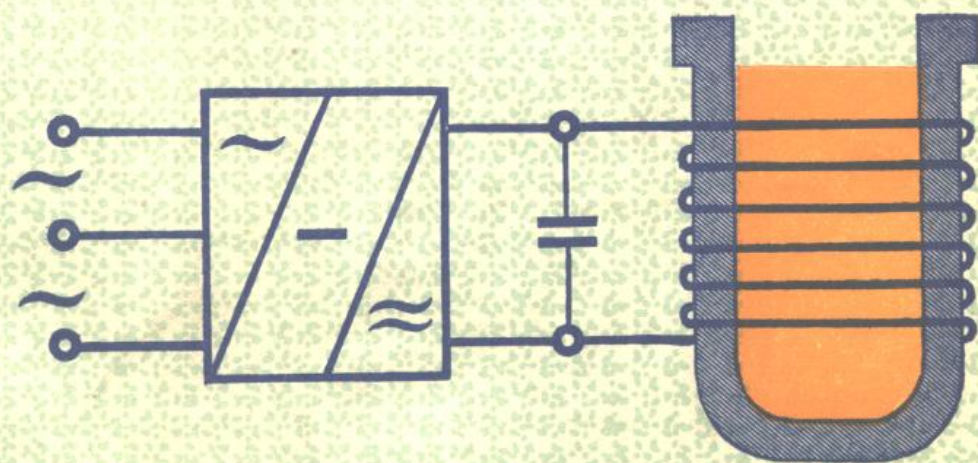


GONGPIN HE ZHONGPIN GANYINGLU

工频和中频感应炉

潘天明 编著



工频和中频感应炉

潘天明 编著

工频和中频感应炉

潘天明 编著

*

冶金工业出版社出版

(北京灯市口74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 19 字数 450 千字

1983年8月第一版 1983年8月第一次印刷

印数00,001~4,800册

统一书号: 15062·3909 定价1.95元

前 言

近年来,工频和中频感应炉在国内外得到了迅速发展。感应炉在钢铁、有色金属和稀有金属生产、使用部门,金属及合金的热加工部门,以及机械零件的铸造和热处理部门得到广泛推广使用。一些工业发达和水电资源丰富的国家,为了解决能源和污染问题,都在大力发展感应炉,以取代使用燃料的炉子。我国的情况有所不同,但在工频和中频感应炉的研制和应用方面也取得长足的进步。为了推动感应炉技术的发展,编者根据手头资料写成此书。书中重点介绍感应炉的电源装置和感应器的基本线路、工作原理、设计计算方法及调整维护知识,供从事研制,调整和使用维护工频和中频感应炉的技术人员、工人及大专院校的有关专业师生参考。

编写本书时,编者力求理论联系实际,突出理论对生产实践的指导作用,特别注意有关物理概念的叙述,并辅之以适当的数学分析。在反映国内感应炉方面的科研成果和先进经验的同时,对国外的有关先进理论和技术也作了必要的介绍。

在本书编写过程中,得到北京有色金属研究总院领导的关怀和支持,李顺生和陈一鸣同志分别审校了本书的前后部分,吕宗海同志协助绘图,在此谨向他们表示谢意。

由于水平有限,书中可能有不少谬误,敬请读者批评指正。

编 者

1981年12月

目 录

第一章 概述	1
第一节 感应加热的基本知识	1
一、感应加热原理	1
二、交流电流的集肤效应	2
三、感应加热负载材料的特性	3
第二节 感应炉的分类和特点	6
一、按工作频率分类	6
二、按加热特点分类	7
三、感应加热炉的特点	7
四、感应熔炼炉的特点	8
第二章 工频感应加热电源设备	9
第一节 工频电源主电路	9
一、主电路	9
二、电压调整方法	9
第二节 无功功率补偿	16
一、无功功率的补偿方法	16
二、并联补偿原理	17
三、补偿电容器的参数计算	18
四、无功功率的自动补偿	20
第三节 三相平衡装置	24
一、平衡三角形的工作原理	25
二、平衡三角形的正常运行	27
三、平衡三角形的非正常运行	29
四、三相平衡的自动调节	31
五、功率因数和相平衡的无级自动调节	32
六、电抗平衡法和电容平衡法	35
第四节 T形连接的应用	37
一、T形连接双感应器的工作原理	37
二、T形连接变压器的特殊运行方式	41
第五节 调试和使用中的问题及其解决办法	46
一、主回路电源开关合不上闸	46
二、炉温偏低炉料化不开而功率又加不上去	46
三、其他	47
第三章 中频感应加热电源设备	48
第一节 中频发电机组	49
一、感应式中频发电机的工作原理	49
二、中频发电机的工作特性	51
三、中频发电机的使用和维护	53

四、中频发电机组应用实例	55
第二节 静止式电磁倍频器	57
一、基本概念	57
二、单相供电的三倍频器	58
三、三相供电的三倍频器	60
四、三倍频变压器的设计	66
第四章 可控硅中频装置	71
第一节 概述	71
一、可控硅中频装置和中频发电机组的比较	71
二、可控硅中频装置的基本结构	72
第二节 采用并联逆变器的可控硅中频装置	73
一、工作原理	73
二、逆变触发器的设计依据	77
三、并联逆变器的起动	82
四、可控整流线路	86
五、系统的保护	91
六、主回路参数的选择和计算	93
第三节 采用串联逆变器的可控硅中频装置	98
一、工作原理	98
二、主要参数分析	100
三、逆变器的确定	109
四、串联逆变器和并联逆变器的比较	109
第四节 串并联逆变器	112
一、逆变器主要参数的关系	112
二、逆变器主要元件的选择	115
第五节 倍频式可控硅逆变器	115
一、工作原理	116
二、主要参数的关系	117
三、逆变线路的工作状态	120
四、逆变线路的主要参数计算	121
五、逆导可控硅的结构与原理	124
第六节 可控硅中频装置的控制线路	124
一、前述四种逆变线路的基本特点	124
二、控制系统框图	125
三、逆变器控制线路实例	130
四、整流器的触发线路实例	132
第七节 时间分割式逆变器	137
一、时间分割式逆变器 (A型)	138
二、时间分割式逆变器 (B型)	141
第八节 调试、使用和维护	145
一、调试步骤和方法	145
二、使用和维护	151

第五章 中频电源装置的设计	156
第一节 结构设计	156
第二节 电源与负载的匹配措施	156
第三节 中频变压器的工程计算	160
一、计算的原始数据	160
二、铁心截面尺寸的计算	160
三、变压器线圈的计算	164
四、磁路的尺寸、重量和铁损	167
五、变压器的电压、功率和效率	168
六、冷却系统的计算及对冷却水的要求	170
第四节 电抗器的设计和计算	173
一、空心电抗器	173
二、均流电抗器	174
三、滤波电抗器	175
四、相平衡电抗器	181
五、磁饱和电抗器	189
第五节 载流导体的选择和计算	195
一、选择原则	195
二、结构形式	195
三、参数计算	199
第六章 无心感应炉	203
第一节 概述	203
第二节 无心感应炉的结构	204
一、炉衬(坩埚)	206
二、感应器	208
三、磁轭	210
第三节 耐火材料坩埚无心感应熔炼炉	210
一、设计计算的主要内容及原始数据	210
二、确定坩埚的容量和几何尺寸	211
三、确定感应器的几何尺寸	213
四、选择电源频率	214
五、感应器—炉料系统的热计算	217
六、感应器—炉料系统的电计算	219
七、计算磁轭	226
八、感应器的冷却计算	228
九、感应器的模拟试验及简捷计算	231
十、坩埚使用寿命预测及报警	233
十一、能量消耗途径	235
第四节 导电材料坩埚无心感应熔炼炉	236
一、用途和结构	237
二、设计计算特点	239
三、铁坩埚的使用寿命	240

四、铁坩埚无心感应熔炼炉计算例	241
五、真空感应熔炼炉的设计特点	247
第五节 无心感应透热炉	248
一、计算所需的原始数据	248
二、确定工作频率	249
三、确定感应器的尺寸	249
四、感应器—炉料系统的热计算	250
五、感应器—炉料系统的电计算	252
六、用来加热其他形状工件的感应加热炉的设计特点	253
七、有关的几点说明	256
八、感应透热炉计算例	259
第七章 有心感应熔炼炉	267
第一节 概述	267
一、工作原理	267
二、结构和特点	267
第二节 有心炉的设计和计算	268
一、确定炉子容量和选择炉型	268
二、确定感应体的有功功率 P	268
三、确定熔沟和感应线圈的尺寸	269
四、感应器—炉料系统的热、电计算	271
五、铁心的计算	273
六、其他	274
第三节 感应炉的温度控制	279
一、温度测量	280
二、温度控制	281
第八章 感应炉的发展概况	283
一、有心感应炉的发展动向	283
二、无心感应炉的发展动向	284
附表	287
一、一些主要金属的物理参数	287
二、常用耐火材料的主要性能	288
三、常用隔热材料的主要性能	288
四、几种金属和合金的有关物理参数	289
五、各种物体的热辐射系数	289
六、双曲函数表	290
七、国内部分无心工频感应炉的有关参数	291
八、国内部分中频感应炉的有关参数	292
九、有心感应炉（工频）的有关参数	292
十、国内部分铁坩埚无心工频感应炉的有关参数	293
十一、日本神钢电机的中频炉产品（采用可控硅中频装置供电）	294
十二、日本富士和川崎电机制造株式会社的三倍频炉系列产品	294
参考文献	295

第一章 概 述

第一节 感应加热的基本知识

一、感应加热原理

感应加热的基本原理可以用电磁感应定律和焦耳-楞次定律来描述。

大家知道，电磁感应定律定义为：当穿过任何一闭合回路所限定的面的磁通量随时间改变时，无论这改变的原因如何，在这回路上总会产生感应电动势 e ，其表达式为

$$e = - \frac{d\phi}{dt} \quad (1-1)$$

上式中的 $\frac{d\phi}{dt}$ 为闭合回路所限定的面的磁通量变化率，前面的负号表示新的感应电动势的作用是阻止该磁通量发生变化的。换言之，感应电动势具有产生感应电流的倾向，以感应电流产生的新磁通量来补偿原磁通量的变化。

焦耳-楞次定律的表达式为

$$Q = 0.24 I^2 R t \quad (\text{卡}) \quad (1-2)$$

式中 Q ——当电流流过具有电阻 R 的回路时，由零到 t 一段时间内，电阻所消耗的功率转变成的热量，卡；

I ——流过电阻 R 的电流，安；

R ——回路电阻，欧；

t ——时间，秒。

具体说来，如果用导体绕成一个线圈，并在线圈中通入交变电流，则在线圈内产生一个相应的交变磁场，也即大小和方向都随时间改变的交变磁通量。当把一块导电金属放在线圈内时，根据电磁感应定律，金属内必定会产生感应电势。由于一块整体金属，可以视作一短路的导体，于是在感应电势的作用下，金属内就有电流产生，这电流叫做感应电流或涡流，那个线圈叫做感应线圈或感应器。这涡流产生的磁通量，总是力图阻止线圈内的磁通量发生变化。若施于线圈的交变电流不停止，则金属内的涡流也不会停止。众所周知，任何金属都具有电阻，根据焦耳-楞次定律，涡流在具有一定电阻的金属内流动就会产生热量，从而使金属被加热甚至熔化，一般所谓感应加热就是指此而言的。

感应炉就是利用电磁感应原理，使处于交变磁场中的金属材料内部感应电流，从而把材料加热直至熔化的一种电热设备。

显然，实现感应加热必须具备两个条件：一是感应线圈中通入的必须是交变电流。二是处于感应线圈中的被加热材料必须是能导电的，或用电的导体作为发热体，利用导体发出的热量去间接加热非导电材料。

此外，如果处于感应线圈中的是导磁的金属（例如，磁性钢、铁、钴和镍），则除了由于涡流发热外，还会由于这些金属内部存在磁滞现象，在被交变磁场反复磁化的过程中产生磁滞损耗而发热，这也是感应加热的效果之一。但相对于感应电流发热来说，磁滞损耗

发热具有局限性，而且较为次要。

二、交流电流的集肤效应

交流电流通过导体时，沿导体截面上的电流密度不是均匀分布的，最大电流密度出现在导体的表面，而轴线上的电流密度最小，甚至为零，这种电流的挤聚现象叫做集肤效应（见图1-1）。

根据电磁感应定律，不难解释产生集肤效应的原因：电源在导体中建立交变磁场，在

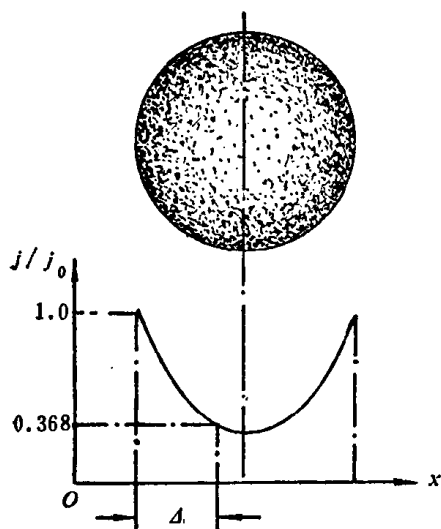


图 1-1 交流电流在导体中的分布

j_0 —表面电流密度； j —沿导体径向上任一点
电流密度

任一瞬间，导体同一截面上的任何一点的电场强度似应相等，但由于电磁感应，导体中会产生方向与之相反的电场，即自感电动势。为方便起见，设想这导体是由很多无限小的导线组成的，电流沿这些细线通过，每根细线流过电流时都会在其周围产生交变磁场，并形成磁通。与导体轴线重合的细线既交链导体外部磁通，也交链内部磁通，而导体表面的细线，则只与外部磁通链合，因此，由感应产生的电场强度必定是轴线上最大，表面上最小。这感生电场与电源产生的电场的方向是相反的，两者抵消的结果，使得电场强度分布是由表面到轴线逐渐减小，因此，电流密度亦由表面到轴线逐渐减小。

为便于计算，引入电流透入深度“ Δ ”这个概念。所谓电流透入深度是指在导体径向上，从导体表面到某一特定点的距离。在那一特定点上的电流密度已减小到导体表面电流密度的 $1/e$ （等于0.368）。利用电磁理论可导出

$$\Delta = 5030 \sqrt{\frac{\rho}{\mu_r f}} \quad (\text{厘米}) \quad (1-3)$$

式中 ρ ——导体的电阻率，欧·厘米；

μ_r ——导体的相对导磁率，对于非磁性材料导体而言， $\mu_r = 1$ ；

f ——电流频率，赫。

由以上的分析可以得出结论：交流电流流过导体时，电流总是挤聚在有可能交链磁通最少的部位通过，因此，当相邻两导体通以交流电时，导体中电流分布与单根导体时不同，两导体中同一时刻的电流方向相反时，电流聚于导体内侧；同一时刻的电流方向相同时，电流被排斥于导体外侧，这就是所谓邻近效应（见图1-2）。

当交流电流通过环形线圈时，电流会挤聚在线圈导体的内侧（见图1-3），这种现象叫做圆环效应或线圈效应。

实际上，邻近效应和圆环效应只是集肤效应的特殊表现形式。

感应炉就是综合利用这三种效应来加热或熔化金属的。如图1-4所示，在感应线圈中放入金属，对线圈两端施以交流电压，这时在感应线圈中流过交流电流，进而产生交变磁场，在交变磁场中，感应线圈本身发生圆环效应，电流全挤聚在线圈的内侧表面层，感应线圈与金属之间发生邻近效应，而在金属本身则发生集肤效应，结果线圈和金属中的电流

便按如图1-4所示曲线分布。

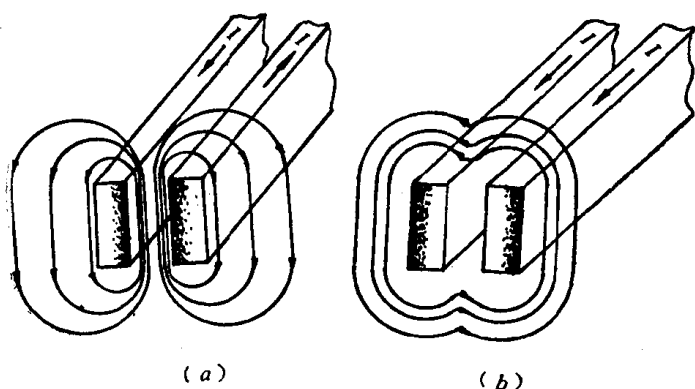


图 1-2 两平行放置的汇流条中交流电流的分布
(a)电流方向相反; (b)电流方向相同

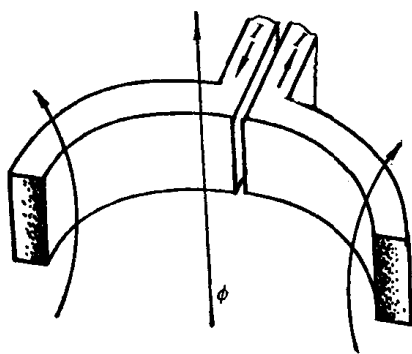


图 1-3 环形导体中的集肤效应

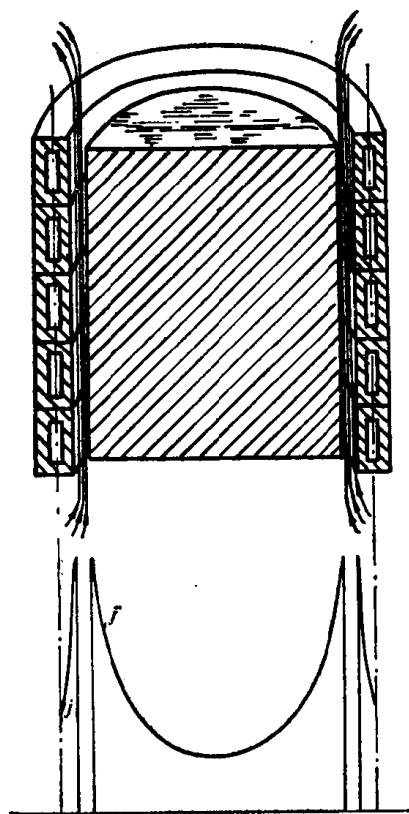


图 1-4 感应线圈和金属中的电流分布
 j —电流密度

三、感应加热负载材料的特性

由式(1-3)可知, 电流透入深度除与电流频率有关外, 还与导体的电阻率和相对导磁率有关。

在所讨论的问题中, 都设想感应加热的负载材料为导体, 实际上其中绝大部分是金属。导体的电阻率一般都是随温度变化的, 电阻率与温度的关系为

$$\rho_t = \rho_0 (1 + \alpha t) \quad (1-4)$$

式中 ρ_0 ——导体在 0°C 时的电阻率;

α ——电阻温度系数, 表示温度每升高 1°C 时的电阻率改变值, 某些金属的 α 值见表1-1;

ρ_t ——导体在温度为 $t^\circ\text{C}$ 时的电阻率。

一般金属都具有正的温度系数, 即温度愈高电阻率愈大。例如当温度由 0°C 升高到 $850\sim 900^\circ\text{C}$ 时, 钢的电阻率增加4~5倍, 而且可以大致认为, 当温度高于 800°C 以后, 各类钢的电阻率几乎相等, 趋于一恒值, 即 10^{-4} 欧·厘米。

由于各种材料的结构不同, 它们在外磁场中显示的磁化状态也不一样, 据此可把各种材料分为反磁材料, 顺磁材料和铁磁材料三种。水、金、银、铜、铋等都属反磁材料, 它们在未被引进外磁场以前, 每个分子的分子电流产生在分子范围外的磁场是相互抵消的, 因此, 整个分子不显磁性。但在引进外磁场后, 材料中每个运动着的带电粒子受到洛伦磁

力的作用，产生了附加的分子电流，即感应电流，使分子显示磁性，从而在材料中出现附加磁场，这附加磁场起着削弱外磁场的作用。由此看来，反磁材料与电介质中的无极分子对电场的作用相似。空气、铝、钨、铂等都属顺磁材料，顺磁材料与电介质中的有极分子相似，但被磁化后不是削弱外磁场，而是加强外磁场。

表 1-1 某些金属的 ρ_0 和 α 值^[1,2]

金 属		ρ_0 欧·厘米	α
金	铜	1.6×10^{-6}	4.3×10^{-3}
	铝	2.6×10^{-6}	4.0×10^{-3}
	钨	8.9×10^{-6}	4.8×10^{-3}
	银	1.5×10^{-6}	4.1×10^{-3}
	铂	9.8×10^{-6}	3.9×10^{-3}
	镍 铜	5.0×10^{-5}	4×10^{-5}
	锰 铜	4.3×10^{-5}	2×10^{-5}
	锌	5.55×10^{-6}	4.19×10^{-3}
	镁	3.6×10^{-6}	4.2×10^{-3}
	钢	13.3×10^{-6}	6.25×10^{-3}
	铅	18.9×10^{-6}	3.87×10^{-3}
	锡	10.5×10^{-6}	4.3×10^{-3}
	镍	5.9×10^{-6}	6.1×10^{-3}
	青 铜	5.1×10^{-6}	4×10^{-3}
	黄 铜	4.8×10^{-6}	2×10^{-3}

顺磁材料和反磁材料都是非磁性材料，一般有色金属及其合金均属此类。它们的导磁率 μ 与真空导磁率 μ_0 相同，即它们的相对导磁率 $\mu_r = 1$ (因为 $\mu = \mu_r \mu_0$)，并几乎不随材料的温度和磁场强度而变化。但铁磁材料，如钢、铁、钴、镍及某些合金的导磁率则受温度、磁场强度的影响极强烈。当磁场强度一定时，铁磁材料的导磁率随温度上升而缓慢下降，此时温度的影响一般可略而不计；当达到某一临界温度(居里点)时，便急剧下降到1，此后即不再随温度变化(见图1-5)。

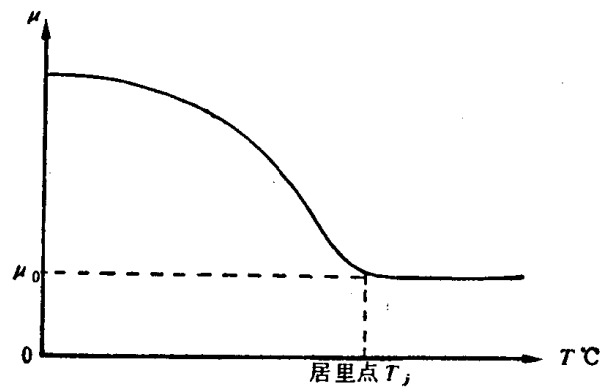


图 1-5 铁磁材料的导磁率与温度的关系

铁磁材料由常温感应加热到熔化温度的全过程可分为冷态、中间状态和热态三个阶段。

所谓冷态是指把坯料表面加热至磁性转化点(即居里点 T_j)温度以前的阶段，此时材

料的电阻率 ρ 和导磁率 μ 都是变数[见图1-6 (a)]。不同的铁磁材料具有不同的居里点温度，一般都在730~770°C之间变化。

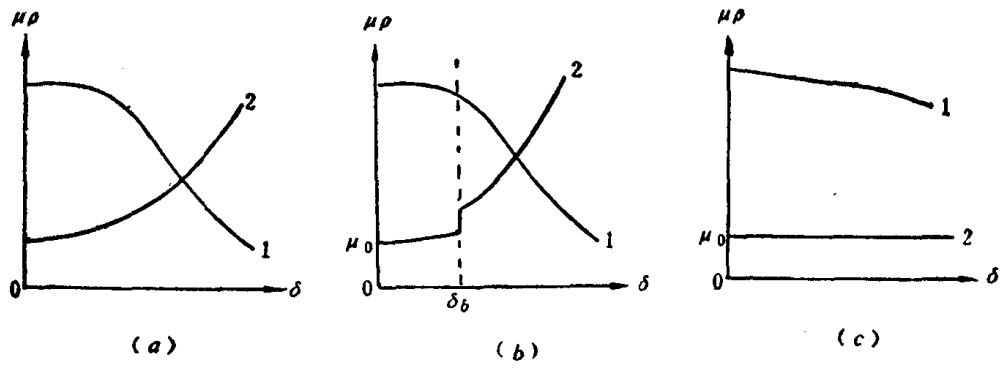


图 1-6 磁性材料的物理参数在加热过程中的变化

(a) 冷态；(b) 中间状态；(c) 热态

1—电阻率 ρ ；2—导磁率 $\mu (= \mu_r \mu_0)$ ； δ —深度方向坐标

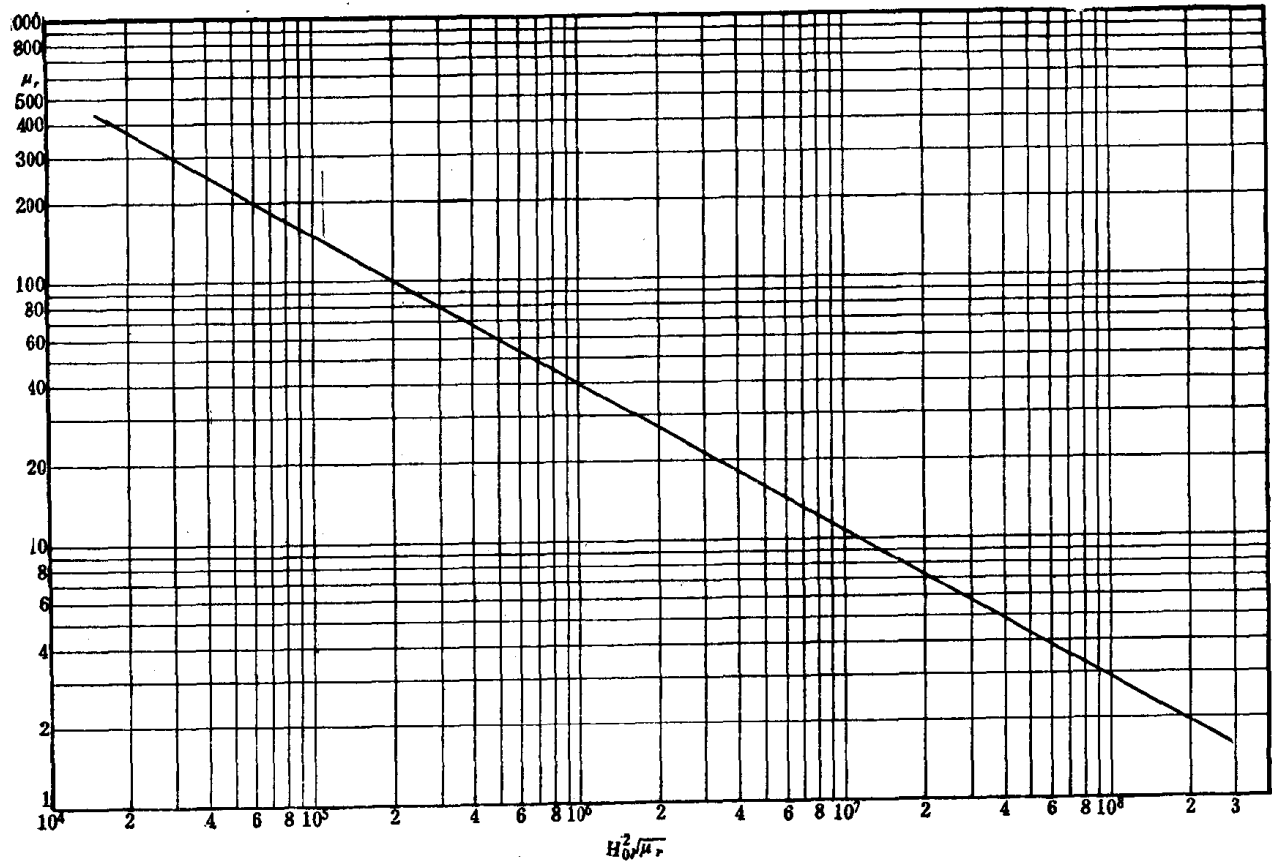


图 1-7 钢的平均磁化曲线^{〔3〕}

所谓中间状态是指距表面厚度 δ_b 的一层金属已加热至居里点以上温度的阶段，但其内层金属温度尚低于居里点。此时材料表面层的 ρ 近似为恒值， $\mu = \mu_0$ ；里层的 ρ 和 μ 还是变数[见图1-6(b)]。

所谓热态是指从 δ （由金属表面到内部的距离）等于热态时电流在金属中的透入深度 Δ_R 时起至加热终了或熔化温度的阶段，此时 ρ 近似为恒值， $\mu = \mu_0$ [见图1-6(c)]。

由于冷态时，铁磁材料的导磁率 μ 是变数，所以很难用于计算。考虑到当磁场强度超过40安/厘米（在感应加热情况下都能达到）时，各种钢的磁化曲线彼此相差极小，甚至连硅钢的导磁率在强磁场下，与平均磁化曲线求得的 μ 值也很相近。因此，在进行有关各种磁性钢材的感应加热计算时，可以采用图1-7所示的平均磁化曲线值。

当温度一定时，铁磁材料的导磁率随磁场强度而增大，导磁率起初增加很快，当达到最大值后，便逐渐下降，直到在强磁场中比真空中只大几倍时为止（见图1-8）。

感应加热常用的磁场强度多在400安/厘米以上，最低也超过几十安/厘米，所以 μ 值都处于 $\mu_{\max}$ 以后，成为一衰减曲线。实际上，金属中的交流磁场强度分布也是由表面向内部衰减的，所以其 μ 值则相应由表面向心部增大。为了简化计算，往往把冷态时的磁性钢的 μ 值作为常数，这时利用麦克斯韦方程式，可求出强磁场情况下，单位功率与导磁率的关系式〔3〕：

$$H_0^2 \sqrt{\mu_r} = 3.67 \times 10^6 \frac{P_d}{\sqrt{\rho f}} \quad (1-5)$$

式中 H_0 ——磁场强度，安/厘米；

μ_r ——相对导磁率；

P_d ——单位表面功率，千瓦/厘米²；

ρ ——电阻率，欧·厘米；

f ——频率，赫。

利用公式（1-4）求出 $H_0^2 \sqrt{\mu_r}$ ，即可由图1-7查得磁性钢材的 μ_r 值。

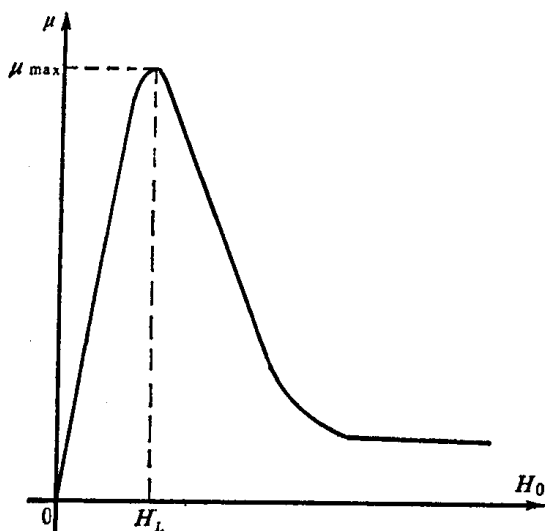


图 1-8 铁磁材料的导磁率与磁场强度的关系

顺便指出的是，在这一节中之所以较详细地讨论铁磁材料的导磁率与温度的关系，是因为在设计感应炉时，必须考虑导磁率变化的影响。为使设计准确，必须根据炉子的用途和工作温度正确地选择导磁率值。

第二节 感应炉的分类和特点

一、按工作频率分类

（1）工频感应炉 它的工作频率为50赫。可由单相、两相和三相电源供电。

(2) 中频感应炉 它的工作频率范围是高于工频, 低于10千赫。通用频率档级是: 150、(250)、450、1000、2500、4000、8000、10000赫。一律采用单相供电。自从出现可控硅中频装置以后, 所用的频率范围已逐渐扩大到100千赫。

中频电源设备可分为两类: 电动发电机组和静止变频器。后者包括离子型变频器, 电磁倍频器和可控硅逆变器。离子型 (包括使用真空器件的) 变频器多在广播事业中使用, 本书不赘述, 其余两种变频器则在后面介绍。

(3) 高频感应炉 它的工作频率高于100千赫, 目前都采用电子管振荡器产生高频。

由于被加热材料的性质不同, 加热条件和要求也不一样, 上述各频段均可根据用途广泛用于感应淬火、透热和熔炼。本书只讨论工频和中频感应炉。

二、按加热特点分类

根据感应加热的特点, 可把感应炉分为感应熔炼炉和感应加热炉两类。

1. 感应熔炼炉

根据炉子结构中有无铁心穿过被熔化的金属熔池这一特点, 又可把感应熔炼炉分为无(铁)心和有(铁)心两种。

(1) 无心感应熔炼炉 这种炉又分为真空和非真空两种。

1) 非真空无心感应熔炼炉 (简称无心感应炉) 多用于熔炼钢, 铸铁以及铜、铝、锌、镁等有色金属及其合金。其中, 矮线圈无心感应炉用于铸铁, 特别是有色金属及其合金的保温。

2) 真空感应熔炼炉 (简称真空感应炉) 用于熔炼耐热合金, 磁性材料, 电工材料, 高强度钢, 特种钢和核燃料等。

无心感应熔炼炉视所熔炼材料的性质及工艺要求可选用工频, 中频或高频加热电源。

(2) 有心感应熔炼炉 这种炉子设有围绕铁心的液体金属熔沟, 因此又叫做熔沟炉或沟槽式感应炉。这种炉一般用于铸铁和铜、铝、锌等有色金属及其合金的熔炼、保温和浇铸。通常都采用工频电源。

2. 感应加热炉

这种炉子只把被加热的工件或材料加热到低于熔点的某一既定温度为止, 或只是将工件局部加热, 此类加热炉又可细分为透热炉、淬火炉和烧结炉。

1) 感应透热炉多用于钢、铜、铝等金属材料在锻造、冲压、挤压、轧制等热加工前的加热; 钢材的退火、正火和回火; 金属零件的热装配; 金属带材镀锡层的光亮处理等。

2) 感应淬火炉 (机床) 多用于机械零部件的表面淬火。

3) 真空感应烧结炉多用在真空条件下的粉末冶金零件烧结或加压成形。

感应加热炉视工艺要求可采用工频、中频或高频电源。

三、感应加热炉的特点

金属材料在轧制、锻造等热加工前的加热及机械零件的热处理, 过去多用燃烧重油、煤气、煤、焦炭等火焰炉, 同这些火焰炉相比较, 感应加热炉有以下一些特点:

1) 加热速度快, 氧化层薄, 金属烧损少。感应加热是从金属内部, 即从金属的电流透入深度层开始加热的, 这就大大节省了热传导时间, 火焰炉是从表面开始的, 导热时间长。加热同一坯料, 感应加热只需火焰炉的加热时间的十分之一。

2) 感应加热可以只加热局部, 容易控制加热部位和深度。

3) 加热工件质量的再现性好。感应加热的温度容易控制, 一般只需控制加热时间和电压。对同种坯料, 用同一加热时间和电压, 就可达到相同的加热质量。因而极易找出各种坯料的加热规律, 有利于提高效率和质量。

4) 控制温度的精度高, 可保证温差在 $\pm 0.5 \sim 1\%$ 以内。

5) 感应加热的热效率可达 $50 \sim 60\%$, 而火焰炉的热效率一般只有 30% 左右。

6) 感应加热对大气和周围环境无污染, 无噪音(用中频发电机组的例外)。一般火焰炉在燃烧过程中, 产生大量的一氧化碳, 二氧化碳, 灰尘, 烟雾及其他有害气体, 对大气和周围环境造成严重污染。

感应加热还存在如下的一些问题:

1) 感应加热虽然不用燃料, 却要消耗大量电力。目前, 我国用电紧张, 这在一定程度上限制了感应加热炉的应用。

2) 设备较复杂, 制造较困难。

总的来说, 感应加热炉的优点是很突出的, 这就是它在短短的二三十年内能得到迅速发展的原因。今后, 随着国内电力工业的发展及科学技术水平的不断提高, 感应加热炉有可能在金属材料的加热以及机械零部件的热处理方面完全取代火焰炉。

四、感应熔炼炉的特点

感应熔炼炉同其他一些用于熔炼金属和合金的电弧炉, 冲天炉等相比, 具有下列一些优点:

1) 在被加热的金属本身感应产生强大的感应电流, 使金属发热而熔化, 因而加热温度均匀, 烧损少, 可以避免电弧炉那样产生局部高温。这对于贵重金属和稀有金属及其合金的熔炼具有十分重要的意义, 例如, 镍、铬、钒、钨在感应炉中熔炼的烧损比电弧炉的少 $2/3$ 。

2) 感应熔炼炉中, 由于电磁力引起金属液搅动, 所以熔化所得的金属成分均匀, 质量高, 加热设备不会污染金属。

3) 熔化升温快, 炉温容易控制, 生产效率高, 能广泛应用于黑色及有色金属的熔炼。

4) 炉子周围的温度低, 烟尘少, 噪音小, 因此作业的环境条件好。

5) 没有电极或不需要燃料, 可以间歇或连续运行。

感应熔炼炉的一些缺点是:

1) 对作为加热对象的原材料有一定要求, 多半只用于金属和合金的重熔。

2) 冷料开炉时, 需要起熔块(频率较低的炉子), 升温慢。材料熔化后, 由于炉渣本身不产生感应电流, 靠金属液传给它热量, 所以炉渣的温度比金属液的低, 不利于造渣, 从而影响到精炼反应的进行。这一缺点, 决定它只适宜于熔化金属, 而不适于金属的冶炼提纯。

3) 感应熔炼炉本身的功率因数低, 需要辅之以一定数量的补偿电容器, 这是比较费钱的。

第二章 工频感应加热电源设备

本章以及本书的其他章节中,都以英文大写字母上加点表示向量,字母加脚注“ m ”表示峰值,字母加脚注表示与脚注字母同符号的元件或支路的电气参数,不加点又不加脚注“ m ”则表示有效值,小写英文字母代表瞬时值。例如: $\dot{U}$ —电压向量; U_m —电压峰值; U —电压有效值; u —电压的瞬时值。 $\dot{U}_C$, U_{Cm} , U_C , u_C —电容器 C 上的电压向量、峰值、有效值和瞬时值。

第一节 工频电源主电路

一、主电路

感应加热用的工频电源主电路必须满足下列要求:

- 1) 加到感应器的电压必须可调,否则感应器就必须是带抽头的。
- 2) 根据感应炉的功率大小和供电网路容量大小,可以把6~10千伏(或更高)高压电源直接通过电炉变压器供电,也可以接在低压380伏网路上运行。可以以三相、单相或两相方式供电。但为避免起动电流过大,影响电网正常工作或造成其他事故,一般都采用两级起动。第一级串起动电阻或电抗,第二级则把串入的起动元件切除,以便把起动电流限制在5倍额定工作电流以下。
- 3) 一般单相感应器用三相供电时,都要有平衡电抗器和平衡电容器。
- 4) 主电路必须具备功率因数补偿容量可调的功能,在采用带平衡装置的三相供电时,其平衡电抗器和平衡电容器的参数也应是可调的。

能满足上述要求的几种通用的主电路示于图2-1。图2-1的(a)、(b)、(c)是单相或两相供电电路,适用于所有感应炉;(d)、(e)、(f)、(g)、(h)则是三相供电电路。(d)和(e)电路适用于各型炉子,但连接时要注意相序。(d)电路中的平衡电抗器是带抽头的,调平衡时,必须单独调节平衡电抗器和平衡电容器,而且通常都必须停电切换。(e)电路中平衡电抗器无抽头,用 C_{Pb} 和电抗器并联的办法来减少电抗值,允许不停电切换,但设计和运行中应注意选择 L_P 和 C_{Pb} 值,不应使 L_P 和 C_{Pb} 并联的固有频率与电源频率相接近。图2-1的(f)、(g)、(h)电路是靠感应器本身来实现三相平衡的。(f)电路一般只用于无心炉,而且当按顺相序连接三相电源时,三段绕组的中间一段必须首尾反接,以便使三相合成磁通变为脉动磁通。否则三相合成磁通为零,从而降低加热效率,甚至无法实现感应加热。这种电路若用于有心炉,则一炉应有3个感应体,每相各接一个。(g)电路一般只用于双感应器的有心炉。这种电路若用于无心炉,则不能达到三相平衡。(h)电路是V形接,它适用于各型炉子。

二、电压调整方法

在前面所介绍的工频电源主电路中,都要求输入到负载回路(感应器和补偿电容器)的电压可调。调节工频电压的方法很多,通常能带载平滑调压的方法有:①采用各种调压器,如感应式调压器,移卷式调压器和特制的自耦调压器(国内没有大容量的);②用磁饱和电抗器或磁控调压器;③采用相角控制或周波数(过零)控制的可控硅交流调压器。