具有两座 12500kVA 电炉为例, 年生产 75% 硅铁 22000t, 每年从厂外运入约 39800t 硅石, 19800t 焦炭, 5060t 钢屑; 要运出 22000t 硅铁和其他废物等。因此, 在考虑厂内车间的平面布置时, 必须满足下列基本要求。

(1) 各车间布置要紧凑, 尽量减少占地面积。各种管线、运输线、构筑物的长度和体积尽可能缩小。

(2) 运输能力应和车间的产量及其工艺特点相适应, 尽量使进料、冶炼和成品运出顺行运行, 不要过多地交叉运行。

(3) 具有扩建的可能性, 而且能一边生产一边扩建, 互不干扰。

(4) 应与厂区的地形、地质、水文和风向等条件相适应。

2.1.2 铁合金车间组成和生产规模的确定

整个车间的生产规模往往以电炉的生产能力作为标志, 其他项工作, 如配电、给排水、原料准备等必须保证铁合金炉的正常生产。因此, 在设计时, 必须仔细选用和校核各车间的主要设备及其生产能力, 作好生产平衡。同时还应考虑到生产发展和扩建的可能性。图 2-2 示出 21000kVA 开口式电炉车间剖面图。

车间的生产规模主要是根据国家或地方对铁合金数量和品种的要求、原料供应情况和经济条件而确定的。电炉年产量可按下列公式计算:

$$A = \frac{8760P_B a_1 a_2 a_3 a_4 a_5}{Q\mu_B} \quad (2-1)$$

式中 A ——电炉年产量, t;

P_B ——熔池有效功率, kW;

a_1 ——额定检修时间系数, 约 0.785;

a_2 ——中修时间系数, 约 0.98;

a_3 ——大修时间系数, 约 0.96;

a_4 ——设备容量利用系数, 约 0.95;

a_5 ——电网限电系数, 0.96;

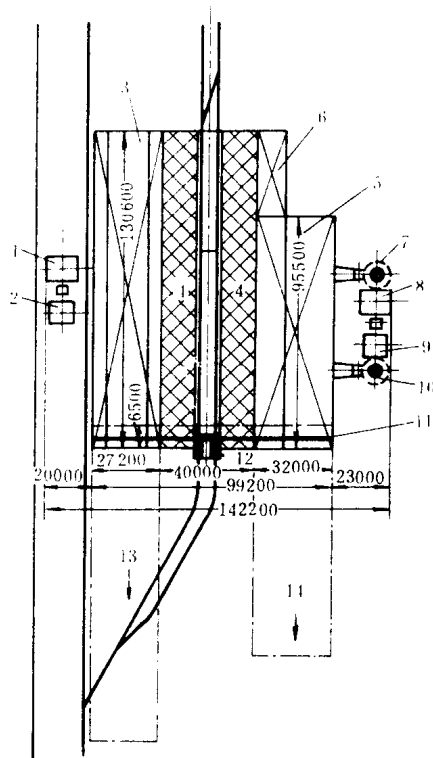


图 2-1 某铁合金厂总平面图

- 1—泵房；2—冷却间；3—厂房 I（铬铁）；4—仓库；5—厂房 II（硅铁）；
 6—冷却间吊车用的有支柱厂房的延长部分；7—烟囱；8—泵房；9—冷却间；10—烟囱；
 11—横向运输车；12—翻车机；13、14—扩建预留位置

8760——全年额定小时数；

Q ——单位电耗，kWh/t；

μ_B ——电炉的电效率，通常波动于 0.85~0.95 之间。

电炉的座数根据生产规模而定，一般每个电炉车间设两座同样大小电炉较合适，以利组织生产，设备互用和维护。

电炉容量大小根据具体条件而定，对于人工装料的小型铁合金车间，一般选用 5000kVA 以下的电炉为宜。对于规模较大的铁合金厂，采用机械装料，选用大于 6000kVA 的电炉，在有条件的地区应尽量选用大型电炉。大电炉易于操作，经济指标好，便于自动化。

铁合金厂各车间的主要尺寸列于表 2-1。

表 2-1 铁合金车间主要尺寸（单位：m）

跨间	电炉容量，kVA	3000 以下	4500~8000	9000~16500	20000~80000
原料间	长度	60	126	138	174
	跨度	12	21	27	27
	主要作业	贮存，加工	贮存，加工	贮存，加工	贮存，加工

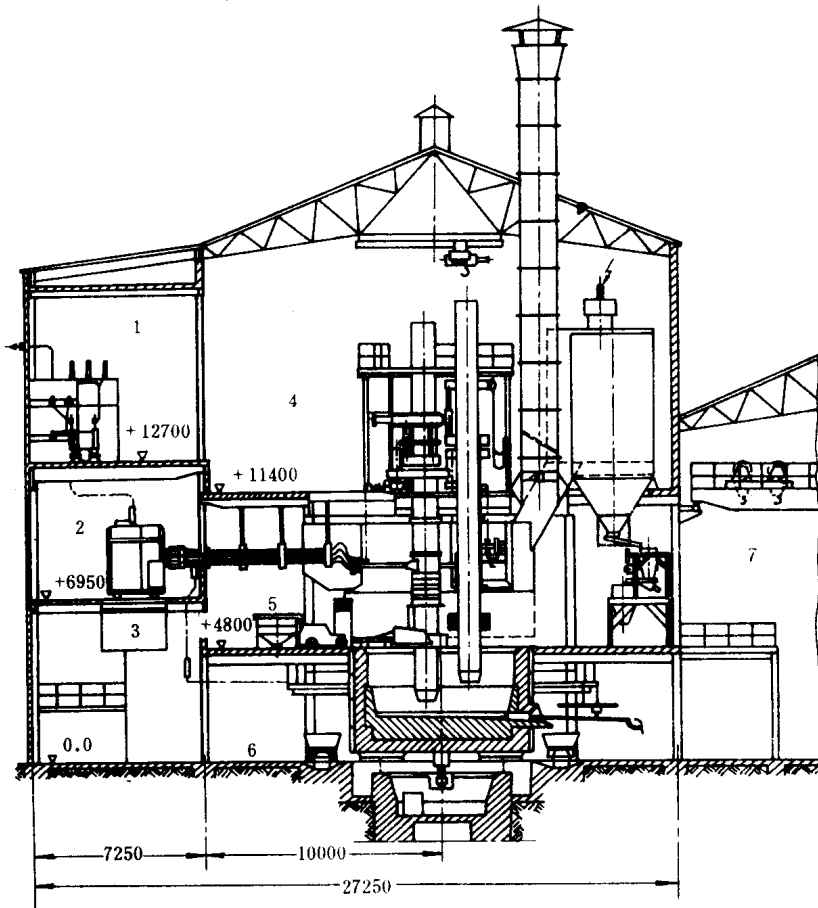


图 2-2 21000kVA 开口式旋转炉膛硅铁炉车间剖面图

1—高压室；2—变压器室；3—油坑；4—电极打结室；5—装料平台；6—车间地秤；7—冷却跨

续表 2-1

跨间	电炉容量, kVA	3000 以下	4500~8000	9000~16500	20000~80000
变压器间	每间长度	6×6	9	12	12
	宽度	6	6	6	8
	平台标高	3.2~3.5	4~4.5	4.5~5.5	5.5~6
炉子间	炉子形式	开口, 封闭	开口, 封闭	开口, 封闭	开口, 封闭
	长度	36	42	48	54
	跨度	12~15	15~18	18~21	21~24
	炉子中心距	18	18~24	24~30	30~36
	炉子中心距变压器侧柱列线	5~6	6~7	7~8	9~10
	炉口平台标高	3.2~3.5	4~4.5	4.5~5.5	5.5~6
	上料平台标高	3.2~3.5	9~12	13~15	15~21
	电极升降平台标高	8~10	15~18	18~21	19~21
	电极糊平台标高	8~10	12~15	16~18	18~26
吊电极糊起重机的轨面标高	14~15	18~20	22~24	24~29	

续表 2-1

跨间	电炉容量, kVA	3000 以下	4500~8000	9000~16500	20000~80000
浇注间	长度	36	42	48	54
	跨度	9~12	18	21	21
	轨面标高	6	8	10	12
	主要作业	浇注, 水冲渣	浇注, 修罐	浇注, 修罐	浇注, 修罐
成品间	长度	12	108	114	132
	宽度	6	18	18	18
	轨面标高	6	6	8	10
	主要作业	精整, 贮存	精整, 贮存	精整, 贮存	精整, 贮存

2.2 还原电炉主要机械设备

2.2.1 还原电炉主要机械设备

(1) 设计要求。还原电炉的机械设备设计要合理、实用, 能保证正常运行。这些设备都是直接和间接地处在强大的电流和电磁场下工作, 绝缘隔磁必须良好, 不能漏电漏磁, 轻则造成电能的损失, 重则使绝缘破坏, 相间打弧, 烧坏设备。还原电炉的机械设备较复杂, 除炉体外还包括电极把持器、电极压放装置、电极升降系统、加料系统、出铁设备和防护设施等。

(2) 主要机械设备 (图 2-2)。

1) 电极把持器: 电极把持器用来把铜瓦夹紧在电极上, 由升降系统来调整电极的位置。把持器的结构要保证电流在导向电极时损失最小, 还要便于下放电极, 容易检修。它还包括铜瓦、夹紧环、把持筒等。

铜瓦结构应适应电极烧结的要求, 铜瓦高度应满足导电面积的要求, 通常铜瓦高度约等于电极直径。铜瓦是电炉馈电最重要的部件, 同时也是电炉中最薄弱的环节。铜瓦和压紧装置不仅用于向电极传导电流, 而且也用于夹住电极。在使用自焙电极操作时, 铜瓦也是调节电极糊烧结区高度的一种工具。铜瓦与电极之间的接触电阻为:

$$r_c = \frac{\rho \sqrt{\pi\sigma}}{2} \times \frac{1}{\sqrt{pn}} = \frac{\varepsilon}{\sqrt{pn}} \quad (2-2)$$

式中 ρ ——导体电阻率, $\Omega \cdot \text{cm}$;

p ——接触压力, 0.1MPa;

σ ——导体材料强度极限, 0.1MPa;

n ——接触数, 个。

接触电阻取决于导体组分的物理性能。导体组分的导电系数愈高, 制作导体的材料愈软, 则接触电阻就愈小。在实践中, 经常采用的铜瓦材质是黄铜、紫铜或含铬青铜合金。

夹紧环等电极上的钢件, 必须有黄铜或防磁不锈钢隔磁, 以隔断磁路, 减少感应电流损失和磁滞损失。小电炉也有使用链式夹头的螺栓顶紧或坩式夹头等。

把持筒是用钢板卷制的圆筒, 它在吊挂式电极装置中起承重作用, 它吊挂在电动卷扬

机上或支承在液压缸上，吊挂式电极装置的优点是使电炉的工作安全可靠，并能从四周维护料面。

2) 电极压放装置：电极压放装置是为了保持电极工作端具有合适的长度，以补偿电极消耗，可采取液压或机械压放。

电极把持器的夹紧装置要求保证铜瓦与电极间有足够的压力(0.15MPa)，使铜瓦和电极接触紧密，防止电极下滑，减少接触电阻。在结构上要求松放容易，下放电极所占时间短。

(3) 电极升降系统。它是提升和下放电极的设备，用于调整电极电弧长度从而调整电弧电阻，达到调节电流的目的。一般用卷扬机或液压缸来提升或下放电极。

电极升降装置要灵便，电极升降速度在0.5m/min左右为宜。

(4) 加料系统。加料系统是把原料按冶炼要求加入炉内的整套设备，包括输料设备、炉顶料仓、加料管、流槽等。

炉顶料仓要有足够的容积，保证炉子生产的连续性。炉子加料机构要灵便，炉内不能缺料，否则热损失增大，电极上抬。

(5) 出铁设备。出铁设备包括开眼和堵眼机，铁水包、轨道、电平车和锭模等。出铁设备要求安全可靠。铁水包的容积要合适，能控制注温注速，实现分层浇注的目的。

(6) 防护设施。要使操作人员免除烟气、粉尘、金属蒸汽及辐射热的危害。烟尘通过烟罩接入除尘器及烟囱排空。烟囱要有足够的抽力，不能造成炉口平台烟尘排不出去的现象，排烟不畅会严重恶化劳动条件。烟罩下部及顶盖应进行绝缘，以免电极电流感应产生涡流损失。

(7) 水冷系统。电极水冷系统运转正常十分重要。电极夹紧环、铜瓦、导电管、变压器等都必须用水冷却。冷却水进口温度要尽量低些，出口水温不要超过55℃。水温过高，产生水垢，堵塞管道，造成断水烧坏设备。冷却水的硬度要低，若硬度大于10德国度(mg/L)，必须进行软化处理，一般采用离子交换器或磁水器处理，消除和减少水中的钙镁离子。总配水管上应装有水压表，水压应保持在0.2MPa以上，以保证水流畅通。

2.2.2 供电设备

(1) 对供电设备的要求。采用还原电炉生产铁合金首先要具备稳定的供电条件。所谓稳定供电即包括供电数量、供电时间、供电质量的稳定，要有能满足电炉变压器按额定容量使用的容量，还要有足够的动力电容量，不可经常被迫降负荷冶炼；每天、每月、每年供电时间要尽量连续，不能间断供电；供电电压、频率要稳定，波动值不能大于5%。否则，很难维持正常生产，取得好的效益，尤其是生产硅钙合金时要求供电更加稳定，否则将频繁停炉，生产无法正常进行。

所谓安全供电，即供电线路设计合理、正确，测量元件齐全，电气设备质量和维护良好，能安全供电。铁合金电炉供电主线路、电炉装置测量仪表回路、变压器继电保护原理如图2-3所示。

(2) 高压电气设备。铁合金厂电炉用电，是由高压电力网，经高压配电装置，变换为适合不同冶炼品种的低电压大电流电力，专门供给冶炼之用。一般中小型电炉变压器，一次电压采用6~10kV。容量在1000kV·A以上的大电炉，采用35~110kV。

电炉供电的主回路是：电网→高压电缆→母线→高压隔离开关(G)→高压断路器(DL)

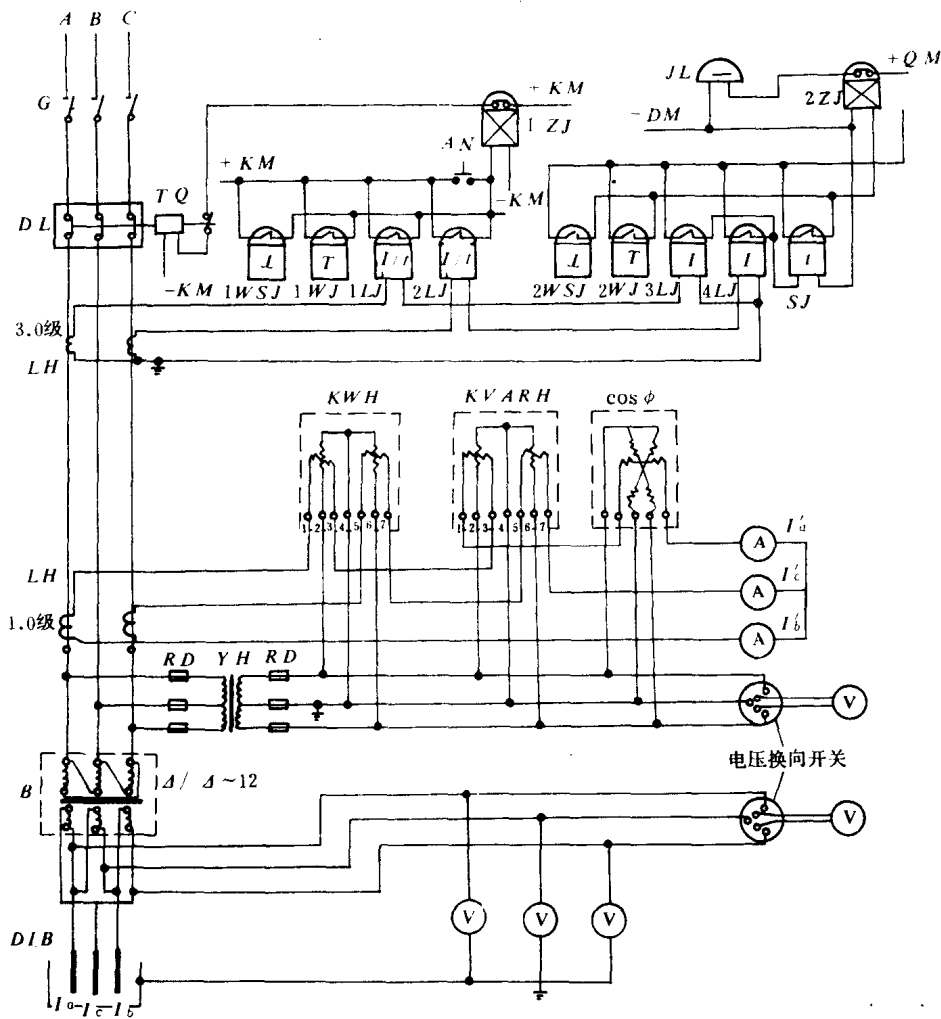


图 2-3 电炉测量仪表回路原理

KWH —有功电度 ($kW \cdot h$); $KVARH$ —无功电度 ($kW \cdot h$); $\cos\phi$ —功率因数;

WSJ —瓦斯继电器; WJ —温度继电器; LJ —电流继电器; SJ —时间继电器; ZJ —中间继电器; JL —警铃

→ 电炉变压器(B) → 短网(DW) → 经电极(DJB) 输入电炉。

1) 高压隔离开关: 高压隔离开关又称闸刀开关。它的主要用途是在检修电炉设备时, 用来断开高压电源与设备之间的电路。隔离开关断开后, 具有明显可见的空气间隔, 以保证检修工作的安全。

将高压电源引进厂, 首先要经过户外柱上高压隔离开关及避雷器等, 然后用地下电缆引进到厂内总控制室的进线高压开关柜。对于10kV供电的小铁合金炉, 也可将高压电源直接引进厂内总控制室, 经墙上的高压闸刀开关接入进线高压开关柜。

2) 高压断路器: 高压断路器又叫高压开关, 是高压配电装置的重要设备。其主要作用在于, 能够切断负荷电流及短路电流, 当设备发生短路故障时, 它和二次继电保护装置相配合, 迅速切断故障电流, 防止重大事故的发生。所以, 选用的断路器应有足够的遮断容量(指能切断的最大短路电流或短路功率)。高压开关有多种类型, 以前常用高压油开关, 现多

改用高压真空开关。

总控制室内一般有三个高压开关柜：一号进线高压开关柜（俗称进行柜），柜中设有开关、少油断路器、电流互感器等，此柜容量要足以带动全部电力负荷。二号高压开关柜（俗称PT柜），此柜中除有开关外，还有电流互感器、电压互感器等，用以引接各种测量仪表，如有有功功率表、无功功率表、功率因数表、三相电压表、三相电流表。同时将有功功率表、一次三相电流表、一次电压表引至炉前操作台。还有由二次引进二次三相电压表，以便操纵电极升降，掌握负荷用量。三号高压真空开关柜，对每台电炉要有一个高压真空开关柜（俗称出线柜），此柜除有普通开关外，还要有真空或多油断路器，以及与变压器容量相适应的电流互感器。通过动力电源驱动几台炉子共用的整流柜提供直流电流作为各种继电保护器的驱动电源。并带有温度、瓦斯、时间、过流等继电器及警铃。一般此柜集中放在高压控制室，也可分别放在变压器室。

铁合金厂生产车间的动力、照明和电炉控制部分用电，需要另外设置电力变压器，由车间变电所低压配电装置供电。

2.3 电极及其使用

电极是铁合金电炉的关键部件，正确地使用和维护电极，特别是自焙电极，对保证电炉正常运行关系极大，操作人员必须了解电极的性能，正确地使用和维护电极。

2.3.1 电极的作用、分类和性能

(1) 电极的作用及其要求 电极是电炉的重要部件，是短网的一部分。依靠电极把经过炉用变压器输送来的低压大电流送到炉内，通过电极端部的电弧，炉料电阻以及炉内熔体，把电能转换成热能而进行高温冶炼。因此，保持电极处于完好正常状态，对减少电炉事故具有重要意义。电极材料必须符合下列要求。

1) 有良好的导电性：电阻率要小，要减少电流通过电极时的电能损失，减少短网压降，提高有效相电压，以提高熔池的功率。

2) 热膨胀系数要小：当温度急剧变化时，不易变形，不因温度变化带来内应力产生细小的裂纹而增大电阻。并且要有良好的导热性。

3) 要有足够的机械强度：还原电炉的电极在使用的过程中要受到拉、压、弯和应力的作用。测定表明10000kV·A电炉自焙电极在铜瓦以上承受的压力为0.05MPa。

4) 杂质含量要低：电极材料中含有玷污合金的有害杂质，其含量要尽可能少。

5) 价格便宜、制造方便：碳质材料来源广泛，价格低廉且同时具备上述各方面要求，因此铁合金电炉的电极目前都是用碳素材料制成的。

(2) 电极的分类 碳质电极按其加工工艺不同分为三种：炭素电极、石墨电极和自焙电极。

炭素电极以低灰分的无烟煤、冶金焦、沥青焦和石油焦为原料，按一定的比例和粒度混合后加入粘结剂沥青和焦油，在适当的温度下搅拌均匀，然后压制成型，最后在焙烧炉中缓慢焙烧而制得。

石墨电极主要以石油焦和沥青焦为原料，制成炭素电极后，再放到温度为2000~2500℃隔绝空气的石墨化电阻炉，经石墨化而制得。

自焙电极用无烟煤、焦炭以及沥青和焦油为原料，在一定温度下制成电极糊，然后放

入电极壳中，经熔化、烧结、焦化而成。这种电极可边使用、边成型、边烧结、边接长，与碳素电极相比，自焙电极不但可省掉压型、焙烧两道工序，而且成本也低，因而广泛用于还原电炉。

(3) 电极的主要性能 三种电极的主要性能列于表2-2中。电极的电阻率、线膨胀系数要小些，热导率、电导率、抗压强度、抗弯强度、抗拉强度要大些，由表可见石墨电极较好。电阻率是电极的最重要性能。图2-4是碳素电极和石墨电极的电阻率随温度的变化情况，石墨电极电阻率比碳素电极小。图2-5为石墨电极和碳素电极的热导率与温度的关系，石墨电极热导率比碳素电极大，但随温度升高而减小，而碳素电极随温度升高而增加。

表2-2 电极的主要性能 (25℃)

性能	石墨电极	碳素电极	自焙电极
密度 (g/cm ³): 假密度	1.5~1.7	1.48~1.65	1.45
真密度	2.2~2.24	1.9~2.05	1.9
孔隙率, %	28~30	20~22	23
电阻率, Ω·m	6~12×10 ⁻⁶	21~50×10 ⁻⁶	55~80×10 ⁻⁶
线膨胀系数, 20~1000℃	1.5~28×10 ⁻⁶ /℃	3~3.8×10 ⁻⁶ /℃	5×10 ⁻⁶ /℃
热导率 (20℃), W/m·℃	116~186	6.9~28.9	6.9~11.7
机械强度, N/cm ² : 抗压强度	1960~3440	1960~4420	2560~2940
抗拉强度	14.7~27.5	6.4~19.6	
抗弯强度	4.9~9.8	2.9~7.8	
灰分含量, %	0.1~1.5	4~8	4~9

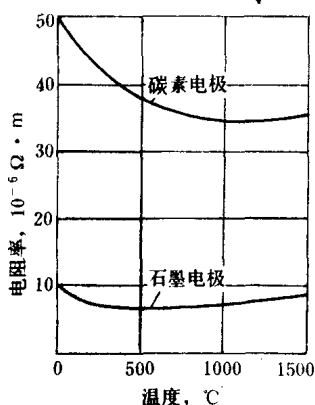


图2-4 电极电阻率与温度的关系

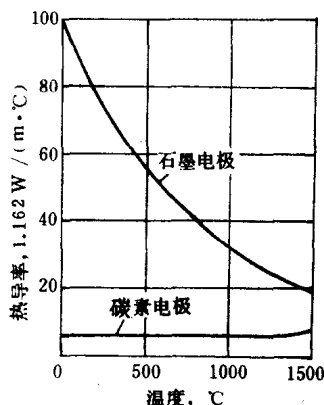


图2-5 电极热导率与温度的关系

焙烧好的自焙电极就是很均匀的非晶体的碳素电极，因而在性能上与碳素电极差不多。尽管自焙电极的某些性能不如其他两种电极（例如电阻率等），但可采用加大电极直径的办法予以弥补，这也符合还原电炉所需低电流密度和大电极直径的要求。实际上，制造大直径的石墨电极在工艺上有困难，一般不易制造直径大于600mm的石墨电极。而自焙电极直径则可制造得更大些，满足大电炉冶炼的需要。