

机械工业知识丛书

# 电 炉

西安电炉研究所编



机械工业出版社

机械工业知识丛书

---

# 电 炉

西安电炉研究所编



机械工业出版社

# 电 炉

西安电炉研究所编

(只限国内发行)

\*

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

\*

开本  $850 \times 1168 \frac{1}{32}$  · 印张  $6 \frac{13}{16}$  · 字数 172 千字  
1974年10月北京第一版·1974年10月北京第一次印刷

印数 00,001—26,000 · 定价 0.57 元

\*

统一书号: 15033 · (内)601

## 出 版 说 明

在毛主席的无产阶级革命路线指引下，我国机械工业欣欣向荣，蓬勃发展，形势很好。

**“中国靠我们来建设，我们必须努力学习。”**为了适应机械工业发展的需要，我们请有关单位编写了一套《机械工业知识丛书》，供机械行业的领导干部、管理人员和有关同志参考。

《电炉》为本丛书之一。书中涉及了有关电炉的比较广泛的领域，就电阻炉、感应炉、电弧炉、电子束炉、等离子炉、高频电场加热设备等炉种，简要地介绍了它们的分类、用途、结构、当前的技术状况与今后的发展趋势，并列出了一些主要炉种的技术参数。

本丛书在编写过程中，承各编写单位大力支持，做了大量的工作，我们表示衷心感谢。

由于我们水平有限，书中难免有缺点和错误，希望读者批评指正。

# 目 录

第一章 绪论	1
一 电炉的用途	1
二 电炉的分类	5
第二章 电阻炉	7
一 概述	7
二 间歇作业式电阻炉	12
三 连续作业式电阻炉	21
四 盐浴炉	34
五 人造气氛电阻炉（附离子氮化炉）	39
六 真空电阻炉	56
七 熔炼用电阻炉	64
八 其他间接加热式电阻炉	69
九 直接加热式电阻炉	75
十 电阻炉的电气配套和温度控制	79
十一 电热元件和电热用具	88
十二 电阻炉的技术经济指标	99
十三 电阻炉的技术发展趋势	100
附 关于热处理用燃烧炉	100
第三章 感应炉	103
一 感应加热原理	103
二 感应炉的电源设备	106
三 有芯感应熔炼炉	110
四 无芯感应熔炼炉	121
五 真空感应炉	132
六 感应加热设备	135
第四章 电弧炉	145
一 电弧加热原理	145

二	炼钢电弧炉 (附钢包精炼炉)	147
三	真空电弧炉	165
四	矿热炉	170
第五章	电子束炉	178
第六章	等离子炉	190
第七章	高频电场加热设备	204

# 第一章 绪 论

## 一、电炉的用途

工业上用的炉子可以分做燃烧炉和电炉两大类。燃烧炉用煤、煤气、天然气、油等燃料作为能源，其中包括炼铁用的高炉，炼钢用的平炉和转炉，金属材料加热和热处理用的煤气炉、油炉等等。电炉则是以电作为能源，在工业上供各种材料熔炼、加热和热处理用的一种工业炉。

电炉的出现虽比较晚，但由于其多方面的特点，所以随着科学技术的发展和工农业生产水平的提高，电炉已在国民经济的许多部门中得到了广泛的应用。

在现代工业中各种高合金钢有很大的用途。在钢里面加进铬、镍、铝、硅、锰、钨、钼、钒等成分，能使普通钢变成高质量的钢，使钢的性能大大提高。在汽车、拖拉机、矿山机械、农业机械、机床、量具刀具、锅炉、飞机、喷气发动机、汽轮机、燃气轮机等工业制造部门和石油、化工等工业部门中，高合金钢得到了很广泛的应用。

为了得到高合金钢，不但需要把合金成分加进到普通的碳素钢中去，并且首先要普通钢中的有害杂质硫、磷等清除掉，有时还必须清除掉一部分碳和氧。这种清除钢中有害杂质的过程（钢的精炼），以在电弧炉中进行最为方便。因为在电弧炉中，一方面能够形成氧化性很弱甚至是还原性的气氛，因此能促进钢的精炼；另一方面，调节炉内的加热过程也比较容易。由于在电弧炉中合金成分的烧损很少，因此虽然用电弧炉需要消耗大量的电能，但是工业上还是愿意用这种炉子来熔炼各种昂贵的高级合金钢。某些钢种要求有更高的性能，则还可以采用诸如真空感应炉、

真空电弧炉、电子束炉、电渣炉等其他电炉来达到这一目的。

随着大型电弧炉的发展，电弧炉炼钢的成本逐渐降低，因此国外从50年代开始就用电弧炉炼普通钢。在许多国家中电炉钢的产量占其钢的总产量的百分比在逐年增加。如英国1960年电炉钢的产量为171万吨，占其钢的总产量的6.9%，到1970年，电炉钢的产量增加到551万吨，占钢总产量的19.5%；美国1967年电炉钢的产量为1369万吨，占其钢的总产量的12%，1971年为2080万吨，占钢总产量的17.3%；意大利1965年电炉钢的产量为474.5万吨，占其钢的总产量的37.4%，1970年为699.4万吨，占钢总产量的40.5%。目前在美、日、西德等国家中，炼钢电弧炉发展迅速，已有和氧气转炉一起取代平炉的趋势。

熔炼合金钢和普通钢需要大量的铁合金，即铁和铬、锰、硅、钼、钨、钒以及其他金属的合金。铁合金的熔点非常高，其中的大多数只能在电炉中炼成。

在钨、钼、钽、铌等难熔金属，钛、锆等活泼金属，以及稀有金属、半导体材料等的生产中，电炉更是必不可少的设备。

由此可见，电炉的一个主要使用部门是冶金工业。

随着工业的发展，金属热处理的重要性日益突出。一些钢材经过热处理后，其强度和耐磨性可以提高几倍。例如抗张强度 $80\sim 100$ 公斤/毫米<sup>2</sup>的合金钢，经过适当的热处理后，其抗张强度可以提高到 $250\sim 300$ 公斤/毫米<sup>2</sup>。中碳钢甚至低碳钢的零件经过化学热处理后，其硬度和耐磨性可以变得和高碳钢差不多。不过，进行这样的热处理，要求精确的温度控制和工件加热的高度均匀性。而在电炉中，控制温度和保证炉温的均匀性，要比在燃烧炉中容易。另外，电炉容易做成密封，容易在炉内造成所需要的气氛或抽成真空。采用电加热方法还可以进行局部的或表面的加热或热处理。因此，在机械工业中，电炉已成为一种重要的热处理设备。

在机械工业中，尤其在汽车和拖拉机制造工业中，钢和有色



金属的薄壁异型铸件已得到广泛应用。这些铸件所需的金属材料 and 机械加工量都比较少，因此通常比用其他方法制造的铸件便宜。但是为了使金属能很好地充满型模，一定要把金属加热到相当高的温度，使之具有良好的液态流动性。这一点在电炉中很容易做到。另外，用电炉熔炼铸铁，不需要像一般冲天炉那样用焦炭，熔炼质量也比较好。所以，在铸铁、铸钢和有色金属的铸造方面，电炉的应用也在日益推广。

许多化学产品，如磷、电石等也是在电炉中制造的。所以，电炉在化学工业中也有广泛的用途。

在磨料工业中，碳化硅和电熔刚玉也是用电炉制造的。因为制造这些材料需要有 $2000^{\circ}\text{C}$ 以上的高温。

炼钢电弧炉需要用大量的石墨电极。天然石墨不但强度不够，而且电气性能也不够均匀稳定。因此，炼钢电弧炉采用人造石墨电极，它是以焦炭为原料，压制成形后，在电炉中经 $2600\sim 3000^{\circ}\text{C}$ 的高温烧制而成。

表 1 列出电炉在各个部门中的主要用途。

表 1 电炉的用途

部门名称	用 途	所 用 设 备
冶金工业	熔炼合金钢	炼钢电弧炉、真空感应熔炼炉、真空电弧炉、电渣炉、电子束炉、等离子炉
	熔炼普通钢	炼钢电弧炉
	熔炼铜合金	感应熔炼炉
	熔炼铝合金	感应熔炼炉、间接加热式电阻炉
	熔炼难熔金属、活泼金属	真空电弧炉、电子束炉、等离子炉
	生产铁合金、镍、铜、锌、镉和其他金属	矿热炉

(续)

部门名称	用 途	所 用 设 备
冶金工业	生产电极石墨	直接加热式电阻炉
	粉末冶金、制造硬质合金	电阻炉、感应炉
	制造半导体材料	电阻炉、感应炉、电子束炉
机械工业	钢铁材料、有色金属材料、玻璃等的加热和热处理	电阻炉、感应加热设备
	铸钢的熔炼	炼钢电弧炉、感应炉
	铸铁的熔炼	感应炉
	有色金属铸造的熔炼	感应炉、电阻炉、间接加热式电弧炉
	铝、镁等轻合金铸造的熔炼	感应炉、电阻炉
	金属材料锻造、冲压或挤压前的加热	感应透热设备、直接和间接加热式电阻炉
	制造电熔刚玉和碳化硅	矿热炉、直接加热式电阻炉
	干燥泥芯、模子和木材	介质加热设备、电阻炉
	制造半导体器件	间接加热式电阻炉、感应炉
加热塑料和各种绝缘材料	介质加热设备	
化学工业	生产电石、氰盐、磷、二硫化碳等	矿热炉
	生产塑料、合成纤维、合成树脂、香料和药物，进行橡胶的硫化等	间接加热式电阻炉、介质加热设备
建筑工业	生产玻璃、莫来石	矿热炉、直接加热式电阻炉
	铸石的熔炼	矿热炉、间接加热式电阻炉
轻工业	加热塑料、玻璃和其他材料	间接加热式电阻炉、介质加热设备

(续)

部门名称	用途	所用设备
科研单位、工厂和学校实验室	化学、物理、机械和工艺试验	实验用电阻炉、感应炉、电弧炉、电子束炉等
日常生活用电热用具	烹调食物、烧水、取暖等	间接加热式电阻炉、电灶、电炉盘、电热风器等

## 二、电炉的分类

电炉通常是按电能转变为热能的方法，即电加热方法的不同来分类的。目前在工业上应用的电加热方法主要有以下几种：

1. **电阻加热法** 在直接与电源相连接的导体内，因导体的电阻而产生热能的电加热方法；

2. **感应加热法** 由于电磁感应作用在导体内产生感应电流，而这感应电流由于导体的电阻而产生热能的电加热方法；

3. **电弧加热法** 热量主要由电弧产生的电加热方法；

4. **电子束加热法** 由电子束撞击炉料而产生热能的电加热方法；

5. **等离子加热法** 电能通过等离子能而转变成热能的电加热方法；

6. **介质加热法** 在高频电场作用下，电介质中由于其电荷的位移而产生热能的电加热方法。

相应于这六种不同的电加热方法，有六大类不同的电炉或电加热设备，即电阻炉、感应炉、电弧炉、电子束炉、等离子炉和高温加热设备。每一大类的电炉或电加热设备又可按其结构、用途、气氛、温度等不同而分成许多个小类。

电炉的名称除了按上述类别命名以外，习惯上还有按其应用范围来命名的，如工业用电炉、实验用电炉等；也有按其所制造或所处理的材料名称来命名的，如多晶炉、单晶炉、铁合金炉、

熔铜炉、碳化硅炉等；也有按其电源特点来命名的，如工频炉、中频炉等；也有按其用途来命名的，如熔炼炉、加热炉、热处理炉、淬火炉、回火炉、渗碳炉、氮化炉、扩散炉、区熔炉等；也有按其结构特点来命名的，如箱式炉、井式炉、台车式炉、传送带式炉、推送式炉、辊底炉、步进炉等；也有按炉内气氛来命名的，如保护气氛电炉、氢气炉、真空炉等；也有按其加热元件的材料和形状来命名的，如钼丝炉、碳管炉、钨管炉等等。总之，电炉的用途、结构、气氛、所用材料等等千差万别，所以电炉的名称也十分繁多。

## 第二章 电 阻 炉

### 一、概 述

当把电源接到能够导电的物体——导体上的时候，导体中就有电流通过。这时，由于导体的电阻，导体中会产生热。在电流相同的情况下，导体的电阻愈大，产生的热量也愈多。日常生活中的电灯泡发热，就是一个很好的例子。电灯泡里面有电阻很大的导体——钨丝，当电灯泡接上电的时候，电流从钨丝中通过，由于钨丝的电阻而产生了光和热。当然，在一般情况下，电灯泡所产生的热并没有被利用起来，而是散失到周围的空间去了。电阻炉则是把这种由电阻所产生的热加以利用的炉子。

电阻炉广泛用于机械零件的淬火、回火、退火、渗碳、氮化等热处理，也用于各种材料的加热、干燥、烧结、钎焊、熔化等。这是发展最早、品种规格最多、需要量最大的一类电炉。

电阻炉按热量产生方法的不同，可以分为间接加热式电阻炉和直接加热式电阻炉两类。所谓间接加热式电阻炉，是指在炉子内部具有用特殊电阻材料做成的加热元件或能导电的液体。当电源接在加热元件上或加在导电液体上的时候，加热元件或导电液体中所产生的热，通过传导，对流和辐射作用，间接地传到放在炉内的炉料（在炉内受到加热的材料、工件等的总称）上而使之加热。在直接加热式电阻炉中，电源是直接接在被处理的材料上而使之加热的。

工业上用的电阻炉绝大多数都是间接加热式电阻炉。

制造电炉，特别是制造电阻炉时，除了用机械制造业中一般用的材料以外，还要用一些特殊的材料。其中主要有用来通电产生热的电加热元件材料，用来构筑炉墙的耐火材料和保温材料，

以及用来在炉子里承受机械负荷的耐热钢材料。

现将电阻炉上用的几种主要电加热元件材料列于表 2。

表 2 电加热元件材料

名称	牌 号	主要化学成分 (约值)	最高使用温度 (°C)	特 性
铁铬铝合金	Cr25Al5	Cr25%, Al5%, 其余Fe	1200	电阻系数大, 耐热性好, 但高温强度较低, 冷却后有脆性
	Cr17Al5	Cr17%, Al5%, 其余Fe	1000	
	Cr13Al4	Cr13%, Al4%, 其余Fe	850	
镍铬合金	Cr20Ni80	Cr20%, Ni80%	1100	电阻系数大, 耐热性好, 高温强度较高, 冷却后无脆性
	Cr15Ni60	Cr15%, Ni60%, 其余Fe	1000	
碳化硅元件	—	SiC	1400~ 1650	为非金属加热元件, 高电阻, 耐热性好, 但电阻温度系数较大, 冷态时, 硬而脆
二硅化钼元件	—	MoSi <sub>2</sub>	1650~ 1850	
钼	—	Mo	1600~ 2000	高度耐热, 但在空气中容易氧化, 只能用在真空炉或保护气体炉中
钨	—	W	3000	
石墨	—	C	3000	

在金属加热元件材料中, 我国目前主要用铁铬铝合金材料。除表上列出的以外, 已试制成功可以用到 1400°C 的高温铁铬铝合金。

镍铬合金和铁铬铝合金在合金材料制造厂通常做成丝材或带材供应, 而到电炉制造厂再加工成螺旋形或波形加热元件。图 1 和图 2 分别表示线材和带材加热元件的几种常用结构, 以及这些加热元件在电阻炉中的布置方法。

碳化硅元件和二硅化钼元件直接在元件制造厂做成成品供应。关于这两种元件将在本章第十一节中另加说明。

电阻炉中常用的耐火材料和保温材料分别列于表 3 和表 4。常用的耐热钢材料列于表 5。这些材料也用于其他电炉中。

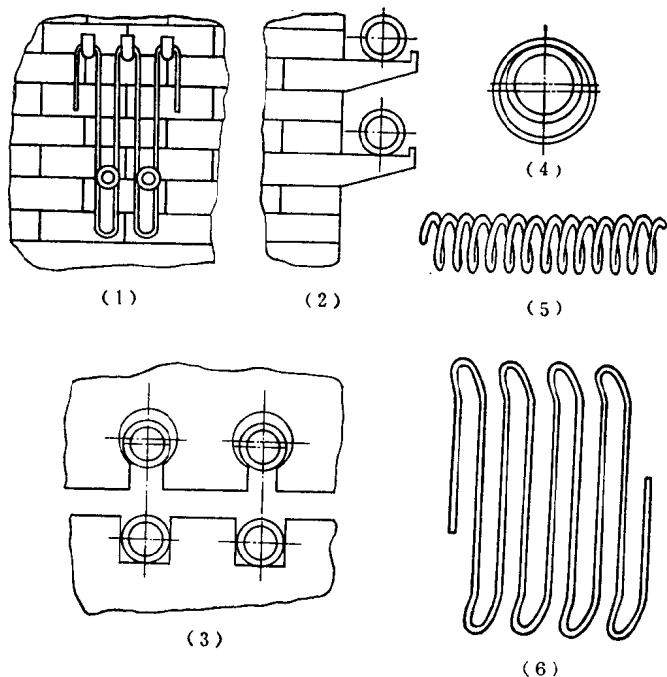


图1 线材加热元件在电阻炉中的  
几种布置方法及其外形

(1) 波形加热元件吊挂在炉壁上；(2) 螺旋形加热元件平搁在电炉侧壁的搁砖上；(3) 螺旋形加热元件装在炉顶和炉底耐火砖槽中；(4) 螺旋形加热元件穿在耐火瓷管上；(5) 螺旋形加热元件外形；(6) 波形加热元件外形

电炉中用的耐火材料一般都预制成一定形状的砖，叫做耐火砖。常用的耐火砖砖型如图3所示，其中用得最多的是边长为 $230 \times 113 \times 65$ 毫米的直形砖。其他许多种耐火砖根据电炉结构的需要而做成各种各样的形状，统称为异型砖。

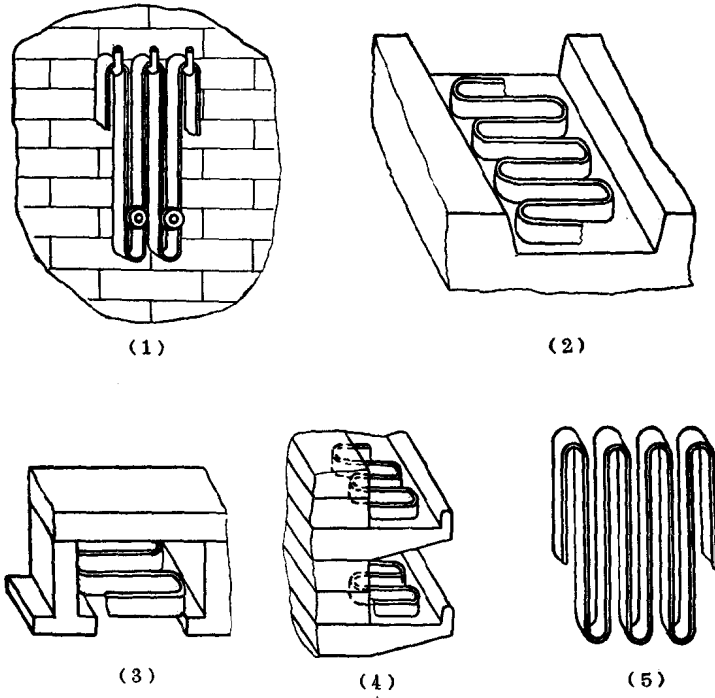


图2 带材波形加热元件在电阻炉中的几种布置方法及其外形  
 (1) 波形加热元件吊挂在炉壁上；(2) 波形加热元件平搁在炉底上；(3) 波形加热元件搁在炉顶槽内；(4) 波形加热元件搁在侧壁搁砖上；(5) 带材波形加热元件外形

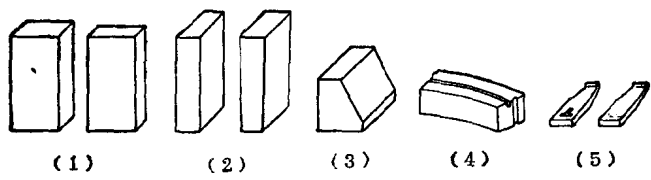


图3 电阻炉用耐火砖的砖型  
 (1) 直形砖；(2) 楔形砖；(3) 拱脚砖；(4) 弧形砖；(5) 搁砖



表3 电阻炉用耐火材料

名 称	容 重 (公斤/升)	耐 火 度 (°C)	容许使用 温 度 (°C)	主 要 用 途
耐火粘土砖	1.8~1.9	1610~1730	1350	电阻炉的炉底用砖, 受负荷的砖等; 盐浴炉的盐槽
轻质粘土砖	1.3	1670~1710	1300	1200°C电阻炉的炉膛内层
轻质或泡沫粘土砖	1.0 0.6~0.8	1670 1670	1250 1200	1000°C电阻炉炉膛内层, 1200~1400°C电阻炉砖体的中间层
抗渗碳砖	1.0~1.3	约1700	1250~1300	渗碳用电阻炉直接接触渗碳气体的炉衬内层
高铝砖	2.2~2.5	1750~1790	1500	1300°C以上电阻炉炉膛内层, 高温盐浴炉的盐槽
氧化铝和刚玉制品	2.2~2.9	1780~2000	1500~1700	高温电阻炉炉用耐火零件
碳化硅制品	2.3~2.6	2000~2200	1400~1500	1200°C及以上电阻炉的炉底板, 实验室用电炉的成型炉芯, 其他炉用耐火零件
石墨制品	2.2	>3000	>2000	高温电阻炉炉用耐火零件

表4 电阻炉用保温材料

名 称	容 重 (公斤/升)	最高使用 温 度 (°C)	主 要 用 途
硅藻土砖	0.5~0.7	900	电阻炉保温层用砖
石棉板	1.0~1.4	600	电阻炉炉底、炉壳、炉顶等部分衬垫密封用材料
矿渣棉	0.15~0.25	750	电阻炉保温层填料
玻璃棉	0.02~0.2	450	低温电阻炉保温层填料
蛭 石	0.08~0.17	1100	电阻炉保温层填料
膨胀珍珠岩散料	0.04~0.12	800	电阻炉保温层填料
膨胀珍珠岩砖	0.2~0.35	600	电阻炉保温层用砖